

大學用書

電工原理及實用

下 冊

A. Gray 著
G. A. Wallace

孫朝洲 俞國順 譯
姚卓文 程祖憲

王國松 校 譯

正中書局印行

大學用書
電工原理及實用

下 册

A. Gray 著
G. A. Wallace

孫朝洲 俞順 譯
姚卓文 程祖憲

王國松 校 譯



正 中 書 局 印 行

目 次

— 下 册 —

第二十六章 交流電壓與電流	217
239. 簡單交流發電機 240. 波形 241. 示波器 242. 頻率 243. 振盪式頻率計 244. 電流與電壓之平均值 245. 交流之有效值 246. 交流為正弦曲線圖形之有效值之計算 247. 交流為非正弦曲線圖形之有效值之計算 248. 符號 249. 交流電路所用之伏特計與安培計	
第二十七章 交流與交流電壓表示法	269
250. 旋轉磁場交流發電機 251. 電度 252. 交流電壓與電流之矢量表示法 253. 同頻率兩交流電壓之和	
第二十八章 交流電路	273
254. 自感應 255. 接與新火花發火法 256. 電感, 自感係數 257. 有感電路中之交流 258. 電壓與電流之關係 259. 有感電路內之功率 260. 機械解法 261. 感應與非感應電路之舉例 262. 電阻電路內之電流, 電壓, 及功率 263. 電阻與電感串聯 264. 功率因數 265. 瓦特計 266. 電阻與電感並聯 267. 單相電線 268. 容電器 269. 電容電路之與直流及交流 270. 電容電路內電壓與電流同相之關係 271. 電容電路內電壓與電流之關係 272. 並行板容電器 273. 電容電路中之功率 274. 電路習題中所用之公式 275. 用以改進功率因數之容電器 276. 電阻, 電感及電容相串聯 277. 電阻, 電感及電容相並聯 277A. 兩阻抗並聯 277B. 交流電路之復量解法 277C. 矢量加法與減法 277D. 矢量乘法 277E. 矢量除法 277F. 交流電路常數總論	

第二十九章 交流發電機及多相電路 323

275. 單相交流發電機 279. 二相交流發電機 281. 三相交流發電機 281. Y形接法 281. Y形接法電機中之電壓, 電流, 及功率 284. Δ 形接法 284. Δ 形接法電機中之電壓, 電流, 及功率 285. 三相三線制上負載之接法 286. 三相與二相之比較 287. 三相三線電路中功率之量法 288. 三相三線電路上不平衡負載功率之量法 289. 平衡三相負載之瓦特比功率因數圖表 290. 不平衡三相三線電路中功率之量法 291. Δ 形接法制 292. 交流發電機之構造 293. 旋轉電樞式交流發電機 294. 輪機交流發電機 295. 感應機 296. 交流發電機 297. 交流發電機之伏安定額

第三十章 變壓器特性 354

298. 變壓器 299. 定壓變壓器 300. 漏磁流 301. 標準變壓器中之磁漏電抗 302. 感應電流 303. 定流變壓器 304. 變壓器之效率 305. 磁滯損失 306. 漏磁損失 307. 銅損失 308. 全日效率 309. 變壓器內電壓與磁流密度之關係 310. 變壓器之等值電阻及電抗 311. 電抗百分數 312. 變壓器之冷卻

第三十一章 變壓器連接法 372

313. 電燈變壓器 314. 與二相線之接法 315. 更高壓接法——二相變 \rightarrow 三相 316. 與三相線之接法 317. 開 Δ 或V形接法 318. Y及 Δ 接法之相對利益 319. 變壓器之形式 320. 自耦變壓器 321. 升壓變壓器及饋電線電壓調整器

第三十二章 多相感應電動機 385

322. 感應電動機 323. 旋轉磁場 324. 三相電動機之旋轉磁場 325. 多極機 326. 開動轉矩 327. 捲轉式電動機 328. 轉動情形 329. 感應電動機之矢徑圖 330. 可調速率之運用 331. 大開動轉矩之雙鼠籠式轉子 332. 感應發電機

第三十三章 交流發電機之特性 400

332. 電樞反應 334. 交流發電機之矢量圖 335. 交流發電機之電壓特性曲線
及電壓調整 336. 交流發電機同步電抗之實際決定法 337. 自動調整器
338. 效率 339. 交流發電機之定額

第三十四章 多相同步電動機及交流發電機之並列運用... ..413

340. 同步電動機運用原理 341. 機械的類似 342. 同步電動機之反電勢
343. 同步電動機之矢量圖 344. 最大輸出 345. 同步電動機在超激及無激時
之運用 346. 同步電動機用於改良功率因數 347. 交流發電機之並列運用
348. 整步 349. 在交流發電機運用中負載及功率因數之控制 350. 逐獵

第三十五章 多相電動機之應用及控制427

351. 同步電動機 352. 單相電動機 353. 感應電動機 354. 多相電動機之標
準應用 355. 高電阻鼠籠式轉子 356. 捲轉子電動機可調準速率之運用
357. 電刷可移動之多相感應電動機 358. 交流電路之開關 359. 鼠籠式感應
電動機之開動 360. 開動補償器 361. Y— Δ 開動法 362. 捲轉子式電動機
之開動器 363. 自動開動器 364. 開動同步電動機

第三十六章 單相電動機441

365. 單相感應電動機 366. 分相開動法 367. 單相電動機之開動轉矩
368. 單相串激電動機 369. 電樞反應 370. 推拒感應電動機 371. 單相同步
電動機

第三十七章 變換及整流儀器451

372. 變換之需要 373. 電動發電機組 374. 升壓機組 375. 旋轉變流機
376. 電動發電機組與旋轉變流機 377. 熱游子管整流器 378. 用兩整流器得
全波整流 379. 熱游子整流器之效率 (8), 真空式熱游子整流器之應用範圍
381. 充氣熱游子整流器 382. 汞弧整流器 383. 多相汞弧整流器 384. 其他
各種整流器

第三十八章 交流輸電與配電465

185.——186.輸電及配電制 187.消耗電能設備之實際上所用電壓 188.單相與三相輸電之比較 189.變壓器 190.砂礫變電器 191.自動開門器
 192.開關 193.架空線路之構造 194.地下線構造 195.儀器用互感器
 196.直流瓦時計 197.交流瓦時計 198.電表 199.替續器

第三十九章 電燈 … … … … … 80

400.白熾 401.光之單位 402.流明 403.矽絲白熾燈 404.真空鎢絲燈
 405.充氣鎢絲燈 406.街用串聯安士大燈 407.弧光燈 408.直流閉弧
 409.直流閉弧 410.交流閉弧 411.選擇幅射 412.各種大小鎢絲燈之總流
 明數輸出 413.光之顏色及性質 414.光輝 415.投影 416.照度 417.學
 及反射器 418.利用係數 419.房間之大小與牆壁及天花板之顏色 420.燈
 之間隔

第四十章 熱游子管與光電管 … … … … … 507

421.五極熱游子管 422.熱游子管放大器 423.熱游子管振蕩器 424.光電
 管

第四十一章 實驗 … … … … … 514

1.磁場線圈電路中電阻之量法 2.電樞電路中電阻之量法 3.直流並激電動
 機速率之調節 4.直流發電機之電壓 5.直流發電機之調整 6.直流電動機
 之加載試驗 7.直流電動機之開動轉矩試驗 8.直流電動機之損失及效率
 9.直流發電機之發熱試驗 10.三線制之電壓調整 11.保險絲試驗 12.斷路
 器之校準 13.交流串聯電路 14.交流電路特性之預求 15.定壓變壓器之特
 性 16.交流發電機之調整 17.同步電動機之開動及運用特性 18.旋轉變流
 機之特性 19.多相感應電動機之開動及運用特性 20.變壓器之接法

習 題 … … … … … 530

第二十六章 交流電壓與電流

239. 簡單交流發電機 設圖 211 中線圈 $abcd$ 轉動於磁極 N 與 S 間，使導線 ab 及 cd 割切力線，則一交變電勢(alternating e.m.f.)發生於線圈之兩端 f 及 g 間。各導線中在與磁極相對之各不同位置時，用右手定則決定之電勢方向，如 $A, B, C,$ 及 D 所示。在圖 A 中，兩導線不切力線，故 f 與 g 間之電勢為零。在圖 B 中，導線上所生之電

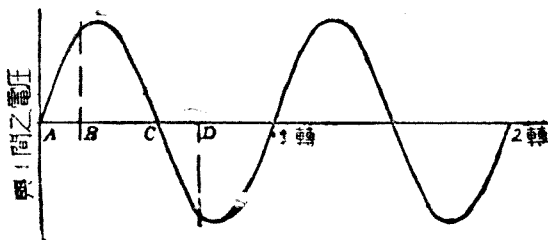
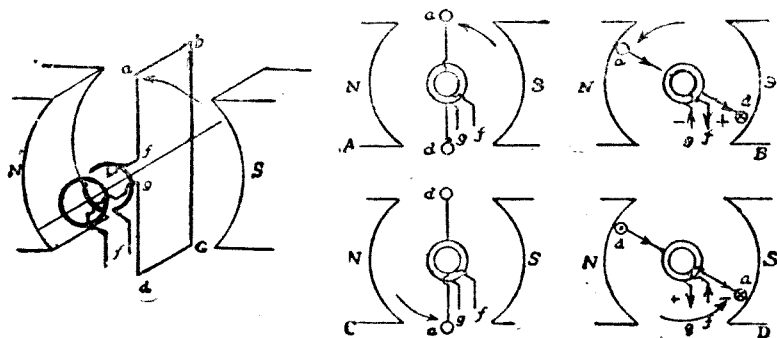


圖 211. 簡單二極交流發電機

勢，爲使電流自 f 經外電路至 g ；故 f 爲此機中之正端， g 爲負端。圖 C 中， f 與 g 間之電勢復爲零。在圖 D 中，則這線上所生之電勢爲負，電流自 g 經外電路至 f ；故此時 g 爲正端， f 爲負端。適與圖 B 之情形相反。是以連接 f 及 g 之外電路中之電流，時時變換；即電在電路中前後盪盪也。

若將 f 與 g 間之電勢對於時間作一曲線，則得圖 211 所示之曲線。

交流發電機(alternator) 通常爲靜止導線及一旋轉磁場組合而

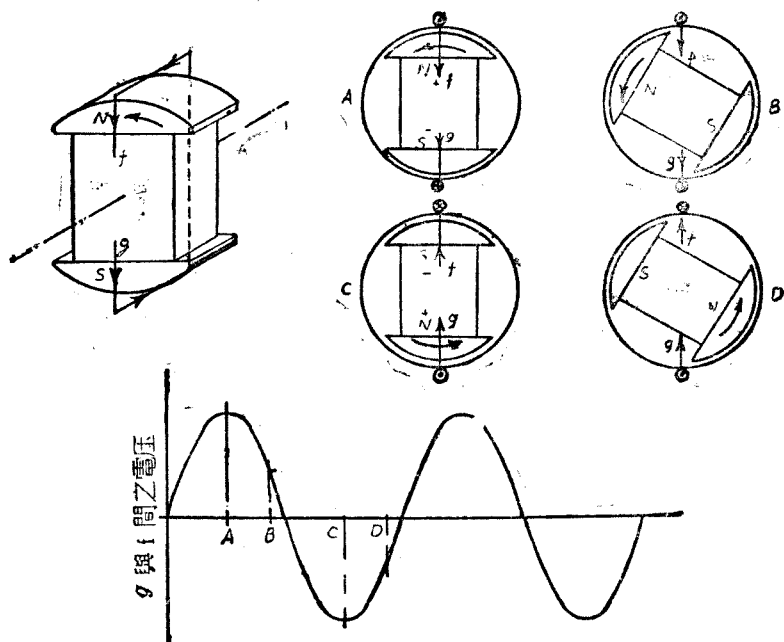


圖 212. 二極旋轉磁場交流發電機

成，如圖 212 所示。導線中各時期之電勢之方向如圖 A, B, C, 及 D 所示，可依右手定則* 決定之；惟須注意者，凡在旋轉磁場中，拇指所指方向，應與磁極之動向相反，因依定則，拇指應指導線對於磁極之相對運動方向也。

240. 波形 若磁極下空隙之大小均勻，則跨過空隙之力線分布如圖 213 所示。導線中電勢與割切力線率成比例，依曲線 A 而變。如極面製成如圖 214 之狀，則空隙中磁流密度以及割切力線之率可以

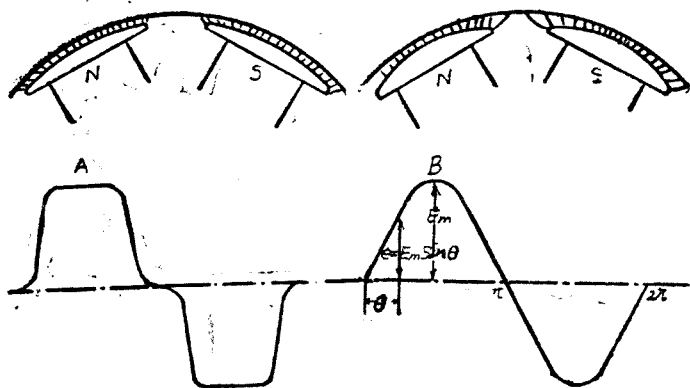


圖 213.

圖 214.

圖 213.—314.—表示電勢之波形

調整，使導線內電勢依正弦定律而變，如曲線 B 所示。此電勢謂之單諧 (simple harmonic)；可以公式 $e = E_m \sin \theta$ 表之，式中 e 為任何瞬時之電壓， E_m 為 e 之最大值。

* 拇指 — 導體對於磁場之運動方向。

食指 — 力線方向。

中指 — 電勢方向。

單諧運動爲往復運動形式之最平滑者。物體繫以彈簧，則垂直振動成一單諧運動。鐘擺亦然，實則機械振動常爲單諧運動。在此初步討論中，不必試圖解釋交流何以應依單諧運動而流動，但交流發電機之說明書，常以發生電勢應約爲正弦曲線爲必須條件。其理後將見之。

241. 示波器 交流發電機所生電勢之波形，可以示波器 (oscillograph) 測之，其主要部分如圖 215 所示。

在磁鐵兩極 NS 間之狹小空隙內，張有兩並行導線 ss 以磷青銅條繞於假象牙滑輪 P 而成。附着於滑輪上彈簧用以保持薄條上引力之均勻。導片 (guide piece) L 用以限制振動部分之長度於實在

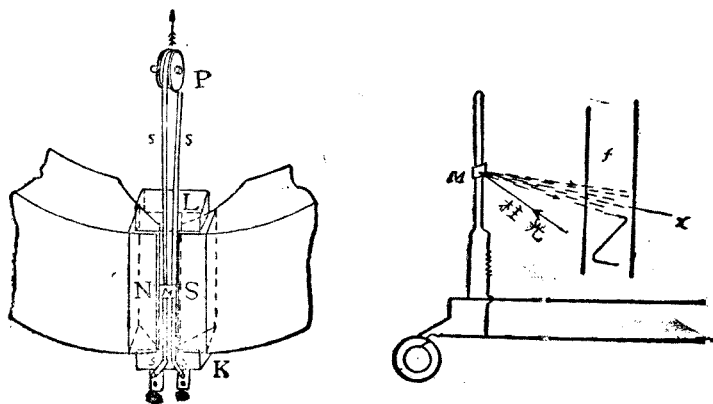


圖 215. 示波器

磁場之部分。一小鏡 M 跨於薄條上。如圖所示。

當電流通過薄條 ss 時，一薄條向前，另一薄片退後，小鏡遂依垂直軸而旋轉。設電流爲交流，則此鏡將前後轉移，其頻率 (frequency)

與電流頻率同，其偏轉與電流之大小成比例。（鏡之振動自然頻率須較電流之頻率為高，否則其偏轉不能隨電流而精確變動。）

今若有一柱光射於鏡上，則其反射柱光，將往返移動於水平面內；其離零點 x 之位移，與通過之電流成比例，此時如有一照相底片 f 以定速率向下移動，則反射柱光將繪一曲線於片上。此曲線即輸入示波器兩端之電勢之波形也。

242. 頻率 在圖 211 所示之一兩極機中，當其旋轉一轉時，其兩端間之電勢經過一全週 (cycle)。在圖 216 所示之六極機內，電機旋轉一轉，任何導線 a 中之電勢經過三週，因電機旋轉一轉時，每對磁極生一週也。

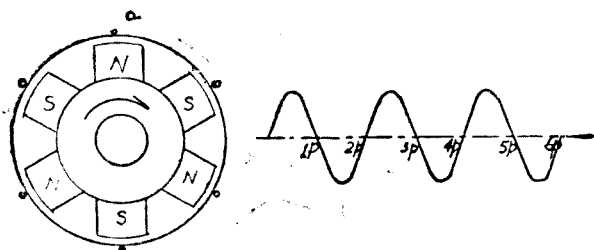


圖 216. 六極交流發電機

在一交流發電機中，如 p 為磁極，則

$$\text{每轉之週數} = \frac{p}{2},$$

$$\text{每秒之週數稱為頻率} = \frac{p}{2} \times \frac{\text{每分轉數}}{60}$$

$$= \frac{p \times \text{每分轉數}}{120}$$

以符號 f 表示之。

美國之實用頻率為每秒 25 及 60 週，在歐洲則以每秒 25 及 50 週較為普通。

一 60 週之交流發電機有 24 極，求此機每分轉數。

$$f = \frac{p \times \text{每分轉數}}{120}$$

所以

$$60 = \frac{24 \times \text{每分轉數}}{120}$$

而

$$\text{每分轉數} = 300.$$

下表示磁極，速率及頻率間之關係：

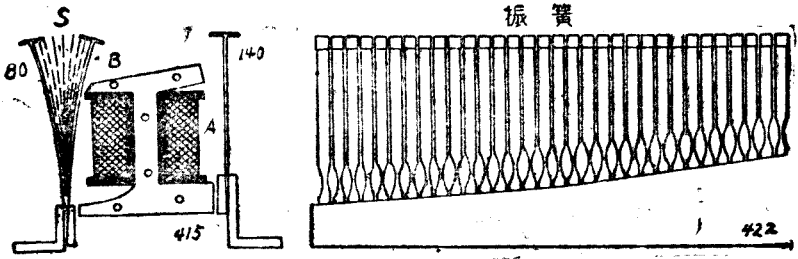
表 1

磁 極 數	每 分 轉 數		
	25 週	50 週	60 週
2	1,500	3,000	3,600
4	750	1,500	1,800
6	500	1,000	1,200
8	375	750	900
p	$\frac{3,000}{p}$	$\frac{6,000}{p}$	$\frac{7,200}{p}$

交流發電機在一定頻率時，其速率為一定，若不變更其頻率，則速率亦不能變，是當注意者也。直流發電機可變更其速率以變其電壓，交流發電機則不然，非同時變更頻率不可。

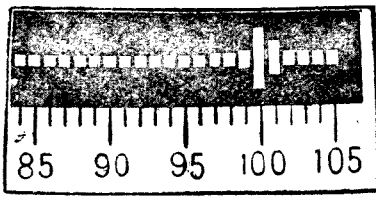
243. 振簧式頻率計 在此種儀器內有多數鋼條，其一端各固定如圖 217 所示，而欲測頻率之電流，係經過線圈 A 。簧片被電磁鐵 B

每週吸引兩次，而簧之自然頻率為電流頻率之兩倍者，將生強烈振動。簧之自由端漆以白色，振動時宛如白帶。此頻率計 (frequency meter) 之外形如圖 C 所示。

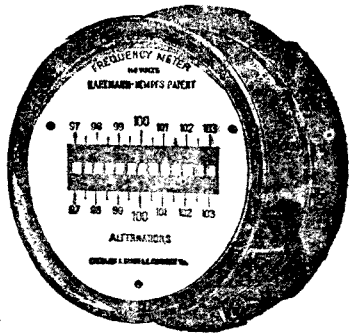


A.

A. 內部構造



B. 頻率 100 週時之標度



C. 外形

圖 217. 振簧式頻率計

244. 電流與電壓之平均值 交流電流或電壓之平均值為零 因相似之正值與負值存在也。故平均值之謂，常指一週間正部分之平均值而言，如圖 218 所示。

倘電勢之圖形爲正弦曲線，則 $e = E_m \sin \theta$ ，於是平均電勢 E_{av} ，等於正弦曲線正半週下之面積除以底線長度，或

$$\begin{aligned} E_{av} &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} e \, d\theta = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} E_m \sin \theta \, d\theta \\ &= \frac{1}{\pi} \left[-E_m \cos \theta \right]_0^{\pi} = \frac{2}{\pi} E_m \end{aligned}$$

同理，如 $i = I_m \sin \theta$ ，

則

$$I_{av} = \frac{2}{\pi} I_m$$

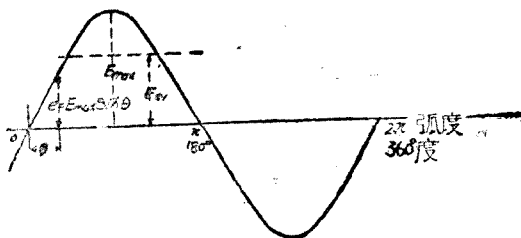


圖 218. 交流電壓之平均值

讀者如不熟悉微積分，可用三角法將 $1^\circ, 3^\circ, 5^\circ, 7^\circ$ 以至 89° 等之正弦值相加，以所取之正弦數（即 45）除之即得。其結果將爲 0.6366，意即一正弦曲線之最大值爲 1 時，其平均值爲 0.6366；因此，如 E_m 爲正弦曲線之最大值，則平均值爲 $0.6366 E_m$ 。實則一正弦曲線之平均值等於 $\frac{2}{\pi}$ ，而 $\frac{2}{\pi} = 0.63662$ 左右。

交流電壓 電流之平均值，實際上應用甚少。電之爲用，爲完成某種工作，不論其爲轉動一軸，傳送信息，或加熱一電燈之燈絲，平

均值爲 1 安之交流，加於電阻，所生之熱，並不與 1 安之直流所生者有相同之平均率。量度交流，以在同一情形下以同一平均率作工之相當直流表之較爲便利。

245. 交流之有效值 如以一交流經過 R 歐電阻，使電阻發熱之平均率，與 I 安一定直流所發者相等，此交流之有效值 (effective value) 稱爲 I 安。換言之，一交流之有效值，即等於加熱於一已知電阻與此交流有相同平均率之直流之安數。

246. 交流爲正弦曲線圖形之有效值之計算 設 $i =$ 任何瞬間之交流值。

依假設 $i = I_m \sin \theta$ 。

設 $I =$ 加熱於 R 歐電阻之直流 與交流 i 有相同之平均率者。

則 $I^2 R$ 瓦爲由直流電能變熱之率，而 $i^2 R$ 瓦爲任何瞬間中由交流電能變熱之率。則因兩者發熱之平均率相等，故

$$\begin{aligned} I^2 R &= i^2 R \text{ 之平均值} \\ &= (I_m \sin \theta)^2 R \text{ 之平均值} \\ &= I_m^2 R (\sin^2 \theta \text{ 之平均值})^* \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} * \sin^2 \theta \text{ 之平均值} \times \pi &= \int_0^\pi \sin^2 \theta \, d\theta \\ &= - \int_0^\pi \frac{1}{2} (\cos 2\theta - 1) \, d\theta \\ &= - \frac{1}{2} \left[\frac{1}{2} \sin 2\theta - \theta \right]_0^\pi \\ &= \frac{\pi}{2} \end{aligned}$$

故 $\sin^2 \theta$ 之平均值 $= \frac{1}{2}$ 。

$$= I_m^2 R \times \frac{1}{2}$$

故
$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

即如一交流之圖形爲正弦曲線，則其有效值等於其最大值除以 $\sqrt{2}$ （圖解表示法閱圖 219）。

述及一交流或交流電壓時，常指其有效值而言，否則須附以說明。即如一 10 安之交流具有與 10 安直流相同之熱效能，其最大值爲 $10\sqrt{2}$ 或 14.1 安，平均值爲 $\frac{2}{\pi} \times 14.1$ 或 9 安。

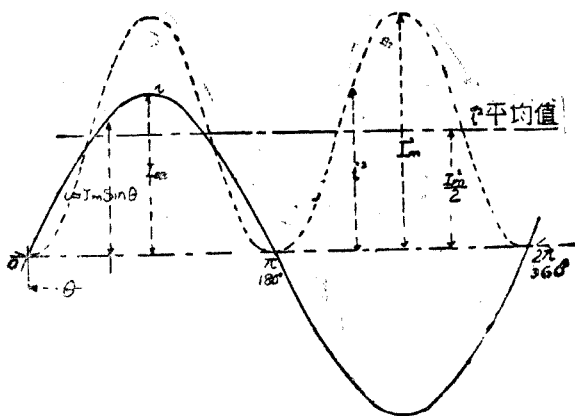


圖 219

交流爲非正弦曲線之有效值之計算 設 i = 任何瞬間之交流值， I = 此交流之有效值。

則依有效值之定義，

$$I^2 R = i^2 R \text{ 之平均值}$$

或

$$I = \sqrt{i^2 \text{ 之平均值}}$$

I 之值，可繪 i^2 之曲線之半週，而量曲線下之面積以決定之。此面積以底線除之等於 i^2 之平均值，則 I 等於此平均值之平方根。

方程式 $I = \sqrt{i^2}$ 之平均值，常作為一交流有效值之定義。以言語表之，則為：一交流之有效值，為此電流瞬時值平方之平均值之平方根。同理，一交流電壓之有效值，為此電壓瞬時值平方之平均值之平方根。有效值有時稱曰均方根值 (root-mean-square value 或 r. m. s. value)。

248. 符號 本書將以下列符號表交流電壓與電流：

$$\text{瞬時值: } e = E_m \sin \theta; \quad i = I_m \sin \theta。$$

$$\text{最大值: } E_m \qquad I_m$$

$$\text{平均值: } E_{av} = \frac{2}{\pi} E_m \qquad I_{av} = \frac{2}{\pi} I_m,$$

$$\text{有效值: } E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \qquad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}。$$

249. 交流電路所用之伏特計與安培計 29 節所述，轉圈永久磁石式之儀器，為用於直流電路者。如將此表聯於交流電路上，則轉圈受力之作用，有始則轉向一方繼則轉向他方之勢，結果以慣性關係不能轉動，而其指度為零。

欲使轉圈式儀器可用以量交流電，則磁場與轉圈中之電流必須同時交變。以一電磁鐵代替其永久磁鐵可得此結果，如圖 22 所示。使所測之電流經過定圈 A 及串聯之轉圈 C ，轉圈兩邊受力之作用而旋轉，以反抗彈簧 S 之張力。

此力與 C 圈中之電流 i ，及由 A 圈中電流 i 所生之磁流 ϕ 成正

比；故此力與 i^2 成正比。線圈上 C 之平均轉動力，在任何位置時，與

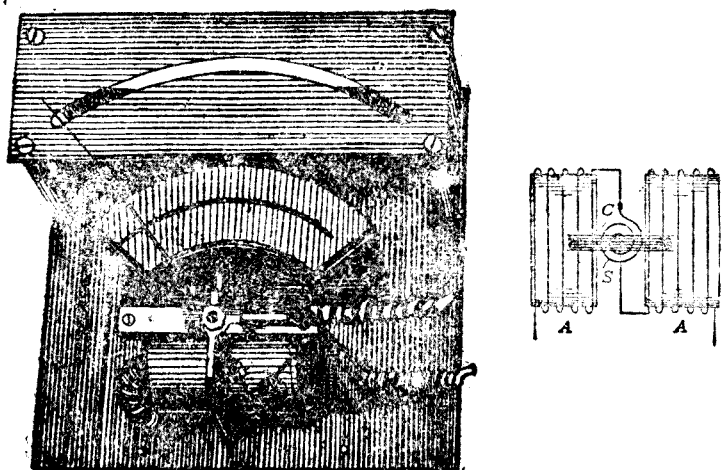


圖 20. 力池安培計式儀器

i^2 之平均值成正比，亦即與電流之有效值之平方成正比。故線圈之偏轉由電流之有效值或其相當之直流值決定。如此計先用直流較準，則可用以量交流而示其有效值。

第二十七章 交流與交流電壓表示法

250. 旋轉磁場交流發電機 (rotating-field alternator) 之一部分, 如圖 221 所示。當磁場旋轉時, 靜止導體如 a 等為力線所切, 其電勢變化如圖 222 所示, 每經過一對磁極其變化為一週。

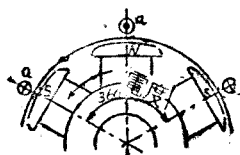


圖 221.

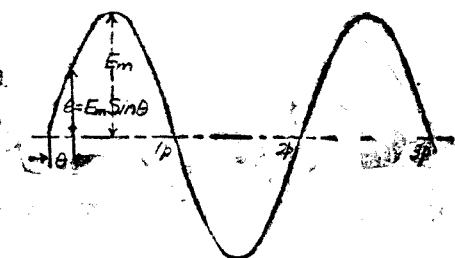


圖 222.

251. 電度 設有一矢量 op 以反時針方向旋轉, θ 角為量自 x 軸者, 則 y 軸上 op 之投影 $om = op \sin \theta$, 繪如圖 B , 當 θ 變化經 360 度時, 其值經過一週。茲設依尺度作 op 等於 E_m , 如圖 222 所示, 則 $om = E_m \sin \theta$, 亦即表示瞬時電勢 e 。其電機旋轉時發生一週電勢所經過之角度, 謂之 360 電度 (electrical degree) 時, 則圖 222 及圖 223 之曲線完全相似; 在圖 221 電機中, 此角為連續同性磁極間之角。自此可知如圖 323 之曲線, 可用以表示有任何極數之交流發電機發生之電壓, 亦即用示波器所得之曲線。

252. 交流電壓與電流之矢量表示法 通常假定此種數量之變

化為依照正弦定律者，故可用正弦曲線表之，如圖 224，此處

$$\text{任何瞬時之電流 } i = I_m \sin \theta,$$

$$\text{任何瞬時之電壓 } e = E_m \sin \theta.$$

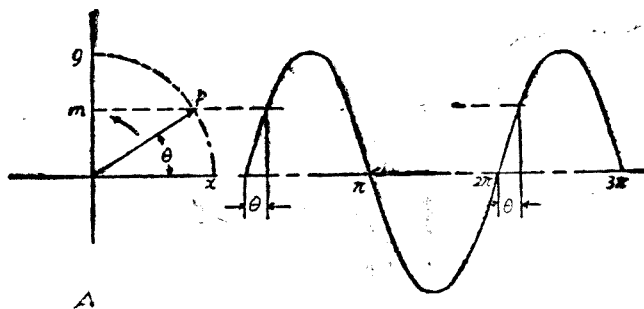


圖 223. 交流電壓表示法

在交流電路與電機之多數工作中，以矢量 * (vector) E 及 I 表示交流電壓與電流，較為便捷，圖 224，由此種矢量可得正弦曲線，即以垂直部分之 i 及 e 對於角 θ 而繪之，此矢量係依反時針方向旋轉。

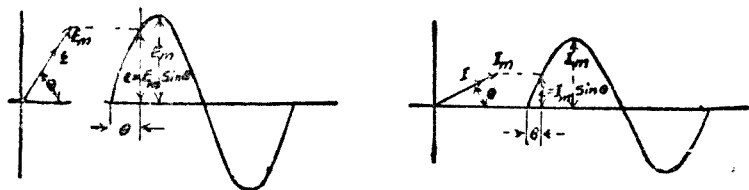


圖 224. 交流電壓與電流表示法， e 及 i 為電壓與電流之瞬時值； E_m 及 I_m 為電壓與電流之最大值； E 及 I 為電壓與電流之有效值。

* 矢量普通表示電流及電壓之有效值 較多於其最大值。

設用兩示波器連結如圖 225, 其一 *A* 所示者為電壓曲線, 另一 *B* 為電流曲線, 電流與電壓不必同時達最大值, 但可如圖 225 *A*, *B* 及 *C* 之曲線, 蓋與連於電路之負載種類有關。電流對於電壓有位移之理, 將於第二十八章中詳述之, 但此處須知用矢量表示此種曲線之方法。

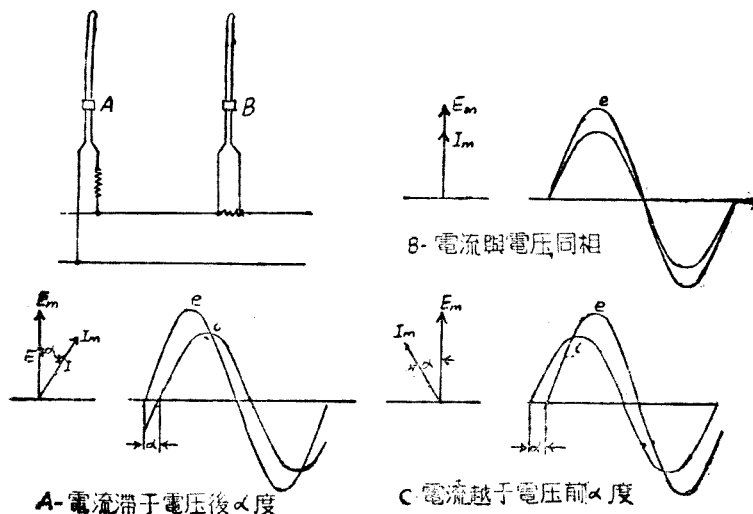


圖 2.5. 電流電壓間相之關係

設有二矢量如 E_m 及 I_m , 圖 2-6, 以反時針方向同速旋轉, 其角 α 始終不變, 其垂直部分 $e = E_m \sin \theta$ 及 $i = I_m \sin \theta$. 在三不同之瞬間如 *a*, *b* 及 *c* 所示, 將矢量及其對基線 *ox* 移動所成之角度畫成曲線, 則得 *e* 及 *i* 之正弦曲線。兩曲線表示頻率相同之電壓及電流, 電壓 *e* 達其最大值在電流 *i* 達其最大值之前 α 度。

若電流與電壓同時達其最大值，則謂之相互同相(in phase)。若不同時達其最大值，則謂之異相(out of phase)，電流依其達最大值之先於或後於電壓達其最大值，而稱之曰前(leading 或滯後(lagging))。

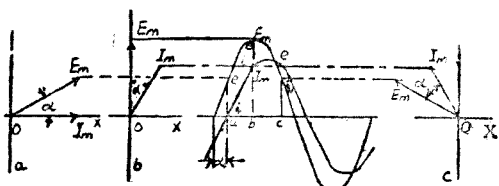


圖 226. 滯後電流之表示法

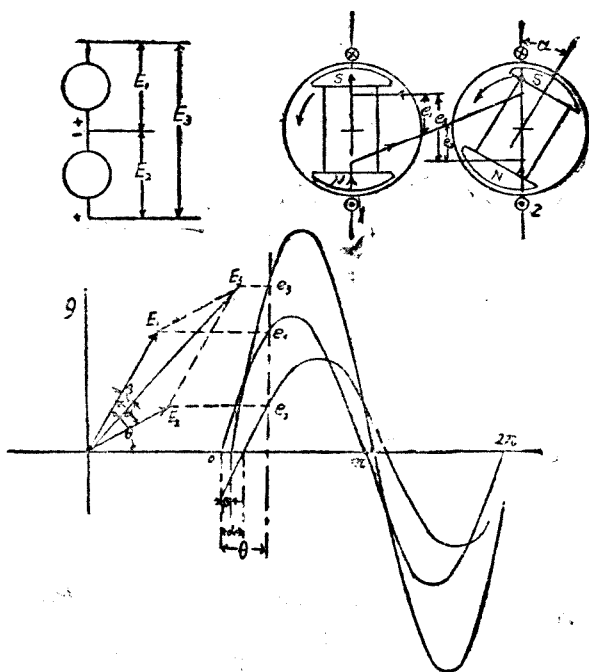


圖 227.

圖

圖 228.

圖 227, 228, 229. 兩同頻率交流電壓之和

253. 同頻率兩交流電壓之和 若兩交流發電機串聯如圖 227, 則總電壓 E_3 為兩機電壓 E_1 及 E_2 之數值和。

若兩交流發電機串聯如同 223, 則任何瞬間 e_3 之值為同瞬間兩機電壓 e_1 及 e_2 之數值和。在圖所示之情形, 第二機之電壓較第一機滯後 α 度, 即達其最大值時, 較第一機遲磁極經過 α 度所需之時間。圖 229 之正弦曲線 e_1 及 e_2 代表此兩機之電壓。其合成正弦曲線 e_3 上各點, 得自每瞬間 e_1 及 e_2 之和。

兩機之電壓, 可依尺度繪成兩矢量 E_1 及 E_2 , 令其交角為 α 表示之, 因若此兩矢量依反時針方向一同旋轉而保持其間之角 α 不變, 則將其垂直部分 e_1 及 e_2 對所轉之角作曲線時, 即得 e_1 及 e_2 在其適當之相之關係的正弦曲線。

於是, 如作一平行四邊形, 以 E_1 及 E_2 為其邊, α 為其夾角, 則此平行四邊形之對角線, E_3 表示此兩機電壓之和。因 E_3 如與其他兩矢量旋轉時, 其垂直部分對於 θ 角所作曲線, 即為正弦曲線 e_3 , 其大小與相對於 e_1 及 e_2 曲線均正確也。

此點可自圖 229 觀之, 圖中

$$\begin{aligned} E_1 \sin \theta &= e_1, \\ E_2 \sin (\theta - \alpha) &= e_2, \\ E_3 \sin (\theta - \beta) &= E_1 \sin \theta + E_2 \sin (\theta - \alpha) \\ &= e_1 + e_2 \\ &= e_3. \end{aligned}$$

以上諸式, θ 為任何值時, 均能成立。

由此, 故二或更多之交流電壓或交流求和時, 可以求合力之相

同方法求之。即作平行四邊形，而測量或計算對角線之長度及相角之大小。

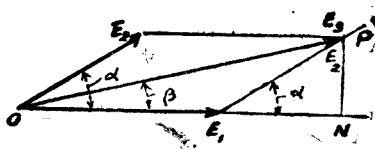


圖 30. 以矢量相加交流電壓

參照圖 230,

$$\begin{aligned}
 E_3 &= \sqrt{ON^2 + PN^2} \\
 &= \sqrt{(E_1 + E_2 \cos \alpha)^2 + (E_2 \sin \alpha)^2} \\
 \beta &= \tan^{-1} \frac{PN}{ON} \\
 &= \tan^{-1} \frac{E_2 \sin \alpha}{E_1 + E_2 \cos \alpha}
 \end{aligned}$$

圖 229 中之平行四邊形謂之矢量圖 (vector diagram)。圖示各電壓之最大值及其相角，但因有效值為最大值除以 $\sqrt{2}$ ，故設以 e_1 及 e_2 之有效值作平行四邊形以代最大值時，則平行四邊形之每邊大小均除以 $\sqrt{2}$ ，而其對角線即示此兩電壓之和之有效值。實際上所用者幾全係有效值，故作矢量圖亦常用有效值。吾人如欲轉動矢量作一依尺度之正弦曲線，當然須用最大值。雖有時應將正弦曲線約略繪出或默想其圖形，以得其變化之明白觀念，惟通常不入實際計算之內。

第二十八章 交流電路

254. 自感應 凡通過一電路中之電流變化時，則應成一自感應電勢，以反抗電流之變動，前已言之(閱第十章)。關於此點，讀者可重習第十章。

在圖 231 中，當開關 s 關閉時，電流開始流動於線圈中，而當此

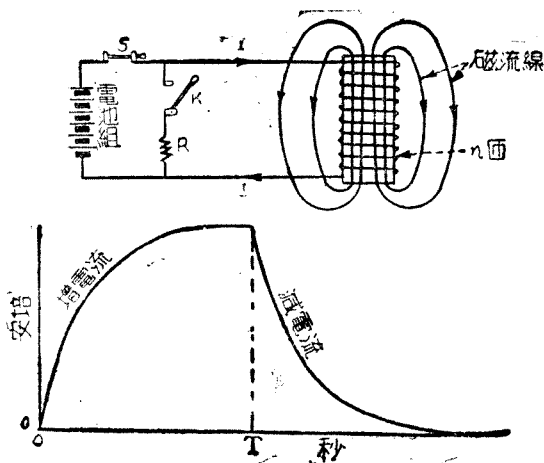


圖 231. 線圈中電流之增生與衰落

電流增加時，穿過線圈之磁流亦隨之而增。因磁流之變化，線圈中應成一自感應電勢，依楞次定律(§2 節)，其作用之方向為反抗電流之增大。

設於電流達其最大值後，關閉開關 s 而驟開開關 s ，則線圈中

之電流減低，穿過線圈之磁流亦隨之而減，使應成一自感應電勢，其方向反對電流之減低。故電流並不即時停止，但逐漸消失。此種電路中電流之孳生與衰落情形，如圖 231 之曲線所示。

255. 接與斷火花發火法 煤氣機氣缸中氣體之發火方法之一，係根據上述感應電路之性質；其機構之主要部分如圖 232 所示。

接觸點 x 關閉時，電流依箭頭方向流動。當偏突輪 c 達其預定位置時，彈簧 s 開斷接觸點 x ，而感應圈 L 保持電流跨過空隙。

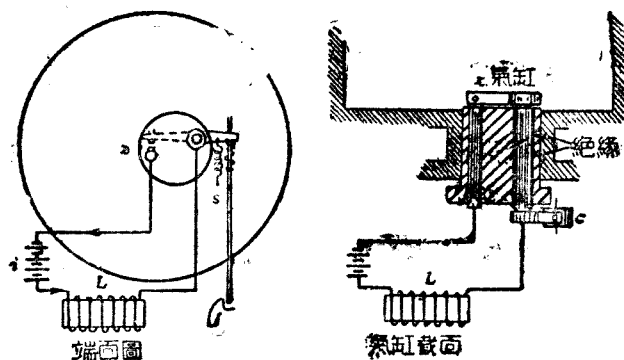


圖 232. 接與斷氣缸發火法

電路中電流之變化如圖 231 所示，故接觸點 x 之關閉時間，須相當長久，使電流可增至其全值，但不必關閉過久，否則電池上之電流將無謂空流。

256. 電感 自感係數 若圖 231 中電流 i 變動，則磁流 ϕ 亦隨之變動，因之線圈中發生一自感電壓，其值依一伏特定義（33 節）為

$$e_{st} = -n \frac{d\phi}{dt} 10^{-8} \text{ 伏。}^* \quad (20a)$$

表示此電壓，通常以電流之變動代替電流所生磁流之變動，故吾人可書之爲：

$$e_{st} = -L \frac{di}{dt} \text{ 伏} \quad (21)$$

此處 L 爲一常數，稱曰此電路之電感 (inductance) 或自感係數 (coefficient of self-induction)，自 (20a) 及 (21) 式，其值爲

$$L = n \frac{d\phi}{di} 10^{-8} \text{ 亨}^{**} \quad (22)$$

電路中之電感爲電路之一常數，正與電阻相似。

須注意者，若電感 L 爲一常數，則 $\frac{d\phi}{di}$ 必爲常數；亦即 ϕ 必與 i 成比例，而其意謂此磁路無飽和也。在多數實際情形中，其磁路並不飽和，故 L 之值確爲或約爲常數。在本章所論電路中，電感 L 俱假定爲常數。

如 ϕ 與 i 成比例，則 $\frac{d\phi}{di}$ 爲常數，且可等於 $\frac{\phi}{i}$ ，而 (22) 式可爲

$$\begin{aligned} L &= \frac{n\phi}{i} 10^{-8} \text{ 亨} \\ &= (\text{每安培通鏈}) \times 10^{-8} \end{aligned} \quad (23)$$

* 所以用負號者，因此電勢之方向使其所生之電流，反抗磁流之變動也。

$\frac{d\phi}{dt}$ 爲代表 ϕ 之變化率之符號，以每秒力線數計。

** $\frac{d\phi}{di}$ 爲代表對於 i 之變化率，以每安培力線數計。

電的計算中電路內之電感，與機械計算中物體之質量相似。在力學中，一物體用以反抗其速度之任何變動之機械力 = 質量 × 加速度

$$= M \frac{dv}{dt}.$$

在電學中，一電路用以反抗其電流之任何變動之電勢 = 電感 × 該電流加速度

$$= L \frac{di}{dt} \text{ [閱(21)式].}$$

故物體質量之磅數，等於給予此物體每秒每秒 1 呎之加速度所需力之磅達數，而一電路電感之亨數，等於給予電流每秒 1 安之加速度（非每秒每秒 1 安，因安已含有‘每秒’之意，係等於每秒 1 庫）。所需電勢之伏數。

‘電感’，‘自感應’，及‘自感係數’三名詞，均與同一現象有關，最易使初學者混淆；此基本之事應能辨別之。

電路之電感，指此電路用以反抗電流之變動之性質，以亨計。

自感應指增減電路內之電流所發生磁流之增減，應成一電勢於電路內之過程。

一空心線圈 無論其是否聯接於電路內，具有一定量之電感，惟此線圈之有自感應，則僅存在於此線圈內經過之電流變化時。

自感係數與電感為同義名字。在工程界中電感為較普通之名詞。

2.7. 有感電路中之交流 因有感電路 (inductive circuit) 內電

流之任何變動，生一自感反電勢以反抗此種變動，故輸入之交流經一有感電路，將繼續發生此反電勢。今將進而證明，如以正弦曲線 $i = I_m \sin \theta$ 代表電流，圖 233，則自感電勢將為滯於電流曲線後 90 度之另一正弦曲線如 e_{si} 所示。

自 o 至 a 時間中，電流增大，而自感電勢 e_{si} 反抗其增大，必須為負。自 a 至 b 電流減小，故 e_{si} 必為正。在瞬間 a 時，電流既不增大又不減小， e_{si} 必為零。同理，自 b 至 c ，電流自零減小至 $-I_m$ ，故 e_{si} 必為正，而自 c 至 d ，電流增大， e_{si} 必為負。在 c 點，電流既不增大又不減小， e_{si} 必為零。 e_{si} 之大小與電流之變化率成比例〔(21)式〕。故 i 變動最速時 e_{si} 最大，即在 o, b 及 d 諸瞬間。

今已求得 e_{si} 曲線上各零點及最大點。全曲線可依尺度繪之如下：

分圖 233 之圖形為等闊之垂直狹小條。使 θ_1 及 θ_2 為任一狹條兩邊 θ 之值，則在此角度變化中所生 i 之變化，等於 $I_m \sin \theta_2 - I_m \sin \theta_1$ 。

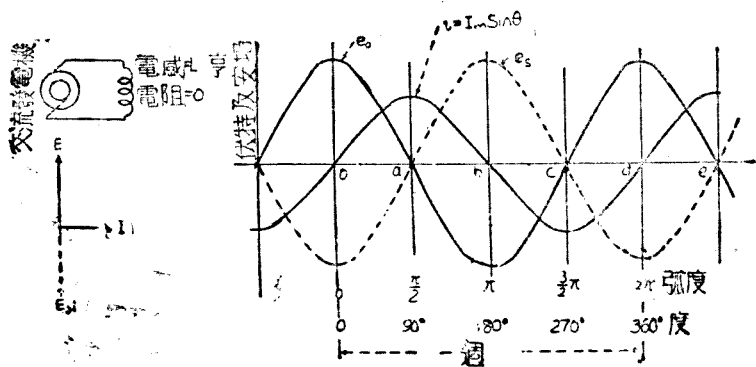


圖 23 純感應電路內電壓與電流之關係

此 i 之變化，以相當於角度變化之時間除之，得在此時間內之電流變化平均率，以此變化率與電感 L 相乘時，即得此時間內 e_{si} 之平均值。

若每狹條 e_{si} 之平均值，均以此法計算之，並繪之於狹條之中線上，則所得各點即成 e_{si} 正弦曲線，圖 233。曲線之振幅當與所選用之尺度有關。條愈狹，則所得之點亦愈準確。

欲作上述計算，須知頻率 f 之每秒週數，否則相當於 $\theta_2 - \theta_1$ 之時間不能計算也。

因自感電壓 e_{si} 為一種反抗電路內電流變化之電勢，故使電流繼續變化所需之外施電勢之值，常須大於自感反電勢，其差為使電流經過電路電阻所需之電勢。故若 e_a = 外施電勢，則在任何瞬間， $e_a = -e_{si} + iR$ 。在圖 233 之極端情形中，即 $R = 0$ 時， $e_a = -e_{si}$ ，外施電勢之曲線，僅為 e_{si} 曲線之倒形。

故在純感應電路內 電流滯於外施電勢後 90 度。

258. 電壓與電流之關係 在 2.7 節中已明示。如其電流曲線為一正弦曲線，則電勢之曲線可以逐點繪成，以確定其為正弦曲線，今若承認其為正弦曲線，則其大小可準確求之如次：

在圖 233 中，電流 i 在半週時或 $\frac{1}{2f}$ 秒內，自 $-I_m$ 變至 I_m ，故其

$$\text{平均變化率} = 2I_m \div \frac{1}{2f} = 4fI_m \text{ 每秒。}$$

自感應之平均電壓等於電感之亨數乘電流之平均變化率。

$$\text{故平均電壓：} \quad E_{av} = 4fLI_m \quad (24)$$

而最大電壓，

$$E_m = \frac{\pi}{2} E_{av} \quad (244 \text{ 節})$$

$$= 2\pi f L I_m \quad (25)$$

因有效值等於最大值除以 $\sqrt{2}$ ，

$$\text{有效電壓 } E = 2\pi f L I. \quad (26)$$

在直流中，電路內伏與安之比，稱曰電路之電阻，以歐計。而以字母 R 表之，故 $E = IR$ 。

在交流之純感應電路中，電壓之有效值與電流之有效值之比，稱曰電路之電抗或感抗 (reactance 或 inductive reactance)，亦以歐計。電抗以字母 X (或 X_L) 表之，故 $E = IX$ ，而由 (26) 式，

$$X = 2\pi f L, \quad (27)$$

257 及 258 節之結果，可以微積分求之，更為精確而明晰：

已知一如圖 233 所示之線圈有電感 L 亨及其電阻為零，求使交流 $i = I_m \sin \theta$ 經過此線圈之外施電勢。

使 $f =$ 頻率，以每秒週數計。

在一週之末， $\theta = 2\pi$ 弧度。

在 f 週之末，即一秒之末， $\theta = 2\pi f$ 弧度。

在 t 秒之末 $\theta = 2\pi f t$ 弧度。

因此 $i = I_m \sin 2\pi f t$ 。

使 $e =$ 在任何瞬間之外施電壓之值。

則

$$e = L \frac{di}{dt}$$

$$= L \frac{d}{dt} (I_m \sin 2\pi f t)$$

$$\begin{aligned}
 &= 2\pi f L I_m \cos 2\pi f t \\
 &= 2\pi f L I_m \cos \theta \\
 &= 2\pi f L I_m \sin(\theta + 90^\circ)
 \end{aligned} \tag{28}$$

此示外施電勢之圖形爲一正弦曲線而越於電流前 90 度。

正弦函數之最大值爲 1。故

$$\begin{aligned}
 E_m &= 2\pi f L I_m \\
 \text{及} \quad E &= 2\pi f L I \\
 &= IX, \text{ 此處 } X = 2\pi f L,
 \end{aligned} \tag{29}$$

須注意者，設 E 之大小爲一定，則電流 I 與頻率成反比。

例：——60 週，110 伏(有效值)之交流電勢，通電流 2.2 安(有效值)經過一無電阻之電感圈。求 60 週時之電抗及電感。頻率爲 30 週時其電流爲若干？

$$\text{電抗 } X = \frac{E}{I} = \frac{110}{2.2} = 50 \text{ 歐}$$

$$\text{電感 } L = \frac{X}{2\pi f} = \frac{50}{2\pi \times 30} = 0.133 \text{ 亨。}$$

$$\text{在 30 週時} \quad X = 2\pi f L = 2\pi \times 30 \times 0.133 = 50 \text{ 歐。}$$

$$\text{及} \quad I = \frac{E}{X} = \frac{110}{25} = 4.4 \text{ 安。}$$

259. 有感電路內之功率 任何瞬間電路中之功率瓦數，爲此瞬間中電路內電壓 e 及電流 i 之乘積。在電阻可略之感應電路內，電流滯於外施電壓後 90 度，表示 e 及 i 之曲線如圖 234 中之細線所示。

在 a 及 b 兩瞬間，電壓之值爲零，故此時之功率爲零。在 $g, d,$ 及 f 等瞬間，電流之值爲零，故功效亦爲零。 g 及 a 兩點間之電壓與電

流為同向，故功率為正，亦即電能加入於此電路之謂。而 a 及 d 間之電流與電壓適反向，故功率為負值，亦即自此電路取出電能之謂；此電路內之平均功率為零。在四分之一週 g 至 a 間，加入線圈之能儲藏於孳生磁場中，磁場衰落時則能量還原。

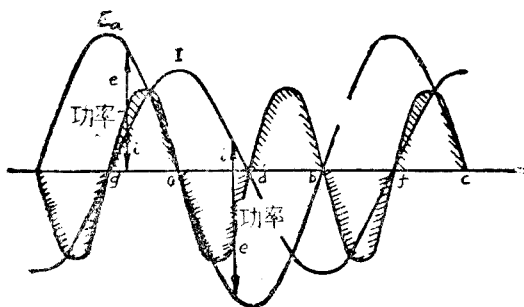


圖 231. 有感電路中之電壓，電流及功率

260. 機械解說 圖 233 及 234 之曲線及相關之理論，並非為交流所特有。各種電的或機械的往復運動，均可應用之。例如圖 235 中所示，以彈簧繫一物質 M 於一光滑之水平面上，如將物質 M 向左移動，則一彈簧壓縮，而他彈簧伸長，迨釋放後，則物質以單諧運動前後振盪，其速度可以圖 233 中之電流曲線 i 表之。彈簧加於物質之力為外施電勢 e_a 之曲線所示，在 M 行程之中點，此力為零，此處 M 之速度為最大；在 M 行程之兩端，彈簧之力最大，而 M 之速度為零，故力與速度之曲線之相差為 90 度，如圖所示。至物質作用於彈簧之力，則如曲線 e_s 所示，其值自與彈簧加於物質之力相反而相等。

任何瞬間之功率，等於彈簧所施之力與 M 速度之乘積，以圖 234

之功率曲線表之。在四分之一週自 g 至 a 間，彈簧施力於運動之方向，故作功於物質上。此功成爲動能，而儲於物質之內。在第二四分之一週自 a 至 b 間，彈簧反抗運動而使 M 停止，故物質作功於彈簧之上，而功儲於變形彈簧之內。如此能量往返於物質及彈簧間，其在任何一方向放出之平均能量均爲零。在交流電路之情形亦然，在

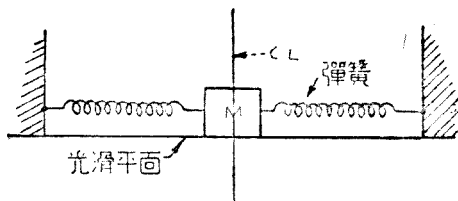


圖 235.

四分之一週自 g 至 a 間，能量儲藏於線圈之磁場內。在第二四分之一週間，則歸還於交流發電機。交流發電機上之功率負載爲脈動式，交互正負，但交流發電機之轉動慣量，使此等脈動幾全平去，故對於驅動發電機之引擎不受影響。交流發電機內電流 i 之平均減速轉矩爲零，故驅動引擎所需之轉矩，不受連接電感圈 L 之影響

注意以上所述，並非相似。僅爲解釋往復運動普通原理之另一例。在不同情形下，吾人在習慣上雖應用不同之符號。然圖 233 及 234 之曲線及基本方程式，可應用於一切例題中。

261. 感應與非感應電路之舉別 電感 $L = \frac{n\phi}{i} 10^{-8}$ [(23)式]，故欲得一大電感，在一定電流 i 時，其電路須鏈以大量之磁流 ϕ 。圖 236 中線圈 B 之電感，遠較線圈 A 之電感爲大，蓋前者加以鐵心 C ，其磁流 ϕ 大爲增加也。

可調準電感之一形式，如圖 237 所示。設將橫鐵片 mn 移近兩極 pq ，磁路中之磁阻大減，因之一定之電流 i 發生較大之磁流 ϕ ，而電感亦隨之增加。

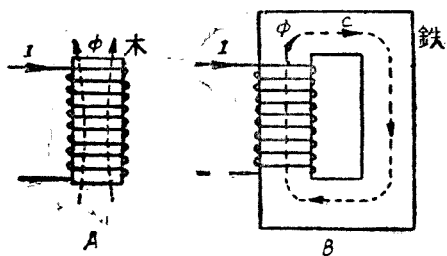


圖 236. 有感電路

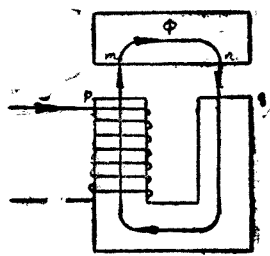


圖 237. 可調準電感

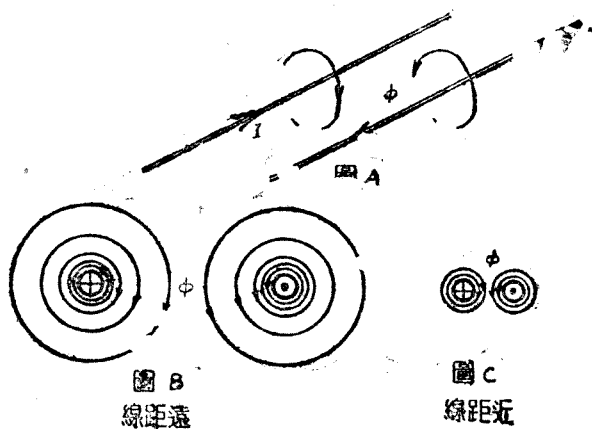


圖 238. 磁流繞於輸電線

白熱燈燈絲之電感較其電阻可略去不計，因所繞之匝數少，而磁流須經之途徑並不含鐵，且產生此磁流之激磁線圈僅二三匝。故 ϕ 小而 $L = \left(\frac{n\phi}{i}\right) 10^{-9}$ 之值可略去不計。反言之，其電阻之值則甚

大，一 100 瓦之鎢絲燈其電阻約為 132 歐。

輸電線雖僅有一匝，然其電感之值不可不計，蓋此一轉之線路甚長，而為大量磁流 ϕ 所環鏈，尤以兩線相距遠時為甚，如圖 238 所示，因兩線間之地位，可供大量磁流通過也。

二線相近之簡單長迴線，如圖 239 所示，其電感甚小，因兩線間無甚空間可供磁流通過也。無感應電阻，係製成狹長迴線之形，然後繞成如圖 *B* 所示之狀。*a* 與 *b* 間之電阻可至甚大，而其電感則甚小。

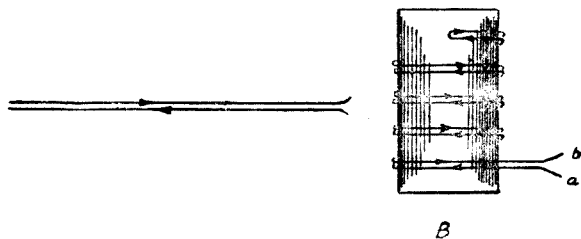


圖 239. 非感應電阻

262. 電阻電路內之電壓，電流，及功率 設加交流電壓於一非感應電路，其電阻為 R ，因無自感電勢以反抗電流之變動，故任何瞬時電流 i 之值 = $\frac{e}{R}$ ，且隨電壓之增減而增減，即與電壓同相，如圖 240 所示，

$$\begin{aligned} \text{設} & \quad e = E_m \sin \theta, \\ \text{則} & \quad i = I_m \sin \theta \\ \text{此處} & \quad I_m = \frac{E_m}{R}. \end{aligned}$$

在 *a, b, c* 及 *d* 各瞬間，電流與電壓兩者俱為零，故電路中之功率

爲零，此外功率均爲正；即電能輸入於電路而絕無再回返者。

平均功率 = ei 之平均值

$$= (E_m \sin \theta \times I_m \sin \theta) \text{ 之平均值}$$

$$= E_m I_m (\sin^2 \theta \text{ 之平均值})$$

$$= \frac{E_m I_m}{2} \text{ (閱 246 節)}$$

$$= \frac{E_m}{\sqrt{2}} \times \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$= EI = I^2 R, \text{ 因 } E = IR。$$

此處 E 及 I 爲有效值。故在一非感應電路內，其平均功率爲其電壓與電流有效值之乘積。

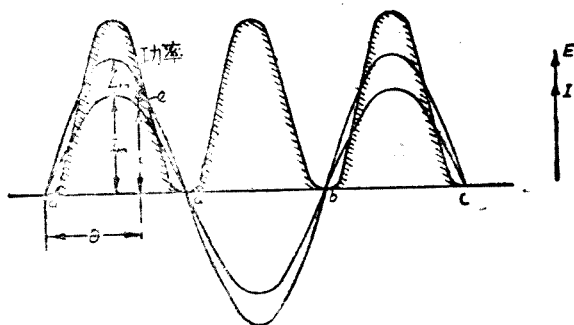


圖 40. 電阻電路內之電壓 e ，電流 i ，及功率 $e \times i$ 。

263. 電阻與電感串聯 此爲實際上最常見之電路，一切電路幾俱含有電阻與電感。

若交流 $i = I_m \sin \theta$ 經過一電阻 R 與電感 L 串聯之電路，如圖

241 所示，則通電流經過電阻 R 所需之電勢為 e_R 正弦曲線，與 i 係同相 (262 節)，而用以使電流經過電感 L 所需之電勢為 e_L 正弦曲線，越於電流 i 前 90 度 [253 節, (28) 式]。在任何瞬間中，交流機所施於此電路之總電勢為 $e = e_R + e_L$ 。

曲線 e 可自一週上各點之 e_R 及 e_L 之相當值相加而求得之，惟如 253 節所示，若作一平行四邊形，其相鄰兩邊等於兩正弦曲線之有效值，而其夾角等於二正弦曲線之相角時，則其對角線將等於此兩正弦曲線之和之有效值。此處正弦曲線 e_R 及 e_L 之相差為 90 度；故此平行四邊形為一長方形，如圖 241 所示。

$$\text{故} \quad E = \sqrt{E_R^2 + E_L^2} \quad (30)$$

此處 E , E_R 及 E_L 各為 e , e_R 及 e_L 之有效值。

今 $E_R = IR$, 及 $E_L = IX$ 此處 $X = 2\pi fL$,

$$\begin{aligned} \text{故} \quad E &= \sqrt{(IR)^2 + (IX)^2} \\ &= I\sqrt{R^2 + X^2} \\ &= IZ. \text{ 此處 } Z = \sqrt{R^2 + X^2} \end{aligned} \quad (31)$$

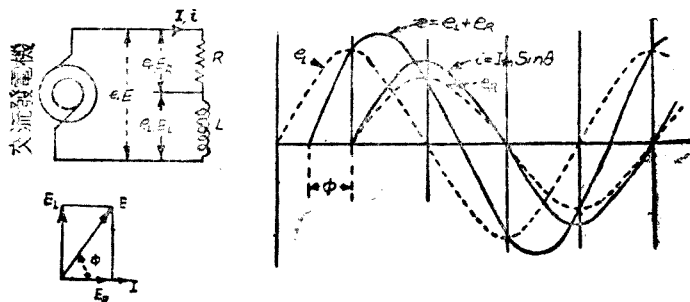


圖 241. 電阻與電感串聯之電路。電壓與電流， e , e_R 及 e_L 為電壓之瞬時值； E , E_R 及 E_L 為電壓之有效值。

電路之阻抗(impedance)之義，定為其外施電勢之有效值，與其結果電流之有效值之比，以字母 Z 表之。

注意上述情形中，若 $L=0$ ，則 $X=0$ ， $Z=R$ ，此即為交流經過一純電阻電路內之情形(262節)。

又若 $f=0$ ，則 $X=0$ ， $Z=R$ ，此為直流情形。

又若 $R=0$ ，則 $Z=X$ ，此係交流經過純感應電路情形(258節)。

在上述情形中，任何瞬間之功率等於伏與安之乘積 = ei 瓦。將此一週間各點之乘積繪出，則得如圖 242 所示之功率曲線。此係一自零軸上移之雙倍頻率正弦曲線。

因此等曲線繪於時間基線 ($\theta = 2\pi ft$ 弧度) 上，故功率曲線下

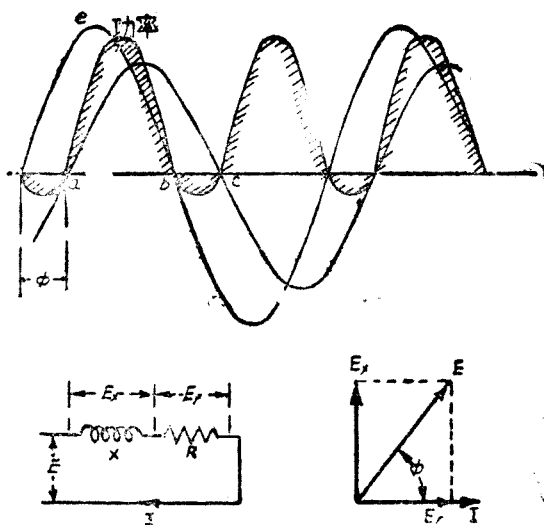


圖 242. 電阻與電感串聯電路中之電壓 電流及功率

之面積代表發出之能量或完成之功。在 a 至 b 時期中，外施電勢與電流同方向，故交流發電機加能量於電路中。自 b 至 c ，則感應圈回還能量於交流發電機，電阻 R 所吸收之能量變為熱，並不回還。

輸入於電感圈 L 之平均功率為零（259 節）。輸入於電阻 R 之平均功率等於 $E_R I$ 瓦（262 節）。故輸入於此電路之平均功率為

$$\begin{aligned} \text{平均功率} &= E_R I \text{ 瓦} \\ &= EI \cos \phi \text{ 瓦。} \end{aligned} \quad (32)$$

此處 $\cos \phi$ 稱曰電路之功率因數 (power factor)。

264. 功率因數 交流電路中之功率因數之定義為 $\frac{\text{實在功率}}{\text{視在功率}}$ 之比（美國電機工程師學會標準），視在功率 (apparent power) 作為電壓與電流有效值之乘積。

伏安 (volt-ampere) 一詞漸取視在功率一詞而代之，半因伏安描寫較為切實，而半因電壓與電流有效值之乘積，對於任一熟悉交流流動者，不致認之為功率也。功率因數之定義在下次修正時，或將改訂。

在任何電路中，其外施電壓 E 與電流 I 間之相角等於 ϕ ，則

$$\begin{aligned} \text{功率因數} &= \frac{\text{瓦數}}{\text{伏安數}} \\ &= \frac{EI \cos \phi}{EI} \\ &= \cos \phi \end{aligned}$$

此值恆小於一。功率因數實用上常以百分數表之，最大可能之功率

因數為百分之五。鎢絲燈之電燈負載，其功率因數幾為百分之 100，因其電感與電阻相較，可以略去不計也。自一方面言之，以感應電動機為主之工廠負載，功率因數鮮有高於百分之 85 者，設電動機負荷輕載，可低至百分之 40。低功率因數為任何負載中之缺點。一電廠之負載之功率因數倘為百分之 50 則其情形正如一百貨商店售出之貨物，有半數被退還者。因各物在運送確定之前須運送兩次，是運送之費用必須加倍也。

設功率為一定，則因功率 $= EI \cos \phi$ ，所需之電流與功率因數成反比，一百分之 50 功率因數負載所需之電流，必倍於百分之 100 功率因數負載所需者。故銅線之成本倍增，而 I^2R 功率損失亦加增（233 及 234 節）。低功率因數之其他缺點將述之於後。

因電廠荷一定任瓦負載之費用，在低功率因數時較在高功率因數時為大，其唯一合理辦法，為電力公司對於低功率因數之負載，應徵收額外費用。此額外費用通常作為功率因數罰金，因其含有責罰之意。實際上此費因其有額外任務而使然也。

例：設一 25 歐電阻與一 6 週時 50 歐之感電抗串聯而跨接於 110 伏之電源上；求在 30, 60, 及 120 週時之電流及跨越此電路兩部分之電壓與電路內之功率。

茲將其計算列表如下：

頻率	R , 歐	$X = 2\pi fL$	$\sqrt{R^2 + X^2}$	I	E_r	E_x	$\cos \phi$	瓦
30	25	25	35.4	3.10	78	78	0.71	240
60	25	50	56.0	1.96	49	98	0.44	93
120	25	100	103.0	1.07	27	107	0.24	29

265. 瓦特計 交流電路中之功率可以力測計式之儀器稱為瓦特計 (wattmeter) 者量之, 其構造如 249 節所述, 其接法如圖 243 所示。線路電流 i 經過靜線圈 A , 而經過轉動線圈 C 之電流則與電壓 e 成正比, 且與之同相, 因線圈 C 之電感與加入之電阻 r 相較, 可略而不計也。

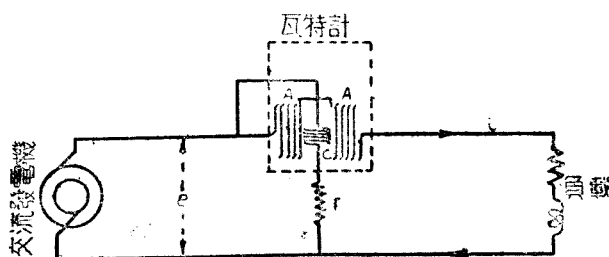


圖 243. 瓦特計連接法

轉圈 C 既載有電流, 且位於磁場之內, 故受力之作用, 有使之依垂直軸而轉動之勢, 而此力與線圈中電流及磁場強度成正比。當此種儀器聯接如圖 243 時, 磁場與電流 i 成正比, 其轉圈中之電流則與電壓 e 成正比, 其平均轉力與 $e \times i$ 之平均值或電路之平均功率成正比。

瓦特計可用於直流電路一如交流然, 惟直流似無此需要, 因其功率常等於伏特計與安培計示數之乘積也。

例: 設在圖 243 所示之電路中

有效電壓 $E = 100$ 伏

有效電流 $I = 40$ 安

及 $W = 4000$ 瓦, 用瓦特計測得者,

$$\begin{aligned}
 \text{則此電路之功率因數} &= \frac{\text{瓦數}}{\text{伏數} \times \text{安數}} \\
 &= \frac{4,000}{100 \times 50} \\
 &= 0.8,
 \end{aligned}$$

電流與電壓間之相角係餘弦為 0.8 之角或 37 度。

故功率因數可用瓦特計，伏特計，及安培計量之。

266. 電阻與電感並聯 若加一交流電壓 E 於一含有電阻 R 與電抗 X 並聯之電路，如圖 244 所示，則有一電流 $I_r = \frac{E}{R}$ 經過電阻 R ，且與 E 同相，而另一電流 $I_x = \frac{E}{X}$ 經過電抗，且滯於 E 後 90 度。自電源流出之總電流，為 I_r 與 I_x 兩部分之矢量和，可求之如下。

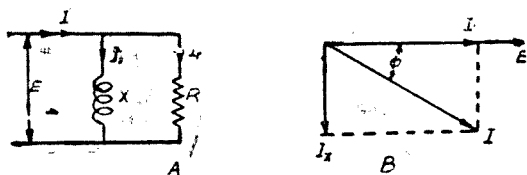


圖 244. 並聯電路矢量圖

在任何方向作一矢量 E 。

依尺度作一矢量 $I_r = \frac{E}{R}$ ，與 E 同相（閱 262 節）

依尺度作一矢量 $I_x = \frac{E}{X}$ ，滯於 E 後 90 度（閱 257 節）

則 $I = I_r$ 與 I_x 之矢量和

$$= \sqrt{I_r^2 + I_x^2}.$$

$$\text{功率因數} = \cos \phi = \frac{I_r}{I}$$

$$\text{功率} = EI_r = EI \cos \phi。$$

若 Z = 電阻與電感連合之阻抗，則

$$Z = \frac{E}{I} \text{ (依阻抗定義)}。$$

如此完成其解答如通常所應用者，但吾人將進而證明，可用 R 及 X 以表 Z 之值。

$$\begin{aligned} Z &= \frac{E}{I} = \frac{E}{\sqrt{I_r^2 + I_x^2}} = \frac{E}{\sqrt{\left(\frac{E}{R}\right)^2 + \left(\frac{E}{X}\right)^2}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X^2}}} = \frac{RX}{\sqrt{R^2 + X^2}} \end{aligned}$$

在串聯電路中，電流為電路各部所公有，故電流矢量可取為矢量圖之基線。反之在並聯電路內，加於電路內各支路之電壓相同，故電壓矢量取為矢量圖之基線。

例：設一25歐之電阻與一30週時10歐之感電抗並聯而跨接於110伏，求在30、60及120週時電路各部分之電流及其總電流。

茲將其計算列表如下：

頻率	R 歐	$X = 2\pi fL$	I_r	I_x	I	$\cos \phi$	瓦
30	25	25	4.4	4.4	6.20	0.710	485
60	25	50	4.4	2.2	4.93	0.890	485
120	25	100	4.4	1.1	4.56	0.966	485

267. 單相輸電線 輸電線含有電阻與電感，故可以圖 245 A 表之，發電廠電壓之有效值 E_g ，為端電壓 E_t ，線路電阻位降 IR ，及線路電抗位降 IX 之矢量和。

先就功率因數為百分之 1.0 之負載，例如電燈負載論之。各電壓間相之關係，在百分之 100 功率因數時，如圖 B 所示。

在任何方向作一矢量 I 。

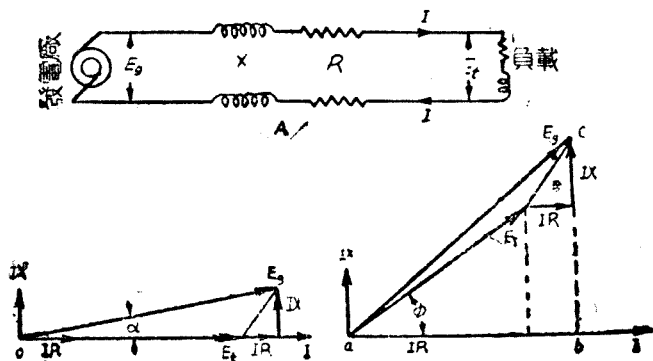
依尺度作矢量 E_t 等於用電處電壓。因功率因數為百分之 100，故 E_t 與 I 同相。

依尺度作一矢量 $= IR$ 與 I 同相。

依尺度作一矢量 $= IX$ 越於 I 前 90 度。

矢量 E_g 即為 E_t ， IR ，及 IX 等之矢量和，其值可直接量得，或計算之如下：

$$E_g = \sqrt{(E_t + IR)^2 + (IX)^2} \quad (33)$$



B. 百分之 100 功率因數

C. 百分之 80 功率因數

圖 245. 輸電線之矢量圖

因線路上電感中無功率損失，故總損失全在電阻，其值為 I^2R 瓦。

線路電阻與電抗之值，常以每哩歐數表之，如下表：

表 II

線之大小		在 20 °C. 之電阻 每哩歐數	在 60 週時每哩線之感抗			
美規 (B. & S.)	圓秘爾		兩線相距 24 吋	兩線相距 48 吋	兩線相距 72 吋	兩線相距 96 吋
0000	211,600	0.258	0.524	0.678	0.723	0.763
000	137,800	0.326	0.608	0.692	0.742	0.776
00	137,100	0.411	0.622	0.703	0.756	0.790
0	105,500	0.518	0.637	0.721	0.770	0.804
1	83,600	0.653	0.650	0.735	0.784	0.819
2	66,370	0.824	0.655	0.749	0.797	0.833
4	41,740	1.309	0.393	0.777	0.826	0.860
6	23,250	2.082	0.721	0.805	0.854	0.889

習題 輸送 30 週，2,200 伏之電力 75 仟瓦，至 5 哩長輸電線之末端 所用之線為美規 0 號，兩線相距 48 吋。求發電廠之電壓及線路之功率損失，設負載之功率因數為 (a) 百分之 10，(b) 百分之 8，其電流為滯後。

a. 百分之 100 功率因數負載

$$E_t I \cos \phi = \text{瓦數} = 75,000 \quad \text{及} \quad \cos \phi = 1.$$

$$\text{故} \quad I = \frac{75,000}{2,200} = 34.1 \text{ 安.}$$

$$\text{每哩單線之電阻} = 0.518 \text{ 歐,}$$

$$\text{五哩雙線之電阻} = 5.18 \text{ 歐,}$$

$$\text{每哩單線之電抗} = 0.721 \text{ 歐,}$$

$$\text{5 哩雙線之電抗} = 7.21 \text{ 歐,}$$

$$IR = 34.1 \times 5.18 = 177 \text{ 伏,}$$

$$IX = 34.1 \times 7.21 = 246 \text{ 伏,}$$

$$\begin{aligned} E_0 &= \sqrt{(E_t + IR)^2 + (IX)^2} \\ &= \sqrt{(2,200 + 177)^2 + 246^2} \\ &= 2,390 \text{ 伏.} \end{aligned}$$

$$\text{發電廠之功率因數} = \cos \alpha = \frac{2,377}{2,390}$$

$$= 99.5 \text{ 百分數}$$

$$\text{線路功率損失 } I^2R = 34.1^2 \times 5.18 = 6,023 \text{ 瓦.}$$

$$\text{發出功率} = 75 \text{ 仟瓦 (題中說明).}$$

$$\text{線路輸入功率} = 75 + 6.023 = 81.023 \text{ 仟瓦.}$$

$$\text{輸電效率} = \frac{\text{輸出}}{\text{輸入}} = \frac{75}{81.023}$$

$$= 92.6 \text{ 百分數}$$

2. 百分之 80 功率因數負載, 滯後。

$$I = \frac{\text{瓦數}}{E_t \cos \phi} = \frac{75,000}{2,200 \times 0.8} = 42.5 \text{ 安.}$$

$$\text{線路電阻 } R = 5.18 \text{ 歐.}$$

$$\text{線路電抗 } X = 7.21 \text{ 歐,}$$

$$IR = 42.5 \times 5.18 = 220 \text{ 伏,}$$

$$IX = 42.5 \times 7.21 = 307 \text{ 伏,}$$

在任何方向作一矢量 I (閱圖 245 C),

依尺度作一矢量 $E_t = 2,200$ 伏, 與電流矢量 I 成角 $\phi = \cos^{-1} 0.8$,

依尺度作一矢量 $IR = 220$ 伏與 I 同相。

依尺度作一矢量 $IX = 307$ 伏, 越於 I 前 90 度。

矢量 E_0 為 E_t , IR , 及 IX 等之矢量和, 其值可測定或計算之如下:

$$\begin{aligned}
 E_0 &= \sqrt{(ab)^2 + (b_1)^2} \\
 &= \sqrt{(E_t \cos \phi + IR)^2 + (E_t \sin \phi + IX)^2} \\
 &= \sqrt{(2,200 \times 0.8 + 220)^2 + (2,200 \times 0.6 + 3.7)^2} \\
 &= \sqrt{1,980^2 + 1,627^2} \\
 &= 2,560 \text{ 伏。}
 \end{aligned}$$

線路功率損失 = $I^2 R = 42.5^2 \times 5.18 = 9,456$ 瓦。

$$\text{輸電效率} = \frac{75}{75 + 9.456} = 88.9 \text{ 百分數。}$$

上題示功率一定時，線路之電壓調整與輸電效率，所受功率因數變化之影響。

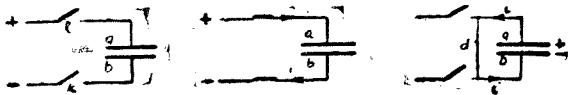
在百分之 100 功率因數時

$$E_0 - E_t = 2,390 - 2,200 = 190 \text{ 伏。}$$

在百分之 80 功率因數時

$$E_0 - E_t = 2,560 - 2,200 = 360 \text{ 伏。}$$

是故負載之功率因數自百分之 100 降低至百分之 80 時，線路電位降落自 190 伏增加至 360 伏，而輸電效率則自百分之 92.6 減至百分之 88.9。因此，降低功率因數不僅增加線路損失，亦且使電廠之維持用戶正常電壓更為困難也。



A. 無電荷容電器 B. 容電器充電及儲電 C. 容電器放電及給電

圖 246. 容電器之充電及放電

2C8. 容電器 兩導體間隔以絕緣之物質則成所謂靜電容電器 (condenser)。在圖 246 之 A，容電器之兩導片 a 及 b 之電位相同。開

關 k 關閉時，有一瞬時電流 i 依圖 B 中箭頭之方向流過，而此容電器謂之充電； a 片之電位升至如正線端之值， b 片則降至負線端之值，兩片間之電位等於線路電壓。

今若開斷開關 k ，導片間之電壓保持不變，此時即有電量或電荷儲留於容電器中。

欲使容電器放出電荷，則此互相絕緣之導片間可連以導體如圖 C 之 d 線，使兩導片趨於等電位。如此聯接後一瞬時，電流之方向如圖所示，自正片至負片。

儲藏於容電器之電量稱曰電荷，等於流入容電器之平均電流，乘以電流流動之時間，或等於 $\int i dt$ ，此處 i 為任何瞬間之充電電流。在任何容電器中，其電荷與所施電壓成正比，或

$$q = Ce$$

此處 q 為電荷，以庫（安 × 秒）計，

e 為外施電壓，

C 為一常數，稱為容電器之電容（capacity），以法拉德（farad）計，或簡稱曰法。

設加 1 伏之電壓於 1 法電容之容電器之兩導片間，則存儲 1 庫之電荷。

一微法 = 百萬分之一法

大小一定之容電器之電容，與其兩導片間之絕緣材料或介質（dielectric）有關。若一容電器之介質為空氣時有電容 F 法，則用他種介質時，其電容為 kF 法。常數 k 稱曰此介質之介質常數（specific constant）。市上容電器之常用材料，其 k 之平均值如下表：

材料	介質常數
空氣	1
玻璃	4 (隨玻璃之質而變更甚大)
雲母	6
蠟紙	2

269. 電容電路之與直流及交流 電容電路 (capacitive circuit) 者，即含有容電器之電路也。若施一定電勢於圖 247 所示電路之兩端，則有一瞬時電流流過於圖 A 所示方向，將容電器充電，但電流並不繼續流通，因電路為導片間之絕緣體所斷也。

若將外施電壓反向，電流將如圖 B 所示之方向流動，至容電器電荷完全放出，而電流仍繼續在此方向流動，至容電器於相反方向再度充電為止，若外施電壓為交流，則充電電流將往返流動於 x 及 y 兩線上，其頻率與外施電壓之頻率同，如經過之電流足使燈絲發熱，則電燈 L 將發光。

容電器之電容愈大，所儲電量愈多，經過線中之充電電流亦愈大。

一容電器跨接於交流電勢之電路時，容電器兩端之電壓，將不斷變動，而電荷亦隨之變化如下：

$$q = Ce。$$

在實際容電器中，若 e 突然變動， q 不克隨之即時調整如上式，因引線及導片之電阻及電感關係，容電器不能在零時間內放電。在理想容電器中，其電阻與電感俱假定為零，故無論在充電或放電過程中，絕無阻礙，不論 e 之變動如何迅速，而方程式 $q = Ce$ 至為準確。

也。然通常容電器，如以良導線短接之，則約在百萬分之一秒時間內即能完全放電，故在電力及電話電路之頻率時， e 之變動較緩者，式 $q = Ce$ 用之於實際容電器，至為精確。

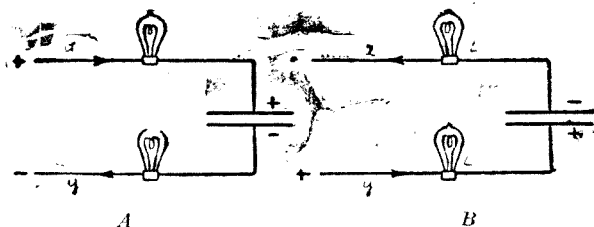


圖 247. 電容電路中電流之流動

因容電器每週充電放電二次，故充電率必與頻率成比例。是以充電電流與頻率及電勢成比例，且與容電器之電容成比例。

270. 電容電路內電壓與電流間相之關係 設加於圖 248 容電器之電壓如曲線 $e = E_m \sin \theta$ 所示，則與電壓成比例之電荷如曲線 q 所示。此容電器係交變充電於相反方向。在時間 a 及 c 中， P_1 為正，

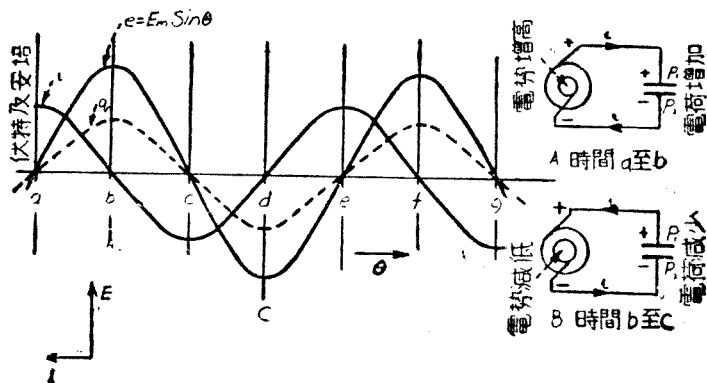


圖 248. 電容電路內之交流

而在 c 及 e 間, P_1 爲負。

在 b 及 d 時, 容電器中之電荷並不變更, 故線上之電流必爲零。

在 a 與 b 間, 電壓及電荷俱增, 而電流依外施電壓 e 之方向流動, 如圖 A 所示, 直至 b 時, 充電完全, 電流爲零; 如此得電流曲線上 a 與 b 時間中之一段 (閱圖 C)。

在 b 及 c 間, 電壓與電荷俱減, 故電流必自容電器流出, 即其方向與外施電壓 e 相反, 如圖 B 所示; 而成電流曲線上 b 及 c 時間中之一段。

在下半週 c 及 e 間, 容電器重行充電與放電, 惟方向相反; 故 c 及 e 間之電流曲線, 與 a 及 b 間相同, 惟其符號相反。

自此種曲線, 可知電流越於電壓前 90 度。

上述電容電路內, 電流與電壓間相之關係, 係假定電流業已流動若干秒者。在電路內關閉開關之時, 無論電勢之值爲何其電流顯必爲零。是故電流波在開關關閉後數週內, 大都爲非正常狀態, 但逐漸變化, 而變爲越於電勢前 90 度之規則波。

271. 電容電路內電壓與電流之關係 圖 248 容電器中電荷在四分之一週之時間, 或 $\frac{1}{4f}$ 秒中, 自零變至 $Q_m = CE_m$ 庫, 因電荷 = 平均電流 \times 時間, 故 $Q_m = CE_m = I_{av} \times \frac{1}{4f}$ 。

而平均充電電流 $I_{av} = 4fCE_m$ 安。

今最大充電電流 $I_m = I_{av} \times \frac{\pi}{2}$ [閱 2.4 節]

$$= \frac{\pi}{2} \times 4fCE_m = 2\pi fCE_m;$$

故 $I_{eff} = \sqrt{2} \pi fCE_{eff}$ 。

在直流電路中 $E = IR$; 在電容電路中 $E = IX_c$, 此處 X_c 稱曰容抗 (capacitive reactance), 以歐計之, 其值等於 $\frac{1}{2\pi fC}$ 。

270 及 271 節之結果, 可求之如下:

在 168 節中已明示 $q = Ce$. 故 $\frac{dq}{dt} = C \frac{de}{dt}$, 但 $\frac{dq}{dt}$ 為 i 。

$$\text{故 } i = C \frac{de}{dt}。$$

若施於電容電路之電壓為 $e = E_m \sin \theta$, 此處 θ 角之值為每週 2π 弧度, 或每秒 $2\pi f$ 弧度, 則電流等於

$$\begin{aligned} i &= C \frac{de}{dt} \\ &= C \frac{d(E_m \sin 2\pi ft)}{dt} \\ &= 2\pi f C E_m \cos 2\pi ft \\ &= I_m \cos \theta = I_m \sin (\theta + 90^\circ)。 \end{aligned}$$

故電流正弦波越於電壓正弦波前 90° ; 又 $E = IX_c$, 此處 $X_c = \frac{1}{2\pi fC}$ 。

例: 一 110 伏交流電勢, 在 60 週時通 2.2 安之電流經過電容電路。求在 60 週時之電抗及此容電器之電容。

$$\begin{aligned} \text{電抗, } X &= \frac{E}{I} \\ &= \frac{110}{2.2} = 50 \text{ 歐。} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{電容, } C &= \frac{1}{2\pi f X} \\ &= \frac{1}{2\pi \times 60 \times 50} = 5.3 \times 10^{-5} \text{ 法} = 53 \text{ 微法。} \end{aligned}$$

設施於上述電路之電壓係於一定於 110 伏, 求在 30 週, 60 週, 及 120 週時流經此電容之電流。

電流，

$$X = \frac{1}{2\pi fC}, \text{ 與頻率成反比。自上題在 } 6 \text{ 週時} = 50 \text{ 歐,}$$

電流, $I = \frac{E}{X}$, 與頻率成正比, 故其值在 30 週時為 1.1 安,

60 週時 2.2 安, 10 週時 4.4 安。

272. 並行板容電器 如上題所示, 一容電器以 53 微法之電容在 110 伏 60 週取 2.2 安之電流。此容電器之約略大小, 想為讀者所願知。

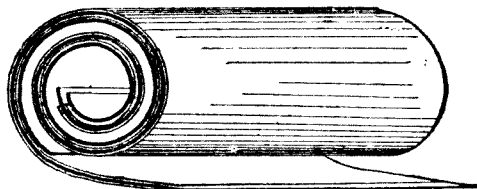


圖 249. 製造容電器之一法

並行板容電器 (parallel-plate condenser) 之電容, 以公式

$$C(\text{以法計}) = \frac{1}{4\pi} \times \frac{1}{9 \times 10^{11}} \times \frac{kA}{t}$$

表之, 此處 A 為每片之有效面積, 以平方厘米計,

t 為導片間之距離, 以厘米計,

k 為介質常數 (閱 268 節)。

例: 容電器構造如圖 249, 以銅箔為導片, 長 40 呎, 寬 3 吋, 以 0.0025 吋厚之蠟紙分隔之。

因每導片之兩面俱可有效,

$$A = 2 \times 40 \times 1 \times 1 = 2,800 \text{ 平方吋。}$$

$$= 18,600 \text{ 平方厘米。}$$

$$i = 0.0025 \text{ 吋} = 0.0063 \text{ 厘米}$$

$$k = 2.0$$

故

$$C = \frac{1}{4\pi} \times \frac{1}{9 \times 10^{11}} \times \frac{18,600}{0.0063} \times 2$$

$$= 0.53 \times 10^{-6} \text{ 法}$$

$$= 0.53 \text{ 微法。}$$

此種容電器可裝置於一 1.75 吋平方，4 吋深之錫匣中。

273. 電容電路中之功率 在任何瞬時，電路中之功率為此瞬時之電壓 e 電流 i 之乘積。在一電容電路中，電流越於外施電壓前 90

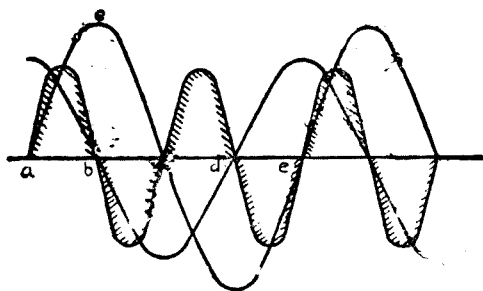


圖 250. 電容電路中之電壓 e ，電流 i 及功率 $e \times i$

度，表示 e ， i 及 ei 之曲線，示於圖 250。其最後之曲線，係得自各不同瞬時之 e 及 i 之相當值之相乘積。在 a 及 c 時，電壓為零，故功率為零，在 b 及 d 時電流為零，故功率亦為零。 a 與 b 間，電能儲藏於容電器內。而 b 及 c 間，容電器放出同一電能，是以所用電能之平均值為零。此電路之平均功率亦為零。

274. 電路習題中所用之公式:

電阻電路:

 $E = IR$; 電流與電壓同相, [閱 262 節]; 功率 = EI 瓦。

感抗電路:

 $E = IX$, 此處 $X = 2\pi fL$, [閱 258 節]; 電流滯於電壓後 90 度, [閱 257 節]; 平均功率為零。

容抗電路:

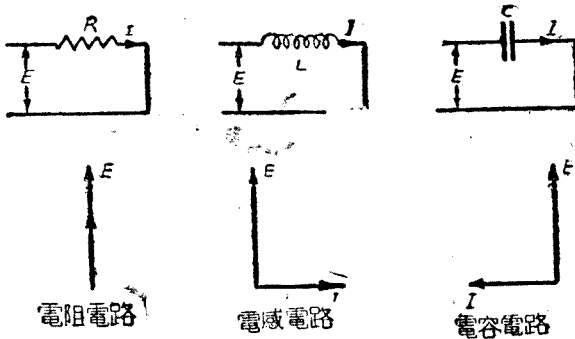
 $E = IX$, 此處 $X = \frac{1}{2\pi fC}$, [閱 271 節]; 電流越於電壓前 90 度 [閱 270 節]; 平均功率為零。

圖 251.

275. 用以改進功率因數之容電器 容電器之一重要應用, 為改良負載之功率因數, 以免受低功率因數之處罰。容電器與負載並聯如圖 252 所示。其所取電流 I_c , 越於電壓 E 前 90 度。設負載之功率因數為滯後, 則負載電流 I 滯於電壓後 ϕ 角, 於是線路電流 I_L 係 I 及

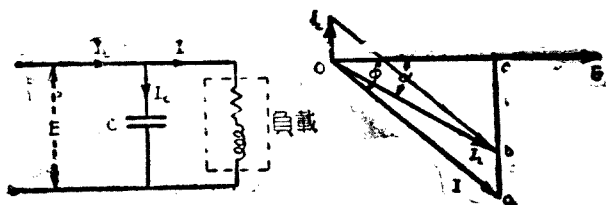


圖 252. 容電器改正功率因數

I_c 之矢量和, 以 I_c 部分之加入, 將相前移, 而功率因數因以增加。若令 I_c 等於 ac , 則功率因數為百分之 100。因 $EI \cos \phi = EI_L \cos \alpha$, 故功率仍屬不變。

例: 某負載在百分之 75 之功率因數取 10 仟瓦, 其電力合同中, 規定功率因數在百分之 85 以下則處罰, 欲免受處罰 當用何種大小之容電器? 電壓為 550 伏, 60 週,

在圖 252 之矢量圖中, I 為負載電流, $\cos \phi = 0.75$, 故 $\phi = 41^\circ 25'$ 。

I_L 為線路電流 如欲免受處罰, $\cos \alpha$ 不宜小於 0.85, 故 $\alpha = 31^\circ 47'$ 。

$I_c = ab = a' - b$, 如 I 為已知, 則兩者皆知。

$EI \cos \phi = \text{瓦數} = 10,000$ 。

故
$$I = \frac{10,000}{550 \times 0.75} = 24.2 \text{ 安,}$$

$ac = I \sin \phi = 24.2 \sin 41^\circ 25' = 24.2 \times 0.6615 = 16.0$ 。

$oc = I \cos \phi = 24.2 \cos 41^\circ 25' = 24.2 \times 0.75 = 18.15$ 。

$bc = oc \times \tan \alpha = 18.15 \times \tan 31^\circ 47' = 11.25$ 。

故
$$I_c = ab = 16.0 - 11.25 = 4.75 \text{ 安,}$$

今
$$I_c = \frac{E}{X_c} = 2\pi f C E; \text{ 故 } C = \frac{I_c}{\pi f E};$$

故
$$C = \frac{4.75}{2\pi \times 60 \times 550} = 2.29 \times 10^{-5} \text{ 法}$$

$$= 2.9 \text{ 微法,}$$

276. 電阻, 電感及電容相串聯 在圖 253 所示電路之解答中, 電流矢量應取為相關係之基線, 因其在電路之三部分中均相同也。電壓 E 為 E_r , E_l 及 E_c 之矢量和, 求之如下:

在任何方向繪一矢量 I ,

依尺度繪一矢量 $E_r = IR$ 與 I 同相,

依尺度繪一矢量 $E_l = IX_l$ 使 I 滯於 E_l 後 90° 度,

依尺度繪一矢量 $E_c = IX_c$ 使 I 越於 E_c 前 90° 度。

則 $E = E_r, E_l$ 及 E_c 之矢量和

$$\begin{aligned} &= \sqrt{E_r^2 + (E_l - E_c)^2} \\ &= \sqrt{(IR)^2 + (IX_l - IX_c)^2} \\ &= I \sqrt{R^2 + (X_l - X_c)^2} = IZ \end{aligned}$$

及 $Z = \sqrt{R^2 + (X_l - X_c)^2}$ (34)

此電流依 X_c 大於或小於 X_l 而前越或後滯於外施電壓,

當 $X_c = X_l$ 時, 容抗與感抗互相抵消, 電流之值為最大而等於

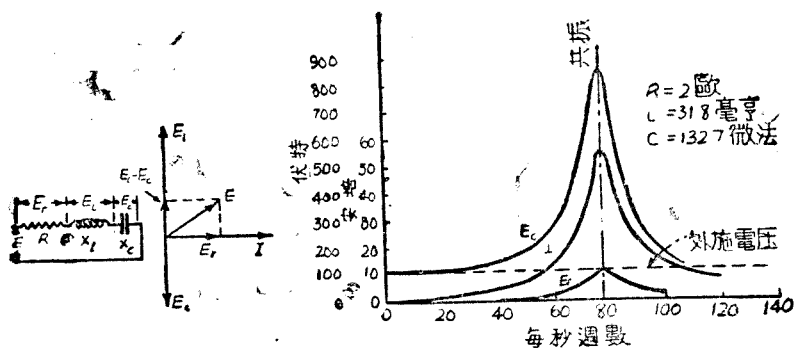


圖 253. 電阻 R , 感抗 X_l 及容抗 X_c 串聯電路內之電流與電壓

$\frac{E}{R}$ 。此電路稱為共振(resonance)。

感抗 X_L 係與頻率成正比，且等於 $2\pi fL$ ，而容抗 X_C 則與頻率成反比，且等於 $\frac{1}{2\pi fC}$ 。因此，若在圖 253 中，跨於電路兩端之電壓 E 保持不變，而增加頻率，則 X_L 增加而 X_C 減少，直至

$$X_L = X_C$$

時，或 $2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC}$ ，

而 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ ， (35)

此電路稱曰共振 而其電流之值為最大。

上題習見於力學中。加交變力於彈簧，將使彈簧振動。當所加之力頻率增加，其振幅增加，迨所加頻率與彈簧振動之自然頻率相同時，振幅達最大值；過此而更增頻率，振幅將減少。此原理應用於圖 217 所示之儀器中。

頻率 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 稱曰共振頻率 (frequency of resonance)，亦

稱電路之固有頻率 (natural frequency)。

例：設有一 2 歐之電阻，一 60 週時 1 歐之感抗及一 60 週時 60 歐之容抗結成串聯，而跨接於 110 伏。試繪電流 I 及電壓 E_T 、 E_L 及 E_C 對於頻率之曲線

該項曲線上之數點求之如下：

額 率	R	$X_L = 2\pi fL$	$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$	$(X_L - X_C)$	$\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$	$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$	$E_r = IR$	$E_l = IX_L$	$E_c = IX_C$
20.0	2	4.0	60.0	56	56.4	1.97	3.94	7.9	118
40.0	2	8.0	30.0	22	22.1	4.98	9.96	40.0	150
60.0	2	12.0	20.0	8	8.24	13.4	26.8	161.0	268
80.0	2	16.0	15.0	1	2.24	49.2	98.4	788.0	788
100.0	2	20.0	12.0	8	8.24	13.4	26.8	268.0	161
77.5	2	15.5	15.5	0	2.0	55.0	110.0	852.0	852

共振頻率可用試測法求得為 77.5 週，因此時 $X_L = X_C = 15.5$ 歐也。

若電路在共振狀態而其電阻甚低，則有大電流經過，如各電抗皆甚大，則在各電抗之電壓降落亦大，其值可數倍於外施電壓。此結果可自上題知之。其感應圈及容電器須加絕緣使能受 852 伏，而非僅外施之 110 伏也。

在僅含電阻之電路中， $E = IR_0$

在僅含電感之電路中， $E = IX_L$

在僅含電容之電路中， $E = IX_C$

在含有三者串聯之電路中， $E = IZ$

此處 Z 稱曰電路之阻抗 $= \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ 。

177. 電阻，電感及電容相並聯 在圖 254 所示電路之解答中，應取電壓矢量為相之關係的基線，因其在電路三部分中均相同也。

電流 I 為 I_r , I_l 及 I_c 之矢量和, 茲求如下:

在任何方向作一矢量 E 。

依尺度作一矢量 $I_r = \frac{E}{R}$, 與 E 同相。

依尺度作一矢量 $I_l = \frac{E}{X_l}$, 滯於 E 後 90 度。

依尺度作一矢量 $I_c = \frac{E}{X_c}$, 越於 E 前 90 度。

則 $I = I_r, I_l$ 及 I_c 之矢量和

$$= \sqrt{I_r^2 + (I_l - I_c)^2}$$

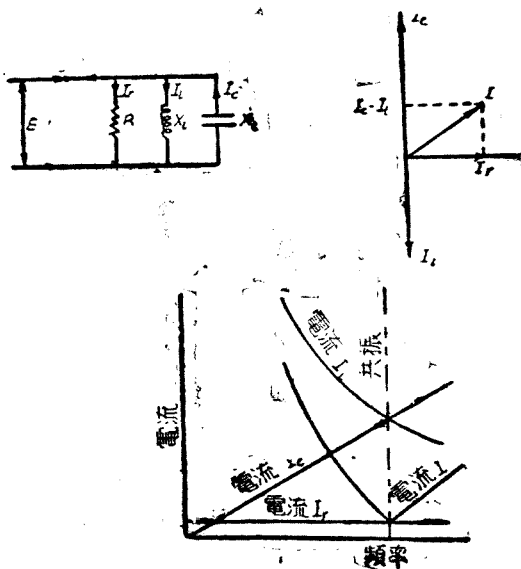


圖 254. 電阻, 電感及電容並聯之電路

$$= \sqrt{\left(\frac{E}{R}\right)^2 + \left(\frac{E}{X_L} - \frac{E}{X_C}\right)^2}$$

$$= E \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}$$

此電流依 I_C 大於或小於 I_L 而前越或後滯於外施電壓，

當電路共振時， $X_C = X_L$ ，線路電流為最小，其值等於 $\frac{E}{R}$ ，若電

抗較之電阻 R 為小者，則電流 I_L 及 I_C 可遠較線電流 I 為大，如 1 例所示。

設一 20 歐之電阻，一 60 週時 2.4 歐之感抗及一 6 週時 1 歐之容抗結成並聯，而跨接於 10 伏，試繪此電路各部之電流對於頻率之曲線

該項曲線上之數點求得如下：

頻率	R	$X_L = \omega \pi f L$	$X_C = \frac{1}{\omega \pi f C}$	I_r	I_L	I_C	$I_L - I_C$	I
50.0	20	6.8	12.0	5.5	137	9	128	128.4
40.0	20	1.6	6.0	5.5	69	18	51	51.2
60.0	20	2.4	4.0	5.5	46	28	18	18.8
77.5	20	3.1	3.1	5.5	35	35	0	5.5
80.0	20	3.2	3.0	5.5	34	37	-3	6.2
100.0	20	4.0	2.4	5.5	38	46	-18	18.8

交流電路中之共振現象，在無線電路中佔一重要部分，蓋其電流須調諧共振，使得充分選擇性與靈敏度也。惟在電力工程中則其應用有限。如交流電力電路接有容電器，例如改正功率因數，則電路常有串聯共振情形存在之可能，所生高電壓，可擊穿絕緣，飛閃絕緣

體，除非運用保護裝置而使機件停止。幸此種共振情形比較尙少。

277A. 兩阻抗並聯 在圖 254 A 中，兩阻抗 Z_1 與 Z_2 並聯跨於線路上。兩阻抗俱為電阻與電抗串聯所組成。

依阻抗定義： $I_1 = \frac{E}{Z_1}$ 及 $I_2 = \frac{E}{Z_2}$

又 $Z_1 = \sqrt{r_1^2 + x_1^2}$ 及 $Z_2 = \sqrt{r_2^2 + x_2^2}$ (閱 263 節)。

故 $I_1 = \frac{E}{\sqrt{r_1^2 + x_1^2}}$ 及 $I_2 = \frac{E}{\sqrt{r_2^2 + x_2^2}}$ 。

ϕ_1 (閱圖 254 B) = 正切為 $\frac{x_1}{r_1}$ 之角 (閱 263 節)，而 $\phi_2 =$ 正切為 $\frac{x_2}{r_2}$ 之角。

$I = I_1$ 及 I_2 之矢量和

$$= \sqrt{ON^2 + PN^2} \text{ (圖 254 B)}$$

$$= \sqrt{(I_1 \cos \phi_1 + I_2 \cos \phi_2)^2 + (I_1 \sin \phi_1 + I_2 \sin \phi_2)^2}$$

$\phi =$ 正切為 $\frac{PN}{ON}$ 之角

$$= \text{正切 } \frac{I_1 \sin \phi_1 + I_2 \sin \phi_2}{I_1 \cos \phi_1 + I_2 \cos \phi_2} \text{ 之角}$$

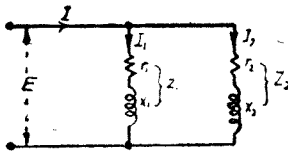


圖 254 A.

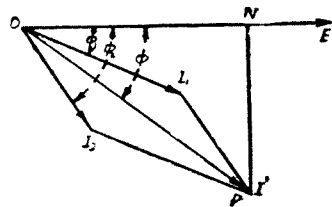


圖 254 B.

277B. 交流電路之複量解法 當一電路係若干支路組成，則其矢量圖較以前各例更形複雜，採用複量解法可使簡易良多。在此法中，每矢量分解為互成直角之兩部分。

例如，在圖 254 C 中矢量 V_1 可分解為兩部分， a_1 沿 x 軸及 b_1 沿 y 軸，是以 V_1 為 a_1 及 b_1 之矢量和，可書為

$$V_1 = a_1 + jb_1$$

此處字母 j 置於部分矢量 b_1 之前，其意即指此矢量與 x 軸成直角也。

量 $a_1 + jb_1$ 稱曰複量 (complex quantity)。

277C. 矢量加法與減法 依前節所述之慣例，吾人可書

$$V_1 = a_1 + jb_1 \text{ [閱圖 254 C]。}$$

$$V_2 = a_2 + jb_2$$

$$V_s = V_1 \text{ 及 } V_2 \text{ 之矢量和}$$

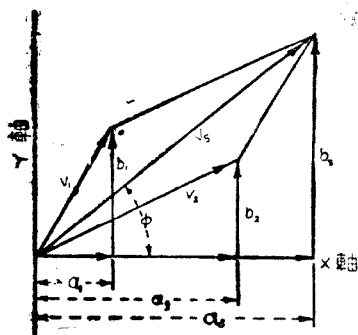


圖 254 C. 矢量之加
 $V_s = V_1$ 及 V_2 之矢量和

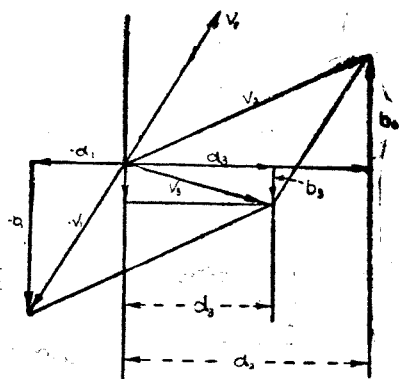


圖 254 D. 矢量之減法
 $V_s = V_2$ 及 $-V_1$ 之矢量和

$$= a_2 + jb_2$$

$$= (a_1 + a_2) + j(b_1 + b_2).$$

V_3 之長 $= \sqrt{a_3^2 + b_3^2}$, 其相角 $\phi =$ 正切為 $\frac{b_3}{a_3}$ 之角。

矢量差 $V_2 - V_1$, 為反向 V_1 與 V_2 相加而得者, 如圖 254 D 所示。是以矢量差

$$V_2 - V_1 = V_3$$

$$= (a_2 - a_1) + j(b_2 - b_1)$$

$$= a_3 + jb_3,$$

在此特例中, b_3 為負, 因 b_1 較大於 b_2 也。

277D. 矢量乘法 $a + jb$ 表示矢量, 特別適宜於加法及減法, 但亦適用於乘法。

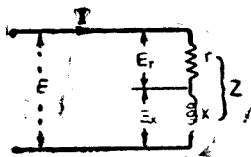


圖 254 E.

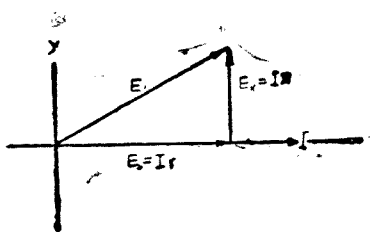


圖 254 F.

試觀圖 254 E 所示之電路, 其矢量圖示於圖 254 F 中。設沿 x 軸繪電流矢量 I , $I = I + j0$, 則此電流經過電阻 r 所需之電壓 E_r 亦沿是軸, 因在電阻中電壓與電流同相也, 而電流經過電抗 x 所需之電壓 E_x 與電流成直角, 且越於電流前 90 度, 如圖所示。總電壓 $E = E_r$ 及 E_x 之矢量和。

故

$$\begin{aligned} E &= E_r + jE_x \\ &= Ir + jIx \\ &= I(r + jx). \end{aligned}$$

但 $E = IZ$, 此處 Z 係該電路之阻抗,

故

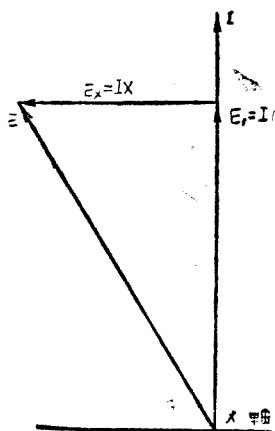
$$Z = r + jx,$$

因此, 阻抗亦可作為一矢量。實則電路之阻抗, 無非通一安之有效值電流經過此電路所需之電壓, 故其矢量正與其他電壓相同。吾人固用歐以量電阻, 電抗及阻抗, 但亦得用每安之伏數以量之。

今吾人重繪圖 254 E 電路之矢量圖, 此次, 繪 I 垂直於 x 軸, 使其成分如方程式 $I = 0 + jI$ 。其結果矢量圖如圖 254 G 所示, 因 x 軸之地位, 不能影響於電路之實體情形, 故圖 254 G 之矢量圖, 係圖 254 F 之矢量圖旋轉 90° 者。在圖 254 G 中, E 為一負 x 軸成分 E_x 及一正 y 軸成分 E_r 所合成。

故

$$E = -E_x + jE_r,$$

圖 254 G 。

在大多數情形中, 稍一審視其矢量圖, 即可決定何種成分為水平, 何種成分為垂直, 且是否此成分為正或負, 但因矢量圖不能繪畫準確而合尺度, 直至電路解答後, 其大小及相角始知, 是以在此較複雜之圖中, 其符號常不定。惟須明瞭者, 如吾人視 j 為一運算子 (operator), 以反時針方向移轉, 一矢量經過 90° , 然後應用普通代

數規則，其符號自不必關心，例如在圖 254 G 中：

$$E = IZ,$$

但 $I = 0 + jI$ 及 $Z = r + jx$ 。

$$\begin{aligned} \text{故 } E &= (0 + jI)(r + jx) \\ &= jIr + j^2Ix. \end{aligned}$$

I_r 前之 j 表示矢量 I_r 自 x 軸反時針方向移 90 度，而 j^2 指示矢量 I_x 轉移 90 度兩次，即自 x 軸轉移 180 度，故仍在 x 軸上，但為負。故運用 j 兩次，等於乘以 -1 ，或 $j = -1$ 也甚明。

故 $E = Ir - Ix$ 此與圖 254 G 之矢量相吻合。

再 j^3 為反時針方向轉移矢量經過 3×90 度，與順時針向轉移經過 90 度同。

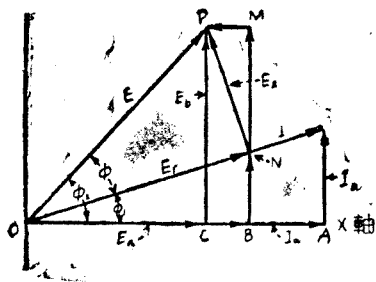


圖 254 H.

$$\text{故 } j^3 = -j.$$

又 j^4 為轉移矢量經過 360 度，置之於與前相同之地位。

$$\text{故 } j^4 = 1.$$

其次，重繪圖 254 E 電路之矢量圖，此次繪 I 在離 x 軸一任意角 ϕ_1 ，則

$$I = I_a + jI_b \text{ [閱圖 254 H]},$$

$$\text{此處 } I_a = I \cos \phi_1 \quad \text{及} \quad I_b = I \sin \phi_1.$$

$$\text{則 } E = IZ$$

$$\begin{aligned} &= (I_a + jI_b)(r + jx) \\ &= r(I_a + jI_b) + jx(I_a + jI_b) \end{aligned} \quad (\Delta)$$

$$= I_a r + j I_a x + j I_b r + j I_b x \quad (B)$$

但

$$j^2 = -1$$

故

$$\begin{aligned} E &= (I_a r - I_b x) + j(I_a x + I_b r) \\ &= E_a + j E_b, \end{aligned}$$

此處 E_a 及 E_b 爲 E 之 x 軸及 y 軸成分。(A)及(B)式之各項,可於向量圖上辨之如下:

$$OB = I_a r$$

$$BN = j I_b r$$

$ON = OB$ 及 BN 之矢量和

$$= I_a r + j I_b r = r(I_a + j I_b) = E_r,$$

$$NM = j I_a x.$$

$$MP = j I_b x.$$

$NP = NM$ 及 MP 之矢量和

$$= j I_a x + j^2 I_b x = j x (I_a + j I_b) = E_x.$$

$OP = OB, BN, NM$ 及 MP 四成分之矢量和

$$= E$$

應用公式如 $E = IZ$ 時,須知如僅以 I 及 Z 之數值相乘,則僅得 E 之數值;但 I 及 Z 如書爲 $a + jb$ 式,則得矢之乘積,即得 E 之 $a + jb$ 式,此式示 E 之相角及數值之大小。

例題: 在圖 254 E 中,已知 $r = 6$ 歐, $x = 3$ 歐,及 $I = 10$ 安,當 I 繪於離 x 軸 $36^\circ 52'$ 處時,如圖 254 H 所示,試求 E 之大小與相角。

$$\begin{aligned} I &= 10 \cos 36^\circ 52' + j 10 \sin 36^\circ 52' \\ &= 10 \times 0.8 + j 10 \times 0.6 \\ &= 8 + j 6. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z &= r + jx \\ &= 6 + j3. \\ E &= IZ \\ &= (3 + j6)(6 + j3) \\ &= 48 + j(24 + 36) + j^2 18. \end{aligned}$$

但 $j^2 = -1$

故 $E = (48 - 18) + j(24 + 36)$

$$= 30 + j60.$$

$$E \text{ 之長度} = \sqrt{30^2 + 60^2} = 67.08 \text{ 伏,}$$

$$\phi_2 = \text{正切爲 } \frac{60}{30} \text{ 之角, } = 33^\circ 26'.$$

$$\phi = 63^\circ 26' - 33^\circ 26' = 30^\circ 00'.$$

注意——如繪電流矢量 I 於 Y 軸上，則計算自較簡單，但本題目的，係用以說明一般情形。

277E. 矢量除法 若電壓 E 及圖 254 I 電路之阻抗 Z 爲已知則電流 $I = \frac{E}{Z}$ 。

沿 x 軸作矢量 E 如圖 254 J

則 $E = E + j0,$

$$Z = r + jx,$$

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{E + j0}{r + jx}.$$

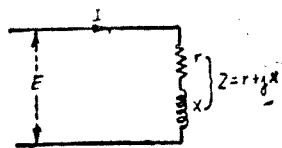


圖 254 I.

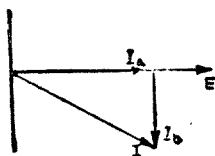


圖 254 J.

欲化 I 式爲 $a+jb$ 標準式，乘以 $\frac{r-jx}{r-jx}$ 不變其值，因此數等於 1 也。

$$\begin{aligned} \text{於是} \quad I &= \frac{E}{(r+jx)} \times \frac{r-jx}{(r-jx)} \\ &= \frac{E(r-jx)}{r^2+j(rx-rx)-j^2x^2} \end{aligned}$$

$$\text{但} \quad j^2 = -1,$$

$$\begin{aligned} \text{故} \quad I &= \frac{E(r-jx)}{r^2+x^2} \\ &= E\left(\frac{r}{r^2+x^2}\right) - j\left(\frac{x}{r^2+x^2}\right) \quad (C) \\ &= I_a - jI_b, \end{aligned}$$

此處 I_a 及 I_b 爲 I 在 x 軸及 y 軸之成分。

(C) 式中數量 $\frac{r}{r^2+x^2}$ 爲一數值因數，電壓 E 須乘之以得與 E 同相之電流成分，而 $\frac{x}{r^2+x^2}$ 爲另一數值因數，電壓須乘之以得與 E 相差 90 度之電流成分。此二因數常被應用，且已定有名稱，其名曰電路之電導 (conductance) 及電納 (susceptance)。

277F. 交流電路常數總論

符號		電路常數
r	=	電阻
x	=	電抗
Z	=	阻抗
g	=	電導

$$b = \text{電納}$$

$$Y = \text{導納}$$

定義—— r . 交流電路之電阻係一因數，電流有效值須與之相乘以得與電流同相之電壓成分。

x . 交流電路之電抗係一因數，電流有效值須與之相乘以得與電流成 90 度相角之電壓成分。

Z . 交流電路之阻抗係一因數，電流有效值須與之相乘以得總電壓。 $Z = r + jx$ 。

g . 交流電路之電導係一因數，電壓有效值須與之相乘以得與電壓同相之電流成分。

$$g = \frac{r}{r^2 + x^2}$$

此時電路為 r 與 x 串聯所組成[閱(C)式]。

b . 交流電路之電納係一因數，電壓有效值須與之相乘以得與電壓成 90 度相角之電流成分。

$$b = \frac{x}{r^2 + x^2}$$

此時電路為 r 與 x 串聯所組成[閱(C)式]。

Y . 交流電路之導納(admittance)，係一因數，電壓有效值須與之相乘以得總電流。

$$Y = g - jb_s$$

又 $Y = \frac{1}{Z}$ ，比較二定義可以知之矣。

解說電導電納及導納之例題 已知圖 254 K 中 E 及三阻抗之值

$$Z_1 = r_1 + jx_1,$$

$$Z_2 = r_2 + jx_2,$$

$$Z_3 = r_3 + jx_3,$$

求總電流 I 之大小與相角，

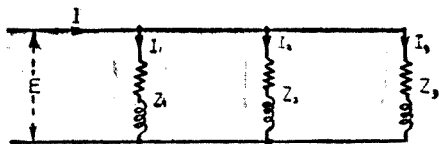


圖 254 K. 並聯阻抗

$$I_1 = EY_1 = E(g_1 - jb_1).$$

$$I_2 = EY_2 = E(g_2 - jb_2).$$

$$I_3 = EY_3 = E(g_3 - jb_3).$$

$$I = I_1, I_2 \text{ 及 } I_3 \text{ 之矢量和}$$

$$= E[(g_1 + g_2 + g_3) - j(b_1 + b_2 + b_3)].$$

其中 g 及 b 各值，可用下式求之

$$g = \frac{r}{r^2 + x^2}, \quad b = \frac{x}{r^2 + x^2}.$$

以此解法與第 277 A 節之法對照。

注意——設圖 254 K 之感電抗易以容電器，則電流將超前於電壓以代滯後。此點就容抗為負為最妥，是則使 b 為負，而變電流 j 成分之記號也。

第二十九章 交流發電機及多相電路

278. 單相交流發電機 圖 255 示一旋轉磁場式之交流發電機 (revolving-field type alternator) 之主要部分, 其靜止部分稱為定子

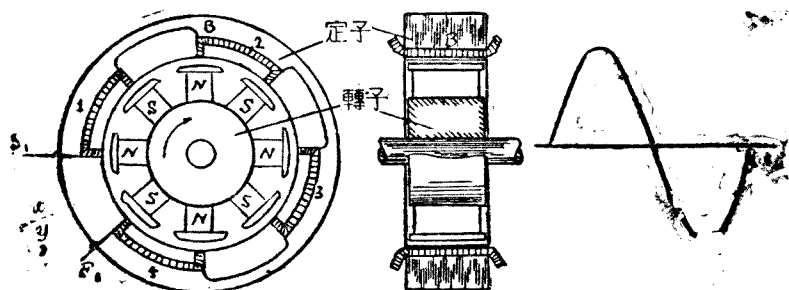


圖 255. 旋轉磁場式交流發電機

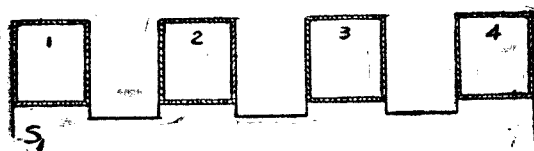


圖 256. 線捲圖

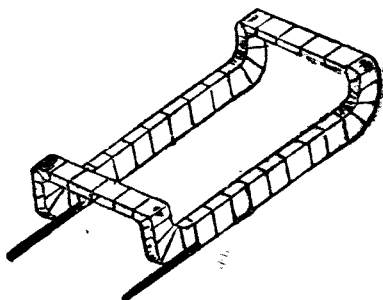


圖 257. 交流發電機之線圈 (32)

(stator), 置有被旋轉磁場所切之導線; 其旋轉磁場部分稱為轉子 (rotor)。

定子心 B 係以軟鋼疊片製成, 其內面周圍有槽, 槽內安置定子線圈。圖 257 示線圈之一種, 包含數匝相互絕緣之銅線, 以棉紗或他種絕緣物包紮之。圖 255 所示之電機配有此種線圈 9, 接成串聯, 故其電壓相加。

如圖 255 之接線圖, 僅能顯示電機之一端, 實際上吾人需要如圖 256 之展開圖, 以示線圈及其連接法; 此圖表示圖 255 之線捲在 xy 處分開而展平之狀; 二圖以同文字註明之,

S_1 與 F_1 端間電壓之變動如圖 255 所示, 每轉經過四週。

圖 255 說明一單相交流發電機構造之基本概念。但事實上定子線捲決不集中於每極一大槽中, 如圖 255 與 256 所示之狀。實則分

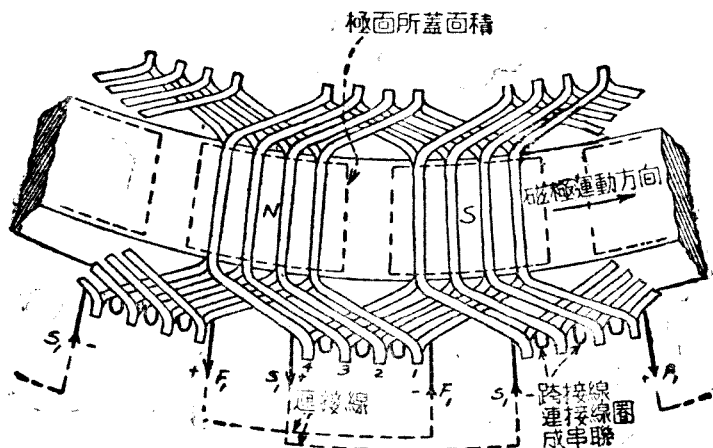


圖 258. 單相交流發電機之定子線捲, 分配於每極四槽內

置於數小槽中，如圖 258 所示。如此裝置不僅增加線圈之通風，以發散因電樞銅損失所生之熱，且可增加銅所佔之空間以增加電機之載流量。

在圖 258 中，每線圈組 $S_1 F_1$ 包含四串聯線圈。圖 259 係一單獨線圈之照片。用此種線捲可槽中有二線圈邊，其一在另一之上，而各線圈集合甚為整齊。各線圈組之端電勢均互等而同相；因之可接成串聯或並聯。若接成串聯，則其總電勢等於每線圈組之電勢乘以線圈組數。

須知一單獨線圈組之端電勢，並不等於一單獨線圈之電勢之四倍，因此四電勢並不同相。在圖 258 中，相鄰線圈間之相角為 30° ，故其電勢圖當如圖 260 所示。此線圈組之總電勢係 E_1, E_2, E_3 及 E_4 四電勢之矢量和。

故 $E_g = 2 (E_1 \cos 45^\circ + E_1 \cos 15^\circ) = 3.346 E_1$ 而非 $4 E_1$ 。故分布於每極數槽之線捲之匝數，必須較集中於每極一槽者為多，俾發生同一端電壓，但數槽之故面較一單獨大槽為大，故儘有充裕之地位安置其額外匝數，且其通風較佳。因此，分布線捲所得之結果實為增進電機之容量。

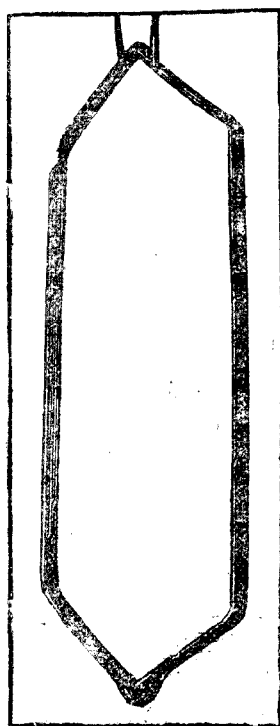


圖 259. 加轉磁極式交流發電機之定子線捲

279. 二相交流發電機 在圖 258 線圈組間，定子表面頗多未經

利用之處。吾人若置另一線捲於此空費之地位中，而連接於另一負載上，則可利用此空隙之地位，而因之增進電機之仟瓦定額。一交流發電機有二分開電路，而排列之使其電壓異相 90 度者，稱為二相交流發電機(two-phase alternator)。

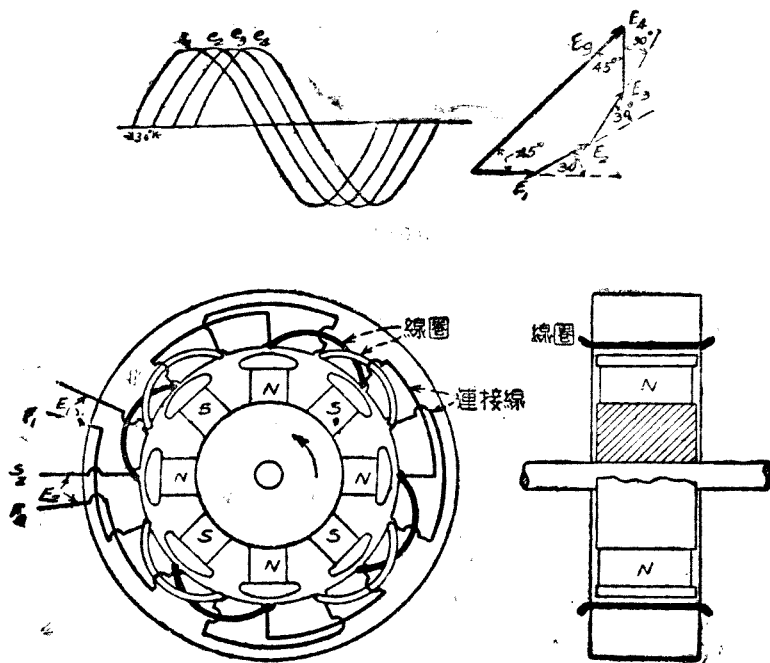


圖 261. 二相交流發電機。定子或電樞線捲集中於每相每極一槽中。

圖 261 表示圖 255 之電機加一重複線捲，與原有者相隔 90 電度，圖 262 表示此兩線捲所發生之電壓。如此使電機改為二相，顯已增加其容量確至兩倍，但事實上，此種線捲並不集中於每相每極一

槽中，而電機之容量並不因改繞為二相即增至兩倍。圖 263 表示圖 258 之電機改繞為二相。因欲預備第二相之地位，須於單相線捲之每線圈組中減去一線圈。在此情形時，改變一單相線捲為二相線捲，僅須稍增其成本，其容量則增加百分之 63。

圖 262 表示電燈及小電動機連接於二相制上之法。大電動機係繞成二相，而自兩相取得相等之功率。

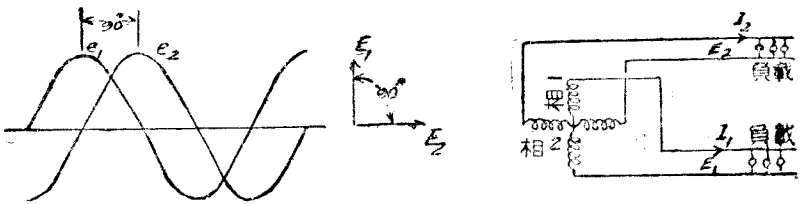


圖 262 電壓曲線，矢量圖，及一二相交流發電機之簡圖。

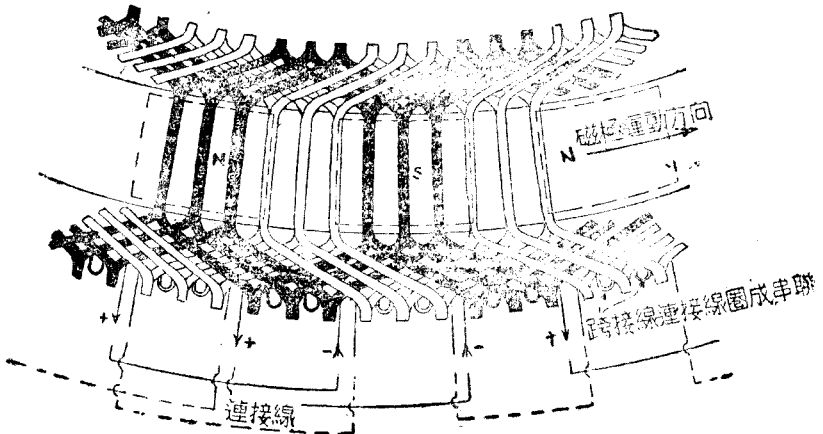


圖 263. 二相交流發電機之電樞線捲 線捲分布於每相每極三槽中。在圖中所示之瞬間，自相中所發之電勢為零。

二相制勝於單電制之點為：

1. 二相交流發電機及電動機，因其定子面上無空廢地位，其成本較單相機每額定仟瓦約少百分之 30。

2. 二相電動機之運用特性，通常較任何已經製造之單相電動機為佳，尤以定速率工作為最。

二相制之唯一缺點為其輸電線需用四線。但此缺點不甚重要，在城市內分配電能，無需每街皆架兩相；一街可饋以一相，而他街可饋以另一相，二相線僅須在供給二相電動機處架於同一街上。

280. 三相交流發電機 若三組分開之電樞線捲，安置於一交流發電機之定子上，使三線捲中所生電勢間之相角，均為 120 度，此機稱為三相交流發電機 (three-phase alternator)。圖 264 表示於圖 255 之機上，加入兩重複之線捲，每線捲與其餘兩線捲，各隔 120 電

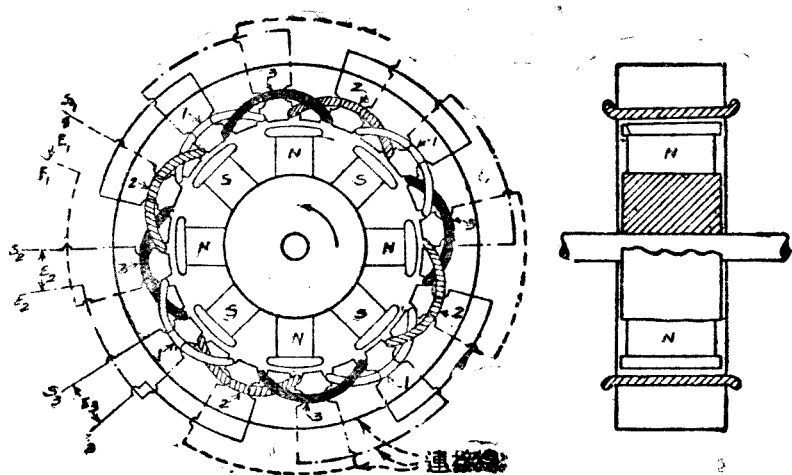


圖 264. 三相交流發電機·電樞線捲集中於每相每極一槽中。

度，圖 265 表示此三線捲所發生之電壓。曲線 e_1 、 e_2 及 e_3 表示各電壓之瞬時值，而其有效值 E_1 、 E_2 及 E_3 則用以繪矢量圖。

電樞線捲集中於每相每極一槽中之三相交流發電機，已有製成如圖 264 所示者，而圖 266 表示此種電機之照片，但晚近實際上多用圖 267 所示之線圈。在此圖中其線捲分布於每相每極二槽中。

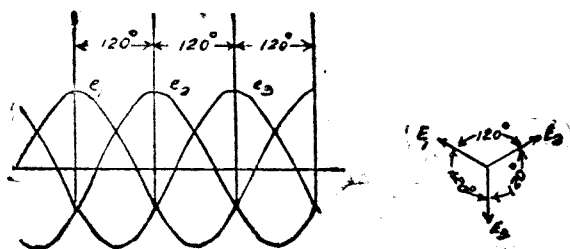


圖 265. 三相交流發電機之電壓曲線及矢量圖

須知圖 267 之線圈組間之距離，僅為 60 電度而非 120。故此線捲實係六相，而各連續線圈組 1, 2, 3, 4, 5, 6 所發生電壓之矢量圖，如圖 268 之 A 所示。此時線圈組 4 所發生電壓 E_{04} ，與線圈組 1 所發

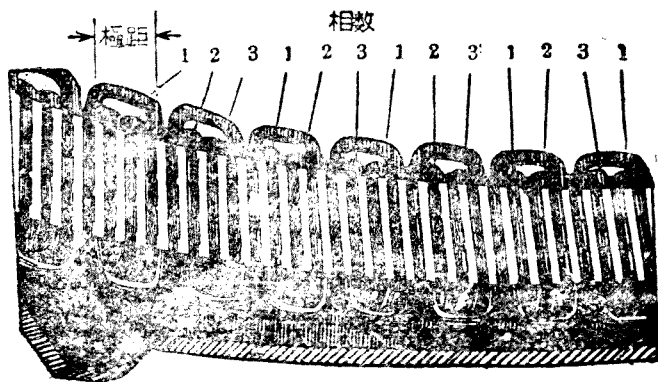


圖 267. 低速率三相大交流發電機之定子一部分。線捲集中於每相每極一槽中。

生電壓 E_{ab} 之相差為 180 度。如圖 268 A 之矢量圖及圖 268 C 之瞬時值曲線所示。故若兩線圈組接成串聯，則其合電壓將為零或為 $2E_{ab}$ ，視其接法使電壓相加或相減而定。

今 E_{gh} 為線圈組 4 所發生之電壓，其方向自 g 經線圈組至 h ，而 E_{hg} 為線圈組 4 所發生反向之電壓，自 h 至 g ，故 $E_{hg} = -E_{gh}$ 。若線圈頭 b 接于線圈頭 g ，因 E_{gh} 與 E_{ab} 異相 180 度，兩線圈成串聯之合電壓 $= E_{ab} + E_{gh} = 0$ ；但若線圈頭 b 接於線圈頭 h ，因 E_{hg} 與 E_{ab} 同相，兩線圈成串聯之合電壓 $= E_{ab} + E_{hg} = 2E_{ab}$ 。

故若連接圖 267 中電機線捲之線圈組時，反其每相第二線圈組之接法，則變為三相線捲。例如，在圖 267 中，相 3 之連接線連接線圈組 1 係由左端 a 入而由右端 b 出，但線圈組 4 則由右端 h 入而由

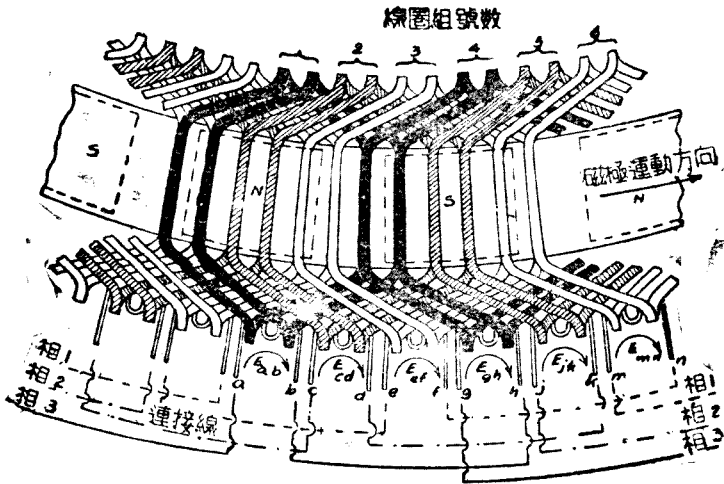


圖 267. 三相交流發電機之電壓線捲。線捲分布於每相每極二槽中。

左端 \$g\$ 出，是以線圈組 4 之接法與線圈組 1 相反。依此，反繞圈組 2, 4, 及 6 之接法，反圖 268 之六相矢量圖之矢量 \$E_{cd}\$, \$E_{gh}\$, 及 \$E_{mn}\$, 使變為矢量 \$E_{dc}\$, \$E_{hg}\$, 及 \$E_{nm}\$, 而成三相矢量圖 \$B\$。

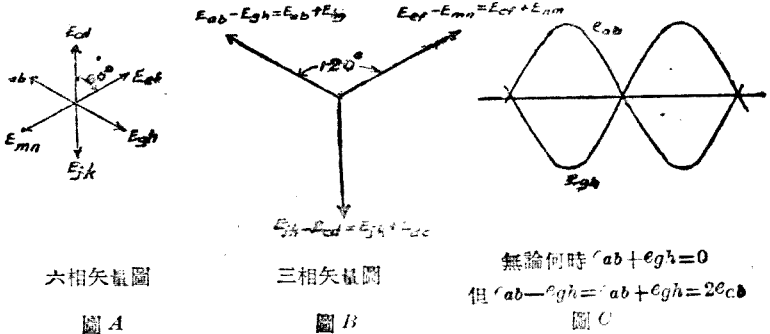


圖 268.

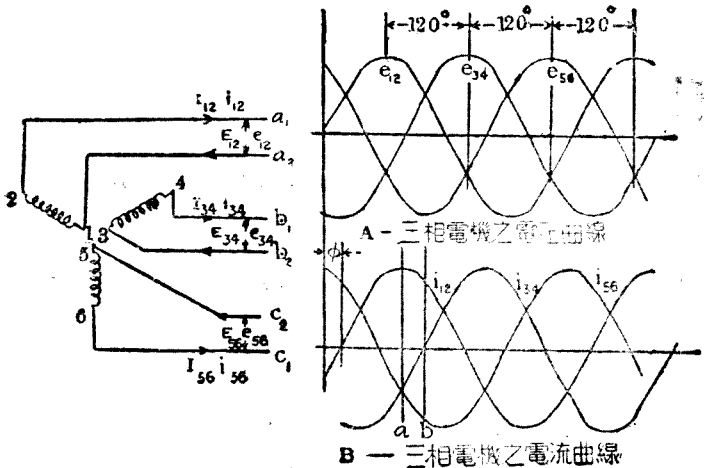


圖 269. 三相交流發電機之圖示法。小字母表示瞬時值。大字母表示有效值。符號 \$i_{12}\$ 讀如「一二」，表示電流通過電樞線捲自 1 至 2 之意。

281. Y 形接法 三相機以圖 269 之圖形表之為便，其三組分開之線捲，排列如圖 265 之矢量圖。此種電機有六端及六引線，每相各二。

因欲減少引線之數，其三回路線 a_1 , b_2 , 及 c_2 可連接一處以成一單獨公共回路 n 如圖 270。故無論何時，此線中之電流均為三相電流 i_{12} , i_{34} , 及 i_{56} 之和。（注意： i_{12} 應讀如 i_{1-2} ，並非 i_{12} 。其意表示電流經過電樞線捲自 1 至 2）。今可由圖 269 之 B 見之，若三相負載相等，則在任何瞬時中，此三電流之和為零；例如在 a 時 i_{12} 與 $i_{34} + i_{56}$ 相等而相反。而在 b 時， i_{34} 為零， i_{12} 與 i_{56} 相等而相反。故電線 n 上不載電流而可免去。圖 271 所示之最後接法稱為三線 Y 形接法，僅需三導線以供給負載，而無論何時，三線中之一線恆作用如其他二線之回路。

圖 270 所示 Y 形接法三相四線制，通用於單相小負載居多區域之電能分配，如住宅電燈及小電動機之類。此種負載，在三相上之分配永不均勻，故恆有電流通過其公共線或‘中線’（neutral wire）。

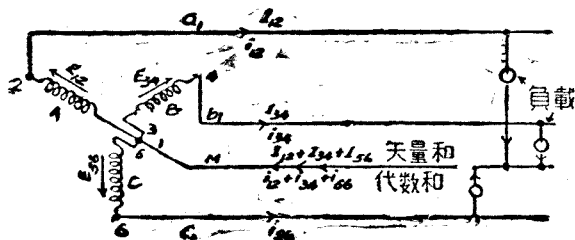


圖 271. Y 形或星形接法，四線制。

三相三線制通用於主要輸電線或平衡之三相大負載。在此種情形時，若有中線設置，並無電流通過其上，因之可略去不用。Y 形之

接點稱為‘中點’ (neutral)。有時輸電線兩端之中點均接於地，因之地球取公共線或中線之地位而代之。但此種接法僅於負載平衡而通過地球之電流極少時用之。

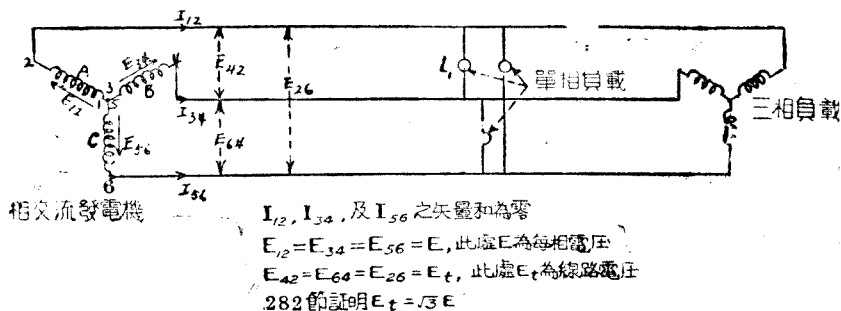


圖 271. Y 形接法，三線制。

三線三相制雖可根本視為饋給平衡三相負載之制，但單相負載儘可接上，如圖 271，而用以饋給單相負載者甚廣。任一單相負載所取之電流，通過交流發電機三相中之串聯兩相；例如，經過單相負載 L_1 之電流，由 3 至 4 通過相 B 及由 1 至 2 通過相 A，而推動此單相電流之電壓，為此兩相電壓之和。

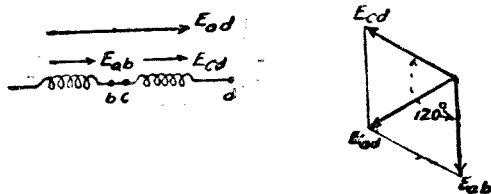


圖 272. 相隔 120 度之兩相等電壓之矢量和

282. Y 形接法電機中之電壓 電流 及功率 若交流發電機之二線圈 ab 與 cd 串聯如圖 272，而電壓 E_{cd} 滯於 E_{ab} 後 120 度，則其

合電壓 E_{ad} 爲 E_{ab} 及 E_{cd} 之矢量和，而 $E_{ad} = E_{ab} = E_{cd}$ ，如圖 272 所示。

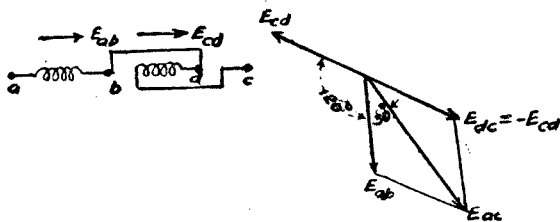


圖 273. 相隔 120 度之兩相等電壓之矢量差

然若線圈 cd 之接法與前相反，如圖 273，則其合電壓 E_{ac} 爲 E_{ab} 及 E_{cd} 之矢量差， $E_{ab} - E_{cd}$ ，可反圖中 E_{cd} 之方向而相加以得之，如圖 273，且

$$\begin{aligned} E_{ac} &= 2 E_{ab} \cos 30^\circ \\ &= \sqrt{3} E_{ab} \end{aligned}$$

在圖 271 所示之三相 Y 形接法中，其線捲之接成，其使線路間電壓爲兩相隔 120 度電壓之矢量差。例如， $E_{12} = -E_{34} + E_{12}$ 。

因之，
$$E_t = \sqrt{3} E, \quad (36)$$

此處 E_t = 線路電壓。

而 E = 每相電壓，常稱爲‘至中線電壓’。參考圖 270，其平均功率爲

A 相中，
$$W_A = E_{12} I_{12} \cos \phi_A \text{ 瓦}$$

B 相中，
$$W_B = E_{34} I_{34} \cos \phi_B \text{ 瓦}$$

C 相中，
$$W_C = E_{56} I_{56} \cos \phi_C \text{ 瓦}$$

式中之 ϕ_A , ϕ_B , 及 ϕ_C 係電壓與電流間之相角。此種相角全依負載而定。其總功率 = $W_A + W_B + W_C$ 瓦

若負載平衡, 則 $I_{12} = I_{34} = I_{56} = I$

而 $E_{12} = E_{34} = E_{56} = E$

而 $\phi_A = \phi_B = \phi_C = \phi$,

則其總功率 = $3EI \cos \phi$ (37)

或 $= \sqrt{3} E_t I \cos \phi$ (38)

因 $E_t = \sqrt{3} E$ [(36)式],

注意, 若負載平衡, (37)及(38)式同可應用於三線制及四線制, 若負載不平衡, 則不能應用之於任何一制。

習慣上, 多以線路電壓 E_t 用作電機及輸電線之定額電壓, 而不用每相電壓, 故(38)式為用以表示功率之最通用者。

283. Δ 形接法 三相機中三線捲之另一種接法, 如圖 274 所示, 各線捲依 2 至 3, 4 至 5, 及 6 至 1 之次序串聯。連接之導線可以縮短, 使各端直接相連, 如圖 274 之 B, 其矢量之斜度不變。因圖 274 B 之形似 Δ , 此種三相接法, 稱為 Δ 形接法。

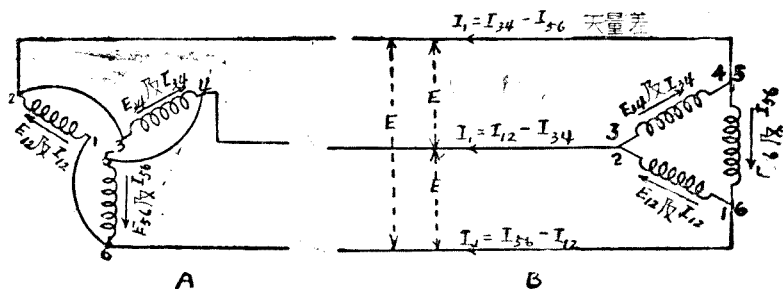


圖 274. Δ 形接法

此線捲雖自成一通路，並無電流通過。此通路上之合電壓為三相電壓之和，但可由圖 269 A 見之，無論何時， $e_{12} + e_{34} + e_{6}$ 為零，一相之電壓恆與其他兩相電壓之和相等而相反。然若一外電路接於任何兩引線上，則跨於此外電路之電壓將為 E ，即每相之電壓，而將有電流通過外電路。

284. Δ 形接法電機中之電壓 電流 及功率 若交流發電機兩線圈 1-2 及 3-4 連接如圖 275，且電流 I_{34} 滯於 I_{12} 後 120° 度，則其合電流 I_1 為 I_{12} 與 I_{34} 之矢量和，可完成如圖所示之平行四邊形以決定之，可知 $I_1 = I_{12} = I_{34}$ 。

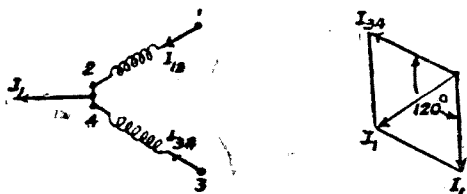


圖 275. 相隔 120° 度之兩相等電流之矢量和

然若第二線圈之接法與前相反，如圖 276，則其合電流 I_1 為 I_{12} 與 I_{34} 之矢量差， $I_{12} - I_{34}$ ，可反 I_{34} 之方向相加而得之，如圖所示。

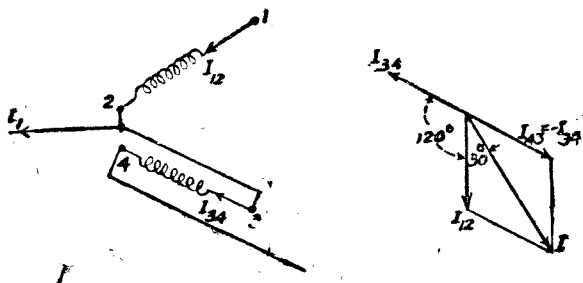


圖 276. 相隔 120° 度之兩相 電流之矢量差

$$\begin{aligned} \text{則} \quad I_l &= 2I_{12} \cos 30^\circ \\ &= \sqrt{3}I_{12}. \end{aligned}$$

後者之接法，為圖 274 之 Δ 形接法，故在圖 274 中， $I_l = \sqrt{3}I$ （若負載平衡）。

此處 $I_l = \Delta$ 形接法制中之線路電流，

而 $I = \Delta$ 形接法制中之每相電流，

線路電壓 E_l 與每相電壓 E 相同。

若機中每相電流 I 滯於該相電壓後 ϕ 角，若負載平衡，其每相功率 $= EI \cos \phi$ 瓦。

其三相總功率 $= 3EI \cos \phi$ 瓦。

$$\text{但} \quad E = E_l \quad \text{而} \quad I = \frac{I_l}{\sqrt{3}},$$

$$\begin{aligned} \text{故} \quad \text{總功率} &= 3E_l \left(\frac{I_l}{\sqrt{3}} \right) \cos \phi \text{ 瓦} \\ &= \sqrt{3}E_l I_l \cos \phi \text{ 瓦}. \end{aligned}$$

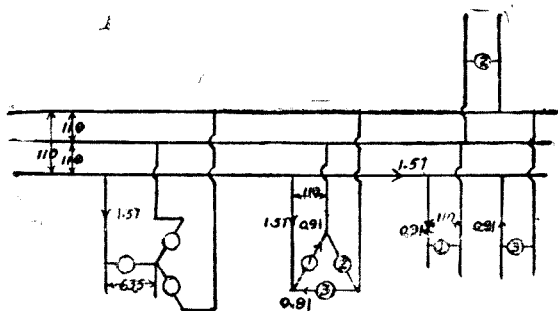
以上與 (38) 式相較，可知若線路電流及線路電壓相同，則無論交流發電機之接法為 Y 為 Δ ，其功率均同。

285. 三相三線制上負載之接法 三相電路上之負載可接成 Y 形，如圖 277 之 A，或接成 Δ 形，如圖 277 之 B 及 C，但通常一負載不能從一接法變為另一接法，因包含電壓變換之故。例如三 110-伏 100-瓦之燈泡接成 Δ 形，如圖 277 之 B 及 C。跨於每燈之電壓為 110 伏，而每燈之電流為 $\frac{100}{110} = 0.91$ 安。若此三燈泡重接為 Y 形，如圖

277 之 A，則跨於每燈之電壓僅為 $\frac{110}{\sqrt{3}} = 63.5$ 伏，燈泡將呈暗紅色，而其亮甚弱。

若此種燈泡欲連接為 Y 形，則其額定電壓必須為 $\frac{E_L}{\sqrt{3}}$ ，此時為 63.5 伏，而每一 100 瓦燈泡之電流為 $\frac{100}{63.5} = 1.57$ 安。若以此種燈泡接如 Δ 形，則立即燒毀，因其電壓太高。

在圖 277 B 中，若有一燈燒毀，其餘二燈仍明亮如常；但若圖 277 A 中燒毀一燈，則其餘二燈係串聯而跨接於 110 伏，其光暗弱，因其運用電壓為 55 伏而非正常之 63.5 伏也。



A—Y 形接法負載 B— Δ 形接法負載 C— Δ 形接法負載

圖 277. 三相電路上負載之接法

依上所述，顯見三單獨負載以 Y 形連接於一無中線之三相制上，不能單獨運用，但若接成 Δ 形，或在有中線之三相制上接成 Y 形，則可單獨運用。因此之故，無中線之三相制上之電燈，決不接成 Y 形。但電鍋爐及電爐之有三發熱線圈者，係以 Y 形連接於三線制上。若有一線圈損壞，則其全部須停止而加以修理。故對於所餘二線圈

仍然接上而不能照常作用之事實，無關重要。

226. 三相與二相之比較 在 279 節曾提及二相電機較同定額之單相電機之費，每額定仟瓦約廉百分之 30，因二相機利用定子表面較單相機為有效也。三相機之利用定子表面更為有效，因每相僅分佔極距之三分之一以代分佔極距之半也。（278 節說明分布其線捲稍減其電壓）。因此，三相機較之同定額之二相機之費，每額定仟瓦約廉百分之 6。

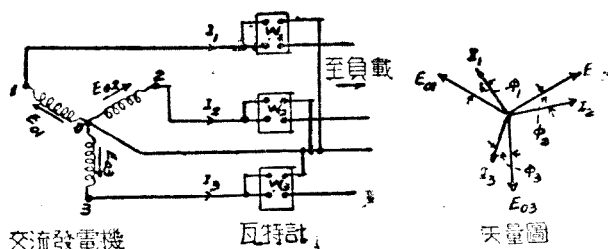


圖 275. 三相四線制功率之量法。 E_{01} , E_{02} , 及 E_{03} 由交流發電機決定。

I_1 , I_2 及 I_3 之大小及相角 (ϕ_1 , ϕ_2 及 ϕ_3) 均由負載決定。

三相制較二相制之其他優點，為通常三相輸電線僅需三條，而二相輸電線則需四條；若用一公共回線，減為三條，則因其兩電流相差 90 度，其矢量和為每相電流之 $\sqrt{2}$ 倍，其公共線必須較其餘兩線大百分之 41。

三相制較二相制之優點並不甚大，但已足使三相為標準制度，而現今所用少數較小之二相制，不克再加推廣也。

287. 三相四線電路中功率之量法 因此制包含三單相電路而公用一回線，故每相功率可各以一單相瓦特計，接於該相上量之（閱

265 節), 如圖 278, 其總功率係三瓦特計示數之和。

$$W_1 = E_{01} I_1 \cos \phi_1 \text{ 瓦。}$$

$$W_2 = E_{02} I_2 \cos \phi_2 \text{ 瓦。}$$

$$W_3 = E_{03} I_3 \cos \phi_3 \text{ 瓦。}$$

若負載平衡, 則三瓦特計上之示數相同。

288. 三相三線電路上平衡負載功率之量法 若無中線, 其功率用兩瓦特計量之, 其接法如圖 279 所示。無論其負載平衡與否, 其總功率均為兩瓦特計示數之和 $W_a + W_c$, 茲先論負載平衡時之情形。

$$I_1 = I_2 = I_3 = I,$$

$$E_{01} = E_{02} = E_{03} = E,$$

$$\phi_1 = \phi_2 = \phi_3 = \phi,$$

而

$$\text{功率} = 3EI \cos \phi = \sqrt{3} E_t I \cos \phi \text{ [282 節],}$$

此處

$$E_t = \text{線路電壓} = E_{AB} = E_{BC} = E_{CA}.$$

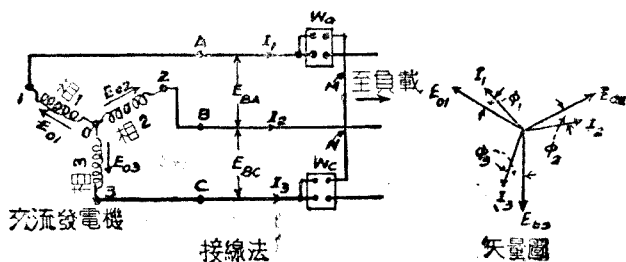


圖 279. 三相三線制上功率之量法

今 E_{BA} 為施於瓦特計 W_a 之電壓而 E_{BC} 為施於瓦特計 W_c 上之電壓。

圖 280 之矢量圖, 表示與瓦特計有關之電壓及電流, E_{BA} 為

E_{01} 與 $-E_{02}$ 之矢量和，在圖上反 E_{02} 之方向而加於 E_{01} 以求之。同理， L_{BC} 為 E_{03} 與 $-E_{02}$ 之矢量和。

由圖 280,

$$W_a = E_{BA} I_1 \cos(30^\circ + \phi) = \sqrt{3} EI \cos(30^\circ + \phi). \quad (39)$$

$$W_c = E_{EC} I_3 \cos(30^\circ - \phi) = \sqrt{3} EI \cos(30^\circ - \phi). \quad (40)$$

$$\begin{aligned} W_a + W_c &= \sqrt{3} EI [\cos(30^\circ + \phi) + \cos(30^\circ - \phi)] \\ &= \sqrt{3} EI [\cos 30^\circ \cos \phi - \sin 30^\circ \sin \phi \\ &\quad + \cos 30^\circ \cos \phi + \sin 30^\circ \sin \phi] \\ &= \sqrt{3} EI [2 \cos 30^\circ \cos \phi]. \end{aligned}$$

但 $2 \cos 30^\circ = \sqrt{3}$.

故 $W_a + W_c = 3EI \cos \phi$.

但 總功率 = $3EI \cos \phi$.

故 $W_a + W_c = \text{總功率}$,

參看 (39) 及 (40) 式，若負載之功率因數為百分之 100，則 ϕ 為零，而兩瓦特計之示數相等。在滯後功率因數百分之 50 時， $\phi = 60^\circ$ 而瓦特計 W_a 之示數為零。在百分之 50 以下之一切滯後功率因數， W_a 為負，而兩瓦特計之示數必須相減以求總功率。故以兩瓦特計法量功率時，必須決定其功率因數是否在百分之 50 以上或以下，俾知兩瓦特計示數須相加或相減。

下述之簡單試驗，可測知功率因數是否在百分之 50 以上或以下。先連接各

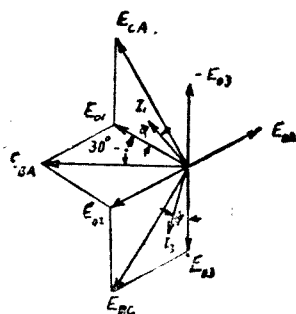


圖 280. 圖 279 中兩瓦特計上之電壓

瓦特計如圖 279。若任一瓦特計之指針向標度之零端移動，則交換其電壓或電流之接線，使其示數為正。讀出兩瓦特計之示數，由 B 線上拆斷瓦特計 W_a 之電壓引線 M ，而接於 C 線上。若此時 W_a 之指針向後移動，則功率因數為百分之 50 以下，若其指針仍向前移動，則其功率因數為百分之 50 以上。

前節所述，可以圖 280 證明之。將引線 M 自 B 移至 C ，以電壓 E_{CA} 代替電壓 E_{BA} ，而 E_{CA} 為 E_1 與 $-E_{03}$ 之矢量和。

$$W_a(\text{正常接法}) = E_{BA} I_1 \cos(\phi_1 + 30^\circ)。$$

$$W_a(M\text{改接後}) = E_{CA} I_1 \cos(\phi_1 - 30^\circ)。$$

由上式可見若 ϕ_1 小於 60 度，則功率因數大於百分之 50，則 W_a (正常接法) 與 W_a (M 改接法) 均為正，但若 ϕ_1 大於 60 度則相反。

作此試驗時，可用任何一瓦特計。將引線 N 自 B 移至 A 對於 W_c 之效果，與將引線 M 自 B 移至 C 對於 W_a 之效果同。

289. 平衡三相負載之瓦特比功率因數圖表 參看 (39) 及 (40) 式，知僅在功率因數為百分之 100 及為零時 $W_a = W_c$ ，即在 $\phi = 0^\circ$ 或等於正或負 90 度時。若功率因數自百分之 100 變至百分之 50 變至百分之零，則 W_a 與 W_c 之比，自 1 變至 0 變至 -1 ，若已知其功率因數則可計算得之。反之若已知兩瓦特計之示數，則其功率因數可以計算*，此即為決定三相電路之功率因數之法，其應用甚廣。

圖 281 為一功率因數圖表，以功率因數與兩瓦特計示數之比作坐標，瓦特計示數之比，常以小者為分子。欲應用此圖表，須知功率

* 閱 C. V. Christie, "Electrical Engineering", 155 節, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York。

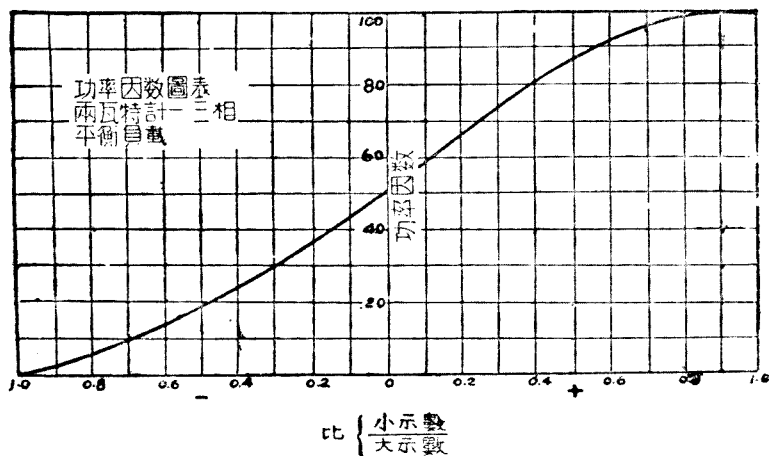


圖 281. 功率因數圖表

因數高於或低於百分之 50，以決定瓦特比之為正或負。決定功率因數之試驗，已於前節論及。此圖表並不表明功率因數為越前或帶後。

注意自此功率因數圖表上所得之結果，僅在負載平衡時為正確，若不先行校驗是否其負載為平衡而從此表上查得功率因數，而作為功率因數罰金之根據，則用戶可以不付。重行分配單相負載於三相之中，可減少罰金頗多。

另一測定三相負載功率因數之法，除用兩瓦特計外，添加一伏特計及安培計。其伏特計係用以測定線路電壓 E_l ，而安培計係用以測定線路電流 I 。

今
$$\text{功率} = \sqrt{3}E_l I \cos \phi = W_a + W_b,$$

故
$$\cos \phi = \frac{W_a + W_b}{\sqrt{3}E_l I} \quad (41)$$

而 $\cos \phi$ 為功率因數。

若非已知負載平衡，則當用三安培計，而以 I 之平均值作計算功率因數之用。

例題：用兩瓦特計法(圖 279)測定功率，其瓦特計示數為：

$$W_a = 2,500 \text{ 瓦。}$$

$$W_c = 5,000 \text{ 瓦，}$$

$$E_t = 100 \text{ 伏。}$$

$$I = 50 \text{ 安。}$$

其功率因數試驗(283 節)表示功率因數在百分之 50 以上。

則總功率 $= W_a + W_c = 7,500$ 瓦，

$$\text{功率因數} = \frac{W_a + W_c}{\sqrt{3} E_t I} = \frac{7,500}{\sqrt{3} \cdot 100 \times 50} = 86.6 \text{ 百分數。}$$

以瓦特比功率因數圖表校之， $\frac{W_a}{W_c} = \frac{2,500}{5,000} = 0.5$ ，與此比值相當之功率因數為百分之 6.6。

$$\phi = \cos^{-1} 0.966 = 36^\circ$$

290. 不平衡三相三線電路中功率之量法 以圖 279 之兩瓦特計法量功率，不論其負載平衡與否，均屬正確。負載平衡之情形，已於 288 節分別以矢量圖及電壓與電流之有效值證明之，俾明示瓦特計示數與負載功率因數變化之關係。若用電壓及電流之瞬時值，則易得包括平衡及不平衡負載之一般證明。

參看圖 282，

設 $W_a =$ 瓦特計 W_a 所量之瞬時功率

而 $W_c =$ 瓦特計 W_c 所量之瞬時功率

$$\text{則 } W_a = e_{BA} i_{01} = (e_{j1} - e_{j2}) i_{01} = e_{01} i_{01} - e_{02} i_{01}.$$

$$W_c = e_{BC} i_{03} = (e_{03} - e_{01}) i_{03} = e_{03} i_{03} - e_{01} i_{03}.$$

$$W_a + W_c = e_{01}i_{01} + e_{02}i_{02} + e_{03}(-i_{01} - i_{02})$$

但 i_{02} 等於 $(-i_{01} - i_{03})$ ，因電流別無他路可通也。

$$\begin{aligned} \text{故 } W_a + W_c &= e_{01}i_{01} + e_{02}i_{02} + e_{03}i_{03} \\ &= \text{總瞬時功率，} \end{aligned}$$

而瓦特計運動部分之慣性，使功率平均，如 265 節所述。

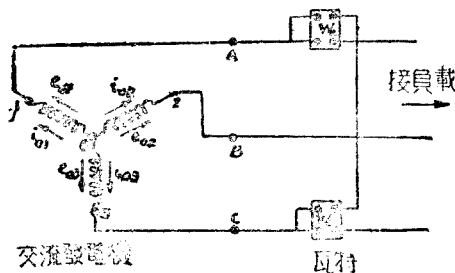


圖 282.

291. Δ 形接法制 前述兩瓦特計法量功率之一般的證明，係用 Y 形接法之交流發電機，但若用 Δ 形接法者，其證明亦屬同樣簡便，希讀者用 Δ 形接法，重作此證明。

交流發電機在其外端間保持某一電壓，而其功率全視其外電路，即負載而定。祇須保持外端間電壓於一定值，則不論交流發電機內部之接法如何，對於其外路絕無影響。在解答一僅關交流發電機以外之電路之問題時，無須預知交流發電機之接法為 Y 或 Δ 。例如在輸電線之問題中，即使已知其交流發電機為 Δ 形接法，仍常假定為 Y 形接法；換言之，其 Δ 形接法之交流發電機，以同端電壓之等值 Y 形機替代之。其理由為便於計算。三相輸電線之問題於第三十八章論及之。

292. 交流發電機之構造 旋轉磁場式交流發電機之構造，如圖 283 所示。

其定子心 B 係屬鋼疊片製成，此種疊片以其鳩尾榫附於一鑄鐵磁軛 A 上，而夾於二鐵板 E 中。此種疊片之內面周圍有槽 C ，槽內置電樞導線 D 。此種導線與槽絕緣而連接成線捲，由此供給電勢於外電路。定子心係以通風溝 F 隔成數段，使空氣得自由流通機中以冷卻機件。

其轉子或旋轉磁場部分包含若干繞有激磁線圈 H 之 N 及 S 磁

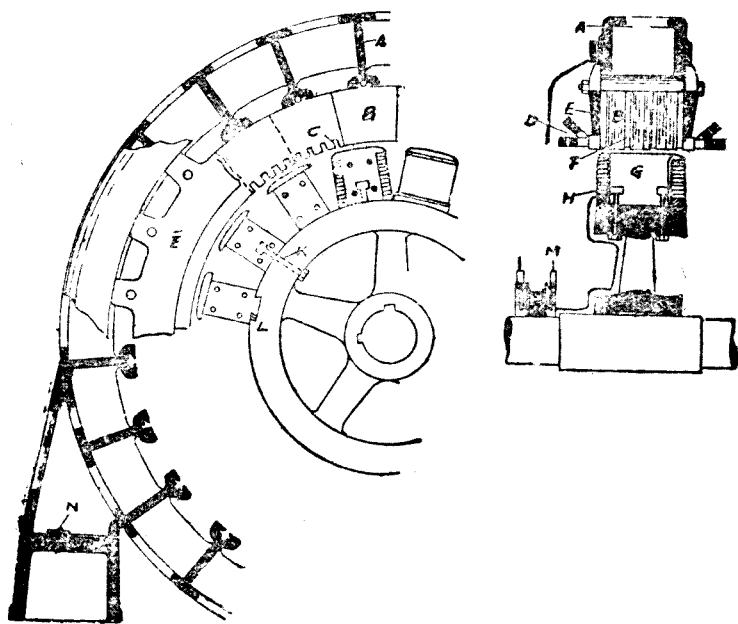


圖 283. 旋轉磁場式交流發電機

極，裝置於一鐵製磁場圓環上。交流發電機須以直流電激之，故不能自激。其激磁電流通常以小型直流發電機供給之。此直流機稱為激磁機 (exciter)。電流經電刷 M 而引入磁場線圈。電刷 M 裝於匯電環上而與機軸綫線

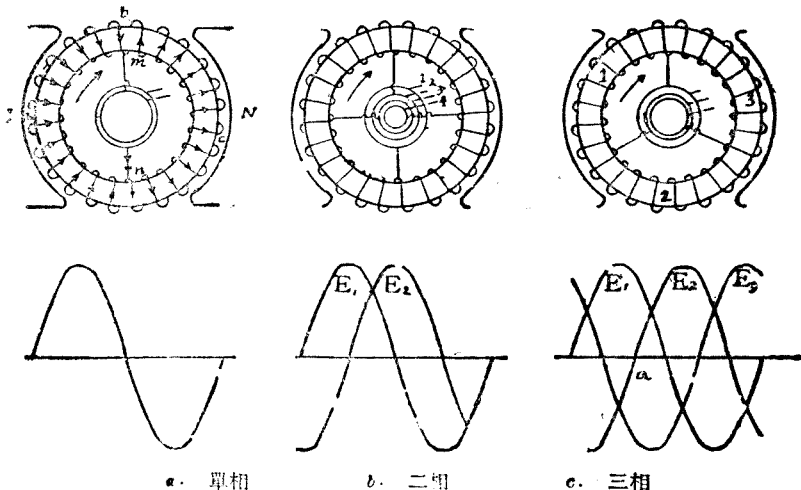
激磁機之電壓與交流發電機無關，通常多選用 120 伏。故在高壓交流發電機中，其激磁電流可大於交流機之滿載電流，如下例之情形：

一單相交流發電機在 13,200 伏及功率因數為百分數之 100 時，其輸出為 1,000 仟瓦。求其滿載電流。若其激磁機之電壓為 120 伏而交流機之激磁損失為百分之 2，求激磁機之輸出及交流機之激磁電流。

a. $\text{瓦} = \text{伏} \cdot \text{安} \cdot \text{功率因數}$,

故 $1,000 \times 1,000 = 13,200 \cdot \text{安} \times 1.0$,

而滿載時安數 = 76。



284. 旋轉電樞式交流發電機

- b. 激磁機之輸出 = 1,000 仟瓦之百分之 2 = 20 仟瓦。

$$\text{激磁電流} = \frac{20 \times 1,000}{120} = 167 \text{ 安。}$$

293. 旋轉電樞式交流發電機 在輸出量小及電壓低時常較旋轉磁場式者為廉。此種發電機示於圖 284 中，其電樞與直流發電機之電樞同，但無整流子，而在電樞直徑上相對之二點 m 與 n ，引出接頭，此種接頭接於匯電環 1 與 2 上。

當電樞在圖中之地位時，匯電環間之電勢最大；當電樞轉過四分之一轉後，則電勢為零，因此時 m 及 c 間之電勢與 c 及 n 間之電勢相等而相反也。電樞轉動半轉後，則電勢復為最大，但此時匯電環之極性已與前相反。故匯電環上之電勢交變其方向，每過一對磁極，經過一週。

若電樞上引出四點如圖 284 之 b ，則電樞在圖中所示之地位時，匯電環 1 與 2 間之電勢 E_1 為最大，而同時匯電環 3 與 4 間之電勢 E_2 為零，而 E_2 滯於 E_1 後 90 度，故此時該機為二相交流發電機。

欲得三相電流，電樞必須引出三點，如圖 284 之 c ，此時成為三相 Δ 形接法之電樞。在圖中所示之瞬時電壓 E_2 為零， E_1 為正而減少， E_3 為負而增加，此情形相當於其電壓曲線圖上之 a 點。

為簡便計，圖 284 所示者為格蘭姆環形電樞，但晚近電機採用圖 81 之摺捲。

294. 輪機交流發電機 圖 283 所示顯極式 (salient pole) 轉子之構造，係用於低速率及中速率之交流發電機中，此種發電機用水輪機及狄塞爾機推動之。其磁極之對數等於所需之頻率除以速率之每秒轉數。低水位水輪機為低速機。一低水位水力發電廠所用之 60

週交流發電機，其磁極多至 128。反之，汽輪機本為高速機。與汽輪機直接耦合之交流發電機，僅有二或四磁極。此種高速轉子之離心應力極大，因之，欲使其機械強度加大而同時減少其風阻損失，及增進其磁流分布起見，應用圓柱式之轉子構造。圖 286, 287, 及 288 說明此種構造之式樣。此種轉子通常以鋼板疊成，而以穿心螺絲夾緊

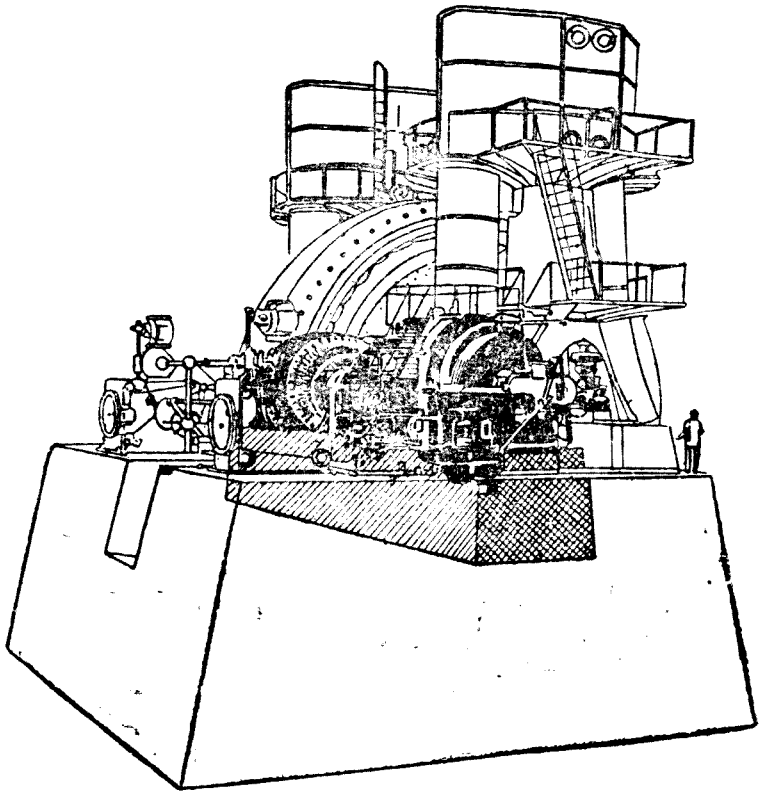


圖 285. 蒸汽機推動之交流發電機與一同容量之輪機交流發電機大小之比較

之。其磁場線捲係安置於槽中，如圖所示。

現代蒸汽發電廠，均配有輪機交流發電機。輪機之效率較蒸汽機為高，而其所佔之地位亦較小。圖 285 給讀者以兩種機器所佔地位之大小之觀念。輪機交流發電機之大小已有至 160,000 仟瓦者。此種巨大機器之冷卻，在其發展上為一大問題。欲保持一 30,000 仟瓦交流發電機於合理溫度，每分鐘約需 80,000 立方呎之空氣流經機中。

295. 感應體交流發電機 (inductor alternator) 之一式示於圖 289 中。因其構造簡單適於發生高頻率電勢。

其固定磁場線圈 F 激勵後，產生磁通 ϕ ，使各感應體 N 成為相同之極性。若感應體旋轉，則線圈 C 為力線所切，感應體在圖中之地位，各線圈之一邊割切力線時，其所發生之電壓為最大。當各磁極在 y 之地位時，其電壓為零，當各磁極在 z 之地位，而此時每線圈之另一邊割切力線時，其電壓復為最大，但其方向與前相反。故當感應體自 x 移動至 z 時，其電壓經過半週，或每轉經過 5 週。故具有五個感

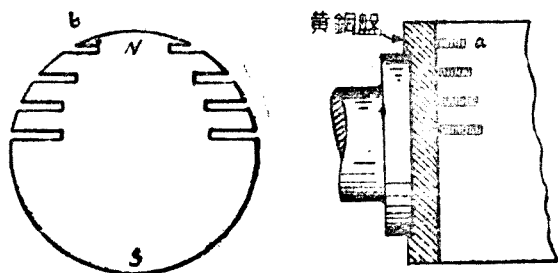


圖 285. 有平行槽之圓柱形轉子。此式之端接 a 支持甚好，但在高速率時 b 處之彎曲應力過大。

應體之發電機相當於一 10 極之旋轉磁場發電機。因在一感應體式電機中，無論何時，一線圈僅一邊有效，在輸出相同之電機中，感應體式發電機較重，故此種發電機僅用於需要構造簡單之處。

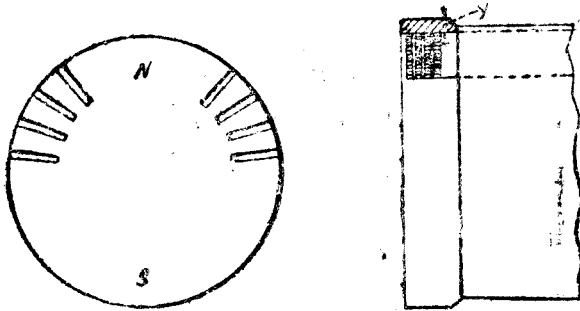


圖 287. 有幅射槽之圓形轉子。兩上下受磁力，但其磁極之電流不若圖 285 之佳。

296. 久磁交流發電機 圖 290 及 291 示煤氣機發火用之久磁

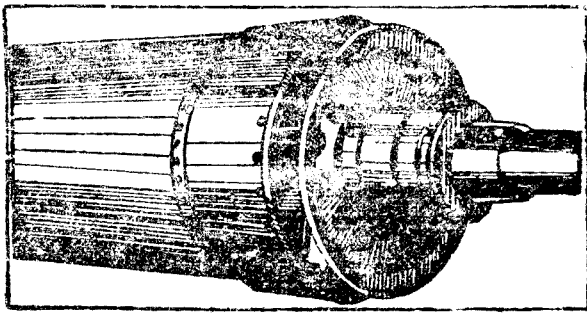


圖 288. 1,250 伏安每分 3,000 轉發電機轉子之一部分

交流發電機 (magneto alternator) 之三種形式。前者之電樞線圈係固定不動，而穿過線圈之磁流，則以旋轉感應體 *ab* 變更之，但後者之線圈則繞於感應體上而隨之旋轉。

在每種情形中，當感應體在圖中所示之地位時，磁流 ϕ 由 a 經過線圈 C 至 b ；半轉後， b 在 N 極下而 a 在 S 極下，此時磁流 ϕ 由 b 至 a 故經過線圈 C 之方向與前相反。

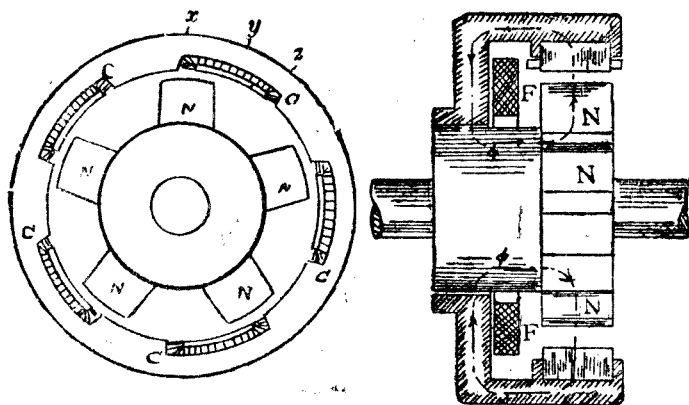


圖 286. 感應體交流發電機

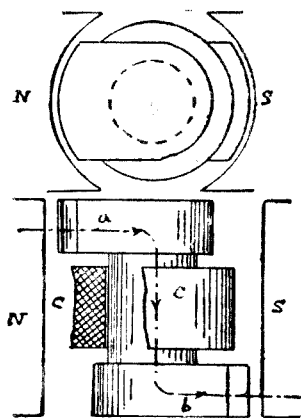


圖 290. 凸極交流發電機

若旋轉部分之極面製成定形，使穿過線圈 C 之磁流依圖 292 中之曲線 a 而變，則此種發電機可得頂高電勢；當感應體自磁極下移動至中性地位時，磁流之變動甚速。線圈 C 中之電勢，與磁流之變率成比例，其最大值如圖 292 中之曲線 b 所示。其電流滯於電壓後之角為 α 。若電路之電抗增加，則 α 之值亦增，故亦隨交流機之頻率或引擎之速率俱增。

297. 交流發電機之仟伏安定額 交流發電機旋轉於其額定速率時，能發生一定電壓而能繼續供給某一電流，不致過熱，但其所能供給之功率，視其負載之功率因數而定。故以伏及安定一交流發電機之定額，似較以功率定額為合理。因此，交流發電機之定額以仟伏安計，縮寫為 kva。仟瓦與仟伏安在功率因數為百分之 100 時相等，而在任何功率因數時，仟瓦等於仟伏安與功率因數之乘積。

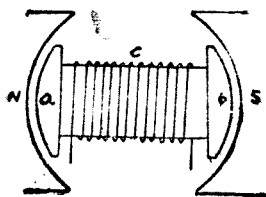


圖 291. 久磁交流發電機

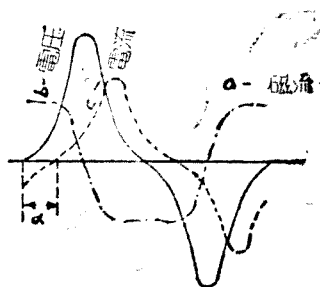


圖 292. 久磁交流發電機之電壓與電流曲綫

第三十章 變壓器特性

298. 變壓器 欲使電能經濟的輸送於長距離，必須利用高壓；然欲使電路運用安全，則須用低壓配電。交流變壓器 (transformer) 者，乃用以受電於某一電壓，而供電於另一較高或較低電壓之器也，其主要部分為繞於一鐵心上之兩線圈；一圈接受電能，名曰主線圈。另一圈供出電能，名曰副線圈。

299. 定壓變壓器 圖 293

中， C 為一閉磁路，其上繞有 n_1 匝及 n_2 匝之兩線圈。

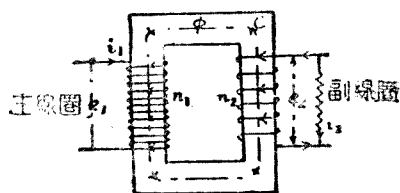


圖 293 變壓器

先將副線圈不連任何負載，使之斷路，而無電流流過其中之

情形觀之。當一交流電勢 e_1 加於主線圈時，則有電流 i_1 經過其中，而產生一磁場流 ϕ ，穿過副線圈。因此磁場生舉長及衰落，切過兩線圈而產生電勢 e_1 及 e_2 。於其中，此種電勢之大小，各與匝數 n_1 及 n_2 成比例。今令 e_2 為主線圈之反電勢。此乃自成電勢，依楞次定律，反對發生此電勢之電流之改變。故所加交變電勢 e_1 先在一方向，繼在另一方向，而開始及停止電流 i_1 ，同時 e_2 繼續反對 i_1 之開始及停止。反對 i_1 之唯一他力，為主線圈之電阻 R_1 。因此電阻甚小， e_2 幾與 e_1 相等而相反，其差適足使電流 i_1 經過其電阻 R_1 。

注意，凡副線圈為开路時，變壓器僅為一高電感之線圈，其理論已於 257 及 258 節中述及，因電感甚大，無載主線圈電流 I_0 甚小。

$$\text{今} \quad \frac{e_2}{e_{1b}} = \frac{n_2}{n_1}$$

因 e_{1b} 幾等於 e_1 ，

$$\frac{e_2}{e_1} = \frac{n_2}{n_1} \text{ (約),}$$

或用有效值

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{n_2}{n_1} \text{ (約).} \quad (42)$$

無載時之向量圖示於圖 291。本心中之磁流恆隨與發生此磁流之電流同相，但在鐵心中，磁流 ϕ 滯後於發生此磁流之電流 I_0 後，如圖 294 所示。 E_{1b} 及 E_2 滯後於 ϕ 後 90 度，故 E_{1b} 幾與 E_1 相等而相反，約建於 ϕ 後 90 度。 $E I_0 \cos \alpha$ 為主線圈之輸入功率，且因其輸出為零，故輸入全為損失，實際上此損失之全部均為鐵損失。主線圈有最小銅損失 $I_0^2 R$ ，但因 I_0 小，此值則更甚小。

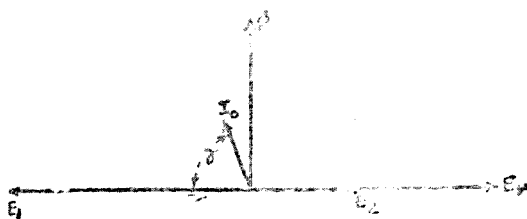


圖 291. 變壓器之無載向量圖。(主線圈之電感係以有效值之比等於二)

試觀副線圈接一負載，副線圈電壓 e_2 使電流 i_2 流動時所生之情形。電流 i_2 當反對產生電壓 e_1 之磁流之增減，但磁流 ϕ 之增減程度即略有減少，將使 e_{1b} 相應減少，而使主電流 i_1 增加甚大，因 $i_1 = \frac{e_1 - e_{1b}}{R_1}$ 而 e_{1b} 與 e_1 幾相等也。

故副電流 i_2 之去磁效應，為增添之主電流所中和。換言之，如 R_1 可以略去不計， e_{1b} 在無論何時均應與 e_1 相等而相反。故 e_{1b} 之振幅及相角均為固定；因而發生 e_{1b} 之 ϕ 之振幅及相角必須固定。因此產生 ϕ 之磁化力之振幅及相角必須固定；即主線圈及副線圈電流之組合磁化效應，在無論何時均應與 i_0 之單獨磁化效應相等；故因 i_2 流動之結果而增添之主線圈電流，在無論何時均應中和 i_2 之去磁效應。

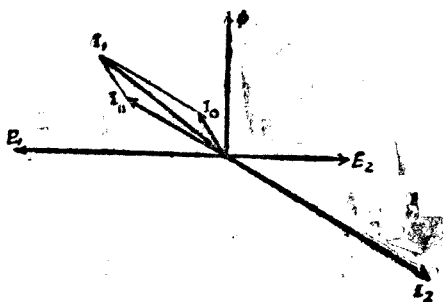


圖 205. 變壓器荷有負載時之矢量圖(主線圈匝數與副線圈匝數之比等於二)

設 i_{11} = 此增添之主線圈電流。

今線圈中流動之電流之磁化效應與安數及匝數之乘積成比例。

故

$$i_{11}n_1 = i_2n_2$$

或用有效值，

$$I_{11}n_1 = I_2n_2$$

負載情形之矢量圖示于圖 295。 I_2 之值及相角視負載之性質而定。因 I_{11} 中和 I_2 之去磁效應，故必須與 I_2 之相隔 180 度，而依 (43) 式，其大小等於 $\frac{n_2}{n_1}I_2$ ，主線圈總電流 I_1 ，為原主線圈無載電流 I_0 及中和 I_2 之去磁效應之主線圈增添電流 I_{11} 之矢量和。

滿載時， I_{11} 遠較 I_0 為大，約略計算時，吾人可略去 I_0 而以 I_1 代 I_{11} 於 (43) 式。

$$\text{則} \quad I_1n_1 = I_2n_2$$

$$\text{或} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1} \text{ (約)。} \quad (44)$$

應用 (44) 式時宜留心。在極輕之負載時，此方程式無準確之希望，

300. 漏磁流 在 299 節之理論中假定所有磁流均鏈貫兩線圈。然實際上，兩線圈均產生僅鏈貫各該線圈之磁流。

圖 297 示變壓器中磁流之實際分布。安匝 n_1i_1 產生磁流 ϕ_{11} ，名曰主線圈漏磁流 (leakage flux)，與 i_1 成正比，穿過線圈 n_1 而不穿過 n_2 。

安匝 n_2i_2 產生一磁流 ϕ_{22} ，名曰副線圈漏磁流，與 i_2 成正比，穿過線圈 n_2 而不穿過 n_1 。

安匝 n_1i_1 及 n_2i_2 共同作用，產生一磁流 ϕ ，穿過 n_1 及 n_2 兩線圈，其值實際上一定不變，此一定磁流之效應前已述及。

任何線圈中，電流 i 產生一與電流成正比之磁流 ϕ ，則稱該圈有自感應 (閱 258 節)，而通一交流 I 經此線圈之電壓 = IX ，此處 X 為線圈之電抗；電流滯於此電壓後 90 度。

在圖 297 中，磁流 ϕ_{1l} 與電流 i_1 成正比，且其效應適如線圈 n_{1l} 有一電抗 X_{1l} 時同，故可以等值電抗 X_{1l} 之效應，以代替考慮磁流 ϕ_{1l} 之效應。同法，漏磁流 ϕ_{2l} 可以等值電抗 X_{2l} 代之。圖 298 示一實際變壓器之圖，其中漏磁流 ϕ_{1l} 及 ϕ_{2l} 以等值電抗 X_{1l} 及 X_{2l} 代之，為便利起見，此等電抗及線圈之電阻 R_1 及 R_2 均置於實際線路之外。

在線端 ab 及 cd 之間，圖 298 之變壓器圖與圖 296 之理想圖同。此理想變壓器之矢量圖示於圖 299，與圖 295 同。

實在端電壓 E_1 ，自 E_1 減去使電流 I_1 經過副線路電阻及電抗所

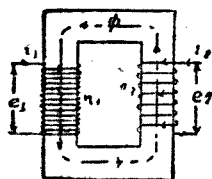


圖 293.

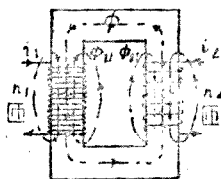


圖 297.

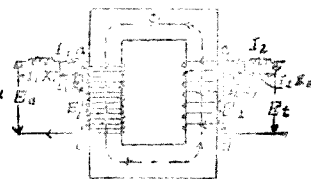


圖 298.

- 圖 293. 理想變壓器
 圖 297. 變壓器內磁流之實際分布情形
 圖 298. 圖示電阻及電抗之變壓器



圖 299. 理想變壓器之矢量圖

需之電壓 $I_2 R_2$ 及 $I_2 X_2$ 等矢量而得，此處 $I_2 R_2$ 與 I_2 同相，而 $I_2 X_2$ 越於 I_2 前 90 度。

外施主電壓 E_a 乃加主線圈電阻及電抗之位降， $I_1 R_1$ 及 $I_1 X_1$ 等矢量於 E_1 而得。

在變壓器運用之初步討論中，略去電阻及電抗位降而不計，故

$\frac{E_2}{E_1} = \frac{n_2}{n_1}$ 。在圖 298 及 300 中，此項關係仍能成立，但在副線圈負

載之滯後功率因數時，因電阻及電抗位降之故， E_1 小於 E_a 而 E_a 大於 E_1 ，如圖 300 所示。此等位降與各電流成比例，故副線圈電壓因負載增加而降低。然在副線圈負載之超前功率因數時， E_1 可大於 E_a 而 E_a 小於 E_1 ，故副線圈電壓可因負載之增加而上升。讀者對於此點，當繪矢量圖以明之。



圖 300. 變壓器之電壓之矢量圖

變壓器內電壓降之計算，與發電機(297節)內之電壓降之計算全同。若以兩輪電線而言，或更切實，當 R_1 及 X_1 與另一輪電線相等，而 R_2 及 X_2 與另一輪電線相等也。在理想變壓器中，當 $R_1 = R_2$ ， $X_1 = X_2$ 以後即無電壓降存在；僅有一電壓變化，對於各種運用情形均為一定，且等於匝數之比。

301. 標準變壓器中之磁漏電抗 用屏蔽電及電位變壓器，製造時使 ϕ_{11} 及 ϕ_{21} 小，以減少磁漏電抗 X_{11} 及 X_{21} 。圖 301 所示一變壓器之每股上各有一寸繞圈及一寸繞圈，並示其漏磁流。自此圖可知每股上 ϕ_{11} 及 ϕ_{21} 作用於相反方向，如 ϕ_{11} 與 ϕ_{21} 交互繞捲，則漏磁

流將互相中和，僅有主磁流 ϕ 存在。實際上將變壓器製成如圖 *B* 所示，藉得與此相近之結果，即主線圈之一半及副線圈之一半相疊而置於變壓器鐵心之每股上。於是漏磁流不得不擠於線捲間之 x 處，且 x 之地位愈小，則漏磁流愈小，而磁漏電抗亦愈小。

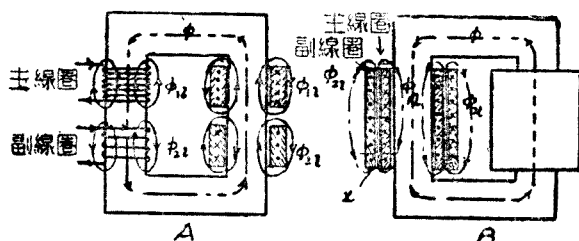


圖 301. 變壓器之漏磁流

就保持用戶電壓一定而論，磁漏電抗愈低愈佳，然磁漏電抗有一價值之作用，則為限制短路電流。其作用不僅保護變壓器本身於保護裝置動作時所需之一二秒間使無損壞，亦且減少斷路之斷裂及其餘部分之電壓擾亂。故實際上變壓器並不依可能之最小磁漏電抗而製造，但常有充分之電抗以限制短路電流至滿載電流之十倍乃至二十倍，視其用途之情形而定。

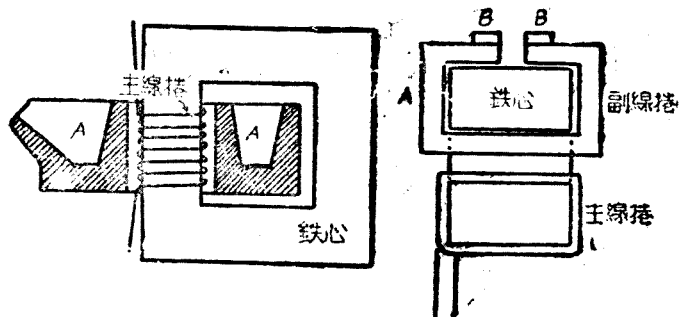


圖 302. 感應電爐

圖 302. 感應電爐接器

302. 感應電爐 圖 302 示電爐之運用如一變壓器者，名曰感應電爐(induction furnace)，其副線圈乃在環形槽 A 內，為充電之處，以副電流加熱。加於副線圈之能量，可變更主線圈之外施電壓變更之。

圖 303 示一電焊接器 (electric welder)，依同一原理而作用者。此處單匝 A 係斷路，而以須焊接之兩片通之。此等須焊接之片支於兩夾板 B 間，以壓力軋緊之，電流通過接觸點，並熱其須焊接之端。

因此處副線圈負載為電阻負載，即鎔化金屬之電阻，故此變壓器之功率因數在滿載時似應甚高，但實際上，鮮有超過百分之 70 者。此因主線圈與副線圈間之距離不能設法使小，是以磁漏電抗較大。

感應電爐之矢量圖如圖 304 所示。因副線圈為一鎔化金屬之環，自成短路，故端電壓 E_2 為零，而副線圈之發生電壓 E_2 為 $I_2 R_2$ 及 $I_2 X_2$ 兩部分所合成，此處 R_2 為鎔化金屬環之電阻，而 X_2 為其因漏磁流 ϕ_{2l} 而生之電抗。此圖之其餘部分可依圖 300 之同樣方法求得，至電爐之功率因數為 $\cos \alpha$ ，鮮有超過百分之 70 者。

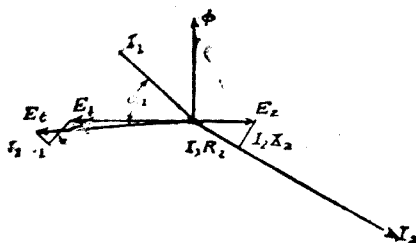


圖 304. 感應電爐之矢量圖

303. 定流變壓器 圖 305 所示之定流用於路燈之串聯連用變壓器(constant current transformer)，其主線圈為靜止者，且接受功率於一定電壓，同時其懸掛之副線圈可自由移向或遠離主線圈。

而供給一定之電流於電燈線路。

當副線圈向主線圈接近時，變壓器之電抗小，而副線圈電壓約等於主線圈電壓乘匝數之比。如兩線圈間距離增加，則漏磁流及電抗增加，雖主線圈電壓維持不變，而副線圈電壓下降矣。

主線圈與副線圈中電流之方向相反，在此種情形下，主線圈與副線圈相互推拒，由於副線圈上平衡重量之調準使所需電流經此圈中時，其推拒之力適可保持副線圈平衡懸掛。如線路中一部分電燈

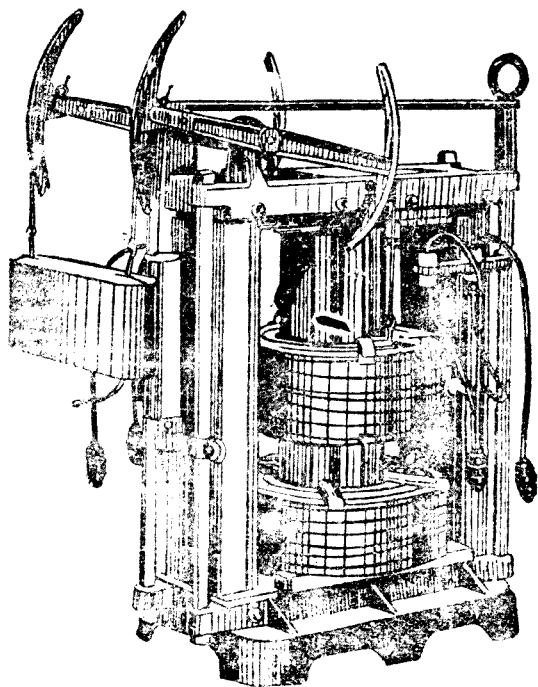


圖 305. 定流變壓器

熄滅，電流勢將增大，但電流之任何增加，即破壞其平衡，而副線圈上升，直至電流回至前值恢復平衡為止。線圈接近時此種變壓器之功率因數頗高，但因線圈間距離之增加而減低。

304. 變壓器之效率

$$= \frac{\text{輸出}}{\text{輸入}} = \frac{\text{輸出}}{\text{輸出} + \text{損失}}$$

此處之損失為：

鐵損失；鐵心中之磁滯及渦流損失。

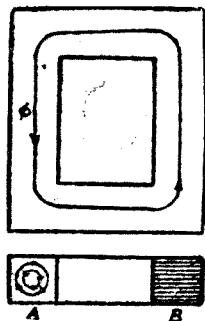
銅損失；為主線圈及副線圈之 $I_1^2 R_1$ 及 $I_2^2 R_2$ 瓦數。

主線圈及副線圈電抗中並無功率損失（參閱 259 節）。

305. 磁滯損失 因變壓器鐵心中磁流之交變，鐵之分子磁連續反向而需用功率。此功率稱曰磁滯損失。

306. 渦流損失 若圖 306 中變壓器之鐵心為一固體鐵塊所製成，則交變磁流 ϕ 穿過此鐵心而使電流流動如 *A* 處所示，適如經過一短路之副線圈中。維持此種渦流需用功率。此功率稱曰渦流損失。

欲使渦流變小，當置高電阻於其通路中。此點可分鐵心為疊片而成之，如 *B* 處所示。疊片以油漆互相隔離之。



307. 鐵損失 綜合磁滯及渦流兩種損失，名曰鐵損失。因磁流在各負載時均一定不變（閱 299 節），此磁流所生之鐵損失在各負載時亦一定不變。此損失可在無載時運用變壓器於正常電壓及頻率而決定之。此種情形下，瓦特計

所量之輸入等於鐵損失，但無載電流之小量銅損失可略去不計也。

308. 全日效率之義，定為 24 小時內用戶所用之總能量，與變壓器之輸入總能量之比。燈用變壓器全日 24 小時均與電源相接，而供給電能每日約 5 小時，其全日效率頗為重要。在此種情形下，

$$\text{全日效率} = \frac{\text{輸出} \times h}{\text{輸出} \times h + \text{鐵損失} \times 24 + \text{銅損失} \times h}$$

此處 h 為變壓器每日供電之時數。

例題 在一 50 仟伏安，2,200 對 22 伏變壓器中，其鐵損失為 300 瓦，主線圈電阻為 0.5 歐，及副線圈電阻為 0.005 歐。求：

- 負載為 50 仟瓦及功率因數百分之 100 時之效率。
- 負載為 5 仟瓦及功率因數百分之 100 時之效率。
- 負載為 50 仟伏安及功率因數百分之 80 時之效率。
- 如 c 中之負載一定不變，且每日連接 5 小時，而變壓器每日 24 小時均接於電源上，求其全日效率。

$$a. \quad \text{副線圈電流 } I_2 = \frac{50,000}{22} = 227 \text{ 安。}$$

$$\text{主線圈電流 } I_1 = \frac{50,000}{2,200} = 22.7 \text{ 安。 (約)。}$$

(此種計算 I_1 之方法，乃假定變壓器為理想者，不含電阻及電抗，而 $I_0 = 0$ 。此法所得 I_1 之值，僅用以計算銅損失，已甚準確)

$$\text{銅損失} = 227^2 \times 0.005 + 22.7^2 \times 0.5 = 514 \text{ 瓦。}$$

$$\text{鐵損失} = 300 \text{ 瓦。}$$

$$\text{總損失} = 814 \text{ 瓦。}$$

$$\text{輸出} = 50,000 \text{ 瓦。}$$

$$\text{輸入} = 50,814 \text{ 瓦。}$$

效率=98.5百分數。

$$b. \quad I_2 = \frac{5,000}{220} = 22.7 \text{ 安, 及 } I_1 = \frac{5,000}{2,200} = 2.27 \text{ 安, (約)}.$$

銅損失 = $22.7^2 \times 0.005 + 2.27^2 \times 0.5 = 5.14$ 瓦。

鐵損失 = 300 瓦。

總損失 = 305 瓦。

輸出 = 5,000 瓦。

輸入 = 5,305 瓦。

效率 = 94.4 百分數。

$$c. \quad I_2 = \frac{50,000}{220} = 227 \text{ 安, 及 } I_1 = \frac{50,000}{2,200} = 22.7 \text{ 安, (約)}.$$

銅損失 = $227^2 \times 0.005 + 22.7^2 \times 0.5 = 514$ 瓦。

鐵損失 = 300 瓦。

總損失 = 814 瓦。

輸出 = 40,000 瓦。

輸入 = 40,814 瓦。

效率 = 98 百分數。

$$d. \quad \text{全日效率} = \frac{40,000 \times 5}{40,000 \times 5 + 400 \times 24 + 314 \times 5} = 95.5 \text{ 百分數}.$$

309. 變壓器內電壓與磁流密度之關係 在每一週間，磁流增至其最大值 Φ_m ，減至零，反方向增至最大值，而復減至零。故 Φ_m 切過線圈每週四次，或每秒 $4f$ 次。是以 n 匝之線圈所生之平均電壓 E_{av}

為

$$E_{av} = 4fn\Phi_m 10^{-8} \text{ 伏,}$$

今正弦曲線之平均值 = $\frac{2}{\pi}$ × 最大值 (244 節)，且 Φ_m 之有效值

= $\frac{1}{\sqrt{2}}$ × 最大值 (246 節)。是故有效值 = $\frac{\pi}{2} \times \frac{1}{\sqrt{2}} = 1.11$ 乘平均值

故所生電壓之有效值可以下式示之：

$$E = 4.44fn\Phi_m 10^{-8} \text{ 伏。} \quad (45)$$

自此可知磁流 Φ_m 與外施電壓成正比。如外施電壓逐步增加，且記錄激磁電流 I_0 之相當值，則可得如圖 307 所示之飽和曲線，自此曲線可知如一變壓器使用於較額定電壓為高之電壓，則激磁電流 I_0 可數倍於其正常值，其結果主線圈銅損失將過度增高，而其絕緣將為高熱所破壞。

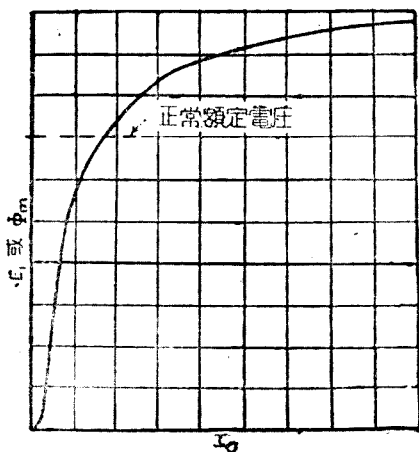


圖 307. 變壓器之飽和曲線

圖 307 中 '正常額定電壓' 線之高度，依購買變壓器時所根據之說明書而定，如價格削至最低，或有不適宜之高度。

(45) 式示 60 週之變壓器何以較同容量 25 週之變壓器既輕且

廉，如 E 為固定，則 $n\Phi_m$ 與 f 成反比，故如頻率加倍，匝數或鐵之截面積可減半，或兩者均可以 $\sqrt{2}$ 除之。

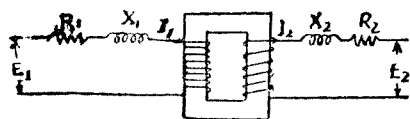


圖 308 A. 變壓器之圖示法

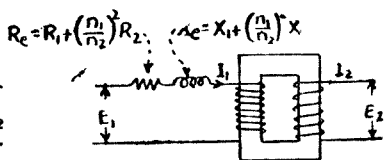


圖 308 B. 等值變壓器

310. 變壓器之等值電阻及電抗 略去 I_0 而以單一之等值電阻及電抗 R_e 及 X_e ，代替 R_1, R_2, X_1 及 X_2 ，則變壓器中電壓降之計算，頗可化簡，此等值電阻及電抗可生同一之電壓降。

如 R_e 及 X_e 置於主線圈電路中如圖 308 B 所示。

$$\text{則} \quad R_e = R_1 + \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 R_2 \quad (46)$$

$$\text{及} \quad X_e = X_1 + \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 X_2 \quad (47)$$

上列方程式之正確，可證明之如下：設 R'_1 = 應置於主線圈之額外電阻，以使 E_2 中之電壓降，與置電阻 R_2 於副線圈時同。

於是 R'_1 於主線圈中生一電壓降 = $I_1 R'_1$ ，但凡施於主線圈之電壓必生一副線圈電壓 = $\frac{n_2}{n_1}$ 乘此種主線圈電壓，故 $I_1 R'_1$ 於副線圈中生一電壓降 = $\frac{n_2}{n_1} I_1 R'_1$ ，而應等於副線圈中 R_2 本應發生之電壓降。

$$\text{故} \quad \frac{n_2}{n_1} I_1 R'_1 = I_2 R_2$$

而
$$R'_1 = \frac{I_2}{I_1} \times \frac{n_1}{n_2} R_2 \quad \text{但} \quad \frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

故
$$R'_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 R_2$$

等值電阻及電抗可藉一伏特計，安培計及瓦特計量得之，如圖 309 所示。短接其副線圈，且調準電壓 E_1 直至 I_1 達其滿載值為止。

於是 I_2 亦達其滿載值，因 $\frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2}$ 。此時並無輸出；故輸入全為損

失，而此損失幾全為銅損失。鐵損失約依電壓之平方而變更。

副線圈短接時，使滿載電流經過於線圈中所需之 E_1 之值，僅

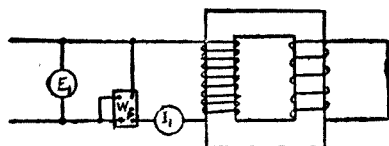


圖 309. 銅損失及等值電阻及電抗之量法

為正常電壓之十分之一。因此鐵損失僅為正常值之百分之一，可略去不計。

故
$$W_s = \text{銅損失} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = I_1^2 R_e;$$

因此
$$R_e = \frac{W_s}{I_1^2} \quad (48)$$

再者，因副線圈短接，除 R_e 及 X_e 外，並無阻礙主線圈電流之流行者。

今
$$Z_e = \sqrt{R_e^2 + X_e^2}$$

及
$$Z_e = \frac{E_1}{I_1}$$

及
$$X_e = \sqrt{Z_e^2 - R_e^2} \quad (49)$$

用等值電抗理由之一以無法分別量 X_1 及 X_2 也。

311. 電抗百分數 以百分數表示變壓器之等值電抗，已成為普遍之實用。例如，在滿載時電抗電壓 $I_1 X_0$ 等於主線圈電路百分之 5，則此變壓器之電抗謂為百分之 5，此處 X_0 為主線圈電路中之等值電抗。

等值電抗當可自副線圈方面計算之，僅將 (47) 式中 X_1 及 X_2 互易及匝數之比例之而已。如 X_{02} 為副線捲之等值電抗，而變壓器之電抗為百分之 5，則在滿載時 $I_2 X_{02}$ 將等於副線捲電壓之百分之 5。

以百分數表示等值電抗較歐數為普通之主要理由為：以歐數表示時，其值有二，視其置於主線圈或副線圈而定。至以百分數表示，則僅有一值。主線圈中任何電壓降落對於主電壓之百分數，與副線圈中相當位降對於副線圈電壓之百分數同。

變壓器之等值電阻亦可以百分數表之。

312. 變壓器之冷却 變壓器因有損失而發熱。此種熱量應使之發散，而保持變壓器線圈之溫度於使絕緣開始損壞之溫度之下。輸出小於 1 仟伏安之變壓器，可直接藉輻射作用以散其熱，但輸出在 500 仟伏安以內之變壓器常置於鋼箱內，然後注以絕緣油，油面高出線捲之上。油能增進絕緣之強度，且油中發生對流，熱量藉以自變壓器之表面攜至鋼箱之較大表面，自此可散於周圍之空氣中。此種變壓器名曰自冷式。

變壓器中之損失與其容積成正比，而輻射表面等於其外表面積。故變壓器增大時，其損失之增加較輻射表面為速；是以應設特種裝

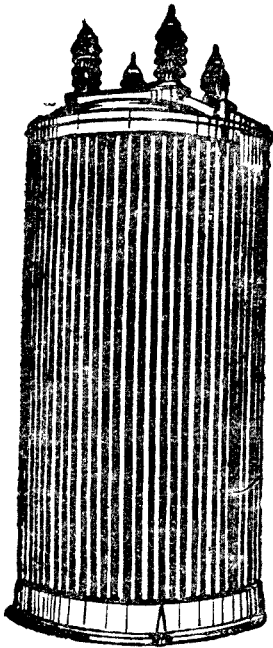


圖 310. 皺紋箱

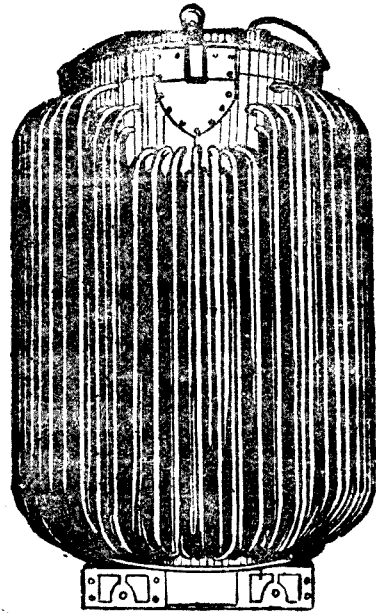


圖 311. 有外冷管之箱

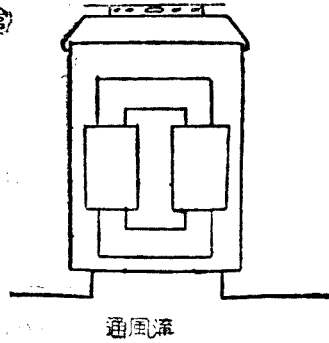
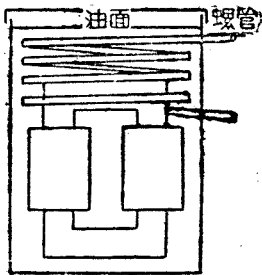


圖 312. 水冷式變壓器之圖示

圖 313. 吹氣式變壓器之圖示

置以冷却大輸出之變壓器。

輸出自 50 至 500 仟伏安之變壓器採用如圖 310 中之皺紋箱，惟輸出自 500 至 2,000 仟伏安者，應供給較自皺紋箱可得者更多之表面，則用圖 311 所示之構造；輸出大於 2,000 仟伏安者，藉他種冷却方法，可用較小較廉之變壓器。

水冷式示於圖 312；冷水環流於螺管中，自油之上層熱部分吸取熱量。變壓器中每仟瓦之損失，每分鐘約須 $2\frac{1}{2}$ 磅或 $\frac{1}{4}$ 加侖之水。

吹氣式變壓器示於圖 313。變壓器內多設通風溝，俾空氣得達熱量發生之各點。此式變壓器較注油式為輕，然電壓高於 30,000 伏時不易絕緣。每仟瓦損失每分鐘約須一百五十立方呎之空氣。

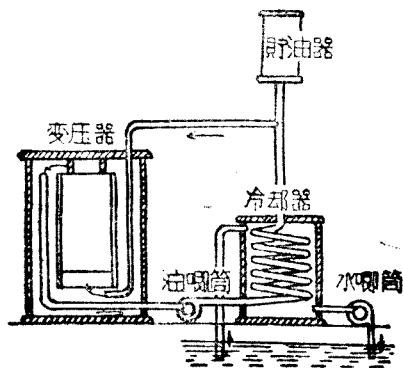


圖 314. 變壓器油之環流以冷却之方法

流油式變壓器示於圖 314，在僅有硬水以達冷却目的之處，用之殊為有利。當硬水用於水冷式變壓器時，鹽易污積於冷却管之內側，而閉塞水之供給。用流油冷却法，此種鹽將積於冷却圈之外側。

第三十一章 變壓器連接法

313. 電燈變壓器 此種變壓器常用以變 2,200 伏為 110 伏，但主線圈及副線圈均分為二，如圖 315 所示，且此等線圈可以連接成一標準變壓器。在高壓方面適用於 2,200 或 1,100 伏，而低壓方面為 220 或 110 伏。各種連接法，示於圖 315。

314. 與二相線之接法 圖 316 A 示變高壓二相為低壓二相以便電動機運用之方法。

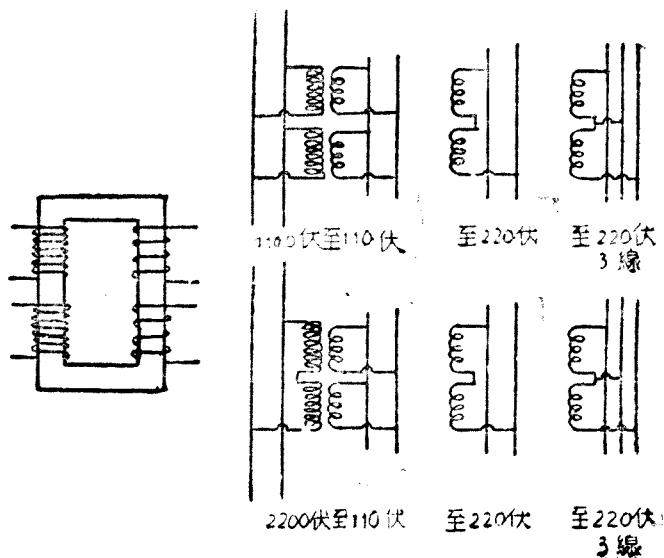


圖 316. 電燈變壓器之標準接法

試規定用於 440 伏二相電動機之變壓器。電動機供給 50 馬力，其效率為百分之 90，功率因數為百分之 88，線路電壓為 200 伏。

$$\begin{aligned} \text{電動機之輸出} &= 50 \text{ 馬力} \\ &= 50 \times 0.746 = 37.3 \text{ 仟瓦} \\ \text{電動機之輸入} &= \frac{37.3}{0.9} = 41.4 \text{ 仟瓦} \\ &= \frac{41.4}{0.88} = 47 \text{ 仟伏安} \end{aligned}$$

故需輸出各為 23.5 仟伏安之變壓器，其副線圈電流 = $\frac{23,500}{440} = 53$ 安，略去變壓器損失，其主線圈電流 = $\frac{23,500}{2,200} = 10.7$ 安。

圖 B 示連接一低壓單相負載至二相線之法；負載應儘量勻分於二相之間。

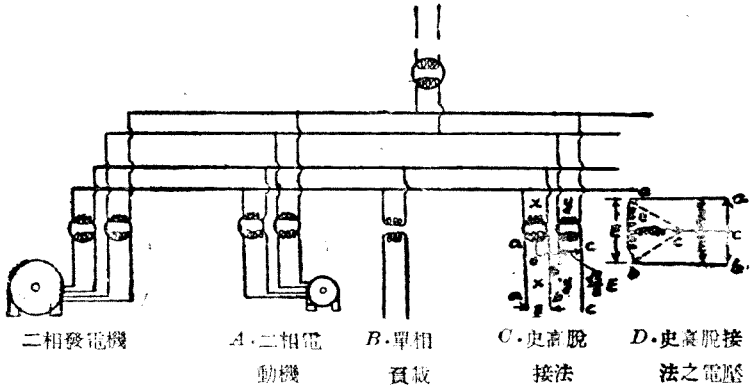


圖 315. 接於二相線之變壓器

315. 史高脫接法——二相變為三相 圖 C 示史高脫接法，用以變二相為三相。x 及 y 兩變壓器為繞有相同之主線捲電壓，即二相線路電壓，但 y 之副線捲電壓僅為 x 之 $\frac{\sqrt{3}}{2}$ 或 0.86 倍。y 之副線圈

一端連於 x 之中點。

如 x 之副線圈電壓為 E 伏，則 y 為 $\frac{\sqrt{3}}{2} E$ 伏，在圖 D (圖 316)，

a 及 b 間之電位差 = E 伏

a 及 c 間之電位差 = $\sqrt{(ao)^2 + (oc)^2}$
= E 伏，

b 及 c 間之電位差 = E 伏。

此等電壓間相之關係，與一 Δ 形接法之變壓器組中者同。

三相方面平衡之負載，亦平衡於二相方面。

316. 與三相線之接法 圖 317 A 中，示三變壓器之主線圈及副線圈均連成 Y 。如 E_1 為主線圈線路間之電壓， E_2 為副線圈線路間之電壓，則

每一變壓器之主線圈電壓 = $\frac{E_1}{\sqrt{3}}$ (閱 282 節)。

每一變壓器之副線圈間電壓 = $\frac{E_2}{\sqrt{3}}$ 。

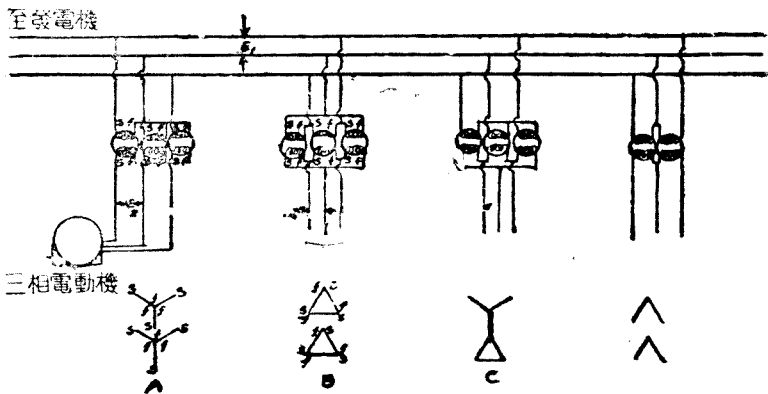


圖 317. 變壓器與三相線之接法

每一變壓器之變壓比 = $\frac{E_1}{E_2}$ 。

圖 B 示變壓器之主線圈及副線圈均接成 Δ ：

每一變壓器之主線圈電壓 = E_1 (閱 284 節)。

每一變壓器之副線圈電壓 = E_2 。

每一變壓器之變壓比 = $\frac{E_1}{E_2}$ 。

圖 C 示變壓器之主線圈連成 Y，副線圈連成 Δ ：

每一變壓器之主線圈電壓 = $\frac{E_1}{\sqrt{3}}$ 。

每一變壓器之副線圈電壓 = E_2 。

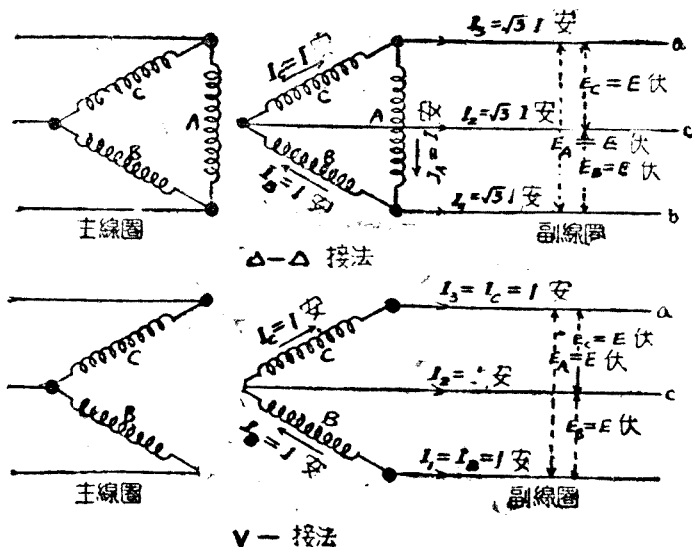
每一變壓器之變壓比 = $\frac{E_1}{\sqrt{3}E_2}$ 。

317. 開 Δ 或 V 形接法 在 Δ 接法中，任一相之電壓，在任何時均等於其他兩相中電壓之和且與之相反，故如圖 318 中，拆去 Δ 形接法變壓器組中之一變壓器 A，a 及 b 間之電位差不變，藉變壓器 B 及 C 串聯而維持之，故三相電功率仍可自 a, b 及 c 等線得之。此種接法名曰 V 或開 Δ 形接法，並示之於圖 317 D。

圖 318 中，如每變壓器之額定滿載副線圈電流為 I 安，則 Δ - Δ 接法時，額定滿載線路電流 = $\sqrt{3}I$ 安，為各等於 I 且互成 120 度之異相之兩電流之矢量差 (284 節)。

每變壓器之仟伏安定額為 $\frac{EI}{1,000}$ 仟伏安。

線路所輸送之總功率 = $\sqrt{3} E_l I_l \cos \phi$ (284 節)，此處 E_l = 線路

圖 318. 變壓器之 $\Delta-\Delta$ 及 V 接法

電壓，而 $I_l =$ 線路電流。在圖 318 中， $E_l = E$ 而 $I_l = \sqrt{3} I$ ，故三變壓器組之仟伏安定額為 $\frac{\sqrt{3} E_l I_l}{1,000} = \frac{3 EI}{1,000}$ 仟伏安 = 每一變壓器定額之三倍。

今若自組中拆去一變壓器，其餘變壓器仍各可負載其本身之額定滿載電流 I ，但此時線路電流僅為來自一變壓器線圈之電流。因此自組中拆去一變壓器，滿載電流自 $\sqrt{3} I$ 減至 I 安，其減少為百分之 42.3，而非吾人所希望之百分之 33 $\frac{1}{3}$ 。

例如，三 33 $\frac{1}{3}$ 仟伏安變壓器連接成一 Δ 組，此組之定額為 100

仟伏安；但如拆去其中一變壓器，則所成之 V 形接法組之定額並非 $66\frac{2}{3}$ 仟伏安而為 57.7 仟伏安。故當變壓器連成 V 形組時，其組之定額較變壓器之單獨定額之和，約小百分之 13.4。其定額減小之原因，為變壓器 B 及 C 除擔負其本身之電流外，尚須負擔已除去之變壓器 A 之電流，因 I_A 與 I_B 或 I_C 之相不同，故拆去變壓器 A，則 I_B 及 I_C 之相均為之移動，事實上， I_B 向一方向移動 30 度，而 I_C 向另一方向移動 30 度。因此，如負載之功率因數為百分之 100，兩變壓器本身運用於 $\cos 30^\circ$ 即百分之 86.6 之功率因數。

此事亦解釋何以圖 318 之兩圖中 I_2 可有不同之值，雖在兩圖中， I_B 及 I_C 有同值 I 安，且 I_2 均為 I_B 及 I_C 之矢量差。在 Δ 形接法中， I_B 及 I_C 相隔 120 度，其矢量差 = $\sqrt{3}I$ ，但在 V 接法中， I_B 及 I_C 僅隔 60 度，其矢量差 = I 。

V 形接法在配電制中應用甚廣。因電力負載常繼續增長，而變壓器之容量應時時增加。裝置一組容量遠過頂高負載之變壓器，殊不經濟。故先裝置二變壓器連成 V 形，而使其大小足以應付所預料三四年後之增長，當負載最後超過變壓器組之容量時，加一第三變壓器以成閉合之 Δ 。

318. Y 及 Δ 接法之相對利益 Y 接法之利益為其有一可以接地之中和點。如中和點與地間接，則每導線與地間之電壓僅為線路電壓之 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ ，而高壓線絕緣之價格，較絕緣線路全電壓為小。變壓器亦僅至線路電壓之 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 。因之高壓線上之變壓器，其低壓側常結成 Δ ，高壓側常結成 Y 也。

△接法之利益:

1. 變壓器組可先接成 V 形, 故當負載小而兩變壓器足以應付之數年中, 可省一變壓器之利息及折舊。

2. 設△組之一變壓器損壞, 其餘二變壓器仍可運用於 V 形而供電, 故繼續維持業務。

3. 變壓器先接成△-△於輸電線兩端, 以後可將輸電線方面改成 Y, 如此提高線路電壓百分之 73, 因而增加線路上所輸功率之量。

在輸電線上常用之三相三線制中, 連成 Y 之變壓器組, 作用如一整機件, 如其中有一損壞, 則全組不能使用, 然在四線制, 其餘之二仍可應用也。

自上述之簡單結論, 可知 Y 接法之變壓器組, 僅用於高壓線或因欲提高線路電壓, 而改變其接法自△為 Y, 普通情形亦多如此。例如, 城市配電在某時幾全用 2,200 伏, 三相三線△-△接法之變壓器組, 今多數城市中, 此種變壓器已重接為 Y 以運用於 4,000 伏之線路電壓, 以增加配電電路之容量。其副線圈仍供 110 伏或 115 伏至電燈電路。因大部分城市配電負載為單相, 改成 Y 連接時, 必須增設中線。

例題 一, 200 伏三相線上之負載為分接於三路之 50 瓦, 110-伏電燈 1,080 盞, 及一 200 馬力三相電動機, 其平均功率因數為百分之 80, 平均效率為百分之 88。試作接線圖, 註明變壓器, 且求線路電流及其合功率因數。其接線圖示於圖 319。

每一電動機變壓器之輸出仟伏安 = $\frac{1}{3} \times$ 電動機仟伏安

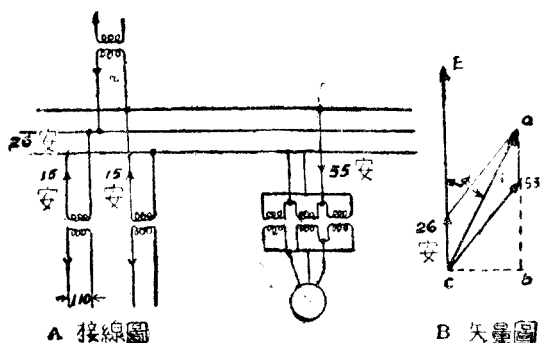


圖 310.

$$= \frac{1}{3} \times 200 \times 0.746 \times \frac{1}{0.88} \times \frac{1}{0.8}$$

$$= 70 \text{ 仟伏安。}$$

$$\text{電動機之線路電流} = \frac{3 \times 70 \times 1,000}{1.73 \times 2,000} = 55 \text{ 安。}$$

每一電燈變壓器之輸出仟伏安

$$= \frac{1/3(1,980 \times 50)}{1.00}$$

$$= 33 \text{ 仟伏安。}$$

每變壓器之主線路電流 = $\frac{13,000}{2,200} = 15$ 安，但此變壓器在線路上成一 Δ 接法之負載，與圖 277，故每線路中電流 = $1.73 \times 15 = 26$ 安。

線路中電流為百分之 100 功率因數之 26 安，與百分之 80 功率因數之 55 安之合電流，為

$$I = \sqrt{ab^2 + b^2} \text{ (圖 B)}$$

$$= \sqrt{(0.8 \times 55 + 26)^2 + (0.6 \times 55)^2}$$

$$= 77.5 \text{ 安。}$$

$$\text{功率因數} = \frac{ab}{a^2} = \frac{0.8 \times 55 + 26}{77.5}$$

$$= 90.5 \text{ 百分數。}$$

319. 變壓器之形式 圖 320 中所示之變壓器，名曰鐵心式

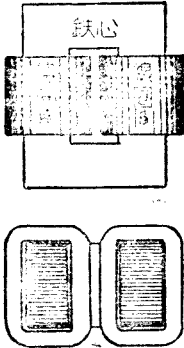


圖 320. 鐵心式變壓器

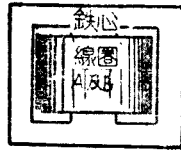


圖 321. 鐵壳式變壓器

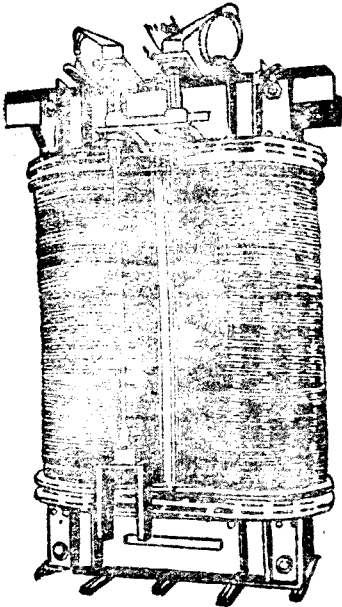


圖 320 A. 10 017 仟伏安，中 10 伏，60 週單相鐵心式變壓器之裝就鐵心及線圈

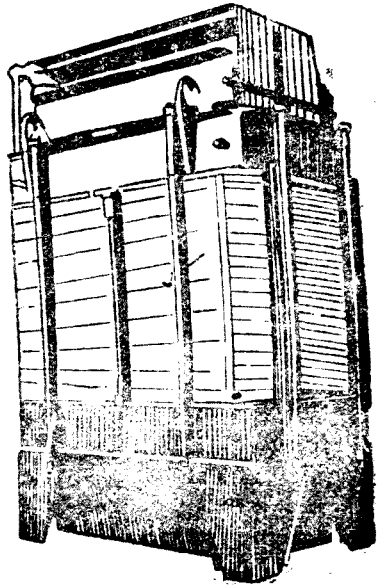


圖 321 A. 10 50 仟伏安單相鐵壳式變壓器之裝就鐵心及線圈

(core type)。如置 B 股上之線圈於 A ，且分裂 B 之鐵而變成如圖 321，所成之變壓器名曰鐵壳式 (shell type)。

對於三相輸電，如用一三相變壓器，以代三獨立之變壓器，則其價格及地位均可相當節省，三相線圈均可置於同一鐵心之上，如圖

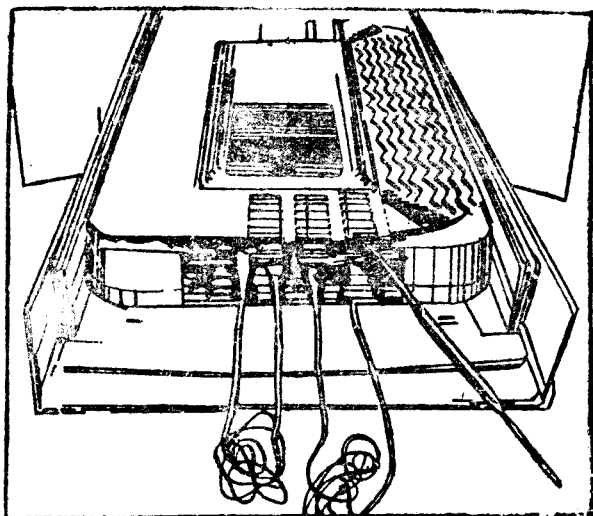


圖 321 B. 大鐵壳式變壓器裝成一部分之高壓線圈組，所見波形條，係分層餅形線圈，且形成溝槽，俾油得以環流而冷却線圈。此處線圈組含有八個餅形線圈。

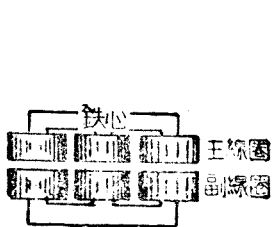


圖 322 三相鐵心式變壓器

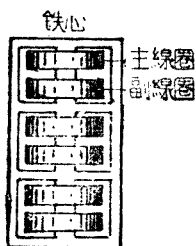


圖 323. 三相鐵壳式變壓器

322 及圖 323 所示。三相變壓器之主要缺點為一相線圈損壞時，則整個變壓器均不能用。故此種變壓器僅用於較大之中央發電廠，因其有多量之準備容量也。

320. 自耦變壓器 如接一電抗線圈於交流線路上，如圖 324 所示，自線圈接頭所得之電壓 E_2 ，可為較 E_1 為小之任何值，且如尋常變壓器， $E_1 = \frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2}{I_1}$ 。因主線圈與副線圈電流相反， a 段中之電流為電流 I_1 及 I_2 之差。

當變換比較小時，此稱為自耦變壓器 (autotransformer) 之電抗線圈，較線捲分開之等值變壓器為廉，自耦變壓器多用以減底交流電動機開動時之外施電壓。

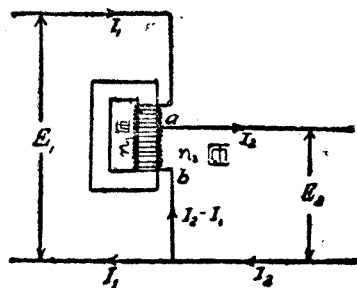


圖 21. 自耦變壓器

321. 升壓變壓器及饋電線電壓調整器 設一標準變壓器連接如圖 3 5 所示，則電路之電壓可略升高，電壓升高之量為副線圈電壓 E_2 。

當變壓器之副線圈有接頭時，則升高作用可以調整，此器成為 斯替威爾饋電線電壓調整器 (Stillwell feeder regulator)。此器用以

升高饋電線電壓，超出電廠電壓之上，使補償饋電線中電壓降而維持負載之電壓。

饋電線電壓調整器之另一式示於圖 26，其副線圈對於主線圈可以移動。當兩線圈在圖 A 所示之相對位置時，電壓 E_2 之值為最大，因其實際

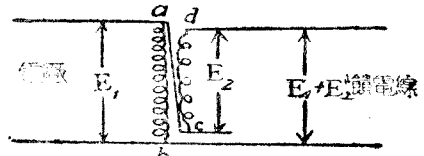


圖 25. 升壓變壓器

上包圍主線圈所生磁流之全部也。當副線圈動至與主線圈成 90° 度時如圖 B 所示，則穿過副線圈之磁流 ϕ 為零，而並無電壓感應於其中。如鐵心藉一小電動機而旋轉，電動機係受跨接於欲調整電線之螺管所控制，則此種電壓調整器變為自動。當線路電壓增高時，螺管之活塞上舉而閉合電動機電路，則電動機旋轉電壓調整器，其方向使電壓降低。當線路電壓減低時，螺管之活塞下降而反轉電動機，故旋轉電壓調整器於反對方向。

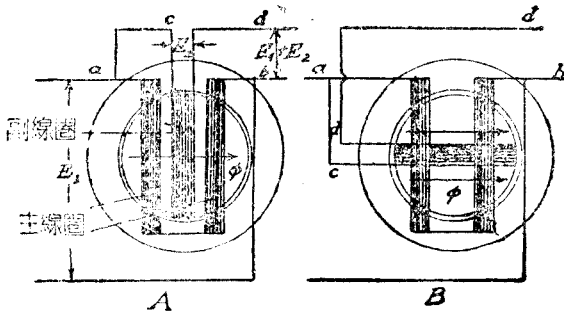


圖 26. 感 應 調 整 器

如副線圈須載大量電流，即裝副線圈於定子之上及主線圈於轉子之上為較便。其運用未曾改變，因所需要者為一線圈與他線圈之相對轉動耳。

第三十二章 多相感應電動機

322. 感應電動機 (induction motor) 乃電力中為用最廣之交流

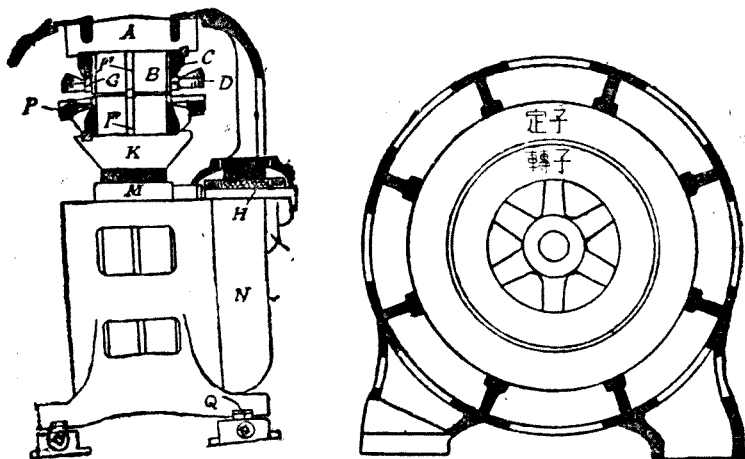


圖 327. 鼠籠式感應電動機

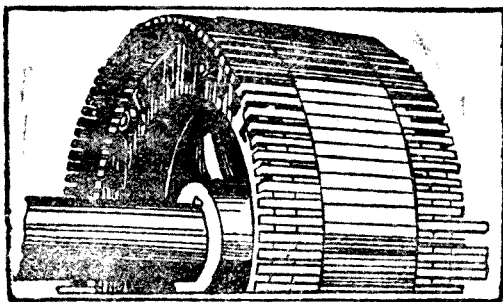


圖 328. 鼠籠式轉子

電動機。此種電機之主要部分，示於圖 327 與 328。其定子或靜止部分與發電機之定子同。然其轉子則全異，其最通用之式稱為鼠籠式 (squirrel-cage type)，含有一圓柱形之鐵心，鐵心之外周上置有多數銅條。此種銅條之兩端，以銅或黃銅之端接 (end connector) 連接之，如圖 328。此機之作用將詳論之。

323. 旋轉磁場 圖 329 之 P 表示一二極二相感應電動機之主要部分。其定子上置有 M 與 N 兩線捲，相隔 90 電度。實際上此種線捲皆成彎曲，以便插入轉子。此種線捲以導線接於二相幹線上。其經過線圈 M 與 N 任何時之電流，如圖 329 之 Q 曲線所示；例如在 A 時，相 1 中之電流 = $+I_m$ ，而相 2 中之電流為零

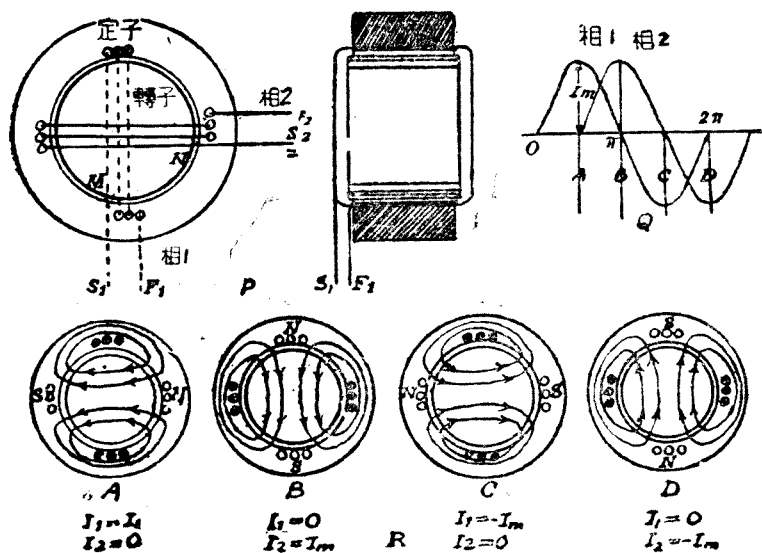


圖 329 二極二相感應電動機之旋轉磁場

每相線捲之兩端，各以 S 與 F 標明之，表示起始與終止之意，正電流自 S 處通入，而負電流自 F 處通入。

線捲 M 與 N 在 A, B, C 與 D 時所生之合磁場，示於圖 R ，由此可見線捲雖靜止不動，但產生一定強度之旋轉磁場 (revolving field) 當一相中之電流經過一週時，此磁場旋轉一轉。若變換任一相之接法，則磁場旋轉之方向相反，是當注意者也。

324. 三相電動機之旋轉磁場 圖 330 P 表示二極三相電動機

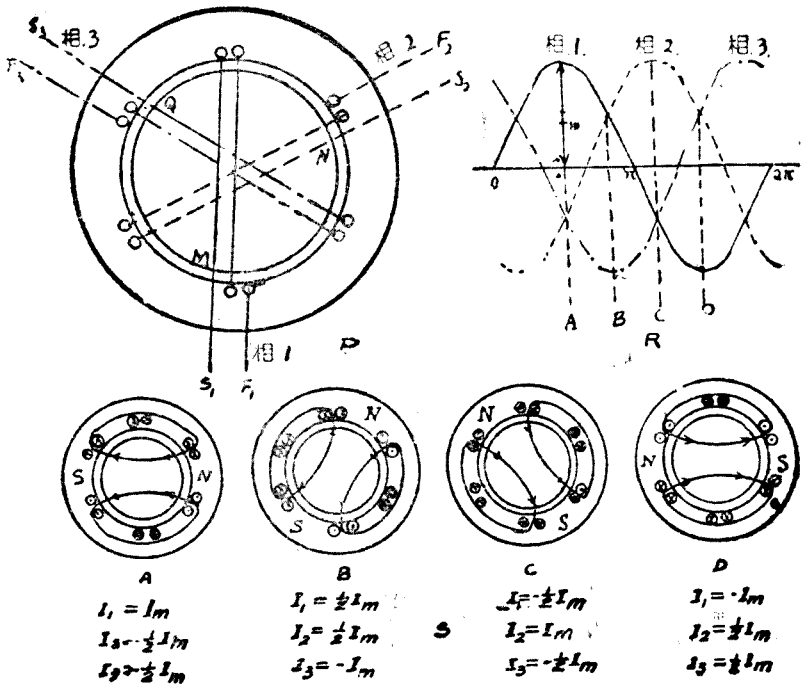


圖 330. 二極三相感應電動機之旋轉磁場

之線捲； M, N 與 Q 為三相線捲，各相互隔 120° 電度。此種線捲連接於三相電源上，可互結成 Y 形或 Δ 形。不論何種接法，通過線捲 M, N 及 Q 中任何時之電流，如圖330之 R 曲線所示；例如，在 A 時，相1中之電流 $= +I_m$ ，相2中之電流 $= -I_m/2$ ，而相3中之流電亦 $= -I_m/2$ 。

各線捲在 A, B, C ，及 D 時所生之合磁場，示於圖 S ，由圖中可

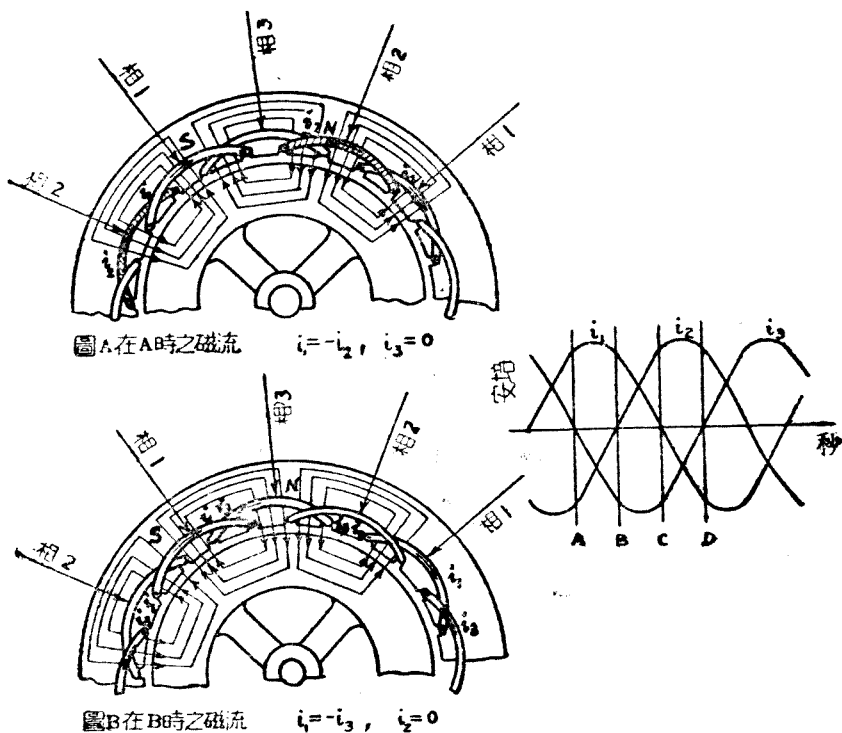


圖 351. 二極三相感應電動機之旋轉磁場

知有一定強度之旋轉磁場產生，當一相中之電流經過一週時，此磁場旋轉一轉，適與二相機中之情形相似。

三線圈端 F_1 , F_2 及 F_3 通常接於一處以成一中點，而其他三端 S_1 , S_2 及 S_3 則各連接於三相三線之線路上。若互換任何二 S 線端之接法，則磁場旋轉之方向與前相反，此即變換電動機之旋轉方向之法。

325. 多極機 圖 329 及 330 所示之二極機旋轉磁場之速率，在 60 週制時為每分 3,600 轉；在 25 週制時為每分 1,500 轉；其轉子之速率亦與此數甚近，以後將論及之。欲得低速之電動機，必須增加定子之線捲所生之磁極數。

圖 331 表示一八極三相感應電動機定子線捲之一部分。此線捲與圖 264 表示之三相發電機之定子線捲相同。圖 331 A 與 B 表示在 A 與 B 時各線圈中電流之方向，同時表示一對磁極， N 與 S 之磁場地位。

沿空隙圓周上所量得相鄰二磁極中心間之距離，稱為極距 (pole pitch)。比較圖 331 之 A 與 B ，顯見磁場已在六分之一週中移過三分之一極距。故磁場在每週移過二極距，而其每秒轉數等於以磁極之對數除頻率。如以每分轉數表其速率，則

$$\text{旋轉磁場之速率} = \frac{120f}{p} \text{ 每分轉數,} \quad (50)$$

此處 p = 磁極數，

旋轉磁場之轉數稱為電動機之同步速率 (synchronous speed)。此速率亦即為一同極數之發電機所需之速率，以發生與施於電動機

相同之頻率。故 242 節所列之速率表，可用之於感應電動機，一如用之於發電機也。

須知磁場在旋轉時並不變其強度。參閱圖 329，相 1 之磁化效應 $= K \sin \theta$ 。相 2 之磁化效應 $= K \sin (\theta + 90^\circ) = K \cos \theta$ 此兩磁化力互成直角。故其合力 $= K \sqrt{\sin^2 \theta + \cos^2 \theta} = K$ 。電流逐漸生滅，故磁流轉動平滑。

326. 開動轉矩 設以圖 332 之旋轉南北極，表示一二極機之旋轉磁場，假定為二相或三相定子所產生者。此磁場依箭頭所示之方向旋轉，故切過靜止轉子之銅條而發生電勢於其上；此種電勢以叉及點表之。在磁場最強之處，導體上之電勢最大；其方向可以右手定則決定之（閱 34 節）。因轉子線捲自成一通路，故所發生之電勢將供電流通過轉子銅條。

旋轉磁場在靜止轉子銅條上，所生電勢之頻率，等於旋轉磁場之每秒轉數（因此處所論者為二極機），故與定子線捲外施電勢之頻

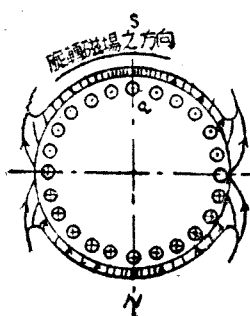


圖 332 轉子銅條中電勢之方向

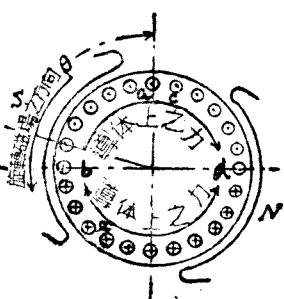


圖 333 低電阻轉子銅條中電流之方向

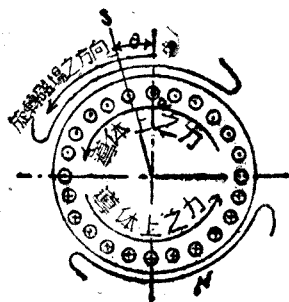


圖 334 高電阻轉子銅條中電流之方向

率相同，故轉子靜止時，轉子及定子中之電流頻率相同。

鼠籠式轉子銅條之電阻甚低；但因此種銅條係埋置於轉子鐵心內，其電感頗大，而其電抗（ $=2\pi fL$ ）在通常電力頻率中（25至60週），較銅條電阻為大。故每銅條中之轉子電流，滯於該銅條電勢之後。例如，在圖 332 之導體 a 中，其電勢之值適為最大，但該導體之電流滯於其電勢後 θ 角，此角幾近於 90 度，故須待磁極移動至圖 333 所示之地位時，其值始為最大，此圖之地位與圖 332 之地位相差幾近 90 度。

因圖 333 中之各導體載有電流，且在磁場中，故受有力之作用，此力之方向可以 26 節之畸變磁場之定則決定之。由此可知雖 bc 與 de 兩帶中導體上之力，有使轉子隨旋轉磁場而轉動之勢，而 dc 與 bc 兩帶導體上之力，作用於相反方向。前者較大，故轉子隨旋轉磁場而動。

$$\text{轉子導體在靜止時之電流} = \frac{\text{轉子靜止時之電壓}}{\text{轉子靜止時之阻抗}}$$

標準電動機之轉子阻抗，其大小足以限制其電流於五倍其滿載值。因轉子銅條約有百分之 85 產生反對轉子開動之轉矩。此巨大之開動電流所生之有效開動轉矩，鮮有超過其滿載轉矩之一倍半者。

轉子銅條所生電勢之大小及頻率，與旋轉磁場對於轉子之速率成正比。因此，當轉子加速，轉子之電勢及頻率減低。例如，若每一轉子銅條在靜止所生之電勢為 10 伏，60 週，則當轉子旋轉於同步速率之半時，每一銅條上之電勢為 5 伏，30 週。其電抗亦減至半數，但其阻抗並非真正減至半數，因其中含有電阻成分也（ $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ ）。

故其轉子電流稍為減少，因電抗減至半數，轉子電勢與轉子電流間之相角 θ ，約亦減至半數，其結果使較多轉子銅條產生向前之轉矩（閱圖 333）。故轉子速率增加時，其結果推動轉矩亦隨之而增。當轉子速率增至同步速率之百分之 75 時，其轉子電勢為 2.5 伏，15 週，雖轉子電流約減至百分之 30，但其推動轉矩約增至二倍。故標準低電阻鼠籠式轉子一經達到相當速率後，能產生大量轉矩，但在開動時較弱。

一 10 馬力之標準鼠籠式感應電動機，約在百分之 75 之同步速率時，發生其最大轉矩。在此速率時，轉子之電抗頗低，故大多數轉子銅條所產生之轉矩，傾向於前進方向，而其轉子電流仍甚大。若速率更增，則轉子電流與其轉矩漸減；至同步速率時，轉子電勢，電流及轉矩皆為零。

327. 捲轉子式電動機 在某一轉子電流時，其開動轉矩可因減少轉子電流與轉子電勢間之相角而增強之。其理可自圖 334 中見之，圖中電流滯後之角 θ 甚小，使反轉矩幾等於零。

電路中電滯角，可增加其電阻以減少之，其電抗之值不變，例如圖 325 中，當電阻 R 增加時，矢量圖自 A 變至 B ，其電流 I 減少，故

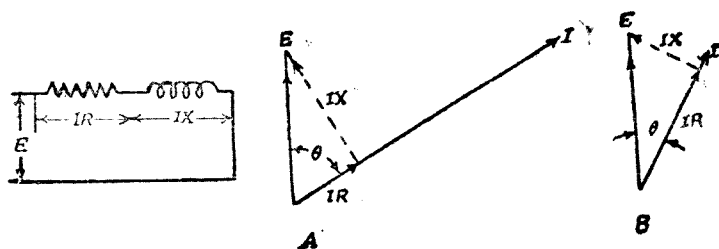


圖 335 電阻在串聯電路中對於電流之大小及相角之影響

角 θ 亦減少。因此若轉子銅條中，加入充分之電阻以減少其開動電流至滿載值，則轉子電流之滯角將小至使轉矩全部有效，而滿載轉矩可以滿載電流產生之，用一較低之電阻，二倍之滿載轉矩約可以二倍之滿載電流產生之。

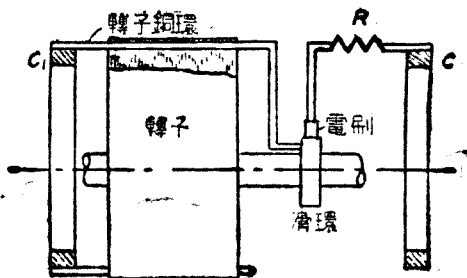


圖 33. 銅條上有可調準電阻之鼠籠式轉子

當電動機荷有負載時，轉子電阻不宜過大，因大量之電阻有大量之銅損失，低度之效率，及過度之發熱，故必須設法使轉子導體上之電阻，在開動時可以加入而在旋轉時可以截去。

上述結果可以圖 366 之方法得之。其轉子銅條之一端係斷路而接於一軸上之滑環上。在滑環與靜止端連接器 C 間，加入可調準之電阻 R 。此種構造需有與銅條相等之滑環數。故實際上加以改良，以減少滑環之數。

銅條連接成一三相線捲如圖 337 所示。三相電路完全經過滑環及一三相變阻器。變阻器上之三滑動接觸同時移動，故三電阻極相等。在開動時全部電阻在電路中，當電動機速率增高，其電阻逐漸截去，而最後減至零。此種電動機稱為捲轉子式 (wound-rotor type) 感應電動機，用於重大之開動工作，較鼠籠式為佳。

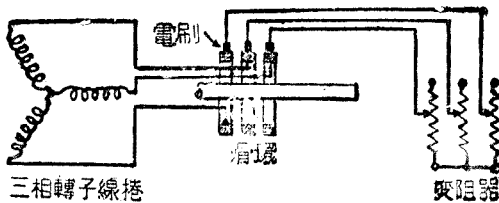


圖 357. 滑環及可變電阻

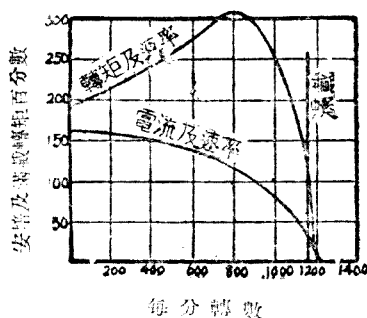
328. 轉動情形 合開動轉矩之方向，使轉子隨旋轉磁場而旋轉，此理已於 326 節述之；在電動機全無負載時，轉子實際上幾以旋轉磁場之速率而轉動，即旋轉於同步速率；決不能高於旋轉磁場之速率。若加以負載，則其速率下降而滑過旋轉磁場，其轉子銅條將切割力線，其所生之電勢，將使電流通過銅條而產生轉矩。轉子繼續下降其速率，至轉子所生之轉矩，足以抵過負載之減速轉矩為止。

$\frac{\text{同步速率} - \text{轉子速率}}{\text{同步速率}}$ 之比稱為退移率 (percentage slip)，以 s 表之。在滿載時，其值通常約為百分之 4，即旋轉磁場轉一轉時，轉子轉 0.96 轉，而旋轉磁場對轉子言之，則轉 0.04 轉。

轉子靜止時，轉子頻率為每秒 f 週（閱 326 節）， f 為施於定子電勢之頻率，但在滿載時，轉子頻率僅為每秒 sf 週，因此時磁場對於轉子之相對速度，僅為靜止時相對速度之百分之 s 也。

電動機之負載增加，則電動機緩轉而轉子滑過旋轉磁場愈速，使轉子電流增加；但其電流之頻率亦與電流之數值俱增，因此使轉子之電抗增加而電流滯後。此時，轉子發出之轉矩因轉子電流增加而有增加之勢，而因電流滯角增大而有減少之勢（閱 326 節）。在所謂破裂點 (break down point) 或最大轉矩點 (maximum torque point)

以內，電流之效應大於電流滯角之效應。在此點以外，電流滯角之效應較大，故經過破裂點後，即使電流增加，轉矩實則減少。— 25 馬力，440 伏，三相，60 週，同步速率每分 1,200 轉感應電動機之速率，轉矩，及電流間之關係，示於圖 338。



開動電流 = 60 安 = 滿載電流之 5 倍
 開動轉矩 = 滿載轉矩 1.9 倍
 最大轉矩 = 滿載轉矩 3.1 倍

圖 338. —25 馬力，440 伏，3 相，60 週感應電動機之轉矩，電流，及速率間之關係。

329. 感應電動機之矢量圖 α . 無載情形——交流電勢 E_1 施於定子，即有交流 I_0 通過定子線捲，而生旋轉磁場 ϕ ，但若略去其無載損失，則無工作可言。故每相中之電流必滯於該相外施電壓後 90° 度，如圖 339 所示。電動機定子與轉子間之空隙必使儘量狹小，以保持其無載電流至極少。— 50 馬力，每分 900 轉之感應電動機，其轉子直徑為 20 吋（51 厘米）而其空隙為 0.03 吋（0.075 厘米），但空隙不論小至如何程度，其起磁電流 I_0 仍不在滿載電流之百分之 30 以下。

旋轉磁場除切割轉子導體外，同時亦切割定子導體，而發生一

電勢 E_{1b} ，稱為定子線捲之每相反電勢， E_{1b} 較 E_1 為小，其差即為使起磁電流經過定子線捲之阻抗所需之電勢。此電勢比較尚小，故旋轉磁場與 E_1 成正比。

b. 滿載情形——電動機荷以負載後，速率下降，電流通過轉子線捲，而生電機之推動轉矩。此電流與變壓器上副線圈中之電流相似，有使電機去磁之勢，或有反對產生此電流之磁流之勢，但磁流 ϕ 一有減少，則使反電勢 E_{1b} 減少，而使較大之電流通過主線圈或定子線捲中，故定子電流常能自動調準，以適合副線圈或轉子線捲之需要，如變壓器然。



圖 339. 無載矢量圖

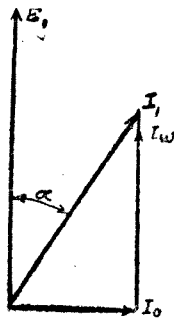


圖 340. 理想圖

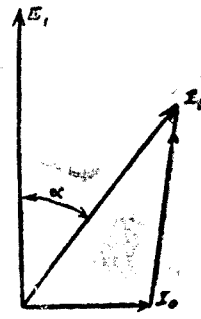


圖 341. 實際圖

滿載矢量圖

ϕ 值之減低較小，故在滿載時，仍需電流 I_0 之起磁成分，以產生旋轉磁場，另需一有功功率成分 I_w 與外施電勢同相以應負載之需，如圖 340 所示。故感應電動機之功率因數，即 $\cos \alpha$ ，在無載時幾為零，負載增加時則漸增，如圖 342 之曲線 A 所示。

如 328 節所述 因定子線捲之電抗，及轉子線捲之電抗與負載

俱增，其電流之滯後程度，更甚於如圖 340 及 342 所示者，在一實際電機中，功率因數與負載之關係，有如圖 342 B 之曲線所示。

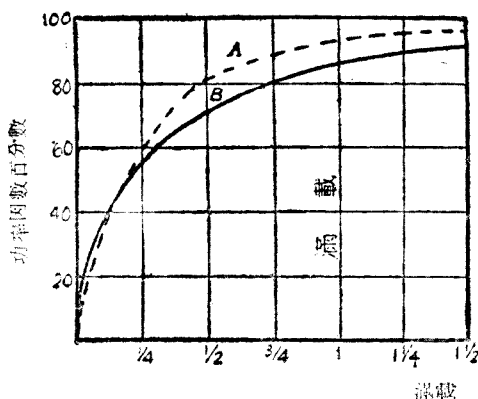


圖 342. 感應電動機之功率因數

330. 可調準速率之運用 鼠籠式電動機實係一定速率之電動機。欲求可調準速率之運用，可用捲轉子式電動機。此種電動機若運用於定轉矩之負載，而加入一電阻於其轉子電路，則轉子電流將減少，而電動機將不能發生其所需之轉矩，致使速率下降。然若速率下降，則轉子滑過旋轉磁場愈速，故轉子導體上亦生較大之電勢，而其電流增加，且在較低速率下，再適應其負載之需要。

然其速率調整極劣，因若負載減少，則需電流較少，而電動機將自動增加其速率，以減少其退移率而減少其轉子電壓及電流也。在無載時，轉子電流極小，其退移率實際上為零，而電動機實旋轉於同步速率。故此種控制速率之法，與以電阻加入直流並激電動機之電樞電路相似，而有不良之速率調整及低效率之弊。

在需優良速率調整之處，定子上可置二分開之線捲，其一產生 p 極之旋轉磁場，另一則產生 p_1 極之旋轉磁場，因此用二線捲之一，可得同步速率爲 $\frac{120f}{p}$ 或 $\frac{120f}{p_1}$ 。電動機亦有製成四種同步速率者。

331. 大開動轉矩之雙鼠籠式轉子 用雙鼠籠式(double squirrel-cage type) 轉子線捲，爲求開動時轉子電阻較高，而旋轉時轉子電阻較低之另一法。圖 342A 表示兩組轉子銅條。粗銅條深埋於轉子鐵心內，殆全爲鐵所包圍，在轉子靜止時其電抗甚高，因之所通過之電流極少。其較細銅條之裝置地位，係近於轉子鐵心之表面，而不爲鐵所包圍，故其電抗低，而因其截面較小，電阻較高。故在開動時，僅高電阻轉子銅條載多量電流，而其開動特性係一高電阻轉子之開動特性。

電動機達其相當速率時，粗銅條之電抗減少，而其所載之總轉子電流之比例增加，至電動機達到其工作速率時，粗銅條每平方吋

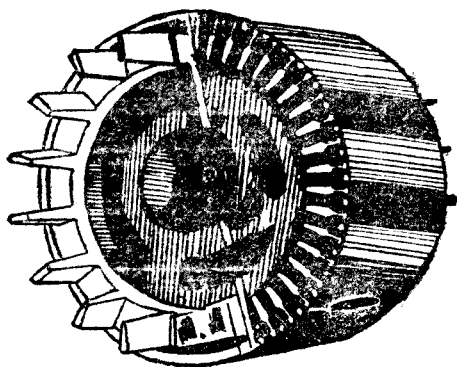


圖 342A. 感應電動機之雙鼠籠式轉子。爲求高度開動轉矩而製。轉子兩端之風扇鼓動空氣對定子之端接夾拂以助電機之冷卻。

截面所載之電流，與細銅條每平方吋所載者等。故在工作時其電阻低。

此種雙鼠籠式轉子，能造成與捲轉子有同大之開動轉矩，但其開動轉矩與速率，均不能為運用者所控制，如捲轉子者然。

332. 感應發電機 設有以感應電動機推動之電車，行駛於先上長坡而繼下長坡之路上。上坡時，電動機之速率，約較同步速率低百分之4，在此速率時，轉子滑過旋轉磁場之速，足使滿載電流通過。

下坡之初，電動機始為電車所推動，其速率先升至與同步速率相等，此時之轉子電流為零，然後旋轉於較同步速率為高之速率，故轉子復滑過旋轉磁場。但因此時轉子速率較磁場為速，其導體與磁場相對運動之方向，與前相反，故轉子電勢及電流與前相反，而前之為推動轉矩者，今已為減速轉矩。故此電機之作用，如一發電機，輸出功率於線路。當其速率高出同步速率之百分之4時，此電機將輸出滿載功率如一發電機。

浮貞那 (Virginian) 鐵路上有一段，其機車配有三相感應電動機(induction generator)，而在山嶽帶長而陡峻之坡上，得上述之再生輻作用。

第三十三章 交流發電機之特性

333. 電樞反應 在交流發電機 (alternator) 之電樞不載電流時, 僅有磁場線圈中直流電所生之磁流存在。此磁流為轉子之轉動所攜帶, 切過電樞導體, 且發生電勢於其中。然當交流發電機供給電流於負載時, 此經過電樞導體之電流, 亦生一磁場。

前於 324 節述及供給三相電流於一感應電動機之定子時, 所產生之各磁場, 滑過各線圈, 而整個磁場則繞機軸而旋轉; 但交流發電機之定子, 與感應電動機之定子相同, 因此, 同此交流在交流發電機中所生之磁場, 亦必為旋轉磁場。

圖 343 表示在負載功率因數為百分之 100 時, 三相交流發電機之電樞電流所生之磁流。又及點表示電壓與電流兩者之方向, 因電壓與電流, 在百分之 100 之功率因數時為同相也。在圖中所示之瞬間, 磁場電流所生磁流在相 2 中所生之電壓為零, 因相 2 中之導體, 位於兩極間之中點, 故不為磁極之磁流所割切。在負載功率因數為百分之 100 時, 電壓與電流同相, 故相 2 中之電流亦為零。

其電樞反應, 一如在直流發電機中, 為正交磁化作用。電樞電流在磁極中所生之磁流, 與極軸成直角, 磁極各左尖減弱, 而各右尖則加強。其結果使磁流擁擠於各右極尖端, 因擁擠作用而稍減。此畸變之磁流, 拉向磁極, 產生反轉矩, 當電流通過電樞時, 轉子以此反轉矩抵抗其轉動也。

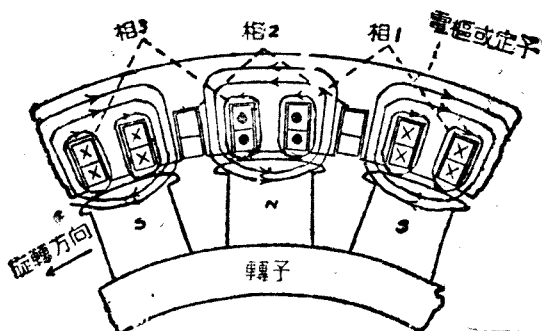


圖 343. 負載功率因數為百分之 10 時，三相交流發電機電樞電流單獨所生之磁流。
(電樞線捲集中於每相每極一槽中)

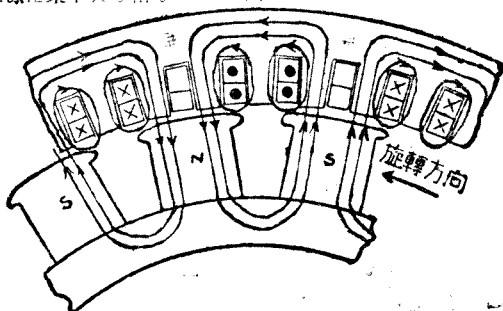


圖 344. 負載功率因數為零而滯後時，三相交流發電機電樞電流單獨所生之磁流。

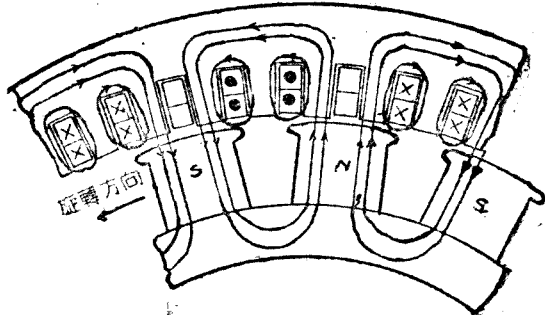


圖 345. 負載功率因數為零而超前時，三相交流發電機電樞電流單獨所生之磁流。

圖 344 表示在負載功率因數爲零而滯後時，電樞電流單獨所生之磁流。其叉與點表示電樞電流之方向，但並非電勢之方向。其所示之電流與圖 343 中者同，但因此時電流滯於電壓後 90 度，須待各磁極向前移動，與圖 343 之地位相差 90 電度時，始達圖中所示之值。此時電樞電流所生之磁流，有直接去磁作用，且因此磁流與磁極旋轉於同一速率，在整個旋轉中繼續去磁。故在滯後低功率因數負載，在輕負載之感應電動機，當負載增加時，交流發電機之端電壓下降甚速。是爲低功率因數負載之又一缺點。

圖 345 表示在負載功率因數爲零而超前時，電樞電流單獨所生之磁流。例如在交流發電機接於一容電器，或接於一遠端斷路之長輸電線時之情形。其所示之電流，與圖 343 中者同，但此時電流超前於電壓前 90 度，當磁極在圖 343 所示之地位之後 90 電度時，電流達到圖中所示之值。此時電樞電流所生之磁流，有直接磁化作用，此點說明當容電器接於一交流發電機之兩端時，其端電壓所以升高之故。

334. 交流發電機之矢量圖 前節已說明如何電樞電流及磁場電流所生之兩磁流，相加而得之合磁流，可較原有無載磁流爲大或小，須依負載功率因數而定。此種以磁流相加而解電樞反應之法，雖予吾人以實際現象之最明晰可能之圖形，然不能得一數量的結果。如欲在某一負載情形之下，計算端電壓之值，以分開討論兩磁流爲佳，先計算此兩磁流所生之兩電壓，然後相加此兩電壓以求其合電壓。

電樞電流所生之磁流在電樞導體中，所發生之電壓，原爲一電抗電壓，因此電壓 (1) 爲電樞電流本身所生，(2) 約與電樞電流成正

比，及(3)與電流相差90度。此電壓與電流相差90度一節，可自圖313, 314, 或345之任一圖中見之。此處相2之電流為零，但在電壓磁流所生磁極之中心，故此磁流應成一最大電勢於其中。

電樞電流所生磁流所發生之電壓 = IX_s ， X_s 為一常數，稱曰交流發電機之同步電抗 (synchronous reactance)。其所以稱為‘同步’者，因其磁流與主磁場旋轉於同步速率也。

在磁場電流為定值時，由其單獨產生之磁流不變，故此磁流所生之電壓 E_f 為定值。故端電壓上所有之變動，全因 IX_s 與 Ir 之大小及相角變動之故。

圖346表示交流發電機慣例圖之一相，其電阻及同步電抗已自交流發電機之本身分出。

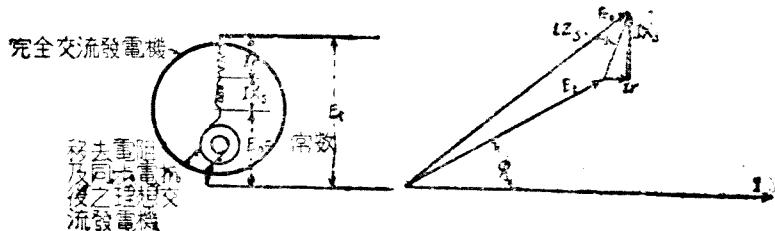


圖 346. 交流發電機之圖示。

圖 347. 交流發電機之向量圖。負載功率因數=83%，滯後。

設 E_t = 交流發電機一相之端電壓。

E_f = 磁場磁流單獨所生之每相電壓。

= 定值，若磁場電流 I_f 不變。

IX_s = 交流發電機之同步電抗所耗之電壓。

Ir = 交流發電機電樞電阻所耗之電壓。

$Z_s = \text{交流發電機之每相同步阻抗} = \sqrt{r^2 + X_s^2}$ 。

$\cos \phi = \text{負載之功率因數}$ 。

則 $E_s = E_t, iX_s,$ 及 Ir 之矢量和。

圖 347 表示一相之矢量圖。

$$E_s = \sqrt{(E_t \cos \phi + Ir)^2 + (E_t \sin \phi + iX_s)^2} \quad (51)$$

若已知其餘各量，可由上式求任何一量。

335. 交流發電機之電壓特性曲線及電壓調整 由圖 348 之 A, B 及 C, 可知在負載下之端電壓 E_t 與無載端電壓 E_0 之差，視負載之功率因數與電樞電流之大小而定。圖 349 表示端電壓在三種不同之負載功率因數，隨負載而變化之狀，其磁場電流保持一定。

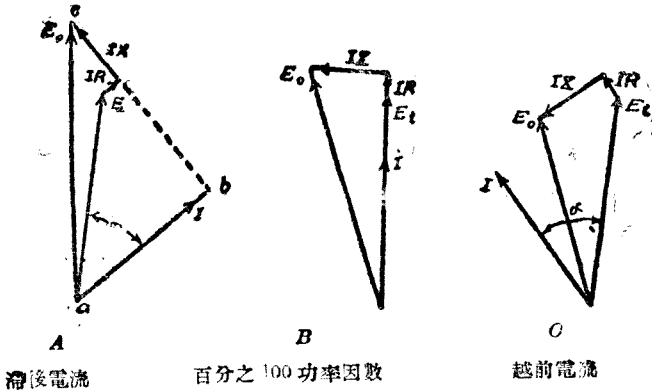


圖 348 負載功率因數對於交流發電機調整之效應

交流發電機之電壓調整之定義，為負載自額定滿載仟伏安減至零時，端電壓中之升高。其所升高之數以滿載電壓之百分數表之。

$$\text{電壓調整} = \frac{E_0 - E_t}{E_t}$$

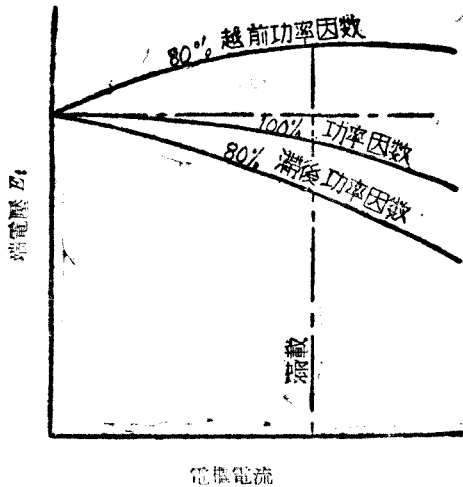


圖 349. 交流發電機之電壓特性(磁場電流不變)。

由圖 348 可知在不同之負載功率因數時，其電壓調整各異，若功率因數超前頗大，其電壓調整變為負數。

若已知同步電抗及電阻，則任何負載功率因數之電壓調整，均可以(51)式計算之，如下：

例題 一單相交流發電機之滿載輸出，在 2,400 伏為 416 安，其電阻為 0.1 歐，同步電抗為 3 歐。求在百分之 100 功率因數及百分之 80 滯後功率因數時之電壓調整，其滿載電壓各為 2,400 伏。

滿載電流 = 416 安。

電阻位降 $IR = 4.6 \times 0.1 = 41.6 = 42$ 伏。

同步電抗位降 $IX_s = 416 \times 3 = 1,248$ 伏。

在百分之 100 功率因數時(見圖 348 B)

$$\begin{aligned} E_0^2 &= (E_t + IR)^2 + (IX_s)^2 \\ &= (2,42)^2 + (1,248)^2 \end{aligned}$$

$$E_0 = 2,740.$$

$$\text{電壓調整} = \frac{E_0 - E_t}{E_t} = \frac{340}{2,400} = 14.2 \text{ 百分數。}$$

在百分之 80 滯流功率因數時(閱圖 348A)

$$\begin{aligned} E_0^2 &= \overline{ab^2 + bc^2} \\ &= (E_t \cos \alpha + IR)^2 + (E_t \sin \alpha + IX_s)^2 \\ &= (2,400 \times 0.8 + 42)^2 + (2,400 \times 0.6 + 1,248)^2 \\ E_0 &= 3,328 \end{aligned}$$

$$\text{電壓調整} = \frac{3,328 - 2,400}{2,400} = 38.6 \text{ 百分數。}$$

336. 交流發電機同步電抗之實驗決定法 圖 350 之無載飽和曲線,其求法與直流發電機同(閱 110 節)。交流發電機經安培計而短接,如圖 B,且使之旋轉於正常速率。同時記錄電樞電流 I_a 與激磁電流 I_f 之示數。由此種記錄,作短接曲線。

由上述二曲線中,同步電抗之值即可決定。例如激磁電流為 oa ,則交流發電機所發生之無載電壓為 $ab = 2,400$ 伏。在同一激磁而電樞短接時,其端電壓為零,而所發生之電壓,則用以通電流 $ao = 800$ 安經過線捲之電阻與同步電抗。或

$$\begin{aligned} \text{電壓 } ab &= \text{電流 } oc \times \sqrt{R^2 + X_s^2} \\ 2,400 &= 800 \times \sqrt{R^2 + X_s^2} \\ \sqrt{R^2 + X_s^2} &= 3 \text{ 歐。} \end{aligned}$$

由此若知 R 之值,則 X_s 即可決定,而 R 之量法以直流電流 I 通過交流發電機之電樞線捲而量其電壓降 E ,因 $R = \frac{E}{I}$ 也。

由圖 350 可知當機中之磁路達到飽和時,則 X_s 之值減少。電

抗為電樞電流產生之磁流所造成，如圖 343, 344 及 345 所示。當磁場線圈激勵時，機中之主磁流經過磁極，則一電樞電流所產生之加添電樞磁流，較磁極未激時為小，較小之電樞磁流產生較小之電抗。

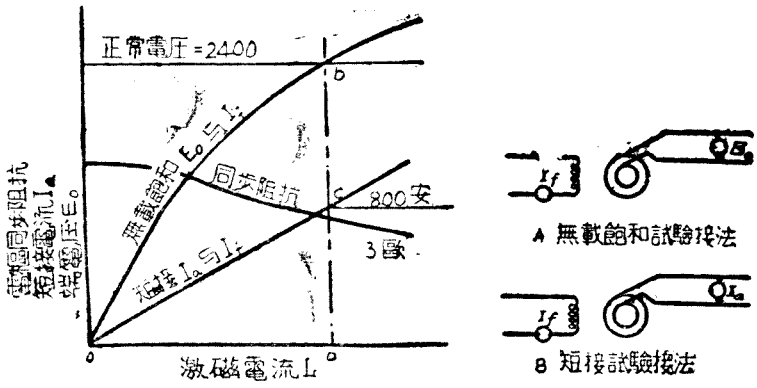


圖 350.

1. 一 3 相 Y 形接法之交流發電機，其輸出在 2,400 伏為 24 安。在某一磁場激磁時，其無載端電壓為 2,400 伏，而其短接時每線電流為 465 安。其每相電阻為 0.1 歐。求其每相同步電抗。

無載端電壓 $E_t = 2,400$ 伏，

$$\begin{aligned} \text{無載每相電壓 } E &= \frac{2,400}{\sqrt{3}} \quad (282 \text{ 節}) \\ &= 1,390 \text{ 伏，} \end{aligned}$$

短接線路電流 $I_t = 465$ 安，

每相短接電流 $I = 465$ 安 (282 節)。

$$\text{每相同步阻抗 } Z_s = \frac{1,390}{465} = 3 \text{ 歐，}$$

$$\begin{aligned} \text{每相同步電抗 } X_s &= \sqrt{Z_s^2 - R^2} \\ &= \sqrt{3^2 - 0.1^2} \\ &= 2.9 \end{aligned}$$

求此機在滿載及百分之100之功率因數時之電壓調整，其滿載端電壓為2,400伏。

$$\text{滿載線路電流} = 240 \text{ 安,}$$

$$\text{滿載每相電流} = 240 \text{ 安,}$$

$$\text{每相電阻位降 } IR = 240 \times 0.1 = 24 \text{ 伏,}$$

$$\text{每相同步電抗位降 } IX_s = 240 \times 3 = 720 \text{ 伏,}$$

$$\text{滿載端電壓} = 2,400 \text{ 伏,}$$

$$\text{滿載每相電壓} = \frac{2,400}{\sqrt{3}} = 1,390 \text{ 伏.}$$

在百分之100之功率因數時(閉圖348)

$$E_0^2 = (1,390 + 24)^2 + 720^2$$

$$E_0 = 1,583 \text{ 伏, 每相,}$$

$$\text{無載端電壓} = 1,583 \times \sqrt{3} = 2,746 \text{ 伏,}$$

$$\text{電壓調整} = \frac{2,746 - 2,400}{2,400} = 14.2 \text{ 百分數.}$$

2. 一三相 Δ 形接法之交流發電機，其輸出在2,400伏為240安。在某種磁場激磁時，其無載端電壓為2,400伏，而其短接時每線電流為100安。其每相電阻為0.2歐，求其每相同步電抗。

$$\text{無載端電壓 } E_t = 2,400 \text{ 伏,}$$

$$\text{無載每相電壓 } E = 2,400 \text{ 伏(284節),}$$

$$\text{短接線路電流 } I_t = 100 \text{ 安,}$$

$$\text{每相短接電流 } I = \frac{600}{\sqrt{3}} \text{ (284節)}$$

$$= 346 \text{ 安,}$$

$$\text{每相同步阻抗 } Z_s = \frac{2,400}{346} = 6.9 \text{ 歐,}$$

$$\text{每相同步電抗 } X_s = \sqrt{6.9^2 - 0.2^2}$$

$$= 6.9 \text{ —}$$

求此機在滿載及百分之100之功率因數時之電壓調整，其滿載端電壓為2,400伏。

滿載線路電流=240 安,

$$\begin{aligned} \text{滿載每相電流} &= \frac{240}{\sqrt{3}} \text{ (284 節),} \\ &= 139 \text{ 安,} \end{aligned}$$

每相電阻位降 $IR = 139 \times 0.2 = 28$ 伏,

每相同步電抗位降 $IX_s = 139 \times 6.9 = 960$ 伏,

滿載端電壓=2,400 伏.

滿載每相電壓=2,400 伏(284 節),

在百分之 10 之功率因數時(見圖 48),

$$E_0^2 = (2,400 + 28)^2 + 960^2$$

$$E_0 = 2,615 \text{ 伏,}$$

$$\text{電壓調整} = \frac{2,615 - 2,400}{2,400} = 9 \text{ 百分數.}$$

337. 自動調整器 欲保持交流發電機之電壓一定, 則電樞電流增加時及功率因數減少時, 其磁場激磁必須增加。欲達此目的, 不能如直流發電機之加一串聯磁場線圈, 因線路電流係交變者, 且不適用於作激磁之用。

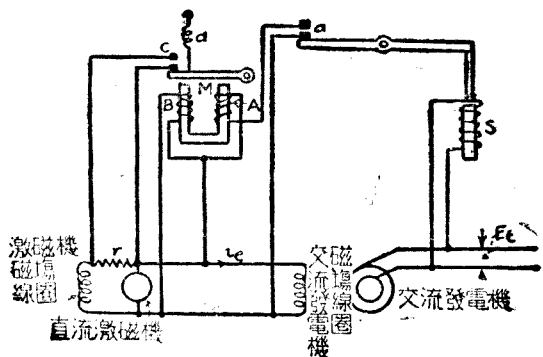


圖 251. 交流發電機自動電壓調整器

交流發電機磁場之電流，係一稱為激磁機之小型並激直流發電機所供給，如圖 351 所示。交流發電機之電壓，由變更與激磁機磁場成串聯之電阻 r 以控制之。電阻 r 可以兩種方法變更之。其一法，使變阻器 r 備有多數分接頭及接觸點排列成圓形，用小型直流電動機，藉螺齒桿以運轉其接觸臂。此直流電動機係以蓄電池推動之，而以一接觸伏特計或替續器控制之。接觸伏特計或替續器經變壓器而跨接於交流發電機之兩端，如其電壓超過某最大值，則替續器開動直流電動機於一方向，如其電壓低於某最小值，則開動於相反方向。所以，其電壓自動保持於兩定限間，而此兩定限可任意置之甚近。

圖 361 示自動調整器之另一形式。其控制電壓之法，係相間啓閉短接電阻 r 之接觸點 c 。短接時，磁場電流增加，接觸點 c 開斷時，磁場電流減少。磁場電流之平均值，視 r 短接時間之百分數而定，而磁場電流之週期的漲落 (fluctuation) 之大小，視接觸點 c 每秒中啓閉之次數而定。

接觸點 c 以電磁鐵 M 斷之， M 上繞有二相反線圈 A 與 B 。接觸點 c 開斷時，僅線圈 B 有激磁，反抗彈簧 d 之張力而開斷接觸點 c ，但當 a 關閉時，線圈 A 亦有激磁，其引力適與 B 之引力中和，因之彈簧 d 關閉接觸點 c 。

如交流發電機之電壓升高，則螺管 S 之引力亦增加，活塞上舉以開斷接觸點 a ，因之線圈 A 失去引力而 B 則開斷接觸點 c ，以加入電阻 r 於激磁機之磁場電路。於是交流發電機之電壓下降，螺管 S 之引力減少，而活塞之重力關閉接觸點 a ，因之線圈 A 得到激磁而適中和 B 之引力。然後彈簧 d 關閉接觸點 c 以短接電阻 r 而增加

場激，使交流發電機之電壓再行升高，此種循環動作，每秒鐘可重複數次。

若以他種附件配於調整器上而使之更為靈敏，而調整器賴以運用之電壓漲落，不能以靈敏之伏特計察之。

338. 效率 交流發電機中之各種損失，與直流發電機同，包含機械及鐵損失，電樞銅損失，及磁場激磁損失。此種損失之求法，與直流機同（閱 141 節）。然須知其效率與負載之功率因數有關，可由下例觀之：

一 二相交流發電機之輸出，在 2,400 伏為每相 80 安，

其機械及鐵損失 = 10 仟瓦，

滿載激磁電流 = 68 安在百分之 100 之功率因數，

= 85 安在百分之 80 之功率因數，

其激磁機之電壓為 110 伏且無自動調整器，

其電樞線圈之每相電阻，以直流電量之 = 0.4 歐。

求在負載功率因數為百分之 100 時及百分之 80 時之效率；並求其原動引擎之馬力。

在百分之 100 之功率因數時

在百分之 80 之功率因數時

輸出 = $2 \times 2,400 \times 80$

輸出 = $2 \times 2,400 \times 80 \times 0.8$

= 384 仟瓦。

= 320 仟瓦。

機械及鐵損失 = 10 仟瓦。

機械及鐵損失 = 10 仟瓦。

激磁損失 = 110×68

激磁損失 = 110×85

= 7.5 仟瓦。

= 9.4 仟瓦。

電樞銅損失 = $(80 \times 0.4) \times 2$

電樞銅損失 = 5.6 仟瓦。

= 6.4 仟瓦。

總損失 = 13.9 仟瓦

總損失 = 19.8 仟瓦。

輸入 = 42 仟瓦。

輸入 = 35.8 仟瓦。

原動引擎之馬力 = 575 馬力。

原動引擎之馬力 = 470 馬力。

$$\text{效率} = \frac{400}{429} = 93.4 \text{ 百分數,}$$

$$\text{率效} = \frac{320}{350.9} = 91.4 \text{ 百分數,}$$

功率因數愈低則輸出愈小，而同時因增加激磁電流以維持電壓之故，其激磁損失愈大。

339. 交流發電機之定額 交流發電機之設計，使發生正常電壓與正常電流而不致過熱，但其輸出仟瓦數則完全視負載之功率因數而定。其輸出常指在百分之 100 之功率因數，為說明此輸出不能在較低之功率因數時得之起見，於是輸出之單位取仟伏安而非仟瓦，其仟伏安 \times 功率因數 = 仟瓦。

一單相交流發電機能在 2,400 伏時供給 100 安。若其負載之功率因數為百分之 80，則此機之輸出為若干仟伏安？若干仟瓦？

$$\text{仟伏安} = \frac{2,400 \times 100}{1,000} = 240。$$

$$\text{仟瓦} = 240 \times 0.8 = 192。$$

一三相交流發電機能在端電壓 2,400 伏時每端供出 100 安，則

$$\text{輸出仟伏安} = \frac{1.73 \times 2,400 \times 100}{1,000} \text{ (閱 282 節)} = 415$$

在功率因數為百分之 80 時，其輸出將為 $415 \times 0.8 = 332$ 仟瓦。

第三十四章 多相同步電動機及交流發電機之並列運用

340. 同步電動機運用原理 同步電動機 (synchronous motor) 之定子，與交流發電機及感應電動機之定子同，但其轉子則為交流發電機及感應電動機之轉子合併而成，如圖 352。此轉子為一交流發電機之顯極轉子，及一置於極面槽中之鼠籠式線捲所組成。

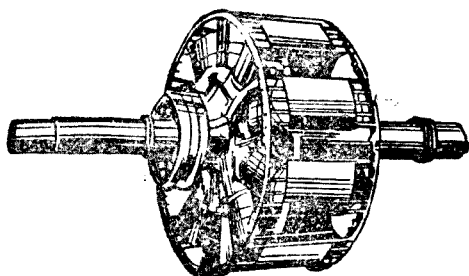


圖 352. 同步電動機之轉子

在開動時，磁極上並無電流供給，故其開動如一普通感應電動機 (326 節)：即其電樞電流產生一旋轉磁場，切鼠籠式轉子之銅條，而發生電勢於其中。銅條中之結果合電流，產生推動轉矩。

若轉子得到速率後，而以退移率旋轉。如百分之 2 或 3 時，逐漸增加直流磁場電流於轉子磁極上之磁場線捲中，則此起磁化後之磁極，與原有之旋轉磁場接合，而轉子則旋轉於同步速率。

保持轉子磁極與電樞電流所生旋轉磁場同步之轉矩，與擺動一普通磁針於地磁方向之轉矩同。若轉子或磁針適確在磁場之方向，如圖 353，則無轉矩，即表示無載時之情形；但若轉子或磁針用某種機械方法偏轉而離磁場之方向，如圖 354，則生一轉矩，與偏轉

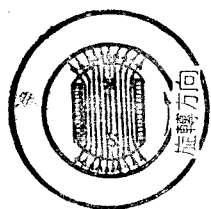


圖 353. 在無轉矩為零時兩極同步電動機之磁場與轉子之地位。

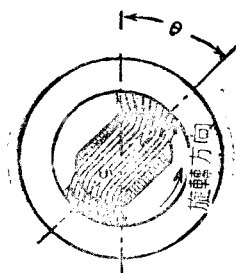


圖 354. 在負載下之磁場與轉子之地位，轉子滯於電樞電流所生之磁場之後 θ 角。

之程度俱增，在離磁場之方向 90 度時之偏轉為最大。若其阻轉矩再稍增加，將使轉子脫出同步狀態而停止。

341. 機械的類似 以交流發電機與同步電動機傳輸功率之理，與以可伸縮之彈簧耦合傳輸功率之理，頗為相似，如圖 355 所示。若 M 方面之負載增加，則彈簧伸張，而 M 對於 G 落後一小角，但此後兩者仍旋轉於正常速率。

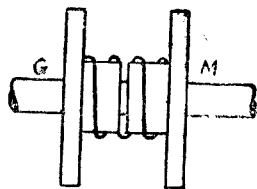


圖 355. 同步電動機之機械的類似

342. 同步電動機之反電勢 先觀圖 353 所示之無載情形。假定其磁場電流為零。因轉子磁極為其所在之磁場所磁化，即使磁場，電

流爲零，轉子將仍旋轉於同步速率，但其脫出轉矩 (pull-out torque) 尚低。此時旋轉磁場割切定子之導體，而生一反電勢 E_b 於其中，此反電勢與外施電勢 E_a 相反而幾相等， E_a 與 E_b 之差，適足使電樞電流通過電樞線捲之低阻抗。因 E_b 必近於與 E_a 相等，故旋轉磁場之強弱與外施電勢 E_a 成正比，若 E_a 不變，則旋轉磁場近於不變。

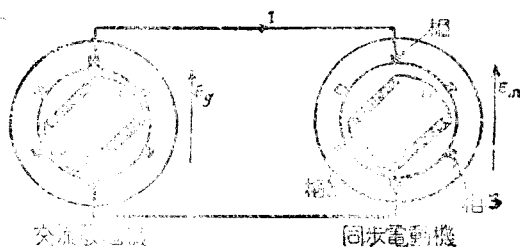


圖 356.

設於增強旋轉磁場之方向(圖 353)，通過一磁場電流於轉子磁極之線圈中。此舉將增加 E_b 而因之減少電樞電流。其結果爲旋轉磁場無甚變動，但此時一部分爲直流磁場電流所維持，而一部分爲減少後之電樞電流所維持。因一無載電動機，事實上別無他物，僅爲一電抗圈，故無載電樞電流滯於外施電壓之後，幾近於 90° 度，因此，減少此滯後電樞電流之大小，而升高電動機之功率因數。同步電動機之主要價值，在於其功率因數可由變更其磁場電流以控制之。

343. 同步電動機之矢量圖 研究同步電動機之運用最易之方法，係作在各種不同磁場電流及轉速時之矢量圖。因欲使此研究儘量簡單化，令交流發電機與電動機爲兩相同之二極機，如圖 356 所示。當僅設想一相時，因電機內部之對稱關係，顯見一相中所逢之

情形，必重見於其他兩相中。

令 E_g = 交流發電機中磁場電流所生之磁流所發生之電壓。

E_m = 電動機中磁場電流所產生之磁流所發生之電壓。

E_r = E_g 與 E_m 之矢量和。

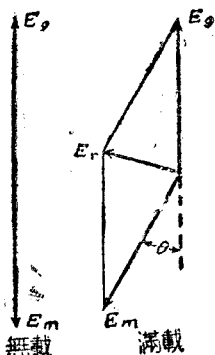
X_g 與 X_m = 交流發電機與電動機之電樞線捲之同步電抗。

R_g 與 R_m = 交流發電機與電動機之電樞線捲之電阻。

I = 環流於交流發電機與電動機電樞線捲一相之電流。

情形 1. 零載與 $E_m = E_g$ —— 令兩機磁場電流相等，故 $E_m = E_g$ ，又令電動機之轉子與交流發電機之轉子正確同步，如圖 356，故 E_m 與 E_g 對循環電流而言，其相差適為 180 度。

因 E_m 與 E_g 係相等而相反，其矢量和 $E_r = 0$ ，及 $I = 0$ 。其矢量圖示於圖 357。此係絕對零載時之情形。欲以實驗方法求得此種情形，須給適當之機械轉矩於同步電動機之軸上，以供同步電動機之風阻，摩擦及鐵損失。此種機械轉矩，可以小電動機供給之。



情形 2. $E_m = E_g$ 電動機上有軛負載 —— 設加一軛轉矩於圖 356 同步電動機之軸上，則其轉子被拖退後，滯於其旋轉磁場之後 θ 角，如圖 354 所示。此時 E_m 滯於其零載地位之後 θ 角，如圖 358 之矢量圖所示。 E_r 不復為零，而電流 I 等於 E_r 除以兩機串聯電路之阻抗。即

$$I = \frac{E_r}{\sqrt{(R_m + R_g)^2 + (X_m + X_g)^2}}$$

圖 357. 同步電動機之電壓矢量圖

又因電阻通常較電抗為小，故

$$I = \frac{E_r}{X_m + X_o}$$

因電阻可略去不計，此電路幾全為感應電路，電流 I 必滯於電壓 E_r 之後約 90 度。

交流發電機所發出之功率 = $E_g I \cos \alpha$

今若電動機上之負載增加，則電動機對於交流發電機後移一更大之角 θ ，如圖 359 所示。其電壓 E_r 及電流 I 較前為大，而交流發電機所發出施於電路中之功率 $E_g I \cos \alpha$ 亦較大。

344. 最大輸出 圖 360 表示一極端情形。此處之負載使電動機

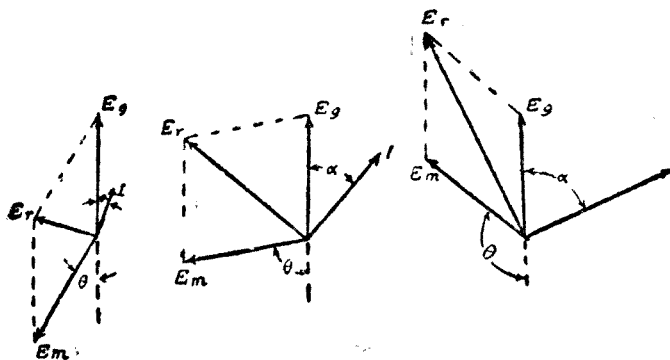
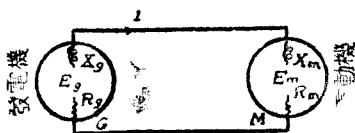


圖 358. 中間負載 圖 359. 重負載 圖 360. 大於最大輸出之負載

圖 358—360 同步電動機在各種負載時之矢量圖

後移一較大之角 θ 。但加入線路之功率 $E_0 I \cos \alpha$ ，較圖 359 之情形為小，故當負載增加時， θ 角增加，其輸入功率 $E_0 I \cos \alpha$ 則僅增加至一定點，此點稱為破壞點或最大輸出點。若負載超過此值，則電動機將緩轉而停止。

電動機之最大輸出，約為其線捲熱度所限之正常輸出之二倍有餘。

345. 同步電動機在超激及低激時之運用 右圖 361 之 *B* 中，電動機 *M* 之激磁適使 $E_m = E_0$ 。其他兩種運用情形，示於圖 361 之 *A* 及 *C*。在前者，電動機為超激 (overexcited)。因其速率不能變更而必須常為同步速率，其電壓 E_m 必與磁激俱增，且必大於 E_0 。在後者，電動機為低激 (underexcited)，而 E_m 必小於 E_0 。但電動機之負載不變，故 $E_0 I \cos \alpha$ 為定值。

須知在圖 361 *A* 之超激時，電動機之電流，越於發電機電壓 E_0 。

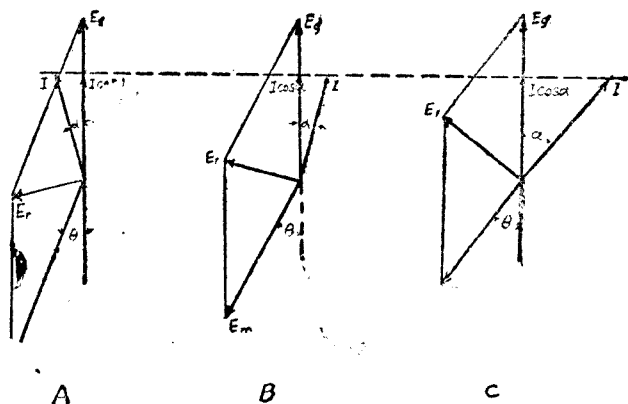


圖 361. 同步電動機之激磁對於其功率因數之效應

之前。換言之，一超激同步電動機自線路上取得越流。已知容電器常取越流（閱 270 節），故在一定範圍內，超激同步電動機之作用與容電器相似。

346. 同步電動機用於改良功率因數 若發電機之負載功率因數甚低。則宜以其一部分之負載用同步電動機擔任之，以改良其全部功率因數。

如 1,000 馬力之 2,200 伏單相感應電動機，運用於一輸電線之末端，其平均功率因數為百分之 80，而其平均效率為百分之 90。求線路上之電流及所需發電機之容量。

電動機之輸出為 1,000 馬力。

$$\begin{aligned} \text{電動機之輸入} &= \frac{1,000}{0.9} = 1,111 \text{ 馬力。} \\ &= 830 \text{ 仟瓦。} \end{aligned}$$

$$\text{所需之發電機容量} = \frac{830}{0.8} = 1,038 \text{ 仟伏安。}$$

$$\text{線路電流} = \frac{1,038 \times 1,000}{2,200} = 471 \text{ 安。}$$

若其中有 500 馬力之負載以同步電動機拖動之，而電動機之磁場係超激者，使其作用與容電器相似，則全部功率因數可以增高。

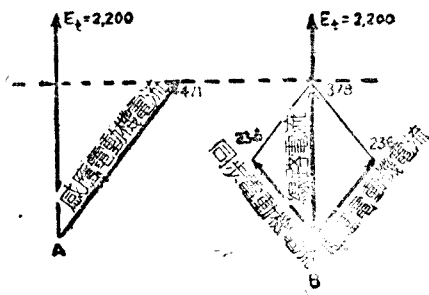


圖 352. 一超激同步電動機改正功率因數之矢量圖

若使同步電動機之功率因數為百分之 80，而取越流，則負載之矢量圖如圖 352 之 B 所示。

感應電動機之輸出 = 500 馬力。

$$\text{感應電動機之輸入} = \frac{500}{0.9} \times \frac{746}{1,000} = 415 \text{ 仟瓦。}$$

$$\text{此種電動機之電流} = \frac{415 \times 1,000}{2,200 \times 0.8} = 236 \text{ 安。}$$

同步電動機之電流亦為 236 安，但為越流，其超前角之餘弦為 0.8 而大小與感應電動機之電流之滯角同。

$$\begin{aligned} \text{線路上之合電流} &= 2(236 \times 0.8) \\ &= 378 \text{ 安。} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{所需之發電機容量} &= \frac{378 \times 2,200}{1,000} \\ &= 830 \text{ 仟伏安。} \end{aligned}$$

應用超激同步電動機可增進全線功率因數，可減少所需之發電機容量，亦可減少線路電流及線路電壓降，故用超激同步電動機於一長輸電線之末端，甚為有益。設此種同步電動機僅用以改良功率因數，而不接機械負載，則常稱為同步容電器，蓋雖運轉如同步機而實際上卻作容電器之工也。

347. 交流發電機之並列運用 通常之輸電及配電制，由數部並聯之交流發電機饋給之。欲使兩交流發電機並列運用，而平分其負載，其所發生之電壓必須相等，同頻率，而對於負載而言為同相。須知如兩電壓對於負載而言為同相，而對於兩機間之循環電流 (circulating current) 而言為相差 180 度。例如，圖 768 僅表示兩三相交流發電機之一相，若兩機相 a 之電壓 e_1 與 e_2 均作用於箭頭所示之方向至半週，而同時反向，則對於負載而言兩電壓為相同，因此

時兩電壓均使電流反時針方向通過外電路；但若僅就兩機觀之，則 e_1 使電流順時針方向通過兩機，而 e_2 使電流反時針方向通過兩機。故僅就環流兩機間之電流而言，則 e_1 與 e_2 相差 180 度。若 e_1 常等於 e_2 ，則並無電流環流於兩機間。

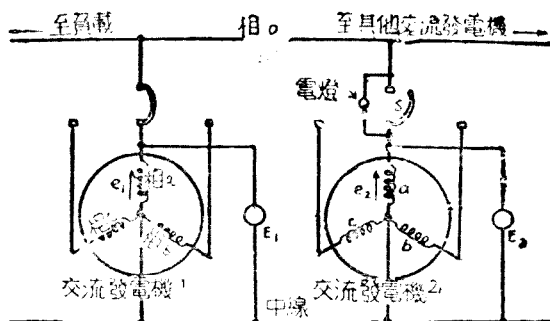


圖 362. 交流發電機之並列運用

設圖 363 中之交流發電機 1 荷此制中之全部負載，且如負載增加至超過其容量，則須開動交流發電機 2 以助其分荷負載。開動交流發電機 2 之汽輪或水輪原動機，使其發動單位至相當速率。然後加上直流磁場電流於此交流發電機，而調準其所發生之電壓 E_2 使等於 E_1 ，但在開關 S 可以關閉之前，此兩電壓必須“同步”，即對於負載而言須同相。例如，若 E_2 脫出同步 180 度，則每機構成其他一機之短路。將有大量之電流循環於兩機間，但無電流及電壓供給於負載。

348. 整步 E_1 與 E_2 間相之關係，可跨接一電燈於開關之接觸點上，如圖 363 所示，約略決定之。此法完妥循環電流之電路，但因電燈之電阻極大，此循環電流限於極小值。如 E_2 脫出同步 180 度，則

跨於電燈上之電壓為 $E_1 + E_2$ ，而電燈明亮。但若 E_2 完全同步，則跨於電燈上之電壓 $= E_1 - E_2 = 0$ ，而電燈熄滅。若交流發電機 2 之頻率，較交流發電機 1 之頻率每秒大半週或小半週，則交流發電機 2 每 2 秒中經過一次同步，而每 2 秒中電燈明滅一次。調準此加入電機之原動機速率，至明滅之頻率極低，然後在電燈熄滅時關閉開關 S 。

在現代發電廠中，此種電燈均以整步指示器 (synchroscope) 替代之，此種整步指示器不僅隨時指明 E_2 與 E_1 間實在相角之度數，且亦以其指針之運動方向表明加入電機之速率過高或過低。

事實上，在關閉開關時，加入電機鮮有真正同步者，但其轉入同步甚速。例如，若 E_2 略滯於 E_1 後數度，則應用圖 353 之矢量圖，以 E_1 代 E_m ，而以 E_2 代 E_{2m} 。故有環流 I 通過，環流乃推動機 2 如一同步電動機而為機 1 之負載。故此環流在滯後電機中產生推動轉矩，而在超前電機中產生減速轉矩，若一交流發電機已經整步而接於發電室之匯電條上，則當旋轉如一同步電動機時，不能以任何小於脫出轉矩之轉矩，使之脫出同步。

交流發電機在第一次整步時，須使三相同時整步，以確定各相在開關上依一定之順序連接。例如，若第二相與第三相交換誤接，則三相不能同時同步，待其錯誤校正後，始能作並列運用。

349. 在交流發電機運用中負載及功率因數之控制 若兩直流發電機並列運用，而增加一機之磁場激磁，則該機之電壓升高而取較大部分之負載。增加負載，使引擎及發電機之速率下降，而使引擎吸取較多之蒸汽，以應所增負載之需。

若兩交流發電機並列運用，增加一機之磁激則升高該機之電壓，

但該機之速率不能下降，使其引擎吸取較多之蒸汽，因其僅能旋轉於同步速率也。因此，變更交流發電機之激磁並不影響該機之輸出，但影響其功率因數，可由圖 364 至 367 中之矢量圖見之。設想兩交流發電機並列運用時之情形，如圖 363，而假定 E_{0_1} 與 E_{0_2} 為兩機相 a 中之電壓，各為其直流磁場電流之磁流所生。其矢量圖可就兩機間之環流為立場而作，此處 E_{0_1} 與 E_{0_2} 相差 180 度。若此制中之負載為零，而 E_{0_1} 與 E_{0_2} 相等而同步，則無電流，而其矢量圖如圖 364 所示，但若交流發電機 2 之磁數增加，故 E_{0_2} 大於 E_{0_1} ，則 E_{0_1} 與 E_{0_2} 之矢量和 $E_r = E_{0_2} - E_{0_1}$ 而此電壓使電流 I_0 流經兩機如圖 365 所示。因經過兩機電路之電阻，較之電抗可略去不計， I_0 滯於 E_r 後約 90 度。

今 I_0 對於交流發電機 2，為零功率因數之滯後負載，而對於交流發電機 1 為零功率因數之越前負載。若除環流外，每機輸出一功率因數為 $\cos \phi$ 之負載電流 I ，則每交流發電機之總電流，為其負載電流與環流之矢量和，如圖 366 所示，而環流之影響係使 I_2 移向滯後方向及使 I_1 移向越前方向，但每機所給之功率仍相等（ I_1 與 I_2 各為交流發電機 1 與 2 之總電流）。

其矢量圖亦可依負載電流之立場而作，如圖 367，此處 E_{0_1} 與 E_{0_2} 同相，而環流在交流發電機 2 中為 I_0 及在交流發電機 1 中為 $-I_0$ 。

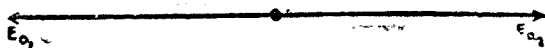


圖 364. 兩交流發電機並列運用，零載，及 $E_{0_1} = E_{0_2}$ 。

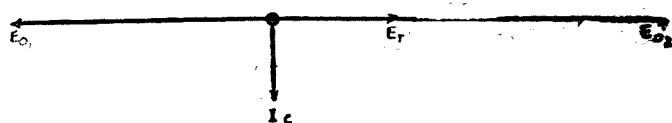


圖 335. 兩交流發電機並列運用。零載及 $E_{02} > E_{01}$ 。

則 $I_2 = I$ 與 I_c 之矢量和

而 $I_1 = I$ 與 $-I_c$ 之矢量和

上列兩式所表 I_1 與 I_2 之值，與自圖 366 所得者同。

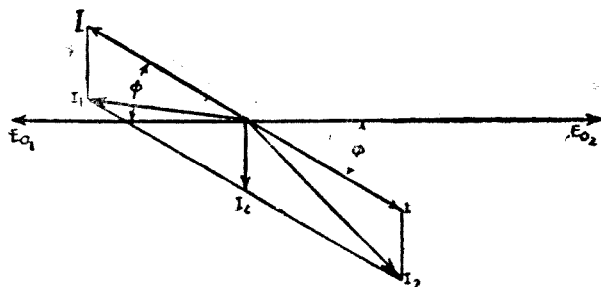


圖 336. 兩交流發電機並列運用而以同一平均率發出電能， $E_{02} > E_{01}$ 。總電流 $= 2I$ 。
 I_1 與 $I_2 =$ 兩交流發電機 1 與 2 中之總電流。

欲改變兩並列運用交流發電機間負載之分配，必須改動其原動引擎之調速器，以改變蒸汽供給之分配。

如兩交流發電機上之總負載增加，兩機之速率則各下降，而其引擎之調速器自動使其所需之蒸汽通過，而所發電勢之頻率稍降。欲使兩機上之負載分配適當，其引擎在零載與滿載間之速率降落，應有相同之百分率。

同上之理適用於水輪機推動之交流發電機，在多數以水輪推動之交流發電機中，欲使一機取總負載之較大部分，必須改動該機之

調速器，使其水輪取得較多之水。

350. 逐獵 以引擎推動之交流發電機，尤以汽油機推動者，其角速度並不均勻，但為一均勻角速度與一振蕩(oscillation)重疊而成，故其所發生電勢之頻率不定，但為有規則之增減。

若以此種電勢加於同步電動機上，則電動機之同步速率，將與電勢之頻率俱作有規則之增減，而電動機亦將與發電機相似，有重疊之振蕩作用。若電動機之固有振蕩週期與此強迫振蕩之週期同，則其效應將疊積，而電動機將振蕩甚大。

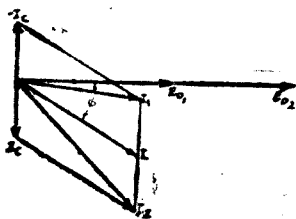


圖 367. 此圖較之圖 366，除在圖 366 中以環流 I_c 為相角之參考軸而在圖 367 中以負載電流 I 為參考軸外，餘均相同。

由圖 355 上之模型，可得相似之結果。施於 G 之轉矩如不均勻，則 G 將振蕩於其平均角速度位置之前後，而有一振蕩力經彈簧而加於 M 上。如飛輪 M 之轉動慣量之大小，適使其固有振蕩之頻率與外施振蕩之頻率同，則 G 與 M 將前後相對振蕩經過一大角度。

如 G 與 M 相對前後振蕩，圖 358 之 θ 角作有規則之增減，而 E ，與 I 兩者之值均變動於其負載所需之平均值之上下。此種電流浪(sunging)之頻率比較甚低，可置安培計於電路而指明之。因此種浪之故，雖負載並未超過其正常值，保護電機之斷路器或將開斷，而二機之疊積相對振蕩，所謂逐獵(hunting)者，可使電動機脫出同步之外。

欲阻止電動機之逐獵，必須消去其外施振蕩或變更電動機之固有振蕩頻率。實際上用以減小逐獵之方法為：

1. 若其外施振蕩係為逐獵調速器所致者，則挫抑其調速器，
2. 變換電動機之飛輪以改變其固有振蕩週期；電動機旋轉部分之轉動慣量愈大，其固有振蕩週期亦愈長。

磁極面槽所置之鼠籠線捲，有阻尼振蕩作用，因振蕩發生電壓於銅條中，其結果電流，發生轉矩以反抗振蕩。鼠籠之阻尼作用，常足以阻止逐獵。

交流電動機常備有局部鼠籠，即‘阻尼柵’(damping grid)，裝置於磁極面上之槽中。阻尼柵之目的為阻尼任何發生之振蕩。

第三十五章 多相電動機之應用及控制

351. 同步電動機 同步電動機之主要優點，在於其功率因數可以控制。此機可運用於百分之 100 功率因數，或可超激之而由線路上取得越流，以補償同廠中感應電動機之滯後功率因數，此為同步電動機最重要之性質。因功率因數若不加以注意，其罰金可至成為電價中一大款項也。

同步電動機因其速率與負載及電壓均絕無關係；此種事實，在特種應用上頗屬重要。

同步電動機之效率，稍高於感應電動機，尤以在輕負載時。其主要之缺點為其激磁必須用直流電。通常裝配一小激磁機於同軸上，以供給之。其他較小之缺點為（1）供電制系中若有擾亂，或將使之脫出同步而至停止；而感應電動機則仍繼續旋轉；（2）其控制方法不如感應電動機之簡便，因其磁場必須在電動機達到相當速率後始可加入，且須調準之以得所需之功率因數。以上述缺點之故，同步電動機不用小型者。然大容量之同步電動機為用甚廣，在功率因數甚為重要之處，若所需開動轉矩不甚大，而其負載之漲落不甚劇烈而致電動機脫出同步者，則應選用同步電動機。前述數語，可視為選擇定速率工作之大電動機之普通原則。

標準同步電動機所發生之開動轉矩，不如捲轉子感應電動機或雙鼠籠式感應電動機之大。同步電動機雖可增大其直徑以得所需之任何開動轉矩，但其價格亦增。故對於重大之開動工作，同步電動

機之價格，較之捲轉子感應電動機，或變鼠籠式感應電動機均為昂貴。至於此額外價格之值得與否，全視其電力合同及廠中其他負載之功率因數而定。對於輕量開動之工作，大容量之同步電動機，較之同定額之感應電動機為廉。同步電動機僅可應用於下列之速率：

表 III

磁 極 數	在 25 週之幹線上	在 30 週之幹線上
2	每分 1,500 轉	每分 3,300 轉
4	每分 750 轉	每分 1,800 轉
6	每分 500 轉	每分 1,200 轉
8	每分 375 轉	每分 900 轉
10	每分 300 轉	每分 720 轉
p	每分 $\frac{120 \times 25}{p}$ 轉	每分 $\frac{120 \times 30}{p}$ 轉

352. 單相電動機之價格如下章所述，較相同輸出之多相電動機為昂，且不用於普通電力工作。此種電動機之小型者，用於無多相電流處。實際上現時大容量單相電動機之唯一用處，為用於電曳之交流串激電動機。單相制之電曳，僅需一架空電線，因鋼軌亦可用作一導體，但三相制需三導體，故需備二架空電線；因此，雖單相電動機之價格較貴，交流電曳仍多用單相制。但在義大利之電氣鐵道上，係用三相感應電動機而備有二架空電線。

353. 感應電動機取滯流之 1 馬力機之滿載功率因數，約為百分之 80，而 100 馬力機約為百分之 90。其功率因數隨負載而俱減，在無載時可小於百分之 20。

感應電動機與同步電動機有同一同步速率。其滿載速率約較同

步速率低百分之 1.7 至 4.2，視其大小及速率而定。

捲轉子感應電動機為唯一速率可控制之電動機。其所發生之開動轉矩亦為最大。其開動轉矩約為其滿載轉矩之三倍，而較雙鼠籠式轉子之開動轉矩大百分之 20。

標準鼠籠式感應電動機之開動轉矩，為滿載轉矩之 1.0 至 1.5 倍，視其設計而定。

因同步電動機僅用較大之容量，故感應電動機為應用最廣之交流電動機。

354. 多相電動機之標準應用 同步電動機 應用於壓縮機，電扇，吹風機，唧筒，磨漿機及打漿機，軋棉機，鋸機，連續軋床，製水泥筒機，製冰機，工場中之主軸，電動發電機組，等處。

捲轉子感應電動機係用於起重機，積重機，輸運機，軋床，或需用極大開動轉矩或開動可控制之處，或須屢轉屢止之處，或用飛輪以平均間歇負載之處。欲使飛輪收儲或發出能量，其速率必須變動。感應電動機之正常退移率，不足使飛輪發揮其功用，但用捲轉子則負載加於機上時，其電阻能自動嵌入轉子電路，以增加其退移率並使飛輪擔負所需之負載。

鼠籠式感應電動機為通用之電動機，除上列數種需用捲轉子特性外，可應用於各種用途。

355. 高電阻鼠籠式轉子 若一電動機僅用於開動或止動之工作，例如用於二層或三層建築之升降機上，可配用一高電阻鼠籠式轉子，以發巨大開動轉矩，如捲轉子之轉矩。因此種電動機僅作開動或止動之用，其工作效率之低小可不論。

356. 捲轉子電動機可調準速率之應用 捲轉子感應電動機直接其轉子後，其滿載速率約較無載速率低百分之 4，如圖 369 曲線 *a* 所示。

如圖 368，若加入電阻於轉子電路，則電動機將下降其速率以生所需之較大電勢，以通電流經過此高電阻。然在無載時，轉子幾旋轉於同步速率，因通無載電流經過轉子所需之電勢僅需極小之退移率。圖 369 曲線 *b, c, 及 d* 係各種轉子電阻之速率曲線；如所需速率之降落愈大，則轉子電阻必愈大，而電阻上之損失亦愈大。在半同步速率時，電動機之效率約為百分之 50，在四分之一之同步速率時，其效率約為百分之 25。是以感應電動機不適於低速率之連續運用。

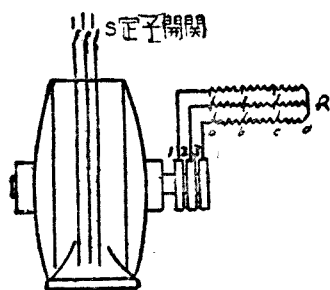


圖 368.

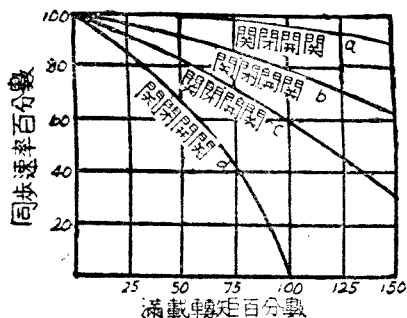


圖 369.

電阻對於感應電動機速率之影響

357. 電刷可移動之多相感應電動機 因對於可調準速率多相電動機之需求，遂有整流子式電動機之發展，其速率可移動其電刷以調準之。

在低速率時，捲轉子電動機效率之所以如此之低者，因其轉子電流係以電阻加入轉子電路以控制之也。如以反電勢代替其電阻以

阻擋電流，則電阻中之 I^2R 損失可以避免。此反電勢自應與轉子銅條中之電勢有相同之頻率，而其大小可以調準者。此反電勢之發生及應用，得之如下：

先交換轉子與定子之線卷，即以主線卷繞於轉子上，經三滑環以饋之，而副線卷繞於定子上。此舉對於電動機之運用並無任何變動，但其意義在於主線卷所生旋轉磁流對於該線卷旋轉於同步速率，對於靜止部分如副線卷者以旋轉於退移速率。例如，一 60 週二極電動機，運用於百分之 5 退移率，其帶有主線卷之轉子，旋轉於每秒 60 轉之百分之 95，或每秒 57 轉，而此主線卷所生之磁流，每秒旋轉 3 轉於反對方向。因此，定子上副線卷中所生電勢之頻率為每秒 3 週。

一不相連之直流鼓形線卷與轉子上之主線卷同置於槽中，而接於一整流子上。此時若轉子旋轉於同步速率，其磁場將靜止不動，而跨於一對電刷間之電壓將為直流電；但電動機上一有負載時，即磁流徐徐旋轉，每轉過半週時，跨於電刷間之電壓變其極性。是以電刷間之電壓為交流電，其頻率與定子上副線卷之電壓頻率同。

副線卷之每相均連接於整流子上之一對電刷，如圖 370 所示。電刷 a_1a_2 裝置於一搖臂上，而電刷 b_1b_2 裝置於另一搖臂上。若各 a 電刷與各 b 電刷相合於 $X-X$ 軸上，則電刷 a_1b_1, a_2b_2 每對均為整流條所短接，而此電動機旋轉如一普通截去轉子電阻之捲轉子感應電動機。但如將各電刷分開如圖 370，則整流子上每相有一反電勢。此反電勢或正或負，視何組電刷順時針方向移動而定。是以吾人可得一高於及低於同步速率之速率範圍且因此反電勢與負載

無關，電動機之速率與負載理應無關。

電刷可移動之感應電動機，較捲轉子電動機為昂，但除同步速率外，在任何速率時其效率均較高，且在較低速率時尤高。此種電動機應用於可調準速率之處，如麵包機，加煤機，印刷機，光滑機等。

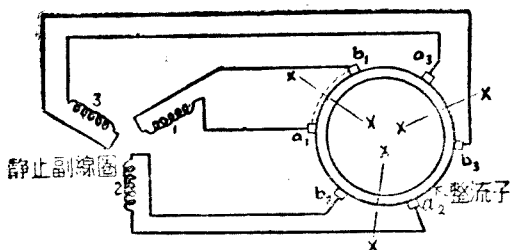


圖 370. 電刷可移動之多相感應電動機之副線圈電路

358. 交流電路之開關 開斷交流開關時所生之電弧，較開斷直流開關時為小，因前者電流每週經過兩次零值故也。

速斷式開關（閱 162 節）用於小電流，在大電流或高電壓電路

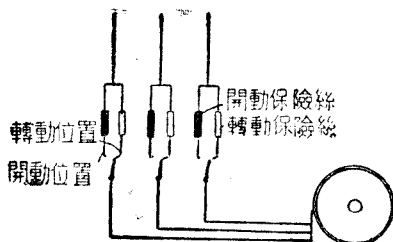


圖 371. 一小型三相鼠籠式感應電動機之接法

中，開關之接觸處浸於絕緣油中，此油能消滅任何發生之電弧。交流電路中之油開關（oil switch）與直流電路中之磁熄弧開關有同等之地位。

359 鼠籠式感應電動機之開動 鼠籠式電動機在靜止時，自正常電壓之線路上所取得之電流，約 5 倍於滿載電流，而所發生之轉矩，約為其滿載值之 1.5 倍。

5 馬力或以下之電動機，通常不用開動器，而以雙投開關直接連於線路上，如圖 371 所示。其構造使開關僅當扳向與彈簧張力相反時，留在開動位置。

5 馬力以上之電動機，通常以自耦變壓器開動於較低電壓，如圖 372 所示。用此法可減少開動電流，

但開動轉矩亦減少；其旋轉磁場 ϕ 與產生此磁場之外施電壓 E 成正比，

(閱 329 節)，而其轉子電流 I_2 與產生此電流之旋轉磁場 ϕ 成正比，即與 $\phi \times I_2$ 成正比之開動轉矩，與 ϕ^2 成正比，故與 E^2 成正比。

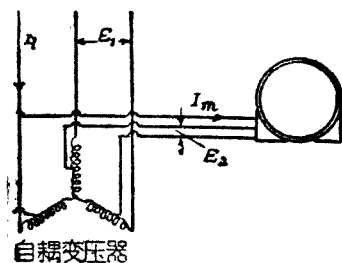


圖 372. 一三相鼠籠式感應電動機開動補償器之接法

一電動機在靜止時，加以正常電壓則取 5 倍之滿載電流而發生 1.5 倍之滿載轉矩。

欲得滿載轉矩則其外施電壓須為若干？電動機引線上及線路上之開動電流為若干？

$$\frac{(E_2)^2}{(E_1)^2} \cdot \frac{\text{滿載轉矩}}{1.5 \text{ 滿載轉矩}} = \frac{1}{1.5}$$

故
$$E_2 = \sqrt{\frac{1}{1.5}} \times E_1$$

$$= 0.815 E_1$$

或 正常電壓之百分之 81.5。

電動機中之開動電流 = i (滿載電流) $\frac{E_2}{E_1}$

$$= 4.1 \text{ (滿載電流)} = I_m, \text{ (圖 372).}$$

觀自耦變壓器之效率 = 100 百分數，則

$$\begin{aligned} \text{線路上之開動電流} &= 4.1 (\text{滿載電流}) \frac{E_2}{E_1} \\ &= 3.3 (\text{滿載電流}) = I_L, \text{圖 (372)}. \end{aligned}$$

中型及大型鼠籠式感應電動機，所以開動於較低電壓者，以直接開動吸取低功率因數之 5 倍滿載電流，易滋擾配電制也。雙鼠籠式電動機，常開動於全線路電壓。

360. 開動補償器 自耦變壓器與開關組合，構成所謂開動補償器 (starting compensator)。圖 373 表示開動補償器之一種，其主要組成部分，為三自耦變壓器 T ，及一雙投開關 S ，用此器，電動機在開動時，可接於低電壓之分接頭上，當將至滿速時，直接接於線路上。

此補償器之全部接法，示於圖 374 之 A 。

圖 B 表示開動時期之接法；正常電壓 E_1 加於線路 a, b 及 c ，而由自耦變壓器上接出之較低電壓 E_2 ，加於電動機。

圖 C 表示轉動時期之接法。此時加於電動機之電壓為正常值，其過載替續器 O 則接於電路中，而其無壓釋放器之線圈 M ，則跨接於電路之一股上。

無壓釋放器之要點，原理上與直流電動機之開動器中所用者相似，含有一鎖梢螺管，握住開動柄而反抗彈簧之張力。若線路失去電壓。則螺管 M 失去能力，而開動柄回復至斷路位置。

在過載甚重之情形時，替續器 O 之活塞上升，而開斷無壓釋放器柄之電路，然後開動柄回至斷電位置。

各種電動機上並不皆用無壓釋放器，因感應電動機可載一 5 倍於其滿載電流之開動電流，以達其滿速，而在此短時期中不致受損。

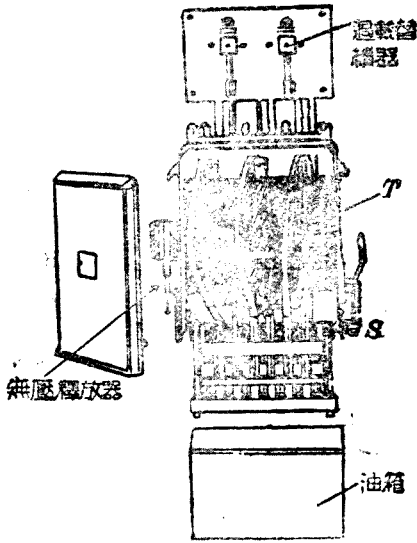


圖 373. 三相感應電動機之開動補償器

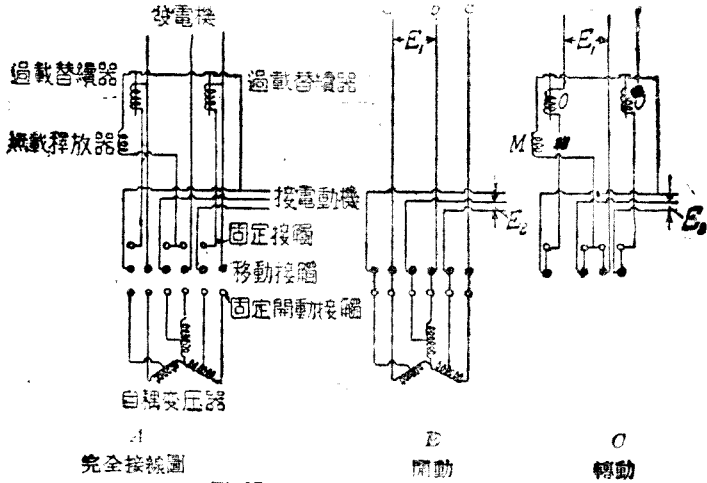
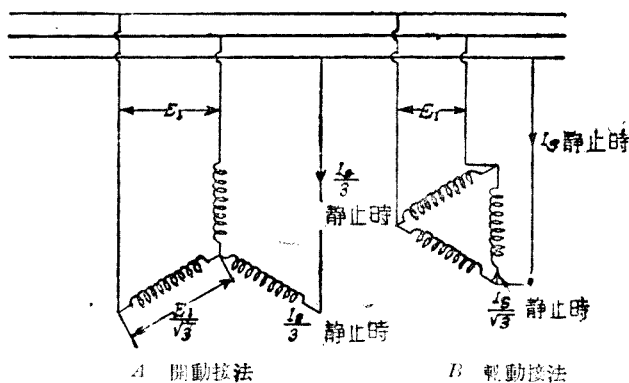


圖 374. 三相開動補償器接線圖

此大電流之唯一弊病，即為其所生之擾亂耳。

361. Y- Δ 開動法有時用於三相電動機。其三相之線捲互相分開，而自機中引出六引線。在正常轉動情形，線捲係接成 Δ 形，如圖 375 之 B，其每相電壓為 E_1 伏。在開動時，線捲係接成 Y 形，如圖 A，此時每相電壓為 $\frac{E_1}{1.73}$ 或為正常電壓之百分之 58。



A 開動接法

B 轉動接法

圖 375. Y- Δ 開動器中之電壓與電流之關係

若一 Δ 形接法電動機在靜止時，加以正常電壓，則取 5 倍之滿載電流，而生 1.5 倍之滿載轉矩。若電動機接成 Y 形，則機中及線路上之開動電流為若干？在此情形之開動轉矩為若干？（學者須作一接線圖以示自 Y 變為 Δ 所需之雙投開關）。

$$\begin{aligned} \text{開動轉矩} &= 1.5 (\text{滿載轉矩}) \times (0.58)^2 \\ &= 0.5 (\text{滿載轉矩}). \end{aligned}$$

若成 Δ 形時線路上之開動電流 = I_0 。

接成 Δ 形時電動機中之開動電流 = $\frac{I_0}{\sqrt{3}}$ 。

接成 Y 形時電動機中之開動電流 = $\left(\frac{I_0}{\sqrt{3}}\right) \times 0.58 = \frac{I_0}{3}$ 。

接成 Y 形時線路上之開動電流 = $\frac{I_s}{3}$ 。

今 I_s 為滿載電流之 5 倍，故當電動機接成 Y 形時，線路上開動電流為滿載電流之 $\frac{1}{3} \times 5$ 或 1.67 倍。但其開動轉矩僅為滿載轉矩之 0.5 倍，若此轉矩不足開動此荷有負載之電動機，則需用一開動補償器。

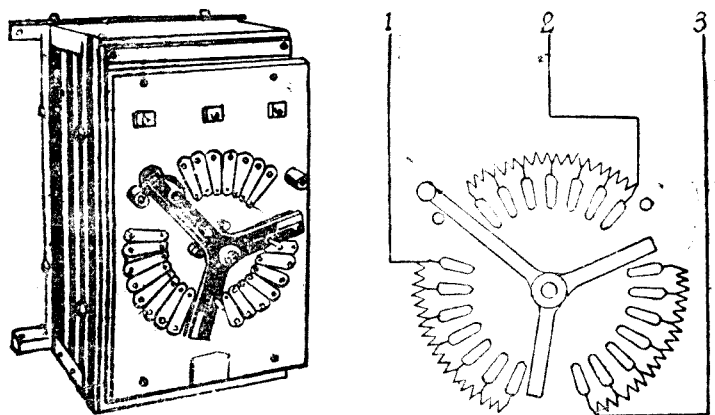


圖 37. 捲轉子式感應電動機之滑動接觸式開動器

362. 捲轉子式電動機之開動器 開動此種電動機時，先關閉總開關 S ，圖 368，待電動機達其速率後，逐漸截去電阻 R 。

因轉子線捲係繞成三組（閱 327 節）者，故需三組接觸器。小型電動機上所用開動器之接觸器，多裝於面板上，如圖 376。若此種開動器之電阻有充分之電流載量，則可作速率調整器之用。

50 馬力以上之電動機，常用多開關式開動器（閱 172 節）。此種開動器圖示於圖 377，含有三雙極開關，其構造法僅能使之依 A, B, C 之次序而關閉。各開關均以插梢保持於關閉地位，若失去外施電壓，則無壓釋放器之磁鐵釋放插梢。

363. 自動開動器 輸出較小之鼠籠式電動機，係直接連於線路上，此種電動機所用之自動開動器，含有一雙極磁開關，示於圖 377 之 A 處。

捲轉子電動機用多門關式開動器，圖 377 中各開關，依 A, B, C 之次序而關閉，因此電動機得到速率，其開動電流不致超過其預定之值。此種開動器機械構造方面，雖與 183 節所述之直流開動器各

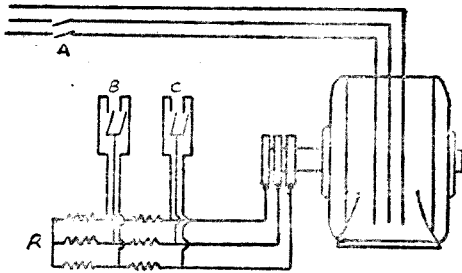


圖 377. 捲轉子式電動機

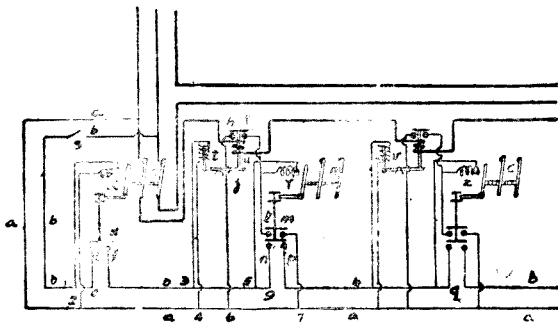


圖 378. 捲轉子感應電動機自動開動器

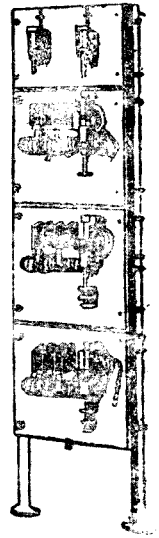


圖 379

異，* 其運用原理則同。

圖 378 表示圖 377 中之 A, B, C 三開關之控制電路。當控制開關 s 關閉後，則線路 b 被激勵以至 c 點，接於 1, 2 兩點間之磁鐵 X ，關閉雙接觸器開關 A 。因此電動機開始轉動，所有轉子電阻 R 均在轉子電路內，圖 377，而線路上約通過 1.5 倍之滿載電流。

當開關 A 關閉後，圓盤 d 下降，使接觸點 e 及 f 通，而擴充 b 線之被激勵範圍至 g 。線圈 t 此時自 3 及 4 兩點被激勵而舉其活塞，因此與活塞相連之槓桿 j 下降，而移去線圈 u 之活塞之支點。然經過 u 之線路電流吸上其活塞，直至電動機得到其正常速率約三分之一，而當 u 之活塞方下降而關閉接觸點 h 與 b 時，電流已約降至滿載值。線圈 Y 此時自 5 及 6 兩點通電而關閉雙極開關 B ，因此自變阻器之每股上截去其第一級電阻。於是電流約增至其滿載值之 1.5 倍，但如電動機之速率再行增高，則電流漸減。

一俟開關 B 關閉，與開關連鎖之圓盤下降，而關閉接觸點 lm ，線圈 Y 此時自 5 及 7 兩點被激勵，故開關 B 保持其關閉地位，而與線圈 u 之活塞無關。同時接觸點 np 為下方連鎖之圓盤所關閉，而擴充 b 線之被激勵範圍至 q ，在開關 C 關閉前，重演同此運用步驟。

圖 79 表示開動器之全部，其替續器 t 與 v 裝置於頂板 L ，而開關 A, B ，與 C 裝置於下方板上。

§ 64. 開動同步電動機 同步電動機通常先開動之如鼠籠式感應電動機，待其達到相當速率後，加以磁場電流而變為同步電動機；

* 一交流電磁鐵必須以疊片製成，其理與變壓器鐵心之須以疊片製成同，即阻止變磁流所生之過大鐵心損失。

但如開動於零載時，則有時以具有高開動轉矩而裝於同軸上之小電動機開動之，再與線路整步如交流發電機(閱 348 節)。然後自線路上截去開動電動機。

此種開動法之優點，在於使供電制受最小之擾動。

第三十六章 單相電動機

365. 單相感應電動機 若一二相感應電動機在旋轉時開斷一相，此機仍可繼續旋轉而荷其負載。

圖 380 示一二極單相感應電動機在靜止狀態。若通交流電流於線圈 A 中，則產生交變磁流 ϕ 。因此磁場並不旋轉，轉子無旋轉之趨勢，故此機非為自能開動者。

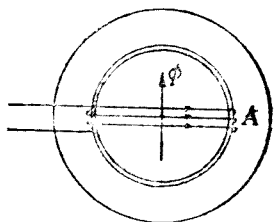


圖 380. 單相感應電動機之圖示

366. 分相開動法 圖 381 表示自一單相電源上求旋轉磁場之多種方法之一，電動機之繞法一如作二相之運用，而以電阻 R 串聯於線捲 A 中。故電流 I_a 滯後之程度不如 I_b 之甚，電動機之組合磁場有旋轉成分，使轉子轉動。

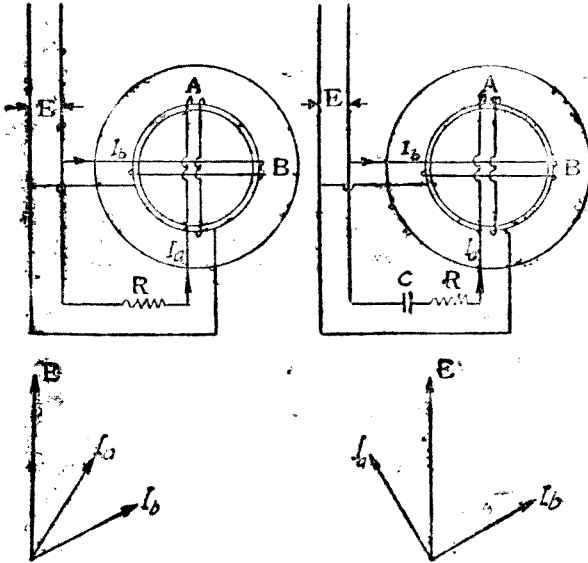
若在線捲 A 中，除電阻 R 外，再插入一容電器 C 與之串聯，則可使電流 I_a 越於電壓 E 之前。於是 I_a 與 I_b 間之相差可更近於 90° ，而電動機之運用將更近於二相機。

此種開動法稱為分相法(split-phase method)。

367. 單相電動機之開動轉矩 如圖 383，若二相等矢量 P 以同速度而反向旋轉，則其合矢量 R 交變於 $R = 2P$ 與 $R = -2P$ 二值之間，而常與連接此二點之直線相合。

故如圖 382 所示之交變磁流 ϕ ，等於二旋轉磁場 ϕ_x 與 ϕ_y ，其強

度相等，而以同速度旋轉於相反之方向。此二磁場有開動轉子於相反方向之勢，故其合開動轉矩為零。



電阻與一線捲串聯

電阻及容電器與一線捲串聯

圖 81. 單相感應電動機之分相接法

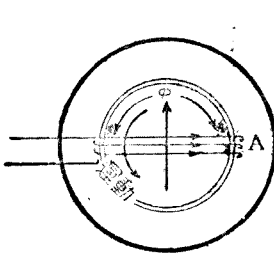


圖 82.

圖 83.

圖 82 及 83 交變磁場分解為二旋轉成分

設轉子已以分相法開動之，而旋轉於磁場 ϕ_x 之方向，其速率較同步速率稍低。則轉子銅條割切磁場 ϕ_x 而產生應電勢，此電勢使一頻率為 sf (閱 328 節) 之電流 I_x 通過轉子銅條，此處 s 為轉子之退移率， f 為線路頻率。因轉子之頻率低，其電流之滯角甚小，故此電流所發生之轉矩大(閱 326 節)。

然轉子銅條同時亦割切磁場 ϕ_y ，因此磁場之旋轉方向與轉子相反，其所產生之電流 I_y 之頻率幾近於 $2f$ 。此頻率之值高，致電流滯後一大角，故此電流所產生之轉矩可略去不計(閱 326 節)。

轉子之合電流為 I_x 與 I_y 所合成，但後者對於產生轉矩並無效用，而電機旋轉如僅有一磁場 ϕ_x 者。故其退移率，效率，及功率因數之特性，與多相感應電動機相似。

分相開動之單相感應電動機之小型者，在各種定速用途中應用甚廣，其所需開動轉矩，不過滿載轉矩之二倍者，如洗衣機，洗碟機及熨衣機。

363. 單相串激電動機 此種電機之繞線法及接法，與直流串激電機相似，但其構造上略有改變，以適應交流電上之運用。

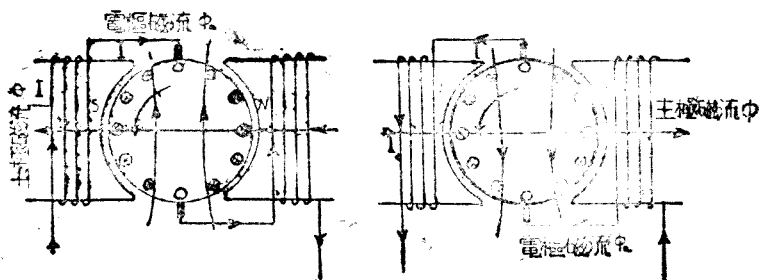


圖 181.

圖 185.

圖 181 及 185 單相串激電動機

在圖 384 中，通過此電機之電流為一方向，而在圖 385 中，經過半週後，電樞與磁場線圈中之電流反向，但其轉矩之方向則仍不變。

此種電機之各特性與直流串激電動機相似。因轉矩 $= K\phi I$ ，且磁流 ϕ 與電流 I 成正比，故轉矩約與電流之平方成正比。此轉矩係脈動者，電流最大時其值最大，電流為零時其值為零，但其平均值則與同量之直流電流所產生之轉矩同。

因磁極上之磁流係交變者，其磁場構造須以疊片製成，以減少其渦流損失。因此交變磁流之故，磁場線圈內應成自感電壓 E_f ，故在外施電壓中須有抵消此自感電壓之成分 E_f ，圖 3.6。

因電動機之電樞係旋轉於磁場中，故電樞中有反電勢產生，其理與直流電機同。

然此反電勢為交變者，以其割切交變磁流 ϕ 而生也。當磁流最大時，反電勢之值為最大，磁流為零時，反電勢之值為零，故欲抵消此反電勢，外施電壓必須含有與 ϕ 同相之成分 E_a 。即與電流 I 同相者。

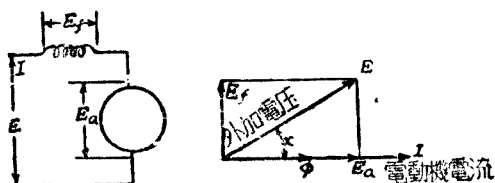


圖 383. 單相串激電動機之矢量圖

在圖 386 中，

- ϕ 為交變磁流，
- I 為機中之電流，

E_a 為抵消反電勢之外施電壓之成分，

E_f 為通過電流於磁場線圈之自感所需之電勢成分，

E 為 E_a 與 E_f 合成之電壓，即外施電壓，

$\cos \alpha$ 為電動機之功率因數，

供電之頻率愈低，則 E_f 之值愈小；電動機之速率愈高，則 E_a 之值愈大，故低頻率與高速率為高功率因數之條件，

若此種電動機上之負載增加，則電流增加，故磁流 ϕ 與電壓 E_f 亦因之而增加。因外施電壓 E 為定值，故 E_a 之值稍減；以較大之磁流 ϕ 發生此反電勢，則電樞必須旋轉於較低速率。此種電動機之典型曲線，示於圖 387。其速率與轉矩曲線，與直流串激電動機相似，此種電機無論以直流或交流運用之均可。

369. 電樞反應 自圖 384 及 385，可知因電樞電流之故，機中有正交磁化效應存在，其情形適與直流機同，但此正交磁流 ϕ_a 係交

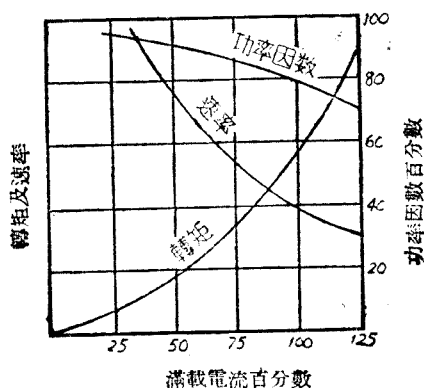


圖 387. 單相串激電動機之特性

變者，產生一自感電勢於電樞線圈中，此電勢使功率因數減低，因自感應常使電流滯後故也。此正交磁流可以補償線捲抵消之，補償線捲置於極面槽中，如圖 138 所示，與電樞及磁場電路串聯。

圖 386 之向量圖，表示 B 與 I 同相，假定電樞電流所生之磁流已完全為補償線捲所抵消，故電樞線捲之電抗為零。

補償線捲之另一種接法為短接，此時其作用如一變壓器短接後之副線捲，其中所通過之電流，幾消去產生此電流之電樞反應之磁流。

當補償線捲與其電樞電路成串聯時，則此電動機謂之傳導補償 (conductively compensated)。當補償線捲短接時，此電動機謂之感應補償 (inductively compensated)。若此電動機運用於交流電及直流電，則應為傳導補償，否則其補償線捲在電動機運用於直流電時，將失去其作用也。

全世界之電動機車，約有三分之一，以大容量之單相交流串激電動機推動之。其速率與轉矩之特性極適於此種用途，而其速率可變更其外施電壓以調整之，容易而有效。電線及軌道間之電壓，通常約保持於 11,000 及 22,000 伏之間，此種電壓以一有副線捲分接頭之降壓變壓器，降低至適當之電壓，故外施於電動機之電壓可以變動。

整流，功率因數，及效率皆可以減低外施電勢之頻率而改善之。實際上，美洲交流電氣之標準為 25 週，而歐洲之標準為 15 及 16 週。交流串激鐵路電動機，常備整流開極，其功用與在直流電動機中同。

在需要速率控制或速率隨負載而變動之處，如運用縫衣機，手

提機械工具，電風扇，真空電帚等，分數馬力交流串激電動機，於 25 及 60 週應用亦甚廣。此種電動機常稱為通用電動機 (universal motor)，以其可用於交流亦可用於直流故也。

370. 推拒感應電動機 推拒感應電動機 (repulsion-induction motor) 之構造，與備有傳導補償之單相串激電動機相似，但其電樞並不與磁場線圈成串聯，其補償線捲則係短接者。圖 388 為一推拒電動機之圖示，其中磁極 BB 表示磁場線圈所生之磁場，而磁極 AA

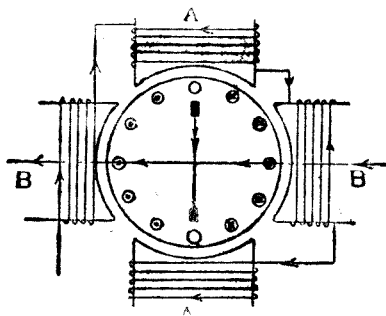


圖 388.

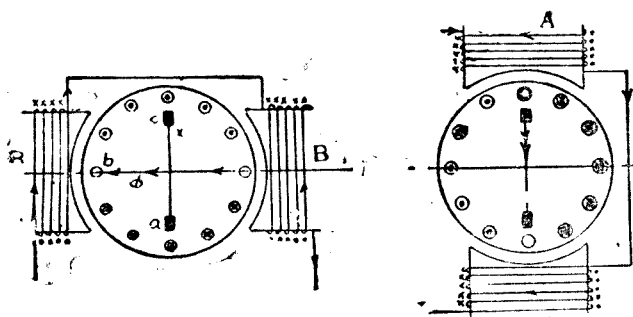


圖 389

圖 390

圖 388, 390 單相推拒電動機之開動轉矩

表補償線捲所生之磁場。此線捲實置於磁極 BB 面上之槽中(閱圖 136)。

若僅線圈 B 發生作用，如圖 389 所示，則其交變磁流發生電勢於電樞線圈中，但無電流經過電樞線捲或經過短接導體 x ，因 ab 間之電壓為 bc 間之電壓所抵消故也。

若僅線圈 A 發生作用，如圖 390 所示，則能通過大量電流，但其轉矩為零，因在每極下，一半導體所載之電流在一方向，而另一半導體所載之電流則在反對方向也。

若兩組線圈同生作用，如圖 388，則線圈 A 所生之電樞電流，能與線圈 B 所生之磁場產生一轉矩。當電動機達到相當速率後，一離心裝置即能運用而推動一圓環，使抵住整流子以短接其各整流條，於是此電動機旋轉如單相鼠籠式感應電動機。

開動單相感應電動機之推拒法，發生一開動轉矩三倍於滿載轉矩，而分相法所生之開動轉矩，常小於滿載轉矩之二倍。故在需要大開動轉矩之處，應用推拒法。至於分數馬力電動機，則分相法較推拒法為廉，但對於 1 馬力以上之電動機，則以推拒法較廉。因此，分相法僅用於開動轉矩無須超過滿載轉矩之兩倍之分數馬力電動機。開動於輕負載之單相感應電動機，可以手開動之。拖動皮帶使其速率至約如其滿速之百分之 10 時，若其負載甚輕，已足發生轉矩以達到其相當速率。

推拒感應電動機之另一種裝置，其轉子上除鼓形捲及整流子外，添設一正式鼠籠無須短接整流子之裝置。

371. 單相同步電動機 單相交流發電機，可用作電動機。加交

流電勢於圖 391 所示之單相機之線捲時，即有交流電經過此線捲。導體 a, b, c 及 d 載有電流且在磁場中，故每導體受力之作用，而一相等相反之力，作用於磁極上，有轉動轉子之勢。但此電流係交變者，故作用於轉子上之力交變其方向，除非磁極之極性在電流反向時改變。

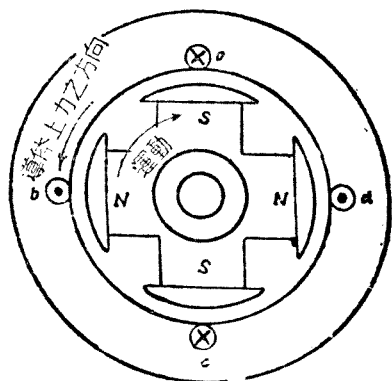


圖 391. 同步電動機

若此機本已旋轉於此速率，即在半週時或 $\frac{1}{2f}$ 秒中，轉

子移過兩相鄰磁極間之距離或 $\frac{1}{p}$ 轉，即為上述之情形。此速率稱為同步速率，故為

$$\frac{1}{p} \times 2f \text{ 每秒轉數}$$

或

$$\frac{120f}{p} \text{ 每分轉數}$$

即為此機用作交流發電機，以發生一每秒 f 週之電勢時，所需之速率

單相同步電動機與多相同步電動機有相同之特性，但非自能開動。此機在連接於線路之前，必須以一輔助電動機轉動之，並須加以整步。

在大北鐵路 (Great Northern Railway) 式電動機車中，變交流電力為直流電力之電動發電機組，係以一 3,600 馬力之單相同步電

動機推動之。一交流串激電動機裝於同軸上，以開動此同步電動機，而使達其相當速率。一俟同步電動機整步後，此交流串激電動機立即自線路上斷去，而用作直流發電機，以備供給再生軛所需之磁場電流。

此為作者所知大容量單相同步電動機之唯一應用。電曳為普通原則‘單相僅用於小量電力’之例外。分數馬力單相同步電動機，用於轉動留聲機臺，電鐘，其他有時間性之器具，但此種同步電動機係特別設計者，通常並不與交流發電機相似。此種電動機係自動開動。

第三十七章 變換及整流儀器

372. 變換之需要 電功率常有不能以其所具之形式，直接應用於某種用途者，故在其利用之前，必須變之為他種形式。例如，電功率之常用者，僅為 60 或 25 週之交流式，但電化廠，電車，高速升降機，反向機推動等需用直流電，故需裝置變交流為直流之儀器。再者，當運用於交流之電力鐵道自 60 週制取得功率時，則須變之為 25 週。

下述六種變換係實際上所需者：

1. 交流變為直流。
2. 直流變為交流。
3. 直流變為不同電壓之直流。
4. 交流變為不同電壓之交流。
5. 交流變為不同頻率之交流。
6. 二相變為三相。

上述各種變換中之 4 與 6，可以變壓器（第三十章）完成之，價廉而效率高，2, 3, 及 5 以電動發電機組完成之，而 1 為最普通者，以各種儀器如電動發電機組，旋轉變流機，汞弧整流器，及熱游子管等完成之。

373. 電動發電機組 電動發電機組包含兩機械耦合之轉動電

機，其一自電源取電功率，旋轉如一電動機，而推動另一電機如一發電機。

電動發電機組為最活用之變換儀器。此機能實行 372 節所列六項變換之任何一種，且易控制。惟價格數倍於變壓器，應留意使用。且效率較低，尤以在輕載時為甚。然在不能以任何其他方法完成之變換中，為用甚廣。

374. 升壓機組 為特種之電動發電機組，示於圖 392。在此情形中之發電機與線路串聯，而其電壓能加於或減自線路電壓。

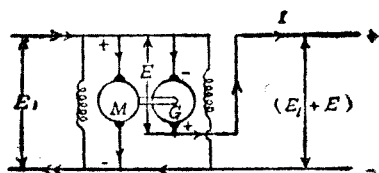


圖 392. 升壓電動發電機組

若自 110 伏線路上取 10 仟瓦於 220 伏，而用一升壓機組，則

$$\text{升壓機之輸出} = EI \quad \text{圖 392}$$

$$= 5 \text{ 仟瓦於 } 110 \text{ 伏。}$$

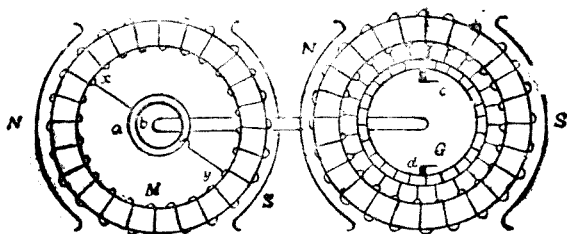
$$\text{推動電動機之輸出} = \frac{5 \times 1,000}{746} \times \frac{1}{0.85}$$

$$= 8 \text{ 馬力於 } 110 \text{ 伏，此處 } 0.85 \text{ 為發電機之效率。}$$

375. 旋轉變流機 (rotary converter) 圖 393 示一如 293 節所述之交流發電機，與一同極數之直流發電機耦合。如加一交變電勢於 M 機之滑環上，則運用如一單相同步電動機，而直流則可由 G 機中得之。 M 及 G 兩機可合併之成一單機，如圖 394 所示，如以交變電壓加於滑環 ab 上，此機將運轉如一同步電動機，而同時直流則可由整流子之電刷得之。電樞中之合電流，將為自該機中取出之直流 I_d 與此機自線路取得之交流 I_a 之差。

此機直流側之電壓與交流側之電壓，有一定之比率。當 x 與 y 位於中性位置時，即在電刷 c 與 d 之下，滑環 a 與 b 間之電壓為最大，且必為直流側電刷 c 與 d 間之電壓；故直流側之電壓 E_d ，等於交流側之最大電壓，或等於 $\sqrt{2}E_n$ ，此處 E_n 為交流側之有效電壓。

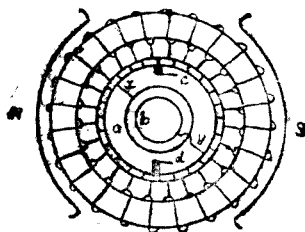
不變交流外施電壓，而欲變直流側之電壓，為不可能之事。例如，變更其磁場激磁，並不變更其外施電壓，但變更變流機自線路上取得之電流之相角（閱 345 節），一變流機可作校正功率因數之用，如一同步電動機然（閱 346 節）。



同步電動機

直流發電機

圖 303.



旋轉變流機

圖 304. 旋轉變流機之圖示

如欲升高此機之直流側電壓，則必須升高其交流外施電壓。其一法係以一變壓器供電於此變流機，該變壓器之副線捲側備有分接頭，其電壓可藉此以升高或降低。其另一法係加入一升壓機，通常置於此機之交流側。此項升壓機包含一小型交流發電機，與旋轉變流機同軸，其電壓可加於或減自交流電幹線上之電壓。

圖 394 之單相旋轉變流機，可加一第三滑環而變之為三相機，其三分接頭 $x, y,$ 及 z 相隔 120 度以代 180 度，如圖 395 所示，在此情形下，各滑環間電壓之有效值 = $\frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}}$ 乘其直流電壓；或可置備六滑環，而使其分接頭相隔 60 度，使變為六相機，如圖 396 所示。

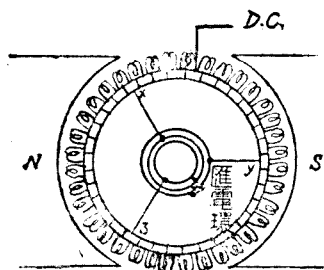


圖 395. 三相旋轉變流機

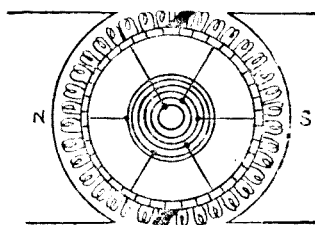


圖 396. 六相旋轉變流機

六相旋轉變流機較三相者為優之處，在於其銅損失甚小。於此論之，似嫌繁難。大型旋轉變流機以六相者為最多。其交流功率係受之於三相，而以圖 397 之變壓器接法變之為六相。此法將三副線圈之中點聯於一處，故每副線圈成為相隔 180 度之兩相。自三相至六相之變換不費一文，因無論如何終需變壓器以降低電壓也。

為簡易起見，圖 393 與 394 中之電機以格蘭姆線捲表之，但所

有現代之旋轉變流機，均係鼓形捲法如圖 81 所示者。在圖 395 及 396 中，各線圈僅照慣例以迴線表示其接於整流片，並可視為用以代表任何形式之線捲。

旋轉變流機之極面槽中置有銅柵。此種銅柵不僅使旋轉變流機於交流方面能自開動，且亦如普通同步電動機，能挫抑任何逐鐵。

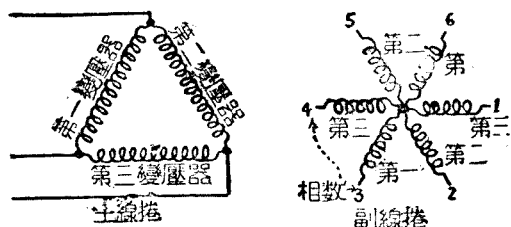


圖 397. 變壓器接法，三相至六相，各副線捲之中點接於一處，故每副線捲成為相隔 180 度之兩相。

376. 電動發電機組與旋轉變流機 電動發電機組原為唯一可用以變交流為直流之儀器，自旋轉變流機發展後，因其較電動發電機組價格低而效率高，除需廣大之直流電壓變動範圍，如華利阿拿速率控制制外，在一切中級電壓之用途中，旋轉變流機，已漸取電動發電機組之地位而代之。

旋轉變流機，尚未發展至可發 1,200 伏以上之直流電壓，且或將永不發展至此程度，因汞弧整流器已發展至巨大之容量，以供給可靠之用途，而在多數新式裝配中，代替旋轉變流機之地位。現在製造中之旋轉變流機已較少，但目下使用中之變流機，數年內無疑的仍得使用之。無論如何，旋轉變流機不能認為無用，因在一種用途中，此機較汞弧整流器價廉而有較高效率，此即需低電壓大容量之處。

377. 熱游子管整流器 (thermionic rectifiers) 此種整流器之基本概念，為置備一僅能向一方向傳導之路徑，故當此路與一交流發電機串聯時，其作用如一單向活門，僅許電流在每週之一半內流動。其結果將為一間歇或脈動之直流，如圖 393 所示。此電流可用以充電於蓄電池或容電器。

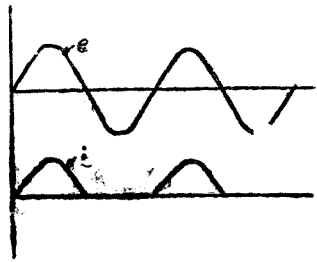


圖 393.

如圖 399 所示之熱游子管，含有一鎢質燈絲 f ，及一鎳質或鉬質之板極 p ，閉置於一高度真空之玻璃泡內，其燈絲以電流熱之，此電流稱曰燈絲電流，為電池 b 所供給，燈絲之溫度可以變更電阻 r 以控制之。

燈絲冷卻時，燈絲與板極間之空間，不論其極性如何，均不能傳導，但當燈絲紅熱時，電子即能由燈絲經過此空間流至板極，但不能反向流動。其說明如下：

任何物體，如溫度不在絕對零度，其原子總在多少急烈擾動之狀態，其程度視物體之溫度而定。如燈絲之溫度升高，其擾動愈趨急烈，至燈絲紅熱時，電子經燈絲之表面射入空間，一如溫度增至金屬之沸點時，其分子亦將被射出。但適如子彈由機槍射入空中時，終為地球之引力吸回至地面，各電子亦因其與燈絲之質子間相互之引力，吸回至

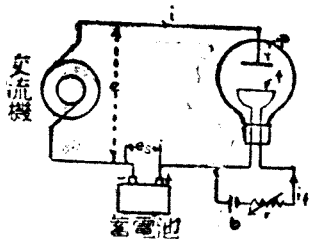


圖 399. 自交流發電機用熱游子整流器以充電於電池

燈絲。因電子之相互間推拒，此作用頗為複雜，但其結果熱燈絲為億萬之電子霧所包圍，其中之半數以漸減之速度，離開燈絲，另一半以漸增之速度，趨向燈絲。

今如置一正電荷於板極，板極將作用一引力於此種電子上，而距離板極最近之各電子，將為之引至板上。板極上之正電荷愈大，即板極與燈絲間所加之電勢 e ，愈大，吸至板上之電子亦愈多，直至在一稱為飽和電勢之電勢時，燈絲所發射之每一電子，均為板極所吸。再任何增加 e ，不能增加電流 i 。

e 反向時，板極上之電荷變為負，而至板極上之電子流停止。板極之熱，不足以發射電子，故電子不能流動於相反方向。故熱游子管僅傳導於一方向。

因欲避免電流之慣例方向與實在方向相反之事實所使成之混淆，研究管中之情形時，習慣上常說‘電子流’而不云‘電流’。

在圖 398 中，電流 i 之圖形為正弦曲線之一半，但事實上，僅若

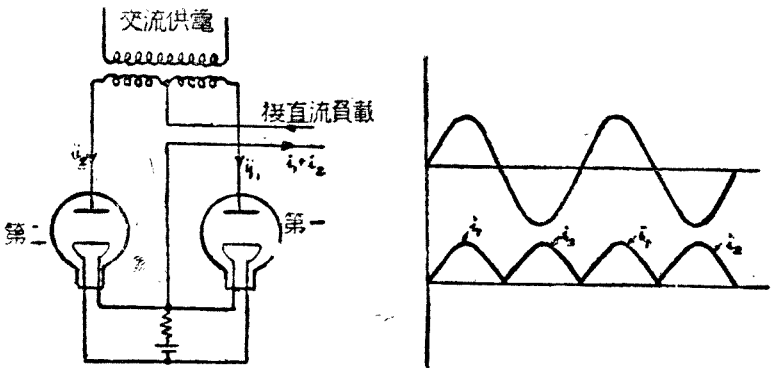


圖 400. 兩熱游子管整流器所生之全波整流

板極與燈絲間之所施電壓之最大值並不超過此管之飽和電勢，且電路之其餘部分僅包含電阻時有此形狀。

在實際構造上，熱游子管之板極，常捲為圓筒形，圍繞其燈絲。燈絲電流可為交流或直流。

378. 用兩整流器得全波整流 僅用一整流器時，其電流係間歇者，如圖 398 所示，但如連接二整流器如圖 400，其一在一半週中載有電流，另一在另一半週中載有電流，而總電流之平均值將為二倍。

379. 熱游子整流器之效率 理想中之整流器，對一方向之電流呈零電阻，而對相反方向之電流，呈無限大之電阻。熱游子整流器對於一方向之電流，實際上呈無限大之電阻，但對於相反方向之電阻，必不為零，故在管中有功率損失等於 $e_p i$ 瓦。此處 e_p 為板極與燈絲間之電壓降落伏數， i 為板極電流。此種能量之損失變而為熱，較大熱游子整流器之板極，用水冷之，藉以移去熱量，而保持板極不致過熱而發出電子，致損壞其整流之性質。保持燈絲熱度之輸入功率，亦為功率損失，且為定值。

參閱圖 399，如增多電池以增加蓄電池之電壓 e_s ，而增加交流發電機之電勢 e ，使適足以發生同前值之 i ，則管中之損失不變，但其輸出功率 $e_s i$ 增加，故整流器之效率增加。故電路之電壓愈高，整流器之效率愈大，至管之破壞電壓為止。此在任何形式之整流器中，均屬正確，而對於一輸電線亦屬正確。實則一整流器可視為一特種形式之單向輸電線。

380. 真空式熱游子整流器之應用範圍 高度真空之熱游子管整流器，為主要之高壓整流器。其板極電路之電阻太高，不適用於低

壓。然有時亦用之於低壓處，因功率小，其效率不甚重要，如無線電收音機等。

真空式熱游子整流器之大小，已有製成至 30 仟瓦者，其電壓則已至 150,000 伏。其應用之處，大部限於供直流於無線電發報機收音機中之板極電路，及供試驗與研究工作之用。

381. 充氣熱游子整流器 如熱游子整流器中充以 3 至 8 毫米汞之壓力之氬氣，則驅動板極電流所需之電壓大為減少，而其載流量增加。此舉使整流器適於低壓之運用——但不適於高壓之運用。

奇異公司所製之‘吞加’（Tungar）整流器，及美電公司所製之‘雷鐵貢’（Rectigon）整流器，均係此種式樣，其大小已至 12 安於 100 伏，或 6 安於 200 伏。此種整流器多用以充電於小型蓄電池。

382. 汞弧整流器 汞弧整流器為充氣熱游子整流器之特種形

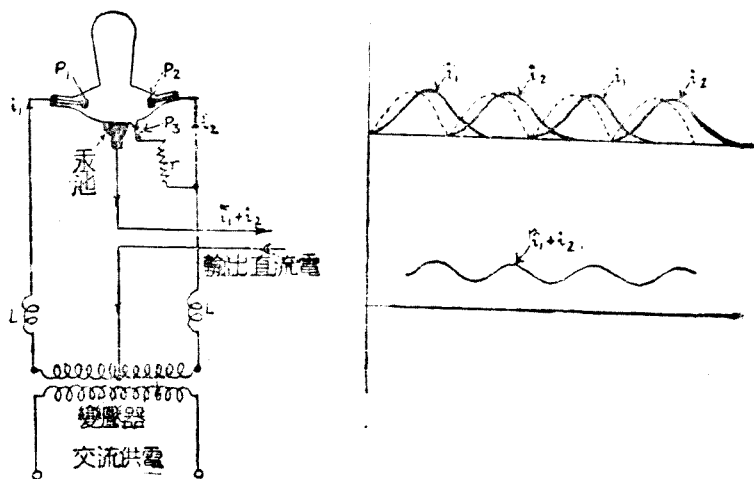


圖 401. 單相汞弧整流器

式，在此器中，其熱燈絲係以汞池代之，而其板極則以鐵質或石墨之正極代之，如圖 401 所示，其中之 P_1 與 P_2 為正極。玻璃泡之主體僅含汞之蒸汽。

欲使此整流器發生作用，汞液之表面，須熱之使足以發射電子。在運用情形時，其板極電流，在此種整流器中或通稱為弧流，保持汞液表面之熱度，使足以發射電子；但如其直流輸出電流，減少至某最小值之下，則汞液將降至電子發射溫度以下，而電弧將熄滅。故任何汞弧整流器，均有其最小之負載，在該負載以下，此器不能運用，而在極輕負載之短期中，常須供以做真負載以保持其運用。

欲開動整流器，傾斜其玻璃泡，至汞液與開動電極 P_2 接觸為止。然後傾回玻璃泡至垂直地位，而當汞液與開動電極之接觸斷時，即生一暫時之電弧，此電弧熱汞池表面之一點至電子發射溫度。

汞弧整流器不能以單一正極運用如一半波整流器，以發生間歇直流如圖 398 所示，因在無電流流動之半週中，汞池表面之溫度將降至電子發射溫度以下也。實則除非加入電感於正極 P_1P_2 之一或二引線中，汞弧整流器將不能用兩電極運用如全波 (full-wave) 整流器。不用電感，整流器電流將如圖 400 所示之狀，而常電流近於零時，汞液將冷却而其電弧熄滅。電感 LL 展長電流之波形，故互相摺疊如圖 401 所示，其結果總電流，決不低至使電弧熄滅。玻璃泡上部空室之目的，係用以冷凝汞之蒸汽，而保持其汽壓在最佳運用之值之範圍以內。

單相玻璃泡汞弧整流器，製造至 50 安 65 伏，及 30 安 320 伏之大小，作充電於蓄電池之用；並至 6.6 安 7,000 伏之大小，作自交流

電源供電於串聯直流路燈制之用。

383. 多相汞弧整流器 大型汞弧整流器，常為 6 相或 12 相，其真空室係以鋼箱代玻璃泡。圖 402 示 6 相之整流器，而圖 403 為一 12 相整流器裝置之照相。如圖 402 所示，此整流器含有一中心汞池 H ，以排成圓形之垂直鋼質正極包圍之。其正極之數與相數相等。圖 B 中正弦曲線 $e_1 e_2 e_3 e_4 e_5 e_6$ 表示施於六正極上之電壓，若無其他正極存在，此種曲線亦表示每正極中流動之電流。然當有一個以上之正極存在時，各正極並不分荷負載，但電位最高之正極，取全部負載，而其電弧由一正極移動至另一正極，每週中環行正極間周一。

現有特種形式之間相變壓器(未表示)，在各變壓器副線捲連接於一處以作直流負端之前，先經過此器，而此間相變壓器，使其負載在一 6 相整流器中，平分於二正極間，或在一 12 相整流器中，平分

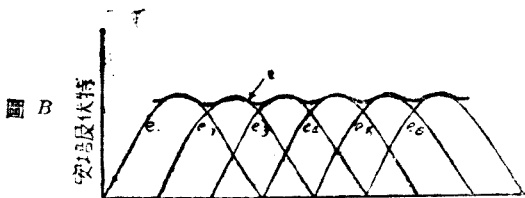
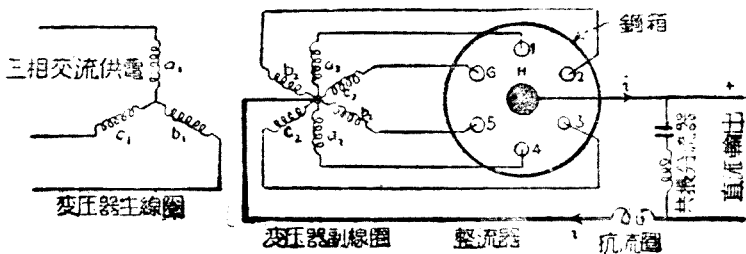


圖 402. 六相汞弧整流器。1, 2, 3, 4, 5, 6, 為鋼質正極; H 為汞池。

於四正極間，如此，可稍增其容量及效率。

如圖 402 所示，其輸出之直流中含有交流成分，在 6 相整流器中，其頻率為電源頻率之六倍，而在 12 相整流器中，為電源頻率之十二倍。此交流成分，並非純正弦波，但含有強大之諧波，而可使受其影響之任何電話線，發生噪音。如電話公司提出交涉，則常裝置濾波器以平滑其波形。為此目的而配備之標準濾波器，含有一抗流圈，連接如圖 402，及由容電器及電感圈所製成之三共振分流器，一共振分流器在其共振頻率時，有極低之阻抗，此三分流器係調諧於三種

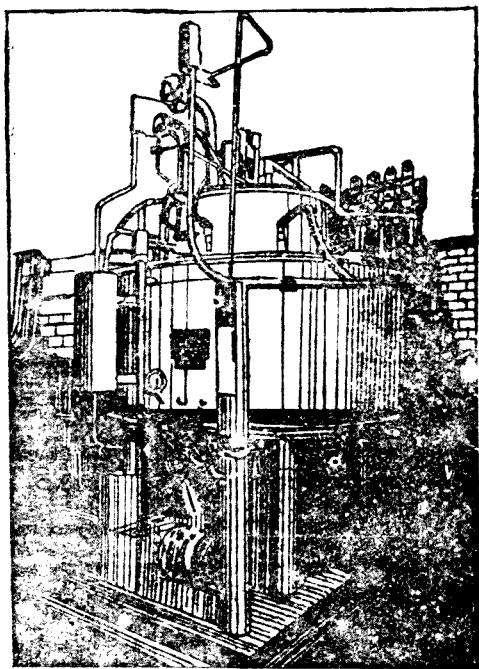


圖 403. 十二相汞弧整流器——1,500 仟瓦，600 伏直流

最討厭之頻率，實際上短接該項頻率。抗流圈之目的在存呈一阻抗於一切交流成分，以限制共振分流器所載之電流量。

除主要正極外，尚有二輔助正極（未表示），該輔助正極連接於一小型做真負載，因欲在極輕負載時，保持一熱點於汞液面上也。並有一發火電極，能下降至汞池中而取出，使發生一電弧。

參看圖 403，可見整流器之主體為二鋼質圓箱組成。其上部較小之圓箱，為一水冷室，用以凝結汞之蒸汽，而其下部較大之圓箱，則包含各正極及汞池，用一電動真空唧筒，以維持整流器之順利運用所需之高度真空。饋給此整流器之變壓器，裝置於磚牆之他邊，

多相汞弧整流器，通常供給至 3,125 仟瓦之大小，而較大者亦能製造。用於電車之 600 伏定額中，汞弧整流器之效率，在滿載之百分之 90 以下負載時，較同步變流機為高，如圖 404 所示，在過載時效率較低，以一般論之，在 600 伏用途中，汞弧整流器較同步變流機為佳。如其額定電壓增加，整流器之效率增加；若電壓減少，其效率減少，而變流機之效率，實際上與電壓無關。因之，在遠較 600 伏為低之電壓時，變流機有較高之效率，但在 600 伏及以上之電壓時，汞弧整流器之效率較高。

384. 其他各種整流器

其他整流器之種類甚多，惟

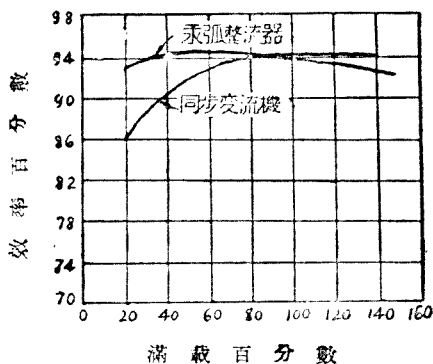


圖 404. 3,000 仟瓦，600 伏直流汞弧整流器及同步變流機之效率曲線，交流供電為 50 週

現時所用均係小型者。下列爲此種整流器之一部分。

a. 氧化銅整流器 (copper oxide rectifier) 如一銅質圓盤之一面塗以氧化銅，而以一鉛質圓盤或鉛質繞圈，緊貼於塗有氧化銅之一面，則電流易自鉛質繞圈，經氧化銅而流至銅質圓盤，但對於相反方向之電流之流動，則呈甚高之電阻。一對圓盤僅約能受 6 伏之電勢，但可積疊之使受任何所需之電壓。此種整流器之最大效率約爲百分之 70，但其構造甚簡而壽命甚長，且毋需留意。

b. 電解整流器 (electrolytic rectifier) 此種整流器，含有一對不同材料之板極，浸於一電解液中，電流易在一方向自一板流至他板；但如欲反其電流之方向時，則發生化學作用，而有一極薄之絕緣質薄膜，沉澱於板上，如此，減少其電流至可略之量。如再反電流之方向，此薄膜立復消滅。

c. 振簧整流器 (vibrating-reed rectifier) 此種整流器在一半週中，關閉一小型同步轉動之接觸開關，而在次半週中開斷。

d. 接觸整流器 (contact rectifier) 兩不同導體之接觸處，對兩方向之電流，常呈不同之電阻，在某種情形中，此電阻之差異極爲明顯，且已有多數此種方法，應用於無線電收音方面。其中導體之一，常爲一結晶體。

第三十八章 交流輸電與配電

385. 晚近大部分電能均得之於燃煤蒸氣廠及水力廠。在水力廠中，電能必須在水流之處產生，然後經長距離之傳輸以至用戶。蒸氣廠可位於或近於煤礦之處，而以電之形式傳輸電能量至用戶，蒸氣廠亦可設於或近於用戶處，如此則以煤之形式而運輸能量矣。

以備別小型而效率低之電廠設於用戶之處，除非儘量利用其排出蒸氣之熱，則不經濟。普通建造大規模電廠，較為經濟，且宜位於所需運煤及電能之傳輸與分配全盤價值最小之處，然須顧及冷凝器所需之大量冷水。無論動力廠之為蒸氣或水力，總有廣布四處之輸電與配電線制，此制常為三相。

386. 輸電及配電制 如 234 節所述，電能之經濟傳輸，僅能在高壓之下，而消耗電能用具，如電動機及電燈本身均為低壓之設備，是以變壓器在輸電與配電上，占一重要位置，

圖 405 示一標準輸電制中之高壓部分，發電機之電壓，視其大小而變，可自 2,200 至 16,500 伏。輸電線上之電壓，依其長度及所傳輸之電力量，可至 220,000 伏。

設吾人假定一端電廠供給十萬人口都市之電力。若每單獨負載均由端電廠直接供給，實不經濟。因此可分此都市為五可能區域，每區用一分電廠饋電，而分電廠則由端電廠饋之。端電廠常位於都市

境外，藉免高壓線之引入都市內。連接端電廠至分電廠之電纜，過去用 13,200 伏，已甚平常，但以近來完備高壓電纜之新發展，可令大量電力之裝置中，用更高之電壓。

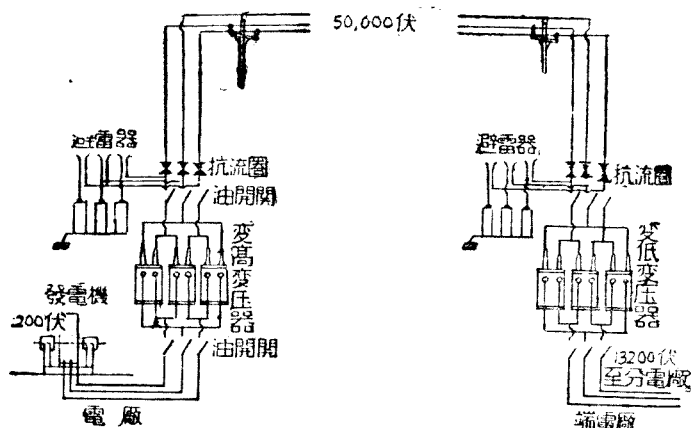


圖 405. 高壓輸電制之圖示

分電廠內裝設變壓器及調整電壓器，以變低電壓至 4,000 伏或 2,200 伏，視其配電制之為四線 4,000 伏(圖 270)或三線 2,200 伏而定。各配電線路由各分電廠四布而出，負載經變壓器分接於線路上，以變低其電壓至相當值為某特別負載之用，對於住宅用電，可將數住宅連成一單獨負載，而以同一變壓器饋之。

上述配電制，僅言其概要，實用時常有種種之變更，4,000 伏或 2,200 伏之線路，常縱橫錯雜，而共同連成一網絡，由分電廠四布而出之饋電纜，分開數處供給之。大部分負載，則由此電網絡饋之，然供饋大負載，則須用特別電纜，直接連於分電廠或端電廠。

387. 消耗電能設備之實際上所用電壓為：

直流：

110 伏用於電燈，常由 220 伏三線制得之。

110, 220, 及 550 伏用於電動機。

600 伏用於市內電車。

1, 200 伏至 1, 500 伏用於鄉村電氣鐵道。

2, 400 至 3, 000 伏用於幹線電氣鐵道。

交流：

110 伏單相用於電燈及小電動機。

110, 220, 440, 及 550 伏用於多相 50 馬力以下之電動機。

440, 550, 及 2, 200 伏用於大於 50 馬力之電動機。

16, 500 伏為發電機所發之最高電壓。

更高電壓之發電機本可製造，但低壓發電機與變高變壓器合用，較為可靠。

電燈及電力所用之頻率，均趨向 60 週（譯者註：我國為 50 週），因其對於電動機速率之選擇，較 25 週為佳（閱 351 節），而電燈運用於 60 週，不致發生閃光如 25 週之可感覺者，然在單相電氣鐵道上，必需用 25 週，蓋在高頻率時整流完滿之電動機不易製造也。

388. 單相與三相輸電之比較

在一單相 25 哩長之線端，以 50,000 伏及 60 週輸出功率 P 數為百分之 80 之功率 10,000 仟瓦。其銅絲為 000 號，絲間距離為 72 吋。求發電廠之電壓及線路功率損失。

每線電阻 = 0.326 歐每哩，267 節。

60 週時之電抗 = 0.742 歐每哩，267 節。

線路電流 = $\frac{10,000 \times 1,000}{0.8 \times 50,000} = 250$ 安。

$$\begin{aligned} 50 \text{ 哩銅線上之電阻位降} &= IR \\ &= 250 \times 0.323 \times 50 \\ &= 4,075 \text{ 伏。} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 50 \text{ 哩銅線上之電抗位降} &= IX \\ &= 250 \times 0.742 \times 50 \\ &= 9,250 \text{ 伏。} \end{aligned}$$

發電廠之電壓 = E_0 , 圖 406

$$\begin{aligned} &= \sqrt{(E_t \cos \alpha + IR)^2 + (E_t \sin \alpha + IX)^2} \\ &= \sqrt{(40,000 + 4,075)^2 + (30,000 + 9,250)^2} \\ &= 59,000 \text{ 伏,} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{線路功率損失} &= I^2 R \\ &= 250^2 \times 0.326 \times 50 \\ &= 1,020 \text{ 仟瓦} \\ &= \text{輸出之百分之 } 10.2. \end{aligned}$$

在一三相 25 哩長之線端, 以 50,000 伏及 60 週輸出功率因數為百分之 80 之功率 15,000 仟瓦。其銅線為 000 號, 線間距離為 72 吋。求發電廠之電壓及線路功率損失。
每線電阻 = 0.323 歐每哩,
60 週時之電抗 = 0.742 歐每哩,

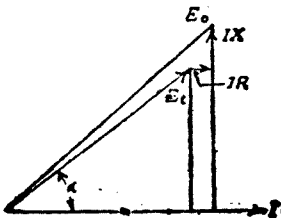


圖 406.

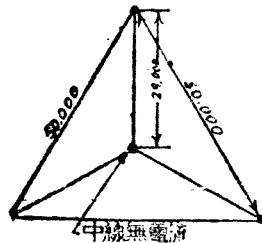


圖 407.

$$\text{線路電流} = \frac{15,000 \times 1,000}{0.8 \times 1.73 \times 50,000} = 217 \text{ 安。}$$

解決此問題最易方法，可就每線分別論之，如 407 圖所示，於是

$$\text{外線與中線間之電壓 } E_t = \frac{5,000}{1.73} = 29,000 \text{ 伏。}$$

25 哩銅線之電阻位降 = IR

$$= 217 \times 0.926 \times 25$$

$$= 1,770 \text{ 伏。}$$

25 哩銅線之電抗位降 = $I\Delta$

$$= 217 \times 0.742 \times 25$$

$$= 4,020 \text{ 伏。}$$

發電廠外線與中線間之電壓

$$= \sqrt{(29,000 \times 0.8 + 1,770)^2 + (29,000 \times 0.6 + 4,020)^2}$$

$$= 32,950 \text{ 伏。}$$

外線間之電壓 = $32,950 \times 1.73 = 57,000 \text{ 伏。}$

線路功率損失 = $3 \times 217^2 \times 0.926 \times 25$

$$= 1,150 \text{ 仟瓦}$$

$$= \text{輸出之百分之 } 7.6。$$

389. 避雷器(lightning arrester)用以保護電氣設備，使不受電閃放電或其他非常高壓，例如開關運用之突波者。其功用頗似安全瓣之於蒸氣鍋。若蒸氣壓力超過某預定值，安全瓣即使蒸汽逸入大氣中，若地球與導體間之電位差超出某值，避雷器即容許電由導體放入地中。故理想上之避雷器為一通地之路徑，其電阻在電壓低於某固定值時，為無限大。但若電壓高於固定限度，則變為一良好導體，而當電壓再降低於此限度內，則此器將仍變為一絕緣體。由絕緣體變為導體，或由導體變為絕緣體之變化，事實上即在一瞬之間。

若正常之線路運用電壓頗低，一空隙即可滿足此項需要。圖 408 示此種避雷器之用以保護電話線者。炭片中間之空隙，調節之使約在 200 伏時破壞，使有一通地之良好傳導路徑。然一至非常電壓消滅後，電弧亦立熄，蓋電話之正常運用電壓，不足以維持之也。

簡單空隙式之避雷器，不能用於電力線上，因維持一電弧跨過普通空隙所需之電壓，遠較開始電弧所需者為小，故電弧一旦被非常電壓引起，線路上之正常運用電壓可以維持之，因此而有礙於線路之運用。

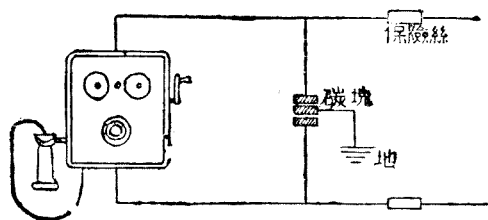


圖 408. 碳塊避雷器之保護電話

390. 矽礫(thyrite) 避雷器 如圖 409 所示，含有一堆矽礫碟片與一空隙串聯，矽礫為一濃密黑色陶器屬質料，具有極特別之電阻特性，即因有此性質之存在，致使此類避雷器之成功。若以 80,000 伏電壓加於一 11,000 伏矽礫碟避雷器之碟片上，即有一 8,000 安電流經過，表示碟片內有一電阻 $\frac{80,000}{8,000} = 10$ 歐；但當電壓降低至 16,000 伏，則電流僅為 27 安，表示碟片內有電阻 590 歐。故在非常高壓下，避雷器可通過一巨大放電，但如電壓降低至正常值時，避雷器中電阻即刻升高，斷絕電流，熄滅跨過與碟串聯空隙之電弧。

砂礫避雷器，在現時所應用之線路電壓，均有製造。

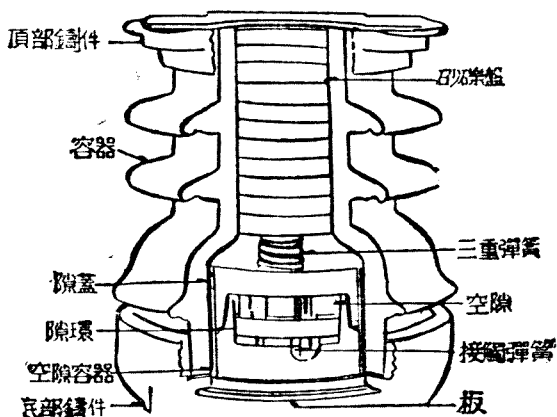


圖 409. 額定 11,500 伏砂礫避雷器之內觀(奇異公司)

391. 自動活門避雷器 (autovalve lightning arrester) 示於圖 410, 亦含有一堆碟片, 與一空隙串聯, 但其運用原理, 則與砂礫避雷器異。在自動活門避雷器中, 各碟片間均隔以雲母襯圈, 或以其自身

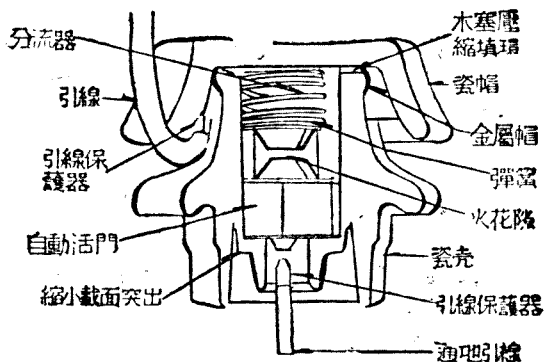


圖 410. 自動活門式避雷器之內觀(美電公司)

不平之面分開之，故此器中含有極小空隙甚多，或可謂諸空氣膜串聯。前已述及保持穿過空隙放電所需之電壓，遠較開始時所需者為小，但此語並不適合發生於薄膜之空隙間之發光放電。非常高壓發生放電而經過此器，但當電壓降至正常值時，

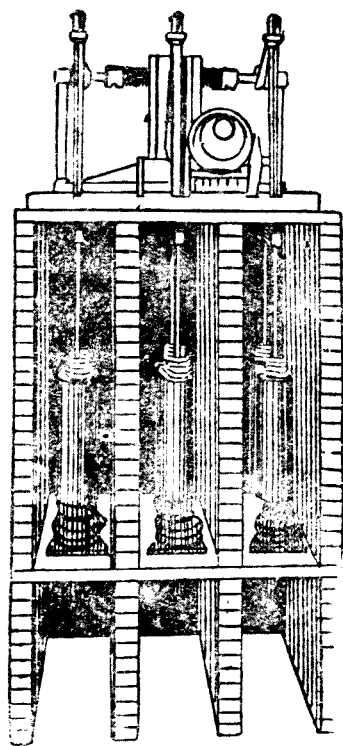


圖 412. 手動三極油開關

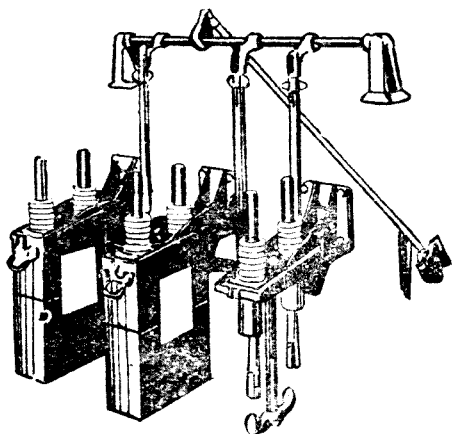


圖 411. 手動式三極油開關

此放電即行消滅。此類避雷器亦有製造，以用於各種線路電壓。

避雷器現有多種不同之形式，但上述者，為現今最普通之幾種。

392. 開關 圖 411 所示之油開關 (oil switch)，係用以開斷高壓及中壓線上之電流者。此類開關常與運用者遠離，而以一組槓桿司其開閉，或為遙控式，利用一螺管或電動機以運用之。在各種形式中，開關之關閉，與一彈簧張力相反，利用一梢釘以維持其關閉。

此梢釘可用過載替續器釋放之，一至電流過大，即令開關開斷。

欲使障礙局部化，重要之開關有時裝置如圖 412 所示，每極均裝置於磚或水泥之小室內。

刀形開關用於中壓及高壓線上者，謂之斷路開關 (disconnecting switch)，當電流通時，不令開斷，若線路已為油開關斷後，方用以斷絕儀器之連接。此種斷路開關之開閉，係以附有小鉤之長桿司之。

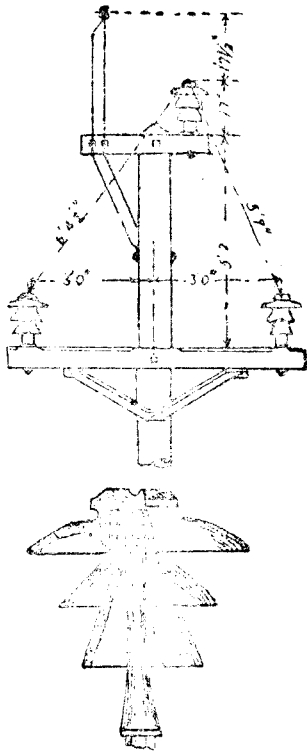


圖 413. 木桿與針式絕緣體及其頂上之地線

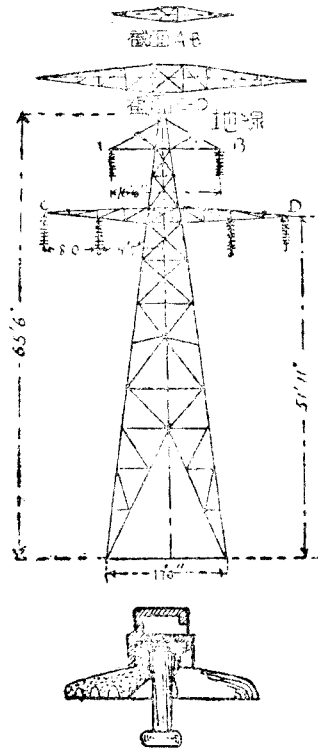


圖 414. 懸掛式絕緣體之鐵塔

373. 架空線路之構造 電壓在 50,000 伏以下，用木桿及針式絕緣體以支持線路，對於更高之電壓，其針式絕緣體甚大而針上之應力亦過巨，故須用懸掛式之絕緣體，常懸於鋼塔之上，如圖 414 所示。

避免線路之受雷擊，常置一鋼線與電力線平行，而令其與每塔下地面相連。電閃常擊此地線，逕入於地，不至損害，較之擊至電力線，跨過或經絕緣體以入地為易。

394. 地下線構造 在地下荷載電流，應用銅絞纜。銅纜以紙類絕緣之，然後浸入松香油之混合液中，更以鉛皮包裹之，以防潮溼，同時亦可保護電纜之機械損傷。電纜須柔軟，使足彎屈成角，因其須由人孔 (manhole) 納入磚導管，如圖 415 所示，而人孔之大小，常有限制也。

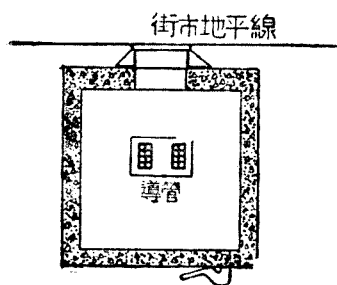


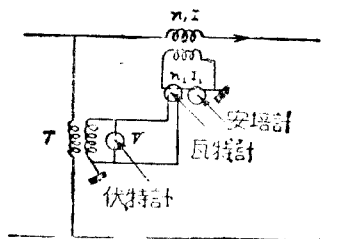
圖 415. 人孔

所需銅之截面，在低壓電纜中，常為容許電壓降所限制，但在高壓電纜中，則常為熱量所限制。其電流密度不能超過每平方吋銅截面 1,000 安，其所需之電壓，每 500 呎為 8.7 伏，即為 350 伏之百分之 2.5，若其電壓降限制於百分之 2.5，而輸電距離為 500 呎，則電壓低於 350 伏時，其電流密度亦必須少於每平方吋 1,000 安，而電壓高於 350 伏時，電纜中之位降將小於百分之 2.5。

395. 儀器用互感器 (instrument transformer) 在 2,300 伏或

更高電壓之電路中之儀器，並不直接連結於電路上，但須經過變壓器如圖 416 所示。

T 為一電壓互感器 (potential transformer)，其製造與標準燈用變壓器完全相同，惟尺寸較小耳，伏特計 V 量出副線捲電壓，但以主線捲電壓校準之。



串聯或電流互感器 (series or current transformer) 之主線圈側直接連於線中，而其副線圈則以安培計或瓦特計之電流線圈短接之。

因變壓器之副線捲安匝數常等於主線捲安匝數，故

$$n_2 I_2 = n_1 I_1 \quad \text{或} \quad I_2 = \frac{n_1}{n_2} I_1$$

故此儀器所量出之電流，與線中電流成比例。

396. 直流瓦時計 (watt-hour meter)，為一小型之低速直流電動機，以電樞線捲，整流子，及磁場線圈等部組成之，如圖 417 所示，但其磁場中並無鐵心。其旋轉電樞帶動一組變低齒輪及字盤 (dial)，以記出負載所消耗之瓦時數。

電樞中所生之轉矩，可以式 $T = K\phi I_a$ 表之，此處 ϕ 為線路電流 I 產生之磁流， I_a 為電樞電流。

$$I_a = \frac{E - E_b}{R_a}$$

此處 E_b 為電樞中發生之反電壓， R_a 為電樞線捲

電阻加上電阻 R ，而 E 為線路電壓。

因速率緩及磁場弱， E_b 甚小；故 I_a 實際與線路電壓 E 成比例。倘若 R 不變，則 I_a 亦不變。在 110 伏電計中， R_a 為 2,500 歐，故 I_a 約為 0.044 安。

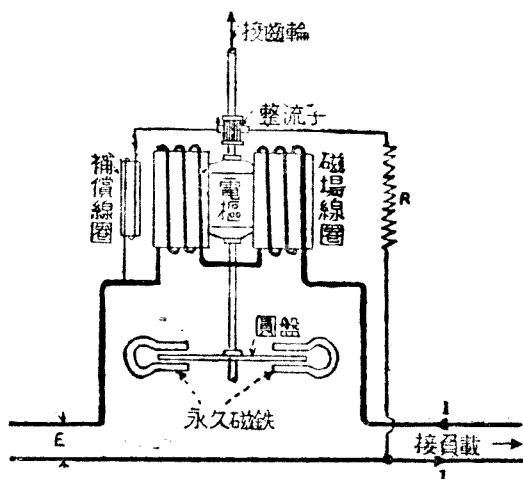


圖 417. 直流瓦時計

因磁路內並無鐵心，磁流 ϕ 與 I 成比例，而因如上所述， I_a 與 E 成比例，故轉矩應與 E 成比例；即轉矩與負載線路中之功率成比例。

若字盤上紀錄之任瓦小時，在任何負載下均屬正確，此表之速率必與功率成正比；又因驅動轉矩與功率成正比，由是須有一軛轉矩，與速率成正比。在電樞之軸上，裝一鋁質扁平圓盤，及置一永久磁鐵，使其磁流為轉動之盤所割切，以達此目的，如圖 417 所示。圓盤內所產生之渦流，與速率成正比，而發出軛轉矩，亦與速率成正比。

補償線圈增加少許推動轉矩，若 I_a 不變，即 E 不變，則此轉矩不變。補償線圈之位置，須於試驗時調準之，而令其所發生之轉矩，

等於電刷、軸承、及齒輪間之摩擦轉矩之和。如此，其摩擦轉矩之影響，實際上已消滅，但補償僅在一電壓時正確，而摩擦之增加，則隨使用之年數而變化。

397·交流瓦時計 爲一特別設計之二相感應電動機，以齒輪連於一串紀錄字盤。二相線圈中之一，謂之電位線圈者，有甚高之電抗（在110伏計中超過2,000歐），且直接跨接於線上。因之此線圈內之電流，與線路電壓成正比，且滯於其後約90度。此線圈所生之磁流之有用部分，以一小滯流線圈使之正確滯於線路電壓後90度。另一相線圈，包含粗線數匝，且與線上串聯，使其中之電流，即爲線上電流。此線圈謂之電流線圈。

負載之功率因數爲百分之0時，線路電流 I 滯於電壓 E 後90度，故二線圈所產生之磁流同相，而無轉矩產生。在百分之100之功率因數負載時，此二磁流相差90度，故其轉矩爲最大。在其他任何功率因數下，其電流 I 可分解爲二成分， $I \sin \phi$ 及 $I \cos \phi$ ，此處 ϕ 爲 E 及 I 間之相角。 $I \sin \phi$ 部分產生磁流成分，正與電位線圈所生者同相，故無轉矩發生。故所生轉矩與 $E I \cos \phi$ 成比例。即轉矩與供給負載之功率成比例。



圖 398. 交流瓦時計

與速率成比例之軛負載，爲一薄鋁片及永久磁鐵所組成，如第 396 節所述之直流瓦時計者然。

此感應電動機之轉子，即爲產生軛轉矩之同一鋁片。在任何時間中，片之一半受電位及電流二線圈之作用，其他一半，則受永久磁鐵之影響。一隱蔽線圈 (shading coil) 用以抵償摩擦力。圖 418 示各部分之裝配。

398. 電表 (meter) 之設計，形式甚多，用以量度伏，安，安培小時，歐，瓦，瓦時，功率因數，最大需要等。電表之種類甚多，故僅能在專論電表書 * 中，加以詳細研究。

399. 替續器 替續器 (relay) 爲一特種形式之開關，當其所屬線路上之情況超過某限度時，則能自動運用。如圖 147 所示電動機開動箱上之過載保護，即利用替續器 O 以得之，任何時間內，若輸入電動機之電流，超過某值，即關閉其接觸 t 。在此特種應用中，接觸 t 短接握持線圈 M ，消滅其能力而任 A 桿飛回，由線上斷去電動機。若替續器上備有第二對接觸，則可用以關閉一電鈴之運用電路，而發出電動機停止之信號，或可用以關閉自動電動機開動器之運用電路，而開動另一電動機，以代荷過載電動機之負載。

在此特別應用中，運用替續器者爲過大電流之情形，但替續器亦可同樣設計，運用於過高電壓下，或電壓與電流過低，或低功率因數，或其他正常或反常情形。任何連續動作，無論如何複雜，若適合經濟原則，幾全可利用替續器完成之。一簡單自動電話局，可含有 100,000 以上之替續器。利用替續器之自動運用或保護之研究，爲

* 校表手冊，美國電燈聯合會出版。

一極專門之學問，故在普通原理書中，自不能詳細討論*。

* 參閱替換器手冊，美國電燈聯合會出版。

第三十九章 電 燈

400. 白熾 (incandescence) 任何熱體，如白熾鎢絲燈之燈絲，輻射能量。此種輻射，顯然為以太中之波形，除非受外加作用使之偏斜，乃依直線進行。如自燈輻射之光柱經一三稜鏡，如圖 419 所示，則分散為一類似自虹中切出一段之闊帶。每種顏色之陰影各有其不同之波長，故每一色與另一色之差別，與音樂律音之互相差別相似。

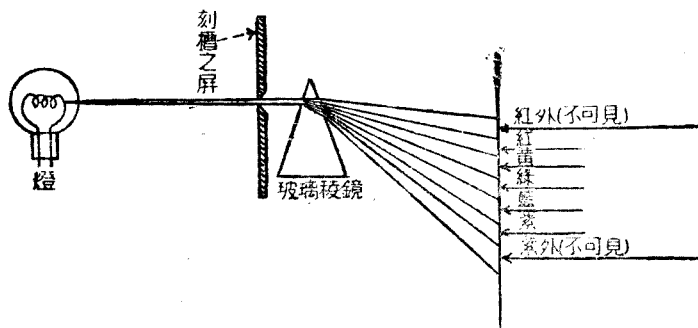


圖 419. 白熱體輻射之分析

如量全帶中每一顏色每秒中所輻射之能量，且對於波長繪出輻射之能，則尋常白熾燈可得如圖 420 所示之曲線。自此曲線，可見鎢絲燈為一效率極低之光源，其中百分之九十以上之輻射能量為不可見者。

若施於燈之電壓增加，則燈絲之溫度升高，而圖 420 中輻射能

曲線之縱坐標增加甚速，而全部曲線移向左方。如燈絲溫度可升至太陽溫度，約 6000°C ，則輻射能曲線之頂高點將落於可見範圍之內，而燈之效率將甚高。吾人所有白熾燈之效率之所以甚低者，因其使用於 2150°C 至 2500°C 之溫度，而人眼經年練習，最適於 6000°C 熱體之輻射故也。

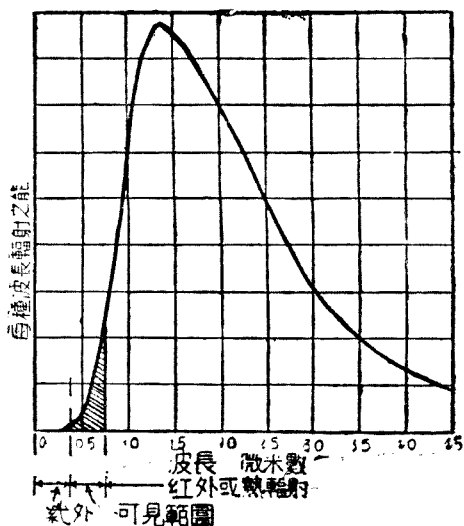


圖 420. 自一「麥士大」乙種鎢絲燈輻射之能量，在各波長中之大略分配，陰影面積代表輻射能量之成光者

圖 420 且示白熾燈在近於可見範圍之紅色端之處較其近於紫色端輻射更多能量。自尋常白熾燈發出之光，直接與日光相比，常覺甚紅，此亦人眼在人造光下較在日光下易於疲勞理由之一。

401. 光之單位 燈之發光功率，往時常以燭光 (candle power) 表之，然若非說明光之方向，殊乏意義，圖 421 中曲線即用於此種目

的。此曲線示一鎢絲燈在垂直平面光之分布，先在各方向測量燭光，然後沿每一半徑繪一與該方向中燭光成比例之長度即得。

白熾燈之強度，往昔均以其水平方向之平均燭光定之。故圖 421 所取材之燈，定為 32 燭光，雖其在各方向之平均燭光名曰球面燭光者 (mean spherical candlepower 或 m. s. cp.) 僅 24 球面平均燭光而已。此量與燈絲之形式無關，而與燈輸出之總光量有一定關係，光之單位為流明 (lumen)，現今所有標準白熾燈均以流明定之，惟汽車用燈仍以燭光定之。

402. 流明 輸出之總光量之單位為流明，一流明為照明一方呎表面至一呎燭之平均強度之光量，而一呎燭為自一標準燭沿水平方向對離開一呎之垂直平面上之光度。照明一面至某種光度所需之流明數，可以其所欲生之平均呎燭乘表面面積之方呎數而得。‘每方呎若干流明’常以代替‘呎燭’，兩者之意義相同。

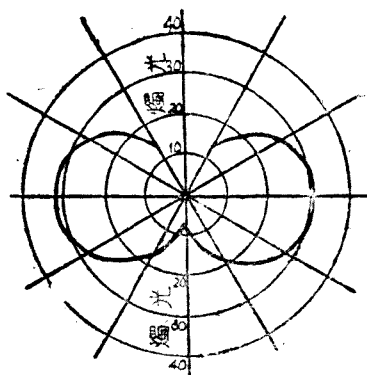


圖 421. 32 燭光鎢絲燈在一垂直面內光之分布

因一呎燭之照度，係一燭光之光源照於相離一呎之表面上所發生，故如發一燭光於各方向之一光源，置於半徑一呎空球之中心，則此球內部表面上任何一點，均被光源直接照明至一呎燭之照度。因半徑一呎之球內面積為 12.57 方呎，且 1 燭光之光源直接照明此 12.57 方呎之面積至一呎燭，則光源必須發生 12.57 流明也。因此，

任何方向強度為 1 燭光，即一球面燭光之光源，有 12.57 流明之光量輸出。

403. 碳絲白熾燈 為一碳絲封於抽空之玻璃球內所成。當此種燈絲之溫度達 1850°C ，碳之蒸發速率甚大，而燈絲之壽命減短。碳絲燈之壽命云者，係任意定為其燭光降至原值之百分之 80 以前之燃點時數也；而燭光之減少，大都因碳絲蒸發之故。此種碳附積於球之內面而使其變黑。

如施於碳絲燈之電壓增高，則電流增大，而燈絲之溫度及燈之效率亦均增高，然壽命則減短。

一 50-瓦 110-伏標準碳絲燈可發 175 流明，或每瓦 3.5 流明，其平均壽命為 700 小時。碳絲燈曾一度為室內用燈之標準白熾燈，今則幾全為效率更高之鎢絲燈代之矣。碳絲燈現僅用於電價甚廉，及特別需要堅牢及購置費較低之處，或用作變阻器而目的不在發光。

404. 真空鎢絲燈 常稱為麥士大乙種 (mazda B) 燈，有一金屬鎢絲。此種燈絲之溫度，可保持於 2150°C 左右，而燈絲不致蒸發甚劇。較碳絲之運用溫度為高，故鎢絲燈效率較高，且發白光。一 10-瓦 110-伏之麥士大乙種燈可發 472 流明，或每瓦 9.45 流明，而有 1000 小時之平均壽命。

流明輸出相同之低電壓燈較高電壓者為堅牢，因燈絲較短而截面積較大，蓋必須負載較大之電流，而電壓降落較小也。

鎢絲與碳絲之重要不同，乃其電阻之溫度係數，前者為正，而後者為負。因此鎢絲燈對於電壓變更之感覺較碳絲燈為小。例如電壓增加百分之 k ，鎢絲燈之相應電流增加，將小於百分之 k ，因其電阻

增加故也，若在鎢絲燈，其相應之電流增加將大於百分之 k ，因其電阻減少故也，電壓增加之影響，示於下表。

電 壓, %	流 明, %	每瓦流明, %	壽 命, %
正常或100 102	100.0	100.0	100
	111.0	107.5	60 磅
	107.0	104.0	76 磅
98	90.0	94.5	147 磅
	93.3	96.5	125 磅

因鎢絲燈之電阻溫度係數為正，其冷時之電阻遠較熱時為低，故電燈開亮時，其開始之電流常較正常運用電流為大。

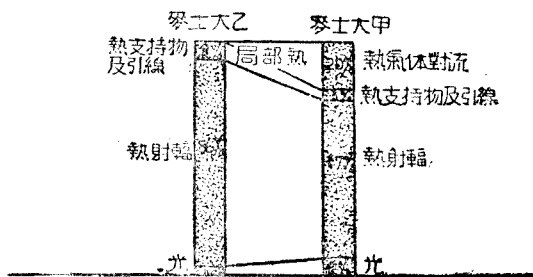


圖 422.

405. 充氣鎢絲燈(常稱為麥士大丙種) 如將鎢絲在氮氣中或其他鈍氣中熱之，而不用真空，則蒸發劇烈之溫度，前者較後者為高，氣體有藉對流自燈絲散熱之作用，設計此種燈時，應注意熱之傳導所損失能量，不足抵消運用燈絲於較高溫度之利益。在115伏一類之小燈(50瓦以下)較麥士大乙種燈效率為低。

圖 422 示鎢絲燈之能量分布，耗於局部熱之能量在麥士大丙種

燈較麥士大乙種燈為甚大。此熱使燈泡，燈泡之底，及反射裝置上發高溫度。燈泡有 375°F 之較高溫度，而燈絲則為 2500°C 。如設計適當此等高溫度並無大礙。

406. 街用串聯麥士大燈 並聯與串聯麥士大燈主要不同點，為並聯燈之設計用於定電壓電路，而串聯燈則用於定電流電路。職是之故，串聯燈依規定之電流大小而製。交流串聯電路已規定 6.6 安為標準，流明數較小之燈常直接燃點於線路中，或經一比一之變壓器；流明數較大之燈，其燈絲電流設計至 15 或 20 安，用時常經一適當之變壓器。此式之燈，其大小自 600 以至 25,000 流明，且為充氣式。

407. 弧光燈 (arc lamp) 若兩碳棒連接於電路內如圖 423 所示，使之互相接觸，則電流將於電路中流通，因碳極間之接觸不良，故其接觸電阻甚大，碳棒之接觸點開始灼熱，同時有一小量碳質蒸氣經過其間。

今將炭棒接觸點分離約四分之一時，則見電流仍繼續不斷，因接觸點間之空間充滿導電碳質蒸氣之故。如此造成之弧為一極強之光源。

弧光燈含有兩支碳棒，由一機械之動作，當電壓加上時，可使碳棒接觸後，再行分離，且於碳棒消蝕時能使之接近也。

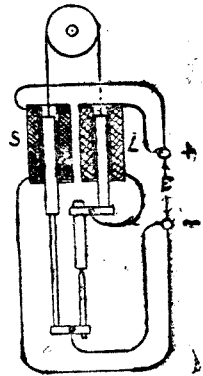


圖 423.

用於此種目的之機構之一種示於圖 423。並聯線圈 S 之向上拉力使碳棒接觸，此力隨電壓 E 而增加。串聯線圈 L 之向上拉力隨電流 I 而增加，且有分離碳棒之趨勢。當電源開關

關閉時，有一大電流 I 經過線圈 L ，同時電壓 E 較小，故 L 之拉力較 S 為大，而碳棒被分離，因碳棒之分離， E 增加而 I 減少，當弧達一定長度，則 E 及 I 均有其正常數值而拉力互相平衡。

在充氣白熾燈應用前，弧光燈常供街道及屋外照明之用，自白熾燈應用以後，漸取弧光燈之地位而代之，故現今弧光燈為數已較少。

40. 直流斷弧之形式如圖 424 B。正端之溫度約為 $3,700^{\circ}\text{C}$.；弧及負端之溫度較為甚低。自此種弧發出之總光量，內有百分之 85 來自陷口，百分之 10 來自正端，百分之 5 來自弧焰。此種弧所發光之分布如圖 424 A 中極坐標曲線所示；在弧之直下處照度幾為零，因為下面碳棒之影所蔽也。

因溫度甚高，光為白光，且效率甚高，然碳棒之壽命約僅 10 小時而已。

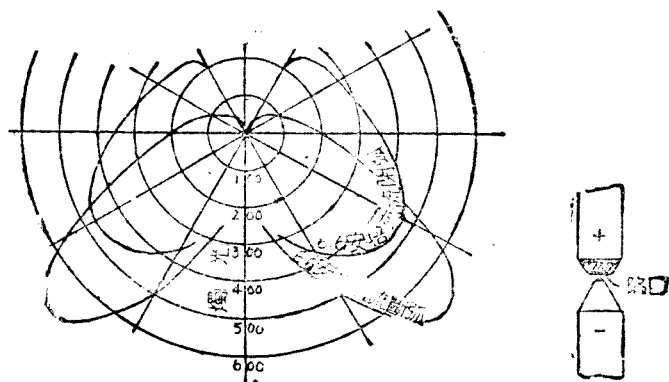


圖 424 A. 弧光燈光之分布

圖 24 B 直流弧之形狀

409. 直流閉弧 欲減低消蝕損耗，將弧封閉於不漏氣之球罩內，故在最初數秒鐘後，弧即運用於碳液氣之內，碳之消蝕較斷弧為小，故壽命約有 100 小時。燈弧運用於微小壓力之下，如運用適當，其弧焰較斷弧為長，陷口已不若前此之顯明，且總光量之大部來自弧焰，故改良水平方向光之分布。

410. 交流閉弧 當以交流運用時，碳弧燈於電流經過零值時，並不熄滅，因碳棒兩端有充分之熱可於電流反向時維持焰弧。交流弧無陷口，且每端等熱，然不如直流弧陷口之熱，故效率較低。更有進者，光線並非向下，然係向水平方向，故須用一反射器使光線偏轉如圖 244 所示之方向。

411. 選擇輻射 (selective radiation) 以前所述各種電燈均有能量輻射曲線如圖 420 所示者。其輻射能量，同時普及於各種波長；其藉三稜鏡所示之光譜(圖 419)係屬連續，各色相互浸疊而無暗區位於其間，且其輻射之大部分均係人眼所不能辨之波長。

如僅以照度論，則理想光源輻射能量，當僅限於可見範圍，且該範圍光譜係連續而與日光光譜相似。此種光源當生每瓦 300 流明純白光，約為最大且最有效之鎢絲燈之每瓦流明數之 15 倍。若注意健康問題，則必須有紫外輻射與光同時存在。

如一光源之輻射能量對於各種波長間之分配，與一理想‘黑體’(black body) 在同溫度時之情形有所不同者，名曰發生選擇輻射(實際上碳已足代表黑體)。

鎢為略有選擇性，然尚未發見一光源與上述理想選擇輻射相近，惟有數種光源已被發見，如汞氣燈，氙燈及螢火蟲，其光譜並非連續，

但含有一條或更多條之亮線。例如，螢火蟲輻射其所有之能量於一種波長，且此波長約為可見範圍內之居中者。如依消耗最小能量可得最大視覺而論，此蟲實為一效率最高之光源，然其被照之物，均呈黃綠色或黑色。

汞氣燈之光譜現綠，黃，藍及紫等色之狹帶，但無紅色。此燈為一有效光源，然乏紅色使人呈現死色耳。紅色可藉紅色氬燈供給之，氬燈現正在積極發展之中，其將來未可預料也。

焰弧燈 (flame arc lamp) 及直流磁弧燈 (direct current magnetite-arc lamp)，均有選擇輻射，然其效率之高於充氣鎢絲燈，尚不足以補償其所需額外之照管，至少在電價低廉之處為然。

表 IV

燈之大小 瓦數	總流明數	每瓦流明數	燈絲溫度 攝氏度數
麥士大乙種:			
10	80	8.0	
15	130	8.7	
25	240	9.6	
40	404	10.1	2190
50	510	10.2	
60	620	10.3	
麥士大丙種:			
75	880	11.7	
100	1,290	12.9	2480
150	2,100	14.0	
200	3,080	15.3	2550
300	4,900	16.3	
500	9,050	18.1	2650
750	14,000	18.7	
1000	20,000	20.0	2720
10,000*	180,000	18.0	3030
50,000*	1,400,000	18.0	3030

* 此種燈係依 100 小時之壽命而設計，以代 1000 小時者。

精選輻射以得燈之較高效率，殊屬得計，然就通常照明之範圍言，此法殊少成就。現幾全為鎢絲白熾燈所獨佔矣。

412. 各種大小鎢絲燈之總流明數輸出及每瓦若干流明之相對效率亦於表IV 僅 110-, 115-, 及 120-伏之燈)。

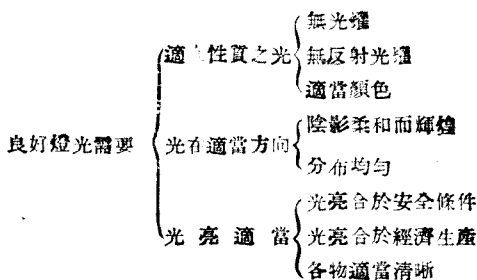
413. 光之顏色及性質對於良好照明甚為重要。人眼於正常日光情形下最為適宜，而理想之人造照亮器應發與日光性質相同之光。麥士大丙種燈所發之光含有日光中之各色，且可用一適當吸收幕以重生極準確之日光。麥士大日光燈及其藍綠玻璃球泡生一與日光相近之光，而於必須判別顏色之製造方法中，甚有價值。

414. 光耀 (glare) 者，乃視覺區域內之亮度，其性質足以引起不適，煩擾，視覺錯亂，或疲勞。可依下述之一或數因素而定：

1. 自光源發出之總燭光在人眼之方向。
2. 自光源至人眼之距離。
3. 工作表面及其周圍與亮度之對照。
4. 光源與視線之接近。
5. 光耀之源呈現於視覺區域內之時間。

若麥士大丙種燈之明亮燈絲，在視線以內，幾無有可聽其不蔭蔽之者，此殆已為基本之原則。

415. 陰影 (shadow) 者，乃各表面之亮度之差，而於長闊高各方面觀察實物時甚為重要。故設計光亮建築時，最好有陰影發生，惟必須柔和而輝煌者。且最好使人造照明所生之相對陰影，與日光照明所生者相同。



消滅陰影之程度，全視所作工作之性質及其所需配景而定。平常在製圖室及辦公室中，陰影須儘量消滅，而深濃之陰影尤需避免也。

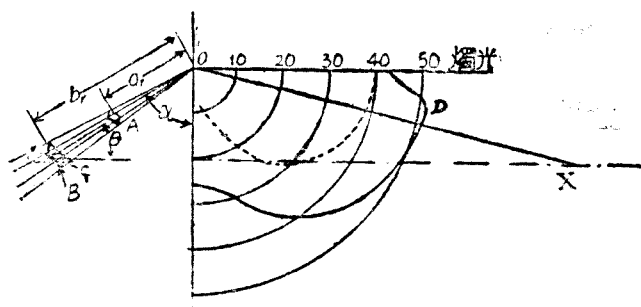


圖 425. 光度因距離光源之遠度及入射角而改變

416. 照度 (intensity of illumination) 光度強弱之單位為一燭光之光源在一呎距離所生者，名曰呎燭，或每方呎流明數。

圖 425 中同量之光射於 A, B, 及 C 等表面，故 B 處強度較 A 處為小，其比值為 $\frac{a^2}{b^2}$ ，或強度與距離之平方成反比。再 C 面上之強度

較 B 為小，其比值 $\frac{B \text{ 面積}}{C \text{ 面積}} = \cos \alpha$ 。

圖 427, 曲線 D 示一裝有反射器之 60 流明制絲街燈之光線分佈。今欲求離電桿

50 呎之 X 點之照度 燈之高度為 12 呎。

OX 方向之燭光 = 51,

距離 $OX = \sqrt{50^2 + 12^2} = 51.5$ 呎,

與光線垂直之障礙物上之強度

$$= \frac{51}{(51.5)^2} = 0.0192 \text{ 呎燭。}$$

街面上之強度 = $0.0192 \times \cos \alpha$

$$= 0.0192 \times \frac{12}{51.5} = 0.0045 \text{ 呎燭。}$$

相隔 100 呎之兩燈在街面上之最小強度 = $2 \times 0.0045 = 0.009$ 呎燭。

表 V. —— 照度 —— 現時所實用者

房間之種類	工作表面之呎燭數
書室	8 至 12
製圖室	15 至 20
汽車停車間, 修理及洗滌	10 至 15
普通辦公室	8 至 12
印刷房	2 至 3
會客室	4 至 6
旅館	5 至 8
教室	8 至 12
零售店	8 至 15
陳列櫥窗	30 至 100
室內網球場	20 至 50
馬房, 樓梯	2 至 3
製理工作:	
粗	5 至 8
中等	8 至 12
細	12 至 20
極細	20 至 100
漆房:	
淡色物	10 至 15
濃色物	25 至 100
工場:	
粗工	6 至 10
中等	10 至 15
細工	15 至 20
極細	25 至 100

417. 罩及反射器 一光源之光線分布，可用一罩 (shade) 或反射器 (reflector) 以完全改變之。在近代照明裝置中，凡燈必裝以罩及反射器，且在需要優美照明之處，天花板亦作反射器之用，而有時牆壁亦然。

如一燈之反射器直接投射大部分光線至工作平面，此燈光名曰‘直接’ (direct)。

若燈之反射器投射全部光線至天花板及牆壁，而射於工作平面之光，實全由於天花板及牆壁之漫射，此燈光名曰‘間接’ (indirect)。

若射於工作平面之光，一部分為直接，一部分為間接，且至少燈所發總光線之一半射於天花板及牆壁，此燈光名曰‘半間接’ (semi-indirect)。

直接燈光價值最廉，且如天花板為黑暗者，此法常為可以實行之唯一方法，然用直接燈光，難能免除光耀，且陰影亦過暗。間接燈光絕對可免光耀，且陰影甚淡，然若非有相當裝飾燈光以補充之，易於過分暗淡。在有白色天花板之大室內，半間接燈光並不較直接燈光為甚費，且對於各種精細工作則較便利多矣。

表 VII 詳示 21 種標準燈及其相應燭光分布曲線。例如參考第 11 種，在第一列內，說明文字下之數字，指示光線之 48 % 自通過燈之中心之水平平面射向上方，32 % 則射向下方，而其餘 20 % 被玻璃吸收，變而為熱。

418. 利用係數 (coefficients of utilization) 射於工作平面之流明總數除以燈所發之流明總數，名曰燈光裝置之利用係數。燈所發之流明數，可自表 IV 總流明輸出表得之，而射於工作平面之流明數，

可藉一呎燭計 (foot candle meter) 以求之。呎燭計者，為一直接讀數計，可量照度之呎燭數，即每方呎流明數。此計可置之於離已知燭光之光源之已測距離，而校準之。工作平面之面積乘以照度即得射於工作平面上之總流明數。

例題。 — 25×36 呎房間，用 6 盞 200 瓦之燈照明，用呎燭計所量得之平均照度為每方呎 10 流明。試計算其利用係數。

工作平面之面積 = $25 \times 36 = 900$ 方呎。

射於此平面上之總流明數 = $10 \times 900 = 9000$ 流明。

燈所發之總流明 = $6 \times 3,050 = 18,360$ 流明。

利用係數 = $\frac{9,000}{18,360} = 49\%$ 。

多數燈光裝置均依此方法求出其利用係數。此等係數經分析而列成表格，在設計新燈光裝置時，即可取用。(參看表 VII)

419. 房間之大小與牆壁及天花板之顏色 影響於利用係數者甚大。例如，用第 14 種燈 (表 VII) 照明之室內，其利用係數可自 6% 變至 49%，前者為一狹小之室，有甚暗之牆及黑暗之天花板，後者為一間度較高度甚大之室，且其天花板為白色者。

房間之大小及形式，以一名曰‘房間指數’ (room index) 之因數計之。一 $10 \times 10 \times 10$ 呎之立方室，任意定其房間指數為 1，其他形式及大小之室之房間指數，可用一此種性質之單位室為基本而計算之。房間指數之實值殊無意義，然有同樣房間指數之各室，如以同一燈光照明之，則將有約略相等之利用係數。

燈何大小及形式之室之房間指數可自表 VI 得之。

表 VII 示一牆壁及天花板均為黑暗之小室中間接燈光之利用

係數可低至 4%，然無人注意此種裝置也。

420. 燈之間隔 天花板之梁以及房屋柱子分一室為多數分間 (bays)，且因觀瞻關係，裝燈當須使之對於建築上之分段成為對稱。但對於一室，有甚多之對稱排列法可以計畫，每一分間用一，二，三或四電燈。合併分間使成為多對，可得其他充分對稱之排法，處理每對分間如一單獨分間然。

無論如何，燈之間隔不得超過燈在工作平面上高度之 1.5 倍。如係間接燈光，燈之高度即為天花板之高度。如係第 5, 6, 及 7 種集光燈 (focusing units)，燈之間隔，不當超過燈在工作平面上高度之 0.75 倍。

例題：設計某製圖室之燈光裝置。其大小為 $72 \times 36 \times 13$ 呎高，有一白色天花板，每路分成四分間，如圖 426 所示。兩邊均有窗戶，用第 12 種之燈。

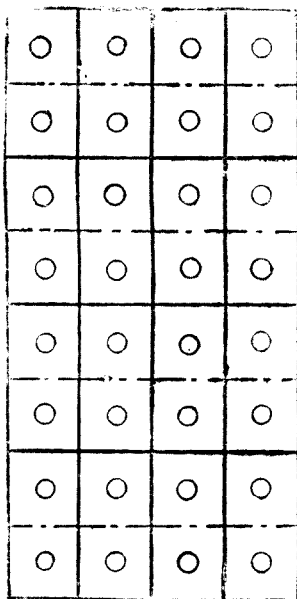


圖 426.

最小照度應為每方呎 15 流明，而此值因天塵及燈之用舊較小於原有照度之 70%。故原有照度應不小於 $\frac{15}{0.70} = 21$ 流明每方呎。

工作平面之面積 = $72 \times 36 = 2,592$ 方呎。

此平面上所需流明數 = $21 \times 2,592 = 54,432$ 流明。

自表 VI，房間指數 = 3.0

因兩邊有窗，兩邊應為相當黑暗（光之 30% 反射而回至室內）。

自表 VII，第 12 種燈，房間指數 = 3.0，甚亮之天花板，相當黑之牆，所用之利用係

數為 73%。

$$\text{燈所發之流明數} = \frac{54,452}{0.37} = 147,000 \text{ 流明。}$$

燈之最顯然之排法，為每分間用 2 燈如圖 426 所示。可得 9 呎之之燈間隔，幾與燈在工作平面上之高度相等，為一甚好之間隔。

計有 10 分間，則需 32 盞燈。

$$\text{每燈之流明輸出} = \frac{147,000}{32} = 4,600。$$

自表 IV，最近於 4,600 流明輸出之燈為 300-瓦，其輸出為 4,900 流明。

如用 32 盞 300-瓦之燈，原有照度將為 $21 \times \frac{4,900}{4,600} = 22.4$ 流明每方呎，而最小照度將為 $22.4 \times 0.70 = 15.7$ 流明每方呎。

表VI ——狹小及中等房間之房間指數

間接燈光用 天花板高度 } 直接燈光用 懸燈高度 }		呎						
		9 及 9.5	10 至 11.5	12 至 13.5	14 至 15.5	17 至 20	21 至 24	25 至 30
		呎						
		7 及 7.5	8 及 8.5	9 及 9.5	10 至 11.5	12 至 13.5	14 至 16.5	17 至 20
房間闊度 呎	房間長度 呎	房 間 指 數						
9 (8.5—9.5)	8—10	1.0	0.8	0.6	0.6			
	10—14	1.0	0.8	0.8	0.6			
	14—20	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6		
	20—30	1.2	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6	
	30—42	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6	0.6
	42—以上	2.0	1.5	1.2	1.0	0.6	0.6	0.6
10 (9.5—10.5)	10—14	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6		
	14—20	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6	0.6	
	20—30	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6	
	30—42	1.5	1.2	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6
	42—60	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6
	60—以上	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	0.8	0.6
12 (11—12.5)	10—14	1.2	1.0	0.8	0.8	0.6	0.6	
	14—20	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6	
	20—30	1.5	1.2	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6
	30—42	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6
	42—60	2.0	1.5	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6
	60—以上	2.0	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6
14 (13—15.5)	14—20	1.5	1.2	1.0	1.0	0.8	0.6	0.6
	20—30	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6
	30—42	2.0	1.5	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6
	42—60	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0	0.8	0.6
	60—90	2.5	2.0	2.0	1.5	1.2	1.0	0.6
	90—以上	2.5	2.0	2.0	1.5	1.5	1.2	0.8
17 (16—18.5)	14—20	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6
	20—30	2.0	1.5	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6
	30—42	2.5	2.0	1.5	1.2	1.0	1.0	0.6
	42—60	2.5	2.0	2.0	1.5	1.2	1.2	0.8
	60—110	2.5	2.0	2.0	1.5	1.2	1.2	0.8
	110—以上	3.0	2.5	2.0	2.0	1.5	1.2	1.0

表 VI. — 狹小及中等房間之房間指數

間接燈光用 天花板高度		呎						
		9 及 9.5	10 至 11.5	12 至 13.5	14 至 16.5	17 至 20	21 至 24	25 至 30
		呎						
直接燈光用 懸燈高度		7 及 7.5	8 及 8.5	9 及 9.5	10 至 11.5	12 至 13.5	14 至 16.5	17 至 20
		房 間 指 數						
房間闊度 呎	房間長度 呎	房 間 指 數						
20 (19—21.5)	2—3)	2.5	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6
	3—4)	2.5	2.0	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8
	4—6)	2.5	2.5	2.0	2.0	1.5	1.2	0.8
	6—9)	3.0	2.5	2.0	2.0	1.5	1.2	1.0
	9—14)	3.0	2.5	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0
	14—以上	3.0	2.5	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0
24 (22—25)	2—3)	2.5	2.0	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8
	3—4)	3.0	2.5	2.0	1.5	1.2	1.2	0.8
	4—6)	3.0	2.5	2.5	2.0	1.5	1.2	1.0
	6—9)	3.0	2.5	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0
	9—14)	3.0	3.0	2.5	2.0	2.0	1.5	1.2
	14—以上	3.0	3.0	2.5	2.0	2.0	1.5	1.2
30 (27—32)	3—4)	3.0	2.5	2.5	2.0	1.5	1.2	1.0
	4—6)	3.0	3.0	2.5	2.5	1.5	1.5	1.0
	6—9)	4.0	3.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.2
	9—14)	4.0	3.0	3.0	2.5	2.0	2.0	1.5
	14—8)	4.0	3.0	3.0	2.5	2.0	2.0	1.5
	18—以上	4.0	3.0	3.0	2.5	2.0	2.0	1.5
36 (32—39)	3—4)	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0
	4—6)	4.0	3.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.2
	6—9)	5.0	3.0	3.0	3.0	2.0	2.0	1.5
	9—14)	5.0	4.0	3.0	3.0	2.5	2.0	1.5
	14—30)	5.0	4.0	3.0	3.0	2.5	2.0	1.5
	20—以上	5.0	4.0	3.0	3.0	2.5	2.0	1.5
40 或更闊	4—7)	5.0	4.0	3.0	此種數值示於對面一頁上			
	6—9)	5.0	4.0	4.0				
	9—14)	5.0	4.0	4.0				
	14—20)	5.0	5.0	4.0				
	20—以上	5.0	5.0	4.0				

表 VI.(續)——高大房間、房間指數

		呎							
		14 至 16.5	17 至 20	21 至 24	25 至 30	31 至 35	37 至 50		
		呎							
		10 至 11.5	12 至 11.5	14 至 16.5	17 至 20	21 至 24	25 至 30	31 至 35	37 至 50
房間闊度 呎	房間長度 呎	房 間 指 數							
14 (13—15.5)	14—20	1.0	0.8	0.6	0.6				
	20—30	1.0	0.8	0.6	0.6				
	30—42	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6			
	42—60	1.5	1.0	0.8	0.6	0.6	0.6		
	60—90	1.5	1.2	1.0	0.6	0.6	0.6	0.6	
	90—以上	1.5	1.5	1.2	0.8	0.6	0.6		
17 (16—18.5)	14—20	1.0	0.8	0.6	0.6				
	20—30	1.2	1.0	0.8	0.6				
	30—42	1.2	1.0	1.0	0.6	0.6	0.6		
	42—60	1.5	1.2	1.2	0.8	0.6	0.6	0.6	
	60—100	1.5	1.2	1.2	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6
	100—以上	2.0	1.5	1.2	1.0	0.6	0.6	0.6	
20 (19—31.5)	20—30	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6			
	30—42	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6		
	42—60	2.0	1.5	1.2	0.8	0.6	0.6	0.6	
	60—90	2.0	1.5	1.2	1.0	0.6	0.6	0.6	
	90—140	2.0	1.5	1.5	1.0	0.8	0.8	0.6	0.6
	140—以上	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	0.8	0.6	0.6
24 (22—26)	20—30	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6		
	30—42	1.5	1.2	1.2	0.8	0.6	0.6		
	42—60	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6	
	60—90	2.0	1.5	1.5	1.0	0.8	0.6	0.6	0.6
	90—140	2.0	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6
	140—以上	2.0	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6
30 (27—33)	30—42	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6	
	42—60	2.5	1.5	1.5	1.0	1.0	0.8	0.6	
	60—90	2.5	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6
	90—140	2.5	2.0	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6
	140—180	2.5	2.0	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6
	180—以上	2.5	2.0	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6

表 VI. (續) —— 高大房間之房間指數

		呎							
		14 至 16.5	17 至 20	21 至 24	25 至 30	31 至 36	37 至 50		
間接燈光用 天花板高度 }		呎							
		10 至 11.5	12 至 11.5	14 至 16.5	17 至 20	21 至 24	25 至 30	31 至 36	37 至 50
房間闊度 呎	房間長度 呎	房 間 指 數							
36 (34—39)	36—42	2.0	1.5	1.5	1.0	0.8	0.8	0.6	
	42—50	2.5	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.6
	60—90	3.0	2.0	2.0	1.5	1.0	1.0	0.6	0.6
	90—140	3.0	2.5	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8	0.5
	140—200 200—以上	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5	1.2	1.0	0.6
42 (40—5)	42—50	3.0	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8	0.8	0.6
	60—90	3.0	2.5	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6
	90—140	3.0	2.5	2.5	2.0	1.5	1.2	1.0	0.6
	140—200	3.0	2.5	2.5	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8
	200—以上	3.0	2.5	2.5	2.0	1.5	1.5	1.2	0.8
50 (4—55)	42—50	3.0	2.5	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6
	60—90	3.0	3.0	2.5	1.5	1.5	1.2	1.0	0.6
	90—140	3.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5	1.2	0.8
	140—200	3.0	3.0	2.5	2.0	2.0	1.5	1.2	0.8
	200—以上	3.0	3.0	2.5	2.0	2.0	1.5	1.2	1.0
60 (56—57)	60—90	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.2	1.0	0.8
	90—140	4.0	3.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.2	1.0
	140—200	4.0	3.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0
	200—以上	4.0	3.0	3.0	2.5	2.0	2.0	1.5	1.0
75 (68—60)	60—90	5.0	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.2	0.8
	90—140	5.0	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0
	140—200	5.0	4.0	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.2
	200—以上	5.0	4.0	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.2
90 或更闊	60—90	5.0	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.2	1.0
	90—140	5.0	5.0	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.2
	140—200	5.0	5.0	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.2
	200—以上	5.0	5.0	4.0	3.0	3.0	2.5	2.0	1.5

表 VII



燈	天花 板	甚亮 70 %			相當亮 50 %			相當黑 30 %		
		相當 亮 70%	相當 黑 30%	甚黑 10%	相當 亮 50%	相當 黑 30%	甚黑 10%	相當 黑 30%	甚黑 10%	
										房間 指數
直接燈光——普通工業用反射器										
1 RLM 白盤罩燈 90°至18°-7% 0°至90°-86%		0.6	.32	.48	.25	.32	.28	.25	.27	.25
		0.8	.40	.36	.34	.39	.35	.33	.35	.33
		1.0	.43	.39	.37	.42	.39	.37	.39	.37
		1.2	.46	.43	.41	.45	.43	.41	.43	.41
		1.5	.48	.45	.43	.47	.45	.43	.45	.43
		2.0	.52	.50	.48	.51	.49	.47	.49	.47
		2.5	.56	.54	.52	.55	.53	.51	.53	.51
		3.0	.57	.55	.53	.56	.54	.52	.54	.52
		4.0	.60	.58	.56	.59	.57	.55	.57	.55
		5.0	.61	.59	.57	.60	.58	.57	.58	.56
2 亮鋼罩射器 透光燈 90°至18°-7% 0°至90°-60%		0.6	.29	.25	.21	.28	.24	.21	.23	.21
		0.8	.33	.32	.29	.35	.31	.28	.31	.28
		1.0	.39	.35	.33	.38	.35	.33	.34	.32
		1.2	.42	.39	.36	.41	.38	.36	.37	.35
		1.5	.45	.42	.39	.43	.40	.38	.39	.38
		2.0	.49	.46	.43	.48	.45	.43	.44	.42
		2.5	.53	.50	.47	.51	.49	.47	.47	.46
		3.0	.54	.52	.49	.52	.50	.49	.49	.47
		4.0	.57	.55	.53	.55	.53	.51	.51	.50
		5.0	.58	.56	.54	.56	.54	.53	.52	.51
特種 R L M 應用										
3 RLM 圓頂罩 防灰蓋 90°至8°-0% 0°至90°-54%		0.6	.29	.25	.24	.28	.25	.24	.25	.24
		0.8	.35	.32	.31	.34	.32	.31	.32	.30
		1.0	.37	.33	.35	.37	.35	.34	.35	.34
		1.2	.40	.38	.37	.39	.38	.37	.37	.37
		1.5	.42	.41	.38	.41	.39	.38	.39	.38
		2.0	.44	.43	.41	.44	.43	.41	.42	.41
		2.5	.48	.45	.44	.45	.45	.44	.44	.44
		3.0	.49	.47	.45	.48	.46	.45	.45	.44
		4.0	.50	.48	.48	.49	.47	.46	.46	.46
		5.0	.52	.49	.48	.50	.48	.47	.48	.46

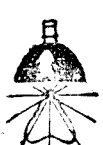
表 VII—(續)

燈	天花 板	甚亮 70%			相當亮 50%			相當黑 30%	
		相當 亮 50%	相當 黑 30%	甚 黑 10%	相當 亮 50%	相當 黑 30%	甚 黑 10%	相當 亮 50%	相當 黑 30%
	牆壁								
	房 間 指 數	利 用 係 數							

特種 RLM 應用—(續)

4 R L M 圓頂罩 清光燈 90°至18°-0% 0°至90°-76%		0.6	.34	.29	.24	.34	.29	.24	.28	.24
		0.8	.42	.38	.34	.42	.37	.33	.37	.33
		1.0	.46	.43	.39	.45	.42	.39	.42	.39
		1.2	.50	.47	.43	.49	.46	.43	.45	.42
		1.5	.53	.50	.46	.52	.49	.45	.48	.45
		2.0	.58	.55	.51	.57	.54	.51	.53	.51
		2.5	.62	.59	.55	.61	.58	.55	.58	.56
		3.0	.64	.61	.58	.63	.60	.58	.60	.58
		4.0	.67	.65	.63	.66	.64	.62	.63	.61
		5.0	.69	.67	.65	.67	.66	.64	.65	.63

高狹分間工業用反射器

5 集光錐鏡反射器 鋁蓋 清光燈 90°至18°-1% 0°至90°-72%		0.6	.42	.39	.38	.41	.39	.38	.40	.37
		0.8	.50	.48	.47	.49	.47	.46	.47	.45
		1.0	.54	.53	.52	.53	.52	.51	.51	.50
		1.2	.58	.57	.56	.56	.55	.54	.54	.53
		1.5	.61	.59	.57	.58	.57	.56	.57	.55
		2.0	.63	.62	.60	.62	.61	.59	.59	.58
		2.5	.67	.64	.63	.65	.63	.62	.62	.61
		3.0	.68	.67	.64	.66	.65	.63	.63	.62
		4.0	.69	.68	.67	.67	.66	.65	.64	.63
		5.0	.72	.69	.68	.68	.67	.65	.65	.64

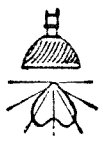

6 鏡玻璃反射器 清光燈 90°至18°-1% 0°至90°-73%		0.6	.42	.40	.39	.42	.40	.39	.41	.38
		0.8	.51	.49	.48	.49	.48	.47	.48	.46
		1.0	.55	.54	.53	.54	.53	.52	.52	.51
		1.2	.59	.58	.57	.57	.56	.55	.55	.54
		1.5	.61	.60	.58	.59	.58	.57	.58	.56
		2.0	.64	.63	.61	.62	.61	.60	.61	.59
		2.5	.68	.65	.64	.65	.64	.63	.63	.62
		3.0	.69	.67	.65	.67	.65	.64	.64	.63
		4.0	.70	.69	.68	.68	.66	.65	.65	.64
		5.0	.72	.70	.69	.69	.67	.66	.66	.65

表 VI—(續)

燈	天花板	甚亮 70%			相當亮 50%			相當黑 30%		
	牆壁	相當亮	相當黑	甚黑	相當亮	相當黑	甚黑	相當黑	甚黑	
		50%	3%	10%	50%	30%	10%	30%	1%	
	房間指數	利用係數								

高狹分間工業用反射器—(續)

7 氧化鋁反射器 透光燈 0°至18° -9% 1°至90° -72%		0.6	.41	.39	.37	.40	.39	.37	.40	.37
		0.8	.49	.47	.47	.8	.47	.46	.7	.44
		1.0	.52	.52	.51	.52	.51	.50	.51	.50
		1.2	.55	.54	.54	.54	.54	.52	.54	.52
		1.5	.59	.57	.56	.57	.53	.55	.55	.54
		2.0	.61	.60	.59	.60	.60	.58	.59	.57
		2.5	.65	.63	.62	.63	.62	.61	.61	.60
		3.0	.63	.65	.63	.64	.63	.62	.62	.61
		4.0	.67	.65	.65	.65	.64	.63	.63	.62
		5.0	.69	.67	.65	.63	.65	.65	.64	.63

商店及普通用封閉燈

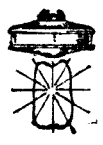

8 扁平 白玻璃 封閉球罩 0°至18° -3% 1°至90° -45%		0.6	.12	.17	.11	.20	.16	.13	.11	.12
		0.8	.27	.22	.19	.25	.21	.18	.19	.17
		1.0	.21	.23	.23	.28	.24	.21	.22	.19
		1.2	.35	.30	.26	.31	.27	.24	.25	.22
		1.5	.8	.33	.29	.24	.30	.27	.27	.25
		2.0	.42	.38	.33	.38	.34	.31	.31	.28
		2.5	.46	.41	.37	.41	.37	.34	.34	.31
		3.0	.49	.45	.40	.43	.39	.36	.36	.33
		4.0	.53	.48	.44	.47	.43	.40	.40	.36
		5.0	.55	.51	.47	.49	.45	.42	.42	.38
9 稜形 封閉燈 0°至18° -7% 1°至90° -53%		0.6	.18	.22	.18	.26	.21	.17	.19	.15
		0.8	.35	.29	.25	.33	.28	.24	.23	.23
		1.0	.18	.33	.30	.36	.32	.28	.30	.27
		1.2	.43	.37	.33	.40	.35	.31	.33	.30
		1.5	.46	.41	.36	.43	.38	.34	.35	.33
		2.0	.51	.46	.42	.47	.43	.41	.40	.38
		2.5	.55	.51	.45	.51	.47	.44	.44	.42
		3.0	.51	.46	.42	.47	.43	.41	.40	.38
		4.0	.58	.54	.50	.54	.50	.47	.46	.44
		5.0	.62	.58	.55	.57	.54	.51	.50	.48

表 VII- (續)

燈	天花板	甚亮 7%			相當亮 50%			相當黑 3%		
	牆壁	相當亮 50%	相當黑 3%	甚黑 10%	相當亮 50%	相當黑 3%	甚黑 10%	相當亮 50%	相當黑 3%	甚黑 10%
	房間指數	利用係數								

半間接封閉燈




10 封閉半間接 塗粉底 雕刻頂 玻璃 90°至180°-5% 0°至90°-7%		0.6	.17	.13	.10	.14	.11	.09	.08	.07
		0.8	.21	.17	.14	.18	.14	.12	.12	.10
		1.0	.24	.20	.17	.21	.17	.15	.14	.12
		1.2	.28	.23	.20	.23	.19	.17	.17	.14
		1.5	.31	.26	.23	.23	.22	.19	.18	.16
		2.0	.35	.30	.27	.29	.25	.22	.20	.18
		2.5	.38	.34	.30	.32	.28	.25	.23	.20
		3.0	.41	.37	.33	.34	.30	.27	.25	.22
		4.0	.45	.41	.37	.37	.34	.31	.27	.25
		5.0	.47	.43	.40	.40	.36	.33	.29	.27
11 封閉半間接 塗粉底 雕頂 90°至180°-48% 0°至90°-32%		0.6	.19	.14	.11	.15	.12	.10	.10	.08
		0.8	.24	.19	.16	.21	.16	.14	.14	.12
		1.0	.27	.22	.19	.23	.19	.17	.16	.14
		1.2	.30	.25	.22	.25	.22	.19	.18	.16
		1.5	.34	.29	.25	.29	.25	.22	.20	.18
		2.0	.38	.33	.29	.32	.28	.25	.23	.21
		2.5	.41	.36	.33	.35	.32	.28	.26	.24
		3.0	.44	.40	.36	.38	.34	.31	.28	.26
		4.0	.49	.44	.40	.41	.37	.35	.31	.29
		5.0	.51	.47	.43	.43	.39	.37	.33	.31
12 封閉半間接 塗粉底 雕頂 (僅限於接近天 花板) 90°至180°-30% 0°至90°-22%		0.6	.18	.14	.11	.15	.12	.10	.09	.08
		0.8	.22	.18	.15	.19	.15	.13	.12	.11
		1.0	.25	.21	.19	.21	.18	.16	.15	.12
		1.2	.28	.24	.21	.24	.20	.18	.16	.14
		1.5	.31	.27	.24	.25	.22	.20	.18	.16
		2.0	.35	.31	.28	.29	.26	.23	.20	.19
		2.5	.38	.34	.31	.31	.29	.26	.23	.21
		3.0	.40	.37	.34	.33	.31	.28	.24	.22
		4.0	.44	.41	.38	.36	.34	.32	.26	.25
		5.0	.46	.43	.40	.38	.35	.33	.28	.26

表 VII—(續)

燈	天花板	甚亮 70%			相當亮 50%			相當黑 30%	
	牆壁	相當亮	相當黑	甚黑	相當亮	相當黑	甚黑	相當黑	甚黑
		50%	30%	10%	50%	30%	10%	30%	10%
房間指數	利用係數								

半間接燈光封閉燈—(續)





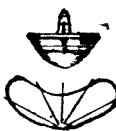
13 封閉半間接 玻璃底 燈頂 90°至80°-.51% 0°至0°-.21%		0.6	.16	.12	.10	.13	.10	.08	.08	.07
		0.8	.20	.16	.14	.17	.14	.11	.11	.09
		1.0	.23	.19	.17	.19	.16	.14	.13	.11
		1.2	.26	.22	.19	.22	.18	.16	.14	.13
		1.5	.29	.25	.21	.24	.20	.19	.16	.14
		2.0	.32	.28	.25	.27	.23	.21	.18	.17
		2.5	.35	.31	.28	.29	.25	.24	.20	.19
		3.0	.38	.34	.31	.31	.28	.26	.22	.21
		4.0	.41	.38	.35	.34	.31	.29	.24	.23
		5.0	.43	.39	.37	.35	.33	.31	.25	.24
14 封閉半間接 玻璃 90°至80°-.9% 0°至0°-.17%		0.6	.18	.14	.11	.14	.11	.09	.07	.06
		0.8	.22	.18	.15	.18	.14	.12	.10	.09
		1.0	.25	.21	.18	.20	.17	.14	.12	.10
		1.2	.29	.24	.21	.23	.19	.17	.14	.12
		1.5	.33	.28	.24	.26	.22	.19	.15	.14
		2.0	.36	.32	.28	.29	.25	.22	.18	.16
		2.5	.40	.35	.32	.31	.28	.25	.20	.18
		3.0	.43	.38	.35	.33	.30	.27	.22	.20
		4.0	.47	.43	.39	.37	.34	.31	.24	.23
		5.0	.49	.46	.42	.39	.36	.33	.26	.24
15 間式半間接 塗斜斜射器 角度適中 玻璃底板 90°至80°-.4% 0°至0°-.18%		0.6	.18	.15	.13	.15	.12	.10	.10	.08
		0.8	.22	.19	.17	.19	.15	.14	.13	.11
		1.0	.25	.22	.20	.21	.18	.16	.15	.13
		1.2	.28	.25	.22	.24	.21	.19	.16	.15
		1.5	.31	.27	.24	.26	.22	.21	.17	.16
		2.0	.34	.31	.28	.28	.25	.24	.20	.19
		2.5	.37	.34	.32	.31	.28	.26	.22	.21
		3.0	.39	.36	.34	.32	.29	.28	.23	.22
		4.0	.43	.40	.37	.34	.32	.31	.25	.24
		5.0	.44	.41	.40	.36	.34	.32	.26	.25

表 VI—(續)

燈	天花板	甚亮 70%			相當亮 50%			相當黑 30%	
	牆壁	相當亮	相當黑	甚黑	相當亮	相當黑	甚黑	相當黑	甚黑
		50%	30%	10%	50%	30%	10%	30%	10%
房間指數	利用係數								

間接封閉燈

16 封閉亮球 間接 90°至18°-64% 0°至90°-6%		0.6	.14	.11	.10	.11	.09	.07	.06	.05
		0.8	.18	.14	.13	.14	.11	.10	.07	.06
		1.0	.20	.17	.15	.15	.13	.11	.09	.07
		1.2	.23	.20	.17	.18	.15	.13	.10	.09
		1.5	.26	.22	.19	.20	.17	.15	.11	.10
		2.0	.29	.26	.23	.22	.19	.17	.13	.12
		2.5	.31	.28	.26	.24	.21	.20	.14	.13
		3.0	.34	.31	.28	.25	.23	.21	.15	.14
		4.0	.37	.34	.32	.27	.26	.24	.17	.16
		5.0	.39	.36	.34	.24	.27	.26	.18	.17

17 開式間接 90°至18°-8% 0°至90°-0%		0.6	.16	.12	.10	.11	.09	.07	.05	.04
		0.8	.18	.15	.13	.13	.11	.09	.07	.06
		1.0	.22	.19	.16	.15	.13	.11	.08	.07
		1.2	.25	.22	.19	.18	.15	.13	.09	.08
		1.5	.27	.24	.21	.20	.17	.15	.10	.09
		2.0	.30	.27	.25	.22	.19	.17	.11	.10
		2.5	.34	.31	.28	.24	.22	.20	.13	.12
		3.0	.36	.33	.30	.26	.24	.22	.14	.13
		4.0	.40	.37	.34	.28	.26	.24	.15	.14
		5.0	.42	.39	.37	.30	.28	.26	.17	.15

商業用室內特殊燈




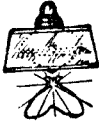
18 厚白玻璃 反射器 白球燈 90°至18°-1% 0°至90°-7%		用於 100 瓦或以下之大小。在較大之燈，則因光線及陰影之故，開使用斷式燈不若完全封閉之白色燈為美滿。其主要用途為小室，廁所，儲藏室，廊屋，及其他不常用而適於式數低之燈之處。
		利用係數平均約與第 9 種燈相同。

表 VII—(續)

燈	天花板	甚亮 70 %		相當亮 50 %	相當黑 30 %			
	牆壁	相當亮 50 %	相當黑 30 %	甚黑 10 %	相當亮 50 %	相當黑 30 %	甚黑 10 %	相當黑 30 %
	房間指數	利用係數						

商業用室內特殊燈

<p>19 鐘乳石圓球 90°-18°-38% 0°-90°-48%</p>		<p>此式燈僅散射光線，其光線分布並不較無罩之裸燈有所改進。第 8 種扁平燈分布，光線向下較更有效。故常選用。然鐘乳石球形燈泡適用於會客室，銀行及其他室內以及各種商店，其光線分布之效率不必十分注意者。</p> <p>利用係數約較第 8 種燈之值小 10 %。</p>
<p>20 大型不透明 反射器 開式漫射球 90°-18°-13% 0°-90°-50%</p>		<p>球及大直徑之反射器，因可免除光耀深濃陰影，而其漫射性使燈之亮度減低。自積垢之觀點言之，仍有開式球罩之弊。此燈宜於緊接天花板之裝法，可得大商店中所需較大之燈之間隔；此於需要間接燈光，而無良好天花板之處，尤為合用。</p> <p>利用係數較第 8 種燈之值略高。</p>
<p>21 封閉燈 大型裝環罩 90°至 8°-21% 0°至 90°-56%</p>		<p>紙，皮紙，綢，或其他材料均可用作幔罩，而與玻璃或硬鐵燈合用之，此種幔罩不僅增加美觀，使其有各種設計花樣，且亦有效的減少眼方向之燭光及亮度，僅犧牲些微效率而已。甚宜於貴客店(exclusive stores)及百貨店之首飾或服裝部分。幔罩可加之於裝燈之上。</p> <p>利用係數較第 8 種燈之值略低。</p>

第四十章 熱游子管與光電管

二極熱游子管已於 377 節述及。自熱燈絲發射電子，及造成燈絲與板極間之熱游子流之性質，亦已於該節中加以討論。二極管僅能作整流器之用。

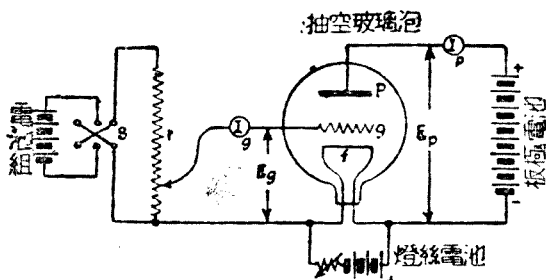


圖 427. 求三極熱游子管特性曲線之連接法(閱圖 428, 429 及 430)

$P =$ 板極	$I_g =$ 柵極電流
$g =$ 柵極	$I_f =$ 燈絲電流
$f =$ 燈絲	$E_p =$ 板極電壓
$S =$ 反向開關	$E_g =$ 柵極電壓
$I_p =$ 板極電流	

421. 三極熱游子管 (three-electrode thermionic tube) 圖示於圖 427, 此管為一板極 (plate) P , 一加熱燈絲 (filament) f , 及一柵極 (grid) g 所組成, 均封置於一高度抽空之玻璃泡內。在一種構造中,

板極為圓筒形，燈絲則為一直導線，與圓筒之軸相合。在此式中，其柵極為一開敞之螺旋線，其軸適與燈絲相合。在另一種構造中，其板極為一平片，而其柵極則為繞一線於前後成參差形於一平面內而成。其燈絲為倒 V 或雙 V 形。如此，板極，柵極，及燈絲置於三平行平面上，柵極平面介乎其他二平面之間，通常與燈絲之距離遠較與板極之距離為近。總之，無論何種構造，柵極之位置須使其自燈絲向板極流動之電子，經過柵極條線之間也。

板極電流 I_p 之數值，可自下述之三因數決定之：

a. 板極電壓 E_p 圖 428 示板極電流隨板極電壓變化之情形。

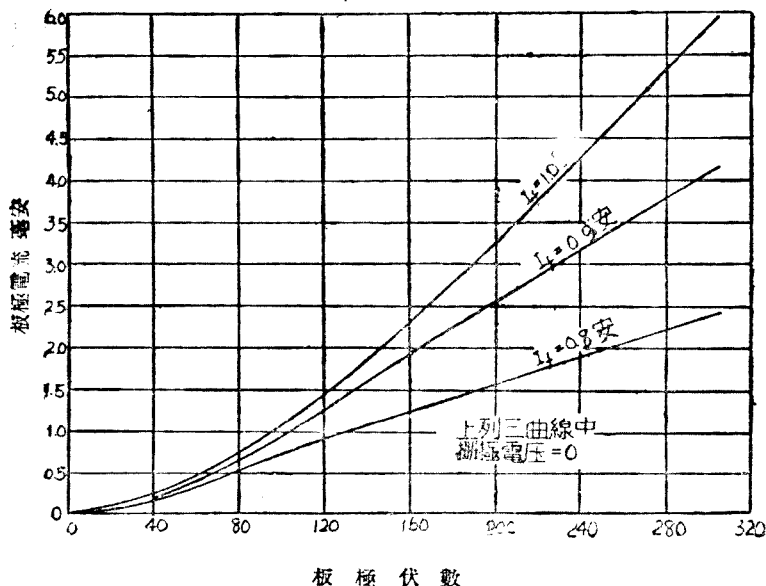


圖 428. 三種熱電子管之特性曲線

如將板極電壓增加頗高(假定電管不致破裂),則此等曲線將俱變成水平,因板極電流不能超過於電子之發射,而電子之發射,僅為燈絲之溫度所決定也。現時之塗面燈絲發生電子發射之豐富,使欲得板極電流最大值所需之電壓,遠大於電管能連續運用而不使電板過熱之最大板極電壓。

b. 燈絲電流 I_f 燈絲溫度愈高,則電子發射愈大,而板極電流亦愈大,如圖 429 所示。

c. 柵極電壓 E_g 如圖 427, 柵極電壓可移動變阻器 r 之滑動接觸以變更之,且可用開關 S 變更其方向。如與柵極以正電位,則吸引熱燈絲周圍劇 振動之雲集電子。被吸引電子之一部分,衝擊柵極之

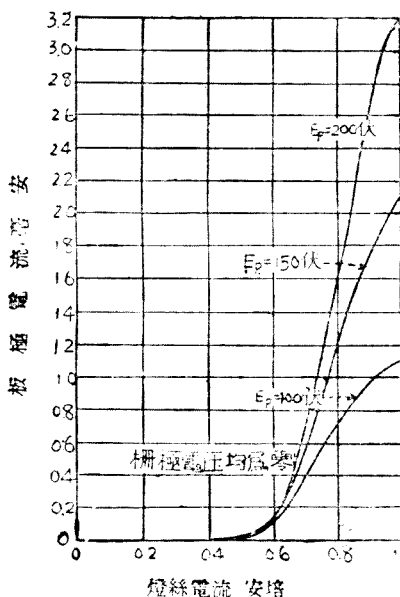


圖 429. 小型三極熱游子管之特性曲線

線條,其結果造成微弱之柵流 I_g ,但當電子達柵極時,其進行速率甚高,而其大部分經過柵條之空隙,而為板極所吸收。

反之,如與柵極以充分之負電位,其作用於電子之拒力,將阻止電子之經過,而板極電流為零。

故板極電流可改變柵壓以控制之。更有進者,產生 I_p 變化所需 E_g 之變化,遠小於產生同樣 I_p 之變化所需 E_f 之變化,其理由為柵極與燈絲相距較近也。

E_p 之變化與中和此變化所生 I_p 之效應所需 E_c 變化之比，謂之電管之放大因數(amplification factor)。圖 430 示 102 D 式管之板極電流依柵壓而變之情形。

注意圖 430，當柵極電壓為零時，如增加板極電壓自 150 至 200 伏，板極電流自 2.10 增至 3.25，但此板極電流之同一增加亦可增加柵極電壓至 1.7 伏而得之。故此處之放大因數為 $\frac{200-150}{1.7} = 29.4$ 。

422. 熱游子管放大器 三極熱游子管在電話，無線電，及電力控制電路中，多作放大器(amplifier)之用。圖 431 示標準放大器之連接法。如加一交流電勢於放大器之輸入端，則輸出端將發生一同

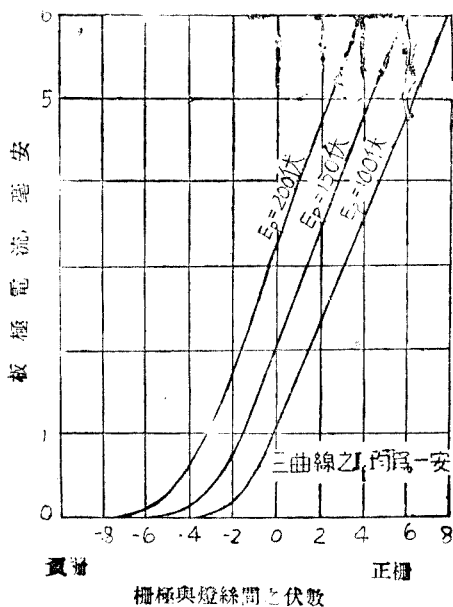


圖 430. 小型三極熱游子管之特性曲線

頻率之大電勢。其作用如次：輸入之交流電勢使柵極電壓與之同步變更，是則使板極電流隨輸入電勢同步而增減。此脈動板極電流，在輸出變壓器中產生一脈動磁流，而此磁流感應成一交流電勢於副線捲中。輸出電壓與輸入電壓之比，視二變壓器之電壓比及管之放大因數而變。

如需大於一單管所能得之放大，則可將第一管之輸出電勢，施於第二管之柵極，而將第二管之輸出電勢施於第三管之柵極，直至得到所需之放大為止。所有輸出功率俱取之於 B 電池組，僅其中最末一管，輸出功率，蓋柵極並不吸收任何能量，但僅用如作制動器，放出 B 電池組之能量而已。

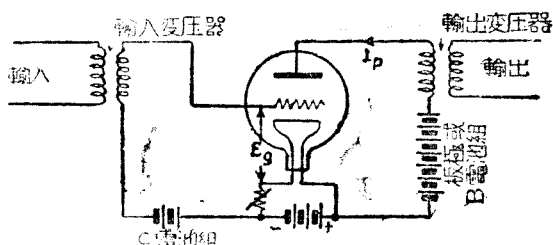


圖 431. 熱游子放大器

423. 熱游子管振蕩器 (oscillator) 因放大器輸出之交流功率，遠大於其輸入之交流功率，故所需輸入，應可取自輸出之一部，如是，放大器作用如交流發電機。圖 432 示得此結果之一方法。施交流電勢於柵極與燈絲之間，將使一交流重疊於經過線圈 L 之板極電流，此 L 線圈中之交流，因互感作用，在 A 線圈中感應一交流電勢，而施之於柵極上。

線圈 L 與容電器 C 合成一振蕩電路，其振蕩固有頻率如方程式：

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

此處 L = 電感，以亨計， C = 電容，以法計，如此電路中之振蕩一經開始，則因 L 及 A 間之互感作用，電管援助其振蕩，而振蕩將益增，其振幅僅為管之特性曲線所限制。

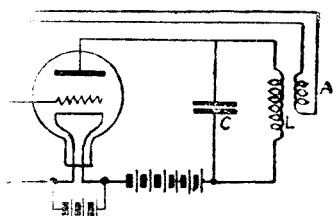


圖 432. 熱游子管振蕩器

欲得振蕩之開始，並無困難。實則，即燈絲電流之開關關閉時，其於電路之擾動，已足使振蕩開始。

自振蕩電路攝取功率，可用第三線圈，自線圈 L 因互感應而得功率，或直接跨接負載於振蕩電路。如攝取大量之功率，則在任何一法中，其頻率將受影響。放大器輒用以增加功率，如此，其頻率不受負載之影響，因放大器輸入所吸收之交流功率幾為零也。

熱游子管振蕩器現時主要用於電訊，此器已取其他各式之交流發電機而代之，在無線電傳送固然，即在載波電話及電報上亦然，其產生正弦波交流之效率，今尚小於百分之 50，此較低之效率使其未能採用於工業電力。然將來或可占此中之一地位也。

熱游子管振蕩器常以發電機稱之，但嚴格言之，與其稱曰發電機，毋寧稱曰變流器。因其變直流為交流，其板極電池組即供給直流者也。

424. 光電管(photoelectric cell) 當光線投射於真空內之鈉，鉀，鎂，或銣之清潔面上時，則有電子自此金屬面上發射。其真空程度無須甚高，但須無氧氣存在，否則金屬之表面將受氧化也。

光電管為抽空之玻璃泡，含有二電極。此電極之一為感光靈敏之金屬薄膜，澱積於金屬板上或玻璃泡之壁上。在後者之情形，薄膜上開有一窗，以便光之射入(圖 433)。另一極稱曰陽極，為柵形或環形不感光金屬，通常為鎳質。陽極之目的，所以收集由感光金屬薄膜所發射之電子，其為柵或環形者，使其對於光線之阻礙，可減至甚少也。

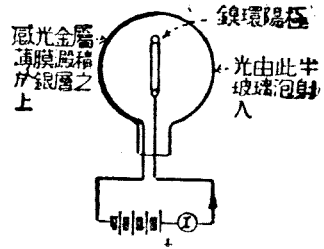


圖 433. 光電管

欲陽極集收發射電子，則必使其帶正電荷，此可以圖 433 所示之電池組得之。感光層下銀層之目的，用以減少電路之電阻也。

電流之大小約與射於感光金屬薄膜之光量成比例。是故光電管之作用，頗以人目，且在許多機械運用中，替代人目，其進展甚速。例如假定欲數製罐廠中皮帶傳送器上所經過之鐵罐。置一光電管於皮帶之一邊，由皮帶他邊照光柱於其上。每罐經過則隔斷光柱，使電管之電流減低。此電流之脈動係用以動作其計數器。計數實為光電管之最簡應用。在有時間性運用中，如不易用齒輪連接於連續運用之間，以保證同步，亦多用光電管。割剪機常用此種電管以定時間。用簡單電碼如莫爾斯寫成之信號，光電管能讀之，電影業之放聲，以光電管控制之，此管讀出電影底片邊緣上為之製備之特種電碼。

第四十一章 實 驗

電路中電流之控制 欲變更圖 434 A 線圈 C 之電流，接一可變電阻 R 於電路中。此變阻器應能負載電流 I 而不致過熱。

如線圈 C 之電阻較電阻 R 為大，則電流變更將不甚大。在此情形下，示於圖 434 B 中之電位計接法，對於實驗工作較為合用，如可

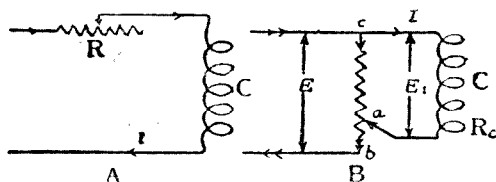


圖 434. 電路中電流控制法

移接觸點 a 置於 b 處，則電壓 E 等於線間電壓 E ，如接觸點 a 置於 c 處，則電壓 E 為零。移動接觸點於此二點之間 電壓 E_1 及電流 I 可有任何數值，自零起以至 $E_1 = E$ 及 $I = E/R_c$ 。如電阻 R_c 小，而接觸點 a 近於 b ，如圖 434 B 所示，則 ab 中電流可以甚大，故變阻器使用時必須注意，如覺太熱，即將電路斷之。

實驗 1 磁場線圈電路中電阻之量法

實驗之目的 用各種電流值 以求直流機並激磁場電路中之電阻。

參考 86 及 45 節。

接法 倘如圖 435 接法不能得充分之電流範圍，則用圖 434 B 接法。

讀數 伏數及安數。

報告 說明作此實驗之方法，並將下列問題之答案附於報告中：

1. 求磁場線圈電路之電阻

2. 溫度對電阻之影響如何？用實驗方法證此結果，即於電流已通 30 分鐘後量出電阻。

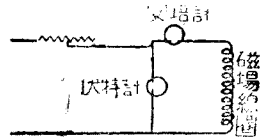


圖 435.

3. 此機滿載輸出百分之幾為激磁損失？機之額定輸出可自名稱片 (name plate) 上得之。

4. 欲求 50-仟瓦，210-伏發電機並激磁場電路之電阻，如已知激磁損失小於百分之 4，所用儀器之大小如何？

實驗 2 電樞電路中電阻之量法

實驗之目的 用各種電流值以求直流電樞電路中之電阻

接法 參看 514 頁圖 434 A，所用控制電流之變阻器，應能負載機之滿載電樞電流而不致損壞。

讀數 跨於兩端間之伏數；跨於整流器之伏數，可將伏特計連線觸於電刷下之截片得之 (安數)。

報告 說明作此實驗之方法，並將下列問題之答案附於報告內。

1. 繪出電樞電阻對於電流之曲線。

2. 繪出電刷接觸電阻對於電流之曲線。

3. 此機輸出百分之幾為滿載時之電樞電阻損失及電刷接觸電

阻損失?

4. 電刷上之壓力對於電刷接觸電阻有甚大之影響否? 以實驗試之, 試想限制電刷壓力者為何?

5. 欲求 10-仟瓦, 240-伏發電機電樞電路之電阻, 如已知全電樞電路中之損失, 在滿載時小於 4%, 所用儀器之大小為何?

實驗 3 直流並激電動機速率之調節

實驗之目的 求一直流並激電動機無載時之速率變更依:

a. 激磁電流而變, 電樞電壓為一定。

b. 電樞電壓而變, 激磁電流為一定。

參考 121, 128, 及 130 各節。

接法 圖 436。

讀數 激磁電流, 電樞電壓速率。

曲線 a. 速率與激磁電流。

b. 速率與電樞電壓。

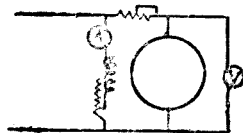


圖 416。

問題 1. 不用公式以解釋各曲線之形狀。

2. 如開動一並激電動機時, 未將開動電阻串聯於電樞電路中, 將發生何事, 在此情形下, 將有滿載電流之若干倍流經電樞? (用上次實驗求得之電樞電阻之值)。

3. 何謂電動機之反電勢, 及其對於所加電勢有何關係?

答此問題可作 119 節之實驗。

4. 如當運用時, 磁場線圈電路開斷, 將發生何事? (切勿作此實驗)

5. 試繪實驗室中有一無電壓釋放器及一過載危險之任何開動

器之連接圖。

實驗 4 直流發電機之電壓

實驗之目的 求一直流發電機無載時之電壓依:

a. 激磁電流而變, 速率為一定。

b. 速率而變, 激磁電流為一定。

參考 110 節。

接法 (考看 120 頁之圖 101)

讀數 電壓, 激磁電流, 及速率。

曲線 a. 電壓與激磁電流。

b. 電壓與速率。

問題 1. 何以無激磁電流時尚有一小電壓?

2. 解釋各曲線之形狀。

3. 如何反轉發電機之極性, 即如何反轉電壓之方向?

實驗 5 直流發電機之調整

實驗之目的 求速率一定發電機之端電壓如何依負載而變:

a. 發電機為另激。

b. 發電機為並激。

c. 發電機為複激。

參考 107 節至 114 節。

接法 參看圖 103, 104 及 105。

讀數 端電壓, 線電流, 激磁電流, 及速率。

曲線 端電壓在線電流之底線上。

並激電流在線電流之底線上。

問題 1. 另激發電機之端電壓何以因負載之增加而減少? 在滿載時若干電壓降落係由於電樞電阻?

2. 何以並激發電機之電壓降落較另激者為大?

3. 將電刷自中性位置向前移動, 其影響若何?

4. 複激發電機之主要利益為何?

5. 如複激發電機之串激磁場線圈係接成與並激線圈相反, 則端電壓將如何依負載之增加而變化?

6. 如發電機為超複激, 如何可使此機成為平複激?

7. 如一並激發電機旋轉於某一方向, 其電壓可以發生, 若反轉其旋轉方向, 何以其電壓不能發生? 以實驗試之。

實驗 6 直流電動機之加載試驗

實驗之目的 求並激, 串激, 及複激電動機之效率與其速率及轉矩特性, 用一阻以作電機之負載, 所加電壓為一定不變。

參考 第十七及第十九等章。

接法 圖 113, 121, 及 125。

讀數 外施電壓(一定), 電樞電流, 並激電流(一定), 速率及轉之讀數。

曲線 速率及轉矩於電樞電流底線上。轉馬力及總輸入於電樞電流底線上。效率於轉馬力底線上。

問題 1. 如何可變每機之轉動方向?

2. 每機適用於何種用途?

3. 機之磁場線圈當運用時逐漸發熱, 此事對於每種電動機之速率, 在無載及滿載時有何影響?

4. 每種電動機之速率，對於某一負載，如何能使之變更？

5. 當並激電動機之速率藉電樞電路中之電阻調節時，何以其速率調整較差？以實驗試之。

6. 不用公式，解釋速率、轉矩、及效率諸曲線之形狀。

實驗 7 直流電動機之開動轉矩試驗

實驗之目的 求並激、串激及複激電動機之開動轉矩與其電樞電流之關係。

參考 第十七章。

接法 與實驗 6 相同，用一電阻於電樞電路內以限制其電流，（切勿將開動箱用之於此目的）。

讀數 電樞電流及軛之讀數。

曲線 轉矩繪於電樞電流底線上。

問題 1. 對於同一電樞電流，開動轉矩與實驗 6 所求得之運用轉矩相較如何？理論上表示應有一差別否？

2. 何以串激電動機對於重大開動用途較為適宜？

實驗 8 直流電動機之損失及效率

實驗之目的 量並激電動機之機械及鐵損失，電樞銅損失，以及激磁損失，自此等數目計算效率。

參考 第十八章。

作此實驗時，應不給指示。接線圖務須繪出，且在接線以前，應決定必需儀器之大小。

報告 說明作此實驗之方法，繪效率曲線至 25% 過載於馬力輸出之底線上，且與實驗 6 加軛試驗所得者相比較；如結果相差甚

巨，則何者較為可靠？

實驗 9 直流發電機之發熱試驗

實驗之目的 轉動一並激發電機使與電廠並行，且求此機在滿載時之溫升。

參考 40, 143 及 147 等節。

接法 圖 172。

讀數 在試驗開始時及以後每 10 分鐘量磁場線圈電路之電阻；且同時讀取磁場線圈表面之溫度，當發電機停止時，迅速求出電樞鐵心及電樞線圈之溫度，發熱試驗至少應有一小時半之時間。

曲線 觀察磁場線圈表面之溫升，及藉電阻量得之溫升作於時間底線上。

問題 1. 解釋各曲線之形狀。

2. 何以藉電阻量得磁場線圈之溫升較以溫度計量得者為大？

實驗 10 三線制之電壓調整

實驗之目的 求三線制電壓調整。

參考 236, 237 及 238 等節。

接法 用一均衡機(參看圖 208)或

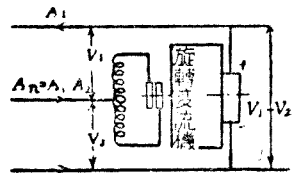


圖 437。

一三線電機。如兩者均無，可將一單相旋轉變流機及一自耦變壓器聯成如圖 437 所示，以成一三線發電機。

讀數 變更此制兩側上之負載自完全平衡，當 $A_1 = A_2$ 及 A_n 為零，至一最大不平衡，即當一側線上之負載為零。讀取 V_1, V_2, A_1 及 A_2 之示數。 $V_1 + V_2$ 保持一定。

曲線 繪 V_1 及 V_2 對於不平衡電流 $A_1 - A_2$ 。

問題 1. 解釋所用儀器之作用。

2. 三線配電較勝於二線制之利益如何？

3. 解釋各曲線之形狀。

實驗 11 保險絲試驗

實驗之目的 求保險絲之特性。

參考 166 節。

接法 圖 438。

讀數 裝於接線板保險絲之長度，平均電流，開關 S 關閉以後至保險絲熔化之時間。

曲線 繪保險絲四種長度之電流於時間底線上，自此曲線繪另一曲線，以 10 秒鐘熔化時間之電流於長度之底線上。

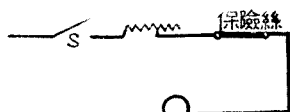


圖 438。

問題 1. 解釋各曲線之形狀。

2. 如一保險絲定為 5 安，吾人希望其繼續負載之電流為何？又僅載 30 秒之電流為何？

實驗 12 斷路器之校準

實驗之目的 校準一斷路器。

參考 74 節。

接法 與保險絲試驗相同。

讀數 開斷之安數，及活塞之位置。

曲線 繪一可附於斷路器之電流標度。

問題 1. 解釋所用斷路器之構造及運用。

2. 斷路器及保險絲之利弊為何? 各宜於何種電路?

3. 若一 10-安之保險絲及一校裝於 15 安之斷路器, 用以保護同一電路, 當電路上有過載時, 何者將先開斷?

4. 如斷路器及開關同在一電路之中, 何者當先關閉?

實驗 13 交流串聯電路

實驗之目的 求頻率變化對於交流電路常數之影響。

參考 第二十八章。

接法 圖 439。

讀數 變更交流發電機之速率且調節交流發電機之激磁以保持 E_t 不變, 記錄 E_r , E_L , E_C , I , 瓦特數及速率之讀數。用直流量電阻 R 及線圈 X_L 之電阻。

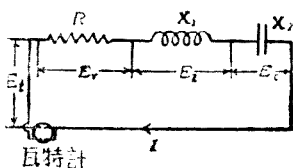


圖 439.

曲線 於一頻率之底線上, 繪感抗

$X_L = \frac{E_L}{I}$, 容抗 $X_C = \frac{E_C}{I}$, 電阻 R 及功率因數 $\left(\frac{W}{E_t I} \right)$ 。

問題 1. 對於任一頻率, 依標度繪電壓之矢量圖, 比較如此求得之 E_t 值與實驗所得者。

2. 計算線圈 X_L 之自感係數及容電器 X_C 之電容。

3. 何謂共振? 在此實驗中, 共振在何頻率發生, 且該頻率與理論

值 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 相較如何?

4. 在何種情形下, 電壓 E_L 可較外施電壓 E_t 為大?

實驗 14 交流電路特性之預求

實驗之目的 預求電路之特性而與實際試驗所得之結果比較。

參考 第二十八章。

接法 用上次實驗相同之電阻電感及電容而連接之如圖 440。

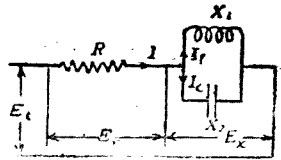


圖 440。

曲線 使交流發電機之正常電壓 E_t 與上次實驗相同，預求 E_r , E_x , I_r , I_c 及 I 之值。

繪此種數值對於頻率之曲線，於是藉實驗以求同樣曲線，且比較兩者之結果。

實驗 15 定壓變壓器之特性

實驗之目的 求一變壓器之特性。

參考 第三十章。

接法 應用一低電壓變壓器連接如圖 441 所示，或兩相同變壓器連接如圖 442 所示，其高壓引線用紫帶包裹

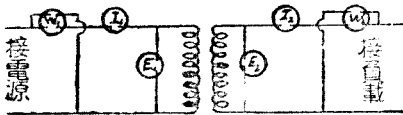


圖 441。

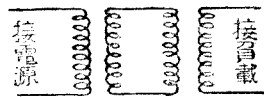


圖 442。

讀數 保持 E ，副線捲側功率因數 $\frac{W_2}{E_2 I_2}$ ，及頻率均不變， I_2 之值自零增至 25% 過載。記錄 E_1 , I_1 , W_1 , E_2 , I_2 及 W_2 諸示數。且以直流量主線捲及副線捲之電阻。

曲線 繪效率 $\left(\frac{W_2}{W_1}\right)$ ，電壓 V_2 及主線捲及副線捲之功率因數對於 I_2 之曲線。

問題 1. 主線捲側功率因數較小於副線捲側者，尤其在輕負時

時，何故？

2. 何以電壓 E_2 因負載增加而減低，且何以電感負載時之電壓降落較大於無感負載時？

3. 計算滿載時線捲中之電阻損失，且藉計算以求滿載效率而與試驗所得之結果比較。

4. 如變壓器每日 24 小時均接於電源，然每日僅 5 小時荷有滿載，試求全日效率。

實驗 16 交流發電機之調整

實驗之目的 自無載飽和曲線及短路曲線而求一單相交流發電機在 100%，80% 及零功率因數時之電壓調整曲線，且與藉實際負載試驗所得在 100% 功率因數之結果相比較（電燈組有一約為 10% 之功率因數）。

參考 第三十三章。

接法 圖 350。

讀數 a. 無載飽和曲線：在一定速率時，電樞伏數及磁場電流。

b. 短路曲線：電樞安數及磁場電流，速率與前相同。

c. 負載曲線：端電壓及電樞電流激磁一定，速率不變如前。

d. 用直流量電樞電阻。

曲線 a. 無載飽和曲線；電樞電壓作於磁場電流底線上。

b. 短路曲線；電樞電流作於磁場電流底線上。

c. 自曲線 a 及 b 求出之電樞電抗繪於磁場電流底線上。

d. 負載曲線；端電壓作於電樞電流底線上，先藉計算求在 100%，80% 及零功率因數，再藉試驗求在 100% 之功率因數。

- 問題 1. 何以白熾電燈組之功率因數約等於 100 %?
2. 試述所用求交流發電機電樞電抗之方法之理論。
3. 何以在低功率因數時電壓降落較高功率因數時為速?
4. 何以交流發電機以任伏安數規定其大小而不以任瓦數?
5. 實際上交流發電機於各種負載及功率因數時, 其電壓如何保持不變?

實驗 17 同步電動機之開動及運用特性

實驗之目的 開動一同步電動機, 並求其運用特性。

參考 第三十四章。

接法 三相機可用圖 443 之接法。

開動之方法 用直流電動機藉皮帶以開動同步電動機, 且調整同步電動機之速率及其激磁直至電壓 E_2 等於 E_1 , 且同步燈全體每暗一次有數秒鐘之久 (如燈不全體同時黑暗, 則互換電動機之兩接線)。

當三燈同時全暗, 則將三開關 S_1, S_2 , 及 S_3 同時關閉, 於是卸去皮帶而使開動電動機分開, 用軛以增加同步電動機之負載。

讀數 使外施電壓 E_2 , 頻率, 及軛之讀數均不變, 對於不同之激磁電流 I_f , 及在三個不同軛之位置記取電流 I 及瓦 ($W_1 + W_2$) 之讀數。

曲線 繪電樞電流, 及功率因數

$$\left(\frac{\text{瓦數}}{\text{伏安數}} \right)$$

於激磁電流底線上。

問題 1. 解釋各曲線之形狀。

2. 同步電動機較感應電動機之利弊為何？

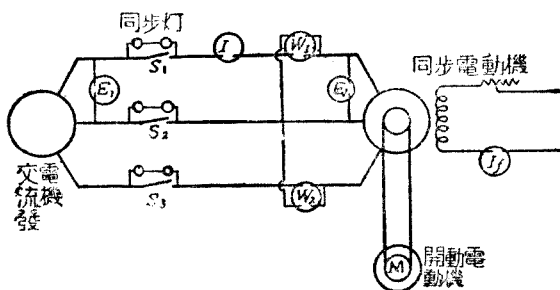


圖 443.

3. 負載之功率因數對於交流發電機之大小及供給負載之輸送線中功率損失之影響為何？

實驗 18 旋轉變流機之特性

實驗之目的 求旋轉變流機之特性。

參考 375 節。

接法 此機在交流側連接如一同步電動機(參看實驗 17),而同時在直流側連接如一并激發電機。

開動方法 此機可自直流側作一電動機以開動之,不必另用一開動電機,然於連接至交流電源以前,必須先使之同步如同步電動機然(參看實驗 17)。

讀數 使外施電壓 E_2 , 頻率, 及直流側之輸出 $E_3 I_3$ 均不變, 用不同值之激磁電流 I_f , 記取電流 I 及瓦數 W 之讀數。對於直流側之輸出為四分之一, 二分之一, 四分之三及滿載時各取一組完全讀數。

曲線 繪電樞電流及功率因數

$$\left(\frac{\text{瓦數}}{\text{伏安數}} \right),$$

於激磁電流底線上。

繪外施電壓 E_2 及直流電壓 E_3 於直流 (I_3) 底線上，

繪效率於仟瓦輸出底線上，在功率因數為 100 % 或其他之值。

問題 1. 實驗 17 中之問題 1 及 3，如該實驗未曾做過，試解答之：

2. 何以直流側之電壓與磁場電流無關。而如何可以控制此電壓？

實驗 19 多相感應電動機之開動及運用特性

實驗之目的 求一多相感應電動機之開動及運用特性。

參考 第三十二章。

接法 學者須繪一接線圖並註明所需儀器之大小。

讀數 明了在開動時外施電壓之增大對於電流，轉矩及功率因數之影響（以低值外施電壓開始）。

又用讀數明示效率，功率因數，電流及速率對於馬力輸出之變動，外施電壓及頻率係正常而不變者。

曲線 繪所須明示各特性之曲線。

問題 1. 對於一定轉矩，何以電動機之電流在靜止時較在運轉時為大？

2. 鼠籠式感應電動機較捲轉式感應電動機之利弊為何？

3. 鼠籠式感應電動機與同步電動機之相對利弊為何？

4. 解釋功率因數曲線之形狀，何以功率因數在輕載時為低？

5. 解釋速率曲線之形狀。

6. 如何可使感應電動機之旋轉方向反轉?

7. 對於一定負載，如何能使感應電動機之速率變更？對於工作機械之運用，感應電動機與直流並激電動機相較如何？又對於起重機之運用，與直流串激電動機相較如何？

8. 外施電壓之增加或減少，對於感應電動機之速率，在無載及滿載時各有何影響？

實驗 20 變壓器之接法

實驗之目的 求變壓器各種連接時電壓及電流之關係。

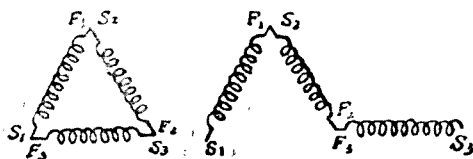


圖 444A.

圖 444B.

參考 第三十一章。

接法 a. Y 與 Y, 圖 317。

b. Y 與 Δ ,

c. Δ 與 Δ ,

d. 由三相變為二相之司高脫接法。

(注意) 每一變壓器應以保險絲保護之，以防短路。例如，若 Δ 連接組中第三變壓器不如圖 444A 而連成如圖 444B，則 S_1 與 S_3 兩點間將有一大電壓存在，若連接一處，則將有一極大電流經過已通電路之內。

讀數 量每相電壓，線間電壓，每變壓器中之電流，及線中電

流，以所得數值與理論值比較之。

問題 1. Y 與 Δ 接法之利弊為何？

2. 如移去 Δ 連接組中變壓器之一，仍能得三相功率，然 Y 連接組則不然，試以實驗證明之。

習 題

第一章至第六章

1. *a.* 一小室以一 40-瓦 110-伏之鎢絲燈照明之。求此燈所取之電流。
b. 如每仟瓦小時之電能值銀 10 分，則此小室照明 5 小時需銀若干？
2. 一 10-馬力 220-伏電動機之效率為百分之 85。求：
a. 滿載時電動機之輸入仟瓦。
b. 滿載時電動機所取之電流。
c. 每年之用費，設此電動機每星期用滿載 48 小時，而每仟瓦小時之電能值銀 3 分。
d. 每仟瓦一年之值，依前述價目計算。
3. 一 110-伏發電機上之負載，包括 40-瓦之鎢絲燈 200 盞，500-瓦之電熨斗 10 只，及 10-馬力之電動機一架，其效率為百分之 85。求：
a. 發電機之輸出仟瓦。
b. 負載所取之電流。
c. 推動引擎之馬力，設發電機之效率為百分之 88。
4. 舉 2,000 磅之重物，於一分鐘內升高 500 呎，求所作功之爾

格數及所耗功率之仟瓦數。

若起重機之效率為百分之 75, 而電動機之效率為百分之 80, 則起重期中所需之平均馬力為若干? 如電壓為 110 伏, 則自線路上取得之平均電流為若干?

5. 保持一 4 噸車行駛於每時 36 哩, 需 800 磅之曳力; 如線路電壓為 550 伏, 而電動機效率為百分之 90, 求電動機所發之馬力, 及自線路上取得之電流。
6. 求在 5 分鐘內融化 10 磅冰所需之功率, 並求自 110 伏線上所取之電流及費用, 設每仟瓦小時之電能值銀 6 分。(冰之熔解熱為 80 磅卡)。
7. 一長 20 厘米之導體, 以每秒 30 米之速度, 移動經過每平方厘米 8,000 線之均勻磁場。
求此導體兩端間之電勢。
若此導體之兩端接於一外電路, 其電阻使經過導體中之電流為 50 安, 求其減速力。
求保持此導體於運動所需之功率。
8. 有無‘每秒一瓦’之單位?
9. 向電力公司購得者為能量抑功率?
帳單上所列者為仟瓦抑仟瓦小時?
10. 某甲聲稱, 其電功率之價目為每仟瓦 10 分, 其命意為何?
11. 一屋中用 40-瓦之電燈 5 盞, 每盞每日用 4 小時。在每仟瓦小時 10 分之電價時, 每月需費若干?
12. 用 6 安之保險絲, 多少 40-瓦之電燈可安全應用於 110-伏之

線路上?

13. — 220 伏發電機之負載，爲 1,000 馬力之電動機，其平均效率爲百分之 80。求：
- 供給負載之電流。
 - 發電機之輸出仟瓦數。
 - 其推動引擎之馬力，設發電機之效率爲百分之 95。
14. — 長 20 厘米之導體，以每秒 40 米之速度，移動經過每平方厘米 12,000 線之均勻磁場。
- 求此導體兩端間之電勢。
- 若此導體之兩端接於一外電阻，使導體中之電流爲 50 安，求其減速力。
- 求保持此導體於運動所需之功率。
15. 長爲 10 厘米之導線 40 根，互結成串聯，且使之以每秒 3,000 厘米之速度，切過每平方厘米 12,000 線之磁場
- 求此電路中所發生之電勢。
 - 設此電路之電阻爲 10 歐，則流動之電流爲若干？保持此導線於運動之功率爲若干瓦？
 - 保持此導線於運動所需之力爲若干？
 - 依所得之數值，證明 力 \times 速度(瓦數) = 伏 \times 安。
16. — 電烙鐵自 110 伏之電路上取 550 瓦。其發熱線圈之電阻爲若干？
- 如電壓減低百分之 10，則烙鐵之溫度約減若干？
17. 如以 10 盞 40 瓦之鎢絲燈，與此烙鐵並聯，則自線路取得之

總電流爲若干？烙鐵中之電流是否將因添接電燈而變更？

18. 如現將並聯之 10 燈，改爲與烙鐵串聯於 220 伏之線路上，則自線路上取得之電流，電燈部分之電壓降，及烙鐵上之電壓降各爲若干？

如短接其 5 燈，則電燈部分與烙鐵上之電壓降各爲若干？

19. 三電阻， $R_a = 10$ 歐， $R_b = 15$ 歐， $R_c = 20$ 歐，互相串聯於 110 伏。求通過之電流及各電阻上之電壓降。

同上電阻互相並聯於 110 伏。求通過各支路之電流，及自線路上取得之總電流。

當 R_a 與 R_b 並聯而與 R_c 串聯於 110 伏時，求通過各電阻之電流，總電流，及各電阻上之電壓降。

20. 自一相距 500 呎之電廠，供給 40 盞 500 瓦 110 伏之電燈於一大廳，求：

- 所需之總電流。
- 可以安全應用之最小風雨線（閱附錄表 IX）。
- 此種導線 800 呎之電阻。
- 發電室所需之電壓變動範圍，以保持無論用若干電燈時之電燈電壓於 110 伏而不變。
- 所需導線之大小，使電燈電壓之變動，不致超過百分之 2.5，而發電室維持一定電壓。

21. 在一半哩長線路之端上，需 600 伏之功率 100 仟瓦，其線路電壓降，須不致超過端電壓之百分之 5。求所需銅線與鋁線兩者之大小。（鋁之電阻係數 1.62 倍於銅之電阻係數）。

設鋁每立方吋重 0.1 磅，每磅值銀 30 分，而銅每立方吋重 0.32 磅，每磅值銀 16 分，則用何者較廉？

22. 若此 100 仟瓦之功率，每日用 8 小時，每年用 300 日，則線路上之每年電能損失費爲若干？設電能每仟瓦小時值銀 2 分，而銅之利息及折舊爲百分之 1。

依上述之利息及電價，導線最經濟之大小爲若干？

23. 一衛斯吞直流伏特計之電阻，約每伏標度 100 歐，問以一 150-伏之伏特計，跨接於 125 伏時，將取若干電流？欲使指針之偏轉爲 125 伏時，需若干功率？

24. 何以伏特計含有高電阻而安培計含低電阻？

如將圖 26 中之伏特計與安培計之地位交換，則此兩電計將有如何結果？ E 爲 110 伏。

25. 兩伏特計， A 之電阻爲 10,000 歐，而 B 爲 5,000 歐，互相串聯於 150 伏上。兩伏特計上之示數各爲若干？

26. 一 150-伏伏特計之電阻爲 10,000 歐，如欲使在 450 伏時作滿標偏轉，則需若干電阻與之串聯？

27. 一 25-安電表之電阻爲 0.002 歐。在滿標偏轉時，跨於此電計上之電壓降爲若干？

說明用以讀出滿標偏轉時爲 100 安所需之分流器。

28. 如誤用一安培計以量 150 伏線路之電壓，則將有如何之遭遇？

如誤用一伏特計置於線路中，以量流過之電流，則將有如何結果？

29. 白鎳鉻線(用於電熱器者)上, 割取 8 呎長之樣品一段, 其平均直徑為 0.161 吋。其電阻測得為 0.186 歐。在同溫度時, 此導線每圓密爾呎之電阻為若干?
30. 一長 2.156 呎, 平均截面 0.185 平方吋之鋁條, 其電阻為 297 微歐。在此溫度時, 鋁之每圓密爾呎之電阻為若干?
31. 某導體之電阻, 自 23°C 至 75°C , 增加百分之 37。此金屬之溫度係數為若干?
32. 某電磁鐵之線圈, 在室內溫度 20°C 時, 其電阻為 20 歐。通電流一小時後, 其電阻變為 24 歐。其電阻增加之原因何在? 線捲之平均溫度若干? 如其所加電壓為 110 伏, 則在該小時之始及該小時之終時, 線圈中之電流為若干?
33. 一電機之磁場線圈溫度, 經說明在連續滿載時, 須不致高於 50°C 。某機之磁場線圈之電阻, 在 20°C 時, 為 60 歐, 而該機經 3 小時之滿載運用後, 增至 70 歐。該機適合前述之要求否?
34. 自一 600-伏之電力廠, 輸電於 3 哩外; 總線路電阻為每哩 0.5 歐。求發出之功率與受端之電壓, 當電流為 20 安時; 為 180 安時; 為 300 安時。
35. 在前題中, 電能在線路上傳輸之最大率為何? 此時, 受端之電壓及電流為若干?
36. 某並激發電機磁場電路之電阻在 25°C 時量之。經負載運用後, 測知其電阻增加百分之 20。磁場線圈之平均溫度為

何? 溫度係數 = 0.004,

37.14 號線(室內接線之最細者)之直徑為 0.064 吋。求此線截面之圓密爾數。

求此線在 25°C 時每 1,000 呎之電阻。在 0°C 時, 銅之電阻係數 = 9.7 歐每圓密爾呎。

38. 一高電阻 R 以一毫安培計 I 及一伏特計 V 量之, 如圖 1。

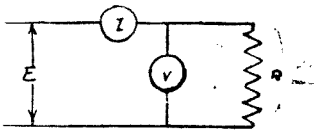


圖 1

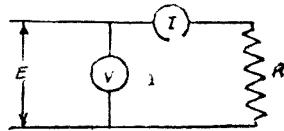


圖 2.

兩計之電阻各為 1.0 及 17,500 歐。若安培計上讀得 42.1 毫安, 伏特計上讀 138 伏, R 之值為何?

若謂 $R = \frac{V}{I}$, 則其百分誤差為若干?

39. 如其所施電壓 E 及電阻 R 不變, 則圖 2 中兩表上之示數各為若干? 若謂 $R = \frac{V}{I}$, 則其百分誤差為若干?

40. 某轉圈式電計之線圈電阻為 1.5 歐, 以 50 毫伏加於其兩端, 則生滿標偏轉。

a. 如何可以此電表作 50 安之安培計用? 規定其分電路(電阻及載流量)。

b. 如何可以之作 150 標度之伏特計用? 規定其串聯電阻(電阻及載流量)。

41. 因欲量一未知之高電阻, 一 150 標度之伏特計與之串聯於

220 伏之幹線上。伏特計之電阻為 17,000 歐。如伏特計上讀得 40 伏，則該未知之高電阻為若干？

42. — 5 哩長之電燈電路，置於地下溝中，每一導線至地之絕緣電阻為每哩 4 兆歐。設兩線間之電位差為 2,000 伏。則其漏電流為若干？

此絕緣導線 4 哩長之絕緣電阻為若干？

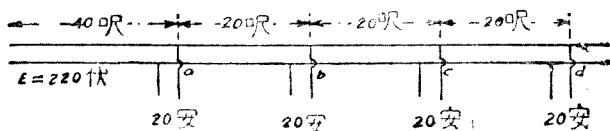
43. — 110-伏制。其每一導線之絕緣電阻，為每哩 200 兆歐。每哩之漏電流為若干？

44. — 2 哩長之線路，輸電 200 仟瓦於 550 伏，其穿過絕緣物之漏電流，不宜超過額定電流之百萬分之一，問其每哩導線之絕緣電阻為若干？

45. 6 歐與 8 歐之兩電阻，並聯於一未知電壓之線路間。如其總電流為 40 安，則通過各電阻之電流為若干？此線路之電壓為若干？

46. 42 安之電流，分流於 $r_1 = 6$ 歐， $r_2 = 1$ 歐，及 $r_3 = 21$ 歐三電阻並聯之三支路中。求各支路中之電流。所供給之總功率為若干？

47. 在下圖所示之實驗電路中，設每一饋電線之電阻為每 1,000 呎 0.4 歐，求 $a, b, c,$ 及 d 各點上之電壓。



48. — 工場欲與相距 500 呎之電燈幹線連接。其負載為 40-瓦

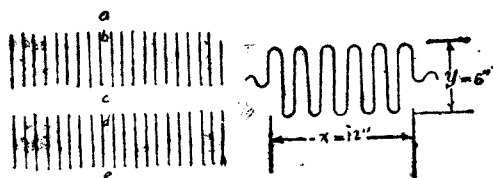
電燈 60 盞。用最細何號美規導線(閱 267 節)而結果仍能滿意。銅之電阻係數為每圓密爾呎 10.2 歐。(電燈上之電壓變動,不可超過百分之 2)。

若無電壓降之限制,則應用何種最細之導線?(閱附錄表 IX)。

49. 在前題中,若電壓為 220 伏,而電壓降之百分數同前,則可用何種大小之導線?
50. 三電車 a, b , 及 c , 各與電力廠相距 $\frac{1}{2}, 1$, 及 2 哩。 a, b 兩車各取 50 安,而 c 車適當開動,取 200 安。已知電廠電壓為 600 伏,架空線之電阻為每哩 0.42 歐,鐵軌之電阻為每哩 0.13 歐。當 c 車靜止而不取電流時, a 與 b 處之電壓為若干?
51. 某輸電線之電阻為 12 歐。欲產生 75 安之電流,發電端之電壓須為若干?(a) 當線路短接於受端時;(b) 當受端須維持 500 伏之電壓時?

第七章

52. 加負載於 2 仟瓦,10 仟瓦,50 仟瓦,及 500 仟瓦之 200 伏發電機,應各用若干歐之電阻?
何者為最大而最重之變阻器?何故?
53. 一鑄鐵柵之變阻器,係以 100 支柵條製成,各柵條排成兩層,每層 50 支。每層 50 支之柵條,結成串聯,而上下兩層結成並聯。此變阻器自 125 伏之線路取 30 安,而其中之溫度為 $t_a = 90^\circ \text{C}$; $t_b = 116^\circ \text{C}$; $t_c = 57^\circ \text{C}$; $t_d = 83^\circ \text{C}$; $t_e = 25^\circ \text{C} =$



室內溫度。

試計畫一變阻器，以吸收一 30 仟瓦，250 伏之發電機之負載， a 處之空氣溫度，不宜超過 120°C ，其負載應分 10 步增加，室內溫度為 25°C 。

54. 其一邊柵條總面積之每平方吋之瓦數， $\frac{\text{瓦數}}{xy}$ 為何？此值鮮有超過 1.0 者。
55. 上述變阻器之電阻為 2.08 歐；何以不用具有該電阻之 3 呎 6 吋長之 20 號鎳鉻線？
56. 何以一吸收 45 仟瓦，每次用 15 秒之變阻器，不需如一連續吸收 30 仟瓦者之大？
57. 一吸收 500 瓦於 10 伏之變阻器，與一吸收 500 瓦於 100 伏者之差異何如？試詳細說明之。在各變阻器中，均用同樣粗細之德銀線，比較兩變阻器中之導線之重量及排列法。
58. 吸收大量功率之變阻器，何以須用流動之水圍繞其電極？如其溫度可升高 40°C ，則當吸收 30,000 仟瓦小時，每分鐘須流過若干加侖水，以吸收其熱量？（1 瓦秒 = 5.3×10^{-4} 磅卡。）
59. 一 10-仟瓦 110-伏發電機之輸出，用德銀變阻器吸收之，時

間為 5 秒，問需德銀線若干磅？略去此時中之輻射熱。德銀之 $k=250$ 歐每圓密爾呎，比熱 $=0.096$ ，密度 $=0.31$ 磅每立方吋。其許可最大溫升為 100°C 。此變阻器之電阻應為若干歐？此導線之截面及長度應為若干？

第八章及第九章

60. — 200 匝 14 號線（閱附錄表 IX）之線圈繞一層於一木質圓環上，環之平均直徑為 12 厘米，而其圓形截面為 5 平方厘米。求：
- 在 25°C 時，線圈之電阻。
 - 當激磁電流為 4 安時，木心中之磁流密度。
 - 維持此激磁電流所需之電壓與功率。
61. 若木環易以同大小之 (a) 鑄鐵環，(b) 鑄鋼環，則當激磁電流為 4 安時鐵心中之磁流密度為若干？（應用圖 44 中之曲線）
62. 以 200 匝導線繞於鑄鋼環上，則該鋼心中產生總磁流 50,000 線所需之電流若干？設倍其加於線圈之電壓，則總磁流為若干？
- 反之，如將線圈匝數加倍，電壓及導線之大小不變，則總磁流為若干？
- 如將導線之截面加倍，電壓與線圈匝數不變，則總磁流為若干？
63. 若在此繞有 200 匝導線之鑄鋼環，切成一長 0.2 厘米之空隙，則產生總磁流 50,000 線所需之電流幾何？（與 62 題比

較)。

再求產生每平方厘米 8,000, 10,000, 12,000, 14,000 及 16,000 線之各磁流密度時所需之安匝數, 及繪一總磁流與激磁安數之曲線。(此曲線謂之磁路之飽和曲線)。

64. 設沿此鑄鋼環之直徑, 切之為兩半, 若其兩空隙各長 0.1 厘米, 及其激磁電流為 3 安, 則磁路中之磁流及分開此兩半環所需之拉力各若何?

如兩空隙各減至 0.001 厘米時, 求總磁流及拉力。

65. 在 81 頁圖 62 所示磁鐵之情形中, 如長度 l_1 為長 4 厘米之兩磁極所組成, 兩內面相距 8 厘米, 激磁線圈繞於其上, 線捲佔位 8 厘米。

a. 證明激磁線圈導線之截面為

$$\text{圓密爾} = \frac{10.6 \times \text{平均匝之呎數} \times \text{安匝數}}{\text{每線圈伏數}}$$

此處之 10.6 為每圓密爾呎銅之電阻。

- b. 求導線之截面, 線圈匝數, 及 145 仟克拉力之激磁電流(假定線中之電流密度為每 1,000 圓密爾 1 安), 外施電壓為 (1)10 伏, (2)120 伏。假定線圈之平均匝為 17 厘米。
- c. 當此 1,700 匝之線圈繞緊時, 其外周量得為 22 厘米。線捲佔位 8 厘米, 故所謂此線圈之輻射表面 = $8 \times 22 = 176$ 平方厘米。此種線圈表面之溫升, 每平方厘米輻射面 0.1 瓦時, 約為 60°C 。當拉力為 145 仟克時, 上述線圈溫升之約數幾何?

66. 一磁路載有磁流 25,000 線，由下列磁路串聯而成：
- 20 厘米長之 2×2 厘米鑄鐵。
 - 20 厘米長之 2×2 厘米鑄鋼。
 - 兩空隙各長 0.3 厘米及截面 2.1×2.1 厘米。求磁流通過各部磁路所需之安匝。求其總安匝。
67. 一鑄鐵環之平均直徑為 50 厘米，截面為 40 平方厘米。求產生 360,000 線之磁流所需之安匝數。此環之磁導係數幾何？其磁阻之值幾何？
68. 如 109 頁圖 92 所示發電機之磁路，係成自：
- 二鑄鋼磁極，各長 25 厘米，截面 180 平方厘米。
- 鑄鐵底盤之截面 400 平方厘米，長 40 厘米。
- 二空隙，截面各 450 平方厘米，長各 0.5 厘米。
- 經鋼片旋轉電樞之磁路，截面為 160 平方厘米，長 15 厘米。
- 作總磁流對 4 安以下之激磁電流之曲線，激磁線圈之匝數為 3,000。
- 曲線上之一點：磁流 = 2,500,000；安匝 = 磁極中之 900，加以底盤中之 1,280，加以空隙中之 4,400，加以電樞中之 405 總數 = 6,985，激磁電流 = 2.33 安。
69. 一環形螺管係以導線捲繞於木環而成，其截面之直徑為 2 厘米。環之內直徑為 10 厘米。環上有導線 275 匝，而線圈中則保持 1 安之電流。求每厘米之安匝數，磁流密度，及總磁流。
- 如以鑄鋼心代替木心，則磁流密度與總磁流將為若干？

b. 如以鑄鐵心代替鑄鋼，則磁流密度及總磁流將為若干？

70. 若鑄鋼心上之線圈之電壓加倍，則總磁流若干？

若電壓及導線之大小不變，但倍其匝數，則總磁流若干？

若導線之截面積加倍，而其電壓及匝數不變，則總磁流若干？

71. 在此鑄鋼心中，產生 50,000 線之磁流，所需之安數為若干？

72. 若在 71 題之鑄鋼環上，依輻射方向割開，而扳開其斯口，則

使磁路之磁阻加倍而磁流不變時，空隙之長須為若干？

求此時圖使空隙閉合之引力。

73. 作 71 題中之鋼環之飽和曲線。

a. 無空隙

b. 有空隙

作此種曲線時，以安數為橫軸，磁流為縱軸。

74. 一平均直徑為 56 厘米，截面為 30 平方厘米之鐵環，以 320

匝之導線，均勻捲繞之，其激磁電流調準至 24 安，然後用開

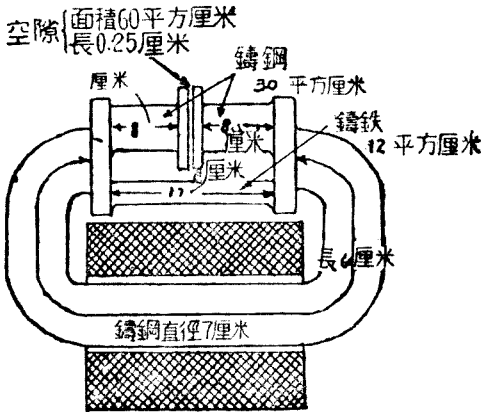
關使其反向，一衝擊電流計指示磁流之變動為 452,000 線，

問鐵環之磁阻及導磁係數各若干？

75. 在圖示之磁路內，有用之磁流經過兩鋼極間之空隙，惟一部分磁流分流於磁路之鑄鐵部分。

在未飽和時，總磁流之分流於鑄鐵部分者，數殊可觀，然如磁流密度漸增，則鑄鐵飽和，而磁流之大部分偏集於空隙中矣。當空隙中之磁流密度倘為每平方厘米 1000 及 700 線時，分流於鑄鐵中者，佔磁軛總磁流之百分數若干？上述裝置表示一種實際應用之原理，即如變更磁流與磁勢之關係。

以一高度飽和之磁路與一未曾飽和者並聯可也。

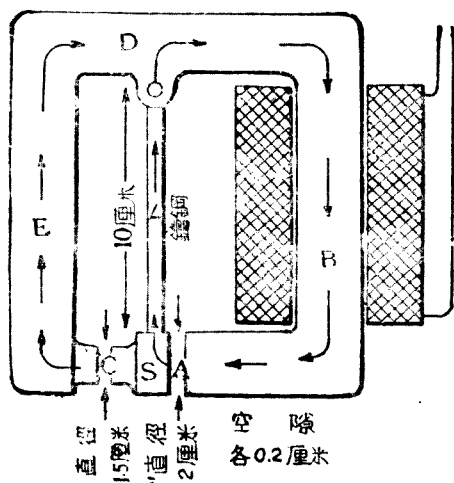


76. 當空隙中之磁流密度為每平方厘米 7,000 線時, 求磁路其他部分之磁流密度, 及其所需之總安匝數。

77. 圖示磁性替續器之機構一部分, 當激磁電流小時, 跨越空隙 A 之磁流, 大部分通過 L 而回經線圈。此使 S 向左移動而閉合空隙 A 。在激磁電流大時, L 達飽和狀態, 於是跨越 A 之磁流, 大部分經過空隙 C , 因磁引力依磁流密度之平方而變, ϕ_c 雖小於 ϕ_a , 然 C 處之磁引力可較 A 處為大。此將使 S 向左移動而閉合空隙 C 。

電流在臨界值或工作值時, 兩空隙中之磁引力相等。欲求橫杆 L 之截面積, 其大小使主鐵心中之磁流密度為每平方厘米 15,000 線時, 電流適為臨界值或工作值。

注意 ALD 與 $ACED$ 為並聯磁路。



用下列數作為圖 44 曲線之延長。

每平方厘米激數: 20,000, 22,500, 25,000, 27,500,
每厘米安匝數 275, 1,000, 2,600, 4,500,

第十一, 十二, 及十三章

78. 一導線橫越一磁鐵極面每秒 40 次, 磁極面之磁流密度為每平方厘米 15,000 線, 極面積為 30 厘米 \times 30 厘米, 導線上之平均電勢若干?
79. 一直流機之電樞, 有 100 根有效導線串聯於正負電刷間, 如此項導線每分鐘割切 2×10^6 線之磁場 3,600 次, 則其平均應電勢若干?
80. 一導線長 L 厘米, 以每秒 V 厘米之速率垂直移動於密度每平方厘米 B 線之磁場, 試證其平均應電勢為 $BLV \times 10^{-8}$ 伏。

81. — 6 極直流發電機之電樞，其正負電刷間，有 388 根有效導線互相串聯，每電導之平均應電勢為 2 伏，而每導線之許可電流為 10 安。
- 設電樞上具有摺捲或多路捲者，求其無載端電壓及線路電流。
 - 設電樞線捲為波捲或二路捲者，求其電勢與線路電流。
82. — 4 極直流發電機，旋轉於某速率，具有某值之激磁，其每導線之平均應電勢為 2 伏。每導線之電流限於 10 安。此機在 120 伏之電壓，供給 40 安之電流於線路，其電樞線捲為多路（摺捲）者？抑串聯（波捲）者？電樞上之導線總數若干？
83. — 4 極機之電樞，有 100 根串聯於正負電刷間之有效導線，其速率為每分 1,000 轉，每一極面之面積為 15 厘米 \times 25 厘米。空隙中之磁流密度為每平方厘米 5,000 線。計算電刷間之應電勢。
84. — 6 極直流發電機之電樞，有 350 根有效導線之波捲或二路捲，每極磁流為 6×10^6 磁力線。如速率為每分 210 轉時，其所發之電壓若干？如輸出功率為 50 仟瓦，則每導線之電流若干？
85. 如該機具有一摺捲或多路捲，有效導線數為 1,050 根，則在同上速度及磁場時，其所發之電壓若干？如輸出仍為 50 仟瓦，則每導線之電流若干？何機需較多之銅量？
86. — 8 極直流發電機之電樞，有 608 根導線，旋轉於每分 250 轉，其應電壓為 110 伏。如其電樞為多路捲，磁極面積為

780 平方厘米，則空隙中之磁流密度若干？

87. 一小型 2 極鼓形電樞上有 40 槽，每槽置 8 根導線，其正常速度為每分 2,400 轉，而每極磁流為 1,000,000 線，每導線上之平均應電勢若干？其所發之總電壓若干？

88. 作下列線捲圖。

a. 6 極雙層摺捲，有 30 槽，每槽置 2 導線，每線圈一匝。

b. 同上電機，每槽置 6 導線，每線圈 3 匝，繪最初二線圈即可。

c. 6 極雙層波捲，有 20 槽，每槽置 2 導線，每線圈僅一匝。如在 a 與 b 中，每導線之平均電壓為 10 伏，而每導線之安全電流為 100 安，求該兩線捲之端電壓，線路電流及輸出仟瓦數。

89. 發電機之磁路何以用鐵製成？

電樞鐵心以疊片製成，而其餘部分磁路則用鑄鐵，何故？如電樞鐵心用鑄鐵製成，則將有何種結果？

電樞上之導線何故須與鐵心絕緣？整流子截片與鐵心及各截片相互間，何以須絕緣？此種絕緣常用何項材料？

90. 在圖 74 中，如改變其旋轉方向，則電刷 B_+ 與 B_- 之極性是否變更？

91. 試繪一 4 極複捲機之前圖，表示磁場線圈在磁極上之捲繞方向及其連接法。

92. 新式電機中何以設置間極？如折斷間極之線捲，則其結果若何？

如改變一間極發電機之旋轉方向，而主極磁性不變。

問其間極線捲之接法應否變更？

93. 作一 2 極機之簡圖與圖 95 相似，但須將電樞上之環形線捲完全繪出，而磁場線圈則不接，並假定其左側磁極之剩磁為北極，而其旋轉方向為順時針方向者。
- 求剩磁所生之電刷極性；連接其並激磁場線圈，使此機足以建起，及連接其串激磁場線圈，使此機成一複激發電機。
 - 指出電樞導線中之電流方向；求導線上因所載電流而生力之方向，並說明發生較大之電流或較高之電壓時，何以其引擎需較大之馬力？
94. 繪一有間極之 2 極機，並表示其間極之線圈，在正確運用時之連接法。
95. 一 4 極，每分 1,500 轉之電機，有 80 片整流子截片，其電刷之闊度，足以同時掩蓋二截片。證明其受短接線圈中之電流於 $\frac{1}{1000}$ 秒中改變其方向。
96. 試求實驗室中若干電機之整流時間。
97. 一鍛鐵疊片製成之環，其截面積為 10 平方厘米，上繞二線圈。線圈 A 有 6 匝而線圈 B 有 8 匝。改變線圈 A 中電流之方向則使鐵環中有 10^5 線之磁流於 0.001 秒中變更方向。問電流改變方向之際，圈線 B 兩端間及線圈 A 兩端間之平均應電勢各若干？前者為互感應電壓，後者為自感應電壓。
98. 穿過一 8 匝之短接電樞線圈之磁流，在 0.001 秒中自一方向之 10^5 線變為相反方向之 10^5 線，在該時期中，短接線圈

中之平均應電勢若干?

第十四, 十五, 及十六章

99. 下列數據, 乃得自一 25 仟瓦, 120 伏, 另激發電機之空載試驗, 其接法如圖 101 所示, 旋轉於每分 900 轉之定速率。由此項數據繪製其磁化曲線。(保存該曲線, 備以後各題之需)。

空載電壓	4	40	60	80	100	120	146 伏
激磁電流	0.0	0.67	1.03	1.50	2.07	2.94	4.15 安

說明該曲線何以彎曲, 及其無激磁電流時何以有小電壓。電機之極性是否因下述原因而變更?

- a. 改變其旋轉方向。
 - b. 倒轉激磁線圈之接法。
100. a. 如其激磁電壓為 120 伏之定值, 速率為每分 900 轉, 則其所發電壓為 40 伏, 100 伏, 120 伏時, 其磁場線圈電路之電阻, 應各為若干?
- b. 如磁場線圈之電阻為 33 歐, 說明其變阻器之大小, 俾電壓之範圍自 40 至 120 伏。
- c. 如磁場線圈電路之電阻, 保持定值於 41 歐, 則激磁電壓為 120 伏時之激磁電流若干? 電機之速率為每分 700 轉, 900 轉, 1, 100 轉時所發之電壓各為若干?
101. 如上述電機接成並激如圖 102, 則:
- a. 如改變其旋轉方向, 此機能否建起?

- b. 如兼改變其剩磁方向, 此機能否建起?
 c. 如倒轉原機之激磁線圈接法, 此機能否建起?
 d. 如改變其旋轉方向, 並倒轉其激磁線圈之接法, 此機能否建起? 其電刷之極性是否變更?

102. a. 此機接成並激而速率為每分 900 轉時, 求其磁場線圈電路之電阻, 使其所發電壓為 40 伏, 100 伏, 120 伏。其值與 100 題中者何以不同?

- b. 如其磁場線圈電路之電阻, 保持定值於 41 歐, 則其速率為每分 700 轉, 900 轉, 1, 100 轉時, 其所發之電壓各為若干? 說明其值與 100 題中者不同之故。

103. 一備有並激與串激兩種磁場線圈之發電機, 受負載試驗:

- a. 不接串激線圈, 作並激發電機之用。
 b. 不接串激線圈, 作另激發電機之用。
 c. 連接並激與串激兩線圈, 作複激發電機之用。

繪製每種接法時之電壓調整曲線。

知其電樞電路之電阻為 0.024 歐, 試答實驗 5 中之問題 1, 2, 3, 4, 5, 6, 及 7。

線路電流 安	端 電 壓		
	並 激	另 激	複 激
0	120.0	120.0	120.0
52	116.5	118.2	120.4
104	112.5	116.2	120.8
156	108.0	114.8	120.9
208(滿載)	102.0	112.5	120.9
260	94.0	110.0	120.6
312	84.0	107.5	120.0

104. 上題中之發電機，其電樞可用手轉動之，但供給電流於外電路時，則需一 33 馬力引擎拖動之，以旋轉於每分 900 轉之正常速率。其所以增加推後轉矩之原因何在？其值若干？
105. 上述發電機接成另激而旋轉於每分 900 轉時，其無載時之電壓為 120 伏，及滿載電流為 203 安時之電壓為 112.5 伏。其電樞電路之電阻為 0.024 歐。求：
- 電樞電路中之電壓降落。
 - 滿載時所發之實在電壓。
 - 損失 2.5 伏 (120 - 117.5) 之原因，該值在滿載時無法產生。
 - 如此機作另激電動機之用，加以負載，使自一 120 伏之電路上取 203 安，則其反電勢若干？此機旋轉於何速率？
 - 如此電動機在無載時所取之電流甚小，使其電樞反應可略去不計，則其無載時之反電勢，無載時之磁流較滿載時增加之百分數，及無載速率各若干？
106. *a.* 如一另激電動機，自一 120 伏之線路上，取 100 安之滿載電樞電流，而旋轉於每分 1,200 轉，如電樞電阻為 0.05 歐，則在無載及滿載時之反電勢各若干？滿載時磁流減少若干？
- b.* 如同此電機作發電機之用，供給 100 安於 120 伏，其電樞電路中之電壓降落，實在所發之電壓，發電機之速率，及無載電壓各若干？
107. 以下列數據，作一直流發電機之飽和曲線。每分鐘轉數一

1,000(正常定值)

端電壓	5	22	42	61	75	93	109	110	120
並磁場電流	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5

108. 以此機旋轉於正常速率每分 1,000 轉 且加一電阻於其磁場線圈之電路中; 依下列情形, 作無載端電壓對磁場電路電阻之曲線:

- a. 接成另激機, 其激磁電壓為 110 伏,
- b. 接成並激式之自激機。
- c. 接成內並激複激式之自激機。
- d. 接成外並激複激式之自激機。

其並激磁場線圈之電阻為 80 歐。何種接法對於調準磁場變阻器之影響最靈敏? 何故?

109. 指明改變上述三種接法之電壓自 40 至 120 伏所需之磁場變阻器(總電阻, 最大及最小之載流量)。

110. 不用磁場變阻器, 而此機接成:

- a. 另激而激磁電壓為 110 伏時,
- b. 並激時,

求在每分 250 轉, 500 轉, 1,000 轉及 1,500 轉速率之端電壓, 何種接法對於變更速率之影響最為靈敏? 何故?

111. 上述電機經負載試驗, 而使其磁場溫度, 自 20°C 之室內溫度升至 60°C 後, 其無載電勢(磁場變阻器短接)將增加抑減少? 經負載試驗後, E_b 之值若干? 能否再增至 120 伏? 如可能則應如何?

112. 列舉直流並激發電機負載時電壓降落之三項原因。用第 103 題中之值，以曲線指示該項原因，並其在滿載時之值。
113. *a.* 一直流並激電動機之電樞，在滿載時自一 125 伏線路上，取 50 安。電樞靜止時，祇需 6 伏即可輸入滿載電流於電樞，說明其理。
- b.* 如在起動時，以全線路電壓加於其電刷上，則電樞將取若干電流？
- c.* 欲限制其開動電流於滿載電流之 1.5 倍，電樞電路中應加入電阻若干？
- d.* 在正常之磁場及 1.5 倍之正常滿載電流，其開動轉矩之值若干？
- e.* 此電動機運用於滿載時，其反電勢若干？

114. 依電動機之應電勢公式

$$E_b = E_a - I_a R_a = k\phi \times \text{每分鐘轉數}。$$

試答下列問題：

- a.* 如電樞電流不變。則改變 ϕ 或激磁電流時，對於速率有何影響？何故？電動機之速率能否改變磁場變阻器以調準之？何故？
- b.* 在一無間極之電動機中，其電刷置於使整流作用不生火花之處，其電樞反應對於速率有何影響？何故？（參閱 129 節）
115. 一直流發電機接成另激而旋轉於每分 1,000 轉時，在無載時發生 250 伏，而在滿載電流 100 安時發生 235 伏，電樞

電路之電阻爲 0.1 歐。求：

a. 電樞電路之電壓降落。

b. 滿載時所發之實在電壓。

c. 電壓降落增加之原因。

d. 如此機作另激電動機之用，加以負載，使自一 250 伏之電路上，取 100 安，則此電動機之反電勢若干？轉矩若干？

e. 如該電動機在無載時所取之電流甚小，使其電樞反應可略去不計，則無載時之反電勢，無載時磁流之增加與滿載磁流之比，及無載速率各若干？

116. 一另激電動機在滿載時，自 250 伏之線路上取 100 安之電樞電流，如在無載及滿載時均旋轉於每分 1,200 轉之速率，如電樞電阻爲 0.1 歐，其反電勢若干？滿載時其磁流因電樞反應之故減少若干？

如同此電機作另激發電機之用，供給 100 安於 250 伏，則電樞電路中之電壓降落，實在所生電壓及發電機之速率及無載電壓各若干？

117. 一直流並激電動機連接於 220 伏之線路上，無載速率爲每分 1,500 轉而滿載電流 90 安時之速率爲每分 1,475 轉，其電樞電阻爲 0.08 歐。

a. 滿載時電動機之反電勢若干？

b. 滿載時因電樞反應之故，其磁流減少之百分數若干？

c. 當此機作另激發電機之用，其電刷移至無火花整流之處，而供給 90 安之滿載電流於 220 伏之端電壓時，其速

率及電樞中所生之實在電壓各若干？

d. 其無載端電壓若干？其速率即為 c 中求得者。

118. — 10 馬力 4 極並激電動機滿載時之速率為每分 1,000 轉，茲將其電樞重新捲繞，所用導線之粗細仍舊，但將摺捲改為波捲。詳述其在同一轉矩之速率，何以與 1,000 不同，其輸出馬力，較之原繞法如何？導線中之容許電流密度相同。如此機原為一串激電動機，則經上述之改變後，在同一轉矩之速率若干？

第十七及十八章

119. — 30 馬力，120 伏，每分 900 轉之並激電動機，其效率為百分之 88。電樞電路之電壓降落為百分之 4，而其激磁電流為滿載電流之百分之 1.4。
- 求滿載線路電流，電樞電流，及電樞電路之電阻。
 - 求滿載皮帶輪上所生之轉矩。
 - 規定其開動電阻以限制其開動電流於滿載電流之 1.25 倍。在此項情形時，其開動轉矩若干？
 - 同此開動電阻，是否適用於一切 120 伏 30 馬力之並激電動機而與速率無關？試說明其理。
 - 規定一 10 馬力 120 伏並激電動機之開動電阻，使能產生滿載轉矩之 1.25 倍。
 - 如以 30 馬力之開動器用於 10 馬力之電動機，而 10 馬力之開動器用於 30 馬力之電動機，則其結果如何？

120. —30 馬力, 120 伏, 每分 900 轉之串激電動機, 其效率為百分之 88。其電樞中之電壓降落為百分之 4, 而激磁圈中者為百分之 1.50。

a. 求滿載線路電流, 電樞電流, 電樞電阻, 與磁場線圈電阻。

b. 求滿載時皮帶輪上發生之轉矩。

c. 規定其開動電阻, 使開動電流限於滿載電流之 1.25 倍。

在此種情形時, 其開動轉矩之近似值如何?

121. 如 119 題之並激電動機接如圖 116 所示之狀, 而以一熔線保護之(參閱 116 節), 則遇下列情形時, 其結果如何?

a. 如開動臂移動太速。

b. 如磁場線圈斷路而試圖開動之。

c. 如電動機旋轉於無載時, 而磁場線圈電路開斷。

d. 如開動器上設置一無壓釋放器如圖 117, 而磁場線圈電路於電動機旋轉於無載時開斷。

e. 如有瞬時的百分之 100 過載。

f. 如負百分之 50 過載時。

g. 如負載轉矩增加百分之 50, 則線路電流, 速率及輸出各若干?

122. 如 20 題之串激電動機, 接以一適當之開動電阻, 以熔線保護之, 並以皮帶與負載相連, 則遇下列情形時, 其結果若何?

a. 如其磁場線圈斷路而試開動之。

b. 如短接其磁場線圈而試開動之。

- c. 電動機旋轉時，如其磁場線圈電路開斷。
- d. 如皮帶斷時。
- e. 如負載轉矩增加百分之 50，則線路電流，速率，及輸出各約若干？
- f. 如電動機之負載增加百分之 50，則線路電流，轉矩及速率，各以滿載時之值表之，約為若干？
123. 如 119 題之並激電動機，乘其滿載時，突以一電阻加入其電樞電路中，其負載轉矩不變，求：
- a. 在正常負載與速率時反電勢。
- b. 加入電阻後之即時電樞電流。
- c. 同時間所生之轉矩。
- d. 說明其速率何以下降，並說明情形穩定後其結果如何？
- e. 電動機之最後速率若干？
124. 下列數據，乃得自一 10-馬力，120-伏，每分 900 轉，並激電動機之制動試驗者：

外施電壓	激磁電流	電樞電流	速率·每分轉數	轉矩·磅呎
120	2	3.0	920	0.0
120	2	19.0	915	14.2
120	2	35.0	910	28.7
120	2	52.0	905	43.0
120	2	69.0	900	58.0(滿載)
120	2	87.0	895	73.0

以電樞電流為基線，作其轉矩及速率之曲線
 以輸出馬力為基線 作其效率曲線。

125. 同上電機，以串激磁場線圈代替並激磁場線圈所得之試驗數據如下：

外施電壓	電樞電流	速率，每分轉數	轉矩，磅呎
120	57	1,550	17.3
120	54	1,150	24.8
120	71	900	58. (滿載)
120	89	780	83.0

以電樞電流為基線，作其轉矩及速率之曲線。

以輸出馬力為基線，作其效率曲線。

126. 試答實驗 6 之各問題。
127. 自 124 題之試驗數據，求在每分 900 轉之機械損失與鐵損失，並求其磁場線圈電路之電阻。
128. 其電樞電路之電阻為 0.094 歐。自各項損失計算該並激電動機之效率，至百分之 25 過載，並將試驗曲線之值比較之。
129. 作開動下列電動機之接線圖：並激、串激、複激、及有間極之複激電動機。表示其電樞、並激、串激、及間極磁場線圈、磁場變阻器，及開動電阻之接法。讀者須明瞭其開關電阻何以不置於其他地位。
130. 在上述各圖中，添繪量電動機之輸入之安培計及伏特計。在各計上註明假設之讀數，並計算其輸出於磁場及電樞之瓦數，並計算其輸入之總瓦數。每種情形中之輸入功率變為何物？必要時應用 119 題中之數值。如何可改變 129 題中各電動機之速率？
131. 作上述各電動機之速率特性曲線，以電樞電流為橫坐標，

說明其曲線形狀。

132. 如何可改變 129 題中所列各電動機之旋轉方向?
133. 一並激電動機之百分調整率之意義如何? 說明之。
134. 如一並激電動機有負載旋轉時, 其磁場電路忽斷, 則將有何種結果? 在一串激電動機中, 其結果如何?
135. 一並激電動機荷有柏郎尼軛之負載, 每分 1,000 轉。作此電動機之連接圖, 如
- 反接磁場電路之兩端,
 - 反接線路,
 - 電刷反旋轉方向移動,
 - 電刷沿旋轉方向移動,
 - 以一電阻加入磁場電路中, 加入電樞電路, 加入線路,
 - 取去電樞, 將磁極面銼去一層, 以加長其空隙, 然後將電樞放入原處,
 - 極面上加遮蓋一層, 以減短其空隙,
 - 電樞以較粗之導線, 較少之匝數重繞之,
 - 電樞以較細之導線而較多之匝數重繞之,
 - 短接其磁場線圈之一部分,
 - 磁場以同匝數而雙倍截面積之導線重繞之,
 - 磁極中無剩磁。
- 則對於電動機之運用(速率, 整流等)有何影響?
136. 一 10-馬力, 240-伏, 每分 900 轉之並激電動機, 其效率為百分之 88。其電樞電路中之電壓降落為百分之 4; 而

其激磁電流為滿載電流之百分之1.4,

- a. 求滿載線路電流, 電樞電流, 及電樞電路之電阻。
- b. 求在滿載時皮帶輪上所生之推動轉矩。
- c. 規定其開動電阻, 使其開動電流不超過滿載電流之1.25倍; 此時之開動轉矩為何?
- d. 同上開動電阻, 是否適用於30馬力120伏之並激電動機。
- e. 規定一10馬力240伏並激電動機之開動電阻, 使其開動轉矩為滿載轉矩之1.25倍。
- f. 如以30馬力之開動器用於10馬力之電動機, 及以10馬力之開動器用於30馬力之電動機, 則將有何結果? 該項電動機乃以熔線保護之, 並須於開動時產生滿載轉矩者, 以上各項結果與119題比較之。

137. 一30馬力, 240伏, 每分900轉之串激電動機, 其效率為百分之88, 其電樞中之電壓降落為百分之4, 而激磁線圈中為百分之1.5。

- a. 求滿載線路電流, 電樞電流, 電樞及磁場線圈之電阻。
- b. 求滿載時皮帶輪上產生之轉矩。
- c. 規定其開動電阻, 使其開動電流限於滿載電流之1.25倍。此時之開動轉矩約為若干? 以該項結果與120題中者比較之。

138. 如136題之並激電動機在負荷滿載之際, 突以一0.5歐之電阻, 加入其電樞電路中, 其負載轉矩保持不變, 求:

- a. 在正常負載與速率時之反電勢。
 - b. 加入電阻後之即時電樞電流。
 - c. 同時間所生之轉矩對於滿載轉矩之百分數。
 - d. 說明其速率何以下降，並說明其情形穩定後之結果。
 - e. 電動機之最後速率。
139. 反之，如突然減少其激磁電流，使其磁流減至正常值之百分之 80，求：
- a. 改變磁流後之即時電樞電流。
 - b. 同時間之轉矩。
 - c. 詳述其情形穩定後之結果，並說明其最後速率，其馬力保持定值。
 - d. 增加其速率時，其磁場變阻器何以須緩緩移動？加強磁場時，是否亦須緩緩移動？
140. 某並激電動機擬改繞為同滿載速率與轉矩之串激電動機。並激機之原有數據如下：40 馬力，4 極，120 伏，滿載電流 275 安，並激磁場電流 5 安，並激磁場線圈每極 900 匝。
- a. 求串激磁場之匝數。
 - b. 略述改變激磁方法所致之不同特性之理由。

第十九章

141. 直流電動機之輸出為何所限？
142. 區別敞開式，半閉式，及全閉式電動機。在一定速率與馬力定額，何者為較大較貴之電動機？

143. 指定為下列之用以之電動機之式樣，並說明選擇之理由：

- | | |
|-----------|----------|
| a. 車床 | e. 電車 |
| b. 起煤機 | f. 衝床 |
| c. 混凝土混合器 | g. 高速升降機 |
| d. 軋鋼機 | h. 活塞唧筒 |

144. 運用高速率升降機何以需變壓電源？

145. 線路電壓增加或減低時，並激電動機之速率，是否有顯著之變更？

146. 說明複壓制之運用。作一連接於 110 至 220 伏三線制之電動機連接圖，並說明其可能之速率範圍。

147. 124 題中之 10 馬力，120 伏，每分 900 轉之並激電動機，其效率為百分之 87，而其電樞電路之電阻為 0.094 歐。

a. 如以一電阻加入其電樞電路，使其速率減至每分 450 轉，其轉矩不變，則該電阻之值，該電阻中之損失，電動機之輸出，及總效率各若干？

b. 此電動機如上運用時，何以較正常負載時為熱？

c. 如其轉矩減至滿載值之半，外電阻不變，則電動機之速率約若干？

148. 如 147 題中之 10 馬力電動機之電樞，以雙倍匝數而一半截面積之導線重繞之，則滿載時之速率，容許電樞電流，容許輸出各若干？

說明此機負載 5 馬力時，何以較原機負載 10 馬力時為熱？

149. 如某發電廠之電壓，自 120 伏永久改為 240 伏，則並激電

動機，串激電動機中，須有何種變更，始可不變其特性？

150. — 30 馬力，120 伏，每分 900 轉電動機之磁化曲線之數據，示於 99 題；試繪該曲線。
- 欲使其無載速率增加百分之 50，指明其應添之磁場電阻。
 - 如因線路電阻過大，致加於電動機上之電壓僅有 100 伏，則其磁流對於其正常值之百分數若干？
 - 如此，其 30 馬力負載所需電動機之速率及電流各若干？較之正常情形時，其整流何以較劣？其溫度何以較高？
 - 如減低加於並激電動機之電壓，證明一定電流之開動轉矩減小，但在串激電動機中則不變。
 - 如從冷卻時開動，上述電動機旋轉於每分 900 轉。在 3 小時之末，其磁場線圈之溫度升至 40°C 。其激磁電流減少若干？此時電動機之速率若干？
151. — 並激電動機，購作轉動一電扇於每分 1,200 轉之用。因皮帶輪之大小錯誤，致電扇旋轉於每分 1,350 轉。電動機何以發生火花而發熱？
152. — 無間極之 50 馬力電動機，減弱其磁場使其速率加倍時，在 50 馬力以下即發生火花，而一間極電動機之速率，則可增至其正常值之三倍而不生火花，其負載為 50 馬力，何故？
153. — 唧筒並激電動機，取 30 安於 240 伏。在製造廠中試驗時其無載電樞電流為 2 安，磁場線圈電流為 1 安，而電樞

電阻爲 1.4 歐，其供給唧筒之功率若干？

第二十章

154. 一並激電動機之電樞電阻爲 1 歐，其並激磁場之電阻爲 100 歐。以 110 伏加於靜止時電機之兩端，通過電樞之電流若干？通過磁場者若干？
155. 如一 10 歐之電阻接於線路上，則通過電樞及磁場之電流各若干？其所生之轉矩約若干？
156. 設計一 10 馬力 220 伏，並激電動機之自動開動器，該器能保持其開動電流於滿載電流之 2 倍與 1.25 倍之間。假設一合理之電樞電阻。
157. 指明一高大建築物中之高速升降機所需電動機之式樣及其控制方法。
158. 磁熄弧線圈之原理爲何？如何運用？圖 157 示一電車控制器。何處爲熄弧線圈？其作用如何？
159. 作一並激電動機用之 3 點開動器及一附有磁場控制之 4 點開動器之連接圖。
160. 如何可使一電動機轉向？
161. 鼓形控制器何以用於小型電車？
162. 何謂複式控制器 複式控制器之優點何在？

第二十二,二十三,及二十四章

163. *a.* 十二個原電池，各有 1.5 伏之無載電勢及 0.25 歐之內

- 電阻，並聯而接於一 0.5 歐之外電路。外電路中之電流及每電池中之電流各若干？
- b. 如每 6 個電池接成串聯，而將兩串聯電池組並聯之。則外電路中及每電池中之電流各若干？
- c. 在後者如取去一電池，則外電路中及每電池中之電流各若干？如拆去外電路，則其循環電流若干？
164. a. 用圖 193 中所示之充電與放電曲線，求一鉛電池及一愛迪生電池之伏特效率。
- b. 如鉛電池之定額，在 8 小時放電率時為 10^3 安培小時。則在 8 小時中此電池能供給若干電流？在 8 小時之末，電池之電壓若干？如此電池重行充電，須用 14.5 安充 8 小時，則其安培小時及瓦時效率各若干？
- c. 在 4 小時放電率時，此電池能供給電流若干？
165. 某小電廠之日間負載為 110 伏 50 馬力，其夜間負載為 52 盞 40 瓦 110 伏之鎢絲燈。電燈負載須以蓄電池供給 12 小時。指明蓄電池，充電電阻（ 220 節），發電機之容量，及引擎之馬力。說明所作之假設。
166. 一小蓄電池組由三電池串聯而成，在 4 小時放電率之容量為 100 安培小時，茲以 8 小時充電率將其自 110 伏之幹線上充電。問在充電之初及充電之末電池組電壓各若干？（參閱圖 193）。
- 指明其充電電阻。
- 如充電價為每仟瓦小時 8 分，則此電池組之充電費若干？

如有 4 組此種電池組串聯，則其充電費若干？

167. 何謂原電池？蓄電池？蓄電池之種類有幾？每種之優點何在？
168. 何謂蓄電池之容量？其定額何以用安培小時表之？放電率對於容量有何影響？
169. 討論運用鉛電池時應注意之事項。
170. 何謂電池組之伏特效率？安培小時效率？瓦時效率？

第二十六及二十七章

171. 一 24 極交流發電機，每分鐘 300 轉，其所生電勢之頻率若干？
- 一 25 週之交流發電機，如以此速率旋轉，應有若干磁極？
- 一 輪機交流發電機，每分鐘 3,600 轉時，產生 60 週，其磁極數若干？
172. 一八極交流發電機，與一變速直流電動機裝於同一軸上，供實驗室試驗之用。如電動機之速率能自每分 225 轉變至 2,000 轉，計算交流發電機所發電勢之頻率可能範圍。
173. 作 $\sin^2\theta$ 之曲線，證明 $\sin^2\theta$ 之平均值等於其最大值之 0.5 倍，並證明最大值為 1 安之交流之平均熱效應，與 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 安之直流之熱效應相同。
- a. 25 安之直流，與一由儀器測得為 25 安之交流較之，何者產生較大之熱效應？

b. 以儀器測得為 220 伏之交變電壓，與一 2,200 伏之直流電壓較之，何者易使絕緣物破損？

174. 二部 6 極交流發電機 A 與 B ，裝置於同一軸上，每機產生電勢為 120 伏。如 B 機之磁極與 A 機者，相距 20 機械度，而其固定之電樞，則在同一線上，問其兩電壓間之相角為何？其合電壓若干？

a. 設其線捲串聯如圖 228。

b. 設倒轉 B 之接法。

以正弦曲線及矢量圖表示其結果。

175. 同頻率之正弦波：在下列每種情形中，敘述正弦電流 i_1 ，是否滯於正弦電流 i_2 之後，或越於 i_2 之前，並說明其相角之電度數之約值。

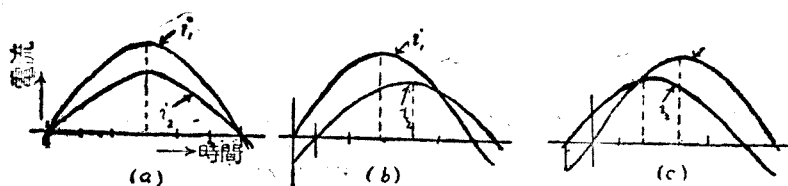
作下列每種情形之曲線（約近於比例尺）：

(x) i_2 與 i_1 在任何一瞬間之和 ($= i_1 + i_2$)，此處 i_1 與 i_2 乃相當之瞬時值。

(y) i_2 與 i_1 在任何一瞬間之差 ($= i_1 - i_2$)。

(z) i_2 與 i_1 在任何一瞬間之差 ($= i_2 - i_1$)。〔注意 (y) 中求得之組在波，適與 (z) 中所得者相等而相反〕。

注意 由上題中可見同頻率正弦曲線形分波之合波，亦為同頻率之正弦波。



在每種情形中，作（於正弦波之左） I_1 與 I_2 及組合正弦波之相當矢量，當 i_1 之值為正最大值時，

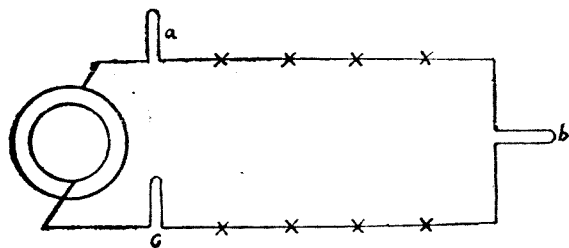
以幾何方法校對其合矢量。

176. a. 由一旋轉矢量，作一最大值為 100 伏之電壓正弦波。如此電壓之頻率為每秒 60 週，以秒，一週之分數，弧度，及電度表示其橫坐標。

b. 假定發生上述電勢之交流發電機，有 14 磁極，當其電勢經過 360 電度時，交流發電機之軸轉過若干機械度？

177. 作一有效值為 6 安之電流正弦波。

如該正弦波係以示波器得自下圖中之 a 處者，則作二曲線，分別表示吾人可以示波器自 b 及 c 兩處所得者。



178. 上圖代表一 6 安之串聯電燈電路， a 處之電流在一方向達

其最大值，8.5 安時， b 與 a 兩處之電流，在同時間中之數值與方向如何？

179. 求前述曲線半週間之平均值，至少取十縱坐標，而與本書 244 節所求之值比較之。 $\frac{1}{2}$ 週間之平均值是否與之相同？全週間之平均值相同否？ $\frac{1}{8}$ 週間之平均值如何？

180. 一交流電壓之有效值之義，定為 $\sqrt{(e^2 \text{ 之平均值})}$ 。將上題中所選取之縱坐標平方之，用以證明上述之有效值等於 E_{max} 除以 $\sqrt{2}$ 。

$\sqrt{(e^2 \text{ 之平均值})}$ 與 $(e \text{ 之平均值})$ 何以不同？

181. 解釋交流與直流之區別，使一非技術人員亦可瞭解之。

a. 在導線中之實際情形如何？

b. 本城電源之頻率若何？

c. 吾人何以不見燈光閃動？

d. 燈光閃動之頻率為何？

e. 何謂一正弦波之幅？

182. 求下列每一交流發電機之磁極數：

14,000 仟瓦 25 週，以汽輪機轉動，每分 1,500 轉。

14,000 仟瓦 60 週，以汽輪機轉動，每分 1,800 轉。

14,000 仟瓦 25 週，以水輪機轉動，每分 58 轉。

14,000 仟瓦 60 週，以水輪機轉動，每分 55 轉。

183. 某引擎製造者之引擎，正常每分鐘 650 轉，欲與 60 週之交流發電機直接耦合。交流發電機應有若干磁極？吾人對於製造者有何建議？

184. 說明熱線式, 軟鐵推拒式, 及測力計式電表之運動, 並附以簡圖。證明電表上所指者, 乃電壓或電流之有效值, 而非平均值。此項電表在交流電路中所指讀數之意義, 與在直流電路中所指者同否?
185. 二部 6 極交流發電機稍於同一軸上, 且接成串聯。每機發生 100 伏(有效值)。A 機之各磁極移後於 B 機者 20 機械度。依下述方法, 求兩線端之電壓, 及其對兩機之電壓之相位:
- 依比例尺及正確之相之關係, 作兩機之電壓波, 然後將兩機之電壓逐點加之, 以求合電壓之正弦波。
 - 作二矢量, 代表兩機之電壓於正確相之關係; 求其幾何和, 並證明此和之數值及相之關係, 與 a 中所得相當曲線相當。
186. 如交流發電機 B 之兩端反接, 則以一矢量圖表示 A, B 兩機之電壓及線端電壓之數值及相之關係。

第二十八章

187. 一電路有 0.1 亨之電感, 與 10 歐之無感電阻串聯。如此電路跨接於一 120 伏之直流電壓上, 則:
- 在關閉開關之一瞬間,
 - 電流已達其最大值後,
跨於電感及電阻上之電壓降落各若干? 電流之最大值若干?

188. **a.** — 200 匝之線圈，捲繞於一平均直徑 12 厘米而截面積 5 平方厘米之木環上，線圈中之電流為 4 安時，穿過線圈之磁流為 134 力線（參閱 62 題）。求線圈之電感。
- b.** 如以一同大小之鋼環代替木環，則電流為 1.52 安時，其磁流為 50,000 線（參閱 62 題）。求線圈之電感。
- c.** 如鋼環上有一 0.2 厘米長之空隙，則 9.52 安之電流，產生 50,000 線之磁流，（63 題）。線圈之電感若干？
189. 一線圈之電阻可略去不計，其電感為 0.1 亨，跨接於 120 伏之線路上：
- a.** 在 30, 60, 及 120 週時之電流各若干？
- b.** 在每種頻率其取自線路上之平均功率各若干？
- c.** 在 $\frac{1}{4}$ 週中，線路授電能與電路，在次 $\frac{1}{4}$ 週中，電路回授電能於線路之最大率若干？（參閱圖 234）。
- d.** 不用公式，解釋電流何以與頻率成反比，其電壓不變。
190. 一線圈有 10 歐之無感電阻，跨接於 120 伏之線路上：
- a.** 在 30, 60, 及 120 週時之電流各若干？
- b.** 在每種頻率自線路上所取之平均功率各若干？
- c.** 在每半週中電能供給電路之最大率若干？（參閱圖 240）。
191. 一 0.1 亨之電感與一 10 歐之無感電阻，串聯跨於 12 伏之線路上：
- a.** 頻率為 30, 60, 及 120 週時，其電流各若干？
- b.** 在每種頻率自線路上所取之平均功率各若干？
- c.** 在 60 週時，電路上各部分之電壓降落各若干？

d. 在每種頻率電路之功率因數各若干?

192. 一線圈等於一電阻圈與一電感串聯。此線圈可自一 120 伏之直流電路上取 20 安，而可自 120 伏 50 週之線路上取 12 安。計算此線圈之電阻，感抗，及電抗。

193. 上述線圈自 120 伏 25 週之線路上取得電流若干？作一近於比例尺之矢量圖而解之。

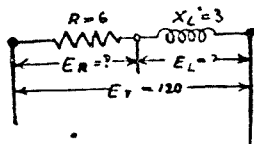
194. 一電路由一 10 歐之電阻與一 20 歐及一 40 歐之兩電抗，三部串聯而成，並以一 120 伏 60 週之電源供給之。

a. 線路所供給之總電流若干？

b. 此電路之功率因數若干？

195. 一電阻 $R=6$ 歐，與一未知值之電感 L ，串聯跨於一 120 伏 50 週之電源上時，取 12 安。作近於比例尺之全部矢量圖，並求每電路上各部分之電壓降落，計算其感抗 X_L 及電感 L 。計算此組合電路之總功率及功率因數。

以電路各部分所取之功率之和，核對其總功率（並以 I^2R 耗校對之）。

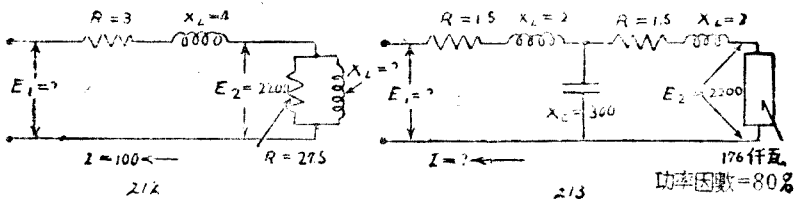
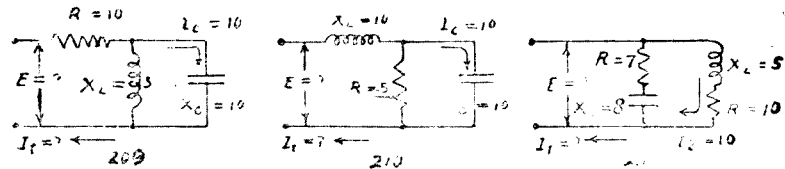
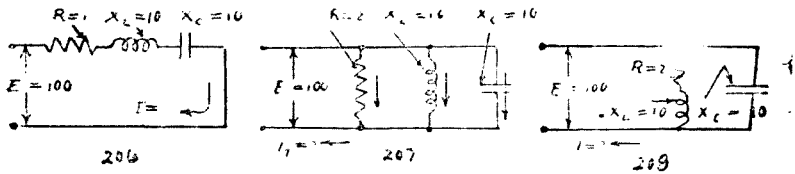
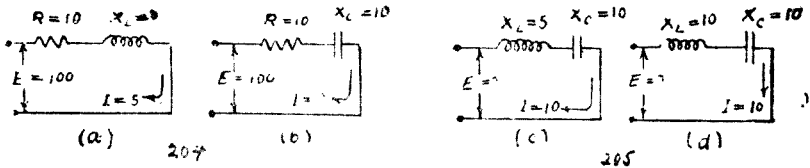


196. 上題之串聯組合，連接於一 120 伏每秒 100 週之電源上。作近於比例尺之完全矢量圖，並計算電路中各部分之電流，電壓降落，功率，及功率因數。

說明此題中所得各值，何以與上題中所得者不同。

197. *a.* — 10 馬力 120 伏交流電動機之效率為百分之 85。因電樞線圈之電抗，使電流滯於電壓之後，其功率因數僅為百分之 80。其滿載電流若干？
- b.* — 10 馬力，120 伏，效率為百分之 85 之直流電動機之滿載電流若干？
- c.* 上述兩機自線路取得之功率各若干？
198. — 120 伏交流發電機之負載，包括 150 盞白熾燈，每燈取 0.5 安之電流，及 10 馬力之電動機，其平均效率為百分之 85，而其平均功率因數為百分之 80。求交流發電機之輸出電流。與輸出仟瓦數，總負載之功率因數（白熾燈之功率因數為百分之 100），及引擎之馬力，設交流發電機之效率為百分之 90。
199. 以 2,200 伏之電壓與每秒 60 週之頻率，輸電 75 仟瓦至相距 5 哩之處。試選擇其導線之粗細，使其線路銅損失不至超過所發功率之百分之 8：
- a.* 線端負載之功率因數為百分之 100 時。
- b.* 功率因數為百分之 79 而電流滯後時。
- 如兩導線相距 48 吋，則輸電線之感抗，輸電線之電阻，發電廠之電壓，及線路上之功率損失各若干？
200. — 木環之平均直徑為 12 厘米，而其截面為 5 平方厘米，上繞 200 匝導線。
- a.* 求每安所生之磁流。

- b. 求該線圈之電感 $\left(\frac{N\phi}{I} \times 10^{-8} \text{ 亨}\right)$ 。
- c. 求在 30 週與 60 週時之電抗。
- d. 不計線圈之電阻，求接於 110 伏時之電流，其頻率如 c 中者。
- e. 如另一 600 匝之線圈，繞於 200 匝之上，則該線圈之電感若干？
- f. L 之值與線圈之匝數有何關係？
- g. 如兩線圈 (600 匝與 200 匝) 串聯，其總電感若干？
- h. 如兩線圈串聯，但其磁性效應相反，則其總電感若干？
201. 200 題中之木環，以同大小之疊片鋼環代之。
- a. 200 匝線圈之電感若干？假定其電流少於 0.5 安，故其導磁係數實為定值。應用圖 44。
- b. 不計線圈之電阻，求通過 0.5 安 60 週之電流所需之電壓。
202. 如以一疊片鐵心置於一交流螺管中，則交流之數值減小，何故？
203. 如以直流通入上題之線圈中，則鐵心之插入，對於電流之值有何影響？其電流有無永久或暫時的變更？
204. ——213。作下列各電路之矢量圖，使近於比例尺，並求其未知量：



214. 分隔 100 平方厘米之導片，使成一 1 微法電容之容電器，需若干片 0.1 毫米之雲母？（雲母之介質常數為 6）。

如導片之厚為 0.1 毫米，則容電器之大小如何？

215. 一 100 微法電容之容電器，跨接於 120 伏之線路上：

a. 在 30, 60, 及 120 週時之電流各若干？

b. 在每種頻率時，其取自線路上之平均功率各若干？

- c. 在 $\frac{1}{2}$ 週中線路授電能與容電器在次 $\frac{1}{2}$ 週中, 容電器回授電能於線路之最大率若干(參閱 273 節)?
- d. 在每半週中, 容電器上之最大電荷若干?
- e. 該電荷能在一外電路中維持若干平均電流至 $\frac{1}{480}$ 秒? 如此電流依餘弦函數而變, 則其有效電流若干?(與 a 比較之)。
- f. 不用公式, 解釋其電流何以與頻率成正比, 其電壓不變; 在電感電路中, 其情形與此相反。
216. 兩容電器 A 與 B , A 之電容為 1 微法而 B 之電容為 2 微法, 連接於 120 伏之直流幹線上。每容電器上之電荷, 總電荷, 及跨於每容電器上之電壓降落各若干:
- a. 當兩容電器並聯時?
- $$Q_a = 1.2 \times 10^{-4}, Q_b = 2.4 \times 10^{-4}, Q = 3.6 \times 10^{-4}.$$
- b. 當兩容電器串聯時?
- $$Q = 0.8 \times 10^{-4}, E_a = 80, E_b = 40.$$
217. 一 100 微法電容之容電器, 及一 10 歐之無感電阻, 串聯而接於一 120 伏之線路上:
- a. 頻率為 50, 60, 及 120 週時, 其電流各若干?
- b. 在每種頻率時, 取自線路之平均功率各若干? 說明其值何以等於 IR 。
- c. 在 60 週時, 電路上各部分電壓降落各若干?
- d. 在每種頻率時, 電路之功率因數各若干?
218. 一電路由一 10 歐之無感電阻 A , 一 0.1 亨之電感 B , 及一 100

微法之電容 C 所組成。求電路各部分之電流，總電流，各部分之電壓降落，及其組合電路之功率因數：

a. 當 A, B , 及 C 係串聯而接於—120 伏 120 週之線路上時。

b. 當 A, B , 及 C 係並聯而接於—120 伏 120 週之線路上時。

c. 當 B 與 C 並聯後，再與 A 串聯而接於—120 伏 120 週之線路上時。

d. 在 a 中之共振頻率若干？此時電路中之電流及電路各部分之電壓降落若干？如欲容電器上之電壓降落，不超過其設計時之額定電壓 250 伏，則電阻之值應為若干？

219. 在 197 題中，計算與 60 週之電動機並聯之容電器，可使其結果功率因數為百分之 100。此時電動機中，容電器中，及線路上之電流各若干？

如容電器為每微法 1 元者，則該低壓容電器需費若干？

220. 在 199 題中，需大小幾何之容電器，以升高其功率因數自百分之 79 至百分之 100？如用 10 元一微法之 2,200 伏容電器，則應用容電器而減小導線之粗細，較之應用較粗之導線，何者較廉？兩者之銅損失假定相同，銅之單價為每磅 1 角 6 分。

221. 一無線電收音機中之容電器，具有 40 片導片，每片之面積為 30 平方厘米，相互以 0.1 厘米之空氣分隔之。此容電器之電容為若干微法？如以此容電器浸於介質常數為 2.5 之油中，其電容若干？此二種容電器並聯後之總電容若干？串聯後之總電容若干？

222. — 50 微法之容電器接於一 240 伏之線路上:

a. 在 30, 60, 及 120 週時, 所通過之電流若干?

b. 在每種頻率時, 取自線路之平均功率若干?

c. 在 $\frac{1}{4}$ 週中, 電能授與容電器, 而在次 $\frac{1}{4}$ 週中, 容電器回授

其電能於線路之最大率若干(參閱 273 節)?

d. 在每半週中, 容電器上之最大電荷若干?

e. 該電荷在外電路中, 能維持若干平均電流至 $\frac{1}{480}$ 秒? 如電流依餘弦函數而變, 則其有效電流若干? (與 a 比較之)。

f. 不用公式, 說明其電流何以與頻率成正比, 其電壓不變; 在電感電路中, 其情形與此相反(與 215 題比較之)。

223. — 50 微法之容電器, 與一 30 歐之無感電阻, 串聯接於 120 伏線路上:

a. 在 30, 60, 及 120 週時, 所通過之電流各若干?

b. 在每種頻率時, 取自線路之平均功率各若干?

說明其值何以等於 I^2R 。

c. 在 60 週時, 電路各部分之電壓降落各若干?

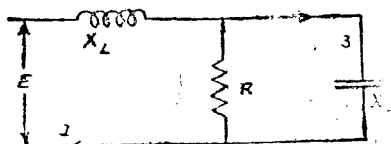
224. 已知:

$$X_L = 12 \text{ 歐。}$$

$$R = 30 \text{ 歐。}$$

$$X_C = 40 \text{ 歐,}$$

$$I_C = 3 \text{ 安。}$$



作上述電路之完全矢量圖，並計算：

- 線路電流 I 。
- 端電壓 E 。
- 電路之功率因數。

225. 一輸電線供給一電容負載，

$$E_2 = 2,000 \text{ 伏。}$$

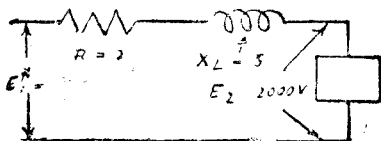
$$I = 100 \text{ 安。}$$

$$\text{功率因數} = 80 \text{ 百分數，越前。}$$

$$f = 50 \text{ 週每秒。}$$

$$R = 2 \text{ 歐。}$$

$$X_L = 5 \text{ 歐。}$$

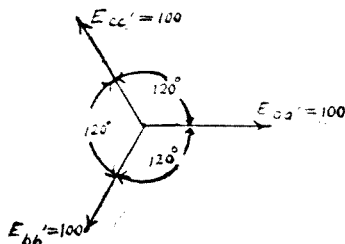
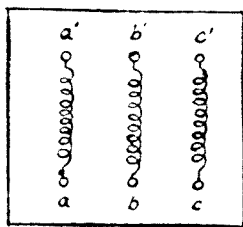


計算。

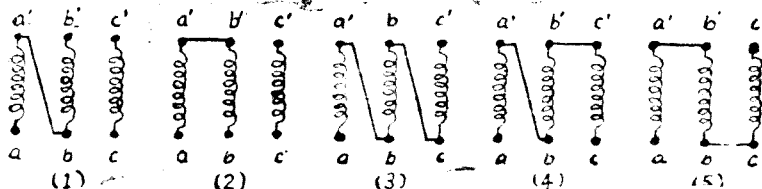
- 發電機電壓 E_1 。
- 輸電線之效率。
- 與負載相當之並聯 R 與 X_c 之值。

第二十九章

- 226a. 一交流發電機之主要部分爲何?
- b. 其與直流發電機之主要不同之處何在?
- c. 交流發電機爲另激者或自激者?
- d. 交流發電機之磁場電流, 何以常較滿載電樞電流爲大? 以數字之例題說明之。
- e. 交流發電機多屬旋轉磁場式, 何故?
227. 何謂多相發電機? 試述二相與三相發電機之分別。
228. 一交流發電機有三組獨立之線捲, 其六個線捲末端, 引至一連接板如圖所示。其應電壓 $E_{aa'}$, $E_{bb'}$, 及 $E_{cc'}$ 之有效值各爲 100 伏, 且互隔 120 度, 如矢量圖所示。作圖中所示各種接法之矢量圖, 並計算其結果端電壓之值, 並標明所有矢量。



(a)



(b)

229. 就 228 題之連接板, 依下列情形作交流發電機中三組線捲之連接圖:

- a. 三相 Y 形(或星形)接法。
- b. 三相 Δ 形(或網形)接法。
- c. 三組線捲互相串聯, 使發最大可能之單相電壓於發電機兩端, 計算該電壓之值。

表示在每種接法中, 其線路導線與發電機各端之正確接法。如每線捲之額定電流為 50 安。指明上述各種連接法之線路電壓與線路電流, 此交流發電機在每種接法時之總任伏安定額各若干?

230a. 一八極交流發電機有 24 槽, 繞成三相 Y 形接法。作一展開圖如圖 256 所示者, 表示其線圈及其連接法。

- b. 以另一圖表示各線圈如何始為 Δ 形接法。
- c. 設 Δ 形接法時, 發電機之端電壓為 2,200 伏, 而線路電流為 1,000 安, 則如 Y 形接法時, 此機之端電壓與線路電流各若干?
- d. 如負載功率因數為百分之 80, 其輸出若干?

231a. 一二相交流發電機有 16 槽。作一如圖 256 之展開圖表示其線圈, 及與外電路之連接。

- b. 如負載功率因數為百分之 80, 作一矢量圖表示其電壓與電流。
- c. 如每 電壓為 2,400 伏, 而每相電流為 800 安, 則發電機之輸出任瓦, 任伏安定額(297 節), 及引擎之輸出馬力各

- 若干？設交流發電機之效率為百分之 94。
- d. 如其兩線捲接成串聯，則其結果之單相電壓若干？如線捲中之電流限於 800 安，則此交流發電機之定額若干？
- e. 其單相外電路之功率因數，設為百分之 86，以矢量圖表示其每相電壓、電流、及結果電壓。如兩相分別觀之，則其功率因數各若干？
232. 在一同步發電機(或電動機)中，其電樞電抗與電阻之數值比較如何？
233. 一交流發電機，即在全激磁場，亦可短接之而無危險，惟一直流發電機如受同樣之處理時，必致燒毀，何故？
234. 一三相 115- 伏交流發電機之負載，為 150 盞 10- 瓦電燈，分接成三組，及一 10- 馬力之感應電動機，其效率為百分之 85 而功率因數為百分之 80。
- a. 求供給電動機之每線電流，供給電燈之每線電流，取自線路之總電流。
- b. 指明應用二瓦特計法之連接法。每瓦特計上之示數各若干？
235. 三電熱器連成 Δ 而接於 115- 伏之 3 相線路上，每器取 1,000 瓦於百分之 100 之功率因數。每器之電阻若干？線路電流若干？以二瓦特計法測其功率。每計上之示數若干？
236. 一感應電動機取 3,000 瓦於百分之 80 之功率因數。用兩瓦特計量其功率。每瓦特計上示數若干？
237. 三電熱器連成 Y 而接於一二相線路上，

a. 用三瓦特計法,

b. 用二瓦特計法,

表示其連接法, 證明二瓦特計上示數之和等於三瓦特計上示數之和。

上述結果在任何功率因數是否均確?

238. 如應接成 Δ 之三電熱器誤接成 Y, 則將有何結果? 如原擬接成 Y 者接成 Δ , 應如何?

239. 在一三相交流發電機中, 其所發之每相電壓為 1,270 伏。其導線之粗細, 足使每相載 100 安而無危險。

a. 如此機有 8 個磁極及 24 個槽, 試作一如圖 256 所示之展開圖, 以示線圈及其連接法。

b. 表示其三相應如何接連始成一 Y 形接法之交流發電機以另一圖表示其如何接成 Δ 。

c. 在上述兩種接法中之端電壓, 每相電流, 線路電流, 及其輸出任伏安各若干?

240. 如上題中之三相互相串聯, 以求電機兩線端間之最大可能單相電壓, 則此機之輸出任伏安若干? 表示此時之連接法。

241. 作三相中所發電壓之各正弦曲線, 並標以 A、B、及 C。

a. 設此機接成 Y, 組合各曲線, 以求代表端電壓之曲線 (相減相鄰兩曲線之縱坐標)。

b. 作上述六曲線之矢量圖, 並表示端電壓等於每相電壓之 $\sqrt{3}$ 倍。

c. 關於 Δ 形接法線捲, 作每相電流 100 安之曲線, 及代表

線路電流之合曲線，該項線路電流，在任何瞬間中 爲接於該線之兩相中之電流之差。

- d. 由上述之曲線及其相當之矢量圖，表示線路電流等於以 $\sqrt{3}$ 乘每相電流。

第三十章

242. 試證一變壓器之副線圈電壓之有效值爲

$$E_2 = 4.44 N \phi f 10^{-8} \text{ (參閱 209 節)}$$

式中之 N 爲匝數， ϕ 爲磁流之最大值，而 f 爲頻率。

243. 一 15 仟伏安， $\frac{2,200}{200}$ 伏，60 週之電燈變壓器，其鐵心面積

爲 8.8 平方呎。其主線捲有 1,440 匝。其副線捲之匝數若干？求通過鐵心之磁流。其值是否爲平均值，有效值抑最大值？其最大磁流密度若干？需每厘米若干安匝以生此磁流？（應用本書圖 44 之鍛鐵曲線）。如其磁路長 100 厘米，則其主捲電流之有效值需若干安，始可致此磁流密度？此電流對於滿載之百分數若干？

244. 接於副線捲電路之電阻減少時，其主線捲電流何以增加？
 245. 何謂變壓器之漏電抗？假定其值不變，何以尚屬合理？
 246. 何謂變壓器之鐵損失（或鐵心損失）？其值與負載有何關係？何故？
 247. 變壓器之鐵心損失如何量法？作其連接圖，並指明必需之示數。

348. 變壓器之磁滯損失依何者而變？渦流損失依何者而變？說明該項損失如何可使之減少。
249. 負載電流自零增至滿載時，通過磁路之磁流如何變化。同時其漏磁流如何變化？
250. 某變壓器副線捲之匝數，爲其主線捲匝數之二倍。
- 主線捲電阻 = 0.3 歐，電抗 = 0.9 歐；副線捲電阻 = 1.2 歐；電抗 = 3.6 歐。變壓器無載時取 20 安及 1,000 瓦於 200 伏，作無載時之矢量圖，使近於比例尺。
該項數值較實在變壓器中者稍大，以便作矢量圖時有顯著之數值。
 - 其副線捲之負載爲 50 安於 400 伏，及功率因數爲百分之 80，作其完全矢量圖，並由圖量出其外施電壓，主線捲電流及功率因數。
 - 表列繪畫矢量之順序，並說明其方向與數值之理由。
 - 在滿載時，主線捲功率因數幾等於副線捲功率因數，但在輕載時則較低，何故？
 - 在百分之 60 功率因數時之電壓調整率，較之在百分之 80 時者爲佳否？如不能確定，可作每種功率因數時之實在矢量圖。
251. — 1,500 仟伏安 $\frac{63,500}{13,200}$ 伏 25 週變壓器之鐵心損失爲 20 仟瓦。其主線捲電阻 = 16.2 歐，而副線捲電阻 = 0.53 歐，求在滿載電流而功率因數爲 1 時變壓器之效率。在滿載電

流而功率因數為百分之 80 時之效率若干？

如上述變壓器每日祇運用 6 小時於滿載及百分之 100 之功率因數，但終日接於線路上，則其全日效率或電能效率若干？

252. 一交流發電機何以能短接而無損？短接一變壓器是否安全？在 250 題之變壓器中，其電阻位降與電抗位降之百分數若干？

253. 一焠接變壓器之主線捲有 275 匝，而其副線捲則為 1 匝，運用於 110 伏之電源上，如自線路上取得之電流為 10 安，其副線捲電路中之電流約若干？其感應電壓約若干？

254. 定電流變壓器之目的何在？解釋其運用原理。其與定電壓變壓器之分別如何？

第三十一章

255. 一 500 馬力，2,300 伏三相電動機，其功率因數為百分之 80，而效率為百分之 93，如自 6,600 伏之線路上供給電能，指明其所需之變壓器。

256. 如上述變壓器係接成 Δ 形，而其中一相燒毀，則電動機上之負載應減至若干，始可避免變壓器過載？

257. 如前述負載以一 2 相線供給之，指明其所需之史高脫接法變壓器，並說明其主線捲及副線捲之載流量。

258. 三變壓器之高壓線捲接成 Y，而其低壓線捲接成 Δ ，如其總輸出為 300 仟伏安，其主線捲電壓為 2,200 伏及副線捲

電壓為 220 伏，則每變壓器之電壓，電流及定額各若干？

259. 如接一變壓器於一直流電路上，將有何結果？
260. 二部 250 馬力，2,200 伏之三相電動機，其功率因數為百分之 90，而其效率為百分之 93，自 44,000 伏之輸電線，以接成 $\Delta - \Delta$ 之三單相變壓器供給之。
- 指明此項變壓器之仟伏安與電壓之定額。
 - 假定其中一變壓器損壞，而其餘二變壓器供給一部滿載之電動機，此時每變壓器所載之仟伏安負載各若干？
261. 說明一標準配電變壓器之繞法，俾可任意接於 2,200 伏或 1,10 伏之給電線上，而生 110 伏及 220 伏。
- 自同一變壓器能否同時得 110 伏或 220 伏？何處需此種接法？
262. 某發電廠欲供給 110 仟瓦於相距 10 哩之處，而其線路上之 I^2R 損失限於百分之 10，其功率乃用於 110 伏作照明！大工廠之用者（功率因數為百分之 100）。如用 (1) 110 伏輸電線，(2) 2,200 伏輸電線，其變壓器之價格為每仟伏安元，(3) 11,000 伏輸電線，其變壓器之價格為每仟伏安元，求銅線之大小及費用，並求銅線與單相變壓器之總值。
263. 如 $\frac{2,200}{110}$ 伏之變壓器，接成 $Y - \Delta$ ，輸出 300 仟瓦於百分之 80 功率因數。求其每相中及線路上之電流與電壓。
264. 一 3 相 66,000 伏之輸電線，供給三負載 A 、 B 、與 C ，負載 A 為 400 馬力之電動機，2,200 伏，效率為百分之 85，功率因數為百分之 90；負載 B 供給 13,000 伏之輸電線至一分

廠，由此以 $\Delta-\Delta$ 之變壓器降低電壓至 2,200 伏，該電壓再以 $\Delta-\Delta$ 接法之變壓器降低至 110 伏，供 500 仟瓦之白熾燈，線路損失為百分之 8；負載 C 供給 400 盞發電廠附近之 110 伏 60 瓦電燈之用。

其 6,000 伏之變壓器，皆接成 $Y-\Delta$ 。

- a. 作此配電系統之簡圖。
- b. 求所有線路中及所有變壓器線捲中之電流。
- c. 求各變壓器之仟伏安定額與電壓比。
- d. 求 66,000 伏線路上之電流與結果功率因數（不計變壓器之損失，並假定其主線捲功率因數等於副線捲功率因數）。

第三十二章

265. 解釋固定線捲中之電流，如何可產生旋轉磁場，試導出旋轉磁場之速率公式，以磁極數與頻率表示之。
266. 轉子靜止時，其導體中之電流值由何決定？轉子旋轉時如何？
267. 轉子之電抗，在開動至旋轉期中，何以變更甚大？此項變更對於轉子電流之功率因數有何影響？
268. 開動一鼠籠式感應電動機時，其取自線路上之電流雖可甚高，然其開動轉矩甚低，何故？（例如開動電流為滿載電流之 5 倍，而其開動轉矩僅為其滿載轉矩之二倍）。
269. 加電阻於轉子電路中之影響如何？何種感應電動機之轉子

電路可另加電阻？

270. 何謂感應電動機之退移？其退移率如何計算？

271. 一四極 60 週感應電動機之滿載速率為每分 1,710 轉，其退移率若干？

如轉子線捲中之應電壓，在開動（靜止）時為 130 伏，轉子電阻為 5 歐，而轉子電抗在開動時為 12 歐，求開動時及滿載時之轉子電流。

272. 下列數據乃得自一 5 馬力，220 伏，3 相，60 週，鼠籠式感應電動機之試驗。

端 電 壓	每線電流	每分轉數	瓦特計示數	轉矩磅呎
220 (無載)	5.2	1,210	+ 690 / - 390	0.0
220	6.5	1,192	+ 1,280 / + 50	5.5
220	8.5	1,180	+ 1,800 / +0,540	11.2
220 (滿載)	13.2	1,150	+ 2,910 / +1,490	23.0
220	19.5	1,110	+ 4,260 / +2,340	36.0
220 (靜止)	72.0	0	+13,000 / -1,400	35.0

a. 電動機之磁極有若干？其定子線圈之跨度若干？

b. 如需一每分 900 轉之電動機，則需如何變更？

c. 其無載損失及其滿載時之輸入各若干？

d. 以輸出馬力為基線，作功率因數與效率之曲線。

e. 試答實驗 15 中之各問題。

f. 如用一自耦變壓器減少其開動電流，則在滿載轉矩時之副線捲電勢若干？此時電動機中之電流，線路電流及功

率因數各若干？

g. 如此電動機為捲轉子式，而其轉子電路中有適當之電阻者，欲生滿載轉矩之開動電流若干？

h. 因捲轉子式電動機在開動時以滿載電流生滿載轉矩，其開動時之功率因數須為若干？

273. 如將負有滿載電動機之電壓，減至正常值之百分之 90，其結果如何？

a. 對於旋轉磁場之強度如何？（參閱 329 節）。

b. 對於轉子電流如何？

c. 對於速率如何？

其效率與功率因數無多大變更。

274. 作一 6 極，3 相，60 週，每相每極 1 槽（共 18 槽）感應電動機之簡圖，與圖 331 所示者相似。作 A 、 B 、 C 及 D 四瞬間（圖 331）之合磁場曲線，並自此求其旋轉磁場速率之每分鐘數，並導出其速率公式，以磁極數與頻率表之（須明瞭各相之起點互隔 120 電度而非 60 電度）。

275. 轉子電抗自開動至旋轉期間何以變更甚大？

276. 在多相感應電動機中，如何可得一良好之開動轉矩？

277. 繪製直流並激及串激電動機與交流同步及感應電動機之速率負載曲線，每種電動機之無載與滿載速率之差之百分數若干？何謂同步速率？

278. 感應電動機之轉矩與何者有關？其轉矩何以依外施電壓之平方而變？

279. 如一 6 極感應電動機滿載時，旋轉於每分 1,125 轉，則線路上之頻率應為若干？表列用於 25 週及 60 週之感應電動機之各種可能的同步速率。此表對於電扇及離心唧筒之設計者甚為重要。
280. 加入電阻於轉子電路中，對於感應電動機之退移有何影響？
281. 加入電阻於轉子電路以控制感應電動機之速率之法，有何顯著之缺點？
282. 試舉一改變感應電動機速率之法，該法須無如加入電阻於轉子電路中之各項缺點。試舉一例，說明實用該法之處。此法對速率調準之限度如何？
283. 一感應電動機靜止時，取 5 倍滿載電流於正常外施電壓，產生 1.5 倍滿載轉矩。
- a. 開動時如欲得 0.8 倍滿載轉矩，其外施電壓須為若干？（以滿載電壓表之）。
- b. 線路上之開動電流若干？（以滿載電流表之）。

第三十三章

284. 一單相交流發電機輸出 1,000 仟伏安於 6,600 伏。當旋轉於正常速率時，在某激磁下之無載電壓為 6,600 伏，而在同一激磁之短路電流為 380 安，其線捲之電阻為 1.5 歐。
- a. 求其線捲之電抗。
- b. 求功率因數為 1 及為百分之 80，與為零而電流滯後時之各電壓調整率，其滿載電壓皆為 6,600 伏。

285.— 3 相 Y 接法交流發電機之輸出為 1,000 仟伏安於 2,400 伏。其機械損失與鐵損失共為 20 仟瓦，其激磁電流在百分之 100 功率因數為 125 安，在百分之 80 功率因數時為 160 安，而其激磁電壓為 120 伏。每相線捲之電阻為 0.5 歐。求：

a. 電樞銅損失。

b. 在功率因數為百分之 100 及百分之 80 時之各效率。

286. 下列數據乃得自一 220 仟伏安，2,200 伏，60 週，每分 600 轉，單相交流發電機之無載飽和試驗及短路試驗者：

磁場電流	無載伏電壓	短路安電流
20	740	65
40	1,460	130
60	2,100	198
80	2,500	260
100	2,930	325
120	3,190	385
140	3,380	460
160	3,520	525

其電樞之電阻為 1.1 歐。

a. 由上列數據，作其無載飽和曲線及短路曲線。

b. 求電樞之電抗，而繪其曲線於 a 之曲線紙上（注意磁場近於飽和後，其電抗並非常數）。

c. 假定電抗為 10 歐之定值，在滿載電流時其電阻位降與電抗位降各若干？

- d. 求在百分之 100 功率因數時之電壓調整率。並求功率因數為百分之 80 而電流超前時，及功率因數為百分之 60 而電流滯後時之各電壓調整率，其滿載端電壓皆為 2,200 伏。
- e. 如其端電壓在一切負載時，均以一電壓調整器保持之於定值，則自無載至滿載間功率因數為百分之 60 滯後之一切負載，電壓調整器應控制之激磁範圍如何？
- f. 其磁場電流較之電樞電流何以如此之大？
- g. 短接一交流發電機時，即用全部激磁亦屬平安，而一直流發電機如受同樣之處理，則將燒毀，何故？
- h. 如此交流發電機在正常電壓時之鐵心損失，風阻損失及摩擦損失共為 6 仟瓦，則在滿載而功率因數為百分之 100 及百分之 60 而電流滯後時之損失各若干？在該兩種運用情形之效率各若干？
287. — 1,000 仟伏安之交流發電機，功率因數為百分之 100 時之效率為百分之 93，而功率因數為百分之 80 滯流時之效率為百分之 91。
- a. 如此機完全供白熾燈負載之用則應用如何大小之引擎？
- b. 如此機用以供給電動機負載，而已知其功率因數永不超過百分之 80 者，則應用如何大小之引擎？

第三十四章

288. 試述同步電動機之構造，列舉其主要部分，同步電動機之

磁場如何激發？略述同步電動機之運用原理。

289. 同步電動機之速率，能否改變其磁場電流而變更之？當其磁場(a)加強時(b)減弱時，略述其所生之結果。
290. 增加同步電動機之負載時，對於其速率有何影響？解釋其速率何以不變，其負載何以不能無限制的增加？
291. 如何可使一同步電動機自線路上取得越流？作一簡明之具體的解釋，說明如何完成。
292. 一多相同步電動機，如何能製成自身開動而不須另用開動電動機？
293. 在同步機中‘逐獵’之意何指？試述數種防止逐獵之法。
294. 同步電動機之阻壓器之目的何在？詳述之。
295. 某電廠之負載為 1,000 馬力之 2,200 伏 3 相電動機，其平均效率為百分之 90，而其平均功率因數為百分之 80，求線路上之電流及交流發電機所需之定額。
- a. 計算升高功率因數至百分之 100 時所需過激同步電動機之定額，並計算升高功率因數至百分之 90 時所需者，同步電動機無負載。
- b. 計算升高功率因數至百分之 100 時，所需三 Y 接法容電器之電容。
容電器每微法值 10 元，而同步電動機每仟伏安值 10 元何者較廉？
- c. 如其負載中之 500 馬力，可以一同步電動機拖動之，則欲使負載功率因數為百分之 100，而其效率為百分之 90

時，該電動機之輸入定額應為若干？

- d. 負載功率因數對於交流發電機之容量，輸電線上之損失，引擎與鍋爐之容量等有何影響？

第三十六及三十七章

296. 試述單相感應電動機何以不能自身開動。
297. 以圖表示分相開動法之必要連接。作其電壓與電流之矢量圖，並說明如何完成其開動作用。
298. 說明一單相感應電動機使之轉動（在任何方向）後，何以能繼續旋轉。同此理由是否可應用於一 3 相電動機旋轉於單相時？
299. 作單相串激電動機圖，說明其瞬時轉矩何以永在同一方向。其轉矩在任何時間是否均同？解釋之。
300. 如何使一單相串聯交流電動機之旋轉方向反轉？作其連接圖。
301. 比較感應電動機發電機組，同步電動機發電機組，及旋轉變流機之 (a) 開動，(b) 效率，(c) 直流電壓之變更，(d) 功率因數之控制。
302. 電動機關車較蒸汽機關車有何優點？
303. 以運轉圖說明動力軌之原理。何處能應用此項原理。
304. 飛輪式電動機發電機組何以用於礦中起重機？在此制中需何種保安裝置？
305. 電曳電動機較之用於其他目的之電動機，何以如此之小？

(例如磨輪電動機之直徑，有時為 12 至 20 呎)。

306. 依下列項目討論鐵道上所用直流制與交流制之電壓分配：
 a. 線路損失。 b. 所需之分廠數。
307. 計算一單相變流機之電壓比；一 3 相變流機之電壓比。
308. 大型變流機通常製成 6 相者，因其效率較 2 相或 3 相變流機為高也。作圖說明如何能自 3 相線路得 6 相。

第三十八及三十九章

309. 比較單相輸電與三相輸電之效率。
310. 繪一連接圖，並說明如何保護電器免被雷擊。
311. 在長距離輸電線上常用何種避雷器？解釋其運用。
312. 何以用交流功率輸電而後變為直流？
313. 解釋交流如何變為直流。
314. 將交流與直流兩者之最通用之電壓列表。
315. 何以須用儀器用互感器？
316. 一 3 相 60 週之輸電線，在接受端測得之功率為 600 仟瓦，功率因數為百分之 90 越前，而 Δ 電壓為 6,600 伏，每導線之電阻為 4.1 歐，而每導線之電抗為 2.5 歐。假定其發送端及接受端皆為 Y 接法，計算發送端之電壓及線路之電壓調整率。
317. 一 礮絲燈與一 鎢絲燈，各自一 110 伏線路上取得 0.5 安。
 二 盞 礮絲燈串聯於 110 伏間，所取電流少於 0.25 安，而二

蓋鎢絲燈串聯於 110 伏間，所取電流則多於 0.25 安。解釋此結果。

218. 某機械工場，長 320 呎，闊 100 呎，而其天花板高 20 呎，屋頂之橫木離地 18 呎，且分畫天花板為若干長 100 呎闊 32 呎之分間。天花板之顏色中等，而四壁幾全為窗戶，其反射因數等於黑色牆壁。其工作面離地 3 呎，茲欲以電燈照明之。

決定其照明方式，並計算其所需電燈之盞數與大小。

注意： 如用適當之反射器，則離地 16.5 呎處之電燈可相隔 20 呎。

附 錄

表 VIII.——導體材料

材 料	比 電 阻			在 20 °C 時之溫度 係數	質 量 每立方厘米 克數
	每立方厘米 微歐數	每立方吋 微歐數	每圓密爾呎 歐數		
純銅 ·····	1.724	0.6788	10.37	0.00393	8.89
硬抽銅 ·····	1.79	0.695	10.77	0.00378	8.89
軟銅 ·····	2.82	1.113	17.0	0.0039	2.7
硬抽鋁 ·····	2.92	1.15	17.5	0.0038	2.7
純鐵 ·····	10.0	3.93	60.0	0.006	7.83
鋼線 ·····	10.7 至 17.5	4.2 至 6.9	64 至 106	0.006 至 0.0033	7.83
鑄鐵 ·····	75 至 100	29.5 至 39.4	450 至 600	0.001 至 0.00074	7.32

表 IX.——絕緣銅線之安全載流量
(美國國家電氣法規)

美規號數	面積	橡皮絕緣	油布絕緣	其他絕緣	每千呎在 20°C時之 電阻,歐數	每千呎裸線 之重量 磅數
	圓密爾數	安數	安數	安數		
18	1,624	3	•••	5	0.385	4.917
16	2,183	6	•••	10	4.916	7.818
14	4,167	15	18	20	2.525	12.43
12	6,530	20	25	25	1.88	19.77
10	10,370	25	30	30	0.9989	31.43
8	15,510	35	40	50	0.6283	49.98
6	23,250	50	60	70	0.3951	79.43
4	41,740	70	85	90	0.2485	126.4
3	52,630	80	95	100	0.1970	159.3
2	66,570	90	110	125	0.1553	200.9
1	82,690	100	120	150	0.1219	253.3
0	105,500	125	150	200	0.09827	319.5
00	133,100	150	180	225	0.07713	402.8
000	167,800	175	210	275	0.06080	507.9
0000	211,500	225	270	325	0.04901	640.5
	300,000	275	330	400	0.03445	908.
	500,600	400	500	600	0.02179	1,115.
	1,000,000	650	780	1,000	0.01035	2,030.
	1,700,000	850	1,020	1,300	0.00690	4545.
	2,000,000	1,050	1,200	1,670	0.00517	6060.

