

電廠設備

汪樹模編

龍門聯合書局出版

前 言

我寫這書以曾學過初等電工學中高級技術學校學生、大學或學院的專修科學生爲主要對象。目的在要求用兩學期每週三小時的時間，獲得電廠裏有關電機工程設備的基本概念，同時又希望能對在電廠工作崗位上的中級技術人員作參攷。因爲目的祇在介紹概念，所以在解決個別具體問題時所發生的效用也許只限於一定的程度。電廠的各種設備，從大的發電機起到小的替續器止，都有許多專題書籍，詳細講解。除去手冊性質的編著外，不可能在一本書裏把這些材料包羅俱盡，更不應該在教科書性質的編著裏，拉雜太多，而使不適用於預定的教學時數。雖然如此，主要部份和重要部份倘有遺漏，却不是編者的原意。

這書初稿在北京重工業學校印成講義，經過試用。在教學過程中曾發現若干錯誤和缺點，現在都已修正補充。其中沒有發現而存留的錯誤和缺點，不知道還有多少，希望各界讀者隨時批評指正。

本書付印時承蒙許多教育界和工業界的先進鼓勵協助，特此誌謝。

汪樹模 一九五一年四月二十八日

目 錄

第一章 緒論

1 歷史和發展..... 1	3 水力和火力發電的優缺點..... 3
2 原動機的種類..... 1	4 發電廠位置的選擇..... 4

第二章 担负曲線和它的意義

5 担负曲線圖..... 5	7 名詞解說..... 7
6 名詞的定義..... 6	

第三章 發電設備

8 電力發電設備.....10	22 電樞繞組聯接法.....22
9 直流發電機的分類.....10	23 發電機中點連地線.....22
10 激磁方法.....11	24 交流發電機的磁極.....23
11 電樞繞組.....12	25 交流發電機的通風.....23
12 各種直流發電機用途.....12	26 發電機的溫度升高.....24
13 特型構造的發電機.....13	27 交流發電機的特性曲線.....24
14 直流發電機的特性曲線.....15	28 整步法.....25
15 電壓調整率.....16	29 自動整步器.....27
16 直流發電機的損失.....16	30 交流發電機的激磁機.....27
17 直流發電機並聯運用的方法.....17	31 激磁機的電壓和容量.....28
18 三線直流發電機.....18	32 激磁機的特性.....29
19 同步交流發電機的分類.....23	33 電流改變得很快的激磁機.....29
20 週率.....20	34 用蓄電池激磁.....30
21 相數.....20	

第四章 電壓調整器

35 調整電壓的方法.....31	37 直流發電機自動電壓調整器.....31
36 手控制和自動控制調整器.....31	38 振動式調整器.....31

39 變阻器式調整器.....35	44 超簡程式調整器.....43
40 簡程式調整器.....38	45 線路捷速時調整器的保護機件.....46
41 B. B. C. 式直接作用調整器.....40	46 交流饋電線的電壓調整器.....47
42 G. D. D. 式直接作用調整器.....42	47 開關式調整器.....47
43 交流送電線的電壓調整器.....43	48 感應式調整器.....48

第五章 變壓器

49 變壓器的分類.....51	57 呼吸器變壓器.....57
50 佈電變壓器和強功率變壓器的區別.....52	58 變壓器的乾燥法.....58
51 鐵心構造.....52	59 變壓器油的乾燥法.....58
52 線組.....53	60 儀器用和保護用的變壓器.....59
53 冷卻方法.....54	61 儀器用和保護用變壓器與普通變壓器的區別.....63
54 自耦變壓器.....55	62 變流器.....63
55 恆流變壓器.....56	63 變壓器和變流器使儀器不準的原因.....61
56 儲油箱變壓器.....56	

第六章 變壓器的聯接法

64 單相變壓器的聯接法.....63	71 T 聯接法.....68
65 Δ — Δ 聯接法.....63	72 二相變三相的聯接法.....69
66 Y— Δ 或 Δ —Y 聯接法.....64	73 曲折聯接法.....69
67 Y—Y 聯接法.....65	74 三相變六相的聯接法.....70
68 三繞組變壓器的用途.....66	75 兩組三相變壓器並聯使用.....71
69 Y 聯接的自耦變壓器.....68	76 變壓器帶着阻抗調換分接頭的方法.....72
70 V 聯接法或開口 Δ 聯接法.....68	

第七章 開關和熔斷器

77 開關的種類.....75	83 控制開關.....78
78 刀形開關.....75	84 隔離開關.....79
79 轉動開關.....77	85 油開關.....80
80 彈簧開關.....78	86 熔斷器.....80
81 儀器用開關.....78	87 普通的熔線.....81
82 插頭和插座.....78	88 吹開熔斷器.....82

第八章 斷路器

89 斷路器.....	83	96 去離子油斷路器.....	90
90 碳質斷路器.....	83	97 無油斷路器.....	91
91 磁吹斷路器.....	84	98 斷路器的裝置和控制方法.....	91
92 高速度斷路器.....	85	99 斷路器的控制電源.....	93
93 油斷路器.....	86	100 自動復合的斷路器.....	94
94 油斷路器的接觸.....	87	101 斷路器的定額.....	95
95 油斷路器的動作方法.....	88	102 斷路器的選用方法.....	97

第九章 保護替續器

103 替續器.....	98	112 差作用替續器.....	111
104 替續器按動作時間分類.....	98	113 溫度替續器的應用.....	112
105 替續器按構造分類.....	99	114 惠斯通電橋原理的溫度替續器.....	113
106 替續器按用途分類.....	100	115 熱效筒式替續器.....	113
107 達松發爾式替續器.....	102	116 膨脹式替續器.....	114
108 活柱式替續器.....	103	117 保護用替續器所需的時間和電流.....	114
109 感應式替續器.....	105	118 斷路器脫扣延時和截斷容量的關係.....	114
110 感應式週率替續器.....	109		
111 距離替續器或阻抗替續器.....	110		

第十章 各種設備應用保護替續器的研究

119 被保護設備的分類.....	115	127 變壓器的保護法.....	120
120 直流設備保護法特點.....	115	128 交流電動機的保護法.....	121
121 直流發電機和饋電線的保護法.....	115	129 送電線和配電線的分類.....	122
122 充電機的保護法.....	116	130 輻形線路的保護法.....	122
123 激磁機的保護法.....	116	131 平行饋線的保護法.....	123
124 直流電動機的保護法.....	116	132 環形線路的保護法.....	125
125 交流發電機的保護法.....	117	133 電網路的保護法.....	126
126 交流發電機原動機或磁場失效時的保護法.....	120		

第十一章 交流發電機捷連時的瞬變現象

134 交流發電機捷連路電流的物理觀念.....	127	135 交流發電機捷連路電流的計算.....	130
		136 電抗百分數.....	132

- 137 交流發電機捷連時磁場和激
磁機情形..... 134

第十二章 限流電抗器

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| 138 電抗器的用途..... 136 | 141 電抗器使用方法..... 138 |
| 139 限流電抗器的構造..... 136 | 142 電抗器的安裝方法..... 140 |
| 140 電抗器的定額..... 138 | 143 電抗器的試驗..... 142 |

第十三章 避雷器和突波吸收器

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| 144 高壓絕緣..... 143 | 153 鋁電池避雷器..... 149 |
| 145 電荷..... 143 | 154 氧化膜避雷器..... 149 |
| 146 行波或電衝..... 144 | 155 自動活瓣避雷器..... 150 |
| 147 駐波..... 144 | 156 薩拉特避雷器..... 151 |
| 148 避雷器和扼流線圈..... 145 | 157 避雷器標準的運用原則..... 151 |
| 149 避雷器的種類..... 146 | 158 避雷器的排列法..... 153 |
| 150 角隙避雷器..... 146 | 159 避雷器相隔的距離..... 154 |
| 151 複隙避雷器..... 148 | 160 扼流線圈的形狀..... 154 |
| 152 壓縮複隙避雷器..... 149 | 161 突波吸收器..... 155 |

第十四章 電工儀器

- | | |
|-----------------------|----------------------------|
| 162 電工儀器的分類..... 157 | 170 溫度計..... 165 |
| 163 儀器表計的選用法..... 158 | 171 瓦特小時計和無功伏安小時計..... 166 |
| 164 同步指示計..... 158 | 172 紀錄儀器概論..... 166 |
| 165 檢漏計..... 161 | 173 替續器紀錄器..... 167 |
| 166 無功伏安計..... 162 | 174 電子管紀錄器..... 169 |
| 167 仟伏安計..... 162 | 175 需量計..... 170 |
| 168 功率因數計..... 162 | 176 累計需量計和紀錄需量計..... 171 |
| 169 週率計..... 163 | 177 落後指示需量計..... 172 |

第十五章 配電盤

- | | |
|--------------------------|-------------------------|
| 178 配電盤的材料..... 174 | 181 配電盤的形狀和排列法..... 177 |
| 179 按控制方式分類的配電盤..... 175 | 182 配電盤排列的順序..... 178 |
| 180 配電盤的支架..... 177 | 183 配電盤上的設備..... 181 |

184 配電盤上設備安裝的位置.....	182	186 匯流排和開關的安裝注意點...	186
185 匯流排.....	184	187 模型匯流排.....	187

第十六章 分電站

188 分電站的用途和分類.....	188	194 改正功率因數分電站.....	192
189 分接分電站.....	189	195 變換週率分電站.....	192
190 工業用分電站.....	189	196 整流或換流分電站.....	192
191 節斷分電站.....	189	197 屋內和屋外分電站.....	192
192 傳送分電站.....	190	198 分電站控制方法.....	192
193 配電分電站.....	191		
索引.....			194
中英名詞對照表.....			197

第一章 緒 論

1. 歷史和發展 公元 1838 年，俄國工程師耶柯比發明的直流電動機運轉輪船，在涅瓦河上行駛，引起了各方面很大的注意。其後，陸續出現電燈、發電機、電動機、變壓器等，發明者多為俄羅斯人。在各種技術領域中電力設備的發展日益迅速，應用日益廣泛，於是演成今天二十世紀的電氣世界。

截至今日，大型發電機的容量達到 200 000 仟伏安，傳送電壓將到 400 000 伏（蘇聯古比雪夫水電站到莫斯科的送電線電壓），電機工程已有長足的發展。因為無論在國防工業上、建設工業上以及社會的物質文明上，它都佔着絕大的重要性。在我國提倡發展生產，努力建設，計劃由農業國變為工業國的今天，對於這一門科學的加強研究，更有迫切的需要。我們有東北和華中華南的河流，我們有山西和河北的煤礦，這些動力的源泉，正是工業建國的天賦，而把位能及熱能輸送分配需要經過變成電能的階段，這就是在許多種工業裏電機工業所起的作用。

電的發生、電的傳送分佈和電的應用，是使自然界蘊藏動力的原料，發揮工作效用程序中的三步曲。電廠設備這一門課程專討論“電的發生”裏的幾項問題。對於發生電的發電機並不詳細敘述。它所包括的內容主要在使所發生的電如何能安全、經濟和合用。這是每一位電廠工作的技術人員必需明瞭的基本學識。

2. 原動機的種類 原動機是利用燃燒或水力以發生動能的機器，也是帶動發電機使它發電而不可或缺的機器。下面是適用於發電的幾種原動機：

- (一) 蒸氣機 { 往復機,
 渦輪機。
- (二) 水力機 { 衝擊輪,
 反動輪。
- (三) 內燃機 { 油 機,
 煤氣機。

現在我們來分別說明一下：

(一) 在發電廠裏，渦輪機很快地淘汰了往復機。容量同大的兩種機器相比較，前者有下列七條優點：(1) 購價較廉，(2) 需要的維持費和看護費較少，(3) 佔據的面積和地基比較經濟，(4) 渦輪機內部不需要滑潤，蒸氣不和油接觸，可以冷凝成水後再入鍋爐使用，因此保存了一部份熱能，同時又節省了很多的設備，(5) 不振擺，(6) 轉速均勻，速度調整率良好，(7) 担負在廣大範圍的變化下都可能有較高的效率。

渦輪機的轉速很大，除非加用減速齒輪，不宜和直流發電機的軸直接相連。因為電樞繞組和整流段條都沒有足夠的機械強度來忍受高轉速所生的離心力，但普通用作為激磁機的小型直流發電機是例外。

(二) 水力機的工事建築費很大，經常消耗費較少。衝擊輪適用於高水頭，反動輪適用於中水頭。另外有一種螺旋式，這是反動輪的一種變型，它的效率比較低，但專門適用於低水頭。

水力機轉速的範圍很廣，因為型式不同，所以轉速可以由每分鐘 58 轉到 750 轉。普通的在 300 轉左右。

水力機和蒸氣渦輪機的轉速都很均勻，所以它們所帶的交流發電機兩個以上並聯運用時，不會發生獵兔作用。

(三) 內燃機有油機和煤氣機兩種。油機用在小規模的發電廠裏，特別在担負因數(參看第二章第六節)較低的情形下是有利的。因為在“無担負”的時候，要維持一個蒸氣機使它作隨時使用的準備，事實上很不經濟。但相反的，油機可以在短時間內起動來荷載它的額定担負。因此在國外油價低廉的地區，這種機器曾被小電廠大量採用。我國礦物

油的產量不多，植物油的應用尙在研究改進中，所以油機發電機多半是供給電信的小型攜帶式或作主要原動機發生毛病時應急的備品。

煤氣機的效率很低，在發電廠裏已是歷史上的東西。但如工廠能得到煤氣作副產品，那麼利用廢物也可以合於經濟原則。

內燃機的轉速很不均勻，必需加用重大飛輪來減小速度的漲落。它們所帶的交流發電機若要並聯運用，發電機磁極面上需有阻尼籠，方能免除獵覓作用。

在本節的最後，我要提及一件事促請注意。就是用皮帶把原動機與發電機相連，佔地很多，損失很大。這種連接法僅在實驗室或古老的設備裏還能見到。普通的方法，原動機都是和發電機直接軸連的。

3. 水力和火力發電比較 水力發電和火力發電比較，各有優缺點。總的來說，建設水力發電廠，投資較多，施工期長，但運轉時的費用（燃料費，維護費，工資等）較少，而火力發電廠却相反。

水力發電需較多的投資，有下列的主要原因：

（一）爲了保證在冬季有足夠的水量，建設水力發電廠時又需建築許多堤壩和蓄水庫，土木工程浩大。水力發電廠可能距離用電區遠，因此需要使用高壓的變壓器和架設長途高壓送電線路。這些設備的價格是很可觀的。

（二）爲了保證能連續供電，水力發電廠需用很多預防發生故障的設備，因此加大了投資。因爲線路越長，電壓越高，發生故障的機會也越多。

（三）爲了保持良好的電壓調整率，即是當担负變動時，爲了使供電系統的電壓漲落不大起見，水力發電廠需在長途送電線端加設同步電容機或靜電電容器。因爲線路越長，維持良好電壓調整率所需的設備也越多或越貴。這些設備，又增加了投資。

考慮發電廠的優缺點，不應僅從它本身着想，而應從較多方面考慮。例如設立了水力發電廠，因調節水流，便在水多的季節，能防止泛

濫;在水少的季節,能保證航運和灌溉。設立了火力發電廠,用過的蒸汽還可供造紙工業,橡膠工業等使用等。

4. 發電廠位置的選擇 當我們想決定一個發電廠建設所在地的時候,我們應該顧慮到許多條件。這些條件有些是顧此失彼,不可兼備的。分析現實情形,關於每一條件的優劣各點,須全部綜合起來,全面比較,才能作最後決定。這些條件主要的是:

(一)火力發電廠:

- (1) 交通方便,
- (2) 燃料容易購運,灰渣容易排除,
- (3) 用水方便,
- (4) 地基堅固,
- (5) 廠屋建築可能擴充,不受四周環境限制,
- (6) 距用電區近,
- (7) 購買土地建築廠屋的費用可能減少。

(二)水力發電廠:

- (1) 有經常所需要的水頭和水量,
- (2) 有益於其他事業(例如農田灌溉、河渠疏導)的水利,
- (3) 用水方便(這裏的水是指清潔的水來說,例如飲料水等等),
- (4) 地基堅固,
- (5) 可能擴充,
- (6) 交通方便,
- (7) 距用電區近(通常不很可能)。

第二章 担負曲線和它的意義

5. 担負曲線圖 表示在某一時間裏(一小時、一天、一月或一年),電廠所荷載担負的瞬時變化。這些曲線因為包括的時間是一小時或是一天等等不同,也因為担負的性質是電燈或是電車等不同,所以有不同的形狀。

圖 1 到圖 4 表示着四種典型式的全日担負曲線。



圖 1. 電燈用戶的担負曲線。

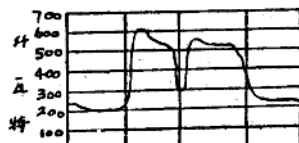


圖 2. 工廠的担負曲線。

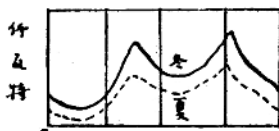


圖 3. 電車的担負曲線。

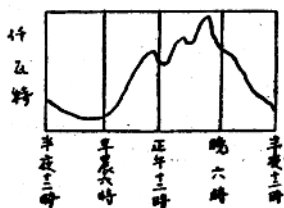


圖 4. 電廠全部的担負曲線。

在以上這些圖裏,某種曲線所佔的高度表示這種担負在各瞬時間需要的電功率。曲線下部所包括的面積,表示這種担負所需要的電能或瓩小時。供給這種担負的發電廠所設發電機的積算總容量,最低限度應該等於這種曲線所表示的担負的最大需量。

從担負曲線的形狀，我們不但知道了担負的大小和變化，又可以知道了迎合這種担負發電廠裏需設發電機的總容量。曲線越近似水平線，所設發電機的容量比較越經濟，也就是電廠可以節省較多“備而不用”的容量。因此我們需要把幾個不同的担負合法配合起來，統由一個電廠共同供給。

取得担負曲線的普通方法，是用曲線圖示紀錄瓦特計。另一方法是在許多同等間隔的時間，用人工紀錄下由一個指示瓦特計讀出的功率數值，再利用這些數值繪畫曲線。對於電廠運轉上担負曲線圖是這樣的重要，所以較大的分電站都裝有各式各樣的紀錄儀器。

6. 名詞的定義 為使讀者對担負曲線圖的意義作更進一步的瞭解起見，這裏先介紹幾個名詞和定義，再加以解釋：

(一)**連接担負**：在用戶的處所，所有連接在電路上一切用電設備定額的總和。

(二)**需量**：對電廠全部份或一部份的需量，就是在指定時間內受電地方從電源吸取的担負。需量用瓩、千安培、安培或其他合宜的單位來表示。

(三)**最大需量或額荷**：是在指定時間內各時需量中數值最大的一個。

(四)**需量因數**：電廠全部或一部的需量因數是，它的最大需量和它的連接担負的比率。

(五)**担負因數**：是平均需量同最大需量的比率。在每個情形下，前後兩項發生的時間，都需要肯定指明。例如“兩分鐘，全日”，“半小時，一月”等等，所指定的時間常因目的不同而異。

(六)**分散因數**：是在供電地方用戶們各別的最大需量的總數與總最大需量的比率。

(七)**容量因數**：是電廠裏發電設備的額定量和平均担負的比率。

7. 名詞解說 第六節各項名詞的解釋：

(一)連接負擔：電燈的連接負擔等於所有連接在線路上電燈的瓦特數值的和。動力的連接負擔等於所有連接在線路上電動機的額定輸出瓦特數值(由馬力折算)的和。其餘以此類推。

(二)需量的定義：是在指定時間內吸取電源的負擔。所說的指定時間倘若是一秒鐘或小於一秒鐘，那麼這負擔將是“瞬時需量”。瞬時需量是不很重要的，因為大多數發電機都能在短時間內過量負擔。換句話說，就是電廠所設發電機的額定容量不必大於瞬時需量的最大值，但必需大於一個合宜指定時間內的需量平均值。

(三)最大需量：最大需量不是瞬時需量的最大值，而是各個相等的指定時間內平均需量的最大值。這指定時間的長短沒有標準規定，但通用的是一分鐘、十五分鐘和三十分鐘。普通合於規格的發電機應該可以作 15% 的連續過量負擔，25% 的一小時過量負擔，和 50% 到 100% 一分鐘的過量負擔，電機發熱最高的部份的溫度升高都能保證不超過規定數值。從這點看來，我們就可以知道所謂“合宜的指定時間”應該是多長的時間了。

(四)需量因數：用公式來表示它可以是：
$$\text{需量因數} = \frac{\text{最大需量}}{\text{連接負擔}}$$

這公式裏最大需量所指定的時間，當然應該說明。下面兩個表格裏記載着典型的直流電動機和交流電動機用戶的需量因數：

(表一)交流電力用戶的需量因數(最大需量是三十分鐘真的平均需量)

用戶種類	用戶的電動機部數	用戶電動機的馬力總數	需量因數百分率	
			約略範圍	約略平均數值
單相和三相電動機	1—10	1—75	80—110	90
一般工廠	1.0—20	1—150	75—95	85
	20以上	1—150	75—95	85
單相小電動機	1—20	1—50	80—100	90
升降機和起重機	1—2		90—110	100
	3—5		60—80	70
	5以上		50—70	60

(表二)直流電力用戶的需量因數(最大需量是三十分鐘裏的平均需量)

用 戶 種 類	用戶的電 動機部數	用戶電動機 的馬力總數	需量因數百分率		
			約略範圍	約 均	平 值
普通工廠和一般用戶	1	1—5	75—95	85	
	1	6—10	65—85	75	
	1	11—20	55—75	65	
	1	20以上	50—70	60	
	2	1—5	70—90	80	
	2	6—10	65—85	75	
	2	11—20	60—80	70	
	2	20以上	45—65	55	
	3—5	1—5	60—80	70	
	3—5	6—10	55—75	65	
	3—5	11—20	50—70	60	
	3—5	20以上	40—60	50	
	6以上	1—5	55—75	65	
	6以上	6—10	50—70	60	
	6以上	11—20	45—65	55	
電動機車和轉動的機工廠	6以上	20以上	25—55	45	
	10以上	20以上	35—60	40	
升降機和起重機	1—2		90—110	100	
	3—5		60—80	70	
	5以上		50—70	60	

(五)担負因數：按照定義可用公式表示： $\text{担負因數} = \frac{\text{平均担負}}{\text{最大需量}}$

平均担負和最大需量所定的時間都需明確指定。

表三是大城市裏各種電燈用戶的30分鐘—全年的担負因數和需量因數。

表一、二、三裏的數目字都是根據國際電氣協會報告而得的。把這些數字應用在我國的用戶，與實際情形或者稍有出入，僅能作為參攷。

我們要注意，對於一個固有容量的發電廠，倘使担負因數越大，那麼所發每瓩小時的平均成本單價越小。

(表三)電燈用戶的需量因數和担負因數

用戶職業性質	一年的担負 因數百分率	需量因數 的百分率	用戶職業性質	一年的担負 因數百分率	需量因數 的百分率
銀行	16	67	藥行	19	77
旅館	24	28	雜貨店	10	73
公寓	8	43	手飾店	11	40
辦公機關	9	64	鞋店	10	67
印刷所	15	59	服裝店	7	53
飯館	23	52	小旅館	26	67
理髮館	12	70	洗衣房	10	68
機器工廠	9	37	戲院	17	49
成衣舖	8	59	棧房	12	41
書店	12	66	批發行	19	47
香煙店	17	65	製造廠	10	54
傢俱木器店	8	52	醫院	13	42

(六) 分散因數 = $\frac{\text{最大需量的總和}}{\text{總最大需量}}$, 分散因數的意義, 我們可以舉一

個例來說明: 假如有一個發電廠兼供電燈担負和電力担負, 這兩種担負的曲線形狀像圖 1 和圖 2 的情形。電燈担負的最大需量是 380 瓩, 電力的是 620 瓩。但因為這兩種担負的最大需量並不在同時發生, 所以發電廠供出電功率最大的時候 (也就是兩種担負的總最大需量), 僅是 800 瓩。在這情形時,

$$\text{分散因數} = \frac{380 + 620}{800} = 1.2.$$

從這例子來看, 我們可以知道把多數性質不同的担負, 最好是最大需量都在不同時間發生的担負聯合起來, 由一個發電廠來供給的話, 可以增高分散因數, 這樣就可以節省很多的發電設備。

(七) 容量因數: 按照定義, 我們可以知道容量因數越近於一, 對於每瓩電功率所用的固定資本越小。容量因數等於一的時候, 担負因數也等於一。

第三章 發電設備

8. 電力發電設備 電力所用的發電設備，尋常有以下幾種：

直流的發電設備有：

- 二線發電機，
- 三線發電機，
- 電動發電機，
- 同步換流機，
- 汞弧整流器。

交流的發電設備有：

- 同步發電機，
- 感應發電機，
- 週率變換機，
- 變相機，
- 逆用換流機。

除此以外，直流方面還有整流真空管、氧化銅整流器；交流方面還有高週波振盪管等等。主要都是為電訊用的，不在本書範圍以內。

直 流 發 電 機

9. 直流發電機的分類 二線直流發電機是最普通的，有一正一負兩個線頭的發電機。它們又可以按照以下情形更進一步的分類：

按照激磁方法分類：

1. 別激，
2. 自激——分繞，
串繞，