

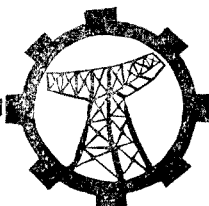
電工學講義

東北政委會工業部
吉林工業專門學校編審委員會編

吉林書店 刊行

1949

電工學講義



東北政委會工業部
吉林工業專門學校編審委員會編

吉林書店 刊行

1949.4

電 工 學 目 錄

第一編 總 論

第一章 電磁學

1. 電 流	1
2. 歐姆定律	2
3. 電阻的串聯和並聯	3
4. 導線之電阻	5
5. 電力和電能	5
6. 焦耳定律	6
7. 磁 場	6
8. 電流的磁效果	7
9. 電流在磁場內所受的動力	8
10. 電磁感應	9
11. 自感和互感	10
12. 渦 流	11

第二章 交流

1. 交流電壓	13
2. 位相差	14
3. 向量表示法	15
4. 電壓和電流的關係	16
5. 交流電力和功率	19
6. 三相交流	20
7. 三相交流的相電壓 和線電壓	21
8. 三相電力	23
9. 電流表、電壓表、電力表	24

第二編 電機及電力 應用

第一章 發電機

第一節 直流發電機

1. 總 說	26
2. 直流發電機的原理	26
3. 直流發電機的構造	27
4. 直流發電機の種類和特性	27
5. 電動發電機	30
6. 同步換流機	30
7. 水銀整流器	31

第二節 交流發電機

1. 交流發電機的原理	33
2. 交流發電機的構造	34
3. 電壓調整率	35
4. 輸出、損失及能率	36

第二章 電動機

第一節 三相感應電動機

1. 三相感應電動機的構造	39
2. 回轉原理	40
3. 轉差率	41
4. 特 性	41
5. 開動法	42
6. 常用的電動機	44

第二節 直流電動機

1. 直流電動機的構造和原理	45
2. 旋轉數和轉矩	45
3. 種類和特性	46
4. 開動和倒轉	48
5. 控制速度法	48

第三節 同步電動機	
1. 轉動原理	49
2. 特 性	50
第三章 變壓器	
1. 構造和原理	52
2. 變壓器的性質	54
3. 變壓器的使用法	55
4. 三相結線	56
5. 自耦變壓器	58
6. 表類用變壓器	58
第四章 電力應用	
第一節 電 燈	
1. 燈 泡	60
2. 燈泡的性質	60
3. 照明和照明法	61
第二節 電 熱	
1. 工業用電熱	62
2. 電 熔 接	62
第三節 電 化	
1. 電解和電解池	63
2. 電 鍍	65
3. 電池和蓄電池	65
第三編 電力發生和 輸 送	

第一章 發電廠

第一節 水力發動廠

1. 水路式和堰堤式 68
2. 水 力 69
3. 水力發電廠的構造 69
4. 水車發電機 70

第二節 火力發電廠

1. 火力發電廠的設備 70
2. 火力用發電機 70
3. 汽 輪 70
4. 鍋 爐 71

第二章 電力輸送

第一節 變電所的設備 72

第二節 送 電

1. 送電的種類和方式 72
2. 送電電壓 73
3. 送電線的種類 73
4. 送電線的電壓降和
電壓調變率 74

第三節 配 電

1. 配電方式及配電電壓 74
2. 配電線的種類 75
3. 配電線依其用途的分類 75
4. 送電及配電的能率 75

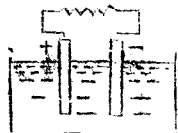
電工學

第一編 總論

第一章 電磁學

1. 電流

用電線連接電池的陽極和陰極，則自電池之陽極向陰極，有電流通過。電流即為電之流動和水流動時的水流相似。電池兩極之間有電位差，因為有電位差，所以在電線上才有電流。電位差為發生電流的動力所以叫做電勢又叫電壓，其單位用伏特 (volt) 表之。電流的強度以單位時間在電線內通過電量的多少表之。電量的單位是庫倫 (Coulomb) 在電線的任一斷面而每秒通過一庫倫之電量時，則該電線的電流強度，叫做一安培 (Ampere)。

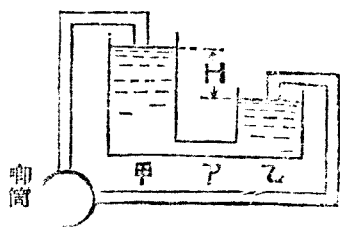


第1圖 電池

用水流譬電流

如第2圖有甲乙兩個水槽，甲槽的水面較乙槽的水面高 H 米，現在用 P 管連結甲乙二槽，則管內即有水流通過，此時甲槽相當於電池之陽極，乙槽相當於電池之陰極， P 管相當於電線，水流相當於電流，水面之差相當於電位差。

水自甲槽流向乙槽，則甲槽之水面漸次下降，乙槽之水面逐漸上昇，直至兩槽之水面相等而水流停止。若使水流繼續不斷，則非用唧筒以維持兩槽水面之差常使之一定不可。



第2圖 與水的比較

電亦與此相同，電流在電線內通過時，陽極之電位下降，陰極之電位上昇，電流漸趨於停止，但電池內之電解液有唧筒之作用，可維持兩極間之電位差，常

使之一定。此時使水流動之能力來自唧筒，而使電流動之能力則來自電池之電解液。

2. 歐姆定律 (Ohm's Law)

任意電路內通過之電流強度與加於電路兩端之電壓成正比，與電路之電阻成反比此種關係叫做歐姆定律。如一電路之電阻為 R 歐姆，兩端間之電壓為 E 伏特則該電路之電流 I 可用次式表之。

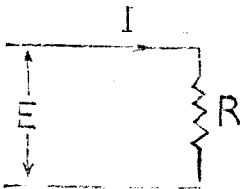
$$I = \frac{E}{R} \text{ 安培} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{如將上式變形則 } E = IR \text{ 伏特} \dots\dots\dots (2)$$

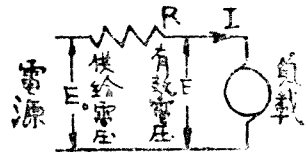
即使 R 歐姆之電路中通過 I 安培之電流時，必需加 E 伏特之電壓方可，又某電路之兩端加 E 伏特之電壓有 I 安培之電流通過時，則該電路之電阻，亦可用下式求得之

$$R = \frac{E}{I} \text{ 歐姆} \dots\dots\dots (3)$$

如第 4 圖，通過電阻 R 向負載供給電流時，則於電阻中消耗 IR 伏特之電壓，



第 3 圖



第 4 圖

自供給電壓減去消耗電壓即為有效電壓如下式

$$E = E_0 - IR.$$

式中之 IR 叫做電壓降下。

例題 (1) 16 燭光之燈泡在 10 伏特之電壓通過 0.2 安培之電流，求該燈泡着火時之電阻為若干？ (答 500 歐姆)

(2) 用 0.04 歐姆之電線，供給電流為 50 安培的電動機，供給電壓為

100 伏特，試求電動機之有效電壓為若干？

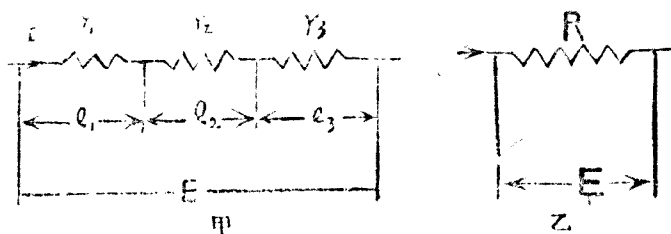
(答 98 伏特)

3. 電阻的串聯和並聯

電阻的接續方法有兩種，一種叫串聯，一種叫並聯，由多數電阻接續而成之電阻，其效果與另一電阻相同時。

則其合成電阻之值即等於另一電阻之值。

(1) 串聯 第 5 圖甲為電阻 r_1, r_2, r_3 之串聯接續，加上 E 伏特之電壓時



第 5 圖 串聯接續

各個電阻均通過相等之電流 I ，且因各電阻之電壓降下之總合等於供給電壓。

即 r_1 兩端之電壓降下 $e_1 = Ir_1$

r_2 兩端之電壓降下 $e_2 = Ir_2$

r_3 兩端之電壓降下 $e_3 = Ir_3$

供給電壓為 E 。

所以 $E = e_1 + e_2 + e_3 = I(r_1 + r_2 + r_3) \dots\dots\dots (4)$

如此等電阻串聯後之效果與第 5 圖乙之 R 相等時可以其置換之。

即 $E = IR \dots\dots\dots (5)$

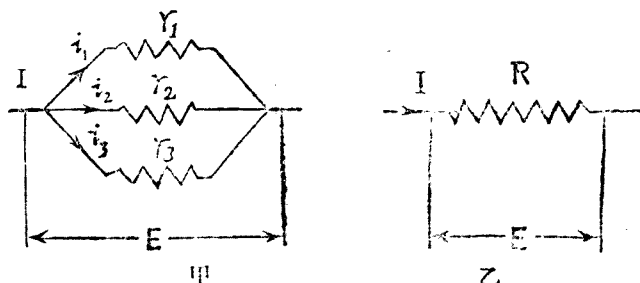
由 (4) 式及 (5) 式得

$$IR = I(r_1 + r_2 + r_3)$$

$\therefore R = r_1 + r_2 + r_3 \dots\dots\dots (6)$

所以許多電阻串聯接續時其合成電阻等於各個電阻之總合。

(1) 並聯 第 6 圖甲為電阻 r_1, r_2, r_3 之並聯接續，加上 E 伏特之電壓



第 6 圖 並 聯 接 續

時，電流分流於各電阻中，但其總合與全電流 I 相等，又加於各電阻之電壓均為

供給電壓所以 r_1 內通過之電流 $i_1 = \frac{E}{r_1}$

r_2 內通過之電流 $i_2 = \frac{E}{r_2}$

r_3 內通過之電流 $i_3 = \frac{E}{r_3}$

全電流 $I = i_1 + i_2 + i_3 = \frac{E}{r_1} + \frac{E}{r_2} + \frac{E}{r_3}$ 。

$$= E \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \right) \dots \dots \dots (7)$$

同理以第 6 圖乙之電阻與此等電阻置換之，

則 $I = \frac{E}{R} \dots \dots \dots (8)$

由 (7) 式及 (8) 式得

$$\frac{E}{R} = E \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \right)$$

$$\therefore \frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \dots \dots \dots (9)$$

所以有多數阻，並聯接續時其合或電阻之倒數等於各個電阻倒數之和，若並聯時各電阻之值相等時，即 $r_1 = r_2 = r_3 \dots \dots \dots = r$ 時，從 (9) 式得。

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots + \frac{1}{r_n}$$

所以 $R = \frac{r}{n} \dots \dots \dots (10)$

因此， n 個相等之電阻並聯時其合成電阻，為每個電阻之 $\frac{1}{n}$ 。

例題 (1) 有 12 歐姆，4 歐姆，6 歐姆之三電阻，其串聯接續及並聯接續時之合成電阻各為若干？ (答 22 歐姆)

(2) 有 12 歐姆，6 歐姆二電阻並聯接續之，再以 16 歐姆與之串聯接續之加上 100 伏特之電壓其電流若干？ (答 5 安培)

4. 導線之電阻

導線之電阻，因材料而異，既或材料相同又因其形狀而不同，即與導線之長度成正比，與導線之斷面成反比，假設， l = 導線之長 (米厘)

S = 導線之斷面 (平方厘米)

則電阻 $R = \rho \frac{l}{S}$ 歐姆 $\dots \dots \dots (11)$

式中之 ρ 為導線電阻係數。

如以極為長之單位，平方米為斷面之單位，則 ρ 即為一極立方導線兩端間之電阻，一般用百萬分之一歐姆表之。(10⁻⁶歐姆) 萬國標準軟銅在 20°C 時之電阻為 1.724 × 10⁻⁶ 歐姆，(百萬分之一歐姆)。如以米為長之單位平方厘米為斷面之單位時，則長 1 米斷面為 1 平方厘米之電線 (萬國標準軟銅) 於 0°C 時之電阻 (即電阻係數) 為 0.01724 歐姆。

電線之電阻又因溫度之高低而不同，在常用的範圍內金屬電線之電阻，與溫度成正比，而增減。

$$R_T = R_t \{ 1 + \alpha_t (T - t) \} \dots \dots \dots (12)$$

R_T = T°C 時之電線電阻。 α_t = t°C 時之電阻溫度係數。

R_t = t°C 時之電線電阻。

5. 電力和電能

電流在單位時間內所作的功叫電力，在 1 伏特電壓之下移動 1 庫倫之電量時所作的功是 1 焦耳 (Joule) 所以 E 伏特電壓之下通過 I 安培的電流時，每秒鐘所作的功是 $E I$ 焦耳因之其電力

$$P = EI \text{ 焦耳/秒} = \text{瓦特} \dots\dots\dots (13)$$

(每秒作 1 焦耳之功其功率為 1 瓦特)

瓦特的 1000 倍是仟瓦 (KW)，1 馬力等於 746 瓦特，1 瓦特的電力連續使用一小時後所消耗的電能是 1 瓦特時，其 1000 倍是 1 仟瓦時 (K.W.h) 以 E 伏特的電壓，I 安培的電流使用 T 小時後所消耗的電能

$$W = EIT \text{ 瓦特時} \dots\dots\dots (14)$$

例題 (1) 32 燭光的燈包於 100 伏特電壓之下通過 0.4 安培的電流，問其電力為若干？

(2) 前題的電燈泡每日使 6 小時 30 日間可消費多少電能？

(3) 1 仟瓦時 (K.W.h) 等於多少焦耳？

6. 焦耳定律 (Joule's law)

使 R 歐姆電阻之內通過 I 安培之電流時，則需 $E = IR$ 伏特之電壓，因之在這電路中消耗的電力 $P = EI$ 瓦特，將前式 E 代入之

$$\begin{aligned} P &= IR \cdot I = I^2 R \text{ 瓦特} \\ &= I^2 R \text{ 焦耳/秒} \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

所以 t 秒間消耗的電能 $W = I^2 R t$ 焦耳 $\dots\dots\dots (16)$

若此電能全部化為熱能，並以熱量單位表之則

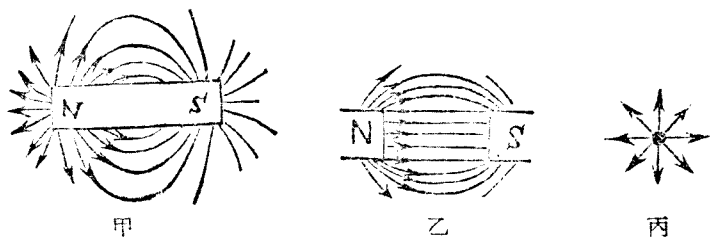
$$H = 0.24 I^2 R t \text{ 卡} \dots\dots\dots (17)$$

由上式可知電阻內發生的熱量和電流的平方，電阻及時間成正例，此定律叫做焦耳定律。

例題 1000 克之水內投入 4 歐姆之電阻時，使其電流為 5 安培，7 分鐘後水之溫度上昇多少度。

7. 磁 場

磁鐵或通有電流之電線之附近，常顯有磁力，磁力之作用所到達之範圍叫做磁場，假如將單位正磁極置於磁場內之一點，則該單位磁極所受之作用力即為該點之磁場強度，作用力之方向即為磁場之方向，用磁力線可以很簡明的表示出磁場強度和方向，磁力線為單位正磁極，在磁場內受磁力作用之後，自由移動之經路，所以磁力線出自磁鐵之北極，終於磁鐵之南極，以其切線之方向表該點磁場之方向，以磁力線之疎密表磁場之強弱，即以垂直於磁力線之平面內，每一平方厘米所通過之磁力線數表磁場之強度，如磁場強度為 H 時，則每一平方厘米內所通過之磁力線數，即為 H 條，第 7 圖為磁力線之分布情形。



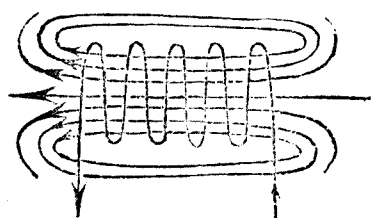
第 7 圖 磁力線之分布

又稱通過某一截而之許多磁力線為磁流，也就是許多磁力線之總稱。

8 電流的磁效果

電線內有電流通過時，在電線的周圍即發生磁場，磁力線是以電線為圓心的許多同心圓，分布在垂直於電線的平面內，其方向用螺旋（右手）定律表示之。

以右螺旋前進的方向，表電流的方向時，則螺旋轉動的方向就是磁力線的方向，或以右手姆指伸直表電流之方向，以他四指握電線成圓形，則他四指所指的方向，就是磁力線的方向，並且磁場強度也和電線內電流的強弱成比例。



第 8 圖 線圈所生的磁場

第 8 圖為將電線繞成線圈時，在線圈的內部就生有強大的均等磁場。線圈發生磁場的能力叫做磁壓，與電流和捲數的相乘積成比例如一捲的線圈通過一

第 8 圖為將電線繞成線圈時，在線圈的內部就生有強大的均等磁場。線圈發生磁場的能力叫做磁壓，與電流和捲數的相乘積成比例如一捲的線圈通過一

安培的電流時其磁壓爲一安匝，所以N匝的線圈通過I安磁電流時其磁壓。

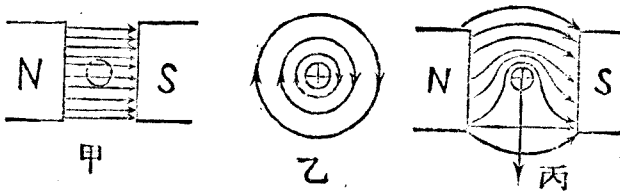
$$F = NI \text{ 安匝}$$

磁路內加上磁壓，可以發生磁流和電路內加上電壓，可以發生電流量同樣道理。

例題 12) 捲的線圈通過 8 安培的電流時其磁壓爲若干？ (答 960 安匝)

9. 電線在磁場內所受的動力

將通有電流之電線置於磁場內，則該電線即受磁場的動力向外移動，其原理可用第九圖說明之。



第 9 圖 電線所受的作用力

第九圖甲爲一電線置於磁場中，若使該電線內通有垂直紙面自上面向下面之電流時則其磁場如乙圖，此二磁場相合併後之磁場則如丙圖，在電線的上方二磁場的方向相同磁力線加多，在電線的下方二磁場的方向相反磁力線減少，所以電線受到向下方推動的力量，這個力量，當電線和磁場垂直時最大，其方向與磁場的方向和電線成直角，其三者的關係用佛萊銘左手定則表之最爲簡便，即以左手的姆指、食指、中指互成直角伸開，食指指磁場的方向，中指指電流的方向，則姆指即爲動力的方向，動力的大小與磁場的強度，電流的強度和電線的長成比例，今設磁場強度爲H，電流強度爲I安培，電線長爲L纏時，理論上其動力。

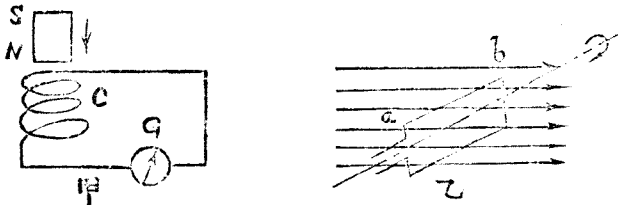
$$F = \frac{1}{10} HIL \dots \dots \dots (1)$$

例題 (1) 二條平行的電線通過同方向的電流和反對方向的電流時其動力各如何？

(2) 將一通有 30 安培長 25 呎之電線，與磁場成直角置於其中，磁場強度為 10000 時該電線所受之動力如何？

10. 電磁感應

將一條形磁鐵疾速移動於線圈之內外時使線圈內的磁力線數目變更，或者令一線圈在磁場裡旋轉使其橫切磁力線時，則線圈內即有感應電壓發生，當線圈為



第 10 圖 感應電勢

閉路時即有電流通過，第 10 圖就是表示感應電壓發生的形況。前面所說的就叫電磁感應電磁感應可分為兩個學說，一個是磁流變化說，另一個是磁流截斷說，現在分別敘述於下：

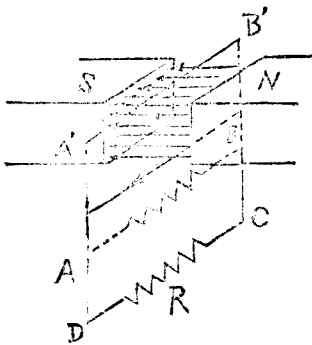
(a) 磁流變化說 就是當通過線圈內的磁流數有變化時就有感應電壓發生的說法，可以用下面的規律解釋之，當線圈裡的磁流有變化的時候所發生的感應電壓的方向，是阻礙磁流變化的方向，感應電壓的大小是與磁流變化的多少成正比例的，若某線圈裡的磁流在 1 秒鐘內變化 10^8 條時在每一圈所生的感應電壓就有一伏特所以一捲的線圈在秒 t 內有 Φ 條磁力線變化時，其感應電壓

$$e = \frac{\Phi}{t} \times 10^{-8} \text{ 伏特} \dots \dots \dots (19)$$

若線圈的捲數為 N 時，則

$$E = \frac{\Phi}{t} N \times 10^{-8} \text{ 伏特} \dots \dots \dots (20)$$

(b) 磁流截斷說 在磁場裡移動電線橫切磁力線時在電線的兩端就有感應電壓發生，第 11 圖將電線 AB 按着箭頭的方向在磁場裡移動時，正好切斷磁力線於是電線內就有 $B \rightarrow A$ 方向的感應電壓發生，這個電壓的大小是與每秒鐘截



第 11 圖

斷磁力線的多少有關係的，就是電線每以鐘截斷 10^8 條磁力線時，在電線的兩端就有一伏特的感應電壓發生，所以長 1 呎的電線，以每秒 v 呎之速度在強度為 H 之磁場內移動時所生之感應電壓。

$$e = Hlv \times 10^{-8} \text{ 伏特} \dots\dots (21)$$

感應電壓的方向可用佛萊銘右手定律說明之，即將右手的姆指，中指，食指伸直互成直角，以食指指磁場的方向，姆指指電線移動的方向

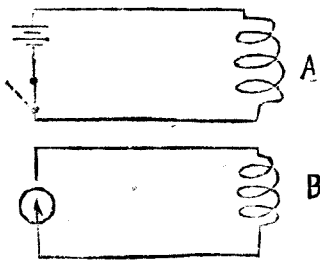
時，則中指所指就是感應電壓的方向。

例題 (1) 一線圈其捲數為 1，內部通過之磁力線為 10^8 條於 $\frac{1}{100}$ 秒內磁力線消滅時，其感應電壓為若干，假如該線圈有 50 捲時其感應電壓為若干。

(2) 將一長 50 呎之電線，以每秒 20 米的速度，在磁流密度為 5000 條/cm² 之磁場內移動時，試求其感應電壓為若干？

11. 自感和互感

前面說過使一線圈發生感應電壓的原因，就是變更通過該線圈內磁力線的數目，變更磁力線數目的方法，在前面說過的有在線圈內移動條形磁鐵或在磁場



第 12 圖 互感作用

內轉動線圈，第 12 圖是兩個靠近的線圈使 (A) 圈的電流發生變化時，則 (B) 圈內即有感應電壓發生，這種關係叫做互感作用，但此時 (A) 的電流有變化時同時也影響到它本身的磁流發生變化，因之也要發生感應電壓，這種關係叫做自感作用，無論那種關係磁流的變化是和電流的變化成比例的

，所以由互感和自感所生感應電壓的方向是阻礙電流變化的方向，其大小是和電

流變化的多少或比例的，自感和互感雖然都是因為電流的變化而發生的，但是它的作用的強弱和線圈的大小捲數的多少，以及兩個線圈間的距離等有關係表示這種作用強弱的叫做自感係數和互感係數。一線圈每秒流電流之變化為 1 安培時所發生的感應電壓就是該線圈的自感係數，如感應電壓為 1 伏特時，則該線圈的自感係數即為 1 亨利，同理相隣線圈每秒流電流之變化為 1 安培時，在彼線圈內發生之感應電壓即為兩圈間的互感係數。如感應電壓為 1 伏特時，則該兩線圈間的互感係數即為 1 亨利。現在用 L 表自感係數，用 M 表互感係數， i 為 t 秒間變化之電流，其與感應電壓間的關係可用下式表之。

$$e = L \frac{i}{t} \text{ 伏特} \dots\dots\dots (22)$$

$$e = M \frac{i}{t} \text{ 伏特} \dots\dots\dots (23)$$

例題 (1) 自感係數 4 亨利的電路通過 2.4 安培的電流，0.02 秒後，電流為零試求感應電壓？

(2) 當拉開雷動機的開關時為何要發生火花？

12. 渦 流

當磁流通過導體的一部分時若磁流數變更或導體運動時，則在導體的一部分因電磁感應作用而發生感應電壓，由於此感應電壓在導體之內部發生電流，此電流選擇最捷之通路在導體內流動，化為熱能而消失，此電流叫做渦流，因渦流而損失的能叫做渦流損，日常使用的電機均以鐵為磁力線的通路，所以一定要發生渦流損為防止上項損失，電機上之磁路多用薄鋼板相疊而成。

練 習 題

1. 100 伏特 60 瓦特的燈泡其電流為若干安培？
2. 將電阻為 25 歐姆的燈泡 10 個並聯後，再與 15 歐姆的電阻串聯，試求其總電阻為若干歐姆？

又於其兩端加 100 伏特之電壓時每個燈泡的電流如何？

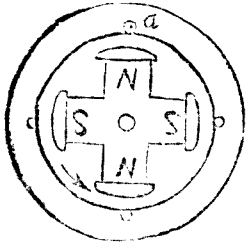
3. 某送電線之電流為 125 安培其電壓降下為 2.5 伏特試求該送電線的電

阻？

4. 負載之電阻為 4.5 歐姆如以 0.5 歐姆的電線供給電流，供給電壓為 100 伏特，試求負載兩端之電壓？
5. 1 仟瓦時等於多少卡呢？
6. 用 2 仟瓦的電爐子將 10°C 的水 10 加溫成 60°C 時需要多少分？（設電爐子的熱效率是 80%）
7. 電路的自感係數是 5 亨利於 0.08 秒內電流的變化是 20 安培，試求感應電壓為若干？
8. 長 15 呎的電線以每秒 20 米的速度，在強度為 10000 的磁場內移動時，其感應電壓為何？

第二章 交 流

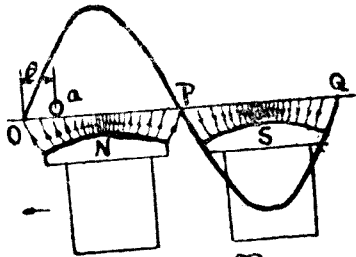
1. 交流電壓



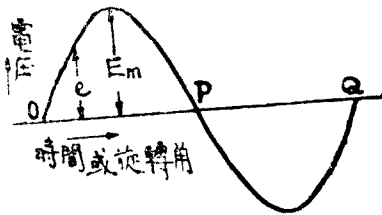
第 13 圖 交流發電機

都是指正弦波交流而言。

第 13 圖為一旋轉磁場型交流發電機，當主磁極以一定速度旋轉時，則電線 a 即截斷磁力線，而發生感應電壓。依右手定則可知 N 極通過時之感應電壓與 S 極通過時之感應電壓其方向恰好相反，因之在電線上的感應電壓其方向時時變換，此種電壓叫做交流電壓。交流電壓最基本的波形是正弦波，現今實用的交流均可視為正弦波，所以一般的交流



甲 磁流分布圖



乙 電壓的波形

第 14 圖

第 14 圖 (甲) 為十三圖所製開表示磁流的分布情形，因磁流的分布是正弦波形所以感應電壓也是正弦波電壓，如第 14 圖所示，OQ 間叫一週，每週所需要的時間叫週期，一秒鐘內週數叫頻率每週內最大時的數值叫最大值以 E_m 表之，任意時的數值叫瞬時值以 e 表之，如將正弦波交流電壓加於電路時，則該電路內就有與電壓頻率相同的正弦波電流通過，由第 13 圖可知發電機如為二極時，則電極每轉一次就有一週的交流電壓發生，若發電機的極數為 P 每秒的轉數為 n 則其頻率，

$$f = \frac{P}{2} \cdot n \text{ 週} \dots \dots (2)$$

假如每分鐘轉N次時，則

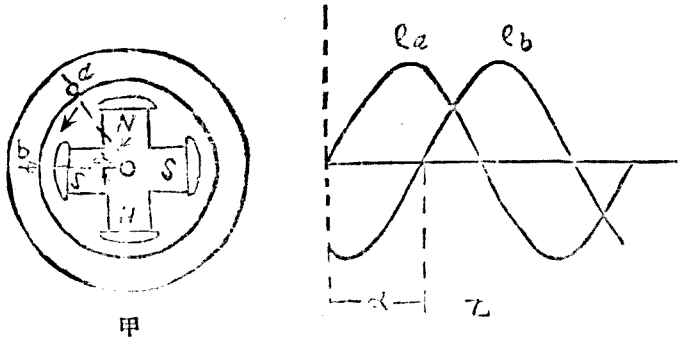
$$= \frac{P}{2} \cdot \frac{N}{60} \text{ 週} \dots\dots\dots (25)$$

現在使用的電力多屬交流其頻率在東北均為50週，交流電壓的數值時時刻刻在變化着，表示它和直流有同樣效能的數值叫實效值，正弦波交流的實效值是其最大值的 $1/\sqrt{2}$ 倍，普通所說的交流電壓，電流或電壓表和電流表所指示的都是實效值。

例題：四極發電機每分鐘轉1500回，問其頻率應為多少，又欲生60週的頻率時每分鐘應轉多少次？ (答50週 1800回)

2. 位 相 差

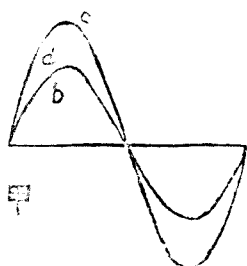
第15圖甲的a電線和b電線所發生的感應電壓，如同圖e_a和e_b所示，其



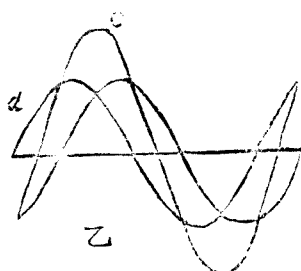
第 15 圖

二者的大小形狀完全相同，但a電線常較b電線先與磁力線相遇而發生感應電壓其先後之差為 α ，即電樞之N極與a電線相遇之後再轉 α 角方與b電線相遇，所以在二電線上的感應電壓也相差 α 角，此時稱 e_a 的位相較 e_b 的位相滯後 α 角。反之則稱 e_b 的位相較 e_a 的位相超前 α 角，此時 α 角稱為相差角。

兩個位相相同的電壓相加時，其結果之位相與原電壓位相相同其大小為原



(甲) 同位相之和



(乙) 異位相之和
第 6 圖

二電壓相加，兩個位相不同的電壓相加時，其結果之位相，在二者之間，其大小為二電壓各瞬時的代數和。

所以二交流相加時必需先將其位相差的關係弄請不可。

第十六圖(甲)為大小相等，位相相同的二個電壓 a, b 之和其結果 C 之位相與 a, b 相同，其大小為 a 或 b 之二倍。

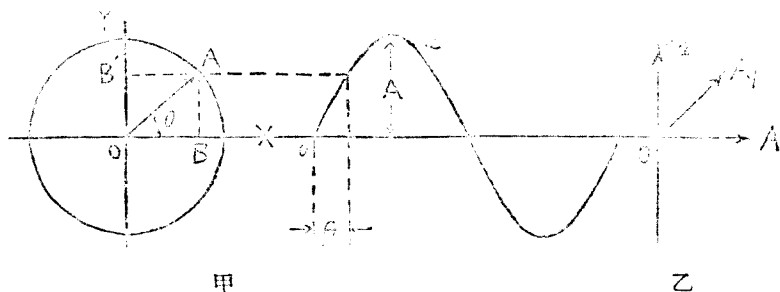
(乙)為二位相不同之交流電壓之和其結果 C 之位相，在 a, b 之間，其大小為 a, b 二電壓各瞬時值的代數和。

3. 向量表示法

第 17 圖 OA 為一動徑，自 OX 與鐘錶針相反的方向轉動與 OX 成 θ 角時，OA 在 Y 軸上由的投影。

$$OB' = a = OA \sin \theta \dots\dots\dots (25)$$

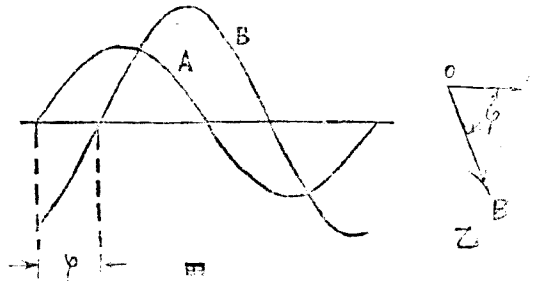
如以曲線來表 OB' 的變化時則呈正弦波形，其最大值为 OA 所以正弦波 a 可用與



第 17 圖 正 弦 波

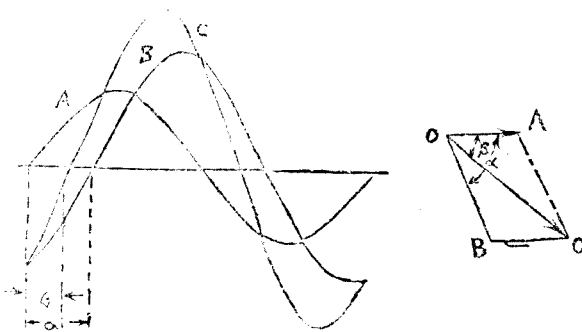
a 的最大值相等的半徑 OA 表示之。此時稱 OA 為向量，用線的長短表向量的大小

用線的傾斜表其方向，矢頭表其矢向，第 17 圖 (甲) a 波形可用圖 (乙) 的 OA 、 OA_1 、 OA_2 等任一向量表示之。但一般為方便起見均用垂直或水平方向表示之，例如第十八圖 (甲) 位相不同的 A 、 B 二正弦波，可用圖 (乙) OA 和 OB 的向量表示之，其相差角可用二向量間的角度表示之。



第 18 圖 向量表示法

又如求正弦波 A 及 B 之和時如第 19 圖，求 OA 及 OB 二向量之和即可；其結果



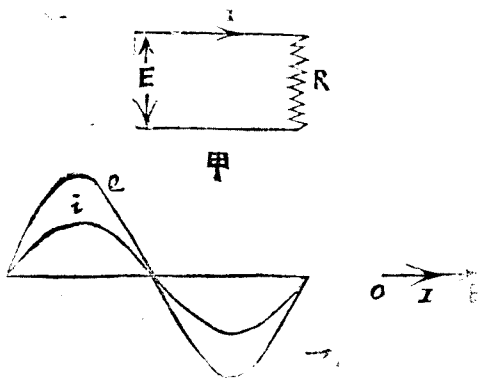
第 19 圖 正弦波的和

，如圖 OC ，其位相在 OA 及 OB 之間，與 OA 成 α 角，如前所述一切正弦波均可用向量表示之，不但方便而且正確。正弦波電壓電流用向量表示時則以其實效值為向量之長，

4. 電壓和電流的關係

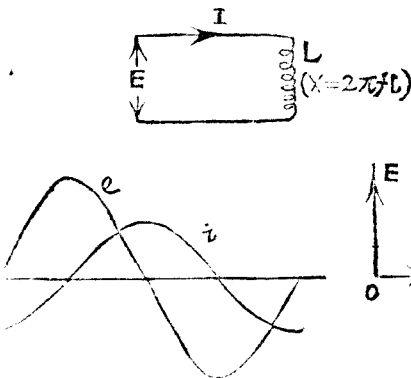
在交流電路內妨礙電流通過者除電阻外，尚有因電感及電容而生的電抗。

(a) 只含電阻的電路 第 20 圖 (甲) 為只含電阻的電路，其電阻為 R 歐姆如將 E 伏特的交流電壓加於該電路時則有與電壓同位相的正弦波電流發生，其電壓（實效值）及電流（實效值）之關係可用下式表之。



第 20 圖 電阻電路

過，且其位相也滯於供給電壓，如電感為 L 亨利的電路，加上頻率為 f ， E 伏特



第 21 圖 電感電路

波形並向量圖電路中的電流滯於供給電壓 90° 。

(c) 只含電容的電路 加交流電壓於電容器的兩端則行返復的充放電作用，在電線上發生交流。如電容器的電容為 C 法拉，供給 E 伏特頻率為 f 的電壓時則電流。

$$I = \frac{E}{\frac{1}{2\pi fC}} \text{ 安培} \dots \dots \dots (33)$$

$$I = \frac{E}{R} \text{ 安培} \dots \dots (27)$$

$$\text{或 } E = IR \text{ 伏特} \dots \dots (28)$$

其波形及向量則如同圖 (乙) 所示。

(b) 只含電感的電路 交流的數值時時在變化着，若電路中含有電感時則因感應而生感應電壓，此時所生的電壓恰與供給電壓相反妨礙電流通過，且其位相也滯於供給電壓，如電感為 L 亨利的電路，加上頻率為 f ， E 伏特之交流電壓時其電流。

$$I = \frac{E}{2\pi fL} \text{ 安培} \dots \dots (29)$$

上式分母之 $2\pi fL$ 恰與歐姆定律中之 R 相當，同為阻礙電流通過者稱為電抗普通用 X_L 表之，單位為歐姆。

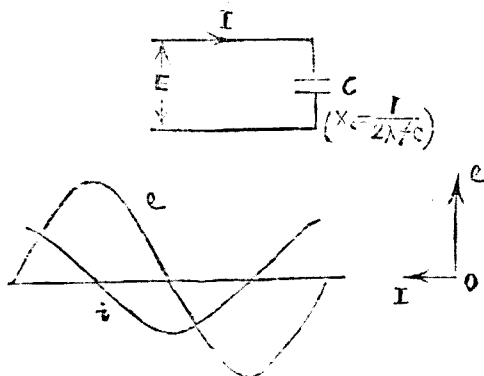
$$X_L = 2\pi fL \text{ 歐姆} \dots \dots (30)$$

$$I = \frac{E}{X_L} \text{ 安培} \dots \dots (31)$$

$$E = IX_L \text{ 伏特} \dots \dots (32)$$

第 21 圖表電感電路，及其

上式之 $1/2\pi fc$ 與前無異，亦為阻礙電流流動者，用 X_C 表之單位為歐姆亦稱電抗。



第 22 圖 電容電路

$$X_C = \frac{1}{2\pi fc} \text{ 歐姆} \dots\dots\dots (34)$$

$$I = \frac{E}{X_C} \text{ 安培} \dots\dots\dots (35)$$

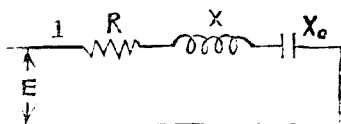
$$E = I X_C \text{ 伏特} \dots\dots\dots (36)$$

第 22 圖為電容電路及其電壓電流的位相關係圖。

(d) 電阻及電抗的串聯 電阻 R 歐姆及電抗 X 歐姆或串聯通過 I 安培的電流時，必需有與電流同位相 IR 之電壓越於電流 $90^\circ IX_L$ 之電壓源於電流 $90^\circ IX_C$ 之電壓其全電壓為三者之和，

$$\begin{aligned} E &= \sqrt{(IR)^2 + (IX_L - IX_C)^2} \\ &= I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \dots\dots\dots (37) \end{aligned}$$

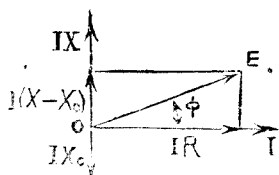
$$\therefore I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} \dots\dots\dots (38)$$



上式分母之 $\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ 為阻礙
電流流動者 稱為阻抗，用 Z 表之單位為

歐姆即

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \text{ 歐姆} \dots\dots (39)$$



因之 $I = \frac{E}{Z}$ 安培 $\dots\dots (40)$

$E = ZI$ 伏特 $\dots\dots (41)$

第 23 圖 電阻及電抗的串聯

23圖示電阻，電抗串聯電路及向量圖，電壓較

電流的位相越前 ϕ 角則。

$$\tan \phi = \frac{X_L - X_C}{R} \dots\dots (42)$$

一般電燈電路含電阻較多，電抗極少可以看做沒有，所以電流和電壓幾乎是同位相，但電動機的電路電抗極大，尤以小容量電動機和熔接機最甚。

例題 (1) 電阻 4 歐姆和感應電抗 3 歐姆的串聯電路之抗阻是多少，若加 100 伏特電壓時其電流能有少多？

又電壓電流的位相差是多少度？

(2) 電阻 10 歐姆，感應電抗 8 歐姆，容量電抗 3 歐姆 的串聯回路的抗阻是多少？

(3) 加 100 伏特有 8 安培電流的回路的抗阻是多少？

5. 交流電力和力率

直流電力等於電壓和電流的相乘積（即等於 EI ），但交流時一般電壓和電流之間有位相差存在，所以 交流電力常被電壓和電流的相乘積小。因之稱電壓和電流的相乘積為視在電力，其單位用伏特安培（V.A）或仟伏特安培（K.V.A）表之。交流電力和視在電力的比叫做力率，其數值和電壓電流間的相差角有關係，即力率等於相差角的餘弦普通用百分率表之。

$$\text{力率} = \frac{\text{交流電力}}{\text{視在電力}} \cos \phi \dots\dots\dots (43)$$

ϕ 為電壓及電流間的相差角因之表示交流電力的一般公式。

$$P = E I \cos \phi \text{ 瓦特} \dots\dots\dots (44)$$

若電壓電流的位相相同時則 $\phi = 0$ 、 $\cos \phi = 1$ ，此時的交流電力為最大，即等於電壓電流的相乘積。若電壓電流的位相差為 90° 時 $\phi = 90^\circ$ 、 $\cos \phi = 0$ 即電力為零。力率的數值因負荷的性質而異一般在電感電抗愈大時力率愈小，電燈回路極乎不含電感電抗，所以其力率極近乎 100%。感應電動機的回路其力率約為 75~85%。

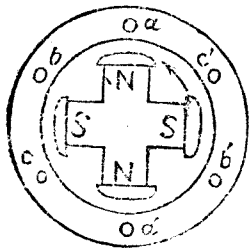
例題 (1) 單相電動機其電壓為 100 伏特電流為 5 安培，如力率為 65% 時其電力為若干瓦特。

(2) 電壓 3000 伏特電流 10 安培之電動機其出力為 24 仟瓦時求力率？

(3) 電阻 8 歐姆電抗 6 歐姆的電路加上 100 伏特電壓試求電流，力率及電力各為若干？

6. 三相交流

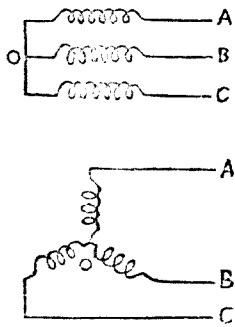
第 24 圖 發電機之電線 a, b, c, 順次相差 120° 即當電樞依箭頭方向旋轉時，順次在 a, b, c, 三電線內發生感應電壓其位相的關係也順次差 120° ，在電樞上將



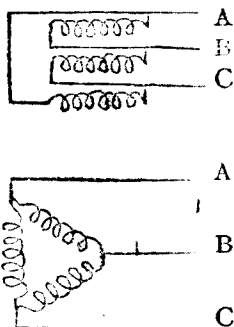
第 24 圖

位相相同的，各電線接在一起，作為一組線圈，如圖的 aa' bb' c'。於是在各線圈就有大小相同的，數率相等的而位相差為 120° 之感應電壓發生，此種電壓叫做三相電壓因之而生的電流叫做三相交流，以前說過的用一組線圈所生的電壓叫單相電壓或單相交流。

今天的發電，送電配電，以及電動機等均用三相交流，只有電燈或極小型的電動機取三相中之一相作為單相之用，自發電機引出之三相交流時並非各相單獨引出，乃將三相在發電機的內部接在一起，僅引出三



第 25 圖 Y 結線

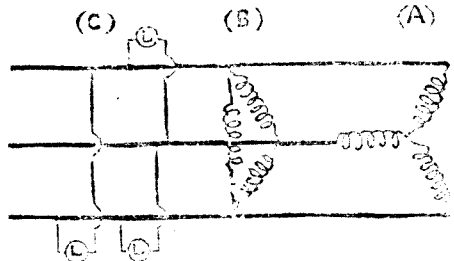


第 26 圖 Δ 結線

條線，接的方法有兩種，其一為如第 25 圖將三個線的一端（首端或末端）接在一起，而將另一端引出的方法，其二則如第 26 圖將 A 圖的末端接於 B 圖的首端，B 圖的末端接於 C 圖的首端，C 圖的末端接於 A 圖的首端順次成一環狀電路的方法，前

者叫做 Y 結線，或星形結線，后者叫 Δ 結線，或三角形結線，三相交流發電機的負載均是星形或三角形接線。

第 27 圖 (A) (B) 各為星形及三角形結線的負載 (C) 為單相負荷的電燈，其三相組成三角形結線，無論何時均應使其各相的負載平衡，將平衡的負載加於各相時，各線上，則有大小相等位相差為 120° 的三相電流發生。

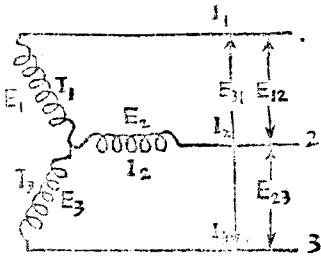


第 27 圖 三相負荷

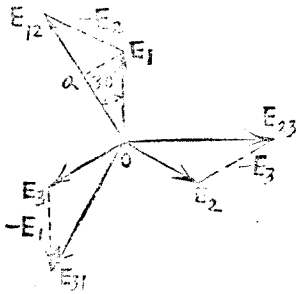
7. 三相交流的相電壓和線電壓

三相交流呈三角形或星形結線時其外線間的電壓和所通過的電流不一定和各相的電壓或電流相等，因之稱各相的電壓電流為相電壓相電流，稱外線間的電壓或所通過的電流為線間電壓或線電流一般在外部測得的電壓及電流均為線間電壓及線電流下面說一說相電壓相電流，和線間電壓線電流的關係。

(A) 星形結線時，外線與各相直接連結着，中間並無分接所以各相的電



第 28 圖 星形結線



第 29 圖

流與外線電流相等，外線 1-2 間的電壓 E_{12} 等於 E_1 減去 E_2 其數值為 E_1 的 $\sqrt{3}$ 倍，其位相越於 E_1 30° 同理 2-3 間的電壓 E_{23} 等於 E_2 減 E_3 其數值為 E_2 的 $\sqrt{3}$ 倍，位相越於 E_2 30° 3-1 間的電壓 E_{31} 等於 E_3 減 E_1 其數值為 E_3 的 $\sqrt{3}$ 倍，位相越於 E_3 30° 。以向量表之則如第 29 圖即可求得之。圖中 E_1 減 E_2 即為 E_1 與 $-E_2$ 之和依向量的加法。

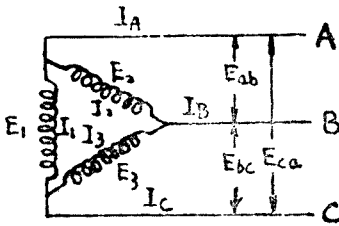
$$E_{12} = 2 oa = 2E_1 \cos 30^\circ$$

$$= 2E_1 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} E_1 \dots \dots (44)$$

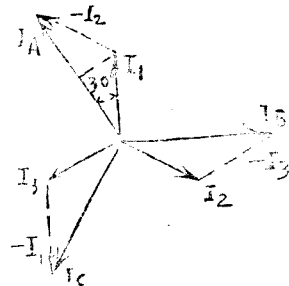
同理亦可求得
 $E_{23} = \sqrt{3} E_2$
 $E_{31} = \sqrt{3} E_3$

(B) 三角形結線時如第 30 圖外線接

於各相的兩端，因之相電壓即為二線間的電壓，A 線的電流 I_A 等於 I_1 減 I_2 其數值為 I_1 的 $\sqrt{3}$ 倍越於 I_1 30° 同理 B 線及 C 線的電流亦為 I_2 及 I_3 的 $\sqrt{3}$ 倍



第 30 圖



第 31 圖

位相越於 I_2 及 I_3 30° 其向量的關係如 31 圖。

$$I_A = i_1 - i_2 = 2I_1 \cos 30^\circ$$

$$= 2I_1 \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} I_1 \dots\dots\dots (45)$$

由上可知星形結線時其外線電壓是位相差為 120° 的三相電壓，其數值是相電壓的 $\sqrt{3}$ 倍。線電流與相電流相等。三角形結線時其外線電流為相電流的 $\sqrt{3}$ 倍，外線電壓與相電壓相等。

例題(1) 線間電壓為 3000 伏特之三相交流試求其星形結線時的相電壓為多少？

(2) 一發電機各相的電壓為 200 伏特電流為 100 安培，如將其呈三角形結線時外線電壓及電流各為若干？

8. 三相電力

三相電力等於各相電力的和，今設各相的電壓及電流各為 E_p 及 I_p 其位相差為 ϕ 則三相電力。

$$P = 3E_p I_p \cos \phi \dots\dots\dots (46)$$

如該三相交流為星形結線時其線電壓為 E 電流為 I 則。

$$E = \sqrt{3} E_p \quad I = I_p$$

將 E_p 及 I_p 代入 (46) 式得：

$$P = 3 \frac{E}{\sqrt{3}} I \cos \phi = \sqrt{3} E I \cos \phi \dots\dots\dots (47)$$

又三相交流為三角形結線時。

$$I_p = \frac{I}{\sqrt{3}} \quad E_p = E \quad \text{代入 (46) 式}$$

$$P = 3 \cdot E \cdot \frac{I}{\sqrt{3}} = \sqrt{3} E I \cos \phi \dots\dots\dots (48)$$

所以三相交流無論其為星形結線或三角形結線其電力。

$$P = \sqrt{3} E I \cos \phi \dots\dots\dots (49)$$

$$\text{電力} = \sqrt{3} (\text{線間電壓}) \times (\text{線電流}) \times (\text{力率}) \dots (50)$$

使用的時間乘電力即得所消耗的電能

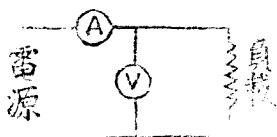
$$W = PH \times \frac{1}{1000} \text{ 仟瓦時} \dots\dots\dots (51)$$

例題 線間電壓 200 伏特線電流 9 安培的三相電動機力率為 80% 時其電力為若干？若連續使用 12 小時后所消費的電能為若干？

9. 電流表、電壓表、電力表、

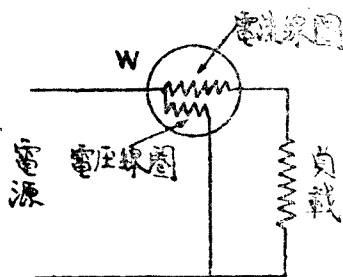
一般的電流表和電壓表的原理完全相同，電流表串聯於電路中為使其電壓降下減少所以其內部電阻應使其盡量減小，而電壓表則並聯於電路中為使其電流減

少所以其內部電阻應使其盡量增高，電流表或電壓表，有直流專用者，交直流兩用者或交流專用者各種，其直流專用者，在接頭處用(+)(-)號表明其極性，交流或交直兩用者則其極性不定，又交流電流表或電壓表所指示者均為交流的實効值，第32圖表示電流表和電壓表，在電路



第 32 圖 電流表 (A) 及電壓表 (V) 的接法

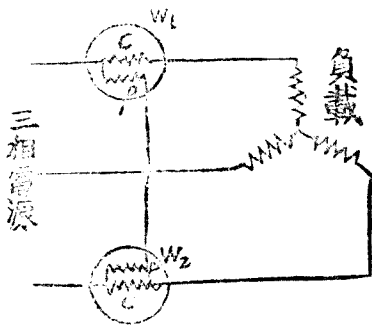
內的接法，電力表，為電流表及電壓表二者相合而成，如第 33 圖的 W 有電壓線圈和電流線圈前者與電路成並聯，後者與電路成串聯，交流電力表指示者為交流



電力表

第 33 圖

電力並非視在電力，測定三相電力時則用兩個單相電力表，此二表指示的和即為三相電力其接法如第 34 圖。普通的三相電力表為將兩個單相電力表



第 34 圖 三相電力表

收容在一個箱裡，直接可以指出三相電力。

練 習 問 題

1. 電阻10歐姆電感0.01亨利的電路通過1安培的電流時，應需多大的電壓？（設頻率為60）。
2. 一8極發電機每分鐘轉750次時其頻率為多少？
3. 電阻3歐姆電感0.01亨利的電路加100伏特的電壓時通過20安培的電流求該電路的抗阻，及電抗各為若干？
又所加交流電壓的頻率為多少？
4. 單相交流電壓3000伏特，電流100安培，其電路的力率為80%時試求電力，視在電力及抗阻為若干？
5. 一三相電動機其線間電壓為200伏特線電流為100安培，力率為66%試求其入力為何？
6. 一負荷為三角形結線電壓為200伏特，力率為80%消耗的電力為10仟瓦試求線電流及負載各相的電流？
7. 一負載為星形結線其相電流為80安培，相電壓為173伏特，電路的力率為85%時該負載所消耗的電力是多少？
8. 電流表和電壓表有何異同，並繪其在電路中的接線圖。
9. 一電阻變的電阻為50歐姆，加200伏特的電壓30分鐘後消耗的電能為若干？
10. 試解釋電力和電能的定義？

第二編 電機及電力應用

第一章 發電機

第一節 直流發電機

1. 總說 近代的發電送電極手全是三相交流。一般的工業用電力亦多屬交流。但是電化工業則只限於用直流，而都市的電車更以用直流較為便利。直流的發生方法有下列幾種。

(A) 用直流發電機直接發生出直流的方法。

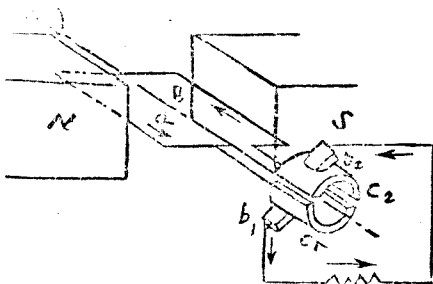
(B) 用交流變成直流的方法。

(a) 電動發電機， (b) 同步換流機， (c) 水銀整流器，

直流不適用於遠距離送電，所以用交流將電力送到使用的地方再變成直流，如電化工業或電車等需要大電力時則多用電動發電機，同步換流機，及水銀整流器。

2. 直流發電機的原理

第 35 圖為一線圈於磁場內按箭頭方向旋轉時，依佛萊銘右手定則在線圈的兩側得圖示方向的電流即自 N 極附近的導線 a，經整流片 C₁、刷子 b₁ 導出，經過負



第 35 圖 直流發電機的原理

載又由刷子 b₂ 整流片 C₂、電線 b 而流入發電機，但該發電機的電線 a, b, 及整流片 C₁ C₂ 為轉動部分，所以當 a, b, 的位置相反時，即電線 a 轉到 s 極，電線 b 轉到 N 極時，則其電流的方向亦與以前相反，同時整流片 C₁ 與刷子 b₂ 相接觸而整流子片 C₂ 則與

刷子 b₁ 相接觸。所以在外部電路來看，電流的方向是一定的即自 b₁ 流向 b₂ 而內部 a, b, 兩電線上的電流方向是時時在變化着的，C₁ C₂ 就是變換內部電流使

其在外部電路內流動方向一定的裝置，叫做整流環。b b₁ 是刷子用它把發上的電流導出外部電路。

2. 直流發電機的構造 其大要可分為下列幾部分：

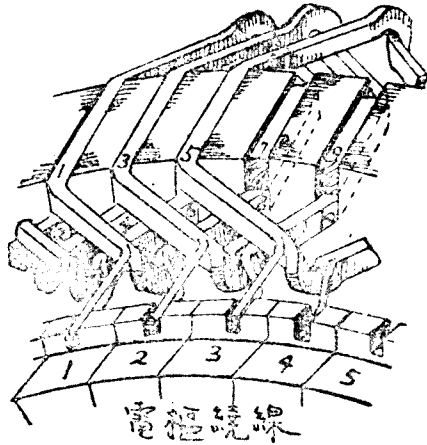
(A) 磁場 構成磁場的有軛鐵和磁極，軛鐵是磁流的通路，又是發電機的支架，多用鑄鋼，鑄鐵或軟鋼製成者，磁極是由磁場鐵心和激磁線圈構成的，磁場鐵心是用許多的薄銅片，相疊而成，然後用螺釘固着在軛鐵上，把絕緣的銅線繞在它的周圍，即為激磁線圈。

(B) 電樞 構成電樞的有樞心及電樞線圈，樞心是磁流的通路，並有電樞線圈繞在上面，為防止樞心內部發生渦流，一般均用薄銅板相疊而成，並在表面作出溝，以備繞電樞線圈之用。電樞線圈是由絕緣銅線做成的線環，如(第36圖)放在樞心的溝裡，線圈的兩邊常放在反對磁極的下面，自線圈和線圈的接頭與整流環相接(如第37圖)。



第 36 圖

電 樞 線 圈



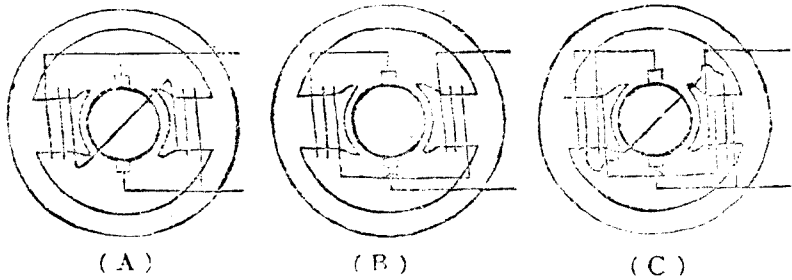
第 37 圖

(C) 整流環及刷子 整流環是由多數銅製的整流片集合而成，各片之間用雲母絕緣，刷子是由黑鉛作成的，裝於刷子保持器上，可以隨意移動而調整它的位置。

4. 直流發電機的種類和特性

直流發電機按其激磁線圈的接法可分為：分繞發電機，串繞發電機及複繞發

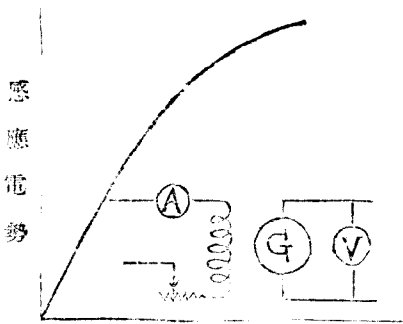
電機三種，如第 38 圖的 (A) (B) (C) 所示。



第 38 圖

分繞發電機的激磁線圈和電樞線圈並聯，串繞發電機的激磁線圈和電樞線圈串聯，複繞發電機的激磁線圈一部和電樞線圈並聯，又有一部和電樞線圈串聯，又串聯的繞數較並聯的繞數多時叫超複繞發電機，反之則叫低複繞發電機。

(A) 無負載特性 發電機的外部不加負載，並令其以一定速度旋轉，自外部供給激磁電流，同時測定發電機的端電壓即感應電勢和激磁電流的關係，39 圖，是無負載特性

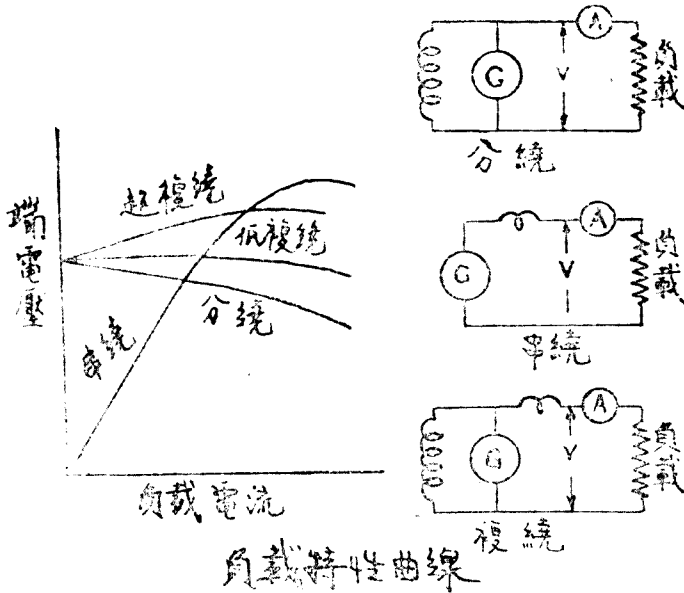


第 39 圖

曲線及其實驗接續圖，由該曲線可知當發電機的旋轉數一定時，其端電壓和磁流成比例所以該曲線又可表出發磁電流和磁流的關係。

(B) 負載特性曲線 發電機加上負載時，因電樞線圈的電阻，及電樞電流所生的磁流對於磁極的影響，結果使發電機的端電壓較感應電勢低，若定並聯激磁線圈的電阻及發電機的轉數一定，漸次增加負載電流，則負載電流與端電壓的關係如第 40 圖所示的曲線，叫做負載特性曲線，又名叫外影奇性曲線。

若定並聯激磁線圈的電阻及發電機的轉數一定，漸次增加負載電流，則負載電流與端電壓的關係如第 40 圖所示的曲線，叫做負載特性曲線，又名叫外影奇性曲線。



第 40 圖

分繞發電機的負載特性如圖 (1) 隨負載的增加端電壓即行下降，但其變化的程度不大，故其電壓可看做是一定的，直繞發電機的激磁電流和負載電流相等

所以負載增加時端電壓也隨着上昇如圖 (2)，複繞發電機則如圖 (3) 分繞發電機的電壓降下部分由串繞的磁場線圈補償一部，所以自無負載至全負載其電壓幾乎一定，如激磁線圈的串繞部分，較分繞多時則其端電壓即隨負載增加而稍行昇高如圖 (4)。

(C) 電壓調變率 假設直流發電機全負載時的端電壓是 E_2 伏特，無負載時的端電壓是 E_1 伏特則電壓調變率：

$$r = \frac{E_1 - E_2}{E_2} \times 100\% \dots\dots\dots (52)$$

普通的分繞直流發電機的電壓調變率在 5% 左右，調節發電機的電壓時，變化激磁電流即可因之在分繞發電機或複繞發電機的分繞激磁線圈加入串聯電阻器，變換電阻，控制激磁電流而行調節電壓。

發電機的端電壓最好是不隨負載的多少而變動，所以日常使用低複繞發電機最爲適宜，電車用時爲補償送電的電壓降下以超復繞發電機較爲適當。

例題 (1) 一直流發電機全負載時兩端間的電壓是 125 伏特，無負載時是 130 伏特，試求其電壓調變率是多少？ (4%)

(2) 一發電機的電壓調變率是 5% 全負載時的兩端電壓是 100 伏特，求無負載時的電壓是多少？

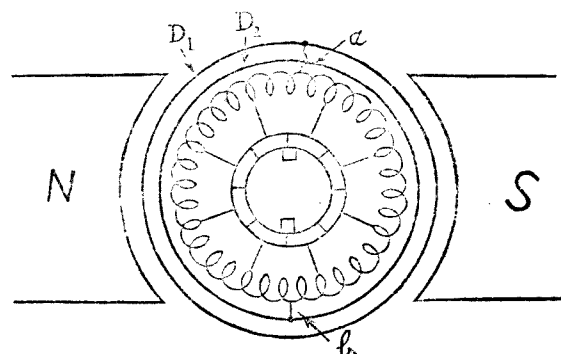
5. 電動發電機

是把直流發電機和交流電動機的軸接在一起，用交流電力轉動交流機而發生直流的方法，常用的交流電動機有感應電動機和同步電動機，用感應電動機時，開動或運轉都甚簡便，但其力率及能率較低，用同步電動機雖能率及力率都好，且開動或在運轉時則較煩瑣，此二者的能率均遠不如。同步換流機和水銀整流器，所以需要大容量的直流電力時多採用之。

例 一直流發電機其能率爲 93% 如與能率爲 93% 的感應電動機直結，或與能率爲 95% 的同步電動機直結時，其能率各爲若干？

6. 同步換流機

如第 41 圖，在直流機電樞上有整流環的另一端的線圈上相隔 180° (電氣角) 的兩點 a、b，引出線連接於集電環 D_1 、 D_2 上，如用另一機械轉動電樞時則兩子



第 41 圖 同步換流機

間得直流電壓， $D_1 D_2$ 間得交流電壓，圖中 a、b 的位置正在中性點所以中性點兩側線圈的電壓加於 a、b 二點，此時 a、b 間的電壓最大即與兩子間的直流電壓相等，如電樞轉動時則 a、b

間的電壓漸次減小，當 a. b. 二點轉至磁極中心時 a. b. 間的線圈一半在 N 極一半在 S 極，其感應電壓互相抵消而為零，過此位置之後電壓的方向與前相反至中性點時 a. b. 間的電壓復為最大，如不用另一機械運轉而在集電環加入交流電壓時即成為同步電動機，並在整流環得直流電壓，因之稱為同步換流機，如將電樞線分為三等份每點 120° (電氣角) 引出一個線頭接於三個集電環時即為三相同步換流機，其交流側電壓與直流側電壓電流的比常為一定如下表

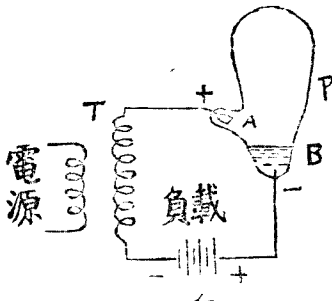
同步換流機電壓及電流比

	單 相	三 相
交 流 電 壓 直 流 電 壓	0.707	0.612
交 流 電 流 直 流 電 流	1.414	0.943

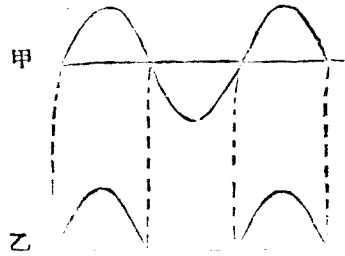
同步換流機較電動發電機能率大價格便宜，佔用面積小等許多優點，所以現在大規模整流時多採用之。

7. 水銀整流器

第 42 圖真空的玻璃管 P，裝有電極 A 和水銀 B，將 A、B 兩端經負載接於變壓器副圈的兩端，則 A、B 兩點間及顯有交流電壓，今將玻璃管傾斜使水銀 B 與 A 相接完成電路有電流通過，立即使 A、B 離開，此時 A、B 間發生水銀弧光，電流可經弧光在管內通過，但此弧光只能使電流向一方流動，即當 A 極為正，B 極為負時，電流可自 A 極經水銀弧光、水銀、負載、變壓器的副圈而歸於 A 極，但當 A 極為負，B 極為正時，水銀弧光則不能使電流自 B 極流向 A 極，此一瞬間於部負載內無電流通過，至 A 極為正，B 極為負時，電流又行通過，如此 A、B 兩極間雖顯有交流電壓，但外部負載電流的方向並不變化，因之形成整流作用，整流後的電流與交流的比較可用 43 圖表示之，甲為變壓器內的交流電壓，乙為負載內的電流，即表示負載內僅有一方向的電流通過，此種整流叫做半波整流，第 44 圖，在真空玻璃管內裝入兩個電極， A_1, A_2 接於變壓器的副圈，如前面說過的，

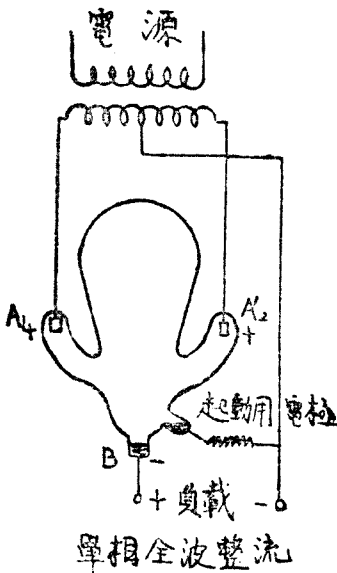


第 42 圖 水銀整流器

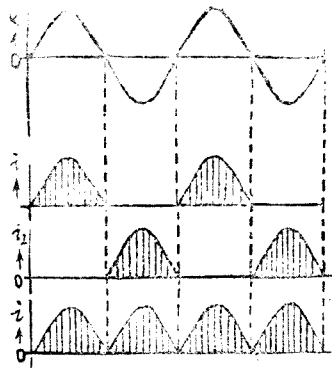


第 43 圖 單相半波整流

當 A_1 , A_2 任一極為正時，都能有電流通過，所以負載內有連續不斷同方向的電流通過，其整流的情形如第 45 圖所示，以前二者為單相半波整流及全波整流。三相整流器，則

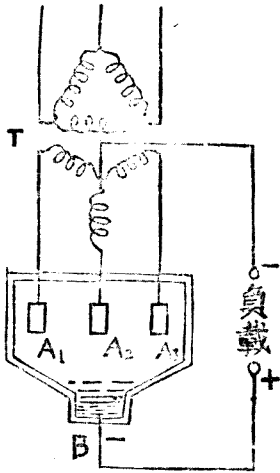


第 44 圖

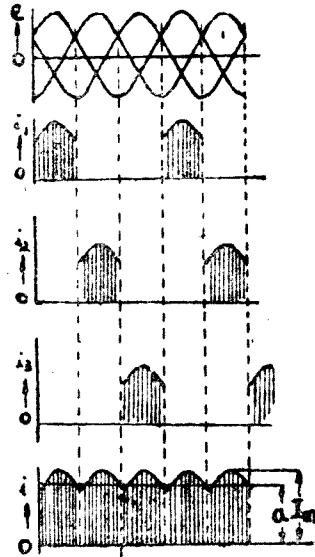


第 45 圖 全波整流

如 46 圖的接續其原理和單相時完全相同，47圖是三相整流時的電流變化情形，較單相整流時脈動已行減少，大容量的水銀整流器，多用水冷式的鐵筒製做之。



第 46 圖 三相整流器



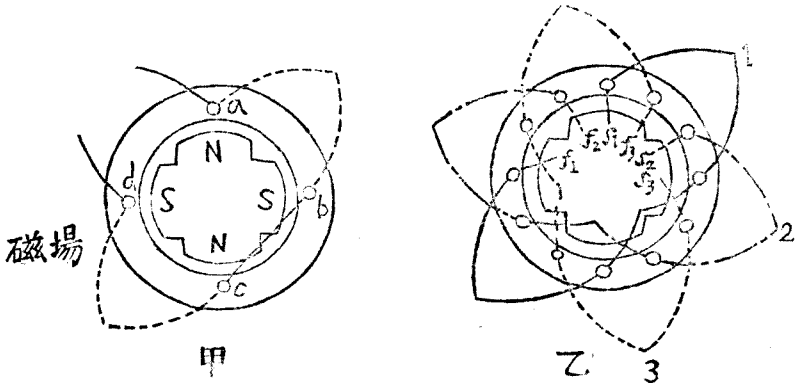
三相半波整流

第 47 圖

第二節 交流發電機

1. 交流發電機的原理

第 48 圖甲、乙為單相及三相發電機的略圖當磁極迴轉時在各線圈內發生感



第 48 圖 交流發電機

應電壓，可用佛萊銘右手定則說明之，甲圖線圈的兩邊相隔 180°，而乙圖的三個線圈則各邊順次相隔 120°，故在甲圖線圈內得單相交流電壓，而於乙圖各線圈中則得三相交流電壓，其感應電壓的大小與電線在單位時間（每秒）內截斷磁流數成比例，若每極的磁流數為 Φ 每秒轉 N 圈的感應電壓。

$$E_1 = K \Phi N, \text{ 伏特} \dots\dots\dots (53)$$

式中 K 為一常數，由磁極數頻率，電線數等決定之，但如轉數一定時，則感應電壓僅與磁流 Φ 成比例，三相發電機如為星形結線時，則其端電壓 E 為 E_1 的 $\frac{\sqrt{3}}{3}$ 倍，即

$$E = \frac{\sqrt{3}}{3} E_1 \dots\dots\dots (54)$$

三角形結線時，其端電壓與各相電壓相等，即

$$E = E_1 \dots\dots\dots (55)$$

又感應電壓的頻率 f 與每分鐘的轉數 N 磁極數 P 的關係可用下式表之，

$$f = \frac{P}{2} \times \frac{N}{60} \text{ 週} \dots\dots\dots (56)$$

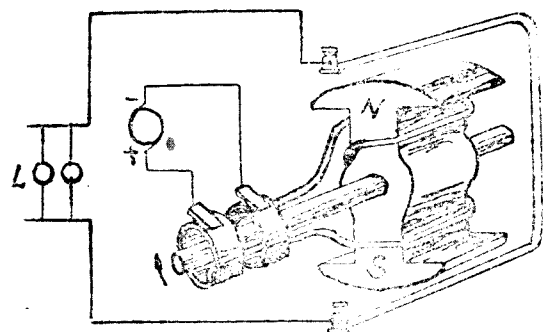
或
$$N = \frac{120f}{P} \dots\dots\dots (57)$$

由 (56) 或可知二極發電機每秒轉一次時，所生的交流電壓的頻率是 1，若用二極發電機欲得頻率為 50 的交流時，則每秒需轉 50 次，每分需轉 3000 次，又若頻率不變發電機的極數增加一倍時，其轉數可減為原來的二分之一，因此設計交流發電機時，可根據原動機的經濟轉數來決定其磁極數目。

2. 交流發電機的構造

近代的大容量交流發電機，多為旋轉磁場型，在迴轉磁極的同一軸上裝有直流發電機，作為激磁之用，靜止部分為一鑄鐵或鑄鋼的圓筒形支架，在圓筒的內側，由帶有許多溝的薄鋼板相重疊而成，並固定在圓筒的內側，在溝中放入線圈，其迴轉部分則由磁極鐵心及激磁線圈二者構成，激磁線圈內通入裝在同軸上的直流發電機的直流，或另一獨立的直流發電機的直流時，則磁極鐵心即化為強電磁鐵，其一般的構造如第 49 圖，但又有使用的原動機不同，其構造也有些異

同，今分別略述之：



簡單的單相交流發電機

第 49 圖

(A) 水車發電機

有橫型及堅型兩種，一般高落差時，水車的速度大，發電機的極數少，其體積較小，多為橫型，同容量的堅型，雖較橫型價格高貴，因其能夠充分的利用落差，機械佔用面積又小，所以近來大容量的水車發電機多為堅型者。

(B) 蒸汽渦輪發電機

蒸汽渦輪的速度較高，尤其在高速度時效率較好，所以發電機只限於二極或四極，即發生頻率為 50 週時的轉數（每分）各為 3000 及 1500，因其速度極高，回轉部分應為直徑較小，能耐強大遠心力的細長圓筒形。

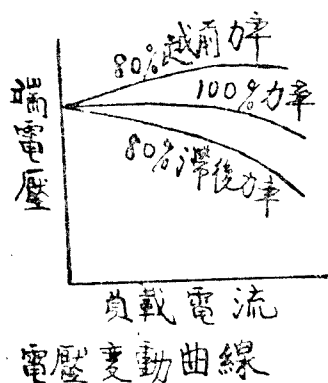
(C) 內燃機發電機 以柴油機和煤油機為原動機的發電機，一般均為轉數少，且因原動機每回轉中速度的不相等，所以應在回轉部分裝有調速作用的大型飛輪，使其回轉速度均等。

3. 電壓調節率

交流發電機加上負載以後，其端電壓即行下降，其原因大略可分為下列三種：

- a. 電樞內部電阻。
- b. 因電樞電流而生的磁流對於磁極上所發出磁流的影響。
- c. 電樞線圈的自感。

但其下降的程度又因負載的大小，力率的大小而異，滯後力率時下降較甚，但超前力率時反而上昇，表示負載電流與端電壓的關係的曲線叫做電壓變動曲線，如第 50 圖，表示電壓變動大小的程度叫電壓調節率，假設在任一力率之下全



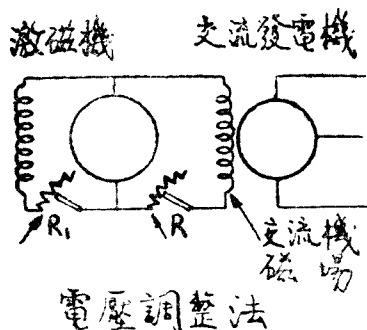
第 50 圖

負載時其端電壓為 E ，如力率激磁電流及速度不變，無負載時的端電壓為 E_0 。則

$$\text{電壓調變率} = \frac{E_0 - E}{E} \times 100\% \dots \dots (58)$$

電壓調變率在滯後力率時較大，超前力率時較小，且為負值，普通多以力率為 100% 時的數值表示之。

欲使交流發電機的端電壓保持一定時依前而 (53) 式知道其端電壓與磁流成比例，如果變更激磁電流時，即可調節電壓第 51 圖是表示調節電壓的二種方法。



第 51 圖

圖中 R_1 是激磁機磁場調節器， R 是發電機磁場調節器，如使 R 的值變化時，即可直接變化交流機的激磁電流而行調節電壓，又如變化 R_1 的值使激磁機的電壓變化，因之交流機的激磁電流亦行變化。這一方法較前者精密。

4. 輸出、損失及能率 交流發電機的損失可分為銅損、鐵損、及摩擦損，各種能的損失均化為熱能，使發電機的

溫度昇高，但其溫度的昇高，對機械有害，所以溫度達某一限度時，即不能使其再行上昇，亦即不能再增加外部的負載電流，或輸出在此限定範圍內的最大輸出叫做負載耐量或定額輸出，普通用仟伏安 (K.V.A.) 表之，假定某交流發電機的定額電壓是 E 伏特，正常滿載電流是 I 安培，負載的力率是 $\cos \phi$ 則其定額輸出 (三相)

$$P = \sqrt{3} E I \times 10^{-3} \text{ K.V.A. (仟伏安)} \dots \dots (59)$$

$$\text{實際的輸出是 } \sqrt{3} E I \cos \phi \times 10^{-3} \text{ KW (仟瓦特)} \dots \dots (60)$$

交流發電機的能率，為輸出與輸入的百分比。

$$\text{能率} = \frac{\text{輸出}}{\text{輸入}} \times 100 = \frac{\text{輸出}}{\text{輸出} + \text{損失}} \times 100\% \dots\dots\dots (61)$$

第二章 電 動 機

電動機總的說起來可分為交流電動機和直流電動機兩大類，但每類電動機中又包含下列各種：

交流電動機： 感應 電動機（三相、單相）

 同步電動機

 整流子電動機（三相、單相）

直流電動機： 分繞電動機

 串繞電動機

 複繞電動機

（i）感應電動機

（a）三相感應電動機 為一般工業動力最普遍使用的電動機，構造簡單堅固，其容量由 $\frac{1}{2}$ 馬力至數千馬力，本為定數速度電動機，如加以特殊裝置時，亦可使其速度發生變化。

（b）單相感應電動機 其特性不如三相好，因其力率低，但可在單相的電燈線上隨時使用，多為小型的電動機，如電扇電唱機等。

（ii）同步電動機 其速度恆為一定，功率及力率均較感應電動機強，惟構造及開動時稍感複雜，大容量的電動機多採用之，如大容量的空氣壓縮機和通風機等多用之。

（iii）直流電動機為 利用直流電源的電動機，現今發生直流比較困難，所以除電車外很少有利用者。

a. 分繞電動機 設計時可任意選擇其速度，而適於應用，並可以簡便的方法調節速度。

b. 串繞電動機為可變速電動機，因其開動力矩大，故適於電車起重機等處之用。

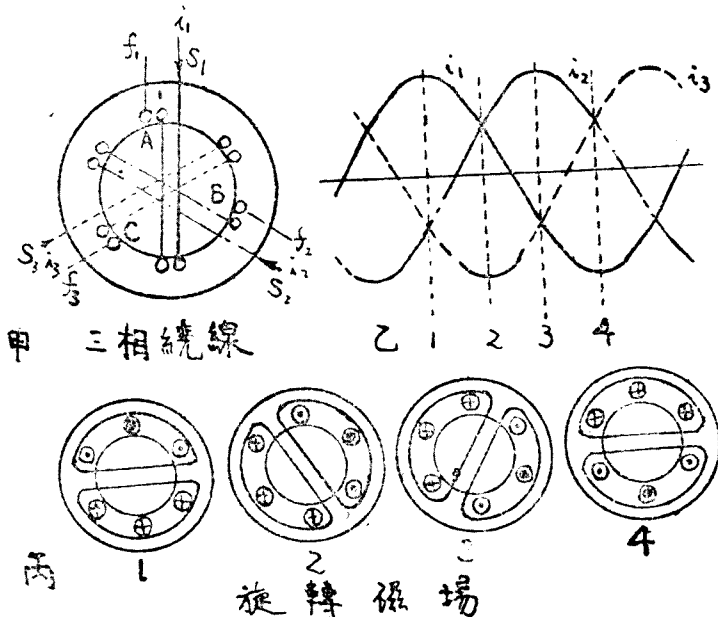
c. 複繞電動機 其特性介於分繞及串繞電動機之間。

第一節 三相感應電動機

1. 三相感應電動機的構造

大致可分為二部即靜止部分與回轉動部分，靜止部分叫做定子，轉動部分叫做轉子，定子的外殼是鑄鐵製的，裡面由帶溝的許多薄鋼片相疊而成在溝內放入線圈，此種薄鋼片專為電機用而裝成者，約為 0.35 耗厚用許多疊成之後，可防止鐵中心的渦流而減少渦流損，定子線圈為先將絕緣的電線作成線圈再放入定子裡面的溝中其結線的方式為三相星形或三角形，自外部通入三相交流。

轉動部分的轉子也是用薄鋼片相疊而成的鐵心，在鐵心的溝裡放入鼠籠線。兩端再用粗電線連結之，此種轉子叫做鼠籠型轉子，另外尚有在轉子的溝裡與定子同樣放入線圈，其極數與定子相同，一端或是形結線另一端接於滑動環上，並與電阻相接，可以在外部調節電流的大小，此種轉子叫做繞線型轉子。



第 52 圖

2. 同轉原理

第 52 圖 (甲) A. B. C 三個線圈每邊順次相隔 120° 放入定子裡面的溝中，這種繞法叫做二極三相式繞線法每個線圈電流均以 s 至 f 為正方向，將乙相的三相交流通入該線圈時在 1 的瞬間，A 相的電流 i_1 是正方向，B. C. 相的電流 i_2, i_3 是負方向，因之則有丙圖 1 所示的電流及磁流發生，同樣在乙圖 2. 3. 4.

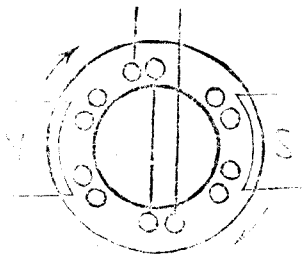
的瞬間的電流及磁流則如丙圖 2. 3. 4. 所示，由此可知磁場的方向漸次轉動，其速度在 1 至 4 的半週期內轉半周，因之每周波即轉一次，並在一周內磁場強度亦相等，其情形如第 53 圖所示，轉動的 N. S. 磁極相同，此種磁場叫做旋轉磁場，如在 52 圖甲的定子裡，每兩 90° (在電氣上仍為 120°) 放入 6 個線圈，

並每兩兩個線圈接在一起做為一相，同樣通入三相交流則得四極三相的旋轉磁場其速度為每周波轉半周，因之設定子的極數為 P ，供給電壓的頻率為 f ，每分鐘的轉數為 N ，則

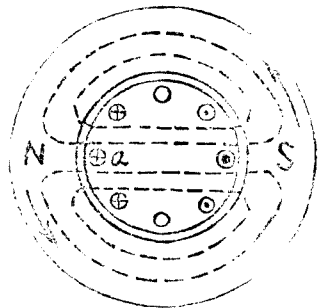
$$N_f = \frac{2}{P} \times f \times 60 \dots\dots\dots (3)$$

此速度稱為同步速度，如前 52 圖 (甲) 將 B 相及 C 相的電流互相倒換時，即將 i_2 通入 C 相 i_3 通入 B 相，則磁場轉動的方向與前相反，因此將三相中任意二端顛倒時則電動機轉動的方向即與前相反。

將鼠籠型轉子置於旋轉磁場之內即在轉子線圈內發生感應電壓，如第 54 圖依佛萊銘右手定則 (Fleming's righthand rule) 在 a 電線發生 (+) 方向的電壓，並有電流通過此電流與磁場互相作用依佛萊銘左手定則 (Fleming's left handrul) 發生圖示方向的轉矩，結果轉子和旋轉磁場轉動的方向



第 53 圖



第 54 圖

相同。總之將三相交流通入定子捲線即發生旋轉磁場，該磁場又使轉子發生電流，此電流與磁場互相作用發生轉矩使轉子轉動。但轉子轉動時其電線必與磁流相切，否則無轉矩發生，因之轉子的速度必較同步速度慢。

3. 轉差率 (Slip)

電動機的實際回轉數與同步速度的差與同步速度的比叫轉差率。如電動機的回轉數是 N 同步速度是 N_0 則轉差率

$$S = \frac{N_0 - N}{N_0} \dots \dots \dots (6)$$

此數值通常以 % 表之。由上式可知當轉子靜止時 $S = 1$ 回轉速度增加時則 S 值漸小至同步速度時為零，如 S 為零時即轉子電線不與磁流相切，因之亦無感應電流發生，轉矩亦為零，但因軸與軸承之間有摩擦的存在，當轉子轉動時必需有抵消此摩擦的轉矩發生，所以在無負載時其轉差率甚小。

如電動機以轉差率 S 轉動當負載增加時轉矩即感不足，因之轉差率增加，結果旋轉磁場與轉子電線相切的數目增加，感應電壓及電流亦增加，故轉矩即行增加。負載減少時，轉矩有餘，轉差率即行減少而與負載平衡，即轉差率隨負載而變化，可以自動調節轉矩。因之三相感應電動機滿載時的轉差率在 5% 以下，其速度可視為一定。

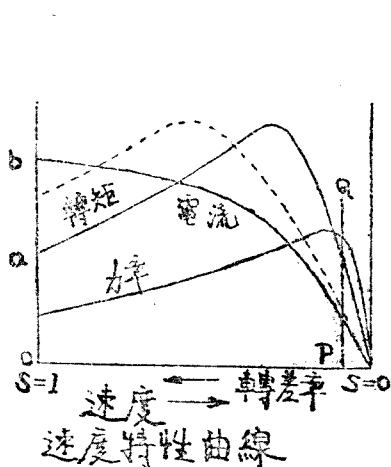
例題 (1) 頻率 50 週四極的三相感應電動機全負載時每分鐘轉 1425 次求轉差率為若干 % ?

(2) 頻率 60 週 6 極三相感應電動機轉差率 4 % 時每分鐘的回轉數是多少 ?

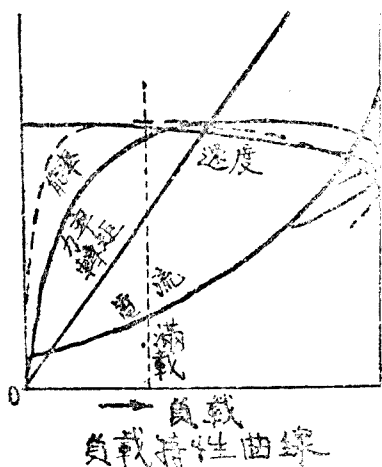
4. 特 性

轉子的轉矩除與旋轉磁場及轉子電流的強度有關係外，並與轉子電路的力率成比例。所以欲增加轉子的轉矩時，必須改善轉子的力率。因為電動機開動時力率低雖有較大的電流但轉矩並不大，至運轉狀態時力率既增，較少的電流可生較大的轉矩。因之滑動 (或速度) 對轉矩、轉子電流及定子力率的關係，可用第 55 圖表之。此表即叫做感應電動機的速度特性曲線，橫軸表轉差率或速度 ω 為開動回轉數

爲開動電流由圖中可知開動時雖有強大的電流通過但是轉矩小，力率低，（因轉子力率低所以定子力率亦低）速度漸增則力率亦漸改善滿載時在轉差率較少的P Q位置運轉，如在捲轉型轉子接入電阻時則其轉矩的曲線如同圖所示最大轉矩之點向左移動，因之在開動時接入適當之電阻，可在最大轉矩之點開動，同時可以減少開動電流速度增加時漸次去掉電阻。



第 55 圖



第 56 圖

第 53 圖爲電動機的負載與速度，電流，力率，能率，轉矩等之特性曲線，叫做負載特性曲線由圖可知感應電動機的力率一般較低尤其在輕負載時更甚此爲其缺點。

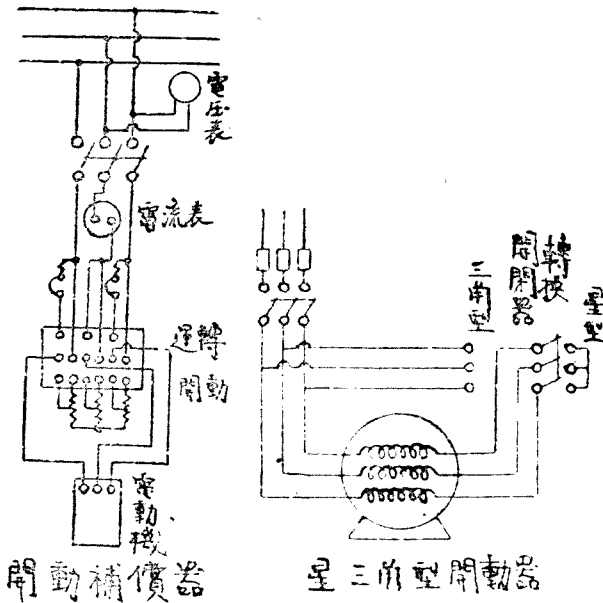
5. 開動法

感應電動機在靜止時將供給電壓直接加於定子時則有很大的開動電流發生其數值可達滿載的數倍，故應設法限制之，又在開動時力率低，轉矩也小，爲了改善這些所以感應電動機多備有開動裝置。

(A) 鼠籠型電動機的開動法

(a) 普通五馬力以下的電動機不用開動裝置，直接加入供給電壓即可。

(b) 用開動補償器的方法，普通用在 10 馬力以上的電動機開動時先將補償器的把手推向了開動的方向，用全電壓的壓或開動，待電動機的速度增加電流減少時，再將補償器的把手推到了運轉的方向去，加上全電壓，此裝置乃由自耦變壓器及轉換開閉器相合而成，用此方法開動雖可限制開動電流但其開動回轉力亦減至很小帶大負載開動時不太適當。



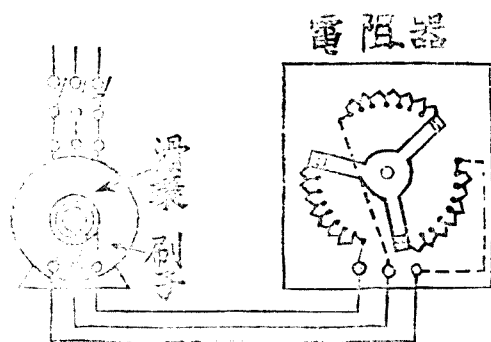
第 57 圖

(一) 星型

三角型開動法，此為 7.5~10 馬力的電動機開動的方法，即當開動時使定子捲線成星形結線，至速度增加後再改成三角型結線，此種方法較用補償器裝置頗為簡單，但開動轉矩與之同樣也很小，第 57 圖為開動補償器及星型三角型之結線圖。

(B) 捲線型電動機開動法 捲線型電動機如第 58 圖，在導子捲線內加入串聯電阻加全電壓於定子捲線，隨速度的增加逐漸減少電阻，至規定速度時除去電阻用滑動環短絡之。

此種開動方法不但可以限制電流並可使開動轉矩增大多適用於 10 馬力以上的電動機特別在開動時帶有多量的負載更為適當。



第 53 圖 繞電開動器

6. 常用的電動機

一般常用的電動機在 50 馬力以下者多為低壓即 50 週 240 伏特 - 50 馬力以上的則多為高壓即 3000 伏特，又 13 馬力以上者多用捲線型轉子，但近年來已有多數二重鼠籠型轉子者，今將鼠籠型電動機和捲線型電動機的優缺點

分述於後。

(A) 鼠籠型電動機

- i 構造堅固，使用簡便，價格低廉。
- ii 效率及力率高。
- iii 沒有滑動環所以不生火花。
- iv 起動轉矩小。
- v 變速裝置麻煩。

(B) 捲線型電動機

- i 開到特性好。
- ii 容易變化速度。
- iii 運轉特性不如籠型好。
- iv 價錢貴。

利用上面說過的優缺點各種電動機使用的地方也不同，如鼠籠型電動機

- (1) 50 馬力以下者適於小工廠的動力用。
- (2) 發生爆發性氣體的地方。
- (3) 容易發火的地方（揮發油或其他極易着火的東西）。

捲線型電動機則適於起重機，電梯等需要變換速度的地方大工廠的主軸動力

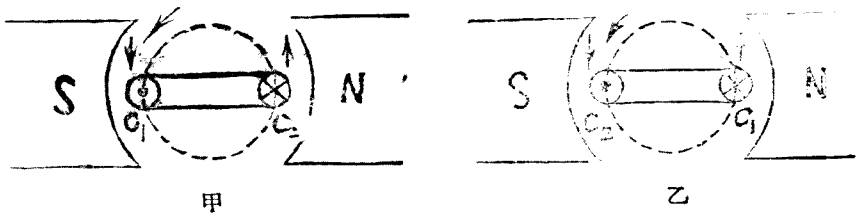
帶有負載開動等，使用電動機的方式有用一台大容量動轉主軸者，再用皮帶及皮帶輪傳至各個機械此時不但主軸及皮帶的損失較大若使主行起重機時也有許多不方便的地方所以現在大部分每架機械裝一台電動機而行各個運轉其優點很多。

- i 在休息時沒有損失運轉中損失也較少可以提高工作效率。
- ii 調子速度或調轉等都甚方便。
- iii 可以隨意選擇機械的位置。
- iv 一部分機械有毛病不致影響全部。

第二節 直流電動機

1. 直流電動機的構造和原理

直流電動機的構造和直流發電機完全相同，發電機乃為將機械能變為電能，而電動機則為將電能變為機械能的裝置，即以原動機轉動直流發電機時發電機二個刷子間發生電壓，接於外部電路即有直流通過，反之如直流發電機的二個刷子之間通入直流時，則電樞即依左手定則發生轉動即成為電動機，其原理可用51圖說明之，圖中 C_1 、 C_2 為在 N、S 二極間線圈的兩邊，甲圖表電流自 C_2 流向 C_1 並



第 59 圖

且 C_2 在 N 極的下面 C_1 在 S 極的下面按着佛萊銘左手定則繞圈即如圖示的方向旋轉至 180° 之後則如乙圖所示 C_1 及 C_2 的位置相反，即 C_1 在 N 極的下面 C_2 在 S 極的下面，而電流則自 C_2 流向 C_1 因之線圈旋轉的方向仍然和甲圖一樣，由此可知在 N 極下面的電線的電流是 \otimes 方向，在 S 極下面的電線的電流是 \odot 方向所以無論線圈的位置如何電流和磁流間所生的作用力的方向總是不變的。

2. 旋轉數與轉矩

直流電動機加上電壓後則電樞即開始按右手定則的方向轉動電樞轉動時電樞線圈即與磁流相切發生感應電壓，其方向依佛萊銘右手定則可知恰與外部所加的電壓相反這種電壓叫做逆電壓，供給電動機的外部電壓大都是用在抵消此逆電壓上其外就是補償因電樞線圈電阻而生的電壓下降，今假定供給電壓是 E 逆電壓是 E_0 電樞線圈電阻是 R 通過的電流是 I 則

$$E = E_0 + IR \quad \dots\dots\dots (64)$$

式中的逆電壓 E_0 是因線圈切磁流而發生的，所以它的大小是 $\propto n \cdot \Phi$ ，旋轉數及每極磁流數成比例所以

$$E_0 = Kn\Phi \text{ 伏特} \quad \dots\dots\dots (65)$$

上式中 n 是各磁極的流數， n 是電樞旋轉數 k 是常數。

$$\therefore E = Kn\Phi + IR \quad \dots\dots\dots (66)$$

由 (65) 式得 $n = \frac{E - IR}{K\Phi} \quad \dots\dots\dots (67)$

但上式中的 IR 較供給電壓 E 甚小故可略之。

$$n \approx \frac{E}{K\Phi} \quad \dots\dots\dots (67)$$

由 (67) 式可知電動機的旋轉數與供給電壓成正比例，與每極的磁流數即磁場強度成反比例。

電動機的轉矩是與電樞線圈所受的轉動力成比例因之該力如第一編 (18) 式所示與電流及磁流密度成比例所以轉矩也和電樞線圈的電流和磁流的相乘積成比例，即

$$T = K_2 \Phi I \quad \dots\dots\dots (68)$$

式中 T 是轉矩， Φ 是各極磁的磁流數， I 是電樞線圈電流 K_2 是常數。

3. 種類和特性

直流電動機依其激磁線圈的接法與直流發電機同樣可分為分繞、串繞及複繞三種茲將其特性分別寫在下面。

(1) 分繞電動機 因為分繞發電機的激磁線圈和電樞線圈並聯所以外部供

給電壓一定時，則激磁電流與負載的大小沒有關係常是一定的，因之供給電壓一定時磁流也一定也。所以由前節(66)式可知能隨負載變化而發生變動的僅僅是IR一項，但IR的數值比供給電壓很小可以略去，所以其轉速與負載的大小幾乎沒有關係僅僅在負載增多時略有減少。

又因重是一定由(68)式可知其轉矩是與電樞電流成正比的用上面的特性曲線表示之則如第60圖。

(2) 串繞電動機 因串繞電動機的激磁線圈和電樞線圈串聯，激磁電流和電樞線圈電流相等磁流也和電樞電流成比例因之。

$$n = \frac{E - IR}{K \Phi} \approx \frac{E}{K I} \dots\dots\dots (69)$$

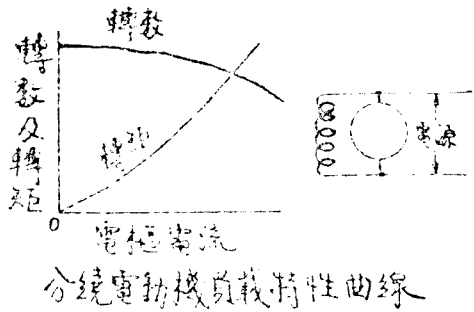
上式的R是電樞線圈及激磁線圈的電阻並由上式得知串繞電動機的旋轉數與電樞線圈電流即負載電流成反比

又其轉矩 $T = K_2 \Phi I$ 但重與電流I成正比

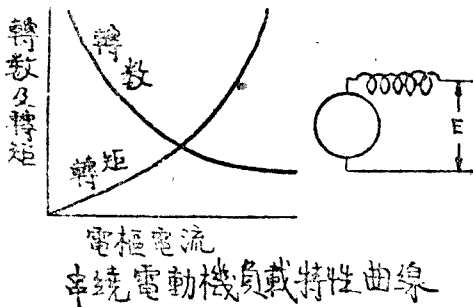
$$T = K' I^2 \dots\dots\dots (70)$$

即轉矩與電樞電流的平方成正比，然當負載急劇增多時磁路呈飽和狀態重不與I

成比例，因之旋轉數也趨一定(69式)其轉矩不再與電流的平方成比例，其負載特性曲線如第61圖其速度隨負載之增減而變化，尤其在無負載時其速度特別大又在開動時有極大的轉矩，並因電動機的輸出與速度及轉矩



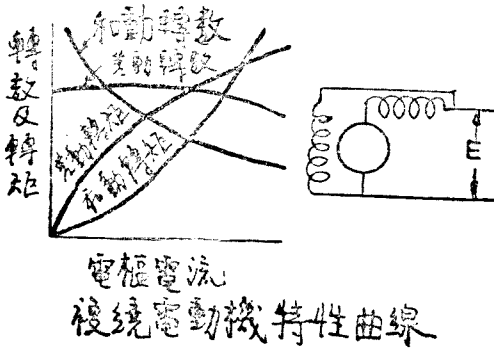
第 60 圖



第 61 圖

成比例即當轉矩大時速度小所以輸出的變化率少，因之像電車起重機等需要開動轉矩大速度變化多的地方特別適當。

(3) 複繞電動機 複繞電動機中的串繞激磁線圈和分繞激磁線圈的磁壓相加者是和動複繞。反之相減者是差動複繞。和動複繞電動機的性質介於分繞及串繞之間，其負載特性曲線如



電樞電流
複繞電動機特性曲線

第 62 圖

第62圖，無負載時的速度雖不像串繞時那樣大，但因負載而生的速度變化則較分繞電動機大，差動複繞電動機的串繞激磁線圈所生的磁壓與分繞激磁線圈所生的磁壓相反使磁場強度減弱保持電動機的速度一定。

4. 開動和倒轉

電動機靜止時直接加上電壓，此時電樞線圈內沒有反電勢，所以在電樞線圈內有強大的電流通過，極易燒毀電樞導線，也影響其他的機械所以在開動時應適當的電阻串聯插入電樞線圈內藉以限制開動電流，至速度漸增時再逐次減少電阻，此種裝置叫做開動器因開動電流在電阻內通過的時間極短，故用較細的電阻線即可如在開動以後不去掉電阻而行運轉時則極易燒毀電阻器。

又使電動機倒轉時只要顛倒磁場或電樞電流的方向即可，如只變更電源的正負極時，電樞電流和磁場的方向同時變更電動機的旋轉方向，仍然不變。

5. 控制速度法

電動機的旋轉數
$$n = \frac{E - IR}{K\Phi}$$
 所以欲使速度變更時，可用下列三種方法。

法。

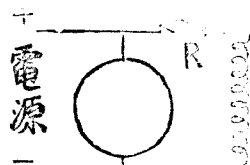
(1) 變更磁流。

(2) 變更電樞電路的電阻。

(3) 變更供給電壓。

(A) 分繞電動機 多在激磁線圈中插入串聯電阻，變更電阻的數值，而使磁流增減藉以控制速度，如第 63 圖

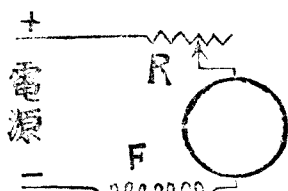
(B) 串繞電動機 則多用 (2) (3) 兩個方法，(2) 的方法則如第 64 圖，在電樞電路插入串聯電阻器，變更電阻而控制速度，此種方法可以廣範圍的變更速度並可做開動器之用但其



第 63 圖

缺點為電阻器的容積大並且電力的損失也大。

(3) 的方法在電車上常用是二個同樣的電動機，同時使用時，將二個電動機串聯接於電源時則每個電動機的電壓是電源的二分之一，速度也是二分之一，如果將二個電動機並聯接於電源時則加於每個電動機的電壓是全電壓速度也是全速度。



第 64 圖

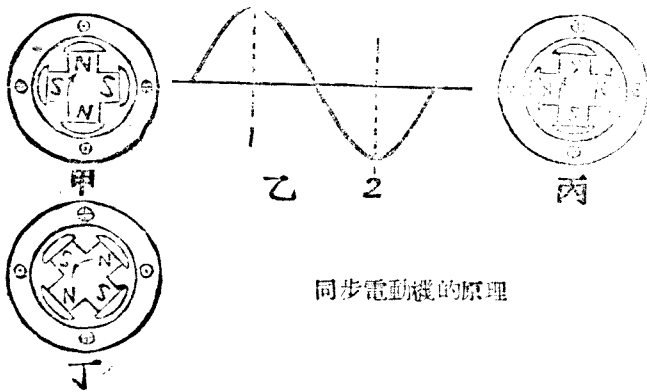
一般電車是 (2) (3) 兩個方法併用可以隨意變更速度。

第三節 同步電動機

1. 轉動原理

今使交流發電機脫離原動機並在外部通入交流時此發電機即成為電動機而行轉動這種電動機叫做同步電動機。第 65 圖甲是一交流發電機今將乙的交流通入這發電機。當乙圖所示 (1) 的瞬間電動機的磁極在甲圖的位置時依佛萊諾左手定則磁極受有圖示方向的作用力發生轉動，至半周期後電流的方向恰與前面相反即乙圖 (2) 的瞬間磁極也轉至丙圖的位置，這時磁極所受的作用力的方向仍與前面相同所以磁極可繼續轉動，若電流變至乙圖 (2) 的瞬間磁極沒有轉至丙圖的位置而轉至丁圖的位置時則受到反方向的作用力不能繼續轉動。

所以同步電動機在半周期內必自一磁極轉至另一磁極，若 P 個磁極的電動機半周期轉 $1/P$ 次一周轉 $2/P$ ，因之假若供給電壓的頻率是 f 週則每分鐘的轉



同步電動機的原理

第 65 圖

數。

$$N = \frac{2}{P} \cdot f \cdot 60 = \frac{120}{P} f \dots\dots\dots (71)$$

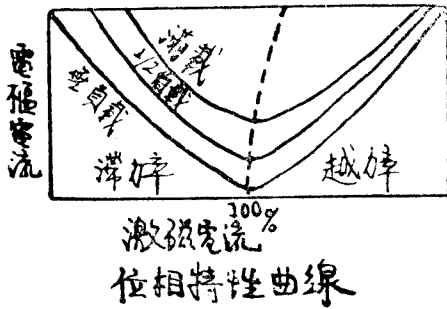
同步電動機只有在同步速度旋轉時才有轉矩，不同步速度旋轉時則無轉矩而終於停止，因之同步電動機無特殊裝置時不能自己開動，所以一般均先用另一原動機開動至同步速度後再通入交流除掉原動機。

2. 特 性

同步電動機有下列三種特點：

(1) 有一定不變的速度，因為同步電動機在同步速度以外任何速度都不能旋轉所以它的速度和負載的大小沒有關係總是一定不變的。

(2) 變化激磁電流可以調整位相，保持同步電動機的輸出一定，將激磁電流由小漸次增大，則定子捲線電流最初大並較供給電壓的位相滯後，隨激磁電流的增加而漸減少並且位相也逐漸接近於電壓而各至相同，此時於此輸出之下定子捲線電流最小，如再增加激磁電流時則定子捲線電流即行增加並其位相較供給電壓越前。將此種關係用曲線表之即如第 66 圖稱為位相特性曲線又叫 V 曲線，這種特性僅同步電動機才有，利用它可以改善送電線的功率，和調整電壓。



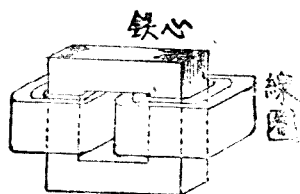
第 66 圖

(3) 效率高 大容量的同步電動機較感應電動機的效率高最適用於空氣壓縮機，揚水唧筒等連續負載時之用，雖有上面的長處但也有短處，就是開動時不方便，並且需要激磁機所以小容量的電動機極少。

第三章 變 壓 器

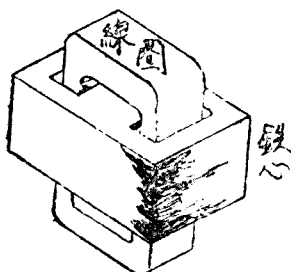
1. 構造和原理

變壓器是由鐵心和線圈相合而成，將兩組線圈繞在鐵心上，自一方送入交流電壓，在另一方即可得與此不同的交流電壓，其構造可分為鐵心式和外殼式兩種，第67圖為鐵心型變壓器的構造，在鐵心的外側繞有原線圈和副線圈，鐵心是由厚在0.5耗以下的薄鋼片相疊而成，一般繞線的方法是將低壓線圈靠近鐵心，高壓線圈繞在低壓線圈的外面，並且在線圈與鐵心之間，線圈與線圈之間要有充分的絕緣，第67圖為外殼式變壓器的構造圖，線圈繞在鐵心的內側原線圈和副線圈分為數段交互排列，製作線圈時應特別注意它的絕緣性，一般均在絕緣混合液體內浸透後外部再塗上絕緣漆，嵌在鐵心上，盛於鐵箱內注入變壓器油，變壓器油必需有高度的絕緣性，並兼有散熱作用，變壓器的溫度上昇均由於變壓器的損失而來的，因變壓器沒有轉動部分，所以變壓器的散熱比較困難，因之應根據容量的大小來考究各種散熱的方法，一般小容量的變壓器只要在鐵箱內裝入變壓器油就可以，但是在50KVA以上的變壓器，為補充外箱散熱面的不足，使外箱的表面成皺紋狀，以增加散熱面，容量在數百K.V.A以上者，則用冷管箱，即在外箱的周圍裝許多鐵管使變壓器油可經此管循環而行冷卻。



鐵心式變壓器

第 67 圖



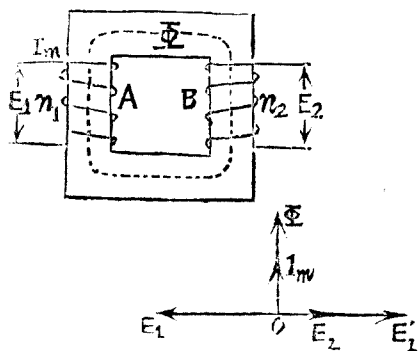
外殼式變壓器

第 68 圖

變壓器的原理，可用第68圖說明之，將交流電壓 E_1 加於繞在鐵心上的原

線圈A時，如該圈內有 I_m 安培的電流通過，則其磁壓為 $n_1 I_m$ ，因之有磁流發生，假如所生的磁流全部自鐵心

通過並設線圈的電阻為零，則該線圈只含電感，所以電流 I_m 較供給電壓 E_1 滯後 90° 並因此電流發生感應電壓 E_1' 其方向恰與 E_1 相反大小相等。因磁流 Φ 全部通過副圈B，而發生感應電勢 E_2 其位相與 E_1' 相同，因為正副圈每捲所生的感應電勢相等。設其為 e 伏特其捲數各為 n_1 及 n_2 時。



第 69 圖 變壓器

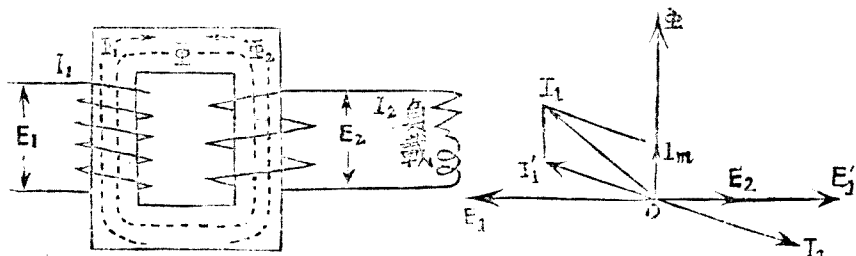
原線圈的感應電勢 $E_1' = en_1$ 伏特。

副線圈 $E_2 = en_2$ 伏特。

$$\text{因之 } \frac{E_1'}{E_2} = \frac{en_1}{en_2} = \frac{n_1}{n_2} \dots \dots \dots (72)$$

$$\text{但因 } E_1' \text{ 與供給電壓 } E_1 \text{ 相等，所以 } \frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2} \dots \dots \dots (73)$$

即電壓的比等於原副線圈捲數的比，稱為變壓比，所以適當的調整捲數比即可任意變換電壓。若副圈加上負載則有 I_2 的電流通過，因之發生 $I_2 n_2$ 的磁壓而發生磁流 Φ_2 。使原有的磁流 Φ 減少 Φ_2 ，時原線圈的感應電壓 E_1' 即行減少與供給電壓失去平衡即供給電壓較感應電壓大原線圈內有 I_1' 的負載電流流入，因之發生



第 70 圖 變壓器的負載

$I_1' n_1$ 的磁壓而生 Φ_1 的磁流，此 Φ_1 恰好抵消 Φ_2 而使鐵心內仍然保有 Φ 的磁流，發生 E_1' 的感應電壓以保持平衡，所以 I_1' 和 I_2 的位相恰好相反，以其磁壓 $I_1' n_1$ 和 $I_2 n_2$ 也必需相等，所以。

$$I_1' n_1 = I_2 n_2 \dots\dots\dots (74)$$

$$\frac{I_1'}{I_2} = \frac{n_2}{n_1} \dots\dots\dots (75)$$

即原線圈負載電流與副線圈負載電流之比等於其捲數的反比，發生磁流的 I_m 叫做激磁電流實際原線圈的電流 I_1 等於激磁電流 I_m 和原線圈負載電流 I_1' 的向量和。

$$I_1 (\text{向量}) = I_1' + I_m (\text{向量}) \dots\dots\dots (76)$$

但因普通的激磁電流 I_m 特別小可以略之，即 $I_1 \approx I_1'$ 所以。

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{E_2}{E_1} \dots\dots\dots (77)$$

即電流的比是與捲數和電壓成反比的。

例題：(1) 將 3000 伏特變至 100 伏特的變壓器其原線圈為 2400 捲，問副圈應為多少捲？

(2) 前題的變壓器，副圈的電流若為 50 安培時，原線圈的電流應為若干？

2. 變壓器的性質

保持變壓器的供給電壓使之一定加，上負載時副圈的端電壓較無負載時稍行下降，此種電壓的下降是因為線圈的電阻和不通過鐵心的漏磁流而發生的，如 E_2 為滿載時副圈的端電壓， E_2' 為無負載時副圈的端電壓則其。

$$\text{電壓調變率} = \frac{E_2 - E_2'}{E_2} \times 100\% \dots\dots\dots (78)$$

變壓器因為是靜止的所以沒有機械的摩擦損失僅有少量的鐵損和銅損，其效率很高，小容量的也在 94% 以上，大容量的一般均可達 99%。

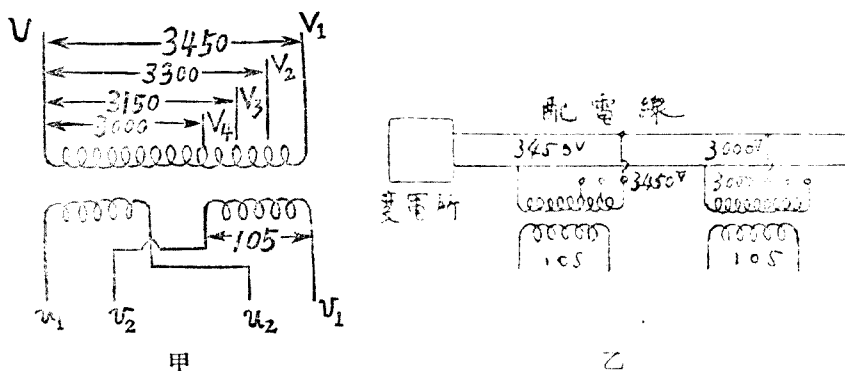
變壓器的大小多用副圈的視在電力表之其單位為仟伏安 (KVA) 常用變

壓器的效率及電壓調變率，茲列表表：

定額輸出 K.V.A.	效 率 %	電壓調變率 %
3.	93.7% 以上	4.0 以下
5.	95.9	2.7
7.5	96.4	2.5
10	96.6	2.3
15	96.8	2.1
20	97.0	1.9
30	97.2	1.7
50	97.6	1.6

3. 變壓器的使用法

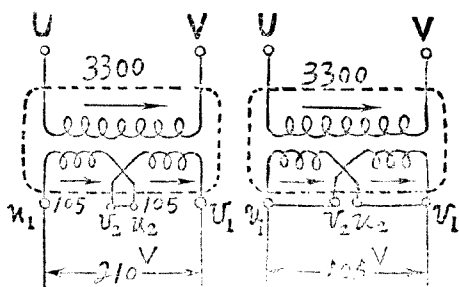
配電幹線的電壓，離變化所漸遠時，即漸行下降，但為保持用電者電壓一定的關係，所以一般配電用變壓器的原線圈如第 71 圖，設有許多接頭，使用方法如同圖乙所示。



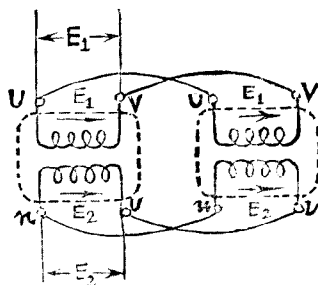
第 71 圖 變壓器的接頭及接續法

副圈分作兩部分其接頭置於鐵箱的外面，依其用途之不同而接續之如第 72 圖動力用時則如甲將二線圈串聯得 210 伏特的電壓，燈用時則如乙將二線圈並聯得 105 伏特的電壓，無論燈用或動力用如一個變壓器的容量不夠時，可用兩

個變壓器並聯使用之，但並聯接續時，應注意兩變壓器的特性並記號相同的接頭必接在一起。



第 72 圖 副端端鈕的接續法



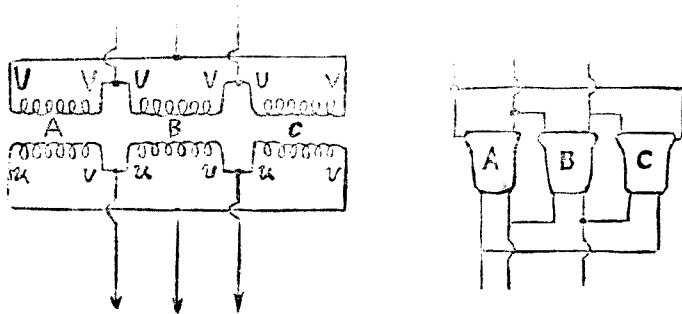
第 73 圖 兩個變壓器的並聯接續

4. 三相結線

普通的三相結線用三個單相變壓器接續之結線的方法有下列五種：

正 圈	副 圈
△	△
Y	Y
△	Y
Y	△
V	V

(1) △△結線是自配電幹線變壓以供動力用的接續方法如第 74 圖△△結線



第 74 圖 △-△結線

時線間與各相電壓相等其電壓如圖所示，即原副線圈電壓的比等於各變壓器的變壓比如一個變壓器的副線圈電流是 10 安培時。則低壓的線路電流 $= 10 \times \sqrt{3} = 10\sqrt{3}$ 安培。

因之低壓側的三相輸出是：

$$\sqrt{3} \times 200 \times 10 \times \sqrt{3} \times 10^{-3} = 6 \text{K.V.A.}$$

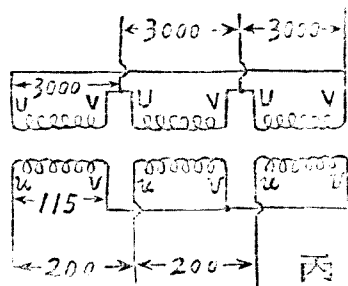
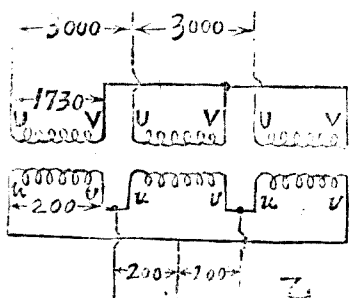
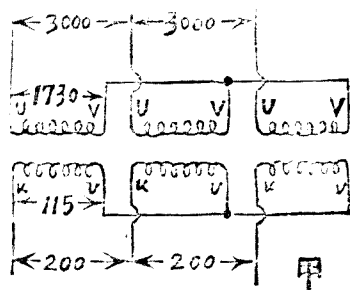
但一個變壓器的輸出是：

$$200 \times 10 \times 10^{-3} = 2 \text{K.V.A.}$$

即三個變壓器的輸出是： $2 \times 3 = 6 \text{K.V.A.}$

由此可知三相輸出是各個變壓器輸出的三倍， $\Delta - \Delta$ 結線時三個變壓器中的一個破壞時其餘的兩個就立即成為 V 結線，仍可繼續使用，故配電上多用之。

(2) Y-Y 結線，Y- Δ 結線，和 Δ -Y 結線，如第 75 圖，甲、乙、丙所示，多用在送電線上，一般的配電，則很少用之。



第 75 圖 變壓器結線

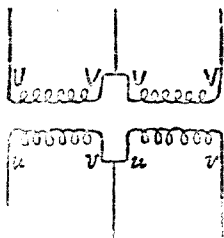
(3) V-V 結線，如第 76 圖，僅有兩個變壓器，變二線間的電壓，另一線間電壓為前記電壓之和，一般的小容量動力多採用之，其缺點為總輸出僅為 Δ 結線

的58%。

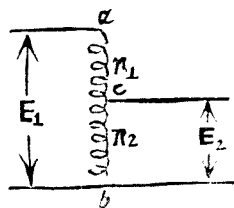
5. 自耦變壓器

此種變壓器如第 77 圖所示在原線圈中引出許多線頭作為副圈，在副圈上可以得到很多較原線圈低的電壓，其電壓及電流的比也和一般的變壓器一樣。

$$\text{第 } \frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2}{I_1} \dots\dots\dots (79)$$



第 76 圖 V-V 結線



第 77 圖 自耦變壓器

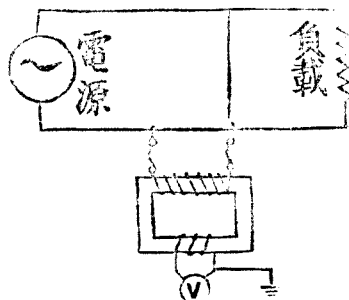
其共通部的電流等於原線圈及副線圈電流的差，因為此二電流的方向是相反的，此種變壓器的長處可以節省許多電線，普通多

用以減低交流電動機開動時的供結電壓。

6. 表類用變壓器

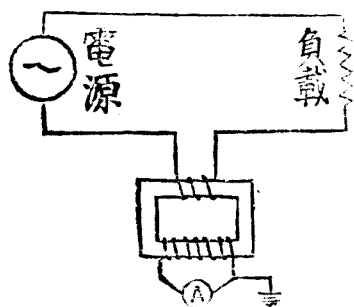
表類用的變壓器可分為電壓表用的變壓器和電流表用的變流器，茲分述於下面：

(1) 電壓表用的變壓器，此種變壓器，為了避免高壓的危險和可以廣泛的測定電壓而設的，它的原理和構造與普通的變壓器相同，僅僅依其使用的目的，其容量較一般變壓器甚小在電路中的接續方法如第 78 圖。



第 78 圖 電壓表用變壓器

(2) 變流器，這也是變壓器的一種，其原線圈僅有一捲或數捲，但副線圈的捲數較多，它的接續方法如第 79 圖，由圖中可以知道原線圈中通過穿線的強大電



第 79 圖 變流器

流可以用副線圈中的小電流測知，但如副線圈不接電流表時必需使之成爲短路，因爲原線圈中常有強大的電流，由此電流而生的磁流，使副線圈中產生很大的感應電壓，這時如果副線圈成開路時，則因很大的電壓而被壞了變流器的絕緣。

第四章 電力應用

第一節 電 燈

1. 燈 泡

電燈依其發光的方法可分為三種：

(1) 白熾電燈 (2) 弧光燈 (3) 放電燈

白熾燈和弧光燈是電能先變成熱能而後又變成光能者，放電燈是利用真空放電由電能直接變成光能者，例如霓虹燈就是放電燈的一種。

白熾燈以鎢絲燈泡為主將鎢製燈絲封入玻璃泡裏排除內部空氣使成真空，叫做真空鎢絲燈泡，如果排除空氣再放入氬氣或氮氣的一般叫做充氣燈泡，泡內的氣體可以防止鎢絲的蒸發，並增高使用的溫度，結果可提高燈泡的發光效率。

(2) 弧光燈 是兩個炭精棒先令其二棒相接觸通電流後再使棒離開約 5~6 耗，此時電仍可越空隙而通過，則二棒之間即發出極強之光，其原因為二炭離開時炭的分子充滿在空隙使空隙成一電阻極高的導體。所以電流仍能通過，並且放出多量電熱以成強烈的光。

2. 燈泡的性質

表示燈泡的大小有用燭光的又有用它所消耗電力大小的二種，過去電泡上皆標明所需的適當電壓及於此電壓點着時所發生的光量，光量是用一個標準蠟燭所發的光為單位，叫做燭光若燈光強於此標準蠟燭幾倍時，則其光量即為幾倍燭光，而現今使用的燈泡上則均標明其在所需適當電壓之下所消耗的電力，如一般的電泡有 30 瓦特 (30 瓦特者就是指它在 100 伏特電壓之下消耗 30 瓦特或 30 瓦特的電力，一般的電泡發生一個標準燭光的光量約需耗電力 1.25 瓦特。

白熾燈經長期使用之後，鎢絲的揮發分即凝結在玻璃泡的內面妨礙光線的通過光力即行減退，當其光力減至最初的 80~75% 時，所使用的時間，叫做有效壽命，近來利用各種方法使鎢絲的揮發分與另一種物質化合後成為透明體，將

該種物質放入燈泡裡可以增加燈泡的有效壽命，一般40瓦特燈泡的壽命約為1000小時至1500小時，60瓦特燈泡則為1000小時。燈泡的壽命與其使用電壓有顯著的變化，如使用電壓較其規定的標準電壓高時，雖可發出較多的光量，但其壽命即行減少。

3. 照明和照明法

良好的照明條件有下列幾種：

- (1) 有適宜的亮度。
- (2) 物體的陰影柔和而鮮明。
- (3) 適當的光色。
- (4) 避免光線刺激眼睛。

(1) 根據各種工作的不同，所需要的亮度也不同，因之在設計照明時，要考慮物體本身的顏色和周圍的明暗等問題。

(2) 為清楚的辨別物體的形狀，所以必需在物體上生有柔和的陰影，如果只是從一方向物體投光時，則物體生出較濃的陰影，不容易認清物體，反之若各部的光度均一時沒有陰影，則失其立體的感。

(3) 光源的強光直接或間接射於眼目時，則感眩暈，不能看清周圍的物體，並且對眼睛也有害。

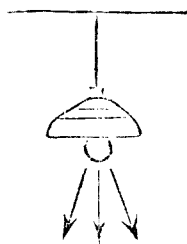
(4) 因為燈光和太陽光不同，所以同一顏色的物體在燈光和太陽光下所呈現的顏色也不同，因之應該使燈光也盡量接近太陽光。

照明法有直接照明法，間接照明法和半間接照明法三種：

(1) 直接照明法如第80圖所示，燈光直射在物體上為最簡單最經濟的方法，其缺點是強烈的光線刺激眼目，並易使物體生有濃厚的陰影，此時如用乳色燈泡，上述的缺點，即可避免一些。

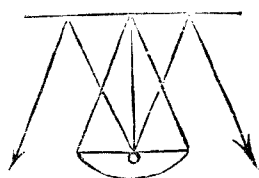
(2) 間接照明是燈光射到天棚或牆上再反射到物體上的照明方法，這個方法雖然沒有前面的缺點，但是照明的效率不好，如第81圖即為間接照明的方法。

(3) 半間接照明是介於前述二者之間，第82圖

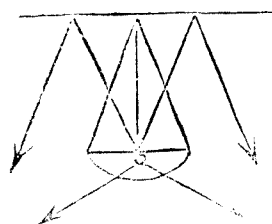


第80圖
· 直接照明

即示半間接照明的方法。現今的照明多用乳色玻璃外罩，其結果則與半間接照明相似。



第 81 圖 間接照明



第 82 圖 半間接照明

第二節 電 熱

1. 工業電熱

工業用電熱有下列幾項特點：

- (1) 發熱體可以置於加熱器的內部。(電熨斗等)
- (2) 有時可不用發熱體，而利用被熱物體直接發熱。(例如誘導爐、電阻熔接)
- (3) 連續加熱時，可以保持一定的溫度。(例如孵卵器、培養器等)
- (4) 溫度的調節既正確又簡便。
- (5) 沒有塵埃及烟等發生。

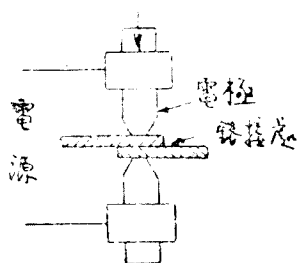
現今在工業上實用者有電阻爐、電弧爐等，農業上有電氣孵卵器等。

2. 電 熔 接

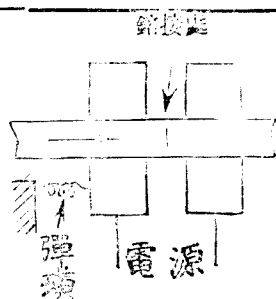
近來電熔接應用的範圍很廣，如造船、機械、土木建築等，熔接的方法有電阻熔接和電弧熔接二種：

- (1) 電阻熔接，將熔接的二金屬面相接觸，加以機械的壓力，再通以強大的電流，利用其金屬面的接觸電阻，在接觸面的附近發生高熱而行熔接者，有點熔接對縫熔接重疊熔接。

點熔接像第 83 圖所示，將熔接的兩塊金屬重疊，用電極在上下加以適當的壓力，同時通過電流一點一點的熔接方法，適用於薄鐵板的熔接。



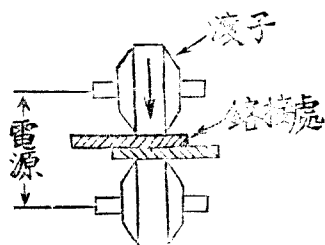
第 83 圖 點熔接



第 84 圖 對縫熔接

對縫熔接則為鋼、鐵、黃銅等的棒，或管形物體熔接時用之，將其兩端相對，如第 84 圖所示的方法，並通以強大的電流，利用接觸部的電阻發熱，而行熔接。

重疊熔接時，將點熔接的電極，變成圓滾形，一邊熔接一邊使熔接體以適當的速度移動，而行熔接的方法，如第 85 圖。



第 85 圖 重疊熔接

(2) 電弧熔接，電弧熔接時，有用金屬電極及炭素電極兩種，用金屬電極時，利用電弧，將電極熔化而行銲接，用炭素電極時，則將金屬熔劑置於電弧中，使其溶化而行銲接的方法。現在市面小規模的鐵工廠所使用者，多為金屬電極的電弧銲接。

第三節 電 化

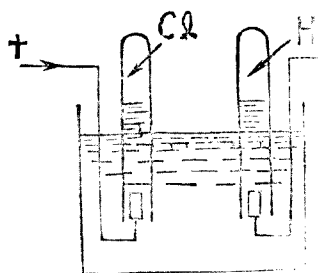
1. 電解和電解池

電流通過酸類、鹽類、或鹼類的水溶液時，則正負游子對流，使化合物分解而放出原質，這種現象叫做電解，液體須盛於器皿中，液體內裝有二片導體以通電流，像這樣設備，用以發生電解的器皿叫做電解池，池內起電解作用的液體叫電解液，通電的二片導體叫做電極，電流入液的極是正極，離液的極是負極，電

解的方式，視電解液和兩極的物質而異，大別為：

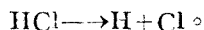
(1) 直接電解。 (2) 間接電解二種。

(1) 直接電解，電解液內正負游子皆為能單獨存在的原質，電解後即離液體而獨立存在，不復與他分子起化合作用就是直接電解，例如第 86 圖的電解池



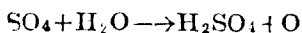
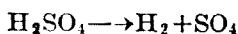
第 86 圖 直接電解

玻璃罩內生氯氣，負極玻璃罩內生氫氣，二氣的容積相等，其分解的方程式為：

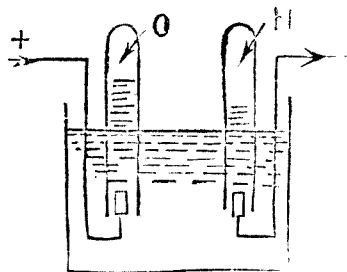


(2) 間接電解，電解時所發生正負的游子，若是不能單獨存在的原質或與水分子有強烈的化合力時，則對流達到兩極後即與水分子起化合作用，其結果使水分子分解，而於正極放出氧氣，

於負極放出氫氣。電流的分解作用直接加於正負游子，而間接加於水分子是為間接電解，例如硫酸水溶液 ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$) 為電解液，則負游子 (SO_4) 達於正極後，即與水分子化合，復成為硫酸溶於液體，而在正極放出氧氣，例如第 87 圖，其分解方程式為：



，電解液是鹽酸水溶液，兩極為铂片或炭精片，加以電壓則負游子 (Cl^-) 流向正極，正游子 (H^+) 流向負極達兩極後，游子即失去所荷電量，而成中荷原子，此中和原子不能與他游子化合，即離開液體單獨存在，恢復其氣體的本性，成氣泡而附着於兩極，再升而集於玻璃罩的上端，所以電解鹽酸的結果正極玻璃



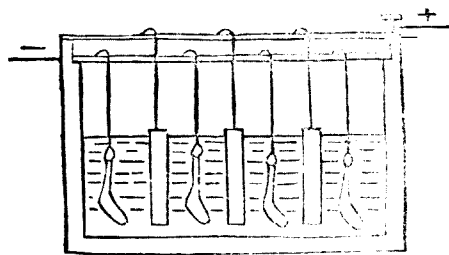
第 87 圖 間接電解

所以電解硫酸水溶液的結果正極玻璃罩內生氧氣，負極玻璃罩內生氫氣，電解液內被分解的是水分子硫酸分子並未減少。

2. 電 鍍

若以銅板為兩極，硫酸銅（ CuSO_4 ）水溶液為電解液時，則通電流後，正極之銅逐漸消蝕，負極之銅逐漸積增，而液體濃度不變，其結果則如將正極之銅鍍於負極，是為電鍍的原理，如鍍金、鍍銀或鍍鎳等皆為必要的工業，凡電鍍時必以被鍍物品為負極，所鍍質

料為正極，鍍料的鹽類水溶液為電解液，此三者組成電解池通以電流，則正極質料漸鍍於負極之物品，例如欲鍍銀於銅杓，可用硝酸銀（ AgNO_3 ）



第 88 圖 電 圖

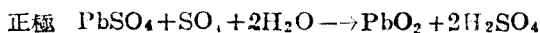
水溶液為電解液懸銀條為正極，懸銅杓為負極，浸於液中，

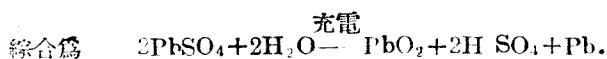
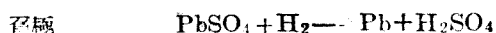
然後通以電流，至銅杓鍍銀達相當厚度而止，電鍍的物質皆為極純淨而光澤美觀，故又可利用電鍍而精鍊金屬，如電解銅等、電解鋅等。

3. 電池和蓄電池

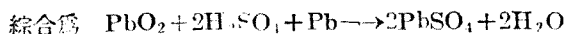
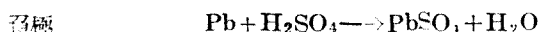
電池是利用電解液和金屬板的化學作用所生的電壓而發生電流，但因電解液及金屬電極逐漸消耗，若不行補充時則不能繼續發生化學作用亦不能發生電壓，即此種電池經過使用（放電）之後如不更換兩極或電解液即不能繼續使用。這樣電池叫一次電池，或只叫做電池也就是日常使用的乾電池。

蓄電池是利用電解作用，使其兩極由同物質變為相異的物質，例如鉛蓄電池的兩極是以鉛板作為表面嵌一厚層質鬆而多孔如海綿狀的硫酸鉛（ PbSO_4 ）作為兩極主要的質料，以硫酸的水溶液為電解液充電時利用電解作用使正極主要質料變成二氧化鉛（ PbO_2 ）負極主要質料變為鉛（ Pb ），其方程式如下：

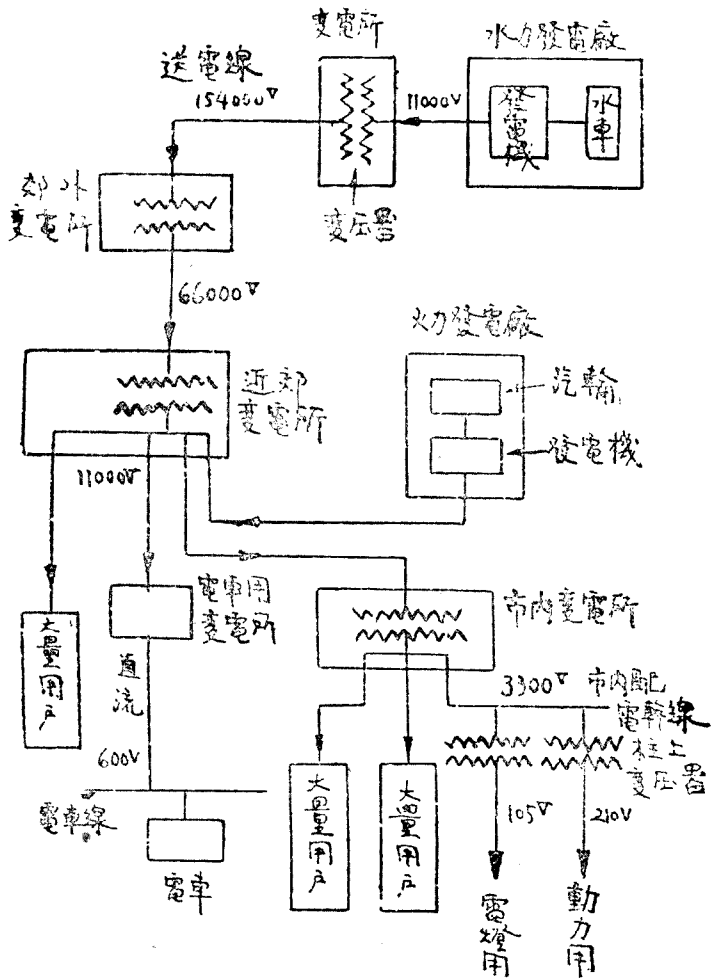




至兩極主要質料盡變爲 PbO_2 與 Pb 後倘仍繼續充電時則電解作用僅使水分解成氧氣及氫氣而於兩極放出，此時蓄電池的原生電壓約爲 2.2 伏特，放電時正極的 PbO_2 和負極的 Pb 因電解作用復變成硫酸鉛 (PbSO_4) 其方程式如下。



放電將畢則電解液稀薄而電壓降低，至電壓低至 1.8 伏特時或電解液的比重至 1.17 時則爲放電完畢即應另行充電方可使用。



電力發生及輸送系統圖

第三編 電力的發生和輸送

第一章 發電廠

電力發生的方法依其推動發電機的原動力可分為兩種，一種是利用自然水力的水力發電廠，一種是利用煤炭的熱能的火力發電廠，水力發電廠在平時僅需少數費用即可，但在最初建設時所需費較用多，火力發電廠雖建設費較少但平時需較多量的煤炭費用，二者相比以水力發電較為有利因其所用為發生動力的水是自然界無窮的資源所以最近的大發電系統多以水力為主，火力輔之。

水力發電廠發生的電力經變電所昇高電壓以後將其送至遠方，再經市郊（一次）變電所，市內變電所等次第降低電壓以 3300 或 6600 伏特配電幹線向各方配電又經柱上變壓器變成動力用的 200 伏特和電燈用的 100 伏特供給每個用戶，為了作水力發電廠的預備或枯水期的補充之用在市郊設立火力發電廠，必要時以補充水力發電廠的不足。

第一節 水力發電廠

1. 水路式和堰堤式

水路式是在山地間將河川的水導入修在山腹中的水路裏，水路的形式因地形而異平地上用開溝，遇山則開隧道遇谷則架導水橋自河川引水入水路的地方叫取水口，在河川的取水口處築堤，使水流向水路，在水路的中段設貯水池，終端則用鐵管將水導至發電廠以之轉動水車，用過的水置放水路仍然回到河裡，即被用為發電者乃為水力並不是水因為進入水車的水量大致是和發電量成比例的所以當用電量突然增加時水量也必需隨之增加，但因水路是相當的長，不能突然從河川裡導入多量的水，為了這種需要所以在鐵管（水壓管）的中間沒有水槽當用電量減少時也可將多餘的水存在水槽裡以備急需之用，如水量過多時可自水槽溢流而入河川，這種溢流的通路叫做餘水路，貯水池的功用是緩和水路的流速，使水中的泥砂沉澱以免流入水車損傷輪葉。

堰壩式是在山與山的中間修築水壩，阻止水流貯存多量的水，以人工的方法在堰壩的前後得到水位差，堰壩是以混凝土築成的，發電廠修在堰壩的下流。

上面的兩種方式依水的性質來說各有其特長，水路式發電廠修在河川上流的深山中多為水量少，地勢險惡，可得較高的落差，堰壩式是以人工築壩，其落差較低，但水量頗為豐富。

2. 水 力

水力的要素為水量和落差，只有水量或落差都不能成爲水力，如汪洋的大海雖有許多水量但在海面上我們得不到水力，落差是水落下的高度，即落差愈高水量愈多則其水力也就愈大。

3. 水力發電廠的構造

水力發電廠主要由發電室配電盤室，開閉器室，變壓器室等構成。發電室主要是安裝發電機磁機等旋轉機械，發電機爲橫軸者則水車亦與發電機並列安裝，發電機爲豎軸時則水車按於發電機的下部，普通均設 3~4 台發電機以備電力需要，水量等的變化時而調節發電廠的出力，若只設一台發電機時，無論需要電力有如何變化只有使其經常開動不能充分的利用發電機的能力一旦發生廢事時則都停止送電。

配電盤室按有控制發電機的運轉，停止或送電線的開閉等必要的配電盤，爲發電所最重要的部分，又稱爲發電所的腦髓。配電盤上裝有電流表電壓表電力表等藉以了解發電機的情況，更有制御開閉器可以操作開閉器開閉水門，調節速度和電壓，繼電器類可以保護發電機變壓器，另外仍有測定發電機內部溫度的溫度表，測量水槽水位的水位表以及在運轉上必要的信號等。開閉器室，自各發電機發出的電力先使其集於一線然後分接於各變壓器再分配至各個需用地方，集集電力的電線叫做母線，所有的發電機變壓器，都與此母線相接爲應每台機械的使用或停止之必要所以應該一一設開閉器，以備某一發電機或變壓器，發生廢事時可將該廢事機械與母線斷開防止對其他的機械發損害。

變壓器室 普通發電機的端電壓小型的是 300 伏特，中型的是 660 伏特，

大型的是 11000 伏特左右，但一般送電電壓爲節省銅線起見均爲十數萬伏特以上，因之自發電機發出的電，有將其用變壓器昇高的必要，所以水力發電廠必需有昇壓用變壓器。

普通數萬伏特的變壓器，按設在配電盤的兩側，但因近來的十數萬伏特的變壓器，按在屋內很危險且因屋外用器具的非常發達所以大部設在屋外。

4. 水車和發電機

水車依落差及水量大約可分爲二種即柏耳吞水車和佛蘭西斯水車前者適用於落差高水量少的地方，後者適用於落差低水量多的地方，發電機均爲三相交流發電機及激磁用的直流發電機，但多數的激磁機均與發電機直結，因水車有豎軸和橫軸型兩種所以發電機也有豎軸和橫軸型二種，如二台發電機同時使用時各發電機的交流變化必需完全同時才行，若其旋轉速度不同則一方發電機的電壓較高另一電壓較低結果自電壓高的發電機向電壓低的發電機發生局部電流而燒損發電機所以兩台發電機同時運轉時其速度應完全一致。

第二節 火力發電廠

1. 火力發電廠的設備

火力發電廠大致與水力發電廠相同有發電室，配電盤室，開閉器室，鍋爐室，變壓器室等，發電室裝有發電機和蒸汽臥輪，鍋爐室佔有較大的面積，爲火力發電的原動力的發生部分並裝有添煤上水以及其他種種機械，轉動這些機械必要很多電動機爲了控制或操作這些電動機，裝有較發電送電用配電盤更複雜的設備，火力發電廠的房舍，因鍋爐非常高大有運送煤炭的裝備所以較爲高大，

2. 火力用發電機

水車因受落差的限制，遠較適用速度爲低，所以水車用發電機多爲低速度發電機，但蒸汽臥輪的性質適於高速度運轉，即速度越高它的效率也越好，所以發電機最好是速度高形狀小，因此蒸汽臥輪用的發電機較普通的形小而細長並因其旋轉數多所以磁極數僅限於二極。

3. 汽 輪

汽輪是利用蒸汽發生高速度圓運動的發動機其效率較一般往復運動的蒸汽機強。一台的出力大者可至十數萬仟瓦特、普通者為 3~5 萬仟瓦特，試給的構造是在周緣較薄中心較厚的輪周上，嵌有許多葉片，蒸汽從鍋爐發出經過一種導管直接推動葉片，使輪發生轉動，餘汽自第一輪的葉片通過後再入一固定輪的葉片間使蒸汽的方向仍與新汽相同更推動第二輪的葉片，如此返復曲折前進，自數次至數十次不等至蒸汽的溫度及壓力均行降低乃排於凝結器，化為水復送入鍋爐中。

4. 鍋 爐

鍋爐是使燃料燃燒時所生的熱傳達於水使之發生蒸汽的設備，但實際上燃料燃燒時所生的熱僅有一小部分被有效的應用大部都是損失。例如燒煤時必須自外部通入多量的空氣，但此空氣中含有大部分沒有用的氮氣也吸收很多的熱量，然後隨着烟散於空氣中，並且還有多量不能完全燃燒的煤的粉末，也隨着烟排散到空中，因之近代的火力發電所極力防止這些損失，例如將煤碾成粉末用鐵管將煤的粉末和空氣同時吹入鍋爐中，可以完全燃燒又將燒後不用的高溫氣體，在沒有到煙筒之前使其通過往鍋爐裡送的水和通風用的空氣的周圍，使其溫度上昇可以節約很多的煤此種裝置叫做節炭器。

第二章 電力輸送

第一節 變電所的設備

發電廠距需要電力的地方非常遠時，或距離較近配電區域廣大時，發電廠則用特別高壓送電。以高壓電直接送入用電地區有很多危險所以在配電時必須適時的將電壓降下，變電所即爲此種目的而設的，其主要的設備爲變壓器，若爲供給電車或電化工業直流電的變電所時則於變壓器之外尚需將交流變成直流的裝置，近代所用者如電動發電機，同步換流機，水銀整流器等。其主要設備除變壓器外尚有下列各種

(1) **配電盤** 配電盤上裝有送電用及變電用的電壓表，電流表，電力表，頻率表，及油開關的操作裝置等爲變電所的運轉中樞部分。

(2) **電壓調整器** 電壓調整器，是變電所以交流配電時用以調整配電電壓的裝置，其構造及原理均和變壓器相同，可以自由昇降電壓。

(3) **自動油遮斷器** 按裝在送電線的入口，和配電線的出口，線路中的電流超過一定限度以上，或電壓低於一定限度以下時，則電路自行遮斷。

變電所的設備除上述者以外尚有避雷器，和操作繼電器等所用的蓄電池等。

第二節 送 電

送電線的電壓特別高，引入都市有很多危險所以均在都市的郊外設郊外變電所（一次變電所）將其電壓適當降低之後再送至市內各處的市內變電所，經市內變電所配至各用戶，在發電所與變電所或變電所與變電所之間的線叫做送電線，多數送電線的總括叫做送電系統。

1. 送電的種類和方式

電有交流和直流之分如電化工業或蓄電池充電時必需使用直流，而電車則以直流較交流爲適宜。電燈電熱動力等交直流均可，但在發電或送電上來說交流較直流甚爲方便，所以送電時均用交流，輸送電力時所用的電線有以兩條爲一組者有以三條爲一組者，送電時均採用三條爲一組的三相三線式，因爲這種方式在同一

電壓時較其他的方式可以節省許多電線。

2. 送電電壓

高壓送電的目的，發電廠發出的電壓通常是 3300 至 11000 伏特左右，但送電時必須用變壓器升高電壓其原因如下：

因為電力與電壓（ U 伏特）乘電流（ I 安培）的積成比例，所以輸送同一電力時其電壓愈高則電流愈小，因之用較細的電線即可，然又因電線的電阻與長度成正比，與斷面成反比若長度一定時則電阻即與斷面成反比，而電力損失是電流平方乘電阻，如輸送的電力一定時則電流與電壓成反比，所以如令電力損為一定時則線的粗細與電壓的平方成反比即電壓二倍時電線的粗為原有的 $\frac{1}{4}$ 三倍時為原有的 $\frac{1}{9}$ 即可，因之電壓愈高時所用之電線也愈細，可以節省很多銅。

東北送電網的最高電壓是水豐到鞍山的 220000 伏特，和豐滿到哈爾濱和到撫順的 154,000 伏特，其他短距離的送電線為 66000 伏特至 22000 伏特。

3. 送電線的種類

送電電壓均為特別高壓，人畜觸之則立即死亡，所以對於電線的絕緣設備應特別的注意，電線與電線間，應保持相當的距離，以防其混線和放電。

送電線以木柱或鐵塔架於空中的叫架空送電線，在人烟稠密的地方則將電線埋於地中叫做地下線，架空送電線除用木柱，鐵塔，支持電線外並在木柱鐵塔，和電線的中間用磁質絕緣器而行絕緣，絕緣器的形狀及數量因送電壓的高低而異一般在 10 萬伏特以下的特別高壓送時用，針型絕緣器是由傘形絕緣器三片或四片相合而成每片之間用水泥膠合（如第 89 圖）。



針型絕緣器

第 89 圖

10 萬伏特以上的特別高壓時則用懸垂型絕緣器，實際應用依電壓的數值而增減其個數，大約每個的絕緣電壓是 25000 伏特，所以由使用懸垂絕緣器的個數即可推知送電電壓，一般

10 萬伏特以下的送電線用木柱，10 萬伏以上的用鐵塔，木柱

，又分為單柱，A 柱和 H 柱三種，東北實用以 H 柱最多，自郊外變電所而向市內變電所送電有時要通過人烟稠密的地方如以架空線送電時甚為危

險，所以在規程上禁止在都市的上空架設送電線所以在道路下面埋設鐵管，將送電電纜置於其中叫做地下線，地下線的送電電壓一般不能超過 6600 伏特，因為它的絕緣設備不像架空線那樣容易。製做耐壓 10 萬伏特以上的電纜，是非常困難的。

4. 送電線的電壓降下和電壓調變率

送電線的電壓降下可用送電端的電壓和受電端的電壓的差來表示，但與負載電流成比例依負載力率的優劣而變動，交流電路的電壓降下因受電阻抗和電導納的影響，所以計算時頗為複雜今為簡便計設 E_S 及 E_R 為送電端及受電端電壓 $E_S - E_R$ 即為電壓降下。電壓變動率是當送電端或受電端電壓一定，無負載或一定的負載時受電端或送電端電壓的差，用受電端電壓或送電端電壓求得之百分率即為電壓變動率。

例 E_R 是全負載時受電端電壓 E_S 是無負載時受電端電壓則其電壓調變率為。

$$\text{電壓調變率} = \frac{E_S - E_R}{E_R} \times 100\% \dots\dots\dots (80)$$

第三節 配 電

將發電廠發生的電力送到變電所的電路叫做送電線，再由變電所送到各用戶的電路叫做配電線。

1. 配電方式及配電電壓

一般用戶所使用的電燈，電熱或小型電動機等均為低壓 100 伏特，一般的動力用電動機均為 200 伏特的低壓或 3300 伏特的高壓，所以自變電所向用戶配電電壓為高壓時必須設法使其變成 100 或 200 伏特，但若變電所用低壓直接向用戶配電時則需要很多電線並且得多設變電所，此種配電方式極不經濟。現在一般配電方式是以 3300 或 6600 伏特的高壓向各方配電並在各適當地方設變壓器將電壓降為 100 或 200 伏特的低壓配電線向各用戶配電，這種降低電壓用的變壓器，叫做柱上變壓器，其容量由 1 仟伏安至 50 仟伏安。

2. 配電線的種類

自變電所至各用戶配電的電路大概可分為下列幾種。

饋電線，是從變電所至各處饋電點的主要幹線，中途沒有往各戶配電用的分歧點其方式為二條電線的三相三線式（電壓為 3300 伏特，或 6600 伏特）。

高壓配電幹線：自饋電點引出的三條電線並在各處引出高壓配電支線。

高壓配電枝線：自高壓配電幹線，分出的單相二線式或三相三線式的配電線。

低壓配電幹線：是自高壓配電枝線變壓之後向用戶配電的電線，供給電燈電熱的用工二條電線的單相二線式供給一般動力用的則為三相三線式。

低壓配電枝線：是自低壓配電幹線引出的配電線。

引入線，（接戶線）：是從低壓配電枝線接至用戶的電線。動力用是三條，電燈及電熱用則為二條。

配電線一般的均為架空式以單杆橫木及絕緣器等支持之高壓線架在上層低壓線架在下層，一般高壓用的絕緣器，均塗紅色以示危險之意，配電線除架空式外尚有地下配電線但很少應用。

3. 配電線依其用途之分類

配電線在構造上分為架空式和地下式兩種，依其用途可分為晝間線，晝夜間線，夜間線三種：

晝間線 只在白天配電用的電線，例如只在白天使用的各種動力等。

晝夜間線 不分晝夜白日配電用的電線，電熱動力或都市中的屋內電燈等均有晝夜不停的配電的必要。

夜間線 只在晝夜配電用的電線，一般的街路電燈或一部的屋內電燈亦有使用夜間線者。

4. 送電及配電的能率

自發電廠發生的電力經送電線，變電所配電線直到各用戶在中途多少要有些損失例如發電廠送出的電力是 100 到各用戶時則多少有些減少這種減少的程度因

設計的不同而有差異但據大體的統計如下：

發電廠——郊外變電所	合成能率	85~88%
發電廠——市內變電所	◇	79~81%
發電廠——各用戶	△	65~70%

上面的統計是平時一切物質完備時候的情況，但現在處於戰爭時代一切物資缺乏，大半使用舊有的器材其能率顯感更行低下無味的浪費也必因之增加一切的改善皆有待於同志們的努力！



電工學講義

1949.4 初 1-40

基本定價 400圓