

第十二篇

變電

目 錄 頁

第一章 總 論

1.1	變電與變電所	12— 1
1.2	變電所的功能	12— 1
1.3	變電所的種類	12— 2
1.4	變電所的主要設備	12— 3
1.5	變電所的基本佈置	12— 4

第二章 變壓器、電壓調整器、電抗器

2.1	基本原理	12— 6
2.2	分類、用途及其選定方針	12— 11

第三章 開關設備

3.1	開關設備之功能	12— 44
3.2	電弧的現象	12— 45
3.3	斷路器之分類	12— 51
3.4	斷路器的操作機構	12— 74
3.5	斷路器的額定量	12— 78

第 四 章 保護設備

4.1	對系統異常電壓的防護	12— 85
4.2	電壓—時間曲線	12— 87
4.3	避雷器的額定電壓	11— 88
4.4	變電設備故障之保護	12— 98

第五章 無效電力設備

5.1	系統負載特性	12—121
5.2	功因改善	12—127
5.3	無效電力發生設備	12—129

第六章 直流電力發生設備

6.1	鋁蓄電池組	12-135
6.2	鎳鎘電池組	12-143
6.3	鋁蓄電池與鎳鎘電池之比較	12-148
6.4	整流器	12-148

第七章 控制盤設備

7.1	控制盤的種類	12-155
7.2	控制盤的構造	12-157
7.3	表計類	12-157
7.4	表計之機構	12-158
7.5	表計之應用	12-164
7.6	開關類	12-169
7.7	訊號設備	12-172
7.8	模擬母線	12-174
7.9	其他設備	12-176
7.10	控制盤的組成	12-176

第八章 其他設備

8.1	接地設備	12-177
8.2	滙流排配置	12-188
8.3	變電所通訊設備	12-193
8.4	母子類	12-203

第十二篇

變電

郭耀泉
#602/2603

第一章 總論

1.1 變電與變電所

因為電有高壓與低壓之分，直流與交流之別，一般所謂變電者係指電壓高低之變換呢，還是指交直流的變換？實用上是指前者，後者另有一名詞叫做變流。所以變壓的地方有人叫變壓站，也有人叫變電所，英文是 substation。變壓的機器叫變壓器，却沒有人叫變電器的。總之，本篇所述變電所含義是變壓。

至於電流也有大小之分，須知同一電力，電流的大小與電壓的高低成反比例，所以要變電流大小的話，變動電壓高低便可以，技術上同屬於變壓的範圍。

電力之能夠送到遠距離，全賴電壓之能夠提高，電壓越高，送的距離越遠。其原因與道理在本書第十三篇輸電篇內將會詳細說明。目前電力的開發形態是大容量的發電設備，集中一個地方，發出電力提高其電壓之後分送到各用電的中心地點。因為一般用電用戶不能夠直接使用高壓電力，所以必須在用電中心地點附近找一個地方，擺上很多電壓變換之必需裝置，將電壓降到用戶可直接使用的程度，然後分送到用戶上。這個變壓的地方，即所謂變電所。

1.2 變電所的功能

由前者所述，可知變電所是發電廠與用戶之間的一種中間設備。以前電力發展之初期，用電用戶直接由發電廠送達，雖然電桿上有變壓器，但都是小型的，不足稱為變電所。目前大電力系統，電力網的構成很複雜，中間不能沒有設備複雜的變電所裝置。

輸電電壓的高低，全視整個電力系統的容量而定，發電廠與用戶之間，可能不止經過一段電壓的變換，而是二段甚至三段的電壓的變換。所以中間經過兩個以上變電所，電力纔能到達用戶門前。一般電力系統如圖 12.1.1 所示。

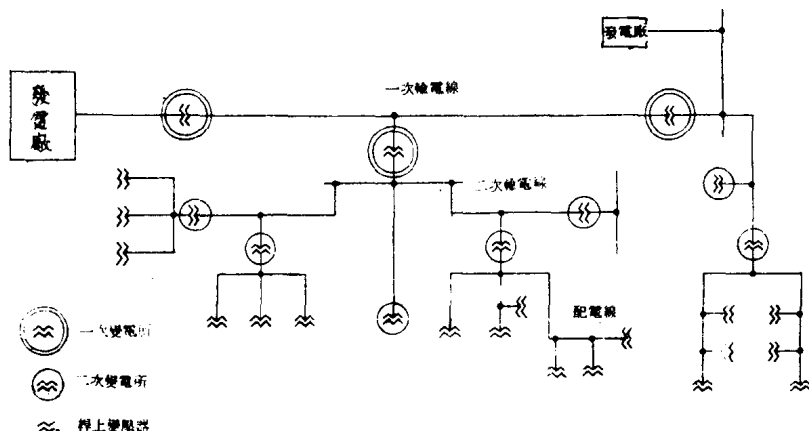


圖 12.1.1 電力系統

一個變電所，一般容量都是相當大的，所供給的用戶數目不祇一個，甚至不祇一組。所以要按地區分組來供給的。所以變電所的任務，一方面是從電源方面接受大量的電力，他方面便將電力分區來供給。它不單是負擔電壓變換的工作，而且負責電力分配的工作。此外還可以判別那一地區發生故障，先將故障地區切離以免影響無事地區的正常用電。平常時還要維持電壓正常，不過高或過低而能適合用戶之需要。

1.3 變電所的種類

變電所可以作相當多的分類，可以根據用途來分類，可以根據裝置的型式來分類，也可以根據裏面裝置些什麼主要設備來分類。

1.3.1 一次變電所和二次變電所

變電所既然是變電壓的，然而輸電電壓也分好幾級，最高的輸電電壓祇能用作大量電力的傳輸，次一級的電壓是用來作區域性的電力傳輸之用。前者稱為一次輸電電壓，後者稱為二次輸電電壓。變電所由一次輸電電壓變低至二次輸電電壓者稱為一次變電所，亦稱為輸電變電所。變電所由二次輸電電壓變低至配電電壓者稱為二次變電所，亦稱為配電變電所。配電線就是我們在都市路上所見的架空電線，配電電壓一般用戶不能直接用，需要經過桿上變壓器再將電壓降低到低壓電燈電壓或低壓電力電壓，才能到達用戶門前。桿上變壓器的作用，實際上和一次變電所及二次變電所一樣的，不過設備非常之簡單，不能成為一個所而已。

1.3.2 昇壓變電所和降壓變電所

前節所述者，是變電所將電壓步步降低而到達用戶，所以稱為降壓變電所，反之，發電機發出來電力的電壓比輸電電壓為低，為要輸送到遠距離去，所以要把電壓升高，這就叫作昇壓變電所。其實昇壓變所和降壓變電所原理是相同的。電源是高壓，負載為低壓者稱為降壓變電所。電源是低壓，負載為高壓者稱為昇壓變電所。在大容量複雜的電力系統中，高低壓兩方面亦有電源亦有負載，那就很難稱這變電所是昇壓變電所或降壓變電所。

1.3.3 變流及變壓變電所

有很多化學工廠，電力是用直流的，而且用電量頗大，需由配電電壓受電，或者甚至由二次輸電電壓受電，電解槽所用的電壓也不能太高，所以大化學工廠自己備有自用變電所，先把電壓變低，然後又將交流變為直流，這當然要用兩套設備，一套是變壓，一套是變流。化學工廠所用直流的電壓是隨電解槽的數目而不同的，所以交流方面電壓變動的範圍頗大。這些變壓器的構造與一般輸配電用的頗不相同。

近來遠距離的輸電技術已發展到直流輸電，但目前發電機還是發出交流的，所以先將電壓提高，然後再變流，在負載方面的變電所，則將直流變為交流後再降低電壓。這種系統也是把變流與變壓合為一個變電所。目前技術，直流輸電的條件需要長距離（700 公里以上）輸送大電力方屬經濟，目前台灣尚無此需要，本篇不予詳述。不過其基本原理不外乎變流器或整流器與變壓器串聯系統而已。

1.3.4 屋外式變電所及屋內式變電所

顧名思義，屋外式變電所是將主要機件設置在屋外，反之，設於室內者便是屋內式變電所。但是，一般情形，電壓很高的線路，其線間距離很遠，換言之，一件機器的尺度頗為龐大，完全放在屋裏面，需要一個很大的建築物。所以高壓變電所，都無例外的屬於屋外式。當然，置於屋外的機器，因為受氣候的直接影響，與屋內式的機器比較，構造上是不同的，一般言之，屋外式的尺寸比較大。

既然屋外式機器比較大，所需的佈置面積也比較大，如果變電所設在都市，就很難找到一片大面積去建變電所。所以有時將變電所設於大建築物的底層。

1.4 變電所的主要設備

變電所主要的任務是電壓的變換，如果在大電力系統的話，則兼辦線路連結的任務，亦即所謂匯集電源與分配負載之任務，有很多線路進出其中，成為一電力的轉運站。

爲達成上述的兩種任務，首要的是變壓器。又因爲有很多線路進出，爲控制其應否進出，則有開關設備。此種開關設備分兩種：第一種是使線路在通電狀態中使之切離系統，或使線路在無電狀態中接上系統通電，這稱爲斷路器（breaker）。第二種是線路切離系統之後，爲安全起見，再加一段啓斷狀態，稱爲空斷開關或隔離開關，此種開關必須一端在無電狀態下運轉。又當線路在通電之前，先將空斷開關接上，然後再接上斷路器。

電壓高低，送電多寡，電流大小，運用人員必須知道，所以需要很多儀表，此種儀表裝置於屋內的控制板上，但是很高的電壓，不能夠直接引入屋內，所以需要有一種比壓器（potential transformer）將電壓降低，有比流器（current transformer）將流經高壓線路上之大電流變小，引接於控制板的儀表上。

進出於變電所的線路很多，同時裝置於變電所內的機件也不少，難免偶然會發生故障，萬一有故障發生，必須立即將故障中的線路或機件切離系統，以免良好狀態的設備受有影響。爲偵察故障發生的設備稱爲電驛（relay）。

線路架設於屋外，機件大部份亦裝置於屋外者，天電襲擊，在所難免，一遇雷電襲擊，即應將雷電能量從旁路洩放，免得進襲主要機件，這就是避雷器的作用，所以在變電所要緊的地方裝上避雷器。

爲要調整系統的電壓及改良電力因數，電容器能達到此項目的。電容器有靜止式的，也有旋轉式的，各有其優點及缺點。

變電所之運用，需要動力，此項動力如果取自系統上之交流電力，則如遇系統故障時，交流電源停止供給，則變電所將失去動力，成爲癱瘓狀態，所以必需設置可靠之運用電源，故變電所均有直流的蓄電池的設置。

此項變電所的主要設備，將分別詳述之。

1.5 變電所的基本佈置

變電所之主要設備如上節所述，設置於變電所之場地上，其基本佈置如圖12.1.2所示。這是佈置法之一種代表，並非每一變電所必須如此佈置。容量大的變電所比此更爲複雜，容量小者則較簡單。

圖中變壓器之兩側爲兩種電壓之線路，較高電壓者爲一次輸電線路（或二次輸電線路），較低者爲二次輸電線路（或配電線路）。線路進出必須經過斷路器。同電壓之線路匯集之處名爲匯流排（bus），變壓器之一二次線端則分別接於兩方之匯流排上，使兩不同電壓之線路連成一系統。

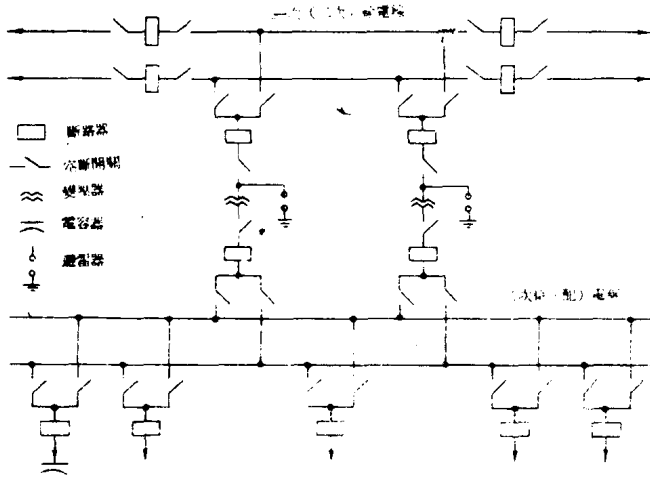


圖 12.1.2 變電所之一般佈置

於二次滙流排上，有電容器之設置，其作用在於調整電壓及改良電力因數。

圖 12.1.2 即所謂單線圖，即三相電路以一線代表之。

第二章 變壓器、電壓調整器、電抗器

2.1 基本原理

變壓器依其用途不同而分為很多種類，但其基本原理則為電磁交連則一。故本章所述之基本原理可適用於各種類型之變壓器。

金屬線圈繞在一個鐵心上，如果鐵心有磁束，而且磁束是隨時間而變動的話，則金屬線圈兩端將產生一電壓。電壓與變動的磁束的關係為：

$$E_s = 4.44 \phi f N_s 10^{-8} \quad (12.2.1)$$

其中 ϕ 為磁束，其變化為依照正弦波之形式而變者，其最大值为 ϕ ； f 為頻率，每秒鐘多少週波； N_s 為線圈的匝數。則 E 為電壓的實效值，伏特。

至於鐵心裏面的 ϕ 如何會變動的呢，如果沒有能量來驅動磁束，磁束本身不會變化的。所以，為要產生一變化之磁束，則必需有一個勵磁線圈，這勵磁線圈的匝數是 N_p ，在線圈兩端加以電壓 E_p ，這 E_p 是作正弦波變動的，通過線圈的電流也是作正弦波而變動，頻率為 f ，則在鐵心裏面產生一正弦波變化的磁束，其最大值是 ϕ_p 。其磁束與所加電壓 E_p 的關係為：

$$E_p = 4.44 \phi_p f N_p 10^{-8} \quad (12.2.2)$$

在同一個鐵心，我們要求勵磁線圈所生的磁束要與產生 E_s 所需的相等，即 $\phi_p = \phi$ ，則由式 12.2.1 及式 12.2.2，得

$$E_p/E_s = N_p/N_s \quad (12.2.3)$$

所以一個變壓器有兩個線圈，一個是加進電壓 E_p 而勵磁的稱為一次線圈(primary coil)，另一個是受變動磁束所感應而產生 E_s 之電壓的線圈，稱為二次線圈(secondary coil)。兩線圈之間是作為磁束通過之鐵心，即為磁路(magnetic circuit)。此外線圈與線圈之間，線圈與鐵心之間，線圈本身各匝之間，都需有絕緣物，絕緣物用的多少，全視電壓而定。

由式 12.2.3 所示，一理想的變壓器，其電壓變化比與兩線圈之匝數比相同，要求一次電壓與二次電壓的比率多少，祇要變動匝數便可。 E_p 是要比 E_s 高呢，還是要低，不一定，這要隨我們的要求而定；如果要昇壓的話 E_p 比 E_s 低，要降壓的話 E_p 比 E_s 高。

所謂理想的變壓器者，電壓比是按方程式 12.2.3 求得其準確之值，事實上不會如此的，因為磁束 ϕ ，有一部份不能都與一次和二次線圈交連，即漏掉了一部份，一般情形，不能漏掉很多，良好設計的變壓器，不會超過百分之五。

凡是產生一磁束，都要有磁勢 (mmf)，磁勢是用安培匝數 (ampere turn) 來計算的，在一次線圈方面，產生 ϕ ，則 $\phi = KN_p I_p$ ，在二次線圈方面，要產生同樣的 ϕ 時，則 $\phi = KN_s I_s$ ，常數 K 是隨鐵心構造而定的，因為同一個鐵心，所以兩式的 K 相同，故得

$$N_p I_p = N_s I_s$$

$$I_p / I_s = N_s / N_p \quad (12.2.4)$$

所以，變壓器的電流與匝數成反比，由式 12.2.3 及式 12.2.4 合併得：

$$E_p / E_s = I_s / I_p \quad (12.2.5)$$

$$E_p I_p = E_s I_s \quad (12.2.6)$$

所以一變壓器中一次側容量 (以 VA 或 KVA 計算) 等於二次側容量。即同一側之電壓與電流成反比。

2.1.1 無載特性

變壓器沒有負載的時候，即二次線圈成開路，二次電流 I_s 為零。則由一次側供給的功率即為鐵心的損失，因為磁束在鐵心內作交替的變動，是需要一種能量來驅動的，這能量便由一次側的電力來供給，磁束在鐵心內活動，會產生熱，這就是損失。

變壓器無載時的一次電流，是包含兩部份的，一部份與電壓同相，其與電壓之乘積即為輸入功率，即供給鐵心損失的功率，電流的其他一部份較電壓落後 90 度，與磁束同相，即為產生磁束之電流，稱為磁化電流 (magnetizing current)。這兩部份合成的電流稱為激磁電流 (exciting current)。其相位關係如圖 12.2.1。

雖然一次電壓是正確的正弦波形狀，但通過線圈而得一次電流並不能保持正弦波形狀，因為在鐵心裏面產生的磁束並非每點都緊隨電壓而作同比例而變化的。凡不成正弦波的，依據波形分析的理論，都認為含有高次諧波在內。所以說：激磁電流常含有高次諧波在內。如果鐵心不過飽和，這種高次諧波不必重視。

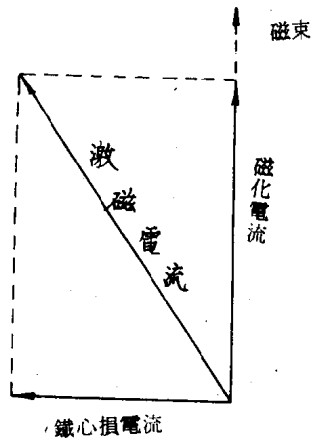


圖 12.2.1 激磁電流之相位關係

G 15/4 B12

如激磁電流果含有不可忽視的高次諧波，其中除基本波以外，以三次諧波最大，更高次者漸小。在三相變壓器組裏面，各相的三次諧波互成 360° 之相角，如三相電路作三角形連接法，則三次諧波成份在三角形裏面循環流通，不顯現於外面。

一個不在加壓中的變壓器，當剛加入電壓時，其激磁電流會很大，這是因為在鐵心上的殘留磁束，與電壓加入時的相位關係，在外表看來好像是變壓器線圈是個空心線圈，所以電流很大，這叫做衝入電流 (inrush current)，有時要經過幾秒鐘才歸於正常。

2.1.2 有載特性

變壓器在無載時，即二次線圈成開路，則流過一次線圈的電流祇有激磁電流，使磁束 ϕ_p 通過鐵心，同時供給鐵心耗損。於二次線圈的兩線端則得感應電壓 E_s 。如圖 12.2.2 (a) 所示。

在二次線圈兩端接上一負載，不論負載為電燈、電熱，或者為電動機，都可以用電阻和電抗來代表。於是負載上便有電流通過，亦即二次線圈上有電流通過。因為線圈有電流通過，所以在鐵心上也有磁束 ϕ_p 產生，如圖 12.2.2 (b) 所示。

因為變壓器有載的關係，鐵心中的磁束不再是 ϕ_p ，也不單獨是 ϕ_s ，而為兩者之差，即將 (a) 及 (b) 兩圖重疊而得圖 (c)。 ϕ_p 與 ϕ_s 並不是作算術上的相減，而為向量上的相減，因

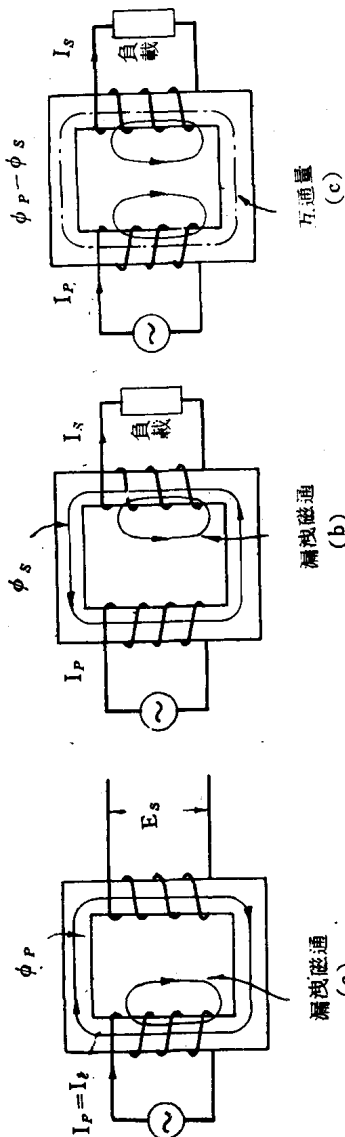


圖 12.2.2 變壓器有載時之磁通狀況

G 15/4

A10

為負載的功率因數關係故也。在一般情形，有負載時鐵心的磁束，數值上都較無載時為少。

一定電壓加於一線圈的兩端，所得電流的大小，與線圈的電抗成反比，而線圈的電抗則視其中心的磁束多寡而定。在一次線圈方面看來，有載時通過其內部的磁束減少，從而其電抗也減少，所以電流增加，增加多少，視乎磁束減少多少而定，那就是視乎二次電流多少而定。所以有載時的一次電流是激磁電流加上二次電流（經變壓比變換後的數值）。

一個有載變壓器的一次及二次電流，電壓與位相的數值上的關係，可以圖 12.2.3 說明之。

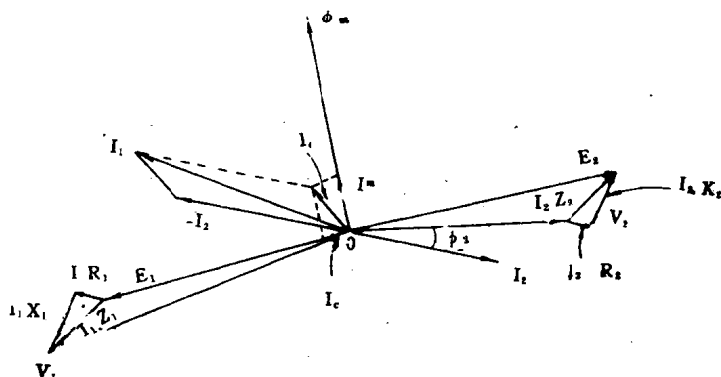


圖 12.2.3 變壓器負載特性

我們先從負載開始。設二次線端電壓為 V_2 ，二次電流為 I_2 ，電流 I_2 較電壓 V_2 落後，其位相角為 ϕ_2 ，以二次電壓向量 V_2 為參考位置，即設 V_2 之向量在 x 軸上。二次線圈的電阻為 R_2 ，感應性電抗為 X_2 ，則因電阻而生的電壓降 I_2R_2 ，可於 V_2 向量端加上一 I_2R_2 之向量，其方向與 I_2 平行，因電抗而生的電壓降 I_2X_2 ，可於 I_2R_2 向量端加上一 I_2X_2 之向量，其方向與 I_2 垂直。從 V_2 之端點至 I_2X_2 之端點連一線得一 I_2Z_2 向量，此即表示線圈之阻抗而生之電壓降。從 O 點至 I_2Z_2 端點連結一線得 OE_2 ，這等於二次線端電壓與阻抗電壓降之向量和，亦即是二次線圈在無負載時的二次感應電動勢（induced emf）。

為要產生此二次感應電動勢，則鐵心上必定有一大小相應的變動的磁通量， Φ_m 。此磁通量較二次感應電動勢領前 $\pi/2$ 。

為產生此磁通量 Φ_m ，則必定有一磁化電流 I_m 。這磁化電流是由一次輸入電流來供給的。

一次側各值與二次側各值同時繪於一圖上之時，如果按實際之安培值或伏特值繪於同一圖上，則會大小懸殊，難作比較，所以都要乘以變壓比變換為同一的比例尺。或者將變壓比作為一比一以資比較，上圖即假設變壓比為一比一者。

一次側供給磁化電流 I_m ，同時供給鐵損電流 I_e ，合成為激磁電流 I_0 。此外因為二次電流關係，把原有鐵心中的磁通量減少，因而引起一次電流增加，這兩個電流相等而方向相反。所以在一次電流裏面有 $(-I_2)$ 與 I_0 等兩電流。其向量和則為 I_1 。

一次感應電動勢 E_1 較互通量領先 $\pi/2$ ，亦即與二次感應電動勢方向相反。因為一次線圈流過一次電流關係，產生一次電阻電壓降 $I_1 R_1$ 及一次電抗電壓降 $I_1 X_1$ ，分別與 I_1 成平行及垂直而加於 E_1 端子之上，故一次輸入電壓，亦即一次線圈端端電壓為 V_1 。

繪畫本向量圖的時候 Φ_m 的實際數值不必知道，祇是在圖上表示其方向便可。然而其他數據必需知道，這些數據，可以在設計時由設計數字得來。在變壓器造成之後，則由試驗中求得之。試驗法將另述之。

變壓器之有載特性向量圖作何用途，是用來計算變壓器的電壓調整率 (voltage regulation) 和效率。

$$\text{電壓調整率} = \frac{V_1 - V_2}{V_2} \quad (12.2.7)$$

是用來表示變壓器的無載時和滿載時電壓的變動情形的，我們用電最好是電壓經常一致，電壓變動過大即不合要求，亦即變壓器性能不良。一般情形，電壓調整率在 5% 以下。

$$\begin{aligned} \text{效率} &= \frac{\text{輸出}}{\text{輸出} + \text{鐵心耗損} + \text{銅耗損}} \\ &= \frac{V_2 I_2 \cos \phi_2}{V_2 I_2 \cos \phi_2 + V_1 I_e + I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2} \quad (12.2.8) \end{aligned}$$

其中 R_1 及 R_2 之值是在溫度為 75°C 時之值，此公式與實際情形並不絕對相符，惟實用上比較各變壓器之性能，與乎在向量圖可以採得之數據，此公式通常亦頗準確。

當然，一變壓器效率越高越好，但是效率很高的變壓器，造價就很貴，通常中小型變壓器效率在 97% 附近，大型者則高達 99.2%。

2.1.3 變壓器之短路特性

變壓器之二次線端短路時，即負載的極端條件，其間的負載阻抗為零，二次

電流甚大，鐵心裏面的互通量（mutual flux）爲零，即一次磁通量 Φ ，受二次電流所產生的二次磁通量 Φ ，所完全抵銷，其僅有的阻抗爲銅線的電阻及一次線圈同時交鏈的磁通所產生的電抗，即漏磁通電抗。

同樣，一次線圈亦祇有漏磁通量，阻抗很低，所以一次電流也非常之大。

一般變壓器不能忍受長久的短路狀態，因爲電流很大，銅線很快便發熱，會把絕緣物燒壞，同時產生龐大的機械力，會使鐵心和線圈飛散。所以大型變壓器對於短路保護，考慮得很週到。

2.2 分類、用途及其選定方針

變壓器的分類，依據各種觀點不同而有各種分類。

2.2.1 單相變壓器與三相變壓器

目前交流供電系統都是三相的，所以三相變壓器爲最普遍之形式。但有時三相系統由三個單相變壓器連結而成。同容量的三相變壓器與由三個單相變壓器組比較，自然前者有很多優點，即價格較廉，佔用空間較小。然而，單相者因其重量較輕，運輸方便，三 如體形及重量較大，有時需分解運輸，在工地再行組立，工具和設備則不如在工廠裏面組立之方便，設計上有很多考慮，往往會增加製造成本。

一個變電所，如果祇靠一組變壓器供電，而且損壞了的時候不能由其他變電所來支援，則採用變壓器時，應考慮用三個單相變壓器結成三相，並增加一個單相變壓器作備用。因爲變壓器損壞了的時候，不是短時間可以修復的。如果用三相變壓器，損壞了就要長期停電。如果用單相的話，一個損壞了，換備用的上來，不致於停電過久。

三相變壓器與單相變壓器，構造上不同的地方是鐵心。單相的鐵心，使磁束成閉合迴路，所以必需有兩邊腿，如口字形。三相的鐵心，一相的磁束利用其他兩相的鐵心作迴路，所以三相鐵心祇要三條腿便夠了，如橫日字形。所以鐵心材料方面省了很多。如圖 12.2.4 所示。

至於線圈方面，單相的和三相的是一樣的，每個線圈都有兩端的引線。因爲三相者，三相的線圈都在一個容器之內，不必引出來的線圈的引線，都在容器裏面接好了，所以套管也可以節省了幾個。

2.2.2 冷却方法

變壓器雖然效率很高，平時祇有 1% 至 2% 之耗損，耗損便成爲熱量，在變壓器裏面的熱量必定要發散，如果熱量積聚不散，溫度便漸漸提高，終至損壞變壓器。

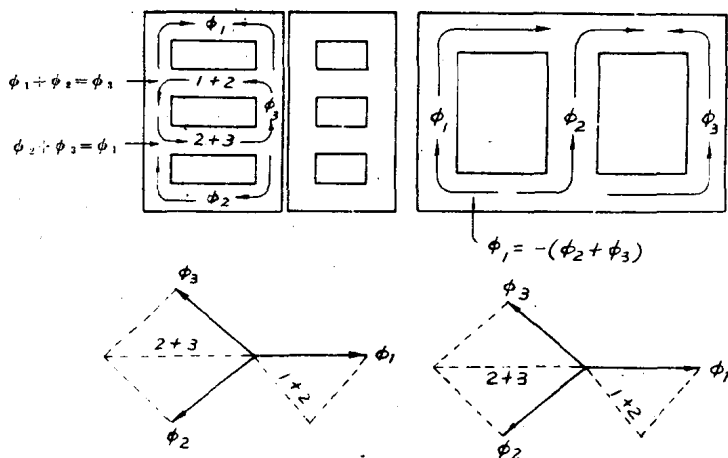


圖 12-2-4 三相變壓器的鐵心及磁通關係

小型變壓器散熱的方法，全賴容器表面之自然放射，大型變壓器之容器之表面面積與耗損之比率較之小型者為小，不足以放射全部熱量，最簡單的方法，是使容器表面作皺摺的彎曲，增加散熱面積。

進一步的方法，將繞圈上方的油從容器的頂部引出，通過一圓形的或扁平的油管造成的散熱器，油冷卻之後由容器之下方流回到變壓器之內，油與繞圈及鐵心接觸之後，溫度昇高，密度減輕，自然會上昇，所以熱油自然會流到散熱器裏面，成了自然循環作用，全賴溫度差、密度差而作循環的原動力，這稱為熱力位差 (thermal head)。以上各種冷卻法稱為 OA 型。

熱油在散熱器之內，隔一層鐵皮的厚度與外面空氣作熱的交換。如果空氣流動得快，熱交換也快，所以有時在散熱器旁邊裝上風扇，使空氣流通加速，如是散同樣的熱，可以少用油量。這種冷卻法稱為 FA 型。

又如全靠熱力位差來作自然循環，油流不夠快，也不理想，所以有時在油的出口或進口的地方，將上油泵，加速油的循環。這種冷卻法稱為 FOA 型。

如果水源充份，則於變壓器容器內部上方裝入蛇管，通進冷水，使熱油與冷水間通過蛇管管壁作熱的交換。這方法稱為 OW 型。

上述幾種冷卻方法，以何種為最佳，實無定論，一般大型變壓器多用 FOA 型，蓋如此油量可以減少，同時磁通密度及電流密度可以增加，從而使用材料亦可減少。所以價格較便宜，但是運轉的時候，需要電力來運轉風扇及油泵，消耗也不少。是互有得失的。

有些變壓器在低負載時可以 OA 型來運轉，負載加重時，則作為 FOA，到底多少負載可以 OA 型運轉，各個變壓器是不同的，運用之前，須查閱廠家說明書。

2.2.3 二線圈、三線圈及自耦變壓器

2.2.3.1 二線圈變壓器

以前所述的變壓器的原理，都是以二線圈為基礎的，即同一鐵心有兩個線圈，在電的方面互相分離，即互相絕緣，祇有一公共磁通通過兩線圈起感應而依匝數產生變壓作用。

2.2.3.2 三線圈變壓器

茲在同一鐵心上，除一次及二次線圈以外，更有一線圈，而與一次及二次線圈成絕緣者，此第三線圈稱為三次線圈（tertiary winding）。如前所述，所謂一次、二次線圈名稱，乃是相對的名詞，並非一定指高壓的是一次，低壓的為二次。一般指電源側是一次，負載側是二次，但是較複雜的電力系統，可能變壓器兩側都有電源，也都有負載，所以也很難說了。所謂三次線圈者，概指三個線圈中電壓最低的線圈而言。其概略如圖 12.2.5 所示。

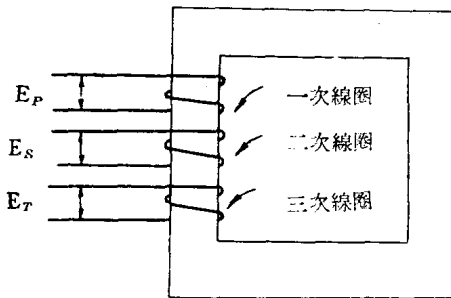


圖 12.2.5 三線圈變壓器概略

三次線圈可以接上負載或接上電源，也可以同時接上負載和電源。

二線圈變壓器可以有三相變壓器之構造，三線圈變壓器亦可以有三相的構造。三相變壓器，每相的同次線圈可以結成 Y 或 Δ 之三相系統，一般三線圈變壓器的一次側和二次側接成 Y 式，三次側則結成 Δ 式。

三次線圈與一次或二次線圈的電壓關係一如一二次間之關係者相同，即：

$$E_p/E_r = N_p/N_r, \quad E_s/E_r = N_s/N_r \quad (12.2.9)$$

其中 E_r 及 N_r 分別為三次線圈電壓及三次線圈匝數。

二線圈變壓器之一次線圈之容量（即 KVA）需與二次線圈之容量相等。而三線圈變壓器三個線圈之容量，不必互相相等。例如

一次側	60,000 KVA	154 KV	Y
二次側	40,000 KVA	69 KV	Y
三次側	30,000 KVA	11 KV	△

運用的時候要注意各個線圈的負載不要超過各個的容量。

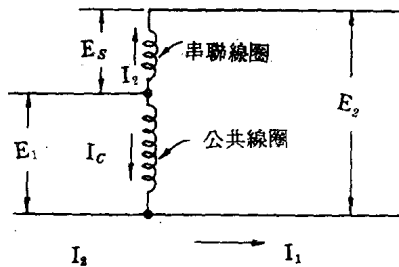
爲什麼要用三線圈變壓器，首先顯而易見的，是這一個地區供電電壓有多種，一個變壓器可以應付多種要求，其次在變電所內，Y形接法的一次線圈及二次線圈的中性點常需予以接地，例如一次側之中性點接地，如系統上發生接地事故，則經過中性點流於一次側一相中之接地電流，於三次線圈上產生感應電壓，如三次側成△接法，則感應電壓有一低阻抗之電路，而得甚大之電流，亦即使接地電流增大也。

又如一次側或二次側含有第三階高諧波，則循環於△接線之三次線圈內，不再出現於對方，此亦爲改良供電品質之一種手段。

一個鐵心之上，既然可以有三個線圈，當然也可以有四個或四個以上線圈。成爲所謂多線圈變壓器（multi-winding transformer）。其運用特性與三線圈變壓器相似。

2.2.3.3 自耦變壓器

與多線圈變壓器之情形相反，整個變壓器却祇有一個線圈。其情形如電感電抗，從電抗線圈上抽出幾個線頭來作爲數種不同電壓來運用，其概略如圖12.2.6



$$E_1/E_2 = 2$$

$$I_1 = I_2/T$$

$$I_C = I_1 (\div -1)$$

圖 12.2.6 自耦變壓器

所示，即所謂自耦變壓器 (autotransformer)。此種變壓器之用途多為變壓比在 2 以下時用之。由圖上可知

$$E_2 = E_1 \div E, \quad (12.2.10)$$

其中 E_s 比 E_1 為小，則此種接法頗為經濟。

公共線圈部份，通常祇通過較小之電流 I_s ，所以銅線面積不必很大。負載電流祇通過串聯線圈，此線圈之銅線面積需與該變壓器之定額電流配合。一自耦變壓器之容量 (capacity) 與輸出 (output) 是兩種不同的意義，容量者是定額電流乘上串聯電壓，即 IE_s 之值。輸出者是定額電流乘上定額電壓 E_s ，即 IE_2 之值。

自耦變壓器之兩側，並無限定那一側要接電源或負載一如兩繞組之變壓器。

圖 12.2.6 所示者，乃單相之情形，自耦變壓器也有三三相的，三相也可以接成 Y 或 Δ ，如果接成 Y，則其中性點必須接地。

三相自耦變壓器，或單相自耦變壓器接成三相系統，有時除自耦之繞組以外，更有三次繞組者，此三次繞組接成 Δ ，一方面可得另一種電壓，一方面也可得到故障時較大之接地電流。如此種自耦變壓器設於發電廠，則發電機之輸出接於三次繞組上，同時可得兩種輸電電壓。

2.2.4 電壓之維持

2.2.4.1

依式 12.2.3 ($E_p/E_s = N_p/N_s$)，乃是無負載的情形，假如有負載的時候，二次線端電壓因有內部阻抗電壓降關係，要比 E_s 之值為低，所以說：二次線端電壓是隨負載變動而不同。

大電力系統，一次線端電壓有時也會因系統情況不同而有變動的，亦即是說， E_p 也有時不定， N_p/N_s 如果不變， E_s 也會隨 E_p 變動而變動。

所以二次線端電壓之變動是有好幾種原因的，電壓忽高忽低，用戶是不歡迎的。所以要將電壓維持一定。

從式 12.2.3，可以改寫為

$$E_s = E_p \cdot \frac{N_s}{N_p}$$

如果 E_s 因為負載關係而發生變動，我們如果能夠使 N_s/N_p 之比值也照比例而變動，不難使 E_s 回復到原來的數值。又假如 E_p 變動，也可以變動 N_s/N_p 之比值來維持 E_s 之一定值。

變動 N_s/N_p 之比值之意義，即是將一次繞組或二次繞組之匝數加以加減之謂。當然，當變壓器造好之後，將繞組之匝數隨意加減是不可能的。所以在製造