



三相交流電路的連接法

張林編著

大光出版社出版

无锡轻工业学院图

阅0393878

三相交流电路的连接法

張 林 編 著

江南大学图书馆



91499927



大光出版社出版

三相交流電路的連接法

編著者：張 林

出版者：大光出版社
香港馬寶道六十四號

印刷者：嶺南印刷公司
香港西環西安里十三號

定價三元五角

一九七八年五月版

版權所有・翻印必究

編 者 的 話

本書是爲初學電工學的讀者而編寫的。是一本知識性讀物，也可供一般電器工人參考。

書中除了對三相電路的接法、作用和原理作了一般的講述以外，還盡可能地結合着日常生活和工作中有關的實際問題，作了進一步的分析。在編寫方面，力求文字通俗淺顯，插圖形象清晰，以便閱讀。在某些章節中，還加了一些計算例題，以便讀者能進一步了解三相電路的特性。但限於自己的水平，難免有許多遺漏或錯誤的地方，希望讀者批評指正。

張 林

目 錄

第一章	三相交流發電機的簡明介紹	1
第二章	三相交流電路的星形(Y)接法	6
1.	三相交流發電機的四線制和星形(Y)接法	6
2.	星形(Y)接法中的線電壓和相電壓	9
3.	星形(Y)接法中的線電流和相電流	18
4.	中性線的簡單研討	19
5.	星形(Y)接法中照明電路和工業用電 電路的示意圖	24
第三章	三相交流電路的三角形(Δ)接法	26
1.	三角形(Δ)接法	26
2.	三角形(Δ)接法中的線電壓和相電壓	28
3.	三角形(Δ)接法中的線電流和相電流	29
4.	電源三角形(Δ)接法的簡單研討	32
5.	負載三角形(Δ)接法的簡述	36
6.	三角形(Δ)接法中照明電路和工業用電 電路示意圖	37
7.	三相交流電功率的測定	38

三相交流電路的連接法

8. 三相交流電功率的計算·····	42
第四章 三相電源和負載連接的形式·····	47
1. 三相電源採用星形(Y)接法時負載的接法·····	47
2. 三相電源採用三角形(Δ)接法時負載的接法·····	49
3. 星形(Y)和三角形(Δ)接法的接線裝置·····	50
4. 星形(Y)和三角形(Δ)接法的小結·····	52
第五章 三相變壓器的星形(Y)和三角形(Δ)接法·····	53
1. 三相變壓器的基本概念·····	53
2. 三相變壓器的星形(Y)和三角形(Δ)接法·····	56
3. Δ — Δ 接法的變壓器的檢修和變壓器 的V形接法·····	61
4. 農村中的“二線一地”制三相送電線路·····	63
第六章 三相電動機的啓動·····	65
第七章 旋轉磁場和三相電動機的正、反旋轉·····	69
1. 旋轉磁場·····	69
2. 三相電動機的正、反旋轉·····	74
附錄 幾個問題的說明·····	78
1. 交流電路中的交變量的有效值·····	78
2. 相位、相位差·····	79
3. 正弦量和旋轉矢量·····	84

第一章 三相交流發電機的簡明介紹

圖 1 是一個三相交流發電機 (Three-Phase Alternator) 的示意圖。在發電機中有轉子(Rotor)和定子(Stator)兩個部分。轉子是由磁極 S N (南北極) 構成 (實用上是用磁性很强的電磁鐵) 定子的內槽中裝有三個結構完全相同的線圈(Coil) AX 、 BY 、 CZ , [A 、 B 、 C 分別是三個線圈的三個對稱端點, 表示線圈的始端 (Starting End); X 、 Y 、 Z , 分別是三個線圈的另外三個對稱端點, 表示線圈的末端(Finishing End) 三個線圈的位置, 彼此相隔 120° (即 $\frac{2}{3} \pi$ 弧度 Radian)]。當磁極 NS 勻速旋轉時, 在結構完全相同的三個線圈 AX 、 BY 、 CZ 中, 就會分別產生最大值 E_m 和周期(Period) T

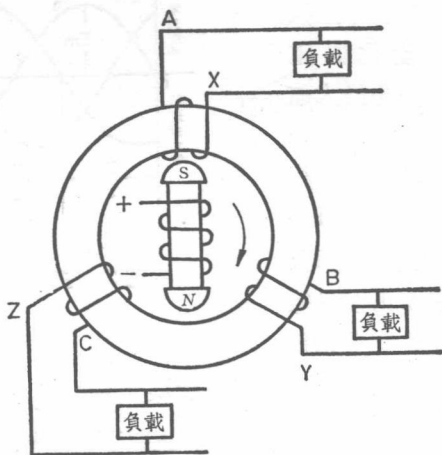


圖 1 三相交流發電機的示意圖

都相等的三個正弦形變化的感生電動勢(Induced E. M. F)
 e_A 、 e_B 、 e_C

爲了表示方便和統一起見，電動勢的正方向都規定爲由各相(Phase)的末端到始端，就是由 X 、 Y 、 Z 到 A 、 B 、 C ；負方向是由 A 、 B 、 C 到 X 、 Y 、 Z 。

按照這樣規定的方向，並以 AX 上電動勢 (Electromotive Force) e_A 經過零值向正值上升的一瞬間作爲計時的起點時，三相電動勢(Three Phase E.M.F.)的曲線圖成爲圖 2 的形式。圖 2 中三條正弦曲線 (Sinusoidal Curve) 的波形是完全一

樣的，這是因爲三個作正弦形變化的電動勢的最大值 (Maximum Value) 和頻率 (Frequency) 都相同；

三條正弦曲線在時間上相差

$\frac{1}{3}$ 周期，這是因爲三個線圈的位置互相間隔 120° ，磁極 N 或 S 在勻速旋轉過程中，正對了 AX 線圈以後，要再過 $\frac{1}{3}$ 周期的時間，才會正對線圈 BY 的緣故(圖 3)。

相應於圖 2 中三條正弦曲線的三相電動勢的瞬時值 (Instantaneous Value) 的三角函數 (Trigonometrical

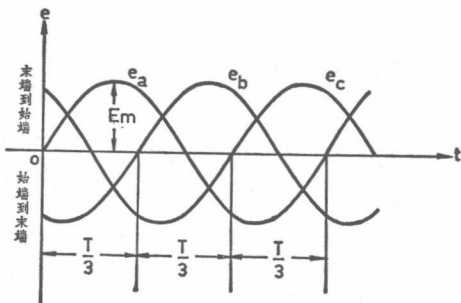


圖 2 三相電源的電動勢曲線圖

Function)式是:

$$e_A = E_m \sin \omega t,$$

$$e_B = E_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$e_C = E_m \sin(\omega t - 240^\circ)$$

$$= E_m \sin(\omega t + 120^\circ)$$

相應於正弦量 e_A 、 e_B 、 e_C 的三相電動勢有效值(Effective Value) E_A 、 E_B 、 E_C 的矢量圖(Vector Diagram), 是大小相等, 互相間隔 120° 的三個矢量(圖 4)。

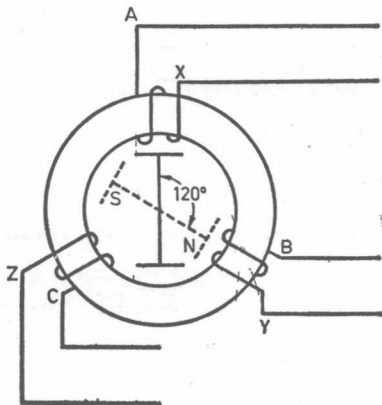


圖 3 各相電動勢的最大值
相差 $\frac{1}{3}$ 周期的示意圖

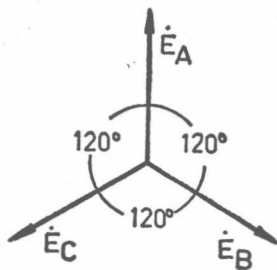


圖 4 三相電源的電動
勢矢量圖

電動勢(Electromotive Force, “E.M.F.”), 電壓(Voltage)和電流(Current)等都是標量(Scalar)不是矢量(Vector)。不過, 三相電路中各相的電動勢, 電壓和電流都是周期(Period)(或頻率 “Frequency”)相同的正弦量(Sinusoidal Quantity)。正弦量可以借用旋轉矢量(Rotating Vector)來表示; 幾個頻率相同的正弦量還可以組

成矢量圖(Vsctor Diagram)，進行矢量的運算(見附錄第3節)。用矢量表示時，不但直觀，而且計算起來往往很方便，所以三相電路的電動勢，電壓或電流常用矢量來表示。

用矢量表示時，三個矢量的長度分別表示三個電動勢的最大值(Maximum Value)因為三個電動勢的最大值相同，所以三個矢量的長度也相等，三個矢量間的夾角分別表示三個電動勢間的相位差(Phase Difference)。因為三個電動勢間的相位差是 120° ，所以三個矢量間的夾角也是 120° (圖4)。

在交流電路裏，由於交變量(Alternating Quantity)的有效值等於其自身最大值的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍(見附錄第1節)。所以三個電動勢的有效值也可以用長度相等，互相間隔 120° 的三個矢量來表示，只要把矢量的標度單位值縮小 $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$ 一下就可以了。在實際應用中，提到交流電的數值，總是指的有效值，所以三相交流電(Three Phase a.c. Current)的矢量圖，如果沒有特別指明標度的時候，一般都是表示有效值的大小。

爲了區分有效值和瞬時值起見，通常用大寫字母表示有效值，例如用 E, V, I ，分別表示電動勢，電壓，電流的有效值；用小寫字母表示瞬時值，例如用 e, v, i 分別表示電動勢、電壓、電流的瞬時值。

同時用字母表示這種矢量時，爲了跟本身既有大小又有方向的矢量加以區別，通常在字母上加一個圓點「·」或一個箭頭「→」。例如，電動勢、電壓、電流的有效值的矢量分別記作 $\dot{E}, \dot{V}, \dot{I}$ 或 $\vec{E}, \vec{V}, \vec{I}$ 等。

如果三相電路(Three-Phase Circuit)中各相的電動勢、電壓或電流大小相等，相互間的相位差也相同，那麼就

叫做對稱三相制 (Symmetrical Three-phase System)。本書以討論對稱三相制為限 (超出時將特別說明)。

三相電動勢 (或電流)，出現最大值的次序叫做相序 (Phase Sequence)。圖 1 的相序是：

A 相 $\rightarrow$ B 相 $\rightarrow$ C 相

從圖 1 中可以看出：當磁極 NS 勻速旋轉時，三個線圈都可以獨立地對外供電，都可以獨立地和外線路形成一個閉合回路 (Closed Circuit)，好像三個單相 (Single Phase) 發電機一樣。在習慣上，我們把每一個線圈叫做一個「相」①。這種具有三個線圈的發電機，叫做三相交流發電機 (實際的三相交流發電機的結構要複雜一些，每相都是由若干線圈按一定方式連接而成)。

三相交流發電機中的三個線圈，雖然都可以獨立地對外供電，好像三個單相發電機一樣，但是，在對外供電時，我們總是把三個線圈連繫起來共同對外輸電，這樣便產生了三個線圈如何相互連接的問題。三相交流電路 (Three Phase a.c. Circuit) 中電源 (Source) 和負載 (Load) 的連接方法，有星形 (Star, Y) 和三角形 (Deltar, Δ) 兩種。這就是本書要詳細講述的內容。

①這裏的「相」是多相制 (Polyphase System) 中的相，與振動量裏的「相」雖有聯繫，但意義並不完全一樣。多相制中的相，是指具有同一頻率不同相位的交流電源及其電路，而振動量裏的相，則是決定振動量的狀態的一個量。(見附錄第 2 節)

第二章 三相交流電路的 星形(Y)接法

1. 三相交流發電機的四線制和星形(Y)接法

圖 1 中三相交流發電機的三個獨立線圈和它們各自的負載，可以畫成圖 5 的形式。

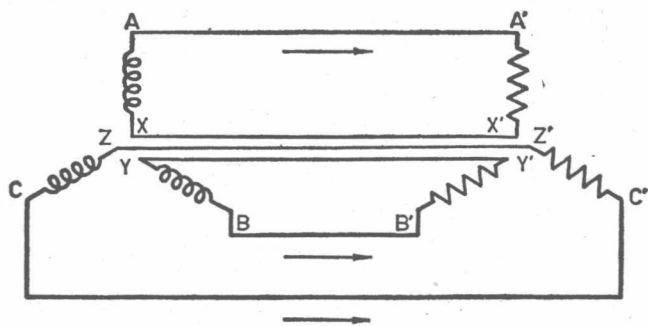


圖 5 不相關連的三相制

從圖 5 中一看便知，導線 XX' 、 YY' 、 ZZ' 可以合併成一根。這樣就把三相制六根導線簡化成四根，成為三相四線制 (Three-Phase, Four-Wire System) (圖 6)。

X 、 Y 、 Z 連接在一起的點叫做公共點 (Common Point) (又叫零點 Zero Point)，用 O 來表示。合併後的 XX' 、 YY' 、

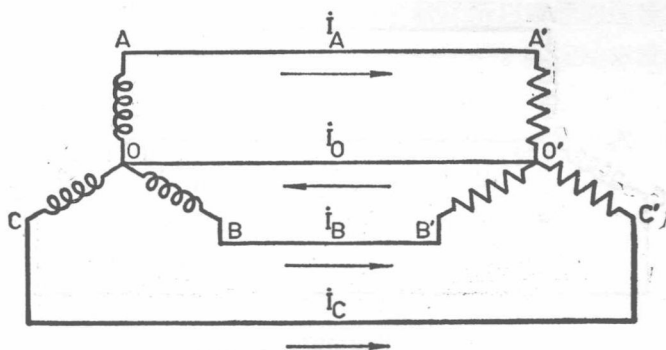


圖 6 三相電路的星形連接

ZZ' 線用 OO' 表示， OO' 線叫做中性線 (Neutral Line) (又叫零線 Zero Line)。三個始端 A, B, C ，叫自由端。自由端引出的導線叫做相線 (Phase Line) (或端線 Terminal Line)。

在供電的系統中，為了穩定相線對地的電壓起見，往往把中性線通地，使中性線和大地的電勢始終一樣① (圖 7)；在有些場合下，中性線的中間部分 OO' 還可以用大地來代替 (圖 8)。

① 三相電源如果是三相變壓器 (Three Phase Transformer) 的低壓副繞組 (Low Voltage Secondary Winding) 所組成，那末中性線接地以後，尚可防止原繞組 (Primary Winding) 的高壓 (High Voltage) 電壓在變壓器的絕緣破壞時，意外地串入低壓側 (Low Voltage Side) 所發生的危險事故。用大地來代替中性線時，在接地的地方，不能草率從事，必須注意減低接地電阻和防止導線斷裂。為了減小接地的電阻，埋入地中的導線的下端，應鍍裝一塊金屬板，金屬板一般埋在二、三米深的潮濕泥土裏，並且搗固附近泥土增加接觸面。為了防止導線斷裂，埋在地裏的導線可以採用金屬管，也可以借用地下的自來水管。

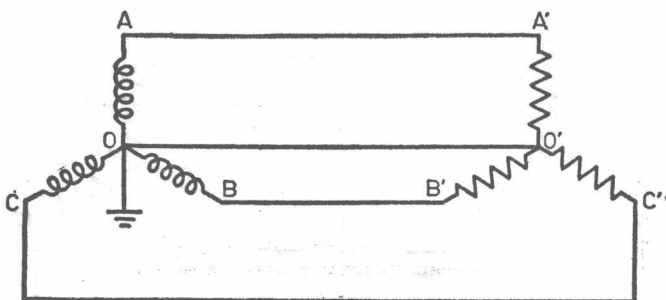


圖 7 中性線接地的星形連接

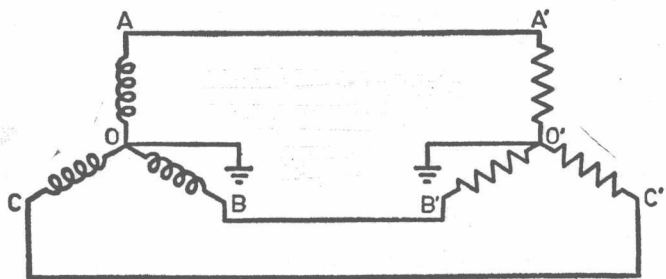


圖 8 用大地作中性線的星形連接

中性線既然往往通地，有時又用大地來代替，所以一般人把中性線 OO' 叫做「地線(Earth)」。相線 AA' 、 BB' 、 CC' 直接跟電源連接，站在地上的人觸及這些線時要受到電擊，所以一般人又把相線(Phase Line)叫做「火線」(Line)。我們看見馬路上的四根送電導線中，三根是火線，一根是地線，就是這個道理。

從圖 6 或圖 7 中，可以看到簡化後的三相電路，在電源

部分和負載部分都形成星光四射的形狀，所以電源的這種接法叫做電源的星形接法(Star-Connection)。就接法來說，統稱星形接法，符號記作「Y」。

三相制的六根導線簡化成四根，節省了大批的導線，就大大地降低了安裝線路的成本。

發電機的三個線圈採用星形接法時，只要把三個末端 X 、 Y 、 Z 連在一起，引出一根導線，再由始端 A 、 B 、 C 分別引出三根導線就行了；也可以把三個始端 A 、 B 、 C 連在一起，引出一根導線，再由末端 X 、 Y 、 Z 分別引出三根導線。但是，不可以把一個線圈的末端和另外兩個線圈的始端連在一起，也不可以把一個線圈的始端和另外兩個線圈的末端連在一起。總之，接線時不把三個末端連在一起，就要把三個始端連在一起，不能有其他形式。

上面是就電源（發電機）採用星形接法來說的。負載採用星形接法時，基本上和發電機一樣，例如三相交流電動機中三個線圈的連接方法。不過，對三個單相負載，例如電燈、單相交流電動機等，組成的三相負載，可以不強調始端與末端。因為單相負載對交流電來說，沒有始末之分。

可見，星形接法(Y-Connection)，就是把每相的末端（或始端）聯結在一起，引出一根導線，再從三個自由端分別引出三根導線的連接方法。

2. 星形(Y)接法中的線電壓和相電壓

在星形接法中有兩種電壓：一種是每個線圈兩端間的電壓，叫做相電壓(Phase Voltage)，即圖9中的 V_A 、 V_B 、 V_C 。通

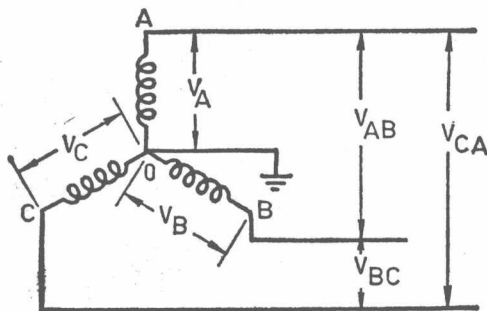


圖9 星形接法的電壓

常三相電壓是對稱的，對稱的相電壓的值可用 V_p 來統一表示。另一種是兩根相線間的電壓叫做線電壓(Line Voltage)，即圖中的 V_{AB} 、 V_{BC} 、 V_{CA} 。在相電壓對稱的情況下，所得的線電壓也是對稱的。對稱的線電壓的值可用 V_L 來統一表示。

在對稱電路裏，星形接法的線電壓跟相電壓間的數值關係是：

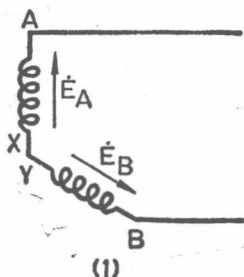
$$V_L = \sqrt{3} V_p = 1.73 V_p$$

現在以三相電源為例，用矢量法來證明這個關係。

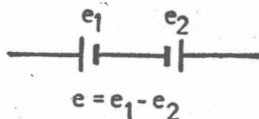
(1) 相電壓之間加、減關係的決定及運算：三相電源相電壓之間的加減關係，決定於線圈連接以後，相應相電壓（或相電動勢）的正方向是否一致：一致的時候，相加；相反的時候，相減。

通常總是把電動勢的正方向規定為由各相的末端到始端，所以當三相電源兩個線圈採用末端與末端相連的形式時，電動勢的正方向相反〔圖10(1)〕，其他兩個不相連端點間的電壓便是兩個相電壓的差①。這個情況近似於兩個負極相連

的串聯電池組的電動勢，等於兩個電池的電動勢的差〔圖 10 (2)〕。



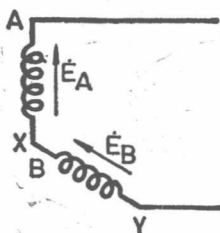
(1)



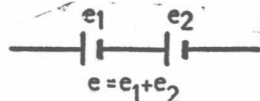
(2)

圖 10 三相電源兩個線圈的末端與末端相連圖

當三相電源採用這一線圈的始端與那一線圈的末端相連的形式時，電動勢的正方向一致〔圖 11(1)〕，其他兩個不相



(1)



(2)

圖 11 三相電源這一線圈的末端與那一線圈的始端相連圖

- ①如果圖中的箭號表示相電動勢的瞬時值，那麼「差」就是這兩個瞬時值的代數差 $e_{AB} = e_A - e_B$ ；如果箭號表示相電動勢有效值的矢量，那麼「差」就表示這兩個矢量的差。由於相電動勢矢量間有 120° 的相位差，在進行運算時，不能像計算兩個串聯電池的電動勢那樣用代數方法加減，而必須用包含有相位關係的矢量圖，進行矢量的運算。下面談到「和」以及以後談到和與差時都是如此。

當兩個相電動勢的方向相反時，兩個相電壓的方向通常也是相反的，所以其他兩個不相連端點間的電壓，也是兩個相電壓的差。