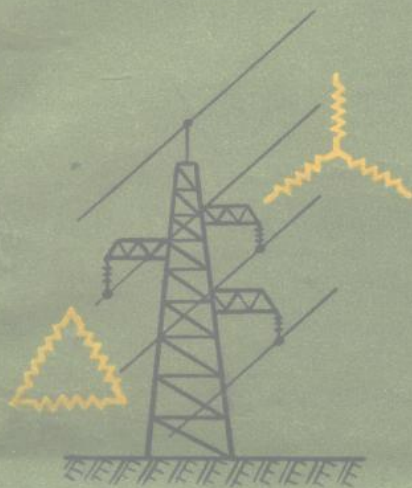




三相交流电路 的连接法

(修订本)

张一林 编

上海教育出版社

73.45
549

三相交流电路的连接法

(修訂本)

张一林編

JS565/26

上海教育出版社

一九五四年上海

三相交流电路的连接法

(修訂本)

张一林編

*

上海教育出版社出版

(上海永福路123号)

上海市书刊出版业营业许可证出090号

上海大东集成联合印刷厂印刷

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

*

开本：787×1092 1/32 印张：2 3/16 字数：49,000

1961年11月第1版

1963年3月第2版 1964年3月第3次印刷

印数：60,001—74,000本

統一书号：7150·1249

定 价：(十) 0.22 元

編 者 的 話

本书是配合高中三年級物理教材中“三相电路的連接法”一节的教学編写的,是一本知識性讀物,也可供初学电工学的讀者学习三相电路的連接法时参考。

书中除了对三相电路的接法、作用和原理作了一般的讲述以外,还尽可能地結合着日常生活和生产中有关的实际問題,作了进一步的分析。在編写方面,力求文字通俗浅显,插图形象清晰,以便閱讀。但限于自己的水平,难免有許多遺漏或錯誤的地方,希望讀者批評指正。

张一林

1961.7.于上海。

再版序言

根据讀者提出的許多宝贵意見，这一版作了如下的修訂：

(1) 用规定交变量的正方向和相应的矢量图改写了有关三相电路的运算部分，改进了符号的应用。

(2) 为了加强基础知识，更便于讀者掌握有关內容，适当补充了相位、相位差、旋轉矢量等基本概念。作为附录，放在书后。

(3) 为了进一步联系当前有些农村实际送电的情况，在三相变压器一章里还增加了“二綫一地”制三相送电綫路。

(4) 訂正了初版中錯誤和欠妥的地方。

在修訂过程中，承蒙一些同志的帮助，特别是朱鴻鶚同志的热情帮助。在此表示謝意。

編者 1963.2.

目 录

第一章 三相交流发电机的簡明介紹	1
第二章 三相交流电路的星形(Y)接法	4
1. 三相交流发电机的四綫制和星形(Y)接法	4
2. 星形(Y)接法中的綫电压和相电压	7
3. 星形(Y)接法中的綫电流和相电流	12
4. 中性綫的簡單研討	13
5. 星形(Y)接法中照明电路和工业用电电路的示意图	18
第三章 三相交流电路的三角形(Δ)接法	19
1. 三角形(Δ)接法	19
2. 三角形(Δ)接法中的綫电压和相电压	21
3. 三角形(Δ)接法中的綫电流和相电流	22
4. 电源三角形(Δ)接法的簡單研討	24
5. 負載三角形(Δ)接法的簡述	28
6. 三角形(Δ)接法中照明电路和工业用电电路示意图	29
第四章 三相电源和負載連接的形式	29
1. 三相电源采用星形(Y)接法时負載的接法	29
2. 三相电源采用三角形(Δ)接法时負載的接法	31
3. 星形(Y)和三角形(Δ)接法的接綫裝置	32
4. 星形(Y)和三角形(Δ)接法的小結	33
第五章 三相变压器的星形(Y)和三角形(Δ)接法	34
1. 三相变压器的基本概念	34
2. 三相变压器的星形(Y)和三角形(Δ)接法	37
3. Δ - Δ 接法的变压器的检修和变压器的V形接法	41

4. 农村中的“二线一地”制三相送电线路	42
第六章 三相电动机的启动	44
第七章 旋转磁场和三相电动机的正、反旋转	46
1. 旋转磁场	46
2. 三相电动机的正、反旋转	52
附录 几个问题的说明	55
1. 交流电路中的交变量的有效值	55
2. 相位、相位差	56
3. 正弦量和旋转矢量	59

第一章 三相交流发电机的簡明介紹

图 1 是一个三相交流发电机的示意图。在发电机中有轉子和定子两个部分。轉子是由磁极 NS 构成的（实用上是用磁性很强的电磁鉄），定子的內槽中装有三个结构完全相同的綫圈 AX、BY、CZ（A、B、C 分别是三个綫圈的三个对称端点，表示綫圈的始端；X、Y、Z 分别是三个綫圈的另外三个对称端点，表示綫圈的末端）。三个綫圈的位置

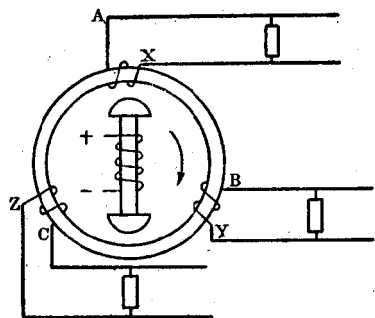


图 1 三相交流发电机的示意图

彼此相隔 120° （即 $2/3\pi$ 弧度）。当磁极 NS 匀速旋轉时，在结构完全相同的三个綫圈 AX、BY、CZ 中，就会分别产生最大值 E_m 和周期 T 都相等的三个正弦形变化的感生电动势 e_A 、 e_B 、 e_C 。

为了表示方便和統一起见，电动势的正方向都规定为由各相的末端到始端，就是由 X、Y、Z 到 A、B、C；負方向是由 A、B、C 到 X、Y、Z。

按照这样规定的方向，并以 AX 上电动势 e_A 经过零值向正值上升的一瞬间作为計时的起点时，三相电动势的曲线图成为图 2 的形式。图 2 中三条正弦曲线的波形是完全一样的，这是因为三个作正弦形变化的电动势的最大值和频率都相同；三条正弦曲线在時間上相差 $1/3$ 周期，这是因为三个綫圈的位置

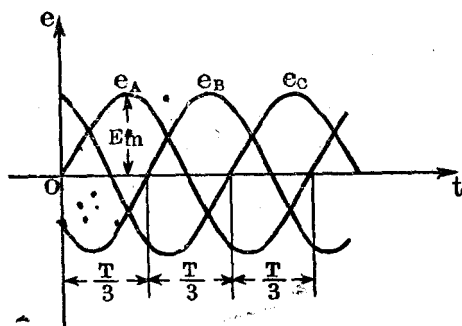


图2 三相电源的电动势曲线图

函数式是：

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

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

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

相应于正弦量 e_A, e_B, e_C 的三相电动势有效值 E_A, E_B, E_C 的矢量图,是大小相等、互相间隔 120° 的三个矢量(图4)。

电动势、电压和电流等都是标量不是矢量。不过,三相电路中各相的

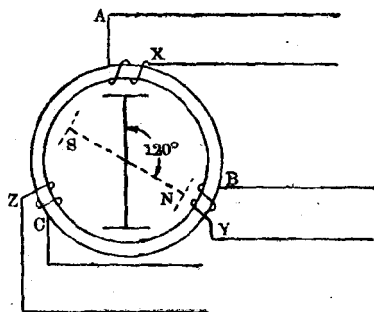


图3 各相电动势的最大值相差 $1/3$ 周期的示意图

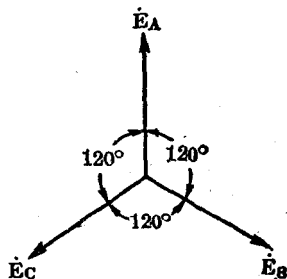


图4 三相电源的电动势矢量图

电动势、电压和电流都是周期(或频率)相同的正弦量。正弦量可以借用旋轉矢量来表示;几个频率相同的正弦量还可以組成矢量图,进行矢量的运算(见附录第3节)。用矢量表示时,不但直观,而且計算起来往往很方便,所以三相电路的电动势、电压或电流常用矢量来表示。

用矢量表示时,三个矢量的长度分別表示三个电动势的最大值。因为三个电动势的最大值相同,所以三个矢量的长度也相等。三个矢量間的夹角分別表示三个电动势間的相位差。因为三个电动势間的相位差是 120° , 所以三个矢量間的夹角也是 120° (图4)。

在交流电路里,由于交变量的有效值等于其自身最大值的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍(见附录第1节)。所以三个电动势的有效值也可以用长度相等、互相間隔 120° 的三个矢量来表示,只要把矢量的标度单位值縮小 $(\frac{1}{\sqrt{2}})$ 一下就可以了。在实际应用中,提到交流电的数值时,总是指的有效值,所以三相交流电的矢量图,如果没有特別指明标度的时候,一般都是表示有效值的大小。

为了区分有效值和瞬时值起见,通常用大写字母表示有效值,例如用 E 、 V 、 I 分別表示电动势、电压、电流的有效值;用小写字母表示瞬时值,例如用 e 、 v 、 i 分別表示电动势、电压、电流的瞬时值。

同时用字母表示这种矢量时,为了跟本身既有大小又有方向的矢量加以区别,通常在字母上面加一个圆点“ $\cdot$ ”。例如,电动势、电压、电流的有效值的矢量分別記作 $\dot{E}$ 、 $\dot{V}$ 、 $\dot{I}$ 等。

如果三相电路中各相的电动势、电压或电流大小相等,相互間的相位差也相同,那么就叫做对称三相制。本书以討論对称三相制为限(超出时将特別說明)。

三相电动势(或电流),出现最大值的次序叫做相序。图1的相序是:

A 相 $\longrightarrow$ B 相 $\longrightarrow$ C 相。

从图1中可以看出:当磁极 NS 匀速旋轉时,三个綫圈都可以独立地对外供电,都可以独立地和外綫路形成一个闭合回路,好象三个(单相)发电机一样。在习惯上,我們把每一个綫圈

叫做一个“相”^①，这种具有三个线圈的发电机，叫做三相交流发电机，它发出来的电就叫做三相交流电（实际的三相交流发电机的结构要复杂一些，每相都是由若干线圈按一定方式连接而成）。

三相交流发电机中的三个线圈，虽然都可以独立地对外供电，好象三个单相发电机一样，但是，在对外供电时，我们总是把三个线圈连系起来共同对外输电。这样便产生了三个线圈如何相互连接的问题。三相交流电路中电源和负载的连接方法，有星形(Y)和三角形(Δ)两种。这就是本书要详细讲述的内容。

第二章 三相交流电路的星形(Y)接法

1. 三相交流发电机的四线制和星形(Y)接法 图1中三相交流发电机的三个独立线圈和它们各自的负载，可以画成图5的形式。

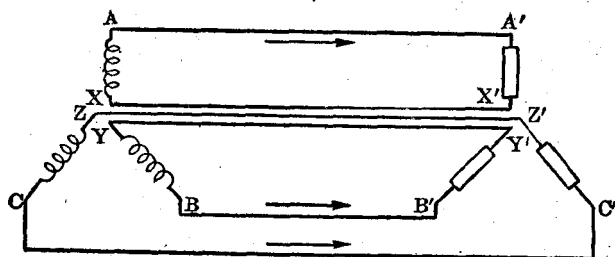


图5 不相关连的三相制

① 这里的“相”是多相制中的相，与振动量里的“相”虽有联系，但意义并不完全一样。多相制中的相，是指具有同一频率不同相位的交流电源及其电路，而振动量里的相，则是决定振动量的状态的一个量（见附录第2节）。

从图5中一看便知,导线 XX' 、 YY' 、 ZZ' 可以合并成一根。这样就三相制的六根导线简化成四根,成为三相四线制(图6)。

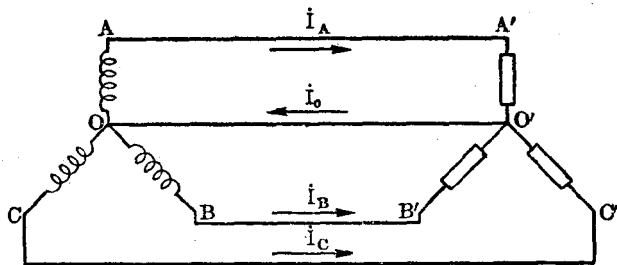


图6 三相电路的星形连接

X、Y、Z 连接在一起的点叫做公共点(又叫零点),用O来表示。合并后的 XX' 、 YY' 、 ZZ' 线用 OO' 表示, OO' 线叫做中性线(又叫零线)。三个始端 A、B、C 叫自由端。自由端引出的导线叫做相线(或端线)。

在供电的系统中,为了稳定相线对地的电压起见,往往把中性线通地,使中性线和大地电势始终一样^①(图7);在有些场合下,中性线的中间部分 OO' 还可以用大地来代替(图8)。

中性线既然往往通地,有时又用大地来代替,所以一般人把中性线 OO' 叫做“地线”。相线 AA' 、 BB' 、 CC' 直接与电源连接,站在地上的人触及这些线时要受到电击,所以一般人又把相

① 三相电源如果是由三相变压器的低压副绕组所组成,那末中性线接地以后,尚可防止原绕组的高压电在变压器的绝缘破坏时,意外地串入低压侧所发生的危险事故。用大地来代替中性线时,在接地的地方,不能草率从事,必须注意减小接地电阻和防止导线断裂。为了减小接地的电阻,埋入地中的导线的下端,应焊装一块金属板,金属板一般埋在二、三米深的潮湿泥土里,并且捣固附近泥土增加接触面。为了防止导线断裂,埋在地里的导线可以采用金属管,也可以借用地下的自来水管。

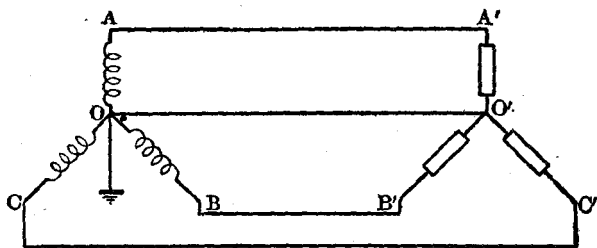


图 7 中性线接地的星形连接

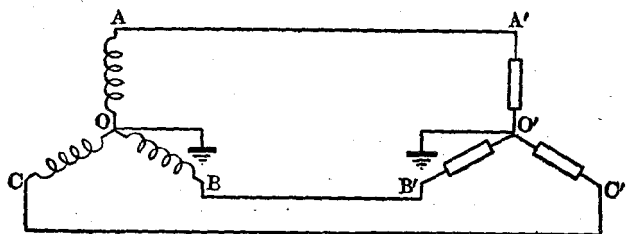


图 8 用大地作中性线的星形连接

线叫做“火线”。我们看见马路上的四根送电导线中，三根是火线，一根是地线，就是这个道理。

从图 6 或图 7 中，可以看到简化后的三相电路，在电源部分和负载部分都形成星光四射的形状，所以电源的这种接法叫做电源的星形接法，负载的这种接法叫做负载的星形接法。就接法来说，统称星形接法，符号记作“Y”。

三相制的六根导线简化成四根，节省了大批的导线，就大大地降低了安装线路的成本。

发电机的三个线圈采用星形接法时，只要把三个末端 X、Y、Z 连在一起，引出一根导线，再由始端 A、B、C 分别引出三根导线就行了；也可以把三个始端 A、B、C 连在一起，引出一根导

綫，再由末端 X、Y、Z 分別引出三根導綫。但是，不可以把一個綫圈的末端和另外兩個綫圈的始端連在一起；也不可以把一個綫圈的始端和另外兩個綫圈的末端連在一起。總之，接綫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綫圈的連接方法。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(Y)接法，就是把每相的末端(或始端)聯結在一起，引出一根導綫，再從三個自由端分別引出三根導綫的連接方法。

2. 星形(Y)接法中的綫電壓和相電壓 在星形接法中有兩種電壓：一種是每個綫圈兩端間的電壓，叫做相電壓，即圖 9 中的 V_A 、 V_B 、 V_C 。通常三相電壓是對稱的，對稱的相電壓的值可用 V_ϕ 來統一表示。另一種是兩根相綫間的電壓叫做綫電壓，即圖 9 中的 V_{AB} 、 V_{BC} 、 V_{CA} 。在相電壓對稱的情況下，所得的綫電壓也是對稱的。對稱的綫電壓的值可用 V_l 來統一表示。

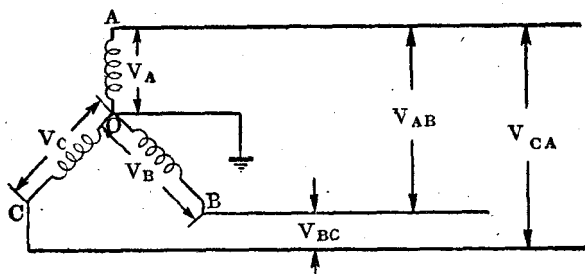


圖 9 星形接法的電壓

在对称电路里，星形接法的线电压跟相电压间的数值关系是：

$$V_l = \sqrt{3} V_{\phi}$$

现在以三相电源为例，用矢量法来证明这个关系。

(1) 相电压之间加、减关系的决定及运算：三相电源相电压之间的加减关系，决定于线圈连接以后，相应相电压（或相电动势）的正方向是否一致：一致的时候，相加；相反的时候，相减。

通常总是把电动势的正方向规定为由各相的末端到始端，所以当三相电源两个线圈采用末端与末端相连的形式时，电动势的正方向相反〔图 10(1)〕，其他两个不相连端点间的电压便是两个相电压的差^①。这个情况近似于两个负极相连的串联电池组的电动势，等于两个电池的电动势的差〔图 10(2)〕。

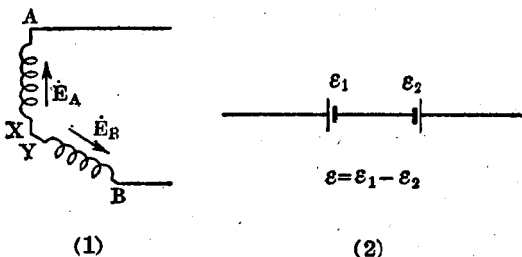


图 10 三相电源两个线圈的末端与末端相连图

- ① 如果图中的箭头表示相电动势的瞬时值，那么“差”就是这两个瞬时值的代数差 $e_{AB} = e_A - e_B$ ；如果箭头表示相电动势有效值的矢量，那么“差”就表示这两个矢量的差。由于相电动势矢量间有 120° 的相位差，在进行运算时，不能象计算两个串联电池的电动势那样用代数方法加、减，而必须用包含有相位关系的矢量图，进行矢量的运算。下面谈到“和”以及以后谈到和与差时都是如此。

当两个相电动势的方向相反时，两个相电压的方向通常也是相反的，所以其他两个不相连端点间的电压也是两个相电压的差。

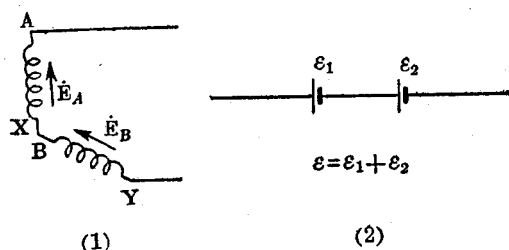


图 11 三相电源这一线圈的末端与那一线圈的始端相连图

当三相电源采用这一线圈的始端与那一线圈的末端相连的形式时，电动势的正方向一致〔图 11(1)〕，其他两个不相连端点间的电压便是两个相电压的和。这个情况可以从正、负极相连的两个串联电池组中得到启示〔图 11(2)〕。

在第一章里，我們已經知道：当三个相电动势的正方向都规定为由各相的末端到始端（或者都由各相的始端到末端）时，三个相电动势有效值的矢量图是大小相等、互相间隔 120° 的三个矢量。根据这个规定，三个相电压有效值的矢量图，也是大小相等、互相间隔 120° 的三个矢量（图 12）。

三相电压的加、减关系，既然是在三相电动势的正方向由各相的末端到始端的前提下得出的，所以对三个相电压进行加、减运算时，采用的矢量图也必须是同一规定方向下得出的相应矢量图。因此，对三个相电压进行加、减运算时，依据的矢量图便是大小相等、互相间隔 120° 的三个矢量（图 12）。

(2) 用矢量法证明星形接法中相、线电压的关系：在星形（Y）接法中，由于三个线圈连接的形式是末端与末端相连，电动势的正方向如图 13 所示，所以任何两个线圈自由端点间的（线）电压，都是两个相应相电压的差。用矢量计算时，就是图 12 中两个相应矢量的矢量差。

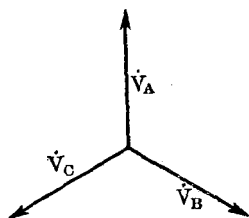


图 12 三相电压矢量图

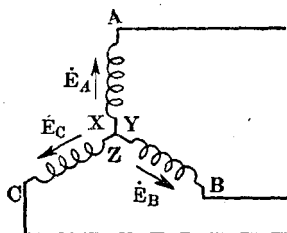


图 13 三相电源采取星形接法时,各相电动势方向图

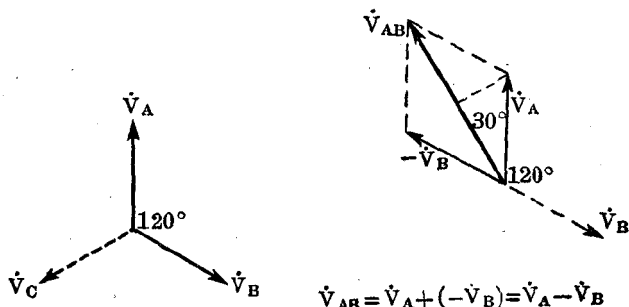


图 14 星形接法中 A、B 两端的线电压与 AX、BY 两个线圈的相电压的矢量运算图

从图 14 中可以看到: 矢量 $\dot{V}_A$ 、 $\dot{V}_B$ 的矢量差 $\dot{V}_{AB}$ 的数值是:

$$V_{AB} = 2 \cdot V_A \cos 30^\circ = \sqrt{3} V_A. \text{ 它比 } \dot{V}_A \text{ 超前 } 30^\circ.$$

同理在数值上:

$$V_{BC} = \sqrt{3} V_B; V_{CA} = \sqrt{3} V_C.$$

它们分别比 $\dot{V}_B$ 和 $\dot{V}_C$ 超前 30° 。

即: $V_l = \sqrt{3} V_\phi$ 。

这就是星形接法中线电压是相电压 $\sqrt{3}$ 倍的矢量法的证明。并且三个线电压也是对称的。

所以在三相电路的星形接法中,当相电压是 220 伏特时,线