

電源設備

中国人民解放军高級通信兵学校

一九六〇年

电 源 設 備

高級通校基礎教研室編

校對：譚定國、羅昌林

開本：25 開； 印數：1700 冊；
字數：190,000字； 1960年10月印刷

目 录

第一章 三相交流电	1
§ 1—1 三相交流发电机	1
§ 1—2 发电机繞組的星形和三角形連接	3
§ 1—3 发电机的相压和綫压	5
§ 1—4 負載的星形連接和中綫的作用	7
§ 1—5 負載的三角形連接	10
§ 1—6 三相电功率	14
§ 1—7 三相变压器	16
第二章 半导体整流器及振動子变流器	18
§ 2—1 整流器概說	18
§ 2—2 半导体的整流作用	20
§ 2—3 硒整流器	23
§ 2—4 氧化銅整流器	31
§ 2—5 硒整流器和氧化銅整流器的比較	34
§ 2—6 整流电路	35
§ 2—7 半导体整流器的使用与維護	40
§ 2—8 振動子变流器	41
第三章 化学电源	44
§ 3—1 化学电源的应用与分类	44
§ 3—2 干电池	46
§ 3—3 酸性蓄電池	61
§ 3—4 鹼性蓄電池	86
§ 3—5 新型化学电源介紹	101

第四章 直流电机	104
§ 4—1 概述	104
§ 4—2 直流发电机的工作原理及構造	104
§ 4—3 直流发电机的繞組	110
§ 4—4 电樞反应	113
§ 4—5 直流发电机的电动势	115
§ 4—6 直流发电机的分类	116
§ 4—7 他激发电机	118
§ 4—8 并激发电机	121
§ 4—9 串激发电机	124
§ 4—10 复激发电机	126
§ 4—11 直流发电机的功率和效率	127
§ 4—12 应用于無線电台和野战充电站的直流发电机	128
§ 4—13 直流发电机的維護定則和故障檢修	134
§ 4—14 直流电动机的工作原理	137
§ 4—15 直流电动机的反电势和起動	139
§ 4—16 电动机的轉矩	141
§ 4—17 直流电动机的轉速及旋轉方向改变	143
§ 4—18 直流电动机的分类	144
§ 4—19 电动发电机	146
第五章 交流电机	150
§ 5—1 感应电动机的構造	150
§ 5—2 旋轉磁場的產生	153
§ 5—3 感应电动机的工作原理	154
§ 5—4 交流发电机介紹	155
第六章 油机	159
§ 6—1 概述	159
§ 6—2 油机的工作过程	160

§ 6—3	曲軸連杆機構.....	164
§ 6—4	汽體分配機構.....	166
§ 6—5	冷卻系統.....	167
§ 6—6	潤滑系統.....	168
§ 6—7	燃料供給系統.....	169
§ 6—8	點火系統.....	172
§ 6—9	調速裝置.....	173
§ 6—10	交二型油機的使用及維護.....	175

电 源 設 备

第一章 三相交流电

在电工学中我們已經研究了單相交流电，但在电源設備中大都采用三相交流电，因为三相交流电便于远距离傳輸，同时由于三相电的采用使交流发电机、电动机和变压器等电气机械，在制造上和結構上都簡單化了，它們的工作性能也被改善了。

大型無綫电的电源多由市电电源供給，而市电都是三相交流电，因此有必要对三相交流电作一番研究。

三相交流电是由頻率相同，而相位相差 $\frac{1}{3}$ 周期的三个交流电势所構成。如果这些电动势的最大值彼此相等，就称它們为对称电动势。

三相交流电的每一电路，簡称为相。

§ 1—1 三相交流發電機

三相交流发电机与單相交流发电机在結構上基本相同。它們的区别仅在于电樞繞組的不同。

圖 1—1 所示，是一个最簡單的三相交流发电机的結構圖。在电磁鉄兩極間，放入一銅制圓柱（电樞）。在柱的表面上，固定着三只同样的繞組（綫圈）。这三只繞組在柱表面的圓周上彼此相互离开 $2\pi/3(120^\circ)$ 。在圓柱表面上的磁力綫与表面相垂直，並且沿圓柱圓周表面作正弦分布。

当电樞以等速旋轉时，各綫圈內就产生頻率相同，振幅相等的感应电动势，只是在相位上互差 $\frac{1}{3}$ 周期。

以第一相电动势 e_A 经过零值向正值上升的一瞬间做为计算的起点, 这样就可以得到

$$e_A = E_m \sin \omega t。$$

第二相的电动势较第一相电动势滞后 $\frac{1}{3}$ 周期, 于是,

$$e_B = E_m \sin \left(\omega t - \frac{2}{3} \pi \right),$$

第三相的电动势较第二相电动势滞后周期, 于是

$$e_C = E_m \sin \left(\omega t - \frac{4}{3} \pi \right)。$$

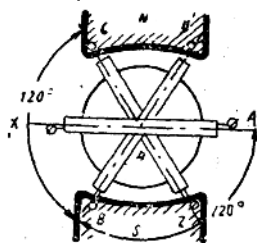


圖1—1 三相交流发电机

圖1—2和1—3所示, 这是三个电动势的曲线圖和矢量圖。

以, A, B, C 表示繞組的起端, X, Y, Z 表示繞組的末端。

发电机电动势的正方向規定由各相的末端指向起端。

三相发电机中每一相都自成为一个独立的电源, 可以各自单独与负载接成一个迴路 (圖1—4), 这样就構成了三相六綫制, 但是这种制度用的导綫太多, 不切实用。实用中三相发电机的三个繞組, 都是接成星形 (用Y作符号) 或三角形 (用 Δ 作符号)。

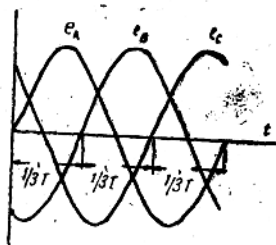


圖1—2 三相发电机电动势曲线

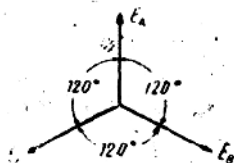


圖1—3 三相发电机电动势矢量圖

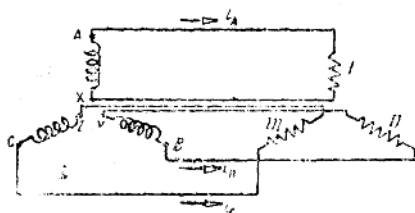


圖1—4 不相关联的三相制

§ 1—2 發電機繞組的星形和三角形連接

發電機繞組接成星形時，是把三個繞組的末端X，Y，Z接在一起。這點稱為發電機的零點或中性點（圖1—5）。

發電機用四根導線與負載相連接，接到繞組三起端A，B，C的三根導線，都稱為端線（或火線）。接到中點的一根稱為中線。

每相起端與末端的電壓，或每根端線與中線間的電壓，稱為相

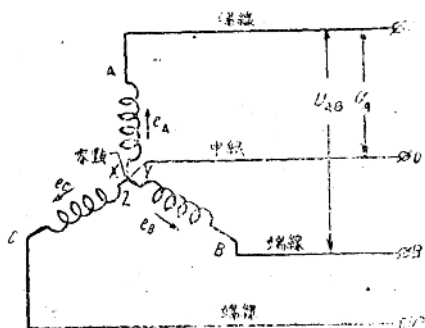


圖1—5 發電機繞組的星形連接

压, 用 U_A , U_B , U_C 或一般的用 U_ϕ 表示, 如果发电机的绕组电压降略去不计, 则可看做相压等于该相的电动势。

两端点间电压或两端线间电压, 称为线压, 用 U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} 或一般的用 U_L 表示。

发电机的绕组作三角形连接时 (图 1—6), 是把第一相的末端 X 与第二相的起端 B 相接, 第二相的末端 Y 与第三相的起端 C 相接及第三相的末端 Z 与第一相的起端 A 相接。由三个接点接出三个端线。显然, 在三角形连接法中是没有中性点的。

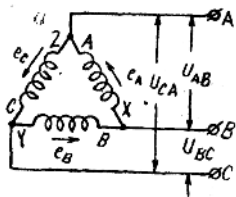


图 1—6 发电机的绕组作三角形连接

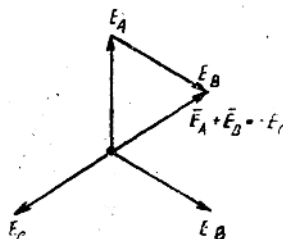


图 1—7 发电机绕组作三角形连接时, 电动势的矢量图

三相发电机作三角形连接时, 三个绕组构成的闭合电路的阻抗是很小的, 显然, 这种接法, 只有这闭合电路内电动势的总和等于零时方可应用。否则, 即使外部无负载, 在闭合电路内也会有相当大的环流, 以致使发电机过度发热。

从图 1—7 中可以看出, 当三相电动势对称时, 电动势的矢量和等于零。

$$\vec{E}_A + \vec{E}_B + \vec{E}_C = 0。$$

发电机绕组接成三角形时, 如果接错了是很危险的。图 1—8 表示可能接错的情况之一把 C 相两端接反了。从图 1—9 中可以看出合成

电动势的矢量是矢量 $\vec{E}_A$, $\vec{E}_B$ 与 $-\vec{E}_C$ 之和, 它等于矢量 $\vec{E}_C$ 的两倍, 即

$$\vec{E}_A + \vec{E}_B - \vec{E}_C = -2\vec{E}_C$$

这时闭合电路内总电动势的绝对值是一相电动势绝对值的两倍。由于闭合电路(发电机绕组)内部阻抗很小, 所以这种情况相当于短路。

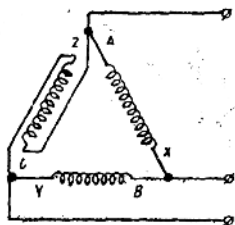


圖1—8 发电机繞組作三角形連接錯誤接法

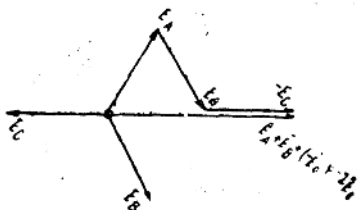


圖1—9 左圖所示发电机的連接之下, 电动势的矢量圖

§ 1—3 发电机的相压和綫压

发电机繞組作星形連接时, 因为第一相的末端不是与第二相的起端相接, 而是与第二相的末端相接, 所以兩端綫A与B之間綫压的瞬时值是兩对应相压之差, 就是:

$$u_{AB} = u_A - u_B$$

同样, 其它兩綫压的瞬时值, 应为

$$u_{BC} = u_B - u_C \text{ 与 } u_{CA} = u_C - u_A$$

因为 u_A , u_B 和 u_C 既然都是正弦波, 而且频率相同, 所以綫压 u_{AB} , u_{BC} 和 u_{CA} 必然也是正弦波, 因此, 綫压的有效值可由下列各

式来决定:

$$\bar{U}_{AB} = \bar{U}_A - \bar{U}_B, \quad \bar{U}_{BC} = \bar{U}_B - \bar{U}_C \text{ 与 } \bar{U}_{CA} = \bar{U}_C - \bar{U}_A。$$

圖1—10所示的矢量圖中的三个矢量 $\bar{U}_A$ 、 $\bar{U}_B$ 和 $\bar{U}_C$ 表示三个相压。由上列矢量方程式可知,如欲求得綫压矢量 $\bar{U}_{AB}$,必須由相压矢量 $\bar{U}_A$ 減相压矢量 $\bar{U}_B$,就是說, $\bar{U}_{AB}$ 應該是 $\bar{U}_A$ 与 $\bar{U}_B$ 的反向矢量之和。

同样, $\bar{U}_{BC}$ 是 $\bar{U}_B$ 与 $\bar{U}_C$ 矢量差, $\bar{U}_{CA}$ 是 $\bar{U}_C$ 与 $\bar{U}_A$ 的矢量差。

任意选择一个相压矢量,例如 $\bar{U}_B$ 由它的末端作一直綫垂直于矢量 $\bar{U}_{BC}$,从直角三角形OHM可以得到:

$$\frac{1}{2} U_L = U \cos 30^\circ = U \phi \sqrt{\frac{3}{2}},$$

由此得 $U_L = \sqrt{3} U \phi。$

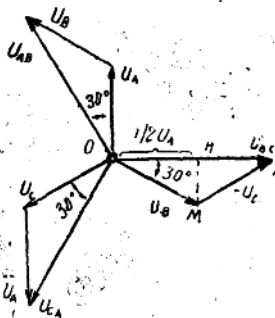


圖1—10 发电机繞組作星形連接时,电压的矢量圖

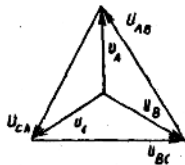


圖1—11 发电机繞組作星形連接时,电压的矢量圖

从矢量圖1—10和公式中得到如下結論: 发电机三相繞組作星形連接时,綫压的有效值是相压有效值的 $\sqrt{3}$ 倍。綫压的相位較相压 $\bar{U}_A$ 超前 30° 。

相鄰兩綫壓間的相位差是 120° ，與兩相鄰的兩相壓間的相位差相同。

必須注意：上述的綫壓和相壓的關係僅適用於對稱的電壓。

因為各綫壓的矢量是由相壓矢量的差決定，把構成星形的相壓矢量端點相連，就會得到綫壓的三角形（圖1—11）。

例題1—1 作星形連接的發電機的相壓是127伏，求綫壓。

解： $U_L = \sqrt{3} U_\phi = 1.73 \times 127 = 220$ 伏。

如果相壓是220伏，那末綫壓。

$$U_L = \sqrt{3} U_\phi = 1.73 \times 220 = 380 \text{ 伏。}$$

發電機繞組作三角形連接時，從圖1—6可以明顯看出，在這種連接下，綫壓等於相壓，就是：

$$U_{AB} = U_A, U_{BC} = U_B, U_{CA} = U_C。$$

§1—4 負載的星形連接和中綫的作用

三相負載同樣可以連接成星形。這種接法可能是四綫制（照明負載）也可能是三綫制，（電力負載）。

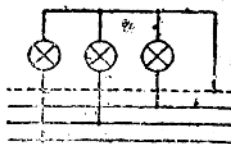


圖1—12 四綫制下電燈的接法

在四綫制中，電燈可接於端綫與中綫之間（圖1—12）。

在四綫制中，負載的工作情況與單相制一樣。由於中綫的存在，每相負載的端電壓等於發電機的對應電壓。

从圖1—12中可以明显看出，每相負載电流（相流）等于端綫上的电流（綫流），就是

$$I_L = I_\phi$$

負載各相的电流求法与單相交流电路相同，就是

$$I_A = \frac{U_A}{Z_A}, I_B = \frac{U_B}{Z_B}, I_C = \frac{U_C}{Z_C}。$$

各相流与相压間的相位差，可由下式决定：

$$\cos \varphi_A = \frac{R_A}{Z_A}, \cos \varphi_B = \frac{R_B}{Z_B}, \cos \varphi_C = \frac{R_C}{Z_C},$$

$$\operatorname{tg} \varphi_A = \frac{X_A}{R_A}, \operatorname{tg} \varphi_B = \frac{X_B}{R_B}, \operatorname{tg} \varphi_C = \frac{X_C}{R_C}。$$

根据克希荷夫第一定律，中綫上电流的瞬时值等于各相电流的瞬时值之和，即

$$i_C = i_A + i_B + i_C。$$

中綫上电流的有效值，等于各相电流有效值的矢量和，即

$$\bar{I}_O = \bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C。$$

例題1—12 作三角形連接的三相发电机的相压 $U_\phi = 125$ 伏，負載各相阻抗是 $Z_A = Z_B = R_A = 12.5$ 欧， $Z_C = R_C = 25$ 欧。則相流：

$$I_A = I_B = \frac{125}{12.5} = 10 \text{ 安}, I_C = \frac{125}{25} = 5 \text{ 安}。$$

圖1—13表示相压和相流的矢量及相流的矢量和。相加的結果，中綫上电流 $I_O = 5$ 安，较 U_A 滞后 60° 。

中綫的截面可以和端綫的截面一样大，也可以比較小一些，因为中綫电流常比端綫电流小。

由于中綫的存在，無論各相的負載大小如何，它們的相压都是保持不变的。这里我們應該注意的是：若各相負載不相等，中綫一旦断开，負載各相的相压將有很大的差別。某些相（阻抗較小）的电压較

正常值为小，而其它相（阻抗较大）的电压较正常值为大，这种情形是不允许的。更危险的是：当中线断开而其中某一相发生短路的时候，则其它两相电压就会增高到正常值的 $\sqrt{3}$ 倍，负载有烧坏的危险。所以，在中线上不能装置保险器与开关。

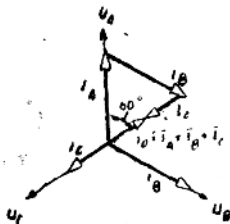


圖1—13 各相負載具有不等电阻时四綫电路的矢量圖

如果三相負載阻抗相同（如电动机），則各相电源成对称关系，此时中綫电流等于零，在这种情况下，中綫显然可以不要，而成为三相三綫制）（圖1—15）。

圖1—14所示，是三相电流的矢量圖。电流矢量 $\vec{I}_A$ 和 $\vec{I}_B$ 相加得到与矢量 $\vec{I}_C$ 相等而相反的矢量，即

$$\vec{I}_A + \vec{I}_B = -\vec{I}_C$$

就是说：三个相流的矢量和等于零 $\vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C = 0$ 。

在对称三相制下，电路的計算与單相电路相同。設負載各相阻抗相同，而作星形連接时。

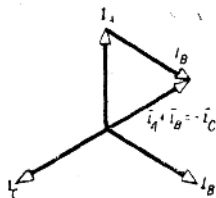


圖1—14 三相电路的对称电流

相压
$$U_\phi = \frac{U_L}{\sqrt{3}},$$

相流

$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\phi}},$$

$$I_L = I_{\phi}.$$

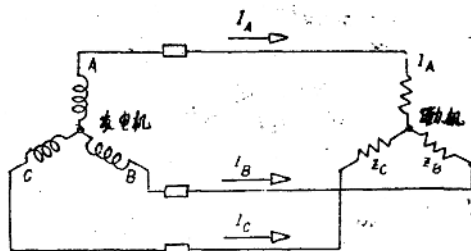


圖1—15 发电机与电动机都作星形连接

相流对相压間相位差的余弦是：

$$\cos \varphi_{\phi} = \frac{R_{\phi}}{Z_{\phi}};$$

它的正弦和正切分別是：

$$\sin \varphi_{\phi} = \frac{X_{\phi}}{Z_{\phi}}; \quad \tan \varphi_{\phi} = \frac{X_{\phi}}{R_{\phi}}.$$

§ 1—5 負載的三角形连接

負載作三角形连接 (圖 1—16) 时，是把各相負載直接接在兩端綫之間，就是說：各相直接接到綫压上，因此，負載的相压就等于綫压，就是

$$U_A = U_{AB}, \quad U_B = U_{BC}, \quad U_C = U_{CA}.$$

在这种情况下，各相压显然与各相負載的阻抗無關，这个問題和

星形連接（無中綫）下的情况不同。

負載相流的正方向可以規定从 A' 到 B' ，从 B' 到 C' ； 和从 C' 到 A' 。綫流的正方向是从发电机到負載。

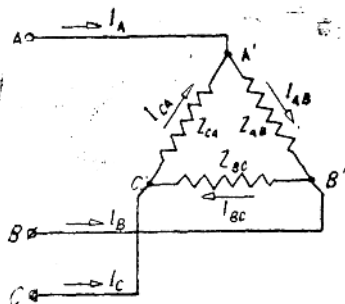


圖1—16 負載的三角形連接

根据克希荷夫第一定律， A' 点上各电流的瞬时值的关系是：

$$i_A + i_{CA} = i_{AB},$$

由此得

$$i_A = i_{AB} - i_{CA},$$

同样 B' 点上的电流

$$i_B = i_{BC} - i_{AB},$$

C' 点上的电流

$$i_C = i_{CA} - i_{BC}.$$

因此，端綫上綫流的瞬时值等于与该端綫相連的兩相上的相流瞬时值的差。

如果換用矢量來說明，則端綫上綫流矢量等于与它相連的兩個相流的矢量差。

圖 1—17 所示，是負載接成三角形时，电压与电流的矢量圖。从圖上也可以得出綫流矢量等于兩相流的矢量差：

$$\vec{I}_A = \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA}, \quad \vec{I}_B = \vec{I}_{BC} - \vec{I}_{AB} \text{ 与 } \vec{I}_C = \vec{I}_{CA} - \vec{I}_{BC}.$$

如果負載是对称的，即

$$Z_{AB}=Z_{BC}=Z_{CA}=Z_{\phi} \text{ 和 } \varphi_{AB}=\varphi_{BC}=\varphi_{CA}=\varphi_{\phi},$$

那末，各相流的有效值相等，各相流与对应相压间的相位差角也相同（圖1—18），此时三个相流的关系是对称的。

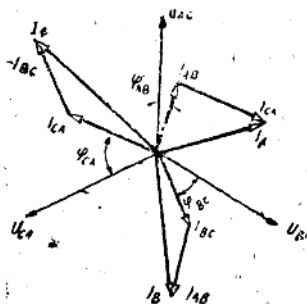


圖1—17 負載作三角形連接時，三相電路的矢量圖

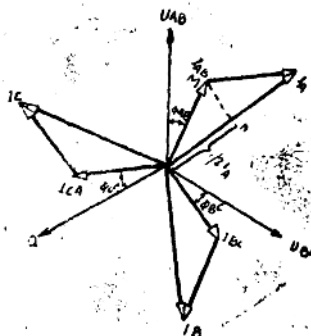


圖1—18 对称三相電流矢量圖

从任一相流矢量，例如 I_{AB} 的末端作一直綫垂直于綫流矢量 I_A 。从直角三角形 OHM 可以得到

$$\frac{1}{2} I_L = I_{\phi} \cos 30^{\circ} = I_{\phi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2},$$

由此得出 $I_L = \sqrt{3} I_{\phi}$ 。

从矢量圖1—18和上述公式得到如下結論：三相負載作三角形連接時，綫流的有效值是相流有效值的 $\sqrt{3}$ 倍，綫流在相位上較它所对应的相流滯后 30° 。

三相对称負載作三角形連接時，三相電路的計算可由一相着手。

在这种情况下：

相压 $U_{\phi} = U_L$