

铁路各职工专业教材

移动式发电机

李錫林 房清峰 王宏謀 編

人民鐵道出版社

铁路职工专业教材

移动式发电机

李锡林 房清峰 王宏谋 编

人民铁道出版社

1964年·北京

本书叙述了交直流发电机工作原理和简单构造。并介绍了几种常用的国产移动式发电机的规格性能、使用与维修，以及一般的故障处理方法。此外还介绍有关电工测量仪表及控制机件的构造、性能和使用方法。

本书可作培养发电机司机之教材，亦可供电机和电工人员参考。

责任编辑 周秋枫

铁路职工专业教材

移动式发电机

李锡林 房清峰 王宏谋 编

人民铁道出版社出版

(北京市霞公府甲24号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 010 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

书号1442 开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张 $3 \frac{3}{4}$ 插页1 字数 80 千

1959年7月第1版

1964年12月第2版第3次印刷

印数 3,000 册〔累〕 9,950 册 定价(科一) 0.30 元

目 录

第一章 发电机原理	1
第一节 概述	1
一、单相交流电	1
二、三相交流电	7
三、交流电的功率计算	12
第二节 直流发电机	16
一、直流发电机的工作原理	16
二、交、直流发电情况的比较	20
三、什么因素决定感应电动势的大小	22
四、直流发电机的构造	24
五、直流发电机的特性及运用	39
第三节 交流发电机	45
一、概述	45
二、交流发电机的构造	47
三、交流发电机三相绕组的理相法	56
四、发电机的定额	58
第二章 移动式发电机	59
第一节 概述	59
第二节 发电机的电工测量仪表与控制机件	60
一、电流表	60
二、电压表	63
三、电力表（瓦特计）	64
四、电度表（瓦特小时计）	65
五、频率表	67
六、互感器	68

七、整流器	69
八、电容器和自耦变压器	71
九、变阻器和电压调节器	71
十、三相电压、电流换相开关	75
十一、闸刀开关	76
十二、热力继电器及无压释放器	79
十三、电磁开关	80
十四、熔断保护装置	81
十五、保护接地与接零	82
第三节 国产移动式发电机	84
一、10千瓦、20千瓦和30千瓦柴油发电机	84
二、40千瓦、48千瓦移动式柴油发电机	91
第三章 发电机的使用与维护	99
第一节 发电机使用的基本规则	99
一、开动前	99
二、工作中	99
三、停車	100
第二节 发电机的维护	101
一、换向器与滑环的维护	101
二、电刷与刷握	102
三、軸承的维护	103
四、电机的絕緣电阻	105
第三节 发电机的故障处理	106
一、同步发电机的故障及其处理方法	106
二、激磁机的故障及其处理方法	108
第四节 三相交流发电机的并车	109
一、并車的条件	109
二、并車的方法	111
三、并車的操作方法	113

第一章 发电机原理

第一节 概 述

现在让我们将发电机的工作原理由浅入深地介绍如下。

一、单相交流电

1. 直流电和交流电

电，按电子流动的情况分为直流电和交流电两种。直流电是电子流动的方向和强弱永远不变的电流。例如蓄电池的电，是由阳极（+）永远流向阴极（-）的。交流电是电子流动的方向和强弱时刻都在变化的电流。例如交流发电机输出的电都是交流。

“电流”是电子的流动，和“水流”是水分子的流动一样。为了更明确的说明“直流电”和“交流电”的意义，现在用水流来作个譬喻。

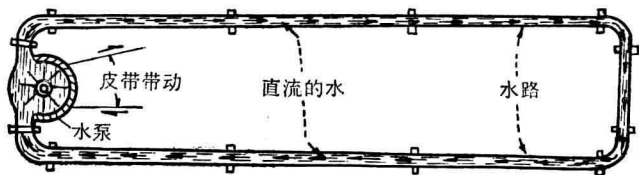


图1—1 相当于直流电路

如图 1—1 所示，水路中的水能够在水管中流动，主要是因为水泵在转动着，产生一个继续向同一方向的压力（相当于直流电压），使水不会向反的方向流动，这就象直流电的性质。

如图 1—2 所示，往复式的水泵就相当于交流发电机，发出交流性质的推动力（相当于交流电压），使水流有规律地在反正方向变化着。所以水管中的水流先往一个方向流，再往反方向流，如此循环的变动，这就象交流电的性质。

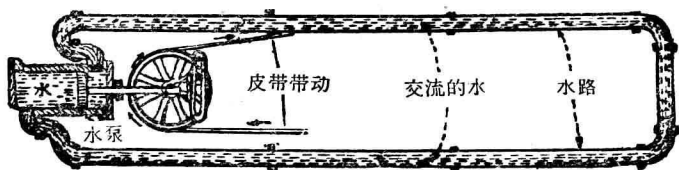


图1—2 相当于交流电路

2. 单相交流电的产生

如以水流作例，如图 1—2 所示，即为普通的单相交流电。这是往复二条电线送出的，如我们常用的电灯电流，就是这种单相交流电。

图 1—3 表示装在鼓形电枢上的导体，沿着顺时针方向在磁场中旋转。我们知道，如果导体本身切割磁力线旋转时，则在导体中产生感应电动势。感应电动势的大小随着下列因素而变：

- (1) 磁场的强弱；
- (2) 导体在磁场中运动的速度；
- (3) 导体的有效长度；
- (4) 导体切割磁力线的角度。

如果磁场的强弱和发电机电枢的转速保持不变，那么，导体的有效长度在电机制造好之后，也是不变的。所以导体中感应电动势的大小，仅由导体切割磁力线的角度来决定了。

如图 1—3 所示，当发电机电枢转动时，在位置 1 的导体并没有切割磁力线，这是因为导体沿着磁力线的方向移

动，就好象沿着它们滑过一样。

导体在位置 2 时，将以锐角的角度切割磁力线，并产生感应电动势，要决定这个感应电动势的方向可用“右手定则”。

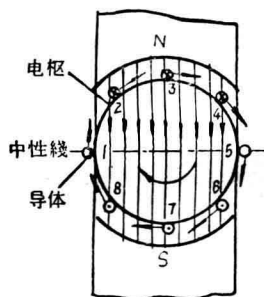


图1—3 交流电的产生

我们可以看到这时电动势的方向是离开我们而向里的。当导体移动到位置 3 时，因为切割的角度等于 90 度，切割的磁力线最多，感应的电动势也最大。电动势的方向仍然是离开我们而向里的。到了位置 4，因为切割的角度变得比 90 度小，导体中的感应电动势又将减小，而方向仍相同。在位置 5 时，

又不切割磁力线，感应电动势变为零。

导体继续向前运动，就受另一极（S 极）的影响，切割磁力线的方向改变了，因而导体中电动势的方向也将与前相反，变为朝向我们（即向外的）。在导体向磁极的中心运动时，导体中的电动势将逐渐增大，而在位置 7 时，感应电动势为最大。跨过位置 7 后，它的电动势又逐渐减小，到达位置 9，也就是原起点的位置 1，电动势又变为零。如此连续的旋转，我们可以看出，在电枢转动一周时，电枢导体中的电动势，先在一个方向上，从零逐渐增到最大值，再从最大值减到零；后半周变换了方向，重新从零增到最大值，再从最大值减小到零。

如果我们把转子的圆周，展开成一水平的直线（见图 1—4），导体中感应电动势的值，可按一定的比例尺在该导体位置的垂直线上绘出。即按导体中电流的方向，分别将离开我们向里流的绘在水平线的上面。由里向外流的绘在水平线的下面。并用垂直线的长短来表示各点电流值的大小。

在位置 1 时，没有感应电动势产生，所以垂直线上绘不出线段。在位置 2 时，导体中有感应电动势，它的方向是离开我们而向里的，所以在水平线的上面，我们划一长短和该时刻所产生的感应电动势数值相等的线段 2—2'。用同样方法，依次划出 3—3'、4—4'、5—5'、6—6'、7—7'、8—8' 和 9。如图 1—4 右面所示的一样。为了说明方便，我们只举出这九个点来，但实际情况导体旋转是连续的，我们将各点用线连起来，就得出一条曲线，这一条起伏波动的曲线，叫做正弦曲线，如图 1—5 所示。

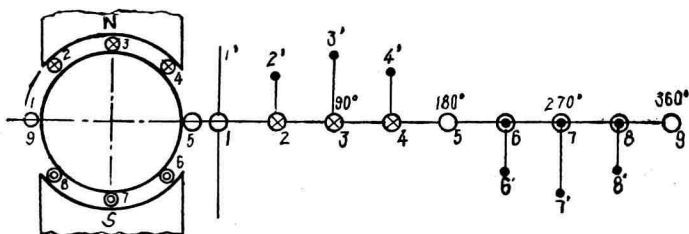


图1—4 交流电的大小和方向的图示法

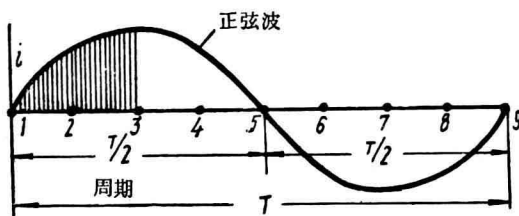


图1—5 交流电的正弦曲线

图 1—6 是表示交流发电机的最简单的装置：一个在磁场中旋转的单圈线圈，线圈的两端分别连接两个彼此绝缘的铜环 1，铜环上装有一对接到外部电路的电刷 2。当线圈的一边 A 在 N 极下切割磁力线时，另一边 B 同时在 S 极下切割

磁力线。根据“右手定则”，我们可以知道，线圈两边感应电动势的方向总是相同的。这样就可以在电刷上引出由交变电动势所推动的交变电流。

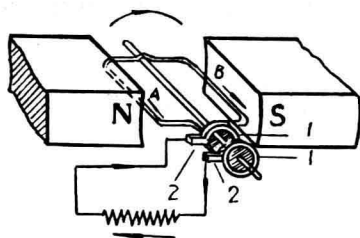


图1—6 最简单的交流发电机：

1——铜环； 2——电刷。

3. 交流电的频率和周期

导体在两极间旋转一整圈，交变电动势（或交流电流）完成一次正负变化，就叫做一周。

在单位时间（秒）内，交流电变动的周数叫做交流电的频率，常用字母 f 来代表，它的单位是赫芝。1 赫芝就是每秒变动一周。有时也用交流的符号 $\sim$ 来代表频率的赫芝数。例如每秒50周的交流电，简写为： $f = 50\sim$ 。

目前我国所用电机设备频率大都是每秒50周。

频率的倒数表示每周所需的时间，叫做周期，用字母 T 来代表，其单位是秒。例如50周/秒的频率，每一个周期就只有 $\frac{1}{50}$ 秒；因此频率与周期的关系如下：

$$\text{周期} = \frac{1}{\text{频率}} \text{ 或 } T = \frac{1}{f}。$$

$$\text{频率} = \frac{1}{\text{周期}} \text{ 或 } f = \frac{1}{T}。$$

〔例〕已知交流发电机的频率为50周/秒，试计算每周所需的时间。

$$\text{〔解〕 } T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0.02 \text{ 秒。}$$

〔例〕已知交流电的周期为0.04秒，试计算它的频率。

$$\text{〔解〕 } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.04} = 25 \text{ 周/秒 (或25赫芝)。}$$

4. 交流发电机频率和转速的关系：

前面所讲的交变电动势，都是只有一对磁极的交流发电机所产生的，转子每旋转一周，导线中产生一个周波的交变电动势，这样交流发电机的转子每秒钟必须旋转50周，才能产生50周/秒的标准频率。

在实用上都以每分钟的转数来说明各种机器的转速，用字母 n 来代表。例如发电机的铭牌上写着 $n = 1500$ ，就是表示转子每分钟旋转1500转。如果发电机的转速是 n 轉/分，那么每秒钟的转速应该是 $n/60$ 。所以对于两极交流发电机来说，频率与转速的关系是：

$$f = \frac{n}{60} \text{ 或 } n = 60f.$$

因此，若两极交流发电机产生每秒50周的标准频率，则发电机转子每分钟的转数应该是：

$$n = 60f = 60 \times 50 = 3,000 \text{ 轉/分}.$$

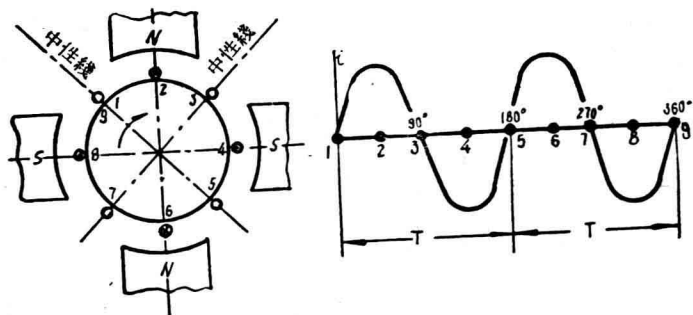


图1—7 四极发电机交变电流的情况

但是，在如图1—7所示的四极发电机中，转子旋转半转就能完成一个周波的变化；转子再旋转半转，又能完成一个周波的变化。这样转子每旋转一转就可以产生两周。在多级发电机中，如果我们以字母 P 来代表交流发电机磁极的对

数，那么交流电的频率应该是每秒钟转数的 P 倍，即：

$$f = \frac{P \times n}{60}。$$

也就是说，对具有 P 对磁极的发电机，电流的频率在每秒转数为 $\frac{n}{60}$ 时，就比两极发电机大了 P 倍。

〔例〕八极发电机的转速为每分钟750转，求交流电的频率。

$$〔解〕 f = \frac{P \times n}{60} = \frac{750 \times 4}{60} = 50 \text{ 赫芝。}$$

如果已知发电机的频率和磁极对数，转速可用下列公式求出：

$$n = \frac{60 f}{P}。$$

〔例〕已知六极交流发电机的频率为50赫芝，求发电机的转速。

$$〔解〕 n = \frac{60 \times 50}{3} = 1,000 \text{ 转/分。}$$

同样，已知交流发电机的频率和转速，也可以算出磁极的对数，即：

$$P = \frac{60 f}{n}。$$

〔例〕已知交流发电机的转速为125转/分，频率为25赫芝，试求发电机的磁极数。

$$〔解〕 P = \frac{60 f}{n} = \frac{60 \times 25}{125} = 12。$$

因此，这个发电机有24个磁极。

二、三相交流电

1. 三相交流电

如图 1—8 所示，各活塞的连杆，装置在曲轴臂互相错开为 120° 的曲轴上，三根细水管的末端接在一起，若将曲轴

转动，则活塞推压或吸引管中的水，水即好象电流在流动，三个水泵好象是一个三相的交流发电机，三根水管好象输送三相电流的三根导线。在三根水管的末端接在一起的部份，好象是三相交流电动机一样。

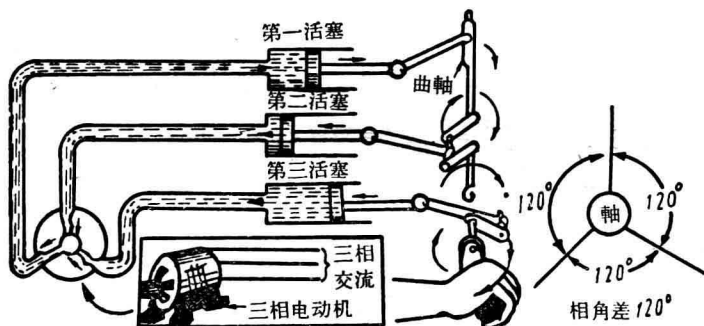


图1—8 三相交流电的譬喻

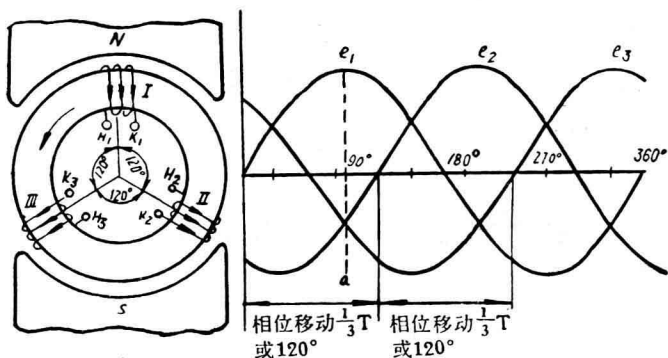


图1—9 三相交流电的产生

2. 三相交流电的产生

如图1—9所示，是一个两极三相交流发电机，在发电机转子上绕着三个圈数相等、彼此相隔 120° 的绕组，字母 H 和 K 表示每个绕组的起点和终点，当电枢旋转时，每一个绕

组就可以产生一个正弦波的感应电动势，象图 1—9 右面曲线所示的一样。

图 1—9 所示的时刻，绕组 I 正处在 N 极的中心线下，所以在它里面感应的电动势为最大。电动势的方向可用右手定则找出（如图 1—9 所示），它的方向是从起点流向终点，习惯上采用正号。在同一时刻，绕组 II 由于位置的关系，使它的感应电动势与绕组 I 滞后 120° （即 $\frac{1}{3}$ 周期）；绕组 III 里面的电动势又比绕组 II 中的电动势滞后 120° （即 $\frac{1}{3}$ 周期）。同时绕组 II 和绕组 III 是处在 S 极的影响下，所以感应电动势的方向是从绕组的终点流向起点，这个方向习惯上采用负号。以上这三个绕组，在同一时间内，一个接一个地产生按正弦波变动的电动势。

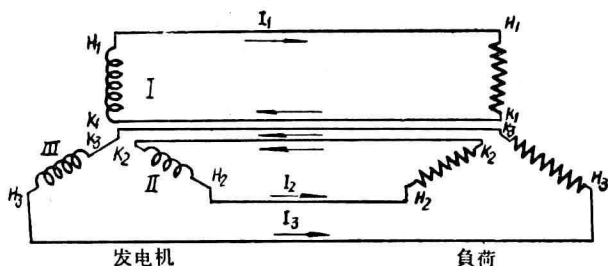


图1—10 各自独立的三相电路

上述交流发电机中的每一相绕组，可以作为一个独立的电源，各用一对导线来接通它的负荷，如图 1—10 所示。这样接法，三相电路中彼此间并没有联系，必须使用三对导线，在实用上很不经济。要是把三相绕组彼此间适当的接通，就可避免上述缺点，其连接方法主要的可分为星形和三角形两种。

3. 星形接法和三角形接法

把三相发电机中三个绕组的终点 (K_1 、 K_2 和 K_3) 接在一起 (这一点常叫做中性点)，让它们的起点和外部电路相接，如图 1—11所示。这种接法叫做星形接法，用字母Y来表示。发电机和负荷间连接的三根线叫做端线。

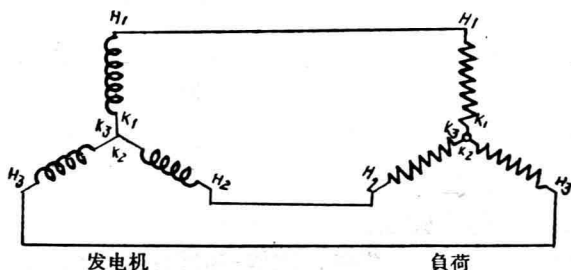


图1—11 三相电路的星形接法

三相发电机为供给单相的负荷，如电灯、单相电动机等，必须把发电机的中性点用线引出，这根线叫做中性线，以作为各单相负荷的公共回线。这样在使用上非常方便，因此在近代的发电机中多采取星形接法。

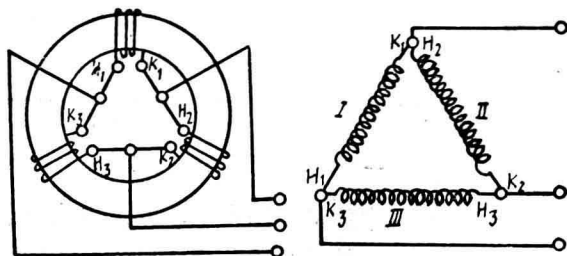


图1—12 三角形接法

三角形接法是把第一相的终点和第二相的起点相接，第二相的终点和第三相的起点相接，第三相的终点与第一相的起点相接，各相间连接点的端线又和外部电路相接，如图 1—12所示。在三角形接法中没有中性点和中性线。三角形接

法常用符号 Δ 来代表。

三角形接法有很多缺点，在近代的发电机中很少采用它了。

4. 星形接法和三角形接法中电压和电流的关系：

平时，我们说电压 380 伏特 50 周/秒的三相交流电，并不是交流发电机每一相绕组所产生的电压是 380 伏特，而是指两根端线间的电压为 380 伏特。如图 1—13 所示，电压表 $V_{\phi 1}$ 的读数表示一相绕组起点和终点间的电压，这叫做相电压。电压表 V_A 的读数表示发电机两根端线间的电压，这叫做线电压。相电压和线电压，分别用字母 V_{ϕ} 和 V_A 来表示。

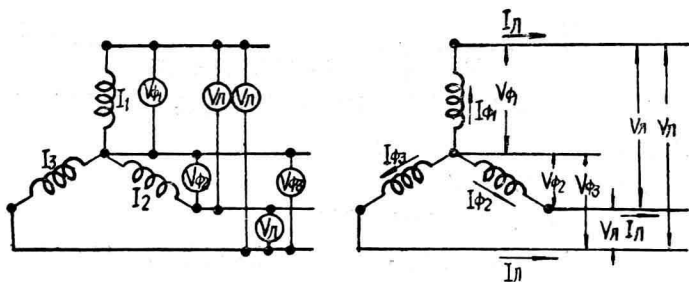


图1—13 星形接法中电流和电压的关系

在星形接法中，线电压 (V_A) 和相电压 (V_{ϕ})、线电流 (I_A) 和相电流 (I_{ϕ}) 的关系如下：

线电压等于相电压的1.73倍，线电流等于相电流。

即：线电压 (V_A) = 1.73 × 相电压 (V_{ϕ})。

$$\text{相电压 } (V_{\phi}) = \frac{\text{线电压 } (V_A)}{1.73}。$$

$$\text{线电流 } (I_A) = \text{相电流 } (I_{\phi})。$$

如图 1—14 所示，发电机的绕组接成三角形，其线电压和相电压、线电流和相电流的关系如下：

线电压等于相电压，线电流等于相电流的1.73倍，
即：

$$\text{线电压 } (V_A) = \text{相电压 } (V_\phi)。$$

$$\text{线电流 } (I_A) = 1.73 \times \text{相电流 } (I_\phi)。$$

$$\text{相电流 } (I_\phi) = \frac{\text{线电流 } (I_A)}{1.73}。$$

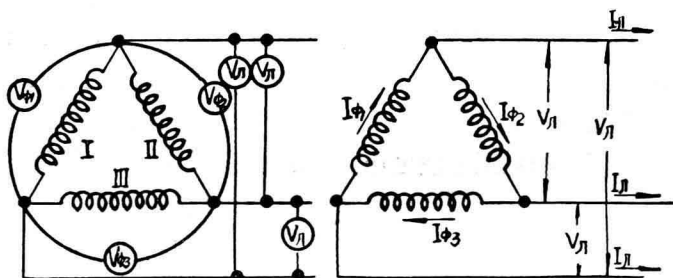


图1-14 三角形接法中电压和电流的关系

〔例〕有一台三相发电机，电枢绕组接成星形，已知相电压为220伏特，问线电压是多少伏特？

$$\text{〔解〕 } V_A = 1.73 \times V_\phi$$

$$= 1.73 \times 220 = 380 \text{ 伏特。}$$

〔例〕有一台三相发电机，电枢绕组接成三角形，已知相电压为220伏特，相电流是60安培，问线电压和线电流各是多少？

$$\text{〔解〕 } V_A = V_\phi = 220 \text{ 伏特。}$$

$$I_A = 1.73 \times I_\phi$$

$$= 1.73 \times 60 = 103.8 \text{ 安培。}$$

三、交流电的功率计算

在电的基本概念中我们讲过直流电的功率，就是电压和电流的乘积，但在交流电中就不一样了。交流电中的电压和电流的乘积叫做视在功率，它的单位是伏安，常用符号 V_A 来代表。1000伏安 = 1千伏安，用 KV_A 来代表。这个功率就等于电压表和电流表两读数的乘积。