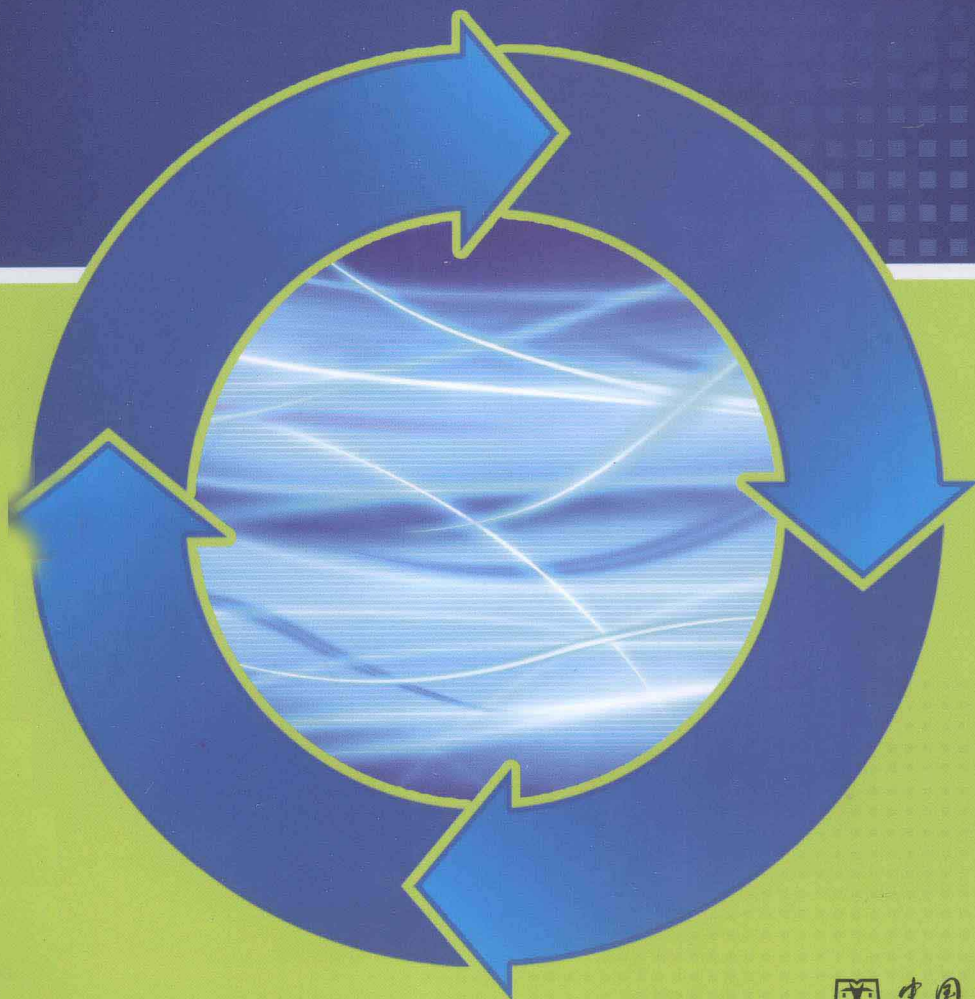


电动机控制技术 入门与应用实例

主编 王君亮



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电动机控制技术 入门与应用实例

主编 王君亮

参编 陈 强 徐鹏煜 刘新宇



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书首先介绍了和电动机控制有着紧密联系的基础知识,然后以这些基础知识为铺垫,详细讲解了现代生产、生活中各种常用的电动机的运行原理、结构分类、维护维修及各种实用的控制电路,主要内容包括电动机控制基础知识、电动机控制常用的低压电器、直流电动机控制技术及维修、单相交流异步电动机控制技术及维修、三相交流异步电动机控制技术及维修、同步电动机控制技术及维修和各种电动机在实际生产中的应用案例。针对每一章节附有翔实的案例,具有很强的现场可操作性及实用性。

本书立足基础、讲究实用,真正做到了深入浅出,图文并茂,既可以作为机电控制技术、电气技术、自动化技术人员的参考书,又可以作为高等院校自动化、机电技术及相近专业的教材,还可以作为各类培训机构的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电动机控制技术入门与应用实例/王君亮主编. —北京:中国电力出版社, 2013.12

ISBN 978-7-5123-4837-0

I. ①电… II. ①王… III. ①电动机-控制电路 IV. ①TM320.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 193351 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 12 月第一版 2013 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13 印张 312 千字

印数 0001—3000 册 定价 28.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

随着我国电网的不断完善和发展,电动机作为一种把电能转换成机械能的重要设备,已经在工农业生产、国防建设、人们的日常生活等各方面都得到了广泛的应用。因此,了解并掌握电动机控制技术,不仅是电动机领域专业人员的需要,而且也是电动机使用者必须掌握的一门技术。只有做到合理使用和正确维护电动机,才能保证生产和生活的正常有序进行。为此,我们根据多年来积累的理论和实践经验,编写了这本书。与其他同类书籍相比,本书的特色如下:

(1) 深入浅出,着重基础。本书在编写上力求做到立足于电动机基础知识,以电动机控制技术为主线,从最基本的电学知识讲起,然后介绍了传统意义上的电动机控制技术,最后自然过渡到现代电动机控制技术,实现了经典控制与现代控制技术的顺利过渡。

(2) 内容丰富,分析详尽。本书对直流电动机、单相异步电动机、三相异步电动机、同步电动机等现代大多数领域的电动机控制技术都进行了详细的分析和阐述,并针对每一种电动机控制都给出了相应的典型应用实例,使读者可以快速全面地掌握电动机控制这门技术。

(3) 图文并茂,讲究实用。本书所涉及的每一个电器元件和每一个控制电路,都有相应的实物图片和电路图。另外,书中给出的大量应用实例均来自生产和维修行业实践,有的实例只需略加改造即可应用于实际生产中,具有很强的现场可操作性及实用性。

本书共七章,第一章主要介绍了电动机控制的基础知识,重点介绍了电学基本知识、电动机的分类和选型及电动机控制常用仪表。第二章介绍了电动机控制常用的低压电器,包括刀开关、接触器、继电器等常用的电动机控制用基本元件。第三章重点介绍了直流电动机控制技术及其维护与维修方法。第四章主要介绍了单相交流异步电动机控制技术,内容包括单相异步电动机的工作原理、结构分类、调速方法及其常见故障维修等内容。第五章讲述了三相交流异步电动机控制技术,并对各种控制方法及其常见故障维修等内容做了详尽的阐述。第六章介绍了同步电动机控制技术及其故障维修等内容。第七章给出了各种电动机在实际生产中的应用案例,每一个案例都给出了详尽的分析过程。

本书由河南省电力公司电力科学研究院的王君亮主编,负责全书的组织、统稿和修改工作,第一章、第五章、第六章和第七章由河南省电力公司电力科学研究院的王君亮编写,第二章、第四章分别由河南省电力公司电力科学研究院的陈强、徐鹏煜编写,第三章由华北水利水电大学的刘新宇编写。

限于作者水平,书中难免存在缺点和不足,衷心地希望广大读者提出宝贵的意见和建议。

作者

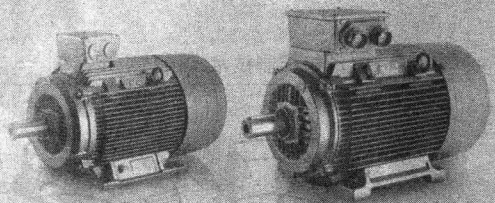
2013年7月

目 录

前言

第一章 电动机控制技术基础	1
第一节 电学基础知识	1
第二节 电动机的分类和选用	6
第三节 电动机控制线路图的绘制	10
第四节 电动机控制常用仪表	22
第二章 电动机控制常用低压电器	40
第一节 概述	40
第二节 接触器	42
第三节 继电器	49
第四节 熔断器	61
第五节 低压断路器和刀开关	63
第六节 主令电器	69
第三章 直流电动机控制技术	76
第一节 直流电动机工作原理	76
第二节 直流电动机的结构与分类	77
第三节 直流电动机控制线路	82
第四节 直流电动机调速	91
第五节 直流电动机维护与保养	102
第四章 单相异步电动机控制技术	106
第一节 单相异步电动机工作原理	106
第二节 单相异步电动机的结构与分类	108
第三节 单相异步电动机的起动控制	110
第四节 单相异步电动机的调速控制	114
第五节 单相异步电动机维修与保养	116

第五章 三相异步电动机控制技术	119
第一节 三相异步电动机工作原理.....	119
第二节 三相异步电动机的结构与分类.....	119
第三节 三相异步电动机控制线路.....	124
第四节 交流异步电动机调速.....	144
第五节 三相异步电动机保养与维修.....	152
第六章 同步电动机控制技术	156
第一节 同步电动机工作原理.....	156
第二节 同步电动机的结构与分类.....	157
第三节 同步电动机的起动控制.....	160
第四节 同步电动机的调速.....	162
第五节 同步电动机的常见故障及维修.....	168
第七章 电动机控制技术应用实例	171
第一节 直流电动机控制应用实例.....	171
第二节 单相交流电动机控制应用实例.....	175
第三节 三相交流电动机控制应用实例.....	180
第四节 同步电动机控制应用实例.....	197



第一章

电动机控制技术基础

第一节 电学基础知识

一、电流的形成及分类

导体中的自由电子，在电场力的作用下而定向移动就形成了电流，习惯上规定正电荷移动的方向为电流的方向。实际上，导体中的正电荷是不会移动的，只有电子才能自由移动，这是因为人们在最初研究电流的时候，由于知识上的局限性，误以为电流是正电荷移动形成的。所以，目前电学中规定的电流的方向是与电子的实际移动相反的方向。

电流根据其随时间的变化情况，可以分为直流电和交流电。直流电在电路中流动时，它的方向不会随时间的变化而变化，而只是朝一个方向流动。与直流电相反，交流电的大小和方向均随时间的变化而变化，这是交流电的基本特征。

二、正弦交流电

如果交流电的大小和方向随时间按正弦函数规律做周期性的变化，我们把这样的交流电称为正弦交流电。

正弦交流电在工农业生产和日常生活中的应用非常普遍，这是由于它比直流电有更多的优点。首先，交流电在产生、输送和使用方面比较简单、直接，如在高压交流输电时，只需利用升压变压器进行升压，就可以实现远距离输电，而高压直流输电则需要较复杂的整流和逆变电力电子装置，降低了输电的经济性，尤其是高压柔性直流输电的成本会更高。其次，交流电的实用对象是已经进入千家万户和各行各业的交流用电设备，覆盖范围极广，如已经被广泛使用的交流电动机，由于其结构简单、价格低廉、运行可靠等优点，它的应用场合要远远大于相应的直流电动机。

（一）正弦交流电的产生

众所周知，我们日常生活中使用的交流电是正弦交流电，但大部分人对于正弦交流电为什么是正弦的问题还不太清楚，下面就这个问题予以解释说明。

图 1-1 所示为交流发电机模型中的矩形线圈在匀强磁场中匀速转动的过程分解图。矩形线圈的两条边分别与随线圈一起转动的两个集电环（又称滑环）相连，集电环通过电刷接电流表，矩形线圈的匀速转动过程可以分为以下 4 个阶段。

（1）当线圈转动到图 1-1（a）位置时，由于线圈平面垂直于磁力线，它的两条边 ab 、 cd 均没切割磁力线，所以线圈中没有感应电动势，也没有感应电流，电流计指示为零。

（2）在线圈从图 1-1（a）的位置匀速转动到图 1-1（b）的过程中，电流计的指针开始

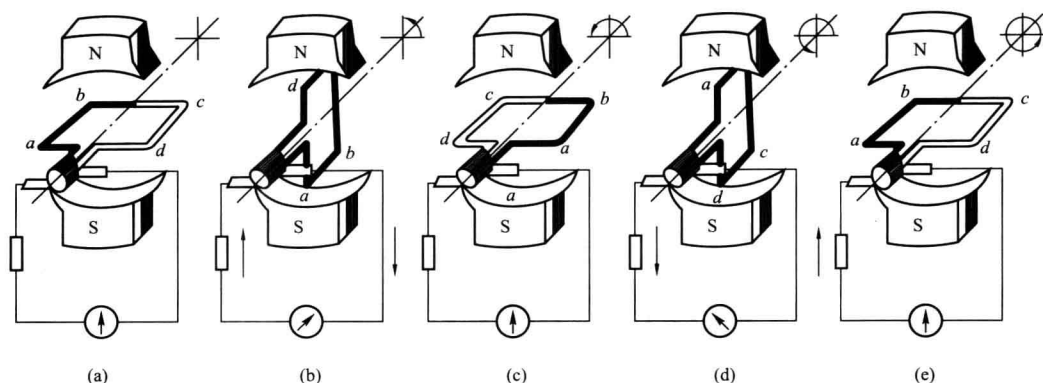


图 1-1 矩形线圈在匀强磁场中匀速转动过程分解图

(a) 线圈平面位于中性面；(b) 线圈平面从中性面逆时针旋转 90° ；(c) 线圈平面从中性面逆时针旋转 180° ；
(d) 线圈平面从中性面逆时针旋转 270° ；(e) 线圈平面重新回到中性面

向右偏转，当线圈转动到图 1-1 (a) 位置时，线圈平面与磁力线平行，它的两条边 ab 、 cd 垂直均垂直切割磁力线，此时感应电动势最大，电流计指示为正的最大值。

(3) 在线圈从图 1-1 (b) 的位置匀速转动到图 1-1 (c) 的过程中，电流计的指针又开始向左偏转，当线圈转动到图 1-1 (c) 位置时，线圈平面与磁力线平行，它的两条边 ab 、 cd 垂直均没切割磁力线，所以线圈中没有感应电动势，也没有感应电流，电流计指示从正的最大值变为零。

(4) 在线圈从图 1-1 (c) 的位置匀速转动到图 1-1 (d) 的过程中，电流计的指针开始向左偏转，当线圈转动到图 1-1 (d) 位置时，线圈平面与磁力线平行，它的两条边 ab 、 cd 垂直均垂直切割磁力线，此时感应电动势最大，电流计指示为负的最大值。

(5) 在线圈从图 1-1 (d) 的位置匀速转动到图 1-1 (e) 的过程中，电流计的指针又开始向右偏转，当线圈转动到图 1-1 (e) 位置时，线圈平面与磁力线平行，它的两条边 ab 、 cd 垂直均没切割磁力线，所以线圈中没有感应电动势，也没有感应电流，电流计指示从负的最大值变为零。

重复做以上矩形线圈在匀强磁场中转动的 4 个过程发现，矩形线圈每转一圈，电流计的

指针就左右偏转一次，这说明了矩形线圈在转动的过程中产生感应电流，且电流的方向和大小都随时间做周期性的变化。因此，线圈在转动的过程中产生的感应电流就是交流电。

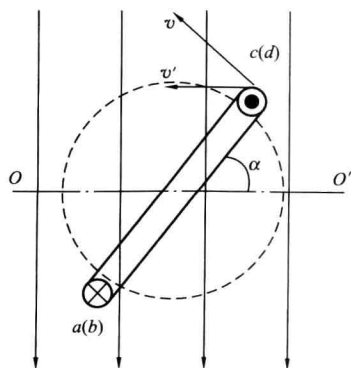


图 1-2 矩形线圈运动的截面图

图 1-2 所示为矩形线圈运动的截面图，设在起始时刻，线圈平面与中性面 OO' 的夹角为 φ_0 ，则 t 时刻线圈平面与中性面 OO' 的夹角为 $\alpha = \omega t + \varphi_0$ ，由几何知识可以证明， cd 边运动速度 v 与磁感线方向的夹角也是 $\alpha = \omega t + \varphi_0$ ，若 cd 边长度为 L ，磁场的磁感应强度为 B ，则 cd 边由于做切割磁感线运动而产生的感应电动势为

$$e_{cd} = BLv \sin \alpha = BLv \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (1-1)$$

同理, 由于 ab 边做切割磁感线运动而产生的感应电动势为

$$e_{ab} = BLv \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (1-2)$$

整个线圈做切割磁感线运动而产生的感应电动势为

$$e = e_{ab} + e_{cd} = 2BLv \sin(\omega t + \varphi_0) = E_m \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (1-3)$$

式中: $E_m = 2BLv$ 是感应电动势的最大值。

这里同理可以写出正弦交流电的瞬时电压和瞬时电流为

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (1-4)$$

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (1-5)$$

由式 (1-3) 可以看出, 发电机产生的感应电动势是按正弦规律变化, 它向外电路输送的电是正弦交流电, 正弦交流电波形图如图 1-3 所示。

(二) 正弦交流电的三要素

对于正弦交流电, 若已知它的振幅、角频率、初相位, 则这个正弦交流电就可以完全确定下来, 它的任何瞬时的大小和方向都可以求出, 所以电学上把振幅、角频率、初相位称作正弦交流电的三要素。它们的含义是: 振幅反映正弦交流电的强弱; 角频率反映正弦交流电随时间变化的快慢; 相位反映正弦交流电的状态和变化趋势。

1. 振幅 (最大值)

振幅是正弦交流电在一个周期中变化的最大值, 它反映了正弦交流电的强弱。式 (1-3)~式 (1-5) 中的 E_m 、 U_m 和 I_m 分别是感应电动势 e 、瞬时电压 u 和瞬时电流 i 的振幅。

2. 角频率 (频率或周期)

角频率是指正弦交流电每秒变化的电角度, 用字母 ω 来表示, 单位是弧度/秒 (rad/s)。在交流电解析式 (1-3) 中, ω 是线圈转动的角速度。

频率是指正弦交流电在单位时间完成的周期性变化的次数, 用字母 f 表示, 单位是赫兹 (Hz)。频率与周期是互为倒数关系, 即

$$T = \frac{1}{f} \quad (1-6)$$

我国采用的“工频”正弦交流电, 其频率为 50Hz。世界其他国家采用的正弦交流电频率并不相同, 具体的规定可以查阅相关资料。

周期是指正弦交流电完成一次周期性变化所需的时间, 用字母 T 表示, 单位是秒 (s)。在图 1-3 中, 横坐标轴上 t_1 到 t_2 这段时间就是一个周期 T 。

角频率、频率和周期的关系为

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (1-7)$$

3. 初相位

在图 1-2 中, t 时刻线圈平面与中性面的夹角为 $\omega t + \varphi_0$, 叫作交流电的相位。当 $t=0$

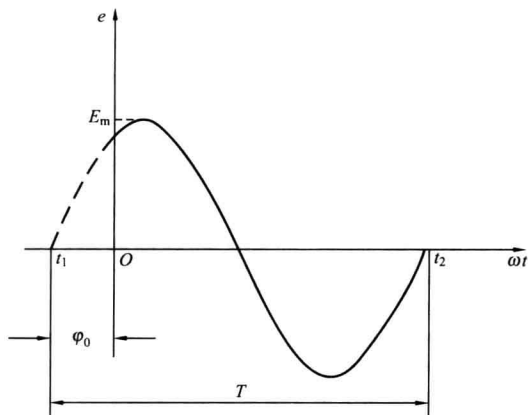


图 1-3 正弦交流电波形

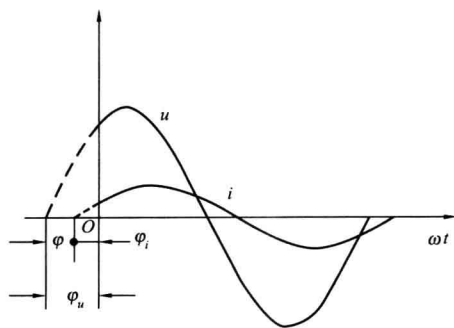


图 1-4 同频正弦量之间的相位关系

相位差是一个和时间无关的常数，在正弦量变化过程中的任一时刻都保持不变，它表明了两个正弦量之间在时间上的超前或滞后关系。图 1-4 所示的相位差 φ 表明了电压 u 超前电流 i 的角度。常见正弦量之间的相位关系见表 1-1。

表 1-1 常见正弦量之间的相位关系

$\varphi = \varphi_u - \varphi_i$	关系描述	$\varphi = \varphi_u - \varphi_i$	关系描述
$\varphi < 0$	u 滞后 i	$\varphi = \pi/2$	u 与 i 正交
$\varphi = 0$	u 与 i 同相	$\varphi = \pi$	u 与 i 反相
$\varphi > 0$	u 超前 i		

4. 正弦交流电的有效值

正弦交流电的大小和方向随时间的变化而周期性变化，为了方便研究，在电学中引入了有效值的概念。正弦交流电的有效值是从能量角度进行定义的，让直流电流与交流电流分别通过阻值相等的电阻，如果在相同的时间内，它们在电阻 R 上产生的热量相等，那么这个直流电的数值就叫作该交流电的有效值。

正弦交流电的电压、电流、电动势的有效值，通常分别用大写字母 U 、 I 、 E 来表示。我们平时看到的各种交流设备铭牌上的额定电压或额定电流，通常所说的交流电的电流、电压、电动势等数值，如果不作特殊说明，均指有效值。

理论和实验都可以证明，正弦交流电的最大值和有效值满足以下关系

$$\begin{cases} I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707I_m \\ U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707U_m \\ E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0.707E_m \end{cases} \quad (1-9)$$

(三) 三相交流电

目前，三相交流电在工农业生产和日常生活中得到了普遍应用。与单相交流电相比，三相交流电具有以下优势。

- (1) 三相电动机结构简单，价格低廉，性能良好。
- (2) 采用三相制输电和配电，在相同条件下比单相输电节约线材，经济性好。
- (3) 三相制输电和配电方式灵活，取三相中任意一相就可以作为单相用电设备的电源。

(4) 对于单相交流电而言,在发电机的磁场里转动的线圈只有一个,因此也只能产生一个交变电动势。为了同时产生三个交变电动势,可以在磁场里放置三个互成角度的线圈,当它们同时转动时,电路里就可以产生三个交变电动势,称之为三相交流电。三相交流发电机原理示意图如图 1-5 所示,在三相交流电动机的定子上嵌放有 U1U2、V1V2、W1W2 三个相同的绕组,始端是 U1、V1、W1,末端是 U2、V2、W2,三个绕组在排放位置上互成 120° 。在发电机转子上安放有励磁绕组,当转子匀速转动时,U1U2、V1V2、W1W2 绕组中分别产生同样的感生电动势,从而形成对称三相电源,如图 1-6 所示。

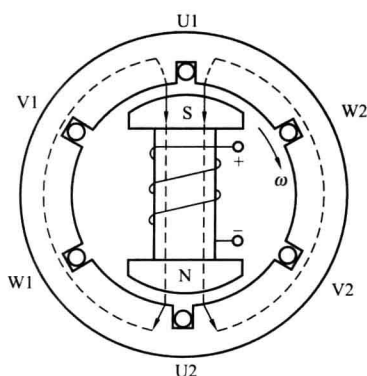


图 1-5 三相交流发电机原理示意图

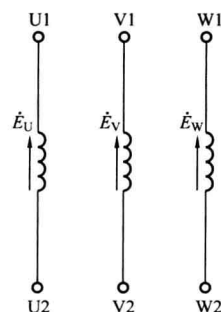


图 1-6 三相电源

由于三个线圈是相同的,它们发出的三个电动势的最大值和频率都相同。但由于三个绕组的安放位置互成 120° ,所以三个电动势的相位互差 120° 。三相电动势的波形图和相量图如图 1-7 所示。

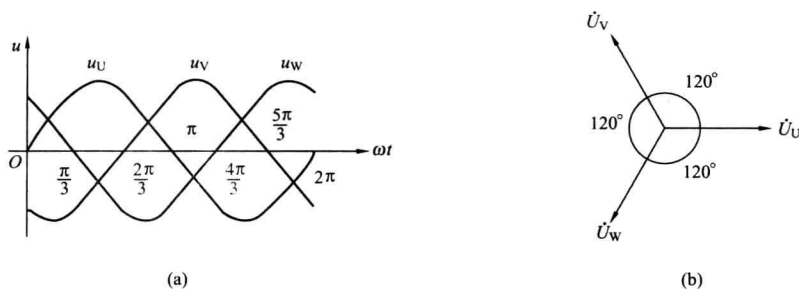


图 1-7 三相对称电压的波形图和相量图

(a) 波形图; (b) 相量图

1. 三相对称交流电的表示方法

三相交流电的表示方法通常有以下三种。

(1) 三角函数表示法。三相对称交流电瞬时电动势的数学表达式为

$$\begin{aligned} u_U(t) &= E_m \sin \omega t \\ u_V(t) &= E_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ u_W(t) &= E_m \sin(\omega t + 120^\circ) \end{aligned}$$

式中: $E_m = \sqrt{2}U$, U 表示相电压。

(2) 波形图法。对称三相交流电的波形图如图 1-7 (a) 所示。

(3) 相量图法。对称三相交流电的波形图如图 1-7 (b) 所示。

2. 三相对称交流电的相序

所谓相序,是指对称三相交流电在变化过程中到达正的或负的最大值(或零值)的先后次序。习惯上,选用 U 相交流电作参考, V 相和 W 相依次滞后 U 相 120° ,这样它们的相序排列为 U、V、W,称为正序;如果把相序排列 U、V、W 的任意两相对调,则称为负序。

3. 三相对称交流电源的连接方法

(1) 三相电源的星形连接。将电源的三相绕组的末端连在一起,从三个首端 U、V、W 分别用导线引出向外供电,这种接线方式叫作电源的星形连接方式,或称为 Y 连接,如图 1-8 (a) 所示。三个绕组的首端引出的线称为相线,又称火线。三个绕组末端连在一起的公共点叫作电源的中性点,如果从中性点引出一根导线,叫作中性线或零线。对称三相电源星形连接时,线电压是相电压的 $\sqrt{3}$ 倍,且线电压相位超前相电压 30° 。

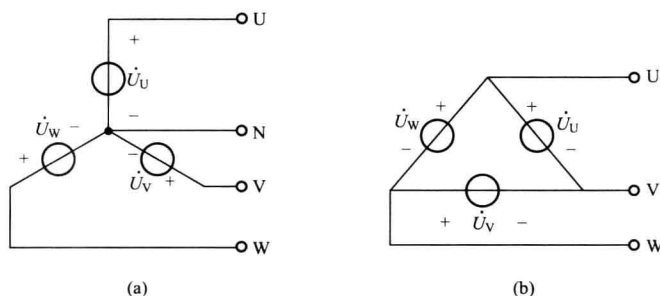


图 1-8 三相电源的连接方式

(a) 星形连接; (b) 三角形连接

(2) 三相电源的三角形连接。将三相电源的三个绕组首尾依次相连接构成一个封闭的三角形,再从首端 U、V、W 引出导线向外供电,这种接线方式叫作电源的三角形连接,或称为 Δ 连接,如图 1-8 (b) 所示。三角形相连接时每相绕组的电压等于线电压。

第二节 电动机的分类和选用

一、电动机的分类

(一) 按工作电源分类

根据电动机工作时使用的电源种类,可分为直流电动机和交流电动机。

(二) 按结构及工作原理分类

直流电动机按结构及工作原理可分为无刷直流电动机和有刷直流电动机。有刷直流电动机可分为永磁直流电动机和电磁直流电动机。永磁直流电动机又分为稀土永磁直流电动机、铁氧体永磁直流电动机和铝镍钴永磁直流电动机。电磁直流电动机又分为串励直流电动机、并励直流电动机、他励直流电动机和复励直流电动机。

交流电动机按结构及工作原理可分为同步电动机和异步电动机。同步电动机又可分为永磁同步电动机、磁阻同步电动机和磁滞同步电动机,异步电动机可分为单相异步电动机和三

相异步电动机，三相异步电动机又可以分为三相笼型异步电动机和三相绕线式异步电动机。

（三）按功率大小分类

电动机按功率大小可分为超大功率电动机、大功率电动机、中小电动机和小功率电动机。

（四）按用途分类

电动机按用途可分为驱动用电动机和控制用电动机。驱动用电动机又分为电动工具用电动机、家电用电动机及其他机械设备用电动机。控制用电动机又分为步进电动机和伺服电动机等。

（五）按电动机的转子结构分类

电动机按转子的结构可分为笼型感应电动机（旧标准称为鼠笼型异步电动机）和绕线转子感应电动机（旧标准称为绕线型异步电动机）。

（六）按电动机运转速度分类

电动机按运转速度可分为高速电动机、低速电动机、恒速电动机、调速电动机。低速电动机又分为齿轮减速电动机、电磁减速电动机、力矩电动机和爪极同步电动机等。调速电动机除可分为有级恒速电动机、无级恒速电动机、有级变速电动机和无极变速电动机外，还可分为电磁调速电动机、直流调速电动机、PWM 变频调速电动机和开关磁阻调速电动机。

二、电动机的选用

（一）电动机选择的一般原则

因为电动机种类很多且应用领域非常广泛，所以在选择电动机时，应遵循以下原则。

（1）选择的电动机在结构上应与其所处的工作环境相适应，如根据使用场合的环境条件选用相应的防护方式及冷却方式的电动机。

（2）选择的电动机应满足实际生产所提出的各种要求，如电动机的起动时间、制动时间、速度的调节以及速度的稳定性等。

（3）选择的电动机功率要合适，防止出现“大马拉小车”或者“小马拉大车”的极端情况，使电动机在高效率、低损耗状态下可靠运行。

（4）选择的电动机的可靠性要高且便于维护。

（5）选择电动机的零部件时，尽量选择标准电动机产品。

（6）选择的电动机生产厂商的售后服务要好，尽量选择一些生产规模较大的且信誉度高的电动机生产厂家。

（二）电动机选择的主要步骤

（1）首先要确定电动机的种类。电动机的种类很多，要根据生产机械性能的要求，选择合适的电动机类型。

（2）在确定了电动机类型后，接下来要确定电动机的功率。所需功率要根据生产机械实际需要，通过计算使设备需求的功率与被选电动机的功率相接近。

（3）选择电动机的结构和防护型式。要根据电动机和生产机械安装的位置和场所环境，参考相应的国家规范及行业标准，最后确定电动机的结构和防护型式。

（4）选择电动机额定电压。要根据生产现场电源的情况，选择合适的电动机控制电压。

（5）选择电动机额定转速及转速调节方式。要根据生产机械对转速的要求，来确定最高和最低转速以及是否需要调速。

（6）根据以上 5 步，结合生产方提供的产品目录，最终选定一台合适的电动机。

(三) 电动机工作方式的选择

电动机有以下三种工作方式或称工作制供用户选择使用。

1. 连续工作制

连续工作制是指电动机带额定负载运行时,连续运行时间很长的工作方式。其特点是:电动机连续工作时间长,可达几小时甚至几十小时。连续工作制的电动机使用很广泛,一般在铭牌上标注 S_1 或不标明工作制。属于此类工作制的生产机械有泵类负载、造纸机、通风机、机床主轴等。

2. 短时工作制

短时工作制是指电动机带额定负载运行时,运行时间很短,停机时间很长的工作方式。短时工作制的电动机在铭牌上标注 S_2 ,我国的短时工作制电动机的运行时间有 15、30、60、90min 4 种定额。属于此类工作制的生产机械有机床的辅助运动,如水库闸门的起闭机械等。

3. 断续周期工作制

断续周期工作制又称周期断续工作制,是指电动机带额定负载运行时,工作时间很短,停止时间也很短,工作周期小于 10min 的工作方式。属于此类工作制的生产机械有电梯、起重机、轧钢机械等。

(四) 电动机种类的选择

选择电动机种类应在满足生产机械对电动机控制系统的调速性能指标、稳速性能指标以及加、减速性能指标要求的前提下,优先考虑结构简单、运行可靠、维护方便、价格便宜的电动机。在进行电动机种类选择时应考虑以下几个方面。

(1) 电动机的机械特性应与所拖动生产机械的机械特性相匹配。

(2) 电动机的调速性能应该满足生产机械的要求。对调速性能的要求在很大程度上决定了电动机的种类、调速方法以及相应的控制方法。例如,对调速、起动性能要求不高的一般生产机械中,如机床、水泵、通风机、家用电器等,应优先采用笼型异步电动机。而在要求有级调速的生产机械,如某些机床,可采用双速、三速或四速等多速笼型异步电动机。

(3) 电动机的起动性能应满足生产机械对电动机起动性能的要求,电动机的起动性能主要是起动转矩的大小,同时还应注意电网容量对电动机起动电流的限制。例如,由于绕线式异步电动机可通过转子回路做到限制起动电流,提高起、制动转矩,实现一定的调速功能。因此,在起、制动频繁且起动转矩较大,并要求有一定调速的生产机械,如起重机、提升机等,可采用绕线式异步电动机。

(4) 在满足性能要求的前提下应优先采用交流电动机,以节约成本,提高生产效率。例如,三相笼型异步电动机具有结构简单、运行可靠、维修方便和价格便宜等特点,并且它采用的动力电源是很普遍的三相交流电源。因此广泛应用于国民经济和日常生活的各个领域,是生产量最大、应用面最广的电动机。

(5) 电动机及其相关设备的效率要高,耗电量小。例如,同步电动机在运行时,可以对电网进行无功补偿,提高功率因数。当生产机械的功率较大而要求改善功率因数并且要求速度恒定的场合,如球磨机、破碎机、矿用通风机、空气压缩机等,可采用同步电动机。

目前,各种形式的异步电动机在我国应用非常广泛,用电量约占总发电量的 60%,因此提高异步电动机运行效率所产生的经济效益和社会效益是巨大的。在选用电动机时,以上几个方面都应考虑到并进行综合分析以确定出最终方案。

（五）电动机结构型式的选择

选择电动机结构型式时，要根据生产机械的周围环境条件来确定。

电动机常用的结构型式有：开启式、防护式、封闭式、防爆式。

（1）开启式电动机，在定子两侧与端盖上都有很大的通风口，这种电动机价格便宜、散热条件好，但在构造上无特殊防护装置，容易进灰尘、水滴、铁屑等，只能在清洁、干燥的环境中使用。

（2）防护式电动机在机壳或端盖下面有通风罩，散热好。也有将外壳做成挡板状，以防止在一定角度内水滴、铁屑等落入电动机内，但不能防止灰尘和潮气侵入。所以，这种类型的电动机一般在比较干燥、灰尘不多、较清洁的环境中使用。

（3）封闭式电动机有自扇冷式、他扇冷式和密闭式三种。前两种型式的电动机是机座及端盖上均无通风孔，外部空气不能进入电动机内部。可用在潮湿、有腐蚀性气体、灰尘多、易受风雨侵蚀等较恶劣的环境中。密闭式电动机，外部的气体、液体都不能进入电动机内部。一般用于在液体中工作的机械，如潜水泵电动机等。

（4）防爆式电动机机体严密封闭，用于有爆炸性气体的场所，如油库、煤气站、加油站及矿井等场所。

（六）电动机额定电压的选择

在选择电动机的额定电压时，要根据电动机类型、功率以及使用地点的电源电压来决定。

对于异步电动机而言，中小型电动机都是低压的，额定电压有 380/220V（Y/△连接）、220/380V（△/Y连接）、380/660 V（△/Y连接）三种。

大型异步电动机一般都是高压电动机，其额定电压为 3000、6000、10 000V。

具体选择时，当电动机额定功率 $P_N \leq 100\text{kW}$ ，选用 380V； $P_N \leq 200\text{kW}$ ，选用 380V 或 3000V； $P_N \geq 200\text{kW}$ ，选用 6000V； $P_N > 1000\text{kW}$ ，选用 10kV。

对直流电动机而言，其额定电压通常为 110、220、440V，大功率的直流电动机额定电压可达 600、800V，甚至 1000V。当直流电动机由晶闸管整流电源供电时，则应根据不同的整流形式选取相应的电压等级。

（七）电动机额定转速的选择

电动机额定转速的选择要根据生产机械的要求而定。就电动机本身而言，额定功率相同的电动机，额定转速越高，电动机的体积越小，质量和成本也就越低，因此选用高速电动机比较经济。但由于生产机械对转速有一定的要求，电动机转速越高，传动机构的传动比就越大，导致传动机构复杂，传动效率降低。所以选择电动机的额定转速时，要兼顾电动机和传动机构两方面来考虑。

（八）电动机额定功率的选择

合理选择电动机的额定功率是运行安全性和经济性的可靠保证，所选电动机的额定功率是由生产机械所需的功率确定的。

1. 连续工作制电动机额定功率的选择

连续工作制电动机的负载可分成两大类：恒定负载和周期性变化负载。

（1）恒定负载下电动机额定功率的选择。这类生产机械电动机功率的选择较为简单，先算出生产机械的功率，所选电动机的额定功率稍大于或等于生产机械功率，即 $P_N \geq P$ 。

(2) 周期性变化负载下电动机额定功率的选择。电动机在变动负载下运行，其输出的功率不断地变化，电动机内部的损耗及温升也在不断地变化。在这种情况下，如按最大负载功率选择电动机功率，电动机将不能被充分利用；而按最小负载功率选择电动机功率，电动机要过载，会引起电动机温升过高。因此，周期性变化负载下电动机额定功率的选择要复杂些，通常根据生产机械负载的变化规律（负载图）求出等效的恒定负载，然后选择电动机。

2. 短时工作制下电动机功率的选择

选择短时工作制下电动机功率时，通常是根据过载系数 λ 来确定短时运行电动机的功率的。这是由于电动机的发热惯性，在短时运行时可以容许过载。工作时间越短，过载可以越大，但电动机的过载是受限制的。具体选择原则是电动机的额定功率为生产机械所要求功率的 $1/\lambda$ ，即 $P_N \geq P/\lambda$ 。

对于短时工作制的负载，应选用专用的短时工作制电动机。当然，在没有专用电动机的情况下，也可以用连续工作制的电动机来代替。

第三节 电动机控制线路图的绘制

一、电气图图纸的选用原则

在绘制电动机控制线路图前，应根据系统电路图的规模和复杂程度以及图线的密集程度选用合适的图纸。电气图纸一般由边框线、图框线、标题栏、会签栏组成。

(一) 图纸幅面的选择

电气图根据幅面尺寸可分为 5 类，这 5 类幅面工程中称之为基本幅面。为了图纸的规范和统一，在选择电气图纸时，应优先考虑选用基本幅面。电气工程图幅面代号和幅面尺寸见表 1-2。

表 1-2 电气图纸的幅面尺寸及代号 mm

幅面代号	A0	A1	A2	A3	A4
$B \times L$ (宽 $\times$ 长)	841 $\times$ 1189	594 $\times$ 841	420 $\times$ 594	297 $\times$ 420	210 $\times$ 297
a (装订册变宽)	25				
c (留装订边的边宽)	10			5	
e (不留装订边的边宽)	20		10		

从表 1-2 可以看出，A0 幅面的长基本是 A1 幅面宽的 2 倍，A0 幅面的宽度恰好等于 A1 幅面的长度，所以，若将 A0 幅面沿其长对折，可以将其分为 2 张 A1 幅面。其他各种幅面的尺寸关系可以依此类推。

绘制技术图样时，若要加长图纸的幅面，可按表 1-3 的规定尺寸来选择。

表 1-3 加长电气图纸的幅面尺寸 mm

幅面代号	尺寸	幅面代号	尺寸
A3 $\times$ 3	420 $\times$ 891	A4 $\times$ 4	297 $\times$ 841
A3 $\times$ 4	420 $\times$ 1189	A4 $\times$ 5	297 $\times$ 1051
A4 $\times$ 3	297 $\times$ 630		

(二) 图框格式的选择

电气图的边框格式有不留装订边线和留装订边线两种，其周边尺寸按表 1-2 中的规定选取，一般采用 A3 幅面横装。留有装订边线的图框格式如图 1-9 所示，不留装订边线的图框格式如图 1-10 所示。

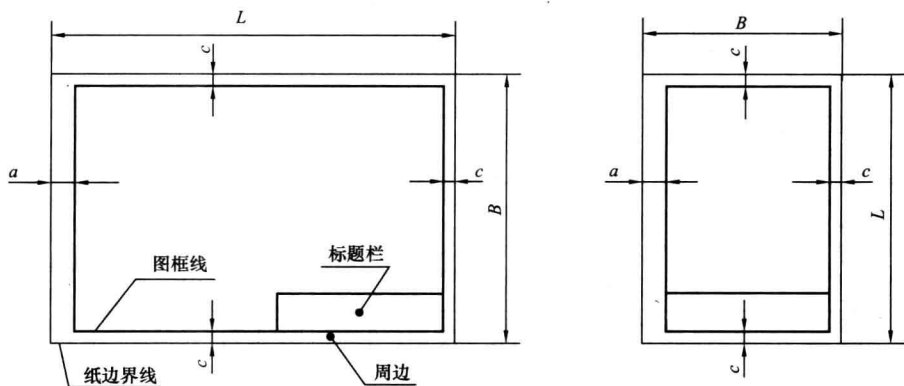


图 1-9 留有装订边线的图框格式

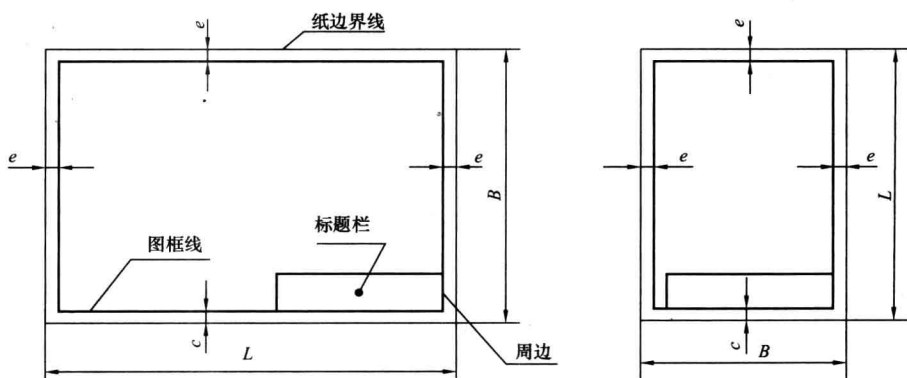


图 1-10 不留装订边线的图框格式

(三) 图幅的分区

图幅分区是指用细线在图纸周边内画出的区域，其主要目的是便于读图者在一张整个图样中方便、准确、快捷地找到所需要信息。常用的分区方法如图 1-11 所示。

从图 1-11 可以看出，竖边方向从上到下用大写拉丁字母，横边方向从左到右用阿拉伯数字，编号的顺序从标题栏相对的左上角开始，图幅分区数应为偶数。每个分区的长度不大于 75mm，不小于 25mm。当分区数超过拉丁字母总数时，超过的各区可用双重字母依次编写。例如，AA、BB、CC 等。分

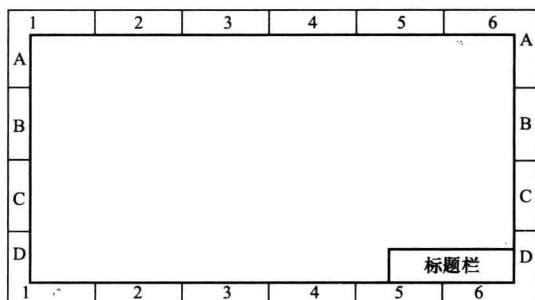


图 1-11 图幅的分区