

邮电中等专业学校试用教材

电机

石家庄邮电学校编

人民邮电出版社



内 容 提 要

本书系统地介绍了变压器、直流电机、异步电机、同步电机以及特殊电机的基本结构、工作原理和运行特性等基本理论知识。同时也介绍了这些设备的正确使用、调整测试、维护保养和故障分析处理等实际操作知识。

本书为邮电中等专业学校通信电源专业试用教材,也可供从事电源设备维护工作的工人、技术人员自学参考。

邮电中等专业学校试用教材

电 机

石家庄邮电学校 编

责任编辑:杜士选

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

天津新华印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本: 787×1092 1/32 1983年7月 第一版

印张: 10 16/32 页数: 168 1983年7月天津第一次印刷

字数: 238千字 印数: 1-8,000册

统一书号: 15045·总2720-有5295

定价: 0.85元

前 言

本书是邮电中等专业学校教学用书。为适应邮电教育事业发展的需要,1978年以来,我们组织了部分邮电学校分工编写了微波、载波、市内电话、线路、电报、电源、综合电信和邮政机械等八个专业所用的专业基础课和专业课教学用书,有些已经出版,有些将陆续出版,以满足各邮电中等专业学校教学的需要。

编写教材,是提高教学质量的关键。我们组织编写本教材时,力求以马列主义、毛泽东思想为指导,努力运用辩证唯物主义的观点阐明科学技术的规律,内容上注意了少而精,尽量反映科学技术的新成就。书内难免存在缺点和错误。希望有关教师 and 同学在使用过程中,把发现的问题提给我们以便修改提高。

邮电部教育局
一九八〇年七月

编 者 的 话

本书是根据邮电中等专业学校通信电源专业四年制《电机》教学大纲进行编写的。

全书共分五章，主要讲述：变压器、直流电机、异步电动机、同步发电机以及特殊电机的基本结构、工作原理和工作特性以及使用、维护保养的基本知识。

本书由我校赖广显同志编写，浙江省邮电学校张廷鹏同志审稿。

由于编写水平所限，编审时间匆促，差错在所难免，希望广大读者多多批评指正。

石家庄邮电学校

1982年6月

目 录

绪论	1
一、电机在国民经济建设中的作用	1
二、我国电机制造工业的概况和发展趋势	2
三、电机的主要类型	2
第一章 变 压 器	4
第一节 变压器的基本知识	4
一、变压器的用途和分类	4
二、变压器的基本结构	5
三、变压器的额定值	10
第二节 变压器的工作原理	12
一、变压器的空载运行	12
二、变压器的负载运行	18
三、变压器参数的测定	26
四、标么值的概念	29
五、变压器的运行特性	33
第三节 三相变压器	36
一、三相变压器的基本概念	36
二、三相变压器绕组的联接	38
三、三相变压器中的高次谐波与绕组连接方式的关系	47
四、相序的判别	50
第四节 变压器的并联运行	53
一、变压器并联运行的意义和条件	54
二、变压器并联条件不能满足时的运行情况	55
第五节 变压器的相数变换	59
一、三相变二相的变压器	59

二、三相变六相的变压器	60
第六节 变压器突然短路和过电压的概念	63
一、变压器的突然短路	63
二、变压器的过电压	64
第七节 特种变压器	66
一、自耦变压器	66
二、仪用互感器	68
第八节 变压器的安装与维护	72
一、变压器的安装	72
二、变压器的维护	73
本章小结	73
习题与思考题	75
第二章 直流电机	78
第一节 直流电机的基本原理和构造	78
一、直流发电机的基本工作原理	78
二、直流电机的可逆原理	81
三、直流电机的构造	84
四、直流电机的电枢绕组	90
五、直流电机的电枢反应	101
六、直流电机的换向	105
第二节 直流发电机	110
一、直流发电机的分类	110
二、自激发电机电压的建立过程	111
三、并激发电机	115
四、复激发电机	118
第三节 直流电动机	119
一、直流电动机的分类	119
二、直流电动机的工作原理	119

三、直流电动机的起动	120
四、并激电动机	122
五、串激电动机	124
第四节 无线电使用的手摇发电机	126
本章小结	128
习题与思考题	130
第三章 异步电动机	133
第一节 异步电动机的基本知识	133
一、三相异步电动机的基本结构	133
二、三相异步电动机的工作原理	138
三、国产中小型异步电动机简介	145
第二节 交流电机的定子绕组	147
一、绕组的一般概念	148
二、单层绕组	150
三、双层绕组	155
四、定子绕组始、末端的判别	161
五、绕组的感应电势	162
第三节 三相异步电动机运行情况的分析	167
一、转子不动时的异步电动机	167
二、转子旋转时的异步电动机	169
第四节 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	172
一、异步电动机中的能量转换	173
二、异步电动机的电磁转矩	174
三、异步电动机的转矩特性和机械特性	177
第五节 三相异步电动机的使用和维护	181
一、三相异步电动机的使用	181
二、三相异步电动机的保护	194
三、三相异步电动机的维护	199

第六节 三相感应式调压器	203
第七节 单相异步电动机	204
一、单相异步电动机的工作原理	205
二、单相异步电动机的类型和起动方法	208
本章小结	212
习题与思考题	215
第四章 同步发电机	218
第一节 同步发电机的基本类型和结构	218
一、同步电机的基本类型	218
二、同步电机的基本结构	219
三、同步发电机的额定值	222
第二节 同步发电机的运行原理	223
一、同步发电机的工作原理	223
二、同步发电机电势波形的改善	224
三、同步发电机的电枢反应	228
四、同步发电机在对称负载时的等效电路和向量图	234
五、同步发电机的功率和转矩方程式	240
第三节 同步发电机的励磁系统	241
一、同步发电机的励磁方式	242
二、同步发电机的自动电压调节装置	249
第四节 同步发电机的运行	258
一、同步发电机的对称运行	258
二、同步发电机的不对称运行	263
三、同步发电机的并联运行	271
第五节 同步发电机的使用和维护	286
一、小型同步发电机使用的基本规则	286
二、同步发电机的日常维护	291
三、定期检修	292

本章小结	293
习题与思考题	296
第五章 特殊电机简介	298
第一节 单相串激电动机	299
一、基本结构和工作原理	299
二、向量图和特性	300
三、电枢反应和补偿方法	302
第二节 直流伺服电动机	302
一、直流伺服电动机的结构	303
二、直流伺服电动机的工作原理和特性	303
第三节 步进电动机	306
一、概述	306
二、单段三相反应式步进电动机	307
三、多段式步进电动机	313
本章小结	316
思考题	317
附录 电机的常见故障及其处理方法	318

绪 论

一、电机在国民经济建设中的作用

人类的生产劳动，从应用手工工具发展到应用生产机械以后，需要有合适的能源作为生产机械的动力。自然界中蕴藏着许多能源，如煤炭中的热能以及水力、风力和原子能等。但它们都不能直接用来拖动生产机械，还必须把这些自然能源转换为电能，然后再将电能转变为我们所需要的能量形态加以利用。这是因为电能和其它各种形式的能量相比，有着无比的优越性。它适宜大量而廉价的生产、集中管理、远距离传输和自动控制。通过电机，将电能和机械能互相转换极为方便，因此，现代化的生产机械主要以电能作为生产动力的能源。作为能量转换机构的各种类型的电机，在国民经济建设的各个领域中获得日益广泛的应用。

对于电力工业本身来说，电机是发电厂和变电所的主要设备。例如在发电厂利用发电机把机械能转换为电能，在变电所利用升压和降压变压器改变电源的电压，便于传输和分配。此外，在工矿企业、农业、国防和交通运输以及人们日常生活中的应用也十分广泛。在邮电企业里，例如备用交流电源，电报机械，空调设备和传送机械以及邮局转运站用电瓶车等，都是靠电动机来拖动的。

总之，在一切工农业生产中，无论是拖动控制、运输传送、抽水鼓风、吊车起重、自动控制系统等任何一项工作都离不开电机。随着工农业生产的机械化和自动化程度的提高，电

机的应用范围日益扩大，各种电机在现代化工农业生产中将发挥更大的作用。

二、我国电机制造工业的概况和发展趋势

电机的诞生迄今已有一百多年了。它的诞生和发展，是与整个社会发展密切相关的。同时，随着它的发展，反过来又促进社会生产力不断提高和社会的进步。

随着工农业生产的迅速发展，新技术、新工艺大量采用，电机制造工业也相应得到了很大的发展。仅从单机容量来说，1959年我国自行设计制造了5万千瓦的汽轮发电机、7.25万千瓦的水轮发电机和12万千伏安的变压器。1965年以来，我国又相继制成了容量为12.5万千瓦、30万千瓦双水内冷汽轮发电机以及单台容量为36万千伏安的变压器。我国电机制造工业的发展速度在世界上也是不多的。今后，在实现四个现代化的过程中，随着先进技术的不断引进、设计技术的进一步完善、结构和工艺措施的不断改变、新材料的研制和应用、系列品种不断增加以及生产过程的自动化，我国的电机制造工业必将获得更大的发展。

三、电机的主要类型

电机是利用电磁感应原理实现电能和机械能相互转换的电磁设备，所以它又称为电磁机械。

按运行方式的不同可分为：

1. 将机械功率转换为电功率——发电机；
2. 将电功率转换为机械功率——电动机；
3. 在电气机械系统中起调节、放大和控制作用的电机放大机和各种微型控制电机。

按照所应用的电流种类，电机可分为直流电机和交流电机。

电机还可按同步速度来分类：

1. 静止设备——变压器和移相器；
2. 没有固定的同步速度——直流电机；
3. 作电动机运行时，速度永远较同步速度为小，作发电机运行时，速度永远较同步速度为大——异步电机；
4. 速度等于同步速度——同步电机。

本教材是以最后一种分类方法进行分章编写的。

电机是通信电力专业一门专业课。它的任务是使学生熟悉各种类型电机的主要结构、工作原理、分析方法和运行特性，并掌握正确操作各种电机的基本技能和维护基本知识。因此，学习时应理论联系实际，注意基本技能的训练，为今后做好通信电力设备的维护工作打下良好的基础。

第一章 变 压 器

内容提要：本章主要介绍电力变压器的工作原理、基本结构和电气特性；原、副绕组电压、电流的关系以及向量图和等效电路的分析方法。同时也介绍一些变压器在实际运行中将会碰到的具体问题如：三相变压器接线组别、极性测试、三次谐波的影响以及邮电企业常用的特殊变压器的基本原理和使用应注意的问题。

第一节 变压器的基本知识

一、变压器的用途和分类

我们知道，从发电厂向远距离用电中心输送电能时，为了减少输电线路上的能量损耗，减小输电线的截面，在电力系统中采用升压变压器。升高其电压进行输送，送到用电中心区后，再用降压变压器、配电变压器将电压降低，供各用户动力和照明用电。可见变压器在电力系统中，经济输送和分配电能具有重要的意义。

变压器除在电力系统应用外，在通信、量测和控制设备中应用也是十分广泛的。

变压器一般分电力变压器和特种变压器两大类。而电力变压器又可从不同角度予以分类：

按用途分：有升压、降压和配电变压器；

按相数分：有单相、三相和多相变压器；

按绕组数目分：有双绕组、三绕组和多绕组变压器。

此外，还可以从耦合方式、冷却方式和调压方式进行分类，如表1-1所示。

表1-1 各种变压器的型号及意义

电力变压器		调压变压器		自耦变压器		整流变压器		起动变压器	
D	单相	T	调压器	O	自耦	Z	整流变压	Q	起动
S	三相	O	自耦		注:		器	S.J	同电力
J	油浸	Y	移圈		○在前为	K	电抗器		
G	干式	A	感应		降压	J	电力机车		
F	风冷	C	接触		○在后为		用		
S	三绕组	P	强油循环		升压	S.D.J	同电力		
FP	强油风冷	X	线端	S.D.J	同电力	F.FP			
T	成套	Z	中点	F.FP					
D	移动式	C	串联	.Z					
L	铝线	S.D.G	同电力						
		F.J.Z							

特殊用途的变压器，是根据各工业部门不同的要求，提供各种特殊电源或作其它用途。如整流、电焊、高压试验和通信用的变压器等等，种类繁多。现将常见一些变压器列于表1-1。

由此可见, 变压器的用途十分广泛, 因而结构形式也很多. 但其基本原理和分析方法基本上是相同的。

二、变压器的基本结构

变压器由铁心、绕组、油箱和绝缘套管等主要部件组成。下面我们分别进行讨论。

(一) 变压器铁心

变压器铁心一般分心式和壳式两种，如图1-1-1所示。

心式变压器其绕组包围着铁心，这种型式在单相和三相电

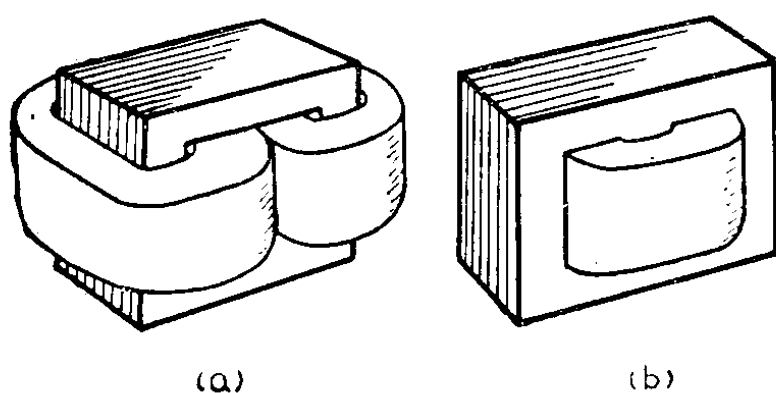


图 1-1-1 变压器铁心的结构型式
(a) 心式 (b) 壳式

力变压器中应用最多。而壳式变压器则是绕组被铁心所包围，这种变压器在电力系统中很少采用，一般只作成小容量的单相变压器，如无线电变压器或电焊变压器等。

为了减少涡流损失，铁心由特制的，含硅量高达 5 % 左右的电工硅钢片叠成。通常每片厚度为 0.35~0.5 毫米。钢片两面涂以绝缘漆或经处理形成的氧化膜以作绝缘。

铁心通常有对装和迭装两种装配方法。

1. 对装式铁心：是将铁心柱和轭分别由硅钢片叠好并用螺杆夹紧，然后对装起来。这种方法装配铁心和安装绕组很方便，但主要缺点是气隙过大，激磁电流也较大。

2. 叠装式铁心：叠制铁心时，钢片采用各层交错的方法，以减小铁心柱和铁轭间磁路的磁阻。叠成后，铁心用穿通螺杆夹紧，螺杆与钢片之间是绝缘的。单相变压器铁心叠装次序，如图 1-1-2 所示。三相变压器铁心叠装，如图 1-1-3 所示。这种方法虽然装配和拆卸检修较费时间，但因接缝的空气隙小，激磁电流较小，因此，电力变压器均采用这种叠装法。

铁心柱截面，只有容量较小的变压器，才用正方形，图 1-1-4 (a) 所示。为了更好地利用圆筒式绕组内部的面积，对

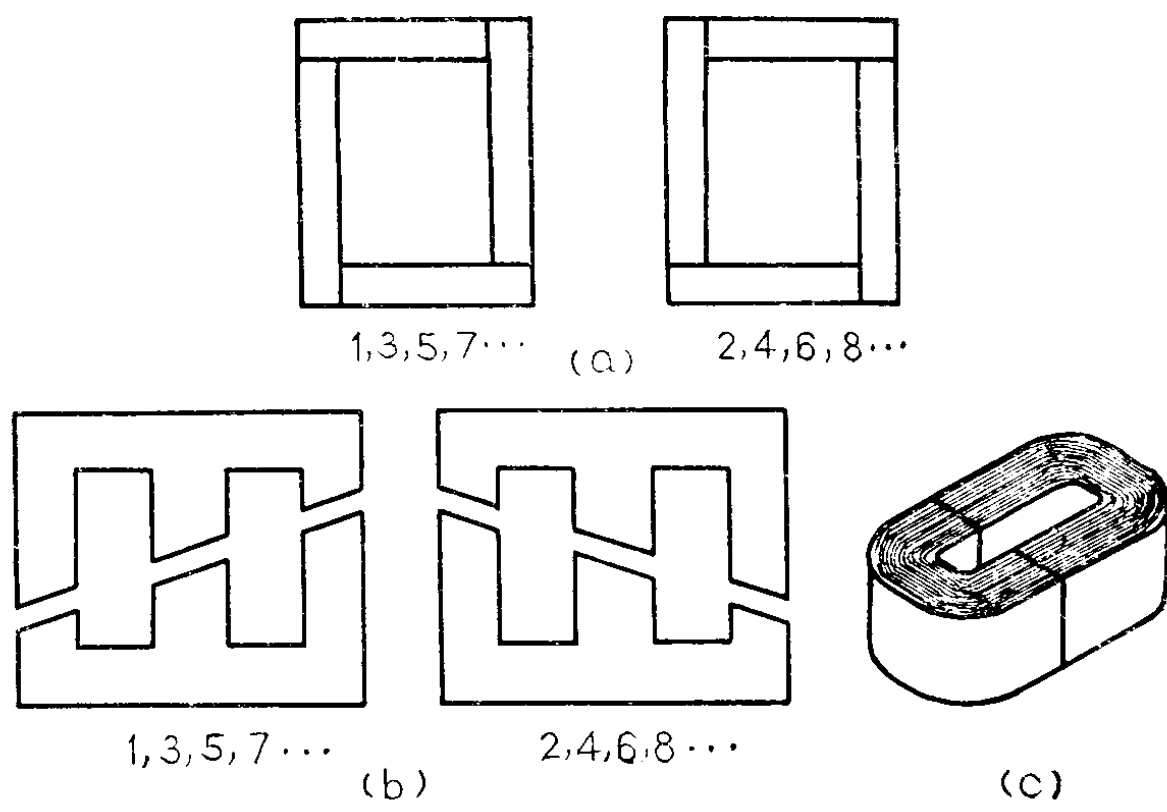


图 1-1-2 单相变压器铁心叠装

(a) 心式 (b) 壳式 (c) 卷片式

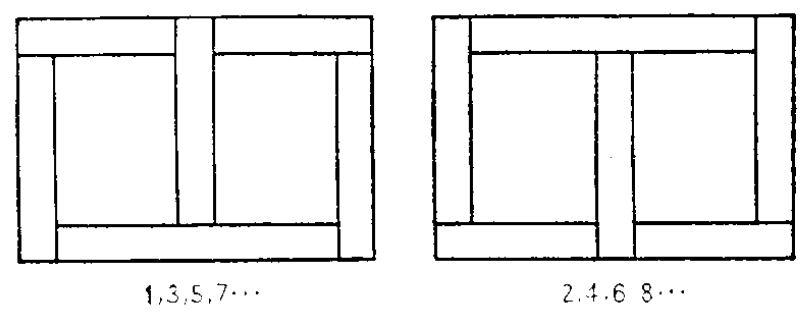


图 1-1-3 三相变压器铁心叠装

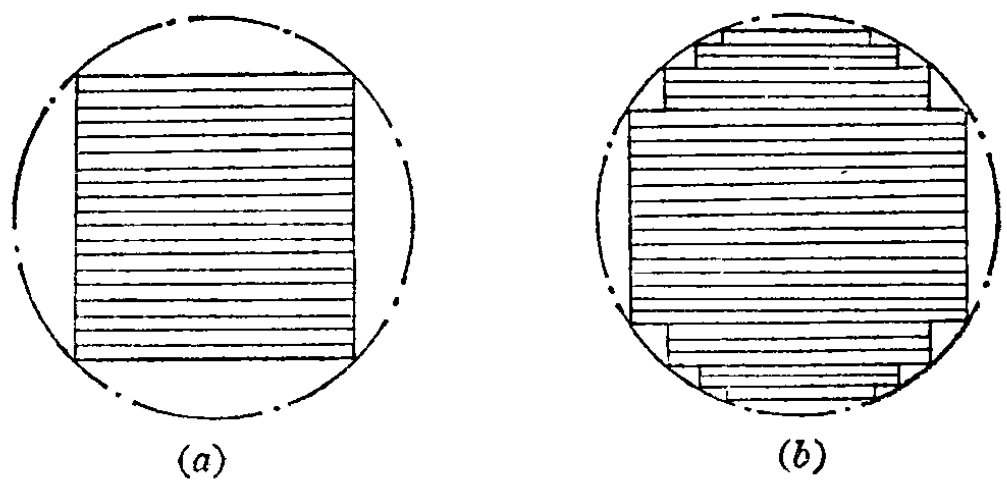


图 1-1-4 铁心柱截面形状

(a) 方形 (b) 阶梯形

于心式变压器多做成阶梯状多级铁心截面，而且阶梯级数随变压器容量增大而增多。在大容量变压器中，其级数大多在5~9级范围内，图1-1-4(b)所示。

(二) 变压器绕组

绕组是变压器的电路部分。它是用纸包的绝缘扁铜线或圆铜线绕成。从高、低压绕组间相对位置来看，变压器绕组可分为：

1.同心式绕组：这种绕组的高、低压绕组在同一铁心柱上作同心排列。通常把低压绕组靠近铁心安装，以便于绝缘。而高压绕组套装在低压绕组外面，绕组之间用电木纸或特种厚纸板做成圆筒加以绝缘。

同心式绕组又可分成圆筒式、螺旋式和连续式等几种型式。

圆筒式是最简单的一种型式，一般用于每柱容量为200千伏安以下的变压器中。作低压绕组时，因电流较大，常用单根或多根并联的扁线绕制成的双层圆筒式，如图1-1-5所示；作高压绕组时，因匝数较多，电流较小，常用圆线绕成多层圆筒式。为保证绕组的冷却，圆筒式绕组的层间均留有油道。

现代大容量变压器的高、低压绕组多采用连续式绕组。这种绕组从外形看，分为很多盘形线圈沿铁心柱的高度分布，各圆盘线圈留有油道，整个绕组采用特殊的翻线方法连续绕成，如图1-1-6所示。这种绕组冷却条件较好，而且具有较大的机械强度，这对大容量变压器是十分有利的。

2.交叠式绕组：对于这种绕组的高、低绕组是沿铁心柱高度交叠放置的，一般将低压绕组靠近铁轭，如图1-1-1(b)所示。交叠绕组主要用于铁壳式变压器。