

国家示范性高等职业院校核心课程
“十一五”规划教材 · 电子电气类



ianzi Dianqi Lei

电机及拖动

主 编◎杨启军

副主编◎李 媛 李 静

苏 渊 张 莉

主 审◎黄益华



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

国家示范性高等职业院校核心课程 · 电子电气类
“十一五”规划教材

Dianji ji Tuodong
电 机 及 拖 动

主 编 杨启军

副主编 李 媛 李 静

苏 渊 张 莉

主 审 黄益华

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

内容简介

本书主要介绍了各种变压器的原理、结构、运行特性,以及单相和三相异步电动机的结构、工作原理、运行特性及电力拖动。另外还介绍了同步电机和直流电机的工作原理、结构和运行特性及选择方法。书末附有十六个电机及拖动实验。

本书可作为高职高专供用电技术专业的一门专业基础课教材,也可作为电气自动化技术、机械制造和自动化技术等专业的的基础课教材,还可作为成人教育及函授培训教材,也可供有关教师和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电机及拖动 / 杨启军主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2009.7

国家示范性高等职业院校核心课程“十一五”规划教材. 电子电气类

ISBN 978-7-5643-0303-7

I. 电… II. 杨… III. ①电机—高等学校: 技术学校—教材②电力传动—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM3 TM921

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第117739号

国家示范性高等职业院校核心课程“十一五”规划教材·电子电气类

电机及拖动

主 编 杨启军

*

责任编辑 张华敏

特邀编辑 高青松 李科亮

封面设计 跨克创意

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段111号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 170 mm×230 mm 印张: 20.5

字数: 362千字

2009年7月第1版 2009年7月第1次印刷

ISBN 978-7-5643-0303-7

定价: 35.00元

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

出版说明

进入 21 世纪以来,在国家的高度重视与大力支持下,我国高等职业教育得到了迅猛发展,截止 2007 年底,全国独立设置的高职学院已达 1100 多所,高职教育招生人数和在校生人数均占高等教育招生人数的半壁河山。高职教育在优化高等教育体系结构、促进教育大众化、培养高技能人才,促进并加快地方经济的建设和发展等方面起到了重要作用,作出了重大贡献。但由于我国高等职业教育起步较晚,在高速发展的过程中还存在一些亟待解决的问题,特别是在课程体系和教材形式上,“中专延长型”及“本科压缩型”的影子始终挥之不去,真正适合我国国情的高职课程体系及相应的教材正处在探索与改进之中。

2006 年,我国财政部、教育部启动了国家示范性高等职业院校建设项目,财政部拨出数十亿专项资金在之后三年中重点支持 100 所高等职业院校的建设。示范性高等职业院校建设主要围绕重点专业及专业群的实验/实训条件建设、课程体系及教学内容改革、师资培养三方面开展,其中课程体系及教学内容改革是示范建设的主要内容。为了配合高等职业院校核心专业课程的示范建设,我们在全中国范围内组织了一批高职高专院校,由国家示范性高职院校牵头,组织编写这套电子电气类专业核心课程教材。

重庆工业职业技术学院是 2006 年全国首批 28 所示范高职院校之一,其电气自动化技术专业是国家重点建设专业。2007 年初,由重庆工业职业技术学院电气自动化技术专业牵头,组织重庆工程职业技术学院、重庆电力高等专科学校、四川信息职业技术学院、黑龙江交通职业技术学院、郑州铁路职业技术学院、宜宾职业技术学院、泸州职业技术学院、吉林铁道职业技术学院等十多所高职院校的相关专业教师成立了《国家示范性高等职业院校核心课程“十一五”规划教材》编写委员会,共同编写本套系列教材,从 2008 年开始陆续出版,计划用 1~2 年时间出版 20 本左右教材。为了满足多层次、多类型的教学需求,同类教材可能出版多种版本。

在编写本套教材的过程中,结合示范建设工作的推进,我们反复学习了教育部有关高等职业教育改革的文件精神,多次聆听了教育部领导及国内高职教育专家的讲话,明确了高职教育改革的方向。同时,我们也组织教师到澳大利亚、新加坡、德国、中国香港地区的职业院校进行了学习和交流,广

泛学习和吸收了国际先进的职业教育理念、课程体系、教学内容、教学方法等。通过学习和思考，我们将本套教材编写的指导思想确定为：学习国际职业教育先进经验，结合我国实际情况，针对电气电子类专业特点，突出职业教育与工程实际应用紧密结合，坚持工作过程系统化的课程开发理念和行动导向的教学理念。

本套专业课程教材的突出特点是：以典型的工作任务为载体，按照资讯、决策、计划、实施、检查、评估六个步骤，培养学生的方法能力、专业能力、社会能力。由于电气电子类专业具有就业岗位涉及行业范围广、工作任务技术性强、对学生创新能力要求高等特点，本套教材没有像某些以技能为主的专业一样将专业基础课程的内容解构后与专业课程进行重构，而是基本保持了专业基础课程的构架。在专业基础课程教材的编写中，大量采用了项目导向的教学方法，突出了与工程实际和应用相结合，强化了与后续课程的联系与衔接。我们相信，通过使用本套教材进行教学，既能明显提高学生解决工程实际问题的能力，实现学生毕业与就业的“零距离”，又能为学生可持续发展和创新能力的提高打下坚实的基础。

本系列教材的主要读者群是高职电子电气类专业及相关专业的学生和教师，以及企业相关技术人员。我们希望，本套教材在符合专业培养目标、反映专业教育改革方向、满足专业教学需要的同时，努力创造使之成为具有先进性、创新性、适用性和系统性的特色品牌教材，为高职电气电子类专业的教学质量提高贡献一份力量，为教学改革探索出一条新路。

感谢使用本系列教材的广大教师、学生和科技工作者的热情支持，并欢迎提出批评和意见。

《国家示范性高等职业院校核心课程
“十一五”规划教材》编写委员会
2008年1月

《国家示范性高等职业院校核心课程 “十一五”规划教材》编写委员会

顾 问

徐 益 (重庆工业职业技术学院)
王 华 (吉林铁道职业技术学院)
李惕新 (机械工业第三设计研究院)
刘慕尹 (重庆川仪控制仪表分公司)
苏国成 (重庆川仪一厂)

主任委员 易 谷

委 员 (按姓氏笔画)

毛才局	毛臣健	王树祥	邓 莉	邓书蕾
冉晟伊	田宜驰	伍小兵	伍家洁	刘 赞
刘慰平	向文斌	朱 斌	朱奎林	朱 鸿
严兴喜	何 兵	何 弢	吴晓艳	张 莉
张 辉	张晓琴	张艳红	张渠扬	张慧坤
怀越生	胡昌荣	李 华	李 媛	李 明
李 静	李经智	李茂清	李庭贵	杨启军
肖前军	苏 渊	邱富军	陈 亮	陈 挺
周进民	周洪江	罗德雄	侯 涛	赵文钊
赵文宣	赵淑娟	凌泽明	晏剑辉	徐纯新
徐 健	秦祖铭	秦建生	涂仁喜	贾正松
黄 戎	黄礼超	黄俊杰	龚于庆	蒲晓湘
廖建文	樊明哲	潘 锋	彭伦天	

前 言

本书从高职高专教育的实际出发,注重理论联系实际;力求通俗易懂、深入浅出,突出实际应用环节。紧扣高职高专办学新理念,结合高职高专教学的基本要求,以理论知识够用为度,紧密结合生产实践,注重学生实践能力的培养,力求基本概念明确,用实例强化概念的应用;理论推导简化,易于掌握,具有实用性。通过本教材的学习,对于各种常用电机,力求使学生达到:懂结构和原理,会选择和使用,能维护和修理。

本书在编写过程中突出了以下几个特点:

1. 理论分析难度适中,注重结果运用,对分析方法仅作定性阐述,不做理论证明。
2. 本书以常用电机的结构和工作原理为基础,理论推导简化,突出实际应用。
3. 突出供用电专业的特点,打破传统教材的编排顺序,并增加了柴油发电机组的内容。
4. 实验项目多,每个实验内容少而精,适合于分组同时开展多个项目的实验。

全书共分 14 章,主要内容包括变压器、三相异步电动机及其拖动、单相异步电动机、同步发电机、同步电动机、直流电动机及其拖动、电动机的选择、电机和拖动实验。

本书可作为高职高专供用电技术专业的一门专业基础课教材,也可作为电气自动化技术、机械制造和自动化技术等专业的基础课教材,还可作为成人教育及函授培训教材,也可供有关教师和工程技术人员参考。

本书由重庆电力高等专科学校杨启军担任主编,重庆电力高等专科学校李媛、张莉、苏渊及四川泸州职业技术学院李静担任副主编。其中李媛编写第 1、2、3、4 章,杨启军编写第 5、6、7、8 章,李静编写第 10、11 章,苏渊编写第 12、13、14 章,张莉编写第 9 章和附录(实验部分)。全书由杨启军统稿。重庆电力高等专科学校黄益华副教授审阅了全书并提出了许多宝贵的意见和建议,编者在此表示感谢!

由于编者的学术水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请广大师生和读者批评指正。

本书配有电子课件,如有教学需要,可与西南交通大学出版社联系,免费赠送,联系电话:13689090266(张华敏)、(028) 87600627(王蕾)。邮箱:zhmjys@163.com。

编 者

2009 年 5 月

目 录

第 1 篇 变 压 器

第 1 章 变压器的结构和工作原理	3
1.1 变压器的工作原理	3
1.2 变压器的基本结构	4
1.3 变压器的型号、分类和额定值	7
习 题 1	9
第 2 章 变压器的运行特性	10
2.1 变压器的空载运行	10
2.2 变压器的负载运行	13
2.3 变压器的参数测定	18
2.4 变压器的外特性和效率	23
习 题 2	26
第 3 章 三相变压器及其并联运行	27
3.1 三相变压器的磁路系统	27
3.2 三相变压器的连接组别	28
3.3 三相变压器的并联运行	34
3.4 三相变压器的使用、维护及常见故障的处理方法	38
3.5 三相变压器的经济运行	42
习 题 3	44
第 4 章 其他变压器	46
4.1 三绕组变压器	46
4.2 自耦变压器	48
4.3 仪用互感器	51
4.4 电焊变压器	54
习 题 4	56

第 2 篇 异步电动机

第 5 章 三相异步电动机的结构和工作原理	59
5.1 三相异步电动机的基本结构	59
5.2 三相交流绕组	62
5.3 三相旋转磁动势	70
5.4 三相异步电动机的工作原理及运行状态	76
5.5 三相异步电动机的型号、分类和额定值	79
习 题 5	82
第 6 章 三相异步电动机的运行分析	83
6.1 三相异步电动机的空载运行	83
6.2 三相异步电动机的负载运行	86
6.3 三相异步电动机的功率和转矩	92
6.4 三相异步电动机参数的测定	99
6.5 三相异步电动机的机械特性	101
6.6 三相异步电动机的工作特性	106
习 题 6	109
第 7 章 三相异步电动机的电力拖动	111
7.1 电力拖动系统概述	111
7.2 三相异步电动机的起动概述	114
7.3 三相鼠笼式异步电动机的起动	116
7.4 三相绕线式异步电动机的起动	122
7.5 三相深槽式和双鼠笼式异步电动机	126
7.6 三相异步电动机的调速	128
7.7 三相异步电动机的反转与制动	139
7.8 三相异步电动机的运行与维护	144
习 题 7	153
第 8 章 单相异步电动机	155
8.1 单相异步电动机的结构和工作原理	155
8.2 单相异步电动机的起动和转向控制	158
8.3 单相异步电动机的应用	162
习 题 8	163

第 9 章 电动机的选择	164
9.1 电动机种类、结构、电压、转速的选择	164
9.2 电动机额定功率的选择	167
习 题 9	176

第 3 篇 同步电机

第 10 章 同步发电机	179
10.1 同步发电机的基本结构	179
10.2 同步发电机的工作原理和励磁方式	181
10.3 同步发电机的电枢反应和运行特性	185
10.4 同步发电机的并列运行	188
10.5 柴油发电机组概述	193
习 题 10	201
第 11 章 同步电动机	202
11.1 同步电动机的工作原理和特性分析	202
11.2 同步电动机的起动和制动	210
11.3 同步电动机的使用、维护及常见故障处理	213
习 题 11	217

第 4 篇 直流电机

第 12 章 直流电机的结构和工作原理	221
12.1 直流电机的工作原理	221
12.2 直流电机的基本结构	223
12.3 直流电枢绕组	226
12.4 直流电机的铭牌	234
12.5 直流电机的励磁方式	236
习 题 12	237
第 13 章 直流电机的运行分析	238
13.1 直流电机的电枢电动势	238
13.2 直流电机的电磁转矩	239

13.3	直流电机的磁场分析	240
13.4	直流电机的换向	244
13.5	直流电机的基本方程式	247
13.6	直流电机的工作特性	252
13.7	直流电动机的机械特性	258
习 题 13		262
第 14 章	直流电动机的电力拖动	263
14.1	直流电动机的起动	263
14.2	直流电动机的调速	266
14.3	他励直流电动机的反转和制动	270
14.4	直流电动机的使用、维护及常见故障的处理方法	277
习 题 14		282
附录	电机与拖动实验	284
实验 1	变压器空载实验	284
实验 2	变压器短路实验	285
实验 3	变压器同名端的测定实验	287
实验 4	三相异步电动机首末端的测定实验	289
实验 5	三相异步电动机的短路和空载实验	290
实验 6	三相笼式异步电动机的起动实验	293
实验 7	三相异步电动机的反转与制动实验	295
实验 8	三相绕线式异步电动机的起动、调速	296
实验 9	同步电动机实验	297
实验 10	三相同步发电机的并联运行	300
实验 11	直流电机实验	303
实验 12	直流电动机的起动、反转实验	305
实验 13	并励直流电动机的调速实验	306
实验 14	直流发电机的空载实验	309
实验 15	直流发电机的负载实验	311
实验 16	直流电机电刷位置的调整	314
参考文献		316

第 1 篇 变 压 器

变压器是一种静止的电气设备，它利用电磁感应原理，把一种电压等级的交流电能转换成频率相同的另一种电压等级的交流电能。在电力系统中，变压器是一个十分重要的设备。发电厂发电机输出的电压受绝缘条件限制，通常仅为 $6.3 \sim 20 \text{ kV}$ ，几乎不能进行大功率远距离输送。因为低电压大电流输电，会在输电线路上产生很大的功率损耗和电压降落，为此，必须用升压变压器将电压升高至 110 kV 、 220 kV 或 500 kV 进行输电，以求输电的经济。当电能送到用电区，再用降压变压器将电压降低至 35 kV 、 10 kV 或 $380/220 \text{ V}$ ，供给用户使用，以求用电的安全。

第1章 变压器的结构和工作原理

1.1 变压器的工作原理

变压器的基本工作原理如图 1-1 所示, 该变压器为单相降压变压器。在铁芯柱上绕制两个绝缘线圈, 电源侧的线圈称为原边绕组或一次绕组, 负载侧的线圈称为副边绕组或二次绕组。原、副边电路的各物理量分别用下标“1”和“2”标注, 以示区别。

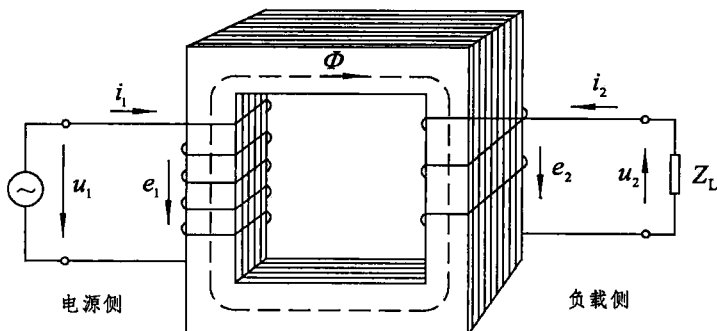


图 1-1 变压器的工作原理示意图

当原边绕组接到交流电源时, 绕组中便有交流电流流过, 并在铁芯中产生与外加电压频率相同的交变磁通, 这个交变磁通同时交链着原边绕组和副边绕组, 则原、副边绕组的感应电势分别为

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt}, \quad e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

式中, N_1 、 N_2 分别为一次、二次绕组匝数。

若二次侧与负载阻抗 Z_L 接通, 则电动势 e_2 在二次侧闭合回路内引起电流 i_2 , i_2 在负载阻 Z_L 上的压降即是变压器二次侧端电压 u_2 。这样, 电源送入一次侧的电功率 $u_1 i_1$, 通过一、二次绕组磁耦合的联系, 使负载阻抗 Z_L 上获得了电功率 $u_2 i_2$ 。

因 $e_1 \approx u_1$, $e_2 \approx u_2$, 所以

$$\frac{u_1}{u_2} \approx \frac{e_1}{e_2} = \frac{N_1}{N_2} = k$$

其中 k 为变压器的变比，其值通常大于 1，它等于原、副边绕组的匝数比，也等于原、副边绕组的感应电势之比。

当原边所加电压 u_1 不变时，由于 $u_1 \approx k u_2$ ，所以只要改变变压器的变比 k ，就能达到改变电压 u_2 的目的。

计算变压器变比 k 时应注意以下两点：

① 上述降压变压器的原、副边分别对应高压侧和低压侧，而对于发电厂常用的升压变压器而言，其原、副边却分别对应着低压侧和高压侧。所以，无论是降压变压器还是升压变压器，变比 k 都定义为高压侧绕组的匝数、电动势与低压侧绕组的匝数、电动势之比，近似计算时常用高、低压绕组的额定电压之比来计算。

② 对于三相变压器，变比 k 为高、低压侧一相绕组的匝数或电动势之比，近似计算时，常用绕组的额定相电压之比来计算（工程上，还常用额定线电压之比来定义或计算变比，本课程采用绕组额定相电压之比来计算）。

1.2 变压器的基本结构

油浸式变压器在电力系统使用最为广泛，其基本结构可分成以下几个部

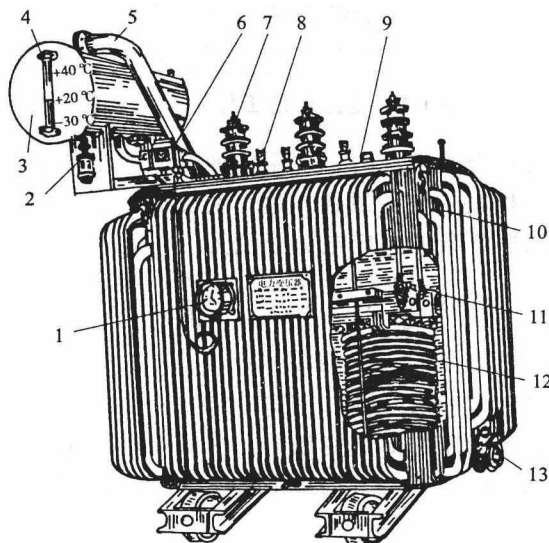


图 1-2 油浸式电力变压器

- 1—信号式温度计；2—吸湿器；3—储油柜；4—油表；5—安全气道；
6—气体继电器；7—高压套管；8—低压套管；9—分接开关；
10—油箱；11—铁芯；12—绕组及绝缘；13—放油阀门

分：铁芯、绕组、绝缘套管、油箱及其他附件等。三相油浸式电力变压器的外形如图 1-2 所示，其中铁芯和绕组是变压器的主要部件，称为器身，放在油箱内部。

1.2.1 铁芯

1. 铁芯的材料

为了提高磁路的导磁性能，减小铁芯中的磁滞、涡流损耗，即减少铁芯的发热，铁芯一般采用高磁导率的铁磁材料，即用 0.35~0.5 mm 厚的硅钢片叠成。硅钢片的两面均涂以绝缘漆，这样可使叠装在一起的硅钢片相互之间绝缘。

2. 铁芯的结构形式

铁芯是变压器的主要磁路，电力变压器的铁芯主要采用心式结构，如图 1-3 所示。三相变压器是将 A、B、C 三相的绕组分别放在三个铁芯柱上，三个铁芯柱由上、下两个铁轭连接起来，构成闭合磁路，绕组的布置方式是将低压绕组放在内侧，而把高压绕组放在外侧。

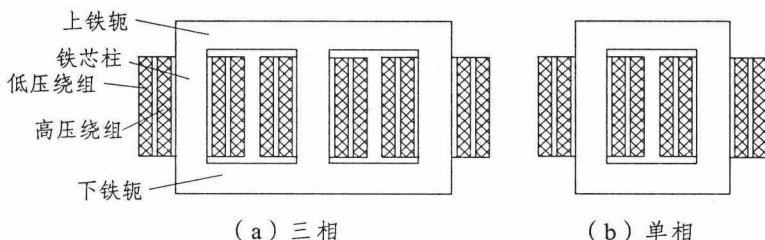


图 1-3 心式变压器的铁芯和绕组布置

1.2.2 绕组

绕组是变压器的电路部分，它是铜或铝导线包绕绝缘纸以后绕制而成。按照线圈绕制的特点，分为圆筒式、螺旋式、连续式、纠结式等结构。为了便于绝缘，低压绕组（工作电压低的绕组）靠近铁芯柱，高压绕组（工作电压高的绕组）套在低压绕组外面，两个绕组之间留有油道。电力变压器绕组外形如图 1-4 所示。

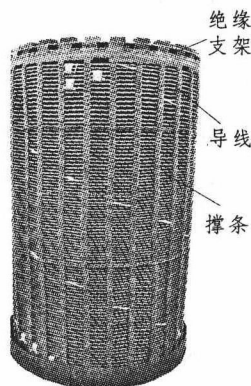


图 1-4 绕组

1.2.3 油箱及其他附件

1. 油箱

油浸式变压器均要有一个油箱，装入变压器油后，将组装好的器身装入其中，以保证变压器正常工作。变压器油的作用有两个：其一，油的绝缘性能比空气好，可以提高绕组的绝缘强度；其二，通过油箱中油的对流作用或强迫油循环流动，使绕组及铁芯中因功率损耗而产生的热量得到逸散，起到冷却作用。变压器的油箱是用质量好的钢板焊接而成，能承受一定压力，某些部位必须具有防磁化性能。

2. 储油柜

变压器在运行中，随着油温的变化，油的体积会膨胀或收缩，为了减少油与外界空气的接触面积，减小变压器油受潮和氧化的概率，通常在变压器上部安装一个储油柜（俗称油枕）。储油柜上装有吸湿器（又称呼吸器），储油柜通过它与空气连通。当变压器油因热胀冷缩而使油面高度发生变化时，空气通过吸湿器进出储油柜，形成“呼吸”现象，以平衡变压器油箱的内外压力。吸湿器内装有硅胶，用以过滤吸入储油柜内空气中的杂质和水分，硅胶干燥状态为蓝色，吸潮饱和后变为粉红色。吸潮的硅胶可以再生。

3. 安全气道

安全气道又称为防爆管，装在油箱顶盖上。它是一个长钢管，其出口封上了一定厚度的防爆膜。当变压器内部发生严重事故而产生大量气体，使油箱内压力达到一定数值时，气体和油将冲破防爆膜喷出，防止油箱爆裂。

4. 气体继电器

气体继电器又称为瓦斯继电器，是变压器的一种保护装置，安装在油箱与储油柜的连接管道中，当变压器内部发生故障时（如绝缘击穿、匝间短路、铁芯事故、油箱漏油使油面下降较多等）产生的气体和油流，迫使气体继电器动作。轻者发出信号，以便运行人员及时处理。重者使断路器跳闸将变压器退出运行，以保护变压器。

5. 冷却器

冷却器通常是指直接装配在变压器油箱壁上的散热器管簇，当热油自上