

中国职业技术教育学会科研项目优秀成果

The Excellent Achievements in Scientific Research Project of Chinese Society of Technical and Vocational Education

高等职业教育机电一体化技术专业“双证课程”培养方案规划教材



电机与机床 电气控制

高等职业技术教育研究会 审定

吴灏 冯宁 主编

李传军 副主编

Electric Motor and
Electrical Control of Machine

- ◆ 有机融合传统课程内容，知识点简明扼要，重点突出
- ◆ 难点问题按层次进行分解，结合具体的实用案例讲解
- ◆ 贯彻国家中、高级电工职业技能标准和鉴定规范要求

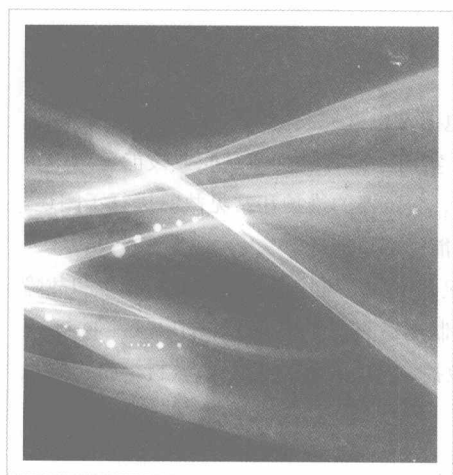


人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

中国职业技术教育学会科研项目优秀成果

The Excellent Achievements in Scientific Research Project of Chinese Society of Technical and Vocational Education

高等职业教育机电一体化技术专业“双证课程”培养方案规划教材



电机与机床 电气控制

高等职业技术教育研究会 审定

吴灏 冯宁 主编

李传军 副主编

Electric Motor and
Electrical Control of Machine

人民邮电出版社

样书

专用章

人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

电机与机床电气控制 / 吴灏, 冯宁主编. —北京: 人民邮电出版社, 2009. 5

中国职业技术教育学会科研项目优秀成果. 高等职业教育机电一体化技术专业“双证课程”培养方案规划教材
ISBN 978-7-115-20475-2

I. 电… II. ①吴…②冯… III. ①电机学—高等学校: 技术学校—教材②机床—电气控制—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM3 TG502.35

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第037253号

内 容 提 要

本书根据当前教育部高职高专教育教学改革的精神, 将低压电器及电气控制电路的基本内容穿插到三相异步电动机的电力拖动部分中, 使内容的前后衔接更加完善、实用。同时结合国家职业技能鉴定中、高级维修电工考核内容, 重新组合了技能操作部分, 并对电动机、变压器的维护和常见故障进行了阐述。全书以必需、够用为原则, 减少理论推导, 突出技能和工程应用能力的培养。

全书共分5章, 内容包括变压器、三相异步电动机、直流电机、控制电机以及各种电机的维修和故障分析, 也包括常用低压电器、三相异步电动机电力拖动的电气控制电路和典型机床电路的电气控制。

本书可作为高职高专、高级技校、技师学院电气、机电、数控、汽车电子等专业的教材, 也可供从事相关专业的工程技术人员参考。

中国职业技术教育学会科研项目优秀成果

高等职业教育机电一体化技术专业“双证课程”培养方案规划教材

电机与机床电气控制

◆ 审 定 高等职业技术教育研究会

主 编 吴 灏 冯 宁

副 主 编 李传军

责任编辑 潘春燕

执行编辑 潘新文

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

三河市海波印务有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 10.5

字数: 251千字

印数: 1—3 000册

2009年5月第1版

2009年5月河北第1次印刷

ISBN 978-7-115-20475-2/TN

定价: 19.00元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

职业教育与职业资格证书推进策略与 “双证课程”的研究与实践课题组

组 长：

俞克新

副组长：

李维利 张宝忠 许 远 潘春燕

成 员：

李秀忠 周明虎 林 平 韩志国 顾 晔 吴晓苏 周 虹 钟 健
赵 宇 冯建东 散晓燕 安宗权 黄军辉 赵 波 邓晓阳 牛宝林
吴新佳 赵慧君 潘新文 李育民

课题鉴定专家：

李怀康 邓泽民 吕景泉 陈 敏 于洪文

高等职业教育机电一体化技术专业“双证课程” 培养方案规划教材编委会

主 任：李秀忠

副主任：吴晓苏 孙慧平

委 员：	徐小增	郭建尊	王诗军	李艳霞	王金花	蔡冬根	林党养
刘树青	娄 琳	金文兵	朱 强	霍苏平	周 玮	周 兰	孙小捞
张伟林	贾俊良	陈万利	杨占尧	郑 金	黄中玉	李 辉	赵宏立
华满香	周建安	孙卫锋	林宗良	金英姬	黄义俊	董小金	戴晓东
牛荣华	丁如春	冯锦春	刘 岩	赵仕元	张雪梅	申晓龙	文学红
毛好喜	李本红	任成高	余慰荔	周旭光	苏 玮	刘 宏	吕永峰
王雁彬	邵 萍	郭宏彦	何全陆	张念淮	姜庆华	张江城	冯 宁
吴 灏	阮予明	李振杰	李 英	燕居怀	谢海良	王 浩	张中明
陈桂芳	宋雪臣	楚 忠	王双林	王广业	刘 慧	孟庆平	

审稿委员会

主 任：彭跃湘

副主任：胡进德

委 员：	米久贵	卜燕萍	徐立娟	陈忠平	庄 军	谭 毅	谢响明
汤长清	高荣林	卜新民	罗澄清	王德发	王德山	栾 敏	谢伟东
李 学	张 鑫	吕修海	王达斌	周 林	熊 江	王军红	邓剑锋
杨国生	周信安	叶立清	雷云进	谷长峰	向 东	葛序风	李建平
刘战术	魏东坡	肖允鑫	李 丹	张光跃	陈玉平	林长青	王玉梅
戴晓光	罗正斌	刘晓军	张秀玲	袁小平	李 宏	张凤军	孙建香
陈晓罗	肖 龙	何 谦	周 玮	张瑞林	周 林	潘爱民	徐国洪

张国锋	陈孝先	夏光蔚	李燕林	刘一兵	田培成	刘 勇	冯光林
魏仕华	曹淑联	孙振强	罗 伦	田 晶	卜燕萍	王少岩	山 颖
温钢云	蔡超强	刘建敏	吴京霞	张海筹	张森林	范恒彦	朱庚生
丁明成	李华楹	孟华峰	范恒彦	高荣林	杨亚辉	鞠加彬	白福民
宋丽华	王世桥	孙 岩	彭跃湘	李 明	吴春玉	吴 民	张华忠
牟志华	申凤琴	孙佳海	黎川林	孟 平	杨 强	麦崇裔	胡进德
吴德平	赵红毅	王观海	公 相	王朝红	姬红旭	吕 品	李 凡
李 江							

本书主审：李剑峰 麦崇裔

会员委辞审

陈冠通：升主

谢世陆：升主隔

丛书出版前言

职业教育是现代国民教育体系的重要组成部分,在实施科教兴国战略和人才强国战略中具有特殊的重要地位。党中央、国务院高度重视发展职业教育,提出要全面贯彻党的教育方针,以服务为宗旨,以就业为导向,走产学结合的发展道路,为社会主义现代化建设培养千百万高素质技能型专门人才。因此,以就业为导向是我国职业教育今后发展的主旋律。推行“双证制度”是落实职业教育“就业导向”的一个重要措施,教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高〔2006〕16号)中也明确提出,要推行“双证书”制度,强化学生职业能力的培养,使有职业资格证书专业的毕业生取得“双证书”。但是,由于基于双证书的专业解决方案、课程资源匮乏,“双证课程”不能融入教学计划,或者现有的教学计划还不能按照职业能力形成系统化的课程,因此,“双证书”制度的推行遇到了一定的困难。

为配合各高职院校积极实施“双证书”制度工作,推进示范校建设,中国高等职业技术教育研究会和人民邮电出版社在广泛调研的基础上,联合向中国职业技术教育学会申报了职业教育与职业资格证书推进策略与“双证课程”的研究与实践课题(中国职业技术教育学会科研规划项目,立项编号 225753)。此课题拟将职业教育的专业人才培养方案与职业资格认证紧密结合起来,使每个专业课程设置嵌入一个对应的证书,拟为一般高职院校提供一个可以参照的“双证课程”专业人才培养方案。该课题研究的对象包括数控加工操作、数控设备维修、模具设计与制造、机电一体化技术、汽车制造与装配技术、汽车检测与维修技术等多个专业。

该课题由教育部的权威专家牵头,邀请了中国职教界、人力资源和社会保障部及有关行业的专家,以及全国 50 多所高职高专机电类专业教学改革领先的学校,一起进行课题研究,目前已召开多次研讨会,将课题涉及的每个专业的人才培养方案按照“专业人才定位—对应职业资格证书—职业标准解读与工作过程分析—专业核心技能—专业人才培养方案—课程开发方案”的过程开发。即首先对各专业的工作岗位进行分析和分类,按照相应岗位职业资格证书的要求提取典型工作任务、典型产品或服务,进而分析得出专业核心技能、岗位核心技能,再将这些核心技能进行分解,进而推出各专业的专业核心课程与双证课程,最后开发出各专业的人才培养方案。

根据以上研究成果,课题组对专业课程对应的教材也做了全面系统的研究,拟开发的教材具有以下鲜明特色。

1. 注重专业整体策划。本套教材是根据课题的研究成果——专业人才培养方案开发的,每个专业各门课程的教材内容既相互独立,又有机衔接,整套教材具有一定的系统性与完整性。
2. 融通学历证书与职业资格证书。本套教材将各专业对应的职业资格证书的知识和能力要求都嵌入到各双证教材中,使学生在获得学历文凭的同时获得相关的国家职业资格证书。
3. 紧密结合当前教学改革趋势。本套教材紧扣教学改革的最新趋势,专业核心课程、“双

证课程”按照工作过程导向及项目教学的思路编写,较好地满足了当前各高职高专院校的需求。

为方便教学,我们免费为选用本套教材的老师提供相关专业的整体教学方案及相关教学资源。

经过近两年的课题研究与探索,本套教材终于正式出版了,我们希望通过本套教材,为各高职高专院校提供一个可实施的基于“双证书”的专业教学方案。也热切盼望各位关心高等职业教育的读者能够对本套教材的不当之处给予批评指正,提出修改意见,并积极与我们联系,共同探讨教学改革和教材编写等相关问题。来信请发至 panchunyan@ptpress.com.cn。

本书在编写过程中,得到了许多专家和学者的帮助,特别是得到了上海出版业界的许多专家和学者的帮助,他们为本书的编写提供了许多宝贵的意见和建议。本书在编写过程中,得到了许多专家和学者的帮助,特别是得到了上海出版业界的许多专家和学者的帮助,他们为本书的编写提供了许多宝贵的意见和建议。本书在编写过程中,得到了许多专家和学者的帮助,特别是得到了上海出版业界的许多专家和学者的帮助,他们为本书的编写提供了许多宝贵的意见和建议。

本书在编写过程中,得到了许多专家和学者的帮助,特别是得到了上海出版业界的许多专家和学者的帮助,他们为本书的编写提供了许多宝贵的意见和建议。本书在编写过程中,得到了许多专家和学者的帮助,特别是得到了上海出版业界的许多专家和学者的帮助,他们为本书的编写提供了许多宝贵的意见和建议。

本书在编写过程中,得到了许多专家和学者的帮助,特别是得到了上海出版业界的许多专家和学者的帮助,他们为本书的编写提供了许多宝贵的意见和建议。本书在编写过程中,得到了许多专家和学者的帮助,特别是得到了上海出版业界的许多专家和学者的帮助,他们为本书的编写提供了许多宝贵的意见和建议。

本书在编写过程中,得到了许多专家和学者的帮助,特别是得到了上海出版业界的许多专家和学者的帮助,他们为本书的编写提供了许多宝贵的意见和建议。本书在编写过程中,得到了许多专家和学者的帮助,特别是得到了上海出版业界的许多专家和学者的帮助,他们为本书的编写提供了许多宝贵的意见和建议。

本书在编写过程中,得到了许多专家和学者的帮助,特别是得到了上海出版业界的许多专家和学者的帮助,他们为本书的编写提供了许多宝贵的意见和建议。本书在编写过程中,得到了许多专家和学者的帮助,特别是得到了上海出版业界的许多专家和学者的帮助,他们为本书的编写提供了许多宝贵的意见和建议。

本书在编写过程中,得到了许多专家和学者的帮助,特别是得到了上海出版业界的许多专家和学者的帮助,他们为本书的编写提供了许多宝贵的意见和建议。本书在编写过程中,得到了许多专家和学者的帮助,特别是得到了上海出版业界的许多专家和学者的帮助,他们为本书的编写提供了许多宝贵的意见和建议。

前言

“电机与机床电气控制”是一门实用性很强的机电类专业必修课程。本书根据当前教育部高职高专教育的改革精神,以培养应用型人才为目标,以技能培养和工程应用能力培养为主线,突出实际应用,本着“基本理论够用为度,基本技能贯穿始终”的原则编写而成。本书将“电机原理”、“电力拖动基础”、“工厂电气控制设备”等传统课程的内容进行了有机整合,兼顾国家职业技能鉴定中、高级电工的考核要求。全书不强调理论体系的完整性、系统性,做到基本知识广而不深,点到为止,侧重技能训练。

本教材是编者在总结多年来的职业技术教学、职业技能鉴定培训和工程实践经验的基础上编写的,在编写过程中突出了以下几个特点。

1. 将传统的电机原理与电机拖动以及机床电气控制内容有机地融为一体,力求知识点简明扼要、层次分明、重点突出,提高教学效率。

2. 对不易理解的较难的知识点,采用高职学生易于接受的方式叙述。例如将异步电机在不同运行情况下的参数变化等难点问题安排在具体的实用型案例中讲解,把交流电机的绕组、磁动势、电动势等基本概念进行适当分解,分层次逐步递进介绍。

3. 根据电机技术的发展趋势,鉴于直流电机的应用范围目前较少,适当压缩了直流电机部分的内容,只讲清直流电机的基本结构和基本运行原理,对直流电机的绕组、电枢反应、换向等问题只做简介性叙述,并以他励直流电动机为代表介绍直流电机的电力拖动,使学生既能全面了解直流电机的特点,又不需花费太多的时间。

4. 贯彻国家中、高级电工职业技能标准和鉴定规范的要求,将相关内容有机整合,使其融为一体,为学生顺利获取相关职业技术等级证书奠定基础。

全书分为5章,主要内容包括变压器、异步电机、直流电机及控制电机等。各章节通过常用设备和机床电气控制的分析和应用来加强相关内容的学习。本书的总学时范围为60~72学时,各个学校可以根据自身具体情况进行内容取舍,并安排一定时间的考证培训。

本书由吴灏、冯宁任主编,李传军任副主编,李剑峰和麦崇裔任主审。本书第1章由冯宁编写,第2章由吴灏编写,第3章由李传军编写,第4、5章由冯仙群编写。本书在编写过程中参考了一些国内外有关的著作和文献,在此对这些文献的作者一并表示衷心感谢。

由于作者水平有限,加上编写时间仓促,书中难免存在错误和疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2009年2月

目 录

第 1 章 变压器	1	绕组	27
1.1 变压器基础知识	1	2.2 三相异步电动机的运行分析	32
1.1.1 变压器的用途	1	2.2.1 三相异步电动机空载运行	32
1.1.2 变压器的分类	1	2.2.2 三相异步电动机负载运行	33
1.1.3 变压器的铭牌	2	2.2.3 三相异步电动机的功率和 电磁转矩	35
1.1.4 基本工作原理	3	2.3 三相异步电动机的拖动及电气 控制	37
1.1.5 基本结构	4	2.3.1 常用低压电器	37
1.2 单相变压器	6	2.3.2 三相异步电动机的机械 特性	48
1.2.1 单相变压器空载运行	6	2.3.3 生产机械的负载特性	51
1.2.2 单相变压器负载运行	8	2.3.4 笼形异步电动机的起动与 反转	52
1.2.3 同名端	9	2.3.5 绕线转子异步电动机的 起动	62
1.2.4 变压器的运行特性	10	2.3.6 三相异步电动机的调速	64
1.3 三相变压器	11	2.3.7 三相异步电动机的制动	69
1.3.1 连接组别	12	2.3.8 三相异步电动机的运行维护、 常见故障及处理方法	73
1.3.2 变压器的并联运行	13	2.4 单相异步电动机	75
1.3.3 电力变压器运行维护、常见 故障及处理方法	14	2.4.1 单相异步电动机的工作 原理	75
1.4 特殊变压器	16	2.4.2 单相异步电动机的类型及 起动方法	76
1.4.1 仪用互感器	16	2.4.3 单相异步电动机的反转及 调速	78
1.4.2 自耦变压器	18	2.4.4 单相异步电动机的常见故障 及处理方法	79
1.4.3 电焊变压器	19	小结	81
小结	20	习题	82
习题	20		
第 2 章 异步电动机及电气控制	22		
2.1 三相异步电动机的基本工作 原理	22		
2.1.1 三相异步电动机的主要 用途与分类	22		
2.1.2 三相异步电动机基本工作 原理及结构	22		
2.1.3 三相异步电动机的定子			

第 3 章 常用机床电气控制.....85

3.1 C650 型普通车床电气控制.....85

3.1.1 C650 型普通车床的工作 情况 85

3.1.2 C650 型普通车床的电气 控制 86

3.2 M7120 型平面磨床电气控制89

3.2.1 M7120 型平面磨床的工作 情况 89

3.2.2 M7120 型平面磨床的电气 控制 90

3.3 Z3040 型摇臂钻床电气控制93

3.3.1 Z3040 型摇臂钻床的工作 情况 93

3.3.2 Z3040 型摇臂钻床的电气 控制 94

3.4 X62W 型万能铣床电气控制97

3.4.1 X62W 型万能铣床的工作 情况 97

3.4.2 X62W 型万能铣床的电气 控制 97

3.5 T68 型卧式镗床电气控制105

3.5.1 T68 型卧式镗床的工作 情况 105

3.5.2 T68 型卧式镗床的电气 控制 106

小结110

习题110

第 4 章 直流电机.....112

4.1 直流电机的基本工作原理112

4.1.1 直流电机的基本工作原理及 结构 112

4.1.2 直流机电枢绕组的感应

电动势与电磁转矩 115

4.2 直流电机的拖动控制 116

4.2.1 直流电动机的机械特性 117

4.2.2 直流电动机的起动 119

4.2.3 直流电动机的调速 121

4.2.4 直流电动机的制动与反转 123

4.2.5 直流电动机的使用、维护及 常见故障处理方法 126

小结 130

习题 130

第 5 章 控制电机 132

5.1 测速发电机 133

5.1.1 直流测速发电机 133

5.1.2 交流测速发电机 134

5.2 伺服电动机 136

5.2.1 直流伺服电动机及其 应用 136

5.2.2 交流伺服电动机及其应用 138

5.3 步进电动机 142

5.3.1 步进电动机的工作原理 143

5.3.2 步进电动机的驱动与控制 145

小结 147

习题 148

附录 A 低压电器产品型号编制

方法 149

附录 B 电气图常用图形符号及文字

符号一览表 153

参考文献 156

第1章

变 压 器

变压器是根据电磁感应原理，将某一种等级的交流电能转变为同频率的另一等级交流电能的静止电气设备。变压器具有变换电压、变换电流和变换阻抗的作用。

1.1

变压器基础知识

1.1.1 变压器的用途

电力系统中变压器是电能的传输、分配和使用的主要电气设备。远距离传输大功率电能时，可通过变压器升高电压，减小电流，以降低线路压降和线路损耗，节省输电线材。我国高压输电线路等级主要有 35 kV、110 kV、220 kV、330 kV、500 kV 及 750 kV，但发电厂的交流发电机受绝缘结构条件的限制，一般额定电压为 15~20 kV，故发电机发出的电压需经变压器升高后再输送；同时受电端又必须经变压器降压，以满足用户电气设备的用电要求与安全使用的目的。由于电能从发电厂到用户的传输和分配，需经多次变换电压，因此，电力系统中变压器设备总容量大约为发电设备总容量的 6~8 倍。无论在电力系统、自控系统还是在电子线路中变压器都具有广泛的应用。同时变压器还广泛应用于通信、广播、遥测、金属冶炼、焊接及其他方面。

1.1.2 变压器的分类

变压器种类繁多，品种庞杂，为适应不同的工作条件和目的，分类见表 1-1。其中最主要的品种是电力变压器，除此之外的其他用途变压器均可统称为特种变压器，包括电炉变压器、电焊变压器、整流变压器、试验变压器、仪用互感器、控制用变压器等。

表 1-1 变压器的分类

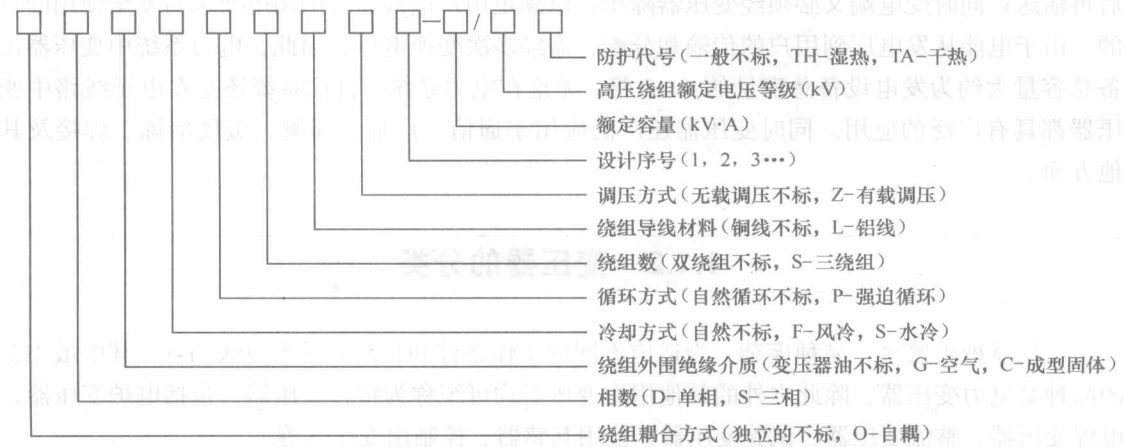
分 类 方 法	类 别	细 分 类 别
安装地点分类	户内 户外	干式 油浸式、柱上式、平台式、一般户外
相数分类	单相、三相	
调压方式分类	无激磁调压、有载调压	
绕组数量分类	双绕组、三绕组、单绕组自耦变 压器	特殊整流变压器分离的绕组有多 于三绕组的
导电体材质分类	铜导线、铝导线、半铜半铝	
导磁体材质分类	冷轧硅钢片、热轧硅钢片	
冷却方式分类	油浸自冷 油浸风冷 油浸水冷 强油循环 干式自冷 干式风冷	扁管散热、片式散热、瓦楞油箱 附冷却风扇 附油水冷却器 有潜油泵 附风冷却器
使用要求分类	电力用 电炉用 整流用 矿用 船用 中频淬火 试验用 电信用 电焊用	电力变压器，输、配电用 电炉变压器，炼钢、炼电石、炼合金 整流变压器，牵引、传动、电解或 高压整流 一般型和防爆型 防滴型和防护型 可作中频加热 高压耐压实验变压器 调幅变压器 电焊变压器

1.1.3 变压器的铭牌

为了便于用户正确使用和维护变压器，生产厂家按照国家标准，在铭牌上标明变压器型号及各种额定数据。

1. 型号

型号表明变压器的基本类别和特点。各项内容规定如下。



2. 额定值

(1) 额定容量 S_N (V·A 或 kV·A)

指额定状态下运行时变压器输出的视在功率, 三相变压器指三相容量之和。

单相变压器

$$S_N = U_{1N} I_{1N} = U_{2N} I_{2N} \quad (1-1)$$

三相变压器

$$S_N = \sqrt{3} U_{1N} I_{1N} = \sqrt{3} U_{2N} I_{2N} \quad (1-2)$$

(2) 额定电压 U_{1N} 、 U_{2N} (V 或 kV)

U_{1N} : 变压器一次侧的额定电压。

U_{2N} : 变压器一次侧加额定电压时, 二次侧的空载电压值。

对于三相变压器, 两者均指线电压。

(3) 额定电流 I_{1N} 、 I_{2N} (A 或 kA)

根据额定容量和额定电压算出的一、二次侧电流。对于三相变压器, 两者均指线电流。

(4) 额定频率 f_N (Hz)

中国规定的标准工业用电频率为 50 Hz。

除此之外铭牌上还有效率、温升、连接组别、短路阻抗电压值等。

例 1.1 有一台三相油浸自冷式铝线变压器, $S_N = 180 \text{ kV} \cdot \text{A}$, Yyn 接法, $U_{1N} / U_{2N} = 10 \text{ kV} / 0.4 \text{ kV}$ 。试求一、二次侧的额定电流。

解:

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{1N}} = \frac{180}{\sqrt{3} \times 10} = 10.4 \text{ A}$$

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3} U_{2N}} = \frac{180}{\sqrt{3} \times 0.4} = 259.8 \text{ A}$$

1.1.4 基本工作原理

变压器基本部件是铁芯和绕组, 称为器身。图 1-1 所示为单相双绕组变压器结构示意图。

图 1-2 所示为变压器在不同电路图中的符号。其中与电源相连的绕组称为一次绕组 (又称为原边、初级), 与负载相连的绕组称为二次绕组 (又称为副边、次级)。

当在一次绕组中加上交流电压时, 产生交流电流, 并在铁芯中产生磁通。该磁通同时交链一、二次绕组。根据电磁感应定律, 必然在两绕组上均产生感应电动势, 二次绕组在感应电动势的作用下向负载供电, 实现电能传递。

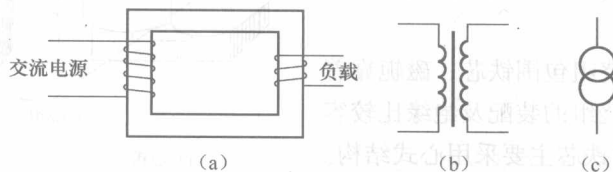
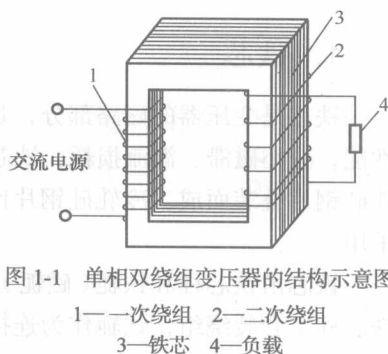


图 1-2 变压器示意图

可见一、二次绕组电路只有磁的耦合，通常没有电的联系，变压器本身不产生电能，仅起传递电能、变换电压的作用。

1.1.5 基本结构

变压器的种类不同，其结构也有较大差别，但是主要结构是基本相同的，除器身外，还包括油箱及其他附件。下面仅以图 1-3 所示的油浸式电力变压器为例介绍主要结构部件。

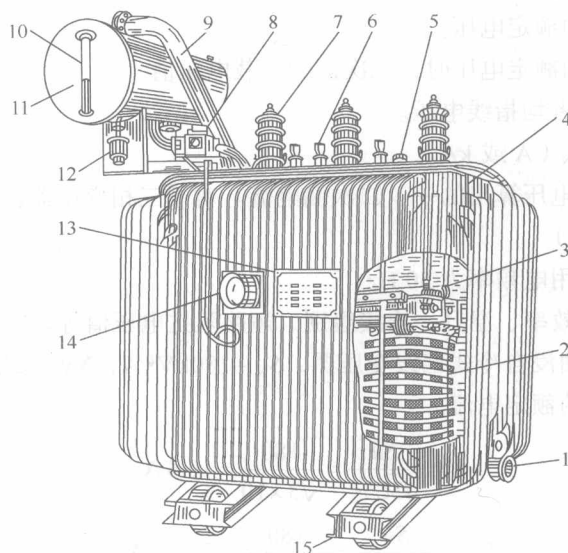


图 1-3 油浸式电力变压器结构示意图

- 1—油阀 2—绕组 3—铁芯 4—油箱 5—分接开关
6—低压套管 7—高压套管 8—瓦斯继电器 9—防爆筒
10—油位器 11—油枕 12—吸湿器 13—铭牌 14—温度计 15—小车

1. 铁芯

铁芯是变压器的磁路部分，是磁通闭合的路径，又是绕组的支撑骨架。为提高铁芯的导磁性能，减小磁滞、涡流损耗，铁芯通常采用表面经绝缘处理的 0.35 mm 厚度的热轧硅钢片或冷轧硅钢片叠装而成。冷轧硅钢片比热轧硅钢片具有更好的导磁性能、较低的损耗，因此被广泛采用。

铁芯由铁芯柱和铁轭（磁轭）两部分组成。铁芯柱上套装绕组，铁轭作为连接磁路之用，不套绕组。铁芯的结构分为心式和壳式两种，如图 1-4 所示。

（1）心式结构：绕组包围铁芯，磁轭靠着绕组的顶面和底面。绕组的装配及绝缘比较容易，国产电力变压器的铁芯主要采用心式结构。

（2）壳式结构：铁芯不仅包围绕组顶面、

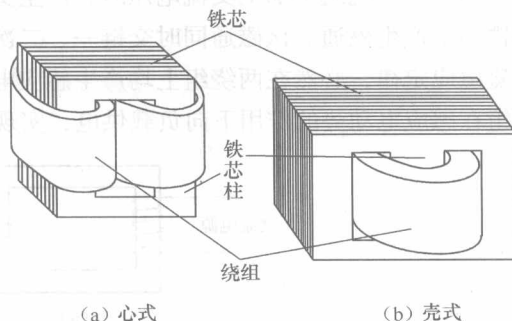


图 1-4 心式和壳式变压器

底面，而且还包围绕组的侧面。壳式变压器机械强度好但制造复杂、费料，一般只用于小型电源变压器。

2. 绕组

绕组是变压器的电路部分，通过电磁感应实现交流电能的传递，应具有较高的耐热性能、机械强度及良好的散热条件，以保证变压器的可靠运行和寿命。一般小容量配电变压器绕组常采用漆包扁铜线或铝线；大中型变压器绕组多采用纱包或纸包铜线绕制而成。

按高、低压绕组在铁芯柱上放置方式的不同，绕组结构分为同心式和交叠式两种，如图 1-5 所示。

(1) 同心式结构：高、低压绕组同心地套装在同一个铁芯柱上。为了便于绝缘，通常低压绕组装在里面，高压绕组装在外面，在高、低压绕组之间以及绕组与铁芯之间都加有绝缘。国产电力变压器的绕组主要采用同心式结构。

(2) 交叠式结构：高、低压绕组都做成饼状，沿铁芯柱高度方向交替排列。为了便于绝缘，通常最上层和最下层均为低压绕组。主要用于大型的电炉变压器。

3. 附件

油浸式电力变压器的附件主要包括油箱、分接开关、绝缘套管、冷却装置、安全保护装置、检测装置等。

(1) 油箱：用于盛装变压器油及安装器身。变压器油是器身的绝缘和散热介质。油箱由钢板焊成，中小型变压器多采用桶式油箱，而大型变压器为了便于检修，多采用钟罩式油箱。

(2) 分接开关：装在箱盖上，

可以在空载情况下改变高压绕组的匝数 ($\pm 5\%$)，如图 1-6 所示。用于调节变压器的输出电压使其控制在允许范围之内。一般不可频繁使用。

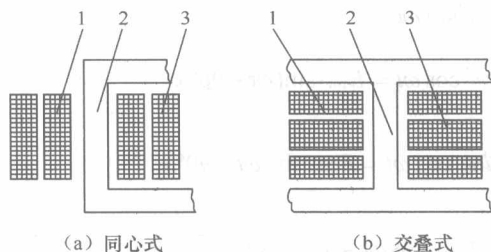


图 1-5 绕组的排列

1—低压绕组 2—铁芯 3—高压绕组

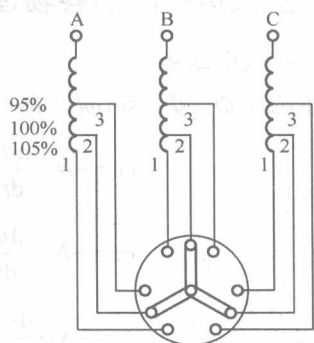


图 1-6 变压器的分接开关

(3) 绝缘套管：是变压器绕组的引出装置，将其装在变压器油箱上，实现带电的引线与接地的油箱之间的绝缘。主要由瓷套和导电杆等组成。

变压器运行时，为把温升控制在一定范围内，必须采用一些冷却装置，包括油浸自冷、油浸风冷和强迫油循环等类型。为了保证变压器安全运行，变压器还设有安全保护装置，包括储油柜、吸湿器、安全气道、气体继电器等。变压器的检测装置包括油位器和测温元件等。

1.2

单相变压器

1.2.1 单相变压器空载运行

变压器空载运行是指一次绕组接入额定电压的交流电源，而二次绕组开路的运行状态。

1. 空载运行时的物理过程

如图 1-7 所示，变压器中各物理量的正方向一般按照电工惯例来规定。同一条支路中，电压 u 与电流 i 正方向一致；磁通 Φ 与电流正方向符合右手螺旋法则；由磁通 Φ 产生的感应电动势 E ，其正方向与产生该磁通的电流正方向一致。

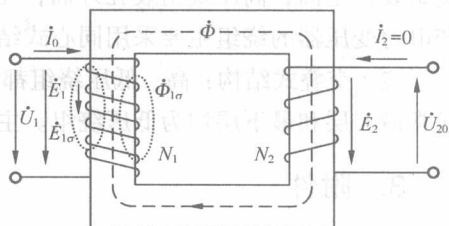


图 1-7 单相变压器的空载运行

空载时一次绕组流过的电流称为空载电流 $\dot{I}_0$ ， $\dot{I}_0$ 产生空载磁动势 $\dot{F}_0 = \dot{I}_0 N_1$ ，并建立空载磁通。空载磁通绝大部分沿铁芯闭合且与一、二次绕组同时交链，这部分磁通称为主磁通 $\dot{\Phi}$ ；另有一小部分磁通经非磁性材料闭合，只与一次绕组交链，称为一次绕组的漏磁通 $\dot{\Phi}_{1\sigma}$ 。根据电磁感应定律，主磁通 $\dot{\Phi}$ 在一、二次绕组中分别产生感应电动势 $\dot{E}_1$ 和 $\dot{E}_2$ ；漏磁通 $\dot{\Phi}_{1\sigma}$ 只在一次绕组中产生漏磁感应电动势 $\dot{E}_{1\sigma}$ 。二次绕组电动势 $\dot{E}_2$ 对负载而言即为电源电动势，其空载电压为 $\dot{U}_{20}$ 。

2. 空载运行时的各物理量

(1) 空载电动势

设主磁通 $\Phi = \Phi_m \cdot \sin \omega t$ ，漏磁通 $\Phi_{1\sigma} = \Phi_{1\sigma m} \cdot \sin \omega t$ 。

则

$$e_1 = -N_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt} = -\omega \cdot N_1 \cdot \Phi_m \cdot \cos \omega t = E_{1m} \cdot \sin(\omega t - 90^\circ)$$

$$e_2 = -N_2 \cdot \frac{d\Phi}{dt} = -\omega \cdot N_2 \cdot \Phi_m \cdot \cos \omega t = E_{2m} \cdot \sin(\omega t - 90^\circ)$$

$$e_{1\sigma} = -N_1 \cdot \frac{d\Phi_{1\sigma}}{dt} = -\omega \cdot N_1 \cdot \Phi_{1\sigma m} \cdot \cos \omega t = E_{1\sigma m} \cdot \sin(\omega t - 90^\circ)$$

各电动势有效值分别为

$$E_1 = \frac{E_{1m}}{\sqrt{2}} = \frac{\omega \cdot N_1 \cdot \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4.44 f \cdot N_1 \cdot \Phi_m \quad (1-3)$$

$$E_2 = \frac{E_{2m}}{\sqrt{2}} = \frac{\omega \cdot N_2 \cdot \Phi_m}{\sqrt{2}} = 4.44 f \cdot N_2 \cdot \Phi_m \quad (1-4)$$

$$E_{1\sigma} = \frac{E_{1\sigma m}}{\sqrt{2}} = \frac{\omega \cdot N_1 \cdot \Phi_{1\sigma m}}{\sqrt{2}} = 4.44 f \cdot N_1 \cdot \Phi_{1\sigma m} \quad (1-5)$$