

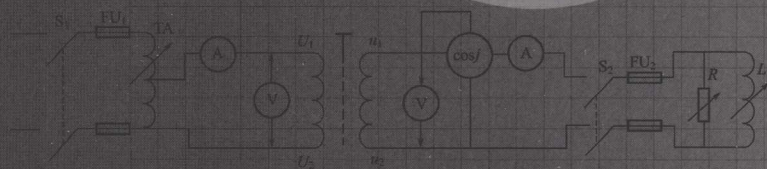
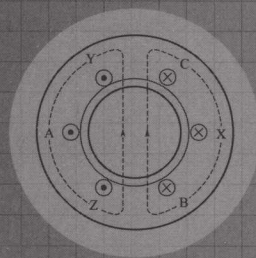
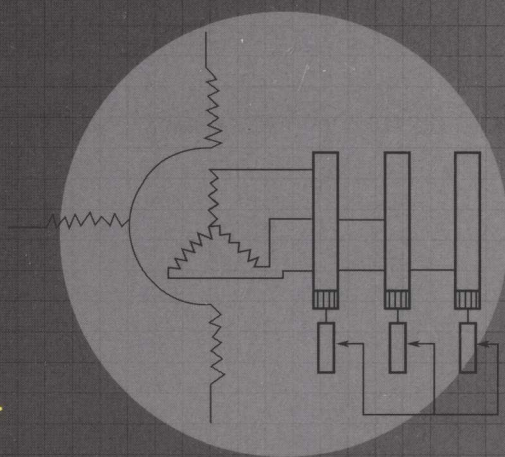
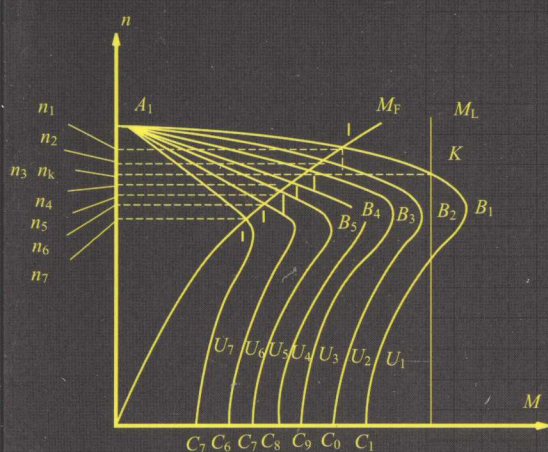
全国高职高专 **工作过程导向** 规划教材

电机控制与维修

李德俊 主 编

李 欣 赵亚丽 副主编

DIANJI KONGZHI YU WEIXIU



化学工业出版社

全国高职高专 **工作过程导向** 规划教材

电机控制与维修

李德俊 主 编
李 欣 赵亚丽 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

电机控制与维修/李德俊主编. —北京: 化学工业出版社, 2009. 8

全国高职高专工作过程导向规划教材

ISBN 978-7-122-05712-9

I. 电… II. 李… III. ①电机-控制系统②电机-维修 IV. TM30

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 101467 号

责任编辑: 宋 辉

责任校对: 徐贞珍

装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 15 $\frac{3}{4}$ 字数 390 千字 2009 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究

“全国高职高专工作过程导向规划教材” 编写委员会

主 任 俸培宗

副主任 (按姓名笔画排列)

于增信	么居标	付宏生	朱凤芝	刘 强
刘玉宾	刘京华	孙喜平	张 耀	张春芝
张雪莉	罗晓晔	周伟斌	周国庆	赵长明
胡兴盛	徐红升	黄 斌	彭林中	曾 鑫
解海滨				

委 员 (按姓名笔画排列)

于增信	么居标	王 会	卞化梅	布 仁
付宏生	冯志新	兰俊平	吕江毅	朱 迅
朱凤芝	朱光衡	任春晖	刘 强	刘玉宾
刘京华	刘建伟	安永东	孙喜平	孙琴梅
杜 潜	李占锋	李全利	李慧敏	李德俊
何佳兵	何晓敏	张 彤	张 钧	张 耀
张小亮	张文兵	张红英	张春芝	张雪莉
张景黎	陈金霞	武孝平	罗晓晔	金英姬
周伟斌	周国庆	孟冬菊	赵长明	赵旭升
胡 健	胡兴盛	侯 勇	贺 红	俸培宗
徐红升	徐志军	凌桂琴	高 强	高吕和
高英敏	郭 凯	郭宏彦	陶英杰	黄 伟
黄 斌	常慧玲	彭林中	葛惠民	韩翠英
曾 鑫	路金星	鲍晓东	解金柱	解海滨
薄志霞				

随着市场经济体制的完善、科学技术的进步、产业结构的调整及劳动力市场的变化，职业教育面临着“以服务社会主义现代化建设为宗旨、培养数以亿计的高素质劳动者和数以千万计的高技能专门人才”的新任务。高等职业教育是全面推进素质教育，提高国民素质，增强综合国力的重要力量。2005年颁布的《国务院关于大力发展职业教育的决定》中国家进一步推行以就业为导向、继续实行多形式的人才培养工程和推进职业教育的体制改革与创新，提出“职业院校要根据市场和社会需要，不断更新教学内容，合力调整专业结构”。在《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）文件中，教育部明确指出“课程建设与改革是提高教学质量的核心，也是教学改革的重点和难点。高等职业院校要积极与行业企业合作开发课程，根据技术领域和职业岗位（群）的任职要求，参照相关的职业资格标准，改革课程体系和教学内容。”

新时期下我国经济体制转轨变型也带来对人才需求和人才观的新变化。大量新技术、新工艺、新材料和新方法的不断涌现使得社会对新型技能人才的需求更加迫切，而以传统学科式职业教学体系培养出来的人才无论从数量、结构和质量都不能很好满足经济建设和社会发展的需要，而满足社会的需要才是职业教育的最终目的。在新形势下，进行职业教育课程体系的教学改革是职业教育生存和发展的唯一出路。改革现行的培养体系、课程模式、教学内容、教材教法，培养造就技术素质优秀的劳动者，已成为高等职业学校教育改革的当务之急。

针对上述情况，高职院校应大力进行课程改革和建设，培养学生的综合职业能力和职业素养。课程设计以职业能力培养为重点，与企业合作进行基于工作过程的课程开发与设计，充分体现职业性、实践性和开放性的要求，重视学生在校学习与实际工作的一致性，有针对性地采取工学交替、任务驱动、项目导向、课堂与实习地点一体化等行动导向的教学模式。课程的教学内容来自于企业生产、经营、管理、服务的实际工作过程，并以实际应用的经验和策略等过程性知识为主。以具体化的工作项目（任务）或服务为载体，每个项目或任务都包括实践知识、理论知识、职业态度和情感等内容，是相对完整的一个系统。在课程的“项目”或“任务”设置上，充分考虑学生的个性发展，保留学生的自主选择空间，兼顾学生的职业发展。

为此，化学工业出版社在全国范围内组织了二十所职业院校机械、电气、汽车三个专业的百余位老师编写了这套“全国高职高专工作过程导向规划教材”，为推动我国高等职业院校教学改革做了有益的尝试。

在教材的编写思路，我们积极配合新的课程教学模式、教学内容、教学方法的改革，结合学校和企业工业现场的设备，打破学科体系界限和传统教材以知识体系编写教材的思路，以知识的应用为目的，以工作过程为主线，融合了最新的技术和工艺知识，强调知识、能力、素质结构整体优化，强化设备安装调试、程序设计指导、现场设备维修、工程应用能

力训练和技术综合一体化能力培养。

在内容的选择上，突出了课程内容的职业指向性，淡化课程内容的宽泛性；突出了课程内容的实践性，淡化课程内容的纯理论性；突出了课程内容的实用性，淡化课程内容的形式性；突出了课程内容的时代性和前瞻性，淡化课程内容的陈旧性。

在编写力量上，我们组织了一批高等职业院校一线的教学名师，他们大都在自己的教学岗位上积极探索和应用着新的教学理念和教学方法，其中一部分教师曾被派到德国进行双元制教学的学习，再把国外的教学模式与我国职业教育的现实进行有机结合，并把取得的经验和成果毫无保留地体现在教材编写中。

同时，我们还邀请企业人员参与教材编写，并与相关职业资格标准、行业规范相结合，充分体现了校企合作和工学结合，突出了创新性、先进性和实用性。

本套教材从编写内容和编写模式方面，都充分体现了全国高职院校教学改革成果，符合学生的认知规律，适应科技发展的需要，必将为职业院校培养高素质人才提供强有力的保证。

编委会

课程建设与改革是提高教学质量的核心,也是教学改革的重点和难点。为贯彻教育部教学改革的重要精神,同时为配合职业院校教学改革和教材建设,更好地为职业院校深化改革服务,化学工业出版社组织近二十所院校的老师共同编写了这套“全国高职高专工作过程导向规划教材”,该套教材涉及机械、电气、汽车三个专业领域,其中电气专业包括:《电机控制与维修》、《电子技术》、《电机与电气控制》、《变频器应用与维修》、《PLC 技术应用——西门子 S7-200》、《单片机系统设计与调试》、《工厂供配电技术》、《自动检测仪表使用与维护》、《集散控制系统应用》、《自动化生产线安装、调试与维护》、《液压气动技术与应用(非机械专业适用)》。

电机控制与维修是高职高专电气类专业和机电类专业的一个专业基础学习领域。本书根据高职高专的培养目标,结合高职高专的教学改革和课程改革,按照“工作过程导向”的原则编写而成。本着由浅入深、由简单到复杂、由低级到高级的教学规律,紧密靠近生产实际需要,本书按六个学习情景设计。每个学习情景又分为 2~5 个任务。每个任务均包含任务描述、任务目标、知识准备、任务实施、知识拓展、学习小结、自我评估和评价标准八个环节。

本书根据企业现场实际和岗位工作需要,打破课程的学科体系,打破理论和实践教学的分界线。在理论内容上以“够用多一点”为标准,为学生的后续发展奠定一定的基础;在技能内容上以“够用”为标准,为“上岗顶用”培养必需技能;在方法上适合“教—学—做”一体的教学模式改革。即在“双证融通”的专业培养目标指导下,将课程内容与技能认证的需要相融合,确定为若干任务进行学习和探索。每个任务内容从企业生产实践选题,再设计成工作任务,做到企业需要什么就教什么,教什么就练什么,练什么就会什么,重在职业技能训练和职业能力培养。同时,本书加强了新技术、新工艺、新方法、新知识的介绍,特别是书中图例尽量采用了最新的《电气简图用图形符号》国家标准。

本书内容丰富,每个任务的知识结构基本是电机的结构特点、基本原理、用途、控制、使用与维修。参考教学时数为 130 学时。不同专业在选用时可根据本专业的教学计划及专业要求合理选用。在使用本书进行教学时应注意以下几点:

(1) 每个任务的“任务实施”基本体现了“工作过程导向”的四步法教学过程,即:资讯、计划与决策、实施、检查与评价。指导教师要深刻理解并合理发挥指导作用,真正使学生成为教学过程中的“主体”。

(2) “资讯”是学生获得工作任务及完成工作任务相关知识和技能的环节。在这个环节中,学生通过任务名称、任务描述及任务目标获得工作任务的信息,进行“计划与决策”,包括如何获得工作任务的相关知识(是自学还是由教师讲授)、用什么方法完成工作任务、完成工作任务需要哪些设备与工具、小组成员如何分工等;指导教师则要布置工作任务,根据工作任务提出引导性问题,针对学生的具体情况,进行个别指导或全体指导。

(3) “任务实施”是重要环节。这个环节重在培养学生的工作技能,包括理论知识的兑现、完成任务的计划与决策是否正确合理、设备与工具的操作使用方法。在这个环节中,学

生要应用相关的理论知识、要学习进行工作的基本方法和基本技能、要学习和练习设备与工具的操作使用方法、要逐步掌握各种相关的规程与规定，还要学习工作过程的组织与管理等；指导教师则要强调工作方法、安全注意事项，检查计划与决策的正确合理性，指导进行工作的基本方法和基本技能、设备与工具的正确操作使用。

(4) “检查与评价”环节是难以控制的环节。检查贯穿于任务实施全过程的各个环节，包括学生自检、互检和教师对学习小组计划与决策的检查、学生操作过程的检查、阶段实施成果的检查以及任务完成总体情况的检查。评价主要是对阶段实施成果和任务完成总体情况的评价，可以包括学生自评与互评，但主要应是指导教师对学生的评价。“检查与评价”环节如果掌控不好，将花费过多的时间，甚至影响工作进度。指导教师应事先编制各类评价表，摸索评价规律，总结评价经验，寻求一种省时省力有效的评价方法，切忌以评价代替检查。

本书由北京工业职业技术学院李德俊担任主编并编写学习情境5、6，北京电子科技职业学院李欣任副主编并编写学习情境3，承德石油高等专科学校赵雅丽任副主编并编写学习情境1、2、4。北京工业职业技术学院路金星、北京电子科技职业学院余宝海、承德石油高等专科学校路泽勇参加编写。

本套教材中练习题的答案请到 <http://www.cipedu.com.cn> 下载！

由于编者水平有限，书中疏漏之处在所难免，欢迎各位读者批评指正。

编者

目录

学习情境 1 变压器的选择与使用

任务 1.1 认识变压器	2	【任务实施】变压器的特性测试	12
【任务描述】	2	【学习小结】	14
【任务分析】	2	【自我评估】	14
【知识准备】	2	【评价标准】	14
1. 变压器的基本结构和工作原理	2	任务 1.3 三相变压器、特种变压器	
2. 变压器的铭牌	6	认识与应用	15
【任务实施】变压器的外形观察	7	【任务描述】	15
【学习小结】	8	【任务分析】	15
【自我评估】	8	【知识准备】	15
【评价标准】	9	1. 三相变压器	15
任务 1.2 单相变压器性能参数		2. 自耦变压器	20
测试	9	3. 互感器	21
【任务描述】	9	4. 电焊变压器	23
【任务分析】	9	【任务实施】特种变压器的认识与接线	24
【知识准备】	10	【知识拓展】钳形电流表	25
1. 空载测试	10	【学习小结】	26
2. 短路测试	10	【自我评估】	27
3. 负载测试	11	【评价标准】	27

学习情境 2 直流电动机的启动、调速、反转与制动

任务 2.1 认识直流电机	29	任务 2.2 直流电动机的启动、调速、	
【任务描述】	29	反转与制动	41
【任务分析】	29	【任务描述】	41
【知识准备】	29	【任务分析】	41
1. 直流电动机的基本结构	29	【知识准备】	42
2. 直流电动机的铭牌	31	1. 直流电动机的机械特性	42
3. 直流电动机的基本原理	34	2. 直流电动机的启动与反转	44
4. 直流电动机的电枢反应	34	3. 直流电动机的制动	45
5. 直流电动机的电枢感应电动势和电磁		4. 直流电动机的调速	47
转矩	35	【任务实施】直流电机的启动/反转	48
6. 直流电动机	36	【知识拓展】转速表	50
【任务实施】直流电机的认知	38	【学习小结】	51
【学习小结】	40	【自我评估】	51
【自我评估】	40	【评价标准】	52
【评价标准】	41		

学习情境 3 三相异步电动机的启动、调速、反转与制动

任务 3.1 认识三相异步电动机 54

【任务描述】 54

【任务分析】 54

【知识准备】 54

1. 三相异步电动机的特点、用途和

分类 54

2. 三相异步电动机的结构与工作原理 55

3. 三相异步电动机的铭牌 58

4. 三相异步电动机的机械特性 60

5. 三相异步电动机的检测、接线和简单

操作使用 61

【任务实施】 三相异步电动机的认知 62

【学习小结】 64

【自我评估】 65

【评价标准】 65

任务 3.2 三相异步电动机的启动、 调速、反转与制动 66

【任务描述】 66

【任务分析】 66

【知识准备】 67

1. 三相异步电动机的启动 67

2. 三相异步电动机的调速 69

3. 三相异步电动机的反转 70

4. 三相异步电动机的制动 70

【任务实施】 三相异步电动机的启动/
反转 72

【学习小结】 75

【自我评估】 75

【评价标准】 75

任务 3.3 三相异步电动机点动、连 续运行控制线路的装接与 调试 76

【任务描述】 76

【任务分析】 76

【知识准备】 77

1. 常用电气控制线路的元器件 77

2. 三相异步电动机点动运行控制线路 82

3. 三相异步电动机连续运行控制线路 82

4. 三相异步电动机点动、连续运行控制

线路的安装训练 83

【任务实施】 三相异步电动机点动、连续运
行控制线路的装接与调试 83

【知识拓展】 电气识图及基本控制线路 85

【学习小结】 90

【自我评估】 90

【评价标准】 91

任务 3.4 三相异步电动机双向互 锁运行控制线路的装接 与调试 91

【任务描述】 91

【任务分析】 92

【知识准备】 92

1. 三相异步电动机接触器互锁的双向

运行控制线路 92

2. 三相异步电动机按钮互锁的双向

运行控制线路 93

3. 三相异步电动机按钮、接触器双重互锁

的双向运行控制线路 94

【任务实施】 三相异步电动机双向互锁运行
控制线路的装接与调试训练 94

【知识拓展】 低压电器的选择 97

【学习小结】 99

【自我评估】 99

【评价标准】 99

任务 3.5 三相异步电动机 Y-D 降 压启动控制线路的装接 与调试 100

【任务描述】 100

【任务分析】 100

【知识准备】 101

1. 时间继电器与速度继电器 101

2. 三相异步电动机 Y-D 降压启动控制
线路 103

【任务实施】 三相异步电动机 Y-D 降压启动
控制线路的装接与调试训练 104

【学习小结】 105

【自我评估】 105

【评价标准】 106

学习情境 4 特种电机（单相/伺服/测速/步进电机）的选择与使用

任务 4.1 单相异步电动机的选择与 使用 108

【任务描述】 108

【任务分析】 108

【知识准备】	108	【任务描述】	121
1. 单相异步电动机结构和工作原理	108	【任务分析】	121
2. 单相异步电动机类型与特性	109	【知识准备】	121
3. 单相异步电动机调速与反转	112	1. 伺服电机	121
【任务实施】	114	2. 测速发电机	123
【学习小结】	114	【任务实施】 各类伺服电机和测速电机的 认识	124
【自我评估】	114	【学习小结】	125
【评价标准】	115	【自我评估】	125
任务 4.2 单相异步电动机控制实例—— 电风扇控制	115	【评价标准】	125
【任务描述】	115	任务 4.4 步进电动机的使用与 选择	126
【任务分析】	115	【任务描述】	126
【知识准备】	115	【任务分析】	126
1. 降压调速的可能性	115	【知识准备】	126
2. 降压调速的方法	116	1. 步进电动机的结构	126
【任务实施】 电风扇调速	118	2. 步进电动机的工作原理	127
【知识拓展】 电风扇常见故障与处理	119	3. 步进电动机的选择	129
【学习小结】	120	【任务实施】 各类步进电机的认知	129
【自我评估】	120	【学习小结】	130
【评价标准】	120	【自我评估】	130
任务 4.3 伺服电机、测速发电机的 选择与使用	121	【评价标准】	130

学习情境 5 模拟设备的操作与电气排故

任务 5.1 桥式起重机控制线路的操 作与电气排故	132	任务 5.2 X62W 卧式万能铣床控制 线路的操作与电气排故	148
【任务描述】	132	【任务描述】	148
【任务分析】	132	【任务分析】	148
【知识准备】	132	【知识准备】	149
1. 桥式起重机的电气控制系统	132	1. 铣床的电气控制系统	149
2. 15/3t 桥式起重机控制电路故障分析与 排除	140	2. X62W 万能铣床电气控制电路分析	153
3. 15/3t 桥式起重机电路问答	145	3. X62W 万能铣床控制线路故障分析与 排除	155
【任务实施】 15/3t 桥式起重机控制电路的 故障检修	146	【任务实施】 X62W 万能铣床控制电路故障 检修	161
【学习小结】	147	【学习小结】	162
【自我评估】	147	【自我评估】	163
【评价标准】	147	【评价标准】	163

学习情境 6 三相异步电动机的拆装与维修

任务 6.1 笼型三相异步电动机的 拆装	165	【知识准备】	165
【任务描述】	165	1. 三相异步电动机的结构	165
【任务分析】	165	2. 电机常用拆装工具及仪器仪表	169
		3. 轴承	180

4. 三相异步电动机的拆装.....	181	4. 维修电机常用材料.....	203
【任务实施】三相异步电动机的拆装	188	5. 三相异步电动机的维护与常见故障	
【学习小结】	191	分析.....	212
【自我评估】	191	6. 定子的维修.....	215
【评价标准】	191	7. 转子的维修.....	219
任务 6.2 笼型三相异步电动机的修		8. 三相异步电动机绕组的重绕.....	224
理与维护	192	9. 电动机修理后的检查与试运转.....	230
【任务描述】	192	【任务实施】三相异步电动机定子绕组的重绕.....	233
【任务分析】	192	【学习小结】	235
【知识准备】	193	【自我评估】	236
1. 绕组基本概念.....	193	【评价标准】	236
2. 三相异步电动机绕组的排列.....	194		
3. 电机常用维修工具及仪器仪表.....	199		
参考文献	237		

学习情境1

变压器的选择与使用



任务目标

技能目标:

- ① 能计算变压器的各种参数;
- ② 能根据负载要求选择电力变压器;
- ③ 能根据负载要求选择特殊变压器;
- ④ 能实施变压器性能参数测试。

知识目标:

- ① 了解各种变压器的结构;
- ② 熟悉各种变压器的工作原理;
- ③ 掌握各种变压器的基本计算。

任务 1.1 认识变压器

【任务描述】

变压器是在电力系统和电子线路中应用广泛的电气设备。它利用电磁感应原理，将一种交变电压转变为另一种或两种以上频率相同而数值不同的交变电压。在电能的传输、分配和使用中，变压器是关键设备，具有重要意义。除电力系统外，它在通信、广播、冶金、焊接、电子实验、电气测量、自动控制等方面均有广泛应用。本任务主要研究变压器的分类、铭牌以及变压器的基本结构与工作原理等内容。

【任务分析】

技能目标：

- ① 能根据变压器外形及铭牌确定变压器特点与用途；
- ② 能根据负载要求选择电力变压器。

知识目标：

- ① 了解各种变压器的结构；
- ② 熟悉单相变压器的工作原理；
- ③ 掌握单相变压器的基本计算。

【知识准备】

1. 变压器的基本结构和工作原理

(1) 单相变压器的工作原理

常用单相变压器的原理图如图 1-1 所示，它由一个铁芯和两个独立绕组组成。铁芯构成变压器的磁路部分，绕组构成变压器的电路部分。接交流电源的绕组称为原绕组，接负载的另一绕组称为副绕组。原绕组的电压、电流、阻抗、功率等量，叫做原边量，以下标 1 表示，副绕组的各量叫副边量，以下标 2 表示。因此原边又称为一次侧，副边称为二次侧。

在变压器原边加上电源电压 U_1 ，在 U_1 作用下，绕组中产生交流电流，这个电流在铁芯中建立交变磁通 Φ ，它穿过变压器的两个绕组，并使两个绕组中产生感应电动势，它们的大小分别为：

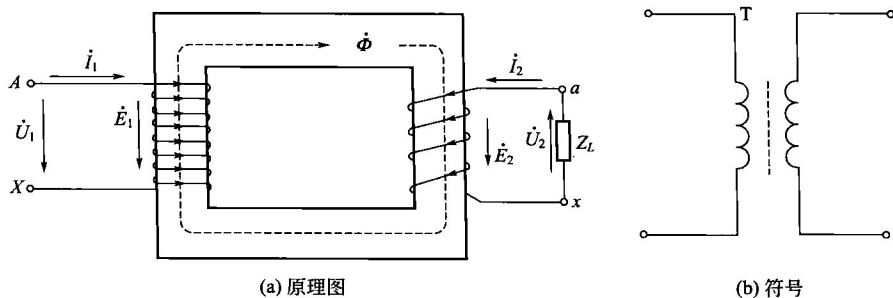


图 1-1 单相变压器原理图

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

$$e_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

变压器原绕组从交流电源吸收电能传递到副绕组供给负载，铁芯中的磁通是能量传递的中介桥梁。事实证明，变压器只能传递交流电能，而不能产生电能；它只能改变交流电压或电流的大小，不改变频率；在传递过程中几乎不改变电流与电压大小的乘积，即

$$P = U_1 I_1 \approx U_2 I_2$$

由此可见，当变压器原绕组通以交流电流时，在其铁芯中产生交变磁通，根据电磁感应原理，原、副绕组都产生感应电动势，副绕组的感应电动势相当于新的电源，这就是变压器的基本工作原理。

【例 1-1】 低压照明变压器一次绕组匝数 $N_1 = 1210$ 匝，一次绕组电压 $U_1 = 220\text{V}$ ，二次绕组输出电压 $U_2 = 36\text{V}$ ，求二次绕组匝数 N_2 及变比 k 。

解：由于

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\text{则 } N_2 = \frac{U_2}{U_1} N_1 = \frac{36}{220} \times 1210 = 198 \text{ 匝}$$

$$K = \frac{N_1}{N_2} = \frac{1210}{198} = 6.1$$

推论一：变电流作用

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

$$I_1 = \frac{U_2}{U_1} I_2 = \frac{I_2}{k}$$

【例 1-2】 现有三种规格的白炽灯：36V/500W，36V/60W，220V/60W，另有一台额定容量 $S_N = 300\text{V} \cdot \text{A}$ 、电压为 220V/36V 的变压器，问：（1）上述三种白炽灯中，哪种可以接在该变压器的二次侧使用？最多能接这种规格的白炽灯几个？（2）此变压器一次绕组的匝数是 825 匝，求二次绕组的匝数是多少？（3）二次侧灯泡点亮时，变压器一次、二次绕组中的电流各为多少？

解：（1）给定的三种规格的白炽灯，只有 36V/60W 规格的可以接在该变压器二次侧使用。

每个白炽灯的电流为

$$\frac{60}{36} = 1.67\text{A}$$

而该变压器二次侧额定电流为

$$\frac{300}{36} = 8.33\text{A}$$

可接灯泡个数为

$$\frac{8.33}{1.67} = 4.99 \approx 5 \text{ 个}$$

$$(2) N_2 = N_1 \frac{U_2}{U_1} = 825 \times \frac{36}{220} = 135 \text{ 匝}$$

（3）灯泡点亮时，变压器二次绕组电流

$$I_2 = 5 \times \frac{P}{U_2} = 5 \times \frac{60}{36} = 8.33 \text{ A}$$

则一次绕组电流

$$I_1 = I_2 \frac{N_2}{N_1} = 8.33 \times \frac{1.35}{8.25} = 1.36 \text{ A}$$

推论二：变阻抗作用

二次侧绕组电路负载阻抗为

$$Z_L = \frac{U_2}{I_2}$$

如果从一次侧绕组电路来看，则其大小为

$$Z'_L = \frac{U_1}{I_1} = K_e K_i \frac{U_2}{I_2} \approx K_e^2 Z_L$$

【例 1-3】 已知某收音机输出变压器的原边匝数为 600，副边匝数为 30，副边原接有 16Ω 的扬声器，现要改接成 4Ω 扬声器，求 N_2 应改为多少？

解：

$$k = \frac{N_1}{N_2} = \frac{600}{30} = 20$$

$$|Z_1| = k^2 |Z_L| = 20^2 \times 16 = 6400\Omega$$

改接成 $|Z_L| = 4\Omega$ 扬声器后

$$k'^2 = 6400/4 = 1600, \text{ 则 } k' = 40$$

$$N_2 = N_1/k' = 600/40 = 15 \text{ 匝}$$

(2) 变压器分类

为了达到不同的使用目的，并适应不同的工作条件，变压器有很多类型，可按其用途、绕组结构、铁芯结构、相数、调压方式、冷却方式、容量等进行分类。

① 按用途不同分类 变压器分为电力变压器（又可分为升压变压器、降压变压器、配电变压器、厂用变压器等）；特种变压器（电炉变压器、整流变压器、电焊变压器等）；仪用互感器（电压互感器、电流互感器）；试验用的高压变压器和调压器等。

② 按绕组结构不同 变压器分为双绕组、三绕组、多绕组变压器和自耦变压器。

③ 按铁芯结构不同 变压器分为芯式变压器和壳式变压器。

④ 按相数不同 变压器分为单相、三相、多相（如整流用的六相）变压器。

⑤ 按调压方式不同 变压器分为无励磁调压变压器、有载调压变压器。

⑥ 按冷却方式不同 变压器分为干式变压器、油浸自冷变压器、油浸风冷变压器、强迫油循环冷却变压器、强迫油循环导向冷却变压器、充气式变压器等。

⑦ 按容量不同 变压器分为小型变压器，容量为 $630\text{kV} \cdot \text{A}$ 及以下；中型变压器，容量为 $800 \sim 6300\text{kV} \cdot \text{A}$ ；大型变压器，容量为 $8000 \sim 63000\text{kV} \cdot \text{A}$ ；特大型变压器，容量为 $900000\text{kV} \cdot \text{A}$ 及以上。

图 1-2 为各种常用变压器。

(3) 变压器的结构

1) 变压器铁芯

铁芯由芯柱和铁轭两部分组成，变压器的原、副绕组都套装在芯柱上，铁轭则用来使整个磁路闭合。为了减少磁滞及涡流损耗，铁芯一般用 $0.35 \sim 0.5\text{mm}$ 厚的硅钢片，并用 $0.04 \sim 0.06\text{mm}$ 的绝缘纸或绝缘漆作为片间绝缘叠装而成。铁芯常用材料有 D41、D42、

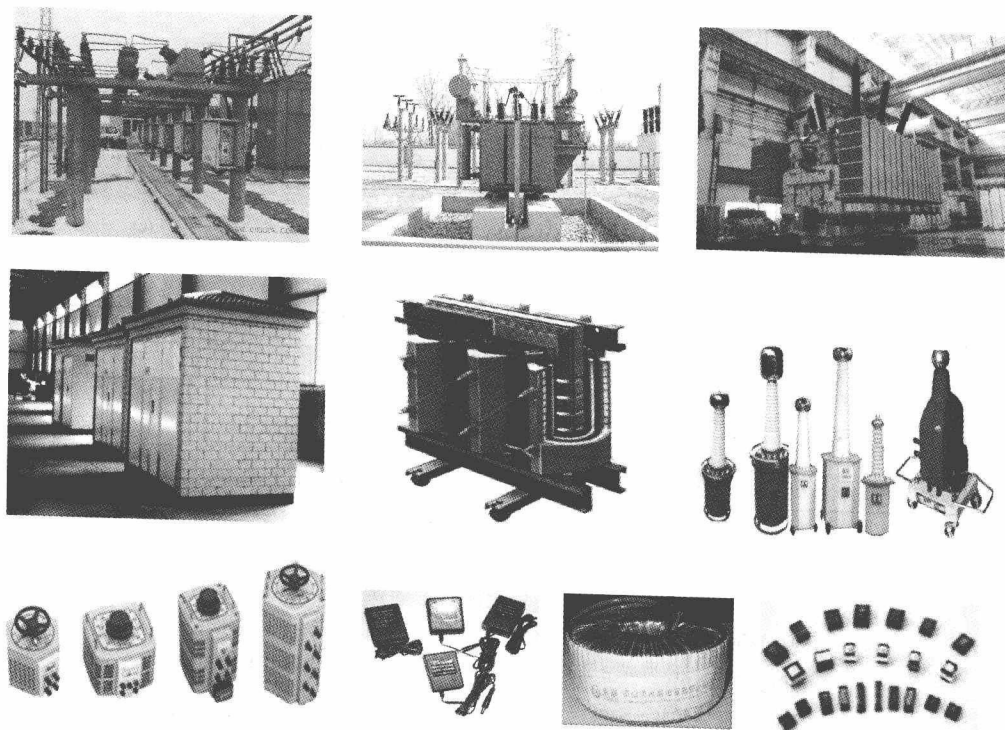


图 1-2 变压器类型图片

D43 热轧高硅钢片、D21、D22、D23 热轧中硅钢片和 D310、D320、D330 冷轧硅钢片，其中字母 D 表示电工钢；D 后的第一位数字表示硅钢片含硅量，数字越大，含硅量越高。第二位数表示电源频率为 50 时硅钢片的单位损耗和磁通密度，数字大，损耗小，磁密高。第三位数 (0) 表示冷轧硅钢片。

小容量单相变压器的铁芯叠片，有如图 1-3 所示的各种形状，从图中不难看出，不论何种形状的铁芯，中柱的宽度都比左柱（或右柱）大，为它们的两倍，这是因为采用这类铁芯的变压器，其原、副绕组均绕在中柱上，主磁通流经左右两柱（轭部）而闭合，轭部所负荷的磁通只为中柱的 $1/2$ ，在铁芯各部分磁通密度（单位面积上所穿过的磁力线数）相等的前提下，轭部截面积只需中柱截面积的 $1/2$ ，也就是说当铁芯叠厚相同时，轭部宽度只需中柱宽度之半即可。

2) 变压器绕组

按高、低绕组相互间位置的不同，绕组可分为同心式和交叠式两种，如图 1-4 所示。

同心式绕组的特点是原绕组与副绕组套装在一个芯柱上，两绕组具有差不多相同的高度。为便于绝缘，一般低压绕组靠芯柱放置，高压绕组则套在低压绕组外面，高、低压绕组间留有散热通道，该通道作为高、低压绕组间绝缘的一部分，如图 1-4(a) 所示。在大容量大电流的变压器中，由于低压绕组的出线引接工艺困难，亦往往把低压绕组放在高压绕组外面。

交叠式绕组的高、低压线围绕成直径差不多相同的线饼结构，高、低压线饼沿芯柱轴向交叠放置。为便于绝缘，最上的一层和最下的一层靠近铁轭的线饼均为低压绕组，如图 1-4(b) 所示。