

 高职高专“十一五”规划示范教材

电机与电力拖动

主编 郭晓波 主审 刘星达

副主编 刘振江 张国锋



北京航空航天大学出版社

内容简介



高职高专“十一五”规划示范教材

电机与电力拖动

主编 郭晓波 主审 刘星达
副主编 刘振江 张国锋



北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书为中国职业技术教育学会农业职业教育专业委员会组织编写的国家“十一五”规划教材,适用于高职高专机电技术应用、电气自动化及相关专业。

全书主要包括变压器,三相异步电动机的基本原理、运行分析及电力拖动,单相异步电动机和同步电动机的基本原理,直流电机的基本原理、运行分析及直流电动机的电力拖动,伺服电动机、步进电动机、测速发电机及开关磁阻电机的基本结构和工作原理及电动机的选择。每章后附有小结、思考题与习题,书后附有电机及电力拖动要求的基本实验及习题参考答案。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校机电技术应用、电气自动化及相关专业的教学用书,也可供机电类专业工程技术人员参考。

本书配有教学课件,请发送邮件至 bhkejian@126.com 或致电 010-82317027 申请索取。

图书在版编目(CIP)数据

电机与电力拖动/郭晓波主编. —北京:北京航空航天大学出版社, 2007.9

ISBN 978-7-81124-123-5

I. 电… II. 郭… 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(2007)第 102317 号

电机与电力拖动

主编 郭晓波 主审 刘星达

副主编 刘振江 张国锋

责任编辑 刘晓明

责任校对 牛孝连

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhpess@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1 092 1/16 印张:17 字数:435 千字

2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-81124-123-5 定价:26.00 元

前 言

本书为中国职业技术教育学会农业职业教育专业委员会组织编写的国家“十一五”规划教材,是为高职高专机电技术应用专业编写的,也适用于电气自动化及相关专业。

本书内容循序渐进、内容详实、概念清晰,着重对各种电机性能进行定性分析,舍去了电力拖动系统中过渡过程的动态分析,简化了电机运行时的数学推导。本书既重视基本理论知识,又注重实践教学环节,书后附有本课程所要求的基本实验;在编写时,将在实际中应用较广的三相异步电动机放在前面论述,体现了以实用为目的的思想。因此,本书具有较鲜明的职业教育特点,最大的优点是便于自学。

全书内容分为10章,按照变压器、异步电动机、其他交流电动机、直流电机、控制电机和电动机的选择顺序安排,对每一类型的电机又从电机的基本原理、运行分析及电力拖动三个层次渐进论述,同时适当增加了电机领域的新技术成果。为了便于教学使用,在每章后附有本章小结和思考题与习题,并在书后附有习题参考答案。书中标有“*”的内容可根据各校的教学要求及学时多少决定取舍。

全书由山西农业大学平遥机电学院郭晓波任主编,天津农学院职业技术学院刘振江、黑龙江农业工程职业学院张国锋任副主编。书中第1章除1.5节外,实验1、实验3由山西农业大学平遥机电学院严芳芳编写;第5章、第9章和实验6由张国锋编写;第1章1.5节、第6章、第10章、实验2由山西农业大学平遥机电学院张星卫编写;第7章、第8章、实验5由刘振江编写;其余部分由郭晓波编写并对全书统稿。

本书由太原理工大学刘星达教授担任主审,在审稿的过程中提出了许多宝贵的意见。在全书的编写过程中还得到了所有参编人员所在院校的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促,编者水平有限,对于书中的错误和不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2007年5月

目 录

绪 论

第1章 变压器

1.1 变压器的基本原理及结构	3
1.1.1 变压器的基本原理	3
1.1.2 变压器的分类	4
1.1.3 变压器的结构	4
1.1.4 变压器的型号和额定值	5
1.2 变压器的运行分析	6
1.2.1 单相变压器的空载运行	6
1.2.2 变压器的负载运行	11
1.3 变压器参数的测定	17
1.3.1 空载试验	17
1.3.2 短路试验	18
1.4 变压器的运行特性	19
1.4.1 变压器的电压变化率和外特性	19
1.4.2 变压器的损耗和效率	21
1.5 三相变压器	23
1.5.1 三相变压器的磁路系统	23
1.5.2 三相变压器的联结组别	24
* 1.5.3 三相变压器磁路系统和联结组对电势波形的影响	29
1.5.4 三相变压器的并联运行	31
1.6 其他用途的变压器	33
1.6.1 仪用互感器	33
1.6.2 自耦变压器	35
* 1.6.3 电焊变压器	37
本章小结	38
思考题与习题	39
2 三相异步电动机的基本原理	41
2.1 三相异步电动机的结构和工作原理	41
2.1.1 三相异步电动机的基本结构	41
2.1.2 三相异步电动机的定子绕组	44

2.1.3 三相异步电动机的工作原理	49
2.1.4 三相异步电动机的额定值及主要系列	51
2.2 三相交流绕组的磁势和磁场	52
2.2.1 单相交流绕组的磁势	52
2.2.2 三相交流绕组的基波合成磁势	57
2.3 三相交流绕组的电势	59
2.3.1 整距线圈的感应电势	59
2.3.2 短距线圈的电势	59
2.3.3 线圈组的电势	60
2.3.4 一相绕组的电势	60
本章小结	61
思考题与习题	62
第3章 三相异步电动机的运行分析	
3.1 三相异步电动机的运行分析概述	64
3.1.1 三相异步电动机运行的基本分析	64
3.1.2 三相异步电动机空载运行分析	66
3.1.3 三相异步电动机负载运行分析	67
3.2 三相异步电动机的等值电路及相量图	69
3.2.1 三相异步电动机的等值电路	69
3.2.2 异步电动机的相量图	72
3.3 三相异步电动机的功率和转矩	74
3.3.1 异步电动机的功率平衡关系	74
3.3.2 异步电动机的转矩平衡方程式	75
3.4 三相异步电动机参数的测定	76
3.4.1 空载试验	76
3.4.2 短路试验	77
3.5 三相异步电动机的机械特性	78
3.5.1 三相异步电动机电磁转矩的表达式	78
3.5.2 三相异步电动机的机械特性	81
3.6 三相异步电动机的工作特性	83
3.6.1 转速特性 $n=f(P_2)$	84
3.6.2 定子电流特性 $I_1=f(P_2)$	84
3.6.3 电磁转矩特性 $T_{em}=f(P_2)$	84
3.6.4 功率因数特性 $\cos \varphi_1=f(P_2)$	84
3.6.5 效率特性 $\eta=f(P_2)$	84
本章小结	85
思考题与习题	86

第4章 三相异步电动机的电力拖动

4.1 电力拖动的基础知识	88
4.1.1 单轴电力拖动系统的运动方程	88
4.1.2 生产机械的负载转矩特性	89
4.1.3 电力拖动系统稳定运行的概念	90
4.2 三相异步电动机的启动	91
4.2.1 三相鼠笼式异步电动机的启动	91
4.2.2 绕线式异步电动机的启动	97
4.3 三相异步电动机的调速	99
4.3.1 调速时的性能指标	99
4.3.2 变频调速	100
4.3.3 变极调速	102
4.3.4 改变转差率调速	104
4.3.5 采用电磁滑差离合器调速	107
4.4 三相异步电动机的电磁制动	108
4.4.1 反接制动	109
4.4.2 回馈制动	111
4.4.3 能耗制动	112
4.5 三相异步电动机的节电运行与维护	114
4.5.1 三相异步电动机的节电运行	114
4.5.2 三相异步电动机的运行监视	115
4.5.3 三相异步电动机的检修	115
本章小结	116
思考题与习题	117

第5章 其他交流电动机

5.1 单相异步电动机	120
5.1.1 单相异步电动机的工作原理	120
5.1.2 单相异步电动机的启动和反转	122
5.1.3 三相异步电动机的单相运行和单相制动	125
5.2 三相同步电动机	126
5.2.1 三相同步电动机的结构与工作原理	127
5.2.2 同步电动机的基本方程式和相量图	128
5.2.3 同步电动机的功率、转矩和功(矩)角特性	131
5.2.4 同步电动机的机械特性	133
5.2.5 同步电动机的功率因数调节和V形曲线	134
5.2.6 同步电动机的启动	136
本章小结	138
思考题与习题	139

第6章 直流电机基本原理	140
6.1 直流电机的工作原理和结构	140
6.1.1 直流发电机的工作原理	140
6.1.2 直流电动机的工作原理	141
6.1.3 直流电机的结构	142
6.1.4 直流电机的励磁方式	145
6.1.5 直流电机的铭牌	146
6.2 直流电机的电枢绕组	147
6.2.1 电枢绕组的基本知识	148
6.2.2 单叠绕组	150
6.2.3 单波绕组	152
6.3 直流电机的磁场	154
6.3.1 直流电机空载时的磁场	154
6.3.2 直流电机负载时的磁场	155
6.4 直流电机的换向	158
6.4.1 直流电机的换向过程	159
6.4.2 改善换向的方法	161
6.5 直流电机电枢绕组感应电动势和电磁转矩	163
6.5.1 直流电机电枢绕组感应电动势	163
6.5.2 电磁转矩	164
本章小结	165
思考题与习题	166
第7章 直流电机的运行分析	167
7.1 直流电动机的运行分析	167
7.1.1 直流电机的损耗	167
7.1.2 直流电动机的基本方程式	167
7.1.3 直流电动机的工作特性	169
7.2 直流发电机的运行分析	171
7.2.1 直流发电机的基本方程式	171
7.2.2 他励直流发电机的运行特性	173
7.2.3 并励发电机的特性	174
本章小结	175
思考题与习题	176
第8章 直流电动机的电力拖动	178
8.1 他励直流电动机的机械特性	178
8.1.1 机械特性的方程式	178

8.1.2	固有机械特性	178
8.1.3	人为机械特性	179
8.1.4	直流电动机电力拖动的稳定运行	180
8.2	他励直流电动机的启动	182
8.2.1	直接启动	182
8.2.2	降压启动	182
8.2.3	电枢回路串电阻启动	182
8.2.4	他励直流电动机的反转	183
8.3	他励直流电动机的调速	184
8.3.1	改变电枢回路串联电阻调速	184
8.3.2	降低电枢电压调速	185
8.3.3	弱磁调速	185
8.4	他励直流电动机的电磁制动	187
8.4.1	能耗制动	187
8.4.2	反接制动	188
8.4.3	回馈制动	190
	本章小结	191
	思考题与习题	192

第9章 控制电机

9.1	伺服电动机	194
9.1.1	直流伺服电动机	195
9.1.2	交流伺服电动机	197
9.2	步进电动机	202
9.2.1	步进电动机的工作原理	202
9.2.2	步进电动机的主要性能指标	204
9.3	测速发电机	208
9.3.1	直流测速发电机	208
9.3.2	交流测速发电机	210
9.4	开关磁阻电动机	213
9.4.1	SRD系统的组成及工作原理	214
9.4.2	SRD系统特点	215
	本章小结	216
	思考题及习题	217

第10章 电动机额定功率的选择

10.1	电动机的发热和冷却及工作方式	218
10.1.1	电动机的发热和冷却	218
10.1.2	电动机的工作方式	220

10.2 电动机额定功率的选择	222
10.2.1 连续工作方式(工作制)电动机额定功率的选择	222
*10.2.2 短时负载下电动机额定功率的选择	227
*10.2.3 断续周期工作方式下电动机额定功率的选择	228
10.3 电动机额定数据的选择	230
10.3.1 电动机种类的选择	230
10.3.2 电动机结构形式的选择	230
10.3.3 电动机额定电压的选择	231
10.3.4 电动机额定转速的选择	231
本章小结	232
思考题与习题	232
附录 电机拖动实验	
实验1 单相变压器实验	234
实验2 三相变压器的极性和联结组的测定	238
实验3 三相异步电动机首尾端的判别及参数测定	242
实验4 三相异步电动机的启动、反转与调速	246
实验5 并励直流电动机工作特性与调速性能的测定	249
*实验6 三相同步电动机实验	253
习题参考答案	
第1章	256
第2章	256
第3章	256
第4章	257
第5章	257
第6章	257
第7章	257
第8章	257
第10章	258
参考文献	

绪论

电机是一种利用电磁感应原理工作的能量转换装置。众所周知,由于电能的生产比较经济,传输和分配比较方便,控制容易,因此在现代工农业生产中,电能已成为最主要的能量形式。在电能的生产、传输、变换、分配和使用的各个环节中,各种类型的电机和变压器担负着主要的任务。例如,在电能的生产过程中,发电机将原动机输入的机械能转换为电能;在电能的传输过程中,为了减小输电过程中的能量损耗,需高压输电,到负载端为了满足负载用电电压的要求,又需把电压降低,在此过程中变压器是主要的传输设备;在电能的使用中,各种类型的电动机是最重要的动力设备,它将电能转换为机械能。电机不仅在工农业生产中具有极其重要的作用,而且还渗透到人们日常生活的各个领域,如洗衣机、电冰箱等家用电器需小型电动机驱动。在自动控制领域,大量使用各式各样的控制电机作为检测、放大和执行元件。

电力拖动就是使用各种电动机作为原动机拖动生产机械运行,以完成一定的生产任务,电动机与其他形式的拖动(如内燃机等)比较,具有以下优点。

1. 概述 电机是一种利用电磁感应原理工作的能量转换装置。众所周知,由于电能的生产比较经济,传输和分配比较方便,控制容易,因此在现代工农业生产中,电能已成为最主要的能量形式。在电能的生产、传输、变换、分配和使用的各个环节中,各种类型的电机和变压器担负着主要的任务。例如,在电能的生产过程中,发电机将原动机输入的机械能转换为电能;在电能的传输过程中,为了减小输电过程中的能量损耗,需高压输电,到负载端为了满足负载用电电压的要求,又需把电压降低,在此过程中变压器是主要的传输设备;在电能的使用中,各种类型的电动机是最重要的动力设备,它将电能转换为机械能。电机不仅在工农业生产中具有极其重要的作用,而且还渗透到人们日常生活的各个领域,如洗衣机、电冰箱等家用电器需小型电动机驱动。在自动控制领域,大量使用各式各样的控制电机作为检测、放大和执行元件。

电力拖动就是使用各种电动机作为原动机拖动生产机械运行,以完成一定的生产任务,电动机与其他形式的拖动(如内燃机等)比较,具有以下优点。

- ① 工作效率高,且与被拖动的生产机械连接方便。
- ② 电动机的种类很多,具有各式各样的运行特性,可以满足不同类型生产机械的需要。
- ③ 电动机具有良好的启动、制动和调速性能,且控制方便,特别是可以实现自动和远距离控制,容易集中管理。
- ④ 电动机易于实现完善的保护。

因此,目前绝大多数的生产机械都采用电力拖动。随着新材料和新技术的发展,各种新型的电动机不断出现,新的控制器件和控制技术不断应用于电力拖动自动控制系统中,极大地提高了拖动系统的性能。

2. 电动机的分类

电动机的种类很多,可采取不同的分类方式。

按结构特点,可分为变压器和旋转的电机;按电源的类型,可分为直流电机和交流电机;按电机的结构形式,交流电机又可分为异步电机和同步电机;按能量转换的方式,可分为发电机和电动机;按工作的特点,可分为在动力设备中使用的电机和在自动控制系统中使用的控制电机。

3. 本课程的性质、任务和要求

本课程是机电技术应用、电气工程、自动化及相关专业的一门专业基础课,其内容包括电机学的基本原理及电力拖动两部分。本课程的任务是使学生了解各类电机的基本结构,掌握各类电机的工作原理和运行特性,掌握各种电动机的启动、制动、调速时的特点及分析,熟悉电动机的选择,培养学生的动手能力和实践技能,进而具备正确使用和维护电动机正常运行的能力。

学习本课程必须具备“电工基础”课程的相关知识,尤其要对其中磁路及铁心线圈电路部分进行深刻理解,为学习本课程奠定良好的基础。

由于电机是电路与磁路共存的统一体,电路与磁路的分析是交织在一起的。因此,学习时必须牢固掌握各种定义、定律和公式的含义,以及它们所表达的电磁过程和能量关系。在分析电机的问题时,要树立工程实践的观点,抓住问题的主要矛盾,忽略一些次要因素,只要得到的结论能反映电机的运行规律即可。

在学习时,要注意两个能力的培养:一是独立思考、综合分析问题能力的培养。由于电机的种类很多,因此在学习时要善于对各类电机的结构、原理、运行性能进行综合比较,抓住其共同点,区别其不同点,逐步掌握分析问题的方法。二是要注重实践技能的培养,要重视实验课。通过实验课不仅能对电机的一些理论加以验证,更重要的是通过实验可以提高动手能力和解决实际问题的能力,养成勤于思考、严谨求实的作风。

在学习时,要注意两个能力的培养:一是独立思考、综合分析问题能力的培养。由于电机的种类很多,因此在学习时要善于对各类电机的结构、原理、运行性能进行综合比较,抓住其共同点,区别其不同点,逐步掌握分析问题的方法。二是要注重实践技能的培养,要重视实验课。通过实验课不仅能对电机的一些理论加以验证,更重要的是通过实验可以提高动手能力和解决实际问题的能力,养成勤于思考、严谨求实的作风。

点灯不以官具,每出(等时燃内吸)底游的左游动其已得底

。要需的时气主坚类同不虽断以可,当并计以的并各友各官具,定第类并的时底中 ③

离强或时底自底实以可虽根并,更衣铺就且,当并数断的时底,底自的时身官具时底中 ④

。照管中乘最容,铺登

。电最的善宗更实干是得底中 ④

坚强并各,更底的不并强味并并强并。底并代中用采强时气主底强大大强前目,此因
强大大强,中强系铺登底自底并代中干用强不并并强并并强并强并,强出强不并底中底
。当并的强系强并丁高

类代底底底中 ⑤

。左式类代底同不强采可,定第类并的时底中

强;时中强交时中强直代底;强类底强中强;时中底并强味强丑变代底;点并强并强
时中代底代底;左式底并强量强强;时中底同味时中底强代底又时中强交,左并强并的时中
强并的时中中强系铺登底自底并时中底并中各强代底代底;点并的并工强;时底中底
。时中

来要时强升,更并的强强本 ⑥

中强底容内其,强强基业中一强业中关强又并底自,强工产中,用强不并时强强强本
强强,强强本基的时中类各强丁中半强最并并强强本。底强两底并代中及强强本基的强并
中强强,时代又点并的强强强,强强,底自的时中并强强强,并并计以的强强并工并的时中类各
的并强强五并底中并强并强并强并强并强并,强强强强并代强并强并强并强并强并强并。
。代强

强强中强强心并及强强中其强强其代,强强关强并强强"强基工中"强具强并强强本区强

。强基的强强强强强强本区强代,强强强强并强并

等于绕组的匝数比。通过改变原、副绕组的匝数,就可达到改变二次侧输出电压的目的。

1.1.2 变压器的分类

变压器可以按用途、绕组数目、相数、冷却方式等分别进行分类。

按用途分类为:电力变压器、互感器、特殊用途变压器、调压器、试验用高压变压器。

按绕组数目分类为:双绕组变压器、三绕组变压器、多绕组变压器和自耦变压器。

按相数分类为:单相变压器、三相变压器。

按冷却方式分类为:以空气为冷却介质的干式变压器、以油为冷却介质的油浸变压器。

按铁心结构分类为:心式变压器、壳式变压器。

按容量大小分类为:小型变压器、中型变压器、大型变压器和特大型变压器。

1.1.3 变压器的结构

图1-2是目前最普遍使用的油浸式电力变压器外形图。变压器的基本结构可分为:铁心、绕组、油箱、绝缘套管及其他部件,其中主要结构部件是铁心和绕组。

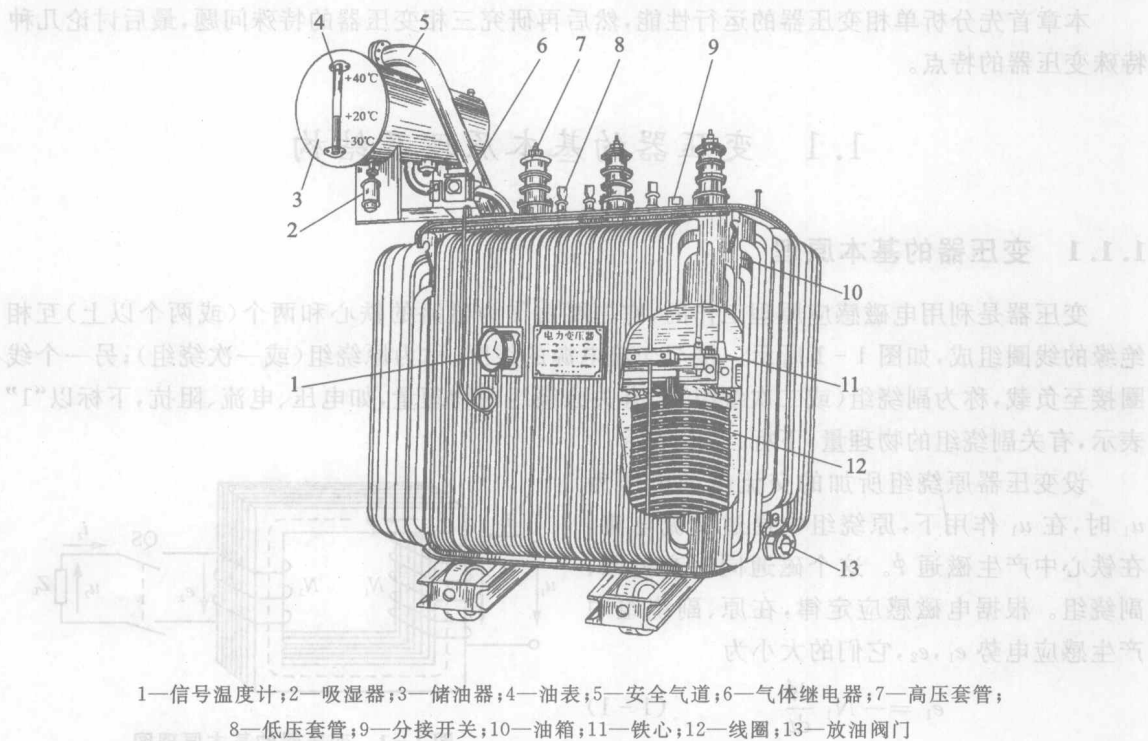


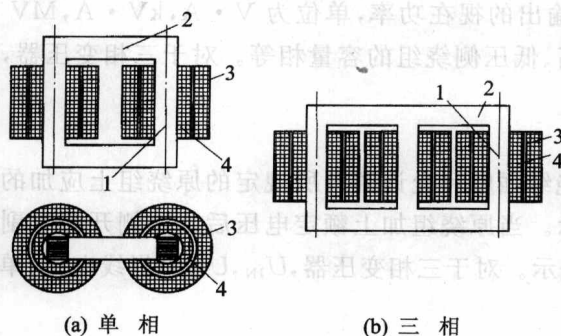
图 1-2 油浸式电力变压器

1. 铁 心

铁心是变压器的磁路,为了提高导磁性能和减少交变磁通在铁心中产生磁滞损耗和涡流损耗,铁心用厚为 0.35 mm 或 0.5 mm、表面涂有绝缘漆的硅钢片叠成。铁心分为铁心柱和铁轭两部分,铁心上套装线圈,铁轭将铁心柱连接起来形成闭合磁路,如图 1-3 所示。

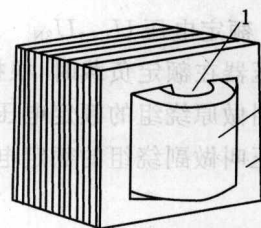
按照线圈套入铁心柱的形式,铁心分为心式与壳式两种。心式变压器的特点是绕组包围铁心,这种结构比较简单,绕组的套装和绝缘都比较容易,适用于容量大、电压高的变压器。一

般电力变压器均采用心式结构,如图1-3所示。壳式变压器的结构如图1-4所示,其特点是铁心包围绕组,这种结构机械强度好,但用料多,制造工艺复杂,一般多用于小型干式变压器(如小容量的电源变压器)。



1—铁心柱;2—铁轭;3—高压绕组;4—低压绕组

图1-3 心式变压器绕组



1—铁心柱;2—绕组;3—铁轭

图1-4 壳式变压器

2. 绕组

绕组是变压器的电路部分,它由包有绝缘材料的铜线或铝线绕制而成。接于高压电网的绕组称为高压绕组,接至低压电网的绕组称为低压绕组。在电力变压器中,高、低压绕组通常采用同心式分布,即高低压绕组同心地套在铁心柱上,如图1-3所示。装配时为了便于绕组与铁心之间的绝缘,将低压绕组靠着铁心,高压绕组套在低压绕组外面,高、低压绕组间设置有油道(或气道),以加强绝缘和散热,高、低压绕组两端到铁轭之间要衬垫端部绝缘板。同心式绕组具有结构简单、制造方便的特点,将绕组装配到铁心上后成为变压器的器身。

3. 油箱

变压器的油箱一般用钢板焊接而成,它的内部除放置器身外,其余空间充满了变压器油。变压器油是从石油中提炼出来的一种矿物油,在变压器中,它既是冷却介质又是绝缘介质。油箱侧壁装有冷却用的散热管。

4. 绝缘套管

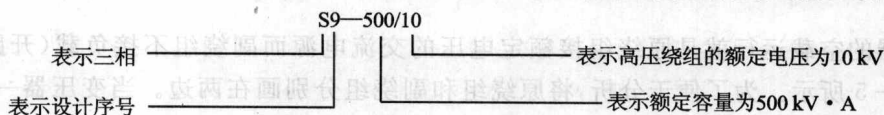
变压器绕组的引出线从油箱内穿过油箱盖时,必须经过绝缘套管,以使带电的引线和接地的油箱绝缘。绝缘套管一般是瓷质的,它的结构主要取决于电压等级。电压越高,套管的结构就越复杂。1 kV 以下的采用实心瓷套管;10~35 kV 采用空气或充油式套管;110 kV 以上时,采用电容式套管。为了增加表面放电距离,套管外形做成多级伞形,电压越高级数越多。

1.1.4 变压器的型号和额定值

每台变压器都有一个铭牌,铭牌上标注着变压器的型号、额定数据及其他数据。用户必须清楚地了解铭牌上各项内容的含义,才能根据实际需要正确选用合适的变压器。

1. 型号

变压器的型号用字母和数字表示,字母表示类型,数字表示额定容量和额定电压。



若型号首字母为 D,则表示单相变压器。

2. 额定值

(1) 额定容量 S_N

S_N 是指变压器在额定状态下运行时输出的视在功率,单位为 $V \cdot A, kV \cdot A, MV \cdot A$ 。由于电力变压器的运行效率很高,可认为高、低压侧绕组的容量相等。对于三相变压器,额定容量是指三相容量之和。

(2) 额定电压 U_{1N}, U_{2N}

变压器在额定负载时,根据变压器的绝缘强度和允许温升所规定的原绕组上应加的电源电压值叫做原绕组的额定电压,用 U_{1N} 表示。当原绕组加上额定电压后二次侧开路时副绕组的端电压叫做副绕组的额定电压,用 U_{2N} 表示。对于三相变压器, U_{1N}, U_{2N} 是指线电压,单位为 V, kV 。

(3) 额定电流 I_{1N}, I_{2N}

变压器在额定状态下运行时,原、副绕组允许长期通过的电流叫做额定电流。对于三相变压器, I_{1N}, I_{2N} 是指线电流,单位为 A 。

由于电力变压器的运行效率很高,认为高、低压侧绕组的容量相等,所以,

对于单相变压器:

$$I_{1N} = \frac{S_N}{U_{1N}}, \quad I_{2N} = \frac{S_N}{U_{2N}}$$

对于三相变压器:

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{1N}}, \quad I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{2N}} \quad (1-4)$$

(4) 额定频率 f

我国规定的标准工业用电频率为 50 Hz。

此外,变压器铭牌上还标明了联结组别、阻抗电压、温升、冷却方式等内容。

例 1-1 S—100/10 变压器,用作降压变压器, $U_{1N}=10\,000\text{ V}$, $U_{2N}=400\text{ V}$,求高、低压侧额定电流。

解: 高压侧线电流

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{1N}} = \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 10\,000} \text{ A} = 5.77 \text{ A}$$

低压侧线电流

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{2N}} = \frac{100 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} \text{ A} = 144 \text{ A}$$

1.2 变压器的运行分析

1.2.1 单相变压器的空载运行

变压器的空载运行就是原绕组接额定电压的交流电源而副绕组不接负载(开路)时的状态,如图 1-5 所示。为了便于分析,将原绕组和副绕组分别画在两边。当变压器一次绕组接

在交流电源上时,一次绕组中产生电流;由于二次绕组开路,所以二次绕组中没有电流,此时一次绕组中的电流称为空载电流,用 I_0 表示。

当 I_0 流过一次绕组时,即建立空载磁动势 $I_0 N_1$,并产生交变磁通。由于铁心的磁导率远大于空气的磁导率,所以绝大部分磁通沿铁心而闭合,同时交链一、二次绕组,这部分磁通称为主磁通 ϕ 。另外有一部分磁通只交链一次绕组,主要沿变压器油箱壁和空气路径而闭合,这部分磁通称为

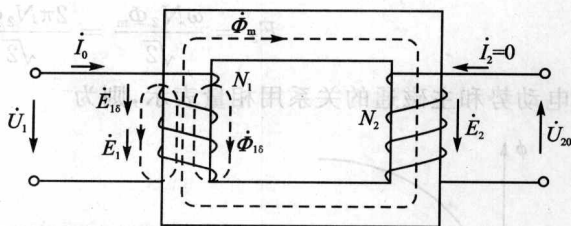


图 1-5 单相变压器的空载运行

一次绕组的漏磁通 ϕ_{l0} 。由于铁心是由硅钢片制成,其磁导率远比空气大,故变压器空载时的主磁通占总磁通的绝大部分;而漏磁通经过的漏磁路主要是空气,其磁导率很低,因此漏磁通很小,只占总磁通约 0.2%。

根据电磁感应定律可知,交变的磁通将在一次、二次绕组中产生感应电动势。主磁通 ϕ 在一、二次绕组中分别产生感应电动势 e_1 和 e_2 ;漏磁通 ϕ_{l0} 只在一次绕组中产生感应电动势 e_{l0} ,称为漏感电动势;二次绕组的空载电压为 $\dot{U}_{20}$ 。由于变压器中的电压、电流、磁通和感应电动势都是交变的,为了表明它们之间的内在关系,需要规定各个电磁量的正方向。

1. 空载运行时的电磁关系

正方向的规定是任意的,但正方向不同,同一电路内所列方程式的形式就不一样。为避免出错,一般按惯例进行规定:

① 由于一次侧电流是在电源电压的作用下产生的,所以首先应规定一次侧的电压正方向。一次侧电流的正方向与电压的正方向一致。

② 当电流产生磁通时,磁通的正方向与电流的正方向符合右手螺旋定则。

③ 由于电磁感应定律表达为 $e = -N d\phi/dt$,此式规定了磁通量减少时感应电动势的方向为正方向,即感应电动势的正方向与磁通的正方向符合右手螺旋定则。由于电流的正方向与磁通的正方向也符合右手螺旋定则,因此感应电势的正方向与电流的正方向一致。

按上述的正方向规定原则,可确定各电磁量的正方向,如图 1-5 所示。

如果主磁通按正弦规律变化,即 $\phi = \Phi_m \sin \omega t$,则电动势的瞬时值为

$$\begin{aligned} e_1 &= -N_1 \frac{d\phi}{dt} = -\omega N_1 \Phi_m \cos \omega t = \\ &= \omega N_1 \Phi_m \sin (\omega t - 90^\circ) = \\ &= E_{m1} \sin (\omega t - 90^\circ) \end{aligned} \quad (1-5)$$

$$e_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt} = \omega N_2 \Phi_m \sin (\omega t - 90^\circ) = E_{m2} \sin (\omega t - 90^\circ) \quad (1-6)$$

式中, Φ_m 为主磁通 ϕ 的最大值; E_{m1} 为一次绕组电动势的最大值, $E_{m1} = \omega N_1 \Phi_m$; E_{m2} 为二次绕组电动势的最大值, $E_{m2} = \omega N_2 \Phi_m$ 。

从式(1-5)、式(1-6)可知,如果主磁通按正弦规律变化,则感应电动势 e_1, e_2 也按正弦规律变化,其频率与主磁通 ϕ 变化的频率相同,在相位上感应电动势滞后于主磁通 90° 。

一次绕组和二次绕组感应电动势的有效值分别为