



世纪高职高专“工作过程导向”新理念教材
高等职业教育规划教材编委会专家审定

DIANJI JI KONGZHI JISHU

电机及控制技术

主 编 李旺达
副主编 曾晓泉 陈国章
邓云霄 谌承志



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

21 世纪高职高专“工作过程导向”新理念教材

电机及控制技术

主 编 李旺达

副主编 曾晓泉 陈国璋 邓云霄 谌承志

北京邮电大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书根据当前教育部正在推行基于工作过程导向的高职高专教学改革精神,按照项目导向的教学要求进行编写。全书共分6个项目18个任务,内容包括变压器、异步电动机、控制电机、常用低压电器、电气控制线路基础、传感器技术及应用等。每个项目包括若干个任务,每个任务包含任务分析、相关知识、任务实施、知识拓展等部分,并附有思考与练习。

本书可作为各级各类职业院校电气、机电等工科类专业的教学用书,也可作为其他培训机构用书,还可作为有关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电机及控制技术/李旺达主编. --北京:北京邮电大学出版社,2010.8

ISBN 978-7-5635-2339-9

I. ①电… II. ①李… III. ①电机—高等学校—教材②电机—控制系统—高等学校—教材 IV. ①TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 144600 号

书 名: 电机及控制技术

作 者: 李旺达 曾晓泉 陈国璋 邓云霄 谌承志

责任编辑: 满志文

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市梦宇印务有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 11.75

字 数: 287 千字

版 次: 2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-2339-9

定 价: 25.00 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 ·

前言

电机及控制技术是高职高专电气、机电等工科类专业的重要专业课之一,当前教育部正在推行基于工作过程导向的高职高专教学改革,而教材作为体现教学内容、教学方法、教学手段的载体之一,也应按教学改革精神进行相应的改进,以体现职业教育的特点,突出以能力培养为中心的培养目标。鉴此,我们几位长期工作在职业教育教学一线的教师,按照项目式教学的要求编写了本书。全书按照“学中做”、“做中学”的教学理念组织教学内容,通过实践加深学生对理论知识的理解与掌握。

全书共分6个项目18个任务,内容包括变压器、异步电动机、控制电机、常用低压电器、电气控制线路基础、传感器技术及应用等。每个项目包括若干个任务,每个任务包含任务分析,相关知识,任务实施,知识拓展等部分,并附有思考和练习。

本书的参考学时建议为140学时,各项目、任务的参考学时分配参见下表。建议本课程的考核以“技术理论+实践操作”的方式进行。

项 目	任 务	学时分配	
		课堂讲授	实践操作
项目一	任务一 变压器的测试与应用	8	4
项目二	任务一 三相异步电动机基本特性的测试与应用	4	6
	任务二 三相异步电动机起动的测试与应用	4	4
	任务三 三相异步电动机制动方式的测试与应用	4	4
	任务四 三相异步电动机调速的测试与应用	4	4
	任务五 单相异步电动机的测试与应用	4	4
项目三	任务一 控制电机的控制和应用	6	2
项目四	任务一 接触器的测试与应用	4	4
	任务二 继电器的测试与应用	2	2
	任务三 开关电器的测试与应用	2	2
	任务四 熔断器的测试与应用	2	2
	任务五 主令电器的测试与应用	2	2



续 表

项 目	任 务	学时分配	
		课堂讲授	实践操作
项目五	任务一 三相异步电动机起动控制线路的设计与应用	4	4
	任务二 三相异步电动机制动控制线路的设计与应用	4	4
	任务三 三相异步电动机调速控制线路的设计与应用	4	4
	任务四 典型机电设备控制线路的设计与应用	6	4
项目六	任务一 常用传感器技术的测试与应用	8	4
	任务二 传感器技术的综合应用	4	4
课时总计		76	64

参加本书编写的有李旺达(项目一中的任务一,项目二中的任务四、五)、曾晓泉(项目四中的任务一、二、三、四、五;项目五中的任务一、二、三、四)、陈国璋(项目六中的任务一、二)、邓云霄(项目二中的任务一、二、三)、湛承志(项目三中的任务一)。全书由李旺达进行统稿和审定。在编写过程中,得到了江西机电职业技术学院电气工程系广大教师的大力支持与帮助,他们提出了许多宝贵意见与建议,在此表示谢意。

由于编写时间仓促,加之编者水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

项目	任务	学时	备注
项目一	任务一 三相异步电动机起动控制线路的设计与应用	4	
项目二	任务一 三相异步电动机制动控制线路的设计与应用	4	
项目三	任务一 三相异步电动机调速控制线路的设计与应用	4	
项目四	任务一 典型机电设备控制线路的设计与应用	6	
项目五	任务一 常用传感器技术的测试与应用	8	
项目六	任务二 传感器技术的综合应用	4	
项目七	任务一 常用传感器技术的测试与应用	8	
项目八	任务二 传感器技术的综合应用	4	
项目九	任务一 常用传感器技术的测试与应用	8	
项目十	任务二 传感器技术的综合应用	4	
项目十一	任务一 常用传感器技术的测试与应用	8	
项目十二	任务二 传感器技术的综合应用	4	
项目十三	任务一 常用传感器技术的测试与应用	8	
项目十四	任务二 传感器技术的综合应用	4	
项目十五	任务一 常用传感器技术的测试与应用	8	
项目十六	任务二 传感器技术的综合应用	4	
项目十七	任务一 常用传感器技术的测试与应用	8	
项目十八	任务二 传感器技术的综合应用	4	
项目十九	任务一 常用传感器技术的测试与应用	8	
项目二十	任务二 传感器技术的综合应用	4	

目 录

项目一 变压器	1
任务一 变压器的测试与应用	1
一、任务分析	1
二、相关知识	1
三、任务实施	7
四、知识拓展	8
五、思考与练习	16
项目二 异步电动机	18
任务一 三相异步电动机基本特性的测试与应用	18
一、任务分析	18
二、相关知识	18
三、任务实施	23
四、知识拓展	26
五、思考与练习	28
任务二 三相异步电动机起动的测试与应用	29
一、任务分析	29
二、相关知识	29
三、任务实施	34
四、知识拓展	35
五、思考与练习	39
任务三 三相异步电动机制动方式的测试与应用	40
一、任务分析	40
二、相关知识	40
三、任务实施	43
四、知识拓展	44
五、思考与练习	47
任务四 三相异步电动机调速的测试与应用	47
一、任务分析	47
二、相关知识	48
三、任务实施	50
四、知识拓展	50



五、思考与练习	53
任务五 单相异步电动机的测试与应用	53
一、任务分析	53
二、相关知识	54
三、任务实施	56
四、知识拓展	57
五、思考与练习	62
项目三 控制电机	63
任务一 控制电机的控制和应用	63
一、任务分析	63
二、相关知识	63
三、任务实施	69
四、知识拓展	73
五、思考与练习	76
项目四 常用低压电器	78
任务一 接触器的测试与应用	78
一、任务分析	78
二、相关知识	78
三、任务实施	82
四、知识拓展	83
五、思考与练习	84
任务二 继电器的测试与应用	85
一、任务分析	85
二、相关知识	85
三、任务实施	90
四、知识拓展	91
五、思考与练习	93
任务三 开关电器的测试与应用	93
一、任务分析	93
二、相关知识	93
三、任务实施	96
四、知识拓展	97
五、思考与练习	98
任务四 熔断器的测试与应用	98
一、任务分析	98
二、相关知识	98
三、任务实施	100



四、知识拓展	100
五、思考与练习	100
任务五 主令电器的测试与应用	101
一、任务分析	101
二、相关知识	101
三、任务实施	102
四、知识拓展	102
五、思考与练习	104
项目五 电气控制线路基础	105
任务一 三相异步电动机起动控制线路的设计与应用	105
一、任务分析	105
二、相关知识	105
三、任务实施	108
四、知识拓展	109
五、思考与练习	111
任务二 三相异步电动机制动控制线路的设计与应用	112
一、任务分析	112
二、相关知识	112
三、任务实施	114
四、知识拓展	116
五、思考与练习	117
任务三 三相异步电动机调速控制线路的设计与应用	118
一、任务分析	118
二、相关知识	118
三、任务实施	120
四、知识拓展	121
五、思考与练习	126
任务四 典型机电设备控制线路的设计与应用	127
一、任务分析	127
二、相关知识	127
三、任务实施	129
四、知识拓展	133
五、思考与练习	140
项目六 传感器技术及应用	141
任务一 常用传感器技术的测试与应用	141
一、任务分析	141
二、相关知识	141



三、任务实施	155
四、知识拓展	156
五、思考与练习	161
任务二 传感器技术的综合应用	162
一、任务分析	162
二、相关知识	162
三、任务实施	165
四、知识拓展	167
五、思考与练习	170
附 录	171
附录 A 常用符号表	171
附录 B 几种常用的传感器的性能比较及选择	173
附录 C 国际单位制的基本单位	175
附录 D 部分计量单位	176



项目一

项目一

变压器

任务一 变压器的测试与应用

一、任务分析

变压器是一种静止的电气设备,它利用电磁感应原理,根据需要可以将一种交流电压和电流等级转变成同频率的另一种电压和电流等级。变压器主要由铁心和套在铁心上的两个(或两个以上)相互绝缘的绕组所组成,绕组之间有磁的耦合,但没有电的联系。变压器只进行电能传递,不产生电能。只改变交流电压、电流的大小,不改变它的频率。

二、相关知识

1. 变压器的基本结构与分类

变压器的主要结构部件有:铁心和绕组两个基本部分(全称为器身),以及放置器身且盛满变压器油的油箱。此外,还有一些为确保变压器运行安全的辅助器件。图 1-1 为一台油浸式电力变压器外形图。

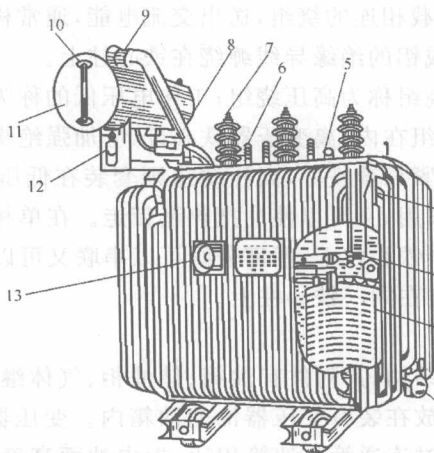


图 1-1 油浸式电力变压器

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



(1) 铁心

铁心由铁心柱和铁轭两部分组成,是构成变压器磁路的主要部分。为了提高铁心的导磁性能,减小交变磁通在铁心中引起的磁滞损耗和涡流损耗,铁心通常采用厚度为 $0.3 \sim 0.5 \text{ mm}$,表面具有绝缘漆的硅钢片叠装而成。铁心的基本结构形式有心式和壳式两种(图 1-2、图 1-3),线圈包围铁心柱,称为心式结构;铁心柱包围线圈,则称为壳式结构。

小容量变压器多采用壳式结构。交变磁通在铁心中引起涡流损耗和磁滞损耗,为使铁心的温度不致太高,在大容量的变压器的铁心中往往设置油道,而铁心则浸在变压器油中,当油从油道中流过时,可将铁心中产生的热量带走。

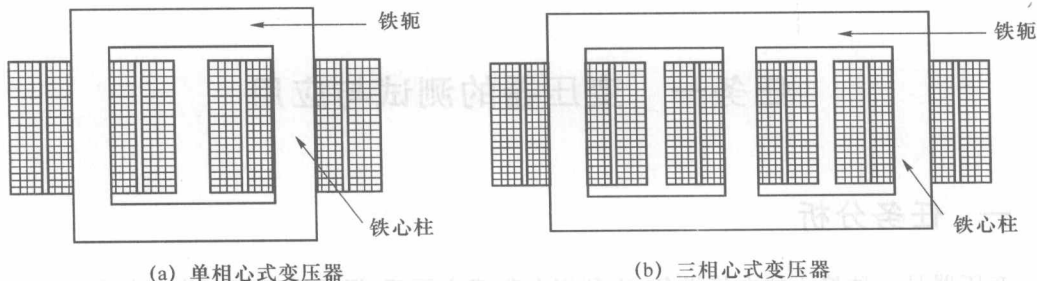


图 1-2 心式结构变压器

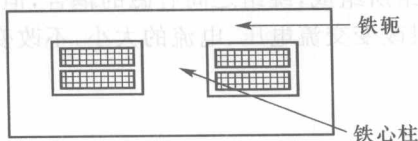


图 1-3 壳式结构变压器

(2) 绕组

绕组是构成变压器电路的主要部分。与电源相连的绕组,接受交流电能,通常称为原绕组(初级绕组、一次绕组);与负载相连的绕组,送出交流电能,通常称为副绕组(次级绕组、二次绕组),原、副绕组一般用铜或铝的绝缘导线缠绕在铁心柱上。

变压器中,工作电压高的绕组称为高压绕组;工作电压低的称为低压绕组。高压绕组电压高,绝缘要求高,如果高压绕组在内,离变压器铁心近,应加强绝缘,则变压器的成本就高。因此,为了绝缘方便,低压绕组紧靠着铁心,高压绕组则套装在低压绕组的外面。两个绕组之间留有油道,既可以起绝缘作用,又可以使油把热量带走。在单相变压器中,高、低压绕组均分为两部分,分别缠绕在两个铁心柱上,两部分既可以串联又可以并联。三相变压器属于同一相的高、低压绕组全部缠绕在同一铁心柱上。

(3) 其他结构部件

电力变压器多采用油浸式结构,其附件有油箱、储油柜、气体继电器、安全气道、分接开关和绝缘套等。变压器的器身放在装有变压器油的油箱内。变压器油既是一种绝缘介质,又是一种冷却介质。储油柜通过连通管与油箱相通,柜内油面高度随着油箱内变压器油的热胀冷缩而变动,储油柜使油与空气的接触面积减小,从而减少油的氧化和水分的浸入。另外气体继电器和安全气道是在故障时保护变压器安全的辅助装置。



(4) 分类

按冷却方式分类:干式(自冷)变压器、油浸(自冷)变压器、氟化物(蒸发冷却)变压器。

按防潮方式分类:开放式变压器、灌封式变压器、密封式变压器。

按铁心或线圈结构分类:心式变压器(插片铁心、C型铁心、铁氧体铁心)、壳式变压器(插片铁心、C型铁心、铁氧体铁心)、环型变压器、金属箔变压器。

按电源相数分类:单相变压器、三相变压器、多相变压器。

按用途分类:电源变压器、调压变压器、音频变压器、中频变压器、高频变压器、脉冲变压器。

2. 变压器的工作原理

下面以单相双绕组变压器为例分析其工作原理。在一个闭合的铁心上缠绕两个绕组,其匝数既可以相同,也可以不同,但一般是不同的。其原理图如图 1-4 所示。

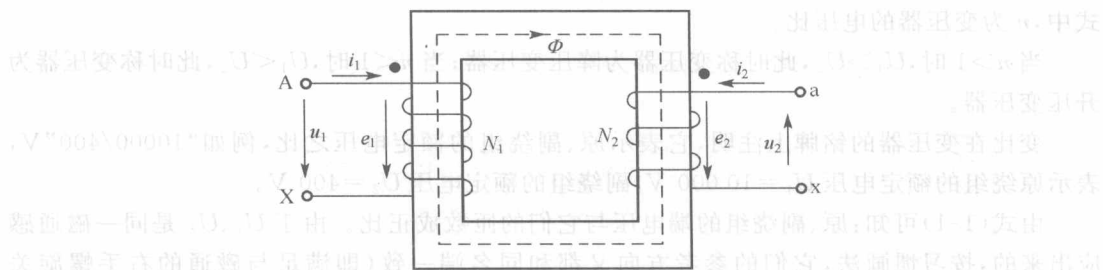


图 1-4 单相双绕组变压器原理图

原绕组以 A、X 标注其出线端,副绕组以 a、x 标注其出线端。原绕组的匝数、电压、电动势、电流分别以 N_1 、 u_1 、 e_1 、 i_1 来表示;副绕组的匝数、电压、电动势、电流分别以 N_2 、 u_2 、 e_2 、 i_2 来表示。

当原绕组接上交流电压 u_1 时,原绕组中便有电流 i_1 通过。原绕组中的磁通势 $N_1 i_1$ 产生的磁通绝大部分沿铁心闭合,从而在副绕组中感应出电动势 e_2 。如果副绕组接有负载,那么副绕组中就有电流 i_2 通过。副绕组磁通势 $N_2 i_2$ 也产生磁通而且绝大部分也沿铁心而闭合。因此,铁心中的磁通是一个由原、副绕组的磁通势共同产生的合成磁通,即主磁通,用 Φ 表示。

如果不计变压器原、副绕组的电阻,忽略漏磁通以及交变磁通所产生的铁损耗等,则该变压器可视为理想变压器。

理想变压器的等效电路如图 1-5 所示。按习惯画法,变压器的原、副边电压的参考方向与同名端一致,即满足与磁通的右手螺旋关系。故在图 1-5 中,规定电压参考极性、电流参考方向。

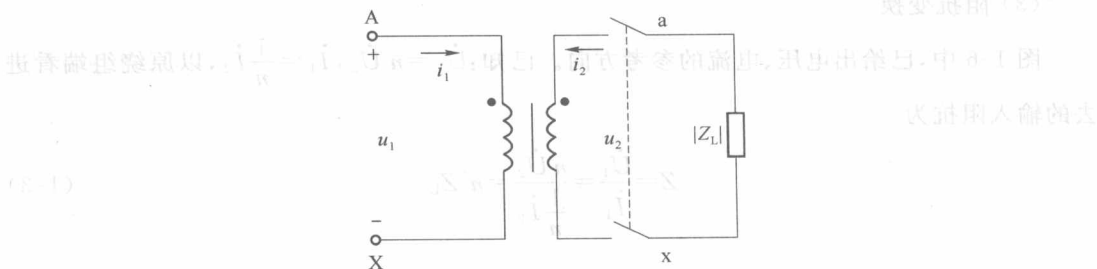


图 1-5 理想变压器的等效电路



下面分别讨论变压器的电压变换、电流变换及阻抗变换。

(1) 电压变换

设铁心中的磁通为

$$\Phi(t) = \Phi_m \sin \omega t$$

根据 $U \approx E = 4.44 f N \Phi_m$ 可知,一次侧绕组的端电压为

$$U_1 = 4.44 N_1 f \Phi_m$$

磁通 Φ 在二次侧绕组中感应出的二次侧电压为

$$U_2 = 4.44 N_2 f \Phi_m$$

即

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = n \quad (1-1)$$

式中, n 为变压器的电压比。

当 $n > 1$ 时, $U_1 > U_2$, 此时称变压器为降压变压器; 当 $n < 1$ 时, $U_1 < U_2$, 此时称变压器为升压变压器。

变比在变压器的铭牌上注明, 它表示原、副绕组的额定电压之比, 例如“10000/400”V, 表示原绕组的额定电压 $U_1 = 10\,000$ V, 副绕组的额定电压 $U_2 = 400$ V。

由式(1-1)可知: 原、副绕组的端电压与它们的匝数成正比。由于 U_1 、 U_2 是同一磁通感应出来的, 按习惯画法, 它们的参考方向又都和同名端一致(即满足与磁通的右手螺旋关系), 所以 U_1 与 U_2 是同相的。

(2) 电流变换关系

由于理想变压器没有有功功率的损耗, 又无磁化所需的无功功率, 所以原、副绕组的有功功率相等, 无功功率相等, 视在功率也就相等。于是有

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

即

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{n} \quad (1-2)$$

由式(1-2)可知, 原绕组电流 I_1 和副绕组电流 I_2 与它们的端电压成反比, 与其匝数也成反比。因而, 高压端的电流小, 导线细, 低压端的电流大, 导线粗。

由式(1-2)可得, $I_1 = \frac{1}{n} I_2$ 。当 I_2 增加时, I_1 也增加; I_2 减小时, I_1 也随之减小。

既然原绕组端与副绕组端的有功功率、无功功率均相等, 所以在电压、电流的参考方向下, u_1 与 i_1 的相位差必定等于 U_2 与 I_2 的相位差, 因此 I_1 与 I_2 同相。

(3) 阻抗变换

图 1-6 中, 已给出电压、电流的参考方向。已知: $\dot{U}_1 = n \dot{U}_2$, $\dot{I}_1 = \frac{1}{n} \dot{I}_2$, 以原绕组端看进去的输入阻抗为

$$Z = \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} = \frac{n \dot{U}_2}{\frac{1}{n} \dot{I}_2} = n^2 Z_L \quad (1-3)$$

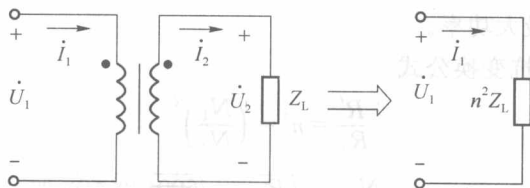


图 1-6 负载阻抗的等效变换

由式(1-3)看出:负载阻抗 Z_L 反映到原绕组边应乘以 n^2 倍。这样就起到了阻抗变换的作用。

变压器负载阻抗的等效变换是很有用的。如在收音机中,如果把收音机除去扬声器以下的部分看做一个有源二端网络,那么作为负载的扬声器电阻 R_L 一般不等于这个有源二端网络的等效内阻 R_0 ,这就需要用个变压器来进行阻抗变换,使之满足 $R_0 = n^2 R_L$ 。此时扬声器才能获得最大的功率,称做阻抗匹配。如图 1-7 所示,通常把这只变压器称为输出变压器。

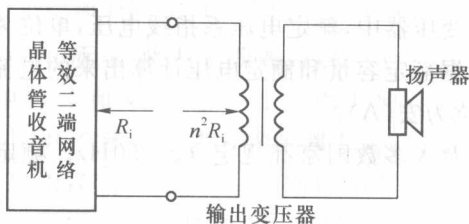


图 1-7 阻抗变换的应用

例 1-1 有一台电压为 220/36 V 的降压变压器,副绕组接一盏“36 V/40 W”的灯泡,试求:(1)若变压器的原绕组匝数 $N_1 = 1\,100$ 匝,副绕组匝数 N_2 应是多少?(2)灯泡点亮后,原、副绕组的电流各为多少?

解:(1)由变压比的公式

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

可以求出副绕组的匝数 N_2 为

$$N_2 = \frac{U_2}{U_1} N_1 = \frac{36}{220} \times 1\,100 \text{ 匝} = 180 \text{ 匝}$$

(2)由有功功率公式 $P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi$,灯泡是纯电阻负载, $\cos \varphi = 1$,可求得副绕组的电流为

$$I_2 = \frac{P_2}{U_2} = \frac{40}{36} \approx 1.11 \text{ A}$$

由变流公式,可求得原绕组电流为

$$I_1 = I_2 \frac{N_2}{N_1} = 1.11 \times \frac{180}{1\,100} \approx 0.18 \text{ A}$$

例 1-2 在晶体管收音机输出电路中,晶体管所需的最佳负载电阻 $R' = 600 \, \Omega$,而变压器副边所接扬声器的阻抗 $R_L = 16 \, \Omega$ 。试求变压器的匝数比。

解:根据题意,要求副边电阻等效到原边后的电阻刚好等于晶体管所需最佳负载电阻。



以实现阻抗匹配,输出最大功率。

因此根据变压器阻抗变换公式

$$\frac{R'}{R_L} = n^2 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

$$n = \frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{R'}{R_L}} = \sqrt{\frac{600}{16}} \approx 6$$

即原边的匝数应为副边匝数的 6 倍。

3. 变压器的额定值

按照国家标准规定,标注在铭牌上的,代表变压器在规定使用环境和运行条件下的主要技术数据,称为变压器的额定值(或称为铭牌数据),主要有:

(1) 额定容量:是变压器在正常运行时的视在功率,通常以 S_N 来表示,单位为伏安(VA)或千伏安(kVA)。对于一般的变压器,原、副边的额定容量都设计成相等。

(2) 额定电压:在正常运行时,规定加在原绕组上的电压,称为原边的额定电压,以 U_{1N} 来表示;当副绕组开路(即空载),原绕组加额定电压时,副绕组的测量电压,即为副边额定电压,以 U_{2N} 来表示。在三相变压器中,额定电压系指线电压,单位为伏(V)或千伏(kV)。

(3) 额定电流:是指根据额定容量和额定电压计算出来的电流值。原、副边的额定电流分别用 I_{1N} 、 I_{2N} 来表示,单位为安(A)。

(4) 额定频率:我国以及大多数国家都规定 $f_N = 50\text{Hz}$ 。额定容量、额定电压和额定电流之间的关系为:

单相变压器: $S_N = I_{1N}U_{1N} = I_{2N}U_{2N}$

三相变压器: $S_N = \sqrt{3} I_{1N}U_{1N} = \sqrt{3} I_{2N}U_{2N}$

此外,变压器的铭牌上还标注有:型号和系列、效率、温升、绝缘等级等。

4. 变压器的绕组极性

变压器绕组的极性是指变压器原、副绕组在同一磁通的作用下所产生的感应电动势之间的相位关系。同名端(同极性端):任何瞬间,两绕组中感应电动势极性相同的两个端钮。用符号星号“*”或黑点“·”表示,如图 1-8 所示。

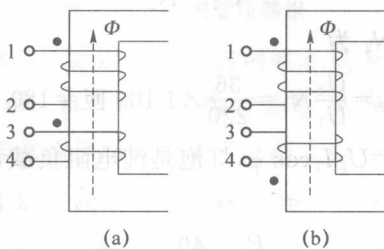


图 1-8 变压器绕组的极性

若原、副绕组的绕向如图 1-8 所示。在图 1-8 (a) 中,当电流从 1、3 端流入时,它们所产生的磁通方向相同,两绕组中电动势极性相同,因此 1、3 端是同名端,同样 2、4 端也是同名端,1、4 端和 2、3 端是异名端。在图 1-8 (b) 中,当电流从 1、4 端流入时,它们所产生的磁通方向相同,则 1、4 端是同名端,同样 2、3 端也是同名端,1、3 端和 2、4 端是异名端。由此可见,同名端与绕组的绕向有关。



三、任务实施

1. 变压器的检测

(1) 互感线圈的同名端的检测方法

① 直流判别法:依据同名端定义以及互感电动势参考方向标注原则来判定。如图 1-9 所示,两个耦合线圈的绕向未知时,如果当 S 闭合时,电流表正偏,则 A-a 为同极性端;如果当 S 闭合时,电流表反偏,则 A-x 为同极性端。

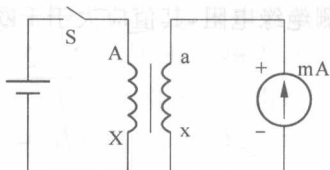


图 1-9 直流法判定绕组同名端

② 交流判别法:如图 1-10 所示,将两个线圈各取一个接线端连接在一起,如图中的 X 和 x。并在一个线圈上加一个较低的交流电压 U_{AX} ,再用交流电压表分别测量 U_{AX} 、 U_{Aa} 、 U_{ax} 各值,如果测量结果为: $U_{Aa} = U_{AX} - U_{ax}$,则说明两绕组为反向串联,故 A 和 a 为同名端。如果 $U_{Aa} = U_{AX} + U_{ax}$,则 A 和 x 为同名端。

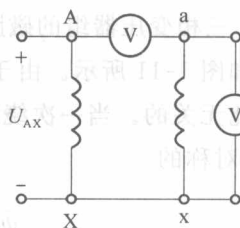


图 1-10 交流法判定绕组同名端

(2) 变压器外观检查

外观检查包括能够看见摸得到的项目,如线圈引线是否断线、脱焊,绝缘材料是否烧焦,机械是否损伤和表面破损等。

① 变压器的油温和温度计应正常,油色应正常,储油柜的油位应与温度相对应,各部位无渗油、漏油。上层油温一般应在 85°C 以下,对强迫油循环水冷却的变压器应为 75°C 以下。

② 套管油位应正常,套管外部无破损裂纹,无严重油污,无放电痕迹及其他异常现象。

③ 变压器音响正常。

④ 各冷却器手感温度应相近,风扇、油泵、水泵运行正常,水冷却器的油压应大于水压。

⑤ 吸附剂干燥(硅胶颜色应为蓝色,不呈粉红色)。

⑥ 引线接头、电缆、母线应无过热变色现象。

⑦ 压力释放阀或安全气道及防爆膜应完好无损。

⑧ 气体继电器内应无气体。

⑨ 外壳接地良好。

⑩ 控制箱和二次端子箱应关严,勿受潮。

⑪ 干式变压器的外部表面应无积污。

(3) 变压器内部的检查

① 测直流电阻:用万用表的 $R \times 1 \Omega$ 挡测变压器的一、二次绕组的直流电阻值,可判断绕组有无断路或短路现象。



- 开路检查:一般中、高频变压器的线圈圈数不多,其直流电阻应很小,在零点几欧姆至几欧姆之间。音频和电源变压器由于线圈圈数较多,直流电阻可达几百欧至几千欧以上。用万用表测变压器的直流电阻只能初步判断变压器是否正常,还必须进行短路检查。
- 短路检查:高频变压器的局部短路要用专门测量仪器判断。中、高频变压器内部局部短路时,表现为线圈的空载 Q 值下降,整机特性变坏。

由于变压器一、二次侧之间是交流耦合、直流断路的,如果变压器两绕组之间发生短路,会造成直流电压直通,可用万用表检测出来。

② 测绝缘电阻。用兆欧表测绝缘电阻,其值应大于千欧姆。

四、知识拓展

1. 三相变压器

(1) 三相变压器的磁路系统

① 三相变压器组的磁路。三相变压器组是由三个单相变压器按一定方式联结起来组成的,如图 1-11 所示。由于每相的主磁通 Φ 各沿自己的磁路闭合,因此相互之间是独立的,彼此无关的。当一次绕组加上三相对称电压时,三相的主磁通必然对称,三相的空载电流也是对称的。

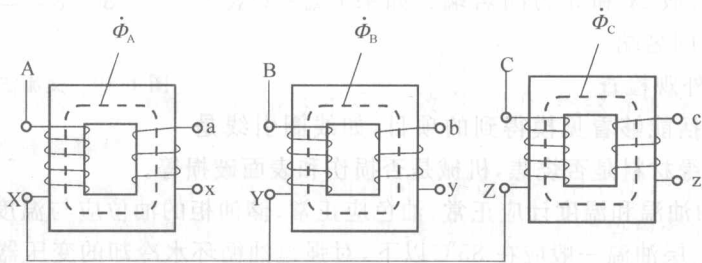


图 1-11 三相变压器组

② 三相心式变压器的磁路。三相心式变压器的铁心是由三台单相变压器的铁心合在一起演变而来的,如图 1-12 所示。这种铁心结构的磁路,其特点是三相主磁通磁路相互联系,彼此相关。如果将三台单相变压器的铁心合并成图 1-12(a) 的样子,则当三相绕组外加三相对称电压时,三相绕组产生的主磁通也是对称的,此时中间铁心柱内的磁通为 $\dot{\Phi}_A + \dot{\Phi}_B + \dot{\Phi}_C = 0$,因此可将中间铁心柱省去如图 1-12(b) 所示。为了使结构简单、制造方便、减小体积和节省硅钢片,将三相铁心柱布置在同一平面内,于是演变成为图 1-12(c) 所示的常用的三相心式变压器的铁心结构,此种铁心结构的三相磁路长度不相等,中间 B 相最短,两边的 A、C 相较长,所以 B 相磁路的磁阻较其他两相的要小一点;在外加三相电压对称时,三相磁通相等,但三相空载电流不相等,B 相最小,A、C 两相大些。由于一般电力变压器的空载电流很小,它的不对称对变压器负载运行的影响很小,可以不予考虑,因而空载电流取三相的平均值。