



职业技术教育电类系列教材

ZHIYE JISHU JIAOYU DIANLEI XILIE JIAOCAI

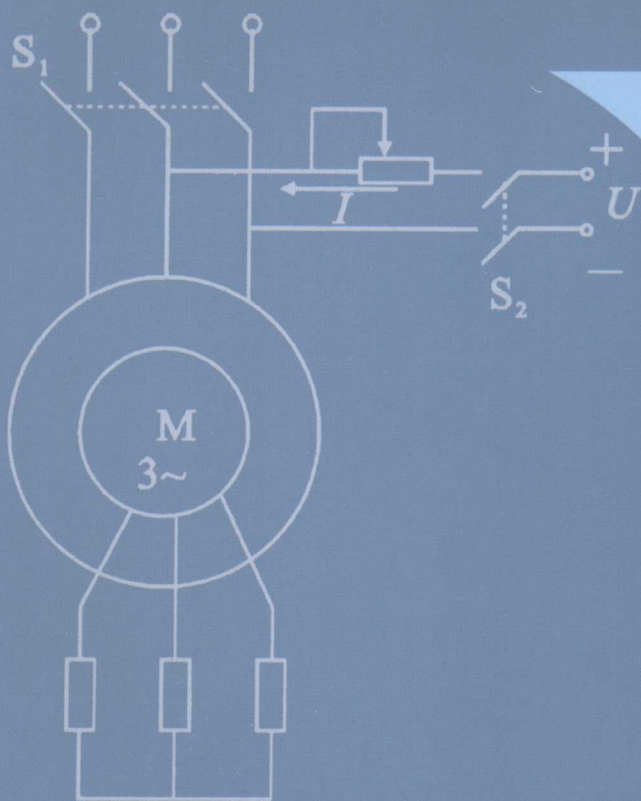
电机与电气控制

安徽省高等教育规划教材

DIANJI YU DIANQI KONGZHI

● 主编 金仁贵 副主编 李蛇根 王皖发

● 主审 江谷传



安徽科学技术出版社

电工基础

电子技术基础（模拟篇）

电子技术基础（数字篇）

供配电技术

电工电子技术

电子测量

自动控制原理与系统

电力电子技术

高频电子技术

彩色电视机原理与技术

电机与电气控制

ISBN 978-7-5337-4026-9



9 787533 740269 >



图样(PII)目解题查并图

安徽省高等教育规划教材

电机与电气控制

●主 编 金仁贵
副主编 李蛇根 王皖发
编写者 金仁贵 李蛇根 王皖发
王 俊 韩 辉 朱述华
郑维径
主 审 江谷传

图书在版编目(CIP)数据

电机与电气控制/金仁贵主编. —合肥:安徽科学技术出版社, 2008. 3

ISBN 978-7-5337-4026-9

I. 电… II. 金… III. ①电机学-高等学校:技术学校-教材②电气控制-高等学校:技术学校-教材 IV. TM3
TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 018598 号

电机与电气控制

金仁贵 主编

出版人:朱智润

责任编辑:何宗华 期源萍

出版发行:安徽科学技术出版社(合肥市政务文化新区圣泉路 1118 号)

出版传媒广场,邮编:230071)

电话:(0551)3533330

网址:www.ahstp.net

E-mail:yougoubu@sina.com

经销:新华书店

印刷:合肥瑞丰印务有限公司

开本:787×1092 1/16

印张:10.5

字数:250 千

版次:2008 年 3 月第 1 版 2008 年 3 月第 1 次印刷

定价:20.00 元

(本书如有印装质量问题,影响阅读,请向本社市场营销部调换)

内 容 提 要

本书将“电机学”和“机床电气控制”两门课程有机结合在一起,全书共分7章,主要内容有变压器、直流电机原理、三相异步电动机、常用控制电机、常用低压电器、机床电气控制线路等。

本书可作为高职高专电气类、机电类和相关专业的教学用书,也可作为社会从业人员的业务参考书及培训用书。

前 言

《电机与电气控制》是高职高专电气类、机电类专业的主干课程,是一门实践性较强的专业课。电机与电气控制技术在现代工、农业生产,交通运输,国防建设以及日常生活等各个领域的应用十分广泛。作为一门主要课程的教材,本书以培养综合型应用人才为宗旨,在注重基础理论的同时,突出实用性和先进性,依据“淡化理论、够用为度,培养技能、重在应用”的高等职业教育原则,并以该课程的教学大纲要求编写。

本书教学内容具有针对性、可选择性,便于不同专业选修。在编写方法上打破了以往教材过于注重“系统性”的倾向,摒弃了一些一般内容和烦琐的数学推导,采用阶跃式、有选择的编写模式,强调实践,精炼理论,突出实用技能,内容体系更加合理;注重现实社会发展和就业需求,以培养职业岗位群的综合能力为目标,充实训练模块的内容,强化应用,有针对性地培养学生的职业技能;教材内容的设置有利于扩展学生的思维空间和学生的自主学习能力,着力于培养和提高学生的综合素质,使学生具有较强的创新能力,促进学生的个性发展;教材内容充分反映新知识、新技术、新工艺和新方法,具有超前性和先进性。

本课程共计 72 学时,其中理论教学 46 学时,实验与实训 26 学时。

学时分配(教学计划)如下表:

教学内容	授课 时数	实验 时数	上机 时数	自学 时数	习题 课	考试
第一章 变压器	7	2			1	
第二章 直流电机原理	7	2			1	
第三章 三相异步电动机	7	4			1	
第四章 常用控制电机	3	2			1	
第五章 常用低压电器	7	2			1	
第六章 机床电气控制线路	9	6			1	
第七章 实验与实训		8				
合计	40	26			6	

本书第一章由安徽工业经济职业技术学院韩辉老师编写,第二章由王俊、郑维径老师编写,第三章由王俊、金仁贵老师编写,第四章由朱述华老师编写,第五章由李蛇根老师编写,第六章由王皖发老师编写,第七章由金仁贵老师编写。全书由安徽工业经济职业技术学院金仁贵副教授担任主编,由韩辉、王俊老师负责统稿。安徽新华学院工学院院长江谷传教授拨冗审阅了全书并提出诸多宝贵的建议,谨此致谢!

由于编者水平有限,书中难免存在不妥、疏漏以及错误之处,恳请广大读者提出宝贵意见。

编 者

目 录

第一章 变压器	1
第一节 变压器的工作原理	1
第二节 特殊变压器	5
第三节 三相电力变压器	9
思考题与习题	10
第二章 直流电机原理	11
第一节 直流电机的基本工作原理和结构	11
第二节 直流电动机的启动和反转	20
第三节 直流电动机的制动	22
第四节 直流电动机的调速	25
思考题与习题	28
第三章 三相异步电动机	30
第一节 三相异步电动机的结构和工作原理	30
第二节 三相异步电动机的空载运行	36
第三节 三相异步电动机的负载运行	38
第四节 三相异步电动机的功率和电磁转矩	40
第五节 三相异步电动机的工作特性	41
第六节 三相异步电动机的启动	42
第七节 三相异步电动机的制动	45
第八节 三相异步电动机的调速	47
思考题与习题	51
第四章 常用控制电机	52
第一节 单相异步电动机	52
第二节 三相同步电动机	57
第三节 控制电机	61
思考题与习题	69
第五章 常用低压电器	70
第一节 低压电器的分类和用途	70
第二节 非自动控制电器	72
第三节 熔断器	75
第四节 断路器	79
第五节 接触器	82
第六节 常用继电器	85
第七节 电磁启动器和主令电器	90

第八节 漏电保安器	93
思考题与习题	95
第六章 机床电气控制线路	96
第一节 机床电气原理图的画法规则及有关知识	96
第二节 机床控制电路的基本环节	98
第三节 电动机控制的保护环节	106
第四节 典型机床电气控制线路分析	108
第五节 机床继电器——接触器控制线路的设计	119
思考题与习题	126
第七章 实验与实训	128
第一节 单相变压器特性测试	128
第二节 三相鼠笼式异步电动机的工作特性	130
第三节 三相异步电动机的拆装	137
第四节 三相异步电动机的单向运行控制电路	140
第五节 三相异步电动机的正、反转运行控制电路	141
第六节 三相异步电动机的 Y/ Δ 降压启动控制电路	143
第七节 三相异步电动机的能耗制动控制电路	145
第八节 三相异步电动机的反接制动控制电路	147
第九节 三相异步电动机的制动控制线路	148
第十节 C620 车床的电气控制线路	151
第十一节 M7130 平面磨床的电气控制线路	153
第十二节 电动葫芦电气控制电路实训	155
第十三节 X62W 铣床模拟控制线路的调试分析	156
参考文献	159

第一章 变 压 器

变压器是一种静止的电机,它利用电磁感应原理将一种电压、电流的交流电能转换成同频率的另一种电压、电流的电能。换句话说,变压器就是实现电能在不同等级之间进行转换。

第一节 变压器的工作原理

一、变压器的构造和分类

(一)变压器的基本结构

变压器的主要组成部分是铁芯和原、副绕组。而大、中容量的电力变压器为了散热的需要,将变压器的铁芯和绕组浸入封闭的油箱中,对外线路的连接由绝缘套管引出。因此,电力变压器还有绝缘套管、油箱及其他附件。图 1-1 所示的是一台油浸式电力变压器的外形结构图。

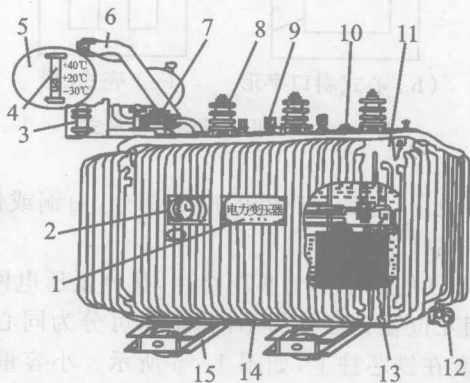


图 1-1 油浸式电力变压器外形结构图

1. 铭牌 2. 信号式温度计 3. 吸湿器 4. 油表 5. 储油柜 6. 安全气道
7. 气体继电器 8. 高压套管 9. 低压套管 10. 分接开关 11. 油箱
12. 放油阀门 13. 器身 14. 接地板 15. 小车

1. 铁 芯

铁芯是变压器的磁路系统,同时又是套装绕组的骨架。铁芯由铁芯柱和铁轭两部分构成,如图 1-2 所示。铁芯柱上套绕组,铁轭将铁芯柱连接起来形成闭合磁路。对铁芯的要求是导磁性能好,磁滞损耗和涡流损耗要尽量小,因此均采用有取向的冷轧硅钢片,其铁损耗低,且铁芯叠装系数高。随着科学技术的进步,已经采用铁基、铁镍基等非晶体材料来制作变压器的铁芯,它具有体积小、效率高、节能等优点,极有发展前途。

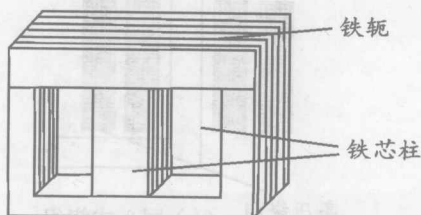


图 1-2 变压器铁芯

变压器的铁芯结构有心式和壳式两类。心式结构的特点是铁芯柱被绕组包围,如图1-3(a)所示;壳式结构的特点是铁芯包围绕组的顶面、底面和侧面,如图1-3(b)所示。心式铁芯结构简单,绕组装配和绝缘比较容易。壳式铁芯机械强度高,但制造复杂,铁芯用材料多。电力变压器中的铁芯主要采用心式结构。

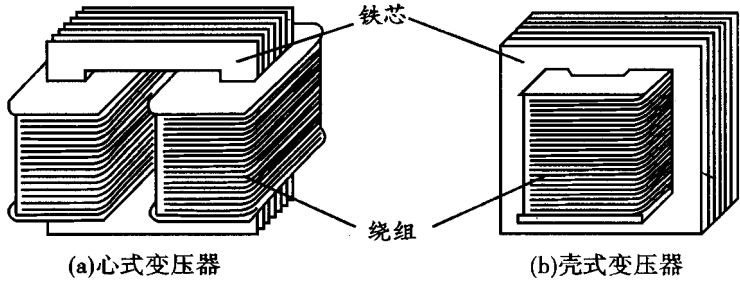


图 1-3 单相变压器结构

根据变压器的制作工艺,铁芯可分为叠片式和卷心式两种。

心式变压器的叠片一般用口字形或斜口字形硅钢片交叉叠成;壳式变压器的叠片一般用E形或F形硅钢片交叉叠成,如图1-4所示。为了减小铁芯磁路的磁阻,要求铁芯在装配时,接缝处的气隙越小越好。

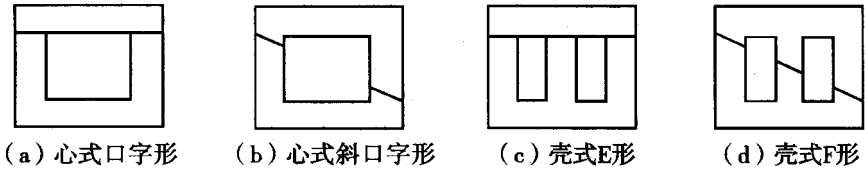


图 1-4 常见变压器铁芯形式

2. 绕组

变压器的线圈通常称为绕组,它是变压器的电路部分,由铜或铝绝缘导线绕制而成,容量大的变压器则用扁铜线或扁铝线绕制。

在变压器中,接到高压电网的绕组称为高压绕组,接到低压电网的绕组称为低压绕组。按照高压绕组和低压绕组的相互位置和形状的不同,绕组可分为同心式和交叠式两种。同心式绕组的高、低压绕组同心地套在铁芯柱上,如图1-5所示。小容量单相变压器一般采用此种结构,为了便于绝缘,低压绕组靠近铁芯柱,高压绕组套在低压绕组的外面,两个绕组之间留有油道。交叠式绕组的高、低压绕组交叠放置在铁芯上,如图1-5所示。为减小绝缘距离,通常低压绕组靠近铁轭。同心式绕组的结构简单,制造方便,故电力变压器多采用这种方法。交叠式绕组机械强度好,引出线布置方便,多用于低电压、大电流的电焊、电炉变压器及壳式变压器。

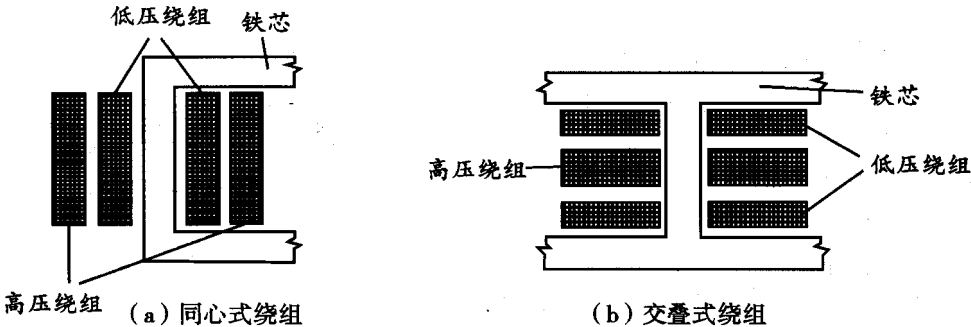


图 1-5 变压器的绕组

变压器在工作时,绕组和铁芯都要发热,故要考虑冷却问题。小容量的变压器可以采用空气自冷方式,即通过绕组和铁芯直接将热量散失到周围的空气中去;大容量的变压器则需采用专门的冷却措施,常用的是将绕组和铁芯放在盛满变压器油的油箱中去,热量通过油箱中的油散失到周围的空气中,油箱的外壁装有散热片或油管。这种方式称为油浸自冷式,此外,还有强迫通风或强迫油循环等冷却方式。

(二)变压器的分类

变压器的种类很多,可按其用途、绕组数目、结构、相数、冷却方式等不同来进行分类。

(1)按用途分 可分为电力变压器(主要用在输配电系统中,又分为升压变压器、降压变压器、联络变压器和厂用变压器)、仪用互感器(电压互感器和电流互感器)、特种变压器(如调压变压器、试验变压器、电炉变压器、整流变压器、电焊变压器等)。

(2)按绕组数目分 分为双绕组变压器、三绕组变压器、多绕组变压器和自耦变压器。

(3)按铁芯结构分 有心式变压器和壳式变压器两种。

(4)按相数分 有单相变压器、三相变压器和多相变压器。

(5)按冷却介质和冷却方式分 可分为油浸式变压器(包括油浸自冷式、油浸风冷式、油浸强迫油循环式)、干式变压器、充气式变压器。

(6)按容量大小分 电力变压器通常分为小型变压器(容量为 $10\sim 630\text{kVA}$)、中型变压器(容量为 $800\sim 6300\text{kVA}$)、大型变压器(容量为 $8000\sim 63000\text{kVA}$)和特大型变压器(容量在 90000kVA 及以上)。

二、变压器的工作原理

由于变压器是在交流电源上工作的,因此通过变压器的电压、电流、磁通及电动势的大小和方向都随时间在不断地变化。为了能正确表达它们之间的相位关系,必须规定它们的参考方向。参考方向原则上可以任意规定,但是为了统一起见,习惯上都按照“电工惯例”来规定参考方向:

(1)同一支路中,电压的参考方向和电流的参考方向一致。

(2)磁通的参考方向和电流的参考方向之间符合“右手螺旋定则”。

(3)由交变磁通 Φ 产生的感应电动势 e ,其参考方向与产生该磁通的电流方向一致。

图 1-6 所示的是变压器的电路原理图。工作时,接电源的绕组为一次绕组,接负载的绕组为二次绕组。实际的变压器两个绕组是同心地套在铁芯上的,为了分析问题方便,将两个绕组分别画在铁芯的左、右两边。 N_1 和 N_2 分别为一、二次绕组的匝数。

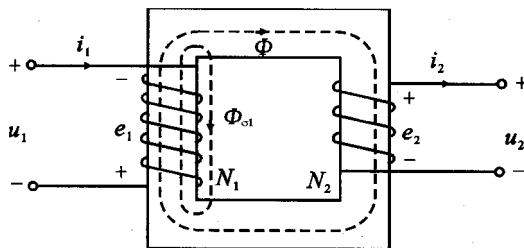


图 1-6 变压器的电路原理图

(一)空载运行和变压比

变压器一次绕组接额定交流电压,而二次绕组开路,即 $i_2=0$ 的工作方式,称为变压器的空载运行。这时一次绕组有电流 i_0 ,叫做空载电流,是维持一、二次绕组产生感应电动势 E_1 、

E_2 的电流。它要比额定运行时的电流小得多。由于 u_1, i_0 是按正弦规律交变的, 所以在铁芯中产生的磁通 Φ 也是正弦交变的。在交变磁通的作用下, 一、二次绕组将产生正弦交变感应电动势。可以计算出一、二次绕组感应电动势的有效值:

$$E_1 = 4.44 f N_1 \Phi_m$$

$$E_2 = 4.44 f N_2 \Phi_m$$

由于采用了铁磁材料做磁路, 所以漏磁很小, 可以忽略。空载电流很小, 一次绕组的压降也可以忽略, 这样一次绕组两边的电压近似等于一次绕组的电动势, 即:

$$U_1 \approx E_1$$

$$U_2 \approx E_2$$

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{4.44 N_1 \Phi_m}{4.44 N_2 \Phi_m} = \frac{N_1}{N_2} = K$$

式中, K 称为变压器的变压比。

当 $K > 1$ 时, $U_1 > U_2, N_1 > N_2$, 变压器为降压变压器; 反之, 当 $K < 1$ 时, $U_1 < U_2, N_1 < N_2$, 变压器为升压变压器。

在一定的输出电压范围内, 从二次绕组上抽头, 可输出不同的电压, 得到多输出变压器。

(二) 负载运行和变流比

当变压器接上负载后, 二次绕组中的电流为 i_2 , 一次绕组的电流将变为 i_1 , 一、二次绕组的电阻、铁芯的磁滞损耗、涡流损耗都会消耗一定的能量, 但该能量通常都远小于负载消耗的电能, 在分析计算时, 可把这些消耗忽略。这样, 可以认为变压器输入功率等于负载消耗的功率, 即:

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

由上式可得:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K}$$

再由上式可知, 变压器带负载工作时, 一、二次绕组边的电流有效值与它们的电压或匝数成反比。变压器在变换了电压的同时, 电流也随之变换。变压器除了变换电压、电流外, 还可以变换阻抗。

(三) 阻抗变换作用

我们可以把变压器的负载 Z_L 看做一次绕组边电压 U_1 的负载 Z_1 。那么, Z_1 等于什么呢? 根据交流电路的欧姆定律和电流、电压的有效值关系, Z_1 可表示为:

$$Z_1 = \frac{U_1}{I_1}$$

将 $U_1 = K U_2, I_1 = \frac{1}{K} I_2$ 代入上式, 可得:

$$Z_1 = K^2 \frac{U_2}{I_2} = K^2 Z_2$$

上式表示的是二次绕组边阻抗等效到一次绕组边时的等量关系, 只要改变 K , 就可以得到不同的等效阻抗。阻抗变换有何意义呢?

对于电子线路, 如收音机电路, 可以把它看成一个信号源加一个负载。要使负载获得最大功率, 其条件是负载的电阻等于信号源的内阻, 此时称之为阻抗匹配, 但实际电路中, 负载电阻并不等于信号源内阻, 这时我们就需要用变压器来进行阻抗变换。

第二节 特殊变压器

一、仪用互感器

电工仪表中的交流电流表可以直接测量 10A 以下的电流,交流电压表可以直接测量 450V 以下的电压。而电力系统中的高电压、大电流不便直接测量,通常用特殊的变压器把高电压、大电流变成低电压、小电流,再进行测量,这就要用到电流互感器和电压互感器。使用互感器的优点是:测量电路与高压隔离,保证测量人员的人身安全;扩大仪表的测量范围;同时还可以减少测量中的能量损耗,提高测量的精确度。

(一) 电流互感器

电流互感器的结构、工作原理与单相变压器相似。它由铁芯和一、二次绕组两个主要部分组成。一次绕组的匝数较少,一般只有一匝到几匝,用粗导线绕制而成,使用时串联在被测电路中,流过被测电流;二次绕组匝数很多,用较细的导线绕制而成,一般接电流表或功率表的电流线圈,它的阻抗很小,负载近似为零。图 1-7 所示为电流互感器的原理图,根据变压器的电流比公式 $I_1 N_1 = I_2 N_2$ 可知:

$$I_1 = \frac{N_2}{N_1} I_2 = K_i I_2$$

式中, K_i 称为电流互感器的额定电流比,标在电流互感器的铭牌上。

在电流互感器中,二次绕组电流与电流比的乘积等于一次绕组电流(即被测电流)。电流互感器一次绕组的额定电流可设计在 0~15000A 或 10~25000A,而电流互感器二次绕组额定电流通常采用 5A。其符号如图 1-8 所示。

实际上,由于励磁电流和漏阻抗的影响,电流互感器也存在误差,其相对误差为:

$$\Delta I = \frac{K_i I_2 - I_1}{I_1} \times 100\%$$

为了减少误差,电流互感器的铁芯采用高导磁性能的材料制成,而且要求二次绕组所接仪表的总阻抗不大于规定的阻抗。根据误差大小,电流互感器分为 0.2、0.5、1.0、3.0 和 10.0 五个等级供选用。级数越大,误差也越大。

使用电流互感器时的注意事项:

(1) 在运行过程中绝对不允许二次绕组开路。这是因为电流互感器的一次绕组电流是由被测试的电路决定的,在正常运行时,电流互感器的二次绕组相当于短路,二次绕组电流有强烈的去磁作用,即二次绕组的磁动势近似于一次绕组的磁动势,大小相等、方向相反,因而导致铁芯中的磁通所需的合成磁动势和相应的励磁电流很小。若二次绕组开路,则一次绕组电流全部成为励磁电流,使铁芯中的磁通增大,铁芯过分饱和,铁损耗急剧增大,引起互感器发热。同时因二次绕组匝数很多,将会感应出危险的高电压,危及操作人员和测量设备的安全。

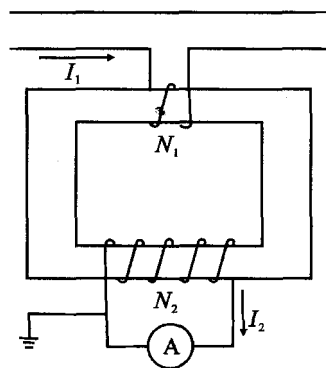


图 1-7 电流互感器的原理图

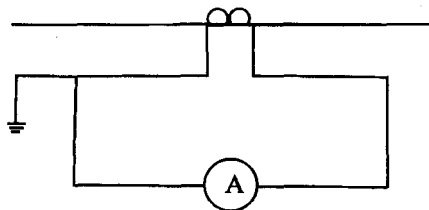


图 1-8 电流互感器符号

(2) 电流互感器的铁芯和二次绕组应可靠接地,以防止绝缘击穿后,高电压危及人员和设备安全。

(3) 二次绕组回路阻抗不应超过规定值,以免增大误差。

(二) 电压互感器

电压互感器的结构和工作原理与单相变压器相同。它的实质就是一个降压变压器,是由铁芯和一、二次绕组两个主要部分组成的。一次绕组的匝数多,并联在被测电路中,二次绕组匝数少,接在高阻抗的仪表上,如接在电压表、功率表或电能表的电压线圈上。因此二次绕组的电流很小,正常运行时,近似空载运行。电压互感器的工作原理如图 1-9 所示,根据变压器的电压比公式

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

可知

$$U_1 = K_u U_2$$

式中, K_u 是电压互感器的变换系数,也称电压互感器的变换倍数。 K_u 一般标在电压互感器的铭牌上,只要读出二次绕组的电压,一次绕组的电压便可由上式求出。在实际应用中,与电压互感器配套使用的电压表中的电压已换算成一次绕组的电压,可以直接读出测量数据,不必再进行换算。一般电压互感器二次绕组的额定电压为 100V。常用的电压互感器变比有 3000V/100V、6000V/100V 等。电压互感器有干式、油浸式、浇注绝缘式等,其符号如图 1-10 所示。

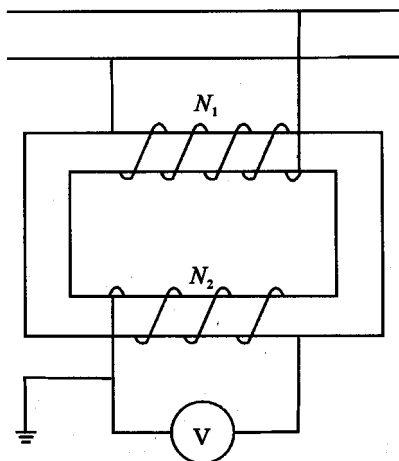


图 1-9 电压互感器的工作原理

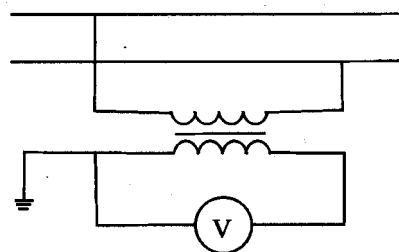


图 1-10 电压互感器符号

由于励磁电流和漏阻抗的存在,电压互感器存在着误差。为减小误差,应尽量减小空载电流和一、二次绕组的漏抗,以得到准确的变比。根据误差大小,电压互感器可分为 0.2、0.5、1.0、3.0 四个等级。级数越大,误差也越大。

使用电压互感器时的注意事项:

- (1) 电压互感器运行时,二次绕组绝不允许短路,否则将产生很大的短路电流,烧毁互感器。
- (2) 为了保障人员和设备的安全,电压互感器的铁芯和二次绕组必须可靠接地。
- (3) 电压互感器有一定的额定容量,二次绕组回路不宜接入过多仪表,以免影响测量精度。

二、自耦变压器

(一) 用途与结构特点

普通的双绕组变压器一、二次绕组是相互绝缘的,它们之间只有磁的耦合,没有电的直接联系。如果将双绕组变压器的一、二次绕组串联起来作为新的一次侧,而二次绕组仍作二次侧与负载阻抗 Z_L 相连接,便得到一台降压自耦变压器,如图 1-11 所示。显然,自耦变压器一、二次绕组之间不但有磁的联系,而且还有电的联系。由下面分析可知,自耦变压器能节省大量材料、降低成本、减小变压器的体积和重量,而且有利于大型变压器的运输和安装。目前,在高

电压、大容量的输电系统中,自耦变压器主要用来连接两个电压等级相近的电力网,作为联络变压器使用。在实验室中还常采用二次侧有滑动接触的自耦变压器作为调压器。此外,自耦变压器还可用作异步电动机的启动补偿器。

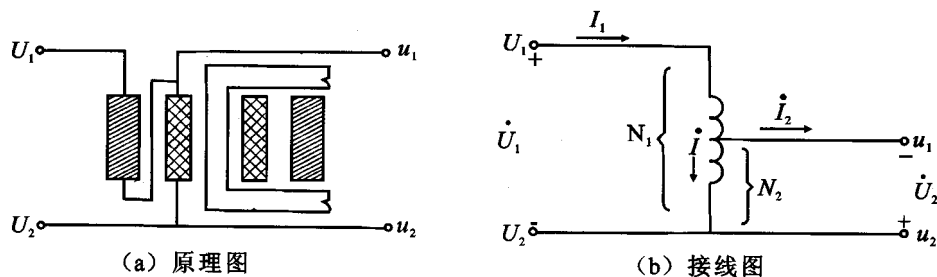


图 1-11 降压自耦变压器的原理图与接线图

(二)电压、电流及容量关系

1. 电压关系

自耦变压器也是利用电磁感应原理工作的。当一次绕组 U_1 、 U_2 两端加交变电压 $\dot{U}_1$ 时,铁芯中产生交变磁通,并分别在一、二次绕组中产生感应电动势,若忽略漏阻抗压降,则有:

$$\dot{U}_1 \approx \dot{E}_1 = 4.44 f N_1 \dot{\Phi}_m$$

$$\dot{U}_2 \approx \dot{E}_2 = 4.44 f N_2 \dot{\Phi}_m$$

自耦变压器的变比为:

$$k_a = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \approx \frac{U_1}{U_2}$$

2. 电流关系

负载运行时,外加电压为额定电压,主磁通近似为常数,总的励磁磁动势仍等于空载磁动势。根据磁动势平衡关系可知:

$$N_1 \dot{I}_1 + N_2 \dot{I}_2 = N_1 \dot{I}_0$$

若忽略励磁电流,得

$$N_1 \dot{I}_1 + N_2 \dot{I}_2 = 0$$

则

$$\dot{I}_1 = -\frac{N_2}{N_1} \dot{I}_2 = -\dot{I}_2 / k_a$$

可见,一、二次绕组电流的大小与匝数成反比,在相位上互差 180° 。因此,流经公共绕组中的电流

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = -\frac{\dot{I}_2}{k_a} + \dot{I}_2 = \left(1 - \frac{1}{k_a}\right) \dot{I}_2$$

在数值上有

$$I = I_2 - I_1$$

或

$$I_2 = I + I_1$$

上式说明,自耦变压器的输出电流为公共绕组中电流与一次绕组电流之和,由此可知,流经公共绕组中的电流总是小于输出电流的。

3. 容量关系

普通双绕组变压器的铭牌容量(又称通过容量)和绕组的额定容量(又称电磁容量或设计容量)相等,但在自耦变压器中两者不相等。以单相自耦变压器为例,其铭牌容量为

$$S_N = U_{1N} I_{1N} = U_{2N} I_{2N}$$

而串联绕组 $U_1 u_1$ 段额定容量为

$$S_{U_1 u_1} = U_{U_1 u_1} I_{1N} = \frac{N_1 - N_2}{N_1} U_{1N} I_{1N} = \left(1 - \frac{1}{k_a}\right) S_N \quad (1-1)$$

公共绕组 $u_1 u_2$ 段额定容量为

$$S_{u_1 u_2} = U_{u_1 u_2} I = U_{2N} I_{2N} = \left(1 - \frac{1}{k_a}\right) S_N \quad (1-2)$$

比较式(1-1)和式(1-2)可知,串联线圈 $U_1 u_1$ 段额定容量与公共线圈 $u_1 u_2$ 段额定容量相等,并均小于自耦变压器的铭牌容量。而且,自耦变压器的变比 k_a 越接近 1,绕组容量就越小,其优越性就越显著。因此,自耦变压器主要用于 $k_a < 2$ 的场合。

自耦变压器工作时,其输出容量

$$S_2 = U_2 I_2 = U_2 (I + I_1) = U_2 I + U_2 I_1$$

上式说明,自耦变压器的输出功率由两部分组成,其中 $U_2 I$ 为电磁功率,是通过电磁感应作用从一次侧传递到负载中去的,与双绕组变压器传递方式相同。 $U_2 I_1$ 为传导功率,它是直接由电源经串联绕组传导到负载中去的,这部分功率只有在一、二次绕组之间有了电的联系时,才有可能出现,它不需要增加绕组容量,也正因为如此,自耦变压器的绕组容量才小于其额定容量。

综上所述,在同样的额定容量下,自耦变压器具有外形尺寸小、重量轻、效率较高、便于运输和安装等优点。但应注意,自耦变压器还具有以下缺点:

(1) 和同容量普通变压器相比,短路阻抗小,短路电流大。

(2) 由于一、二次绕组侧存在电的直接联系,故当一次侧过电压时,会引起二次侧产生严重过电压。

三、电焊变压器

目前应用很广泛的交流弧焊机实质上是一台特殊的降压变压器,即所谓的电焊变压器。

电焊变压器的特点是:二次绕组不但要有足够的引弧电压(60~75V),而且当焊接电流增大时,二次绕组电压又能迅速下降,即使二次绕组短路时(如焊条碰到工件上时,此时二次绕组输出电压为零),电流也不会太大。也就是说,电焊变压器的输出电压 U_2 与输出电流 I_2 有如图 1-12 所示的关系,即电焊变压器具有陡降的外特性。

电焊变压器之所以具有以上特点,是因为它的结构与一般变压器不同。图 1-13 所示的是电焊变压器的原理图。它的一次绕组分装在两个铁芯柱上,二次绕组与电抗器串联。电抗器的铁芯不但有一定的空气隙,而且转动螺杆还可以改变空气隙的长短来获得不同大小的焊接电流。当空气隙加长后,磁阻将增大,由磁路欧姆定律可知,此时的电流就最大。反之,当空气隙减小时,电流就减小。由此可知,要获得不同大小的焊接电流,可通过改变空气隙的长短来实现。

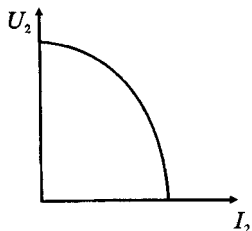


图 1-12 电焊变压器的外特性

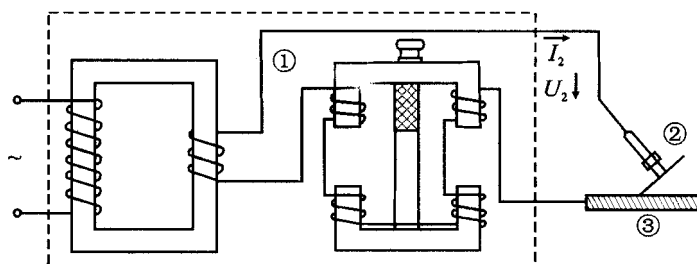


图 1-13 电焊变压器的原理图

① 电抗器 ② 焊把 ③ 工件

除上述结构外,常见的电焊变压器还有动铁式和动圈式两种。动铁式是通过改变二次绕组的匝数和调节可动铁芯的位置来调节焊接电流的方式;动圈式是通过改变一、二次绕组的相对位置来调节焊接电流的方式,但它们的工作原理基本相同。

第三节 三相电力变压器

在电力系统中,用来变换三相交流电压、输送电能的变压器称作三相电力变压器,其外形如图 1-1 所示。它有 3 个铁芯柱,各绕一相一、二次绕组。图 1-14 所示的是三相电力变压器的示意图。由于三相一次绕组所加的电压是对称的,因此二次绕组电压也是对称的。为了散热方便,通常铁芯和绕组都浸在装有绝缘油的油箱中,通过油管将热量散发出去,考虑到油的热胀冷缩,故在变压器油箱上安置一个储油柜和油位表。此外,还装有一根防爆管,一旦发生故障,产生大量气体时,高压气体将冲破防爆管前端的薄片而释放出来,从而避免爆炸事故的发生。

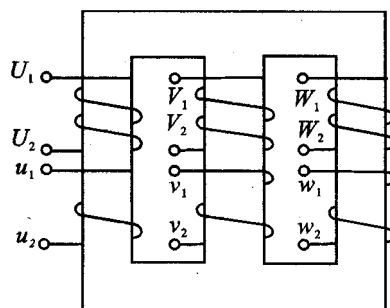


图 1-14 三相电力变压器的示意图

三相变压器的一、二次绕组可以根据需要分别接成星形或三角形。三相电力变压器的常见连接方式有 Y_{yn} (Y/Y_0 星形连接有中线) 和 Y_d (Y/Δ 星形三角形连接), 如图 1-15 所示。其中 Y_{yn} 连接常用于车间配电变压器, 这种接法不仅给用户提供了三相电源, 同时还提供了单相电源, 通常在动力和照明混合供电的三相四线制系统中, 就是采用这种连接方式的变压器供电的。

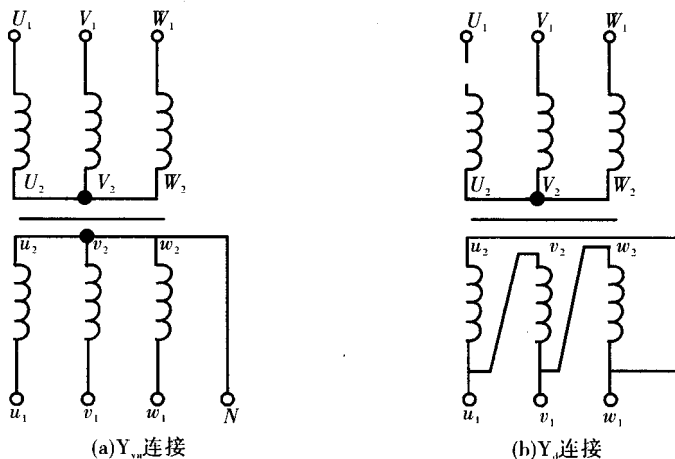


图 1-15 三相电力变压器的接法