

一招鲜

电工类

BIANYAQI
JIANXIU GONG RUMEN

就业技术速成丛书



变压器 检修工入门

王吉华 编 著

适合培训·便于自学



一招鲜·就业技术速成丛书

变压器检修工入门

王吉华 编 著



安徽科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

变压器检修工入门/王吉华编著. —合肥:安徽科学技术出版社,2008.1

(一招鲜·就业技术速成丛书)

ISBN 978-7-5337-3748-1

I. 变… II. 王… III. 变压器-基本知识
IV. TM4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 019701 号

变压器检修工入门

王吉华 编著

出版人:朱智润

责任编辑:倪颖生

封面设计:冯 劲

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.com.cn

E-mail:yougoubu@sina.com

经 销:新华书店

排 版:安徽事达科技贸易有限公司

印 刷:合肥瑞丰印务有限公司

开 本:850×1168 1/32

印 张:10.375

字 数:260 千

版 次:2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

印 数:6 000

定 价:19.50 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)

前 言

变压器在电子、电工、电力、电信和自动控制等系统中,是常用的部件。其工作原理是电磁感应原理。它将输入端的电能,通过磁铁芯,耦合到输出端,进行传输,即传输交流电能并可改变输出端的交流电压等参数。

在日常的家用电器中,例如音响设备、电视机、电话机等,大量使用的是电子变压器;而在远距离输送大功率电能时,必须使用电力变压器。变压器运转是否正常直接关系到电器的安全性和可靠性,因此,如何做好变压器的安装、运行管理、维修保养和定期修理工作是十分重要的。为帮助广大从事变压器制造及使用的电工熟练掌握这方面的知识和技能,特组织编写《变压器检修工入门》一书。

本书根据电工使用技术丛书的特点,分小型电子变压器和电力变压器展开叙述,紧紧围绕变压器的安全可靠运行,详细地介绍了变压器的基础知识、基本结构原理、日常维护、故障检修和修后试验等内容。另外,为满足读者需求,在书后附录了常用技术资料及等级考试相关内容。

参加本书编写的工作人员大都是长期从事电工的工程技术人员和厂家工程设计人员,具有丰富的实践经验,在编写中力求简明扼要、通俗易懂,突出实用性和可读性。在编写过程中,参考了大量的参考文献和科技文章,同时得到工作单位的大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

由于水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,恳请广大读者在阅读时批评指正。

编 者

《一招鲜·就业技术速成丛书》

编写委员会

主 编 石伟平

副主编 刘春玲 汪立亮

委 员 (按姓氏笔画为序)

王新华	艾春平	卢小虎	张志刚	张 军
张能武	李春亮	苏本杰	季明善	杨昌明
杨奉涛	罗中华	夏红民	徐 森	黄 芸
程美玲	程国元	满维龙		

目 录

基础知识篇

第一章 变压器基础知识.....	1
第一节 电工基本知识	1
第二节 常用材料	17
第三节 变压器基本知识.....	33

小型电子变压器篇

第二章 小型变压器	45
第一节 小型变压器的结构原理	45
第二节 小型单相变压器的制作	59
第三节 小型变压器的检测	77

电力变压器篇

第三章 电力变压器的结构及原理	82
第一节 变压器基本结构	82
第二节 变压器的空载运行	89
第三节 变压器的负载运行	97
第四节 三相变压器	108
第五节 变压器的并联运行	119
第六节 分类开关	124

第七节 变压器的冷却装置	138
第四章 变压器的安装与检查	146
第一节 变压器安装前组织工作	146
第二节 变压器的安装	147
第三节 变压器油的真空处理及注油	159
第四节 变压器投入运行前的试验检查	161
第五章 变压器的运行及维护	164
第一节 变压器运行前的检查	164
第二节 电力变压器的并列运行	167
第三节 变压器的日常维护	173
第六章 变压器检修	179
第一节 变压器检修的基本知识	179
第二节 铁芯的检修	186
第三节 绕组及引线的检修	194
第四节 油箱的检修	201
第五节 冷却装置的检修	205
第六节 套管的检修	208
第七节 储油柜的检修	213
第八节 气体继电器、温度计的检修	222
第九节 净油器、吸湿器、压力释放阀、阀门及塞子的检修	228
第七章 干式变压器	233
第一节 干式变压器的结构原理	234
第二节 干式变压器的试验与检修	247
第八章 变压器修理后的试验	260
第一节 试验项目和标准	260
第二节 电力变压器的试验方法	264
附录一 变压器检修职业技能鉴定规范	295
一、初级变压器检修工鉴定内容	295
二、中级变压器检修工鉴定内容	298

附录二 变压器检修初级工知识要求试卷及答案.....	302
一、变压器检修初级工知识要求试卷	302
二、变压器检修初级工知识要求试卷答案	305
附录三 电工常用公式及单位换算表.....	309
参考文献.....	323

基础知识篇

第一章 变压器基础知识

第一节 电工基本知识

一、电工名词术语

电流:带电质点有规则地运动的物理现象,称为电流。

电流强度:电流强度是用来衡量电流强弱的物理量。在数值上它等于单位时间内穿过导体横截面的电量,单位安培,用符号 A 表示。

电流密度:在单位横截面积上通过的电流大小,称为电流密度。单位为 A/mm^2 。

电压:将单位正电荷由 a 点移到 b 点时,电场力所做的功,称为 a 点到 b 点的电压,亦叫 a 、 b 两点间的电位差。电压的单位为伏(V)。

导体:带电质点能在其中自由移动的物体称为导体。各种金属、人体、各种酸碱盐的水溶液均属于导体。

绝缘体:不能导电的物体称为绝缘体,亦称电介质。如橡胶、塑料、云母、陶瓷、石蜡、纸张、油类、绝缘漆、玻璃、干木材和空气等。

半导体:导电性能介于导体与绝缘体之间的物体称为半导体。如锗、硅、硒等。

电导:表示导体传导电流的本领和物理量,称作电导,用符号 G 表示,单位为西(S)。

电导率:又叫电导系数,是表示物质导电性能的参数,单位为西/米(S/m)。

电阻:导体一方面具有导电的能力,另一方面对电流通过又会产生阻碍作用。这种阻碍电荷移动的能力称电阻。其电阻值由下式求得

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

式中 ρ ——导体的电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$; l ——导体的长度, m ; A ——导体的横截面积, m^2 。

电阻率:又称为电阻系数,是表示物质导电性能的参数,单位为欧·米($\Omega \cdot \text{m}$)。表示单位长度(1 m),单位横截面积(1 m^2)导线的电阻值(在温度为 20°C 时)。不同的材料,电阻率也不同。材料的电阻率愈大,导电性能愈差。

电磁感应现象:当穿过闭合回路所包围的面积磁通量发生变化时,回路中就会产生电流,回路中所产生的电流叫作感应电流。

电感:由于通过闭合回路(或线圈)自身的电流变化,引起穿过它本身的磁通量跟着变化而产生感应电动势的现象,称为自感现象。当两个线圈相互靠近,其中一个线圈中的电流变化,引起穿过另一个线圈所包围的磁通量跟着变化,从而在该线圈中产生感应电动势的现象,称为互感现象。电感是自感与互感的统称。

感抗:当交流电流通过具有电感的电路时,电感具有阻碍交流电流通过的作用,称为感抗,其值由下式求得

$$X_L = 2\pi fL$$

式中 X_L ——自感抗, Ω ; f ——电流的频率, Hz ; L ——自感, H 。

电容:表示两个分隔开的导体储存电荷的能力的参数,用字母 C 表示。

容抗:当交流电流通过具有电容的电路时,电容具有阻碍交流电

流通过的作用,称为容抗。其值由下式求得

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

式中 X_c ——容抗, Ω ; f ——电流的频率, Hz; C ——电容, F。

阻抗:当交流电流通过具有电阻、电感、电容的电路时,它们所共同产生的阻碍交流电流通过的作用,称为阻抗,其值由下式求得

$$Z = \sqrt{R^2 + (2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC})^2}$$

式中 Z ——阻抗, Ω ; R ——电阻, Ω ; f ——频率, Hz; L ——电感, H; C ——电容, F。

交流:大小和方向随时间作周期性变化的电流、电压叫交流。电动势、电压、电流的大小随时间作正弦规律变化的电路,称为正弦交流电路。它是交流电路最基本的形式。

频率:在 1 s 内,交流电所完成的交变次数叫频率,用字母 f 表示,单位为赫(Hz)。我国电网频率为 50 Hz,又称为工频。

周期:交流电完成一次交变所需要的时间称为周期,用字母 T 表示,单位为秒(s)。

周期与频率的关系

$$f = \frac{1}{T}, T = \frac{1}{f}$$

有效值:一个直流电流 I 通过一个电阻所损失的电能,与交流电流 i 通过同一个电阻所损失的电能相等的话,该直流电流的大小作为交流电流 i 的有效值,以 I 表示。

平均值:正弦交流的平均值,是指一个周期内绝对值的平均值。

瞬时功率:交流电路中任一瞬间的功率,称为瞬时功率。如电压的瞬时值用 u 表示,电流的瞬时值用 i 表示,若两者的方向相同,则瞬时功率为 $p = iu$ 。

有功功率:交流电路功率在一个周期内的平均值,称为平均功率,或称有功功率,对于正弦交流电路,有功功率为

$$P=UI\cos\varphi$$

式中 P ——有功功率, W; U ——电压有效值, V; I ——电流有效值, A; $\cos\varphi$ ——功率因数。

视在功率:在具有电阻及电抗的电路中,其电压与电流有效值的乘积,称为视在功率,其计算公式为

$$S=UI$$

式中 S ——视在功率, VA; U ——电压有效值, V; I ——电流有效值, A。

功率因数:有功功率与视在功率的比值,称为功率因数,其计算公式为

$$\cos\varphi=\frac{P}{S}$$

式中 P ——有功功率(即平均功率), kW; S ——视在功率, kVA。

由于平均功率是小于或等于视在功率的,所以功率因数($\cos\varphi$)的数值在 $0\sim 1$, φ 称为功率因数角。

无功功率:在具有电感或电容的电路中,电感或电容不断与电源交换能量,为了电工计算需要,将这个与电压交换能量速率的振幅值,称为无功功率,并以字母 Q 表示,单位为伏·安(VA)。

电路:用导线将电源和负载按一定方式连接起来的回路称为电路。

相电压:三相电源中,任一根相线与中性线之间的电压,称为相电压。

线电压:三相电源中,任意两根相线之间的电压,称为线电压。

相电流:三相负载中,每相负载中流过的电流,称为相电流。

磁感应强度:是描述磁场中各点磁场强弱和作用方向的物理量。磁感应强度是一个具有方向的量,又称磁密,磁场方向与电流方向之间的关系,用右手定则确定。磁感应强度的计算公式为

$$B=\frac{F}{Il}$$

式中 B ——磁场中某点的磁感应强度, Wb/m^2 ; F ——载流导体所受到的电磁力, N ; I ——导线中通过的电流, A ; l ——与磁场方向垂直的导线长度, m 。

磁通量:磁感应强度的曲面积分,又称磁通,它可以用穿过曲面的磁感应线数形象地表示。

磁导率:磁导率是表征磁场中的介质导磁能力的物理量。任一介质的磁导率与真空磁导率的比值叫做相对磁导率。

磁场强度:由磁感应强度和磁压强度线性组合成的物理量。磁场强度的计算公式为

$$H = \frac{B}{\mu}$$

式中 B ——磁感应强度, Wb/m ; μ ——媒介质的磁导率, H/m ; H ——磁场强度, A/m 。

磁阻:表示磁路对磁通所起的阻碍作用,以字母 R_m 表示,单位为 $\text{亨}^{-1} (\text{1/H})$ 。

剩磁:将铁磁物质放在外磁场之中,铁磁物质将被磁化(带有磁性)。当外磁场消失后,铁磁物质仍保留一定的磁性,称为剩磁。永久磁铁是剩磁很强的磁性材料。

(一) 电磁感应

当导体在磁场中切割磁感线或线圈中的磁通变化时,在导体或线圈中就会产生感应电势,这种现象叫电磁感应,由电磁感应产生的电动势叫感应电动势。若导体或线圈是闭合电路的一部分时,导体和线圈中会产生电流。由感应电动势产生的电流叫感应电流。

1. 直导体中产生的感应电动势

直导体在磁场中切割磁感线,导体中将产生感应电动势,其计算式为

$$e = BLv \sin \alpha$$

式中 e ——导体产生的感应电动势, V ; B ——磁场的磁感应强度, T ; L ——导体在磁场中的实际长度, m ; $L \sin \alpha$ ——导体在磁场中的有

效长度, m ; v ——导体移动速度, m/s 。

当导体垂直于磁场时, 感应电动势最大。即: $L \sin \alpha = L \sin 90^\circ = L$, $e = BLv$ 。直导体中产生的感应电动势的方向, 可用右手定则来判断。

2. 线圈中产生的感应电动势

感应电流产生的磁场, 总是阻碍原磁场变化的, 当线圈中的磁通增加时, 感应电流就要产生新的磁通去阻碍它的增加, 当线圈中的磁通减少时, 感应电流产生的磁通将阻碍它的减少, 这个规律叫楞次定律。楞次定律为我们提供了一个判断感应电动势或感应电流方向的方法。

3. 电磁感应定律

法拉第通过实验证明, 线圈中感应电动势的数值大小与线圈中磁通变化的速度有关, 这就是电磁感应定律。感应电动势计算公式为

$$e = -N \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

式中 N ——线圈匝数; $\Delta \phi$ ——线圈内磁通的变化量, Wb ; Δt ——磁通变化所需的时间, s ; e —— N 匝线圈产生的感应电动势, V 。

式中的负号表示感应电动势的方向和线圈中磁通变化的趋势相反。

(二) 自感

由于线圈自感产生的感应电动势叫自感电动势, 用符号 e_L 表示。当线圈中电流发生变化时, 线圈本身会产生自感电动势和自感电流, 它们的方向是当线圈中电流增加时, 自感电流与线圈中电流方向相反; 当线圈中电流减小时, 自感电流与线圈中电流方向相同。线圈中每通过单位电流所产生的自感磁通数, 称为自感系数, 简称自感, 用字母 L 表示。即

$$L = \frac{\Phi}{i}$$

式中 Φ ——线圈中流过电流 i 时产生的磁通数, Wb; i ——流过线圈的交变电流, A; L ——电感, H。

电感是表示线圈能产生自感电动势大小的物理量。自感电动势的计算式为

$$e_L = -L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

式中 e_L ——自感电动势, V; L ——电感, H; $\frac{\Delta i}{\Delta t}$ ——电流变化率, A/s。

式中负号表示自感电动势 e_L 的方向与线圈中电流变化的趋势相反。

(三) 互感

两个线圈间的电磁感应现象称为互感现象, 简称互感。由互感产生的感应电动势, 称为互感电动势, 其表示式为

$$e_2 = -M \frac{\Delta i_1}{\Delta t}$$

式中 $M = \frac{\Phi}{i_1}$ ——互感系数, H; Φ ——线圈中通过 i_1 电流时穿过线圈的磁通数, Wb; i_1 ——线圈中通过的电流, A。

二、单相交流电路

(一) 正弦交流电的三要素。

正弦交流电是指其数值大小、方向都按正弦波的规律周而复始地循环变化的电势、电压与电流。正弦交流电有三方面的要素: 数值、变化速度、相位关系。

1. 正弦交流电的数值

(1) 瞬时值 正弦交流电在变化过程中, 任意确定时刻 t 的数值, 称为正弦交流电的瞬时值, 用小写符号表示, 如 i 、 e 、 u 等。

(2) 最大值 正弦交流电的最大值又称极大值、振幅值, 也可称为峰值。是指在变化过程中, 正弦交流电出现的最大瞬时值, 用符号 E_m 、 I_m 、 U_m 表示。

(3)有效值 一个交流电流和一个直流电流,分别通过同一电阻,如果经过相同时间产生同样热量,则这个交流电流的有效值等于这个直流电流的大小。有效值用大写符号表示,如 E 、 I 、 U 。

正弦交流电的瞬时值,可以用数学解析式表示,即 $u=U_m \sin(\omega t + \varphi)$ 。正弦交流电的有效值与极大值的数量关系为: $U=\frac{1}{\sqrt{2}}U_m$; $I=\frac{1}{\sqrt{2}}I_m$;

$$E=\frac{1}{\sqrt{2}}E_m。$$

2. 正弦交流量的相位关系

在交流电路中的电压、电势、电流等电量是以同一频率变化的,表示正弦交流量在变化过程中变化进程的物理量叫相位。正弦交流电的表示式为

$$e=E_m \sin(2\pi ft + \varphi)$$

式中 $(2\pi ft + \varphi)$ ——正弦电势 E 的相位,当时间 t 等于 0 时,正弦交流电的相位,称为初相位。

相位差是指在交流电路中,同频率的正弦交流量初相位之差。几个同频率的正弦交流量在变化过程中,相对计时起点 $t=0$ 而言,先达到零值(或极大值)者称为超前,后达到零值者称为滞后。几个同频率的正弦交流量进行相对比较时,如果初相角相等,称为同相,初相角相互有 180° (π 弧度)的相位差则互为反相。

(二)几种典型的单相交流电路

1. 纯电阻电路

电路中的负载是纯电阻的交流电路称为纯电阻电路。

(1)电路的电流与电压的关系 电流与电压频率相同,相位相同,关系符合欧姆定律。

(2)纯电阻电路的电功率 在纯电阻电路中,电流、电压都是随时间变化的,因此,功率也是随时间变化的,此时功率为瞬时功率。瞬时功率一个周期内的平均值,叫平均功率,也叫有功功率,用 P 表示。有功功率等于最大瞬时功率的一半,即

$$P = \frac{1}{2} U_m I_m = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

式中 P ——有功功率, W; U ——电阻上交流电压的有效值, V;
 R ——设备的电阻, Ω 。

2. 纯电感电路

(1) 电流与电压的关系 由电阻近似为零的电感线圈组成的交流电路, 可近似地认为是纯电感电路。即

$$e = -L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

(2) 电感线圈中的功率 在纯电感电路中瞬时功率为 $P_L = u_L i_L$, 瞬时功率的最大值为 $\frac{1}{2} U_m I_m$ 。在纯电感电路中, 只有线圈与电源间的能量交换而没有能量的消耗。通常用瞬时功率的最大值, 来说明能量转换的规模, 并把它称为无功功率, 用 Q_L 来表示, 单位为乏(var)。即

$$Q_L = \frac{1}{2} U_m I_m = \frac{1}{2} \times \sqrt{2} U \times \sqrt{2} I = U_L I$$

3. 纯电容电路

由一个绝缘电阻很大, 介质损耗很小的电容器组成的交流电路, 可以近似地认为是纯电容电路。

(1) 电压与电流的关系 当电容器接到交流电源上时, 由于外加交变电压在不断变化, 电容器就不断进行充、放电。电路中就产生交变电流, 其数值等于电容极板上电荷量的变化率。即 $i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = C \frac{\Delta U_C}{\Delta t}$ 。式中 $\frac{\Delta U_C}{\Delta t}$ 是电容两端电压的变化率。

(2) 纯电容电路的功率 纯电容电路中的瞬时功率 p_c 的频率是电源电压频率的两倍。瞬时功率的最大值为 $\frac{1}{2} U_m I_m$ 。在纯电容电路中, 只有电容器与电源之间的能量交换, 而没能量的消耗。通常用瞬时功率的最大值来说明能量交换的规模, 并把它也称为无功功率。