

清华大学电气工程系列教材

High-voltage Testing Technology

高电压试验技术 (第2版)

张仁豫 陈昌渔 王昌长 编著

Zhang Renyu Chen Changyu Wang Changchang



清华大学出版社

清华大学电气工程系列教材

High-voltage Testing Technology

高电压试验技术 (第2版)

张仁豫 陈昌渔 王昌长 编著
Zhang Renyu Chen Changyu Wang Changchang

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是高电压及绝缘技术专业的专业教材,可供电气工程及其自动化专业师生作为参考教材,还可供相关专业研究生和工程技术人员作为自学用书或参考用书。

高电压试验技术又与脉冲功率技术、激光技术、高压加速器和高能物理等技术密切相关。为此在本书第二版的编写中,作者尽量做到取材丰富,内容翔实。本书除可作教学用书外,还可供电力系统和电工制造部门的工程技术人员和研究人员阅读,还可供上述各专业人员参考。

本书前 8 章讲述高电压试验设备及相应的测量装置,内容包括交流高压、直流高压、雷电冲击电压、操作冲击电压和冲击电流的测试。第 9,10 两章分别叙述介质损耗和介质内部局部放电的测量。第 11 章专门讨论高电压实验室设计中的一些技术问题。本书着重讲清试验设备和测量装置的工作原理,并提供设计和选择这些设备与装置的方法,同时还介绍了最新的国家标准和 IEC 的有关规定。

图书在版编目(CIP)数据

高电压试验技术/张仁豫,陈昌渔,王昌长编著. 2 版. —北京:清华大学出版社,2002
ISBN 7-302-06033-9

I. 高… II. ①张… ②陈… ③王… III. 高电压试验设备 IV. TM83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 084433 号

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

责任编辑: 王一玲

印 刷 者: 清华大学印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787×1092 1/16 印张: 18 字数: 411 千字

版 次: 2003 年 5 月第 2 版 2003 年 5 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-06033-9/TM·38

印 数: 0001~4000

定 价: 29.00 元

前言

试验技术对自然科学的重要性是众所周知的。高电压技术的研究对象是各种形态的高电压和各种性能的介质,需要有各种高电压的测试设备来研究各种介质在各种高电压下的物理现象。尽管几十年来高电压技术已有了很大发展,但是,关于介质击穿的一些机理,还不是很清楚,许多实际问题需要依靠试验来解决。由于试验技术对高电压技术如此重要,以及它所使用的一些手段的特殊、内容的丰富和技术的复杂,它已成为高电压技术领域中的一个重要方面。

本书内容包括试验设备和测量技术两个方面,并介绍了我国高电压试验技术最新版的国家标准和国际电工委员会的相关推荐标准。对于某些产品试验的特殊要求,在工作需要时,可通过学习产品试验规程来解决。本书内容还涉及到电力系统中预防性试验所用到的重要设备、仪器和试验方法。至于预防性试验的具体要求和结果分析,在高电压绝缘课中讲解。

本书在编写过程中,对测试设备的工作原理力求讲解清楚,同时也提供许多生产实际知识,如测试设备的设计和选择方法,学完本书后,应能掌握高电压试验技术的基本原理和一般的试验方法。并掌握组建高电压实验室的一些必要知识。书后附有主要高电压元件或材料的性能数据,以便查阅。全书分量既考虑适应教学时数,避免繁杂,又考虑生产实际需要略予扩充。本书不仅可作专业教科书,亦可供有关技术人员参考阅读。

本书第一版由张仁豫主编,陈昌渔编写第1章及第2章,王昌长编写第3章和第4章,张仁豫编写第5章至第11章,陈秉中协助整理计算式、收集资料并校阅全稿。

本书第一版曾在清华大学、西安交通大学等高校作为教科书使用,该版出书至今已近二十年,二十年来科学技术的快速发展,以及高电压试验技术国家标准(新版)及 IEC 文件的颁布,使得有必要对本书内容进行较大幅度的修订。在这次修订工作中,我们注意在内容上讲清物理概念,精简数学推导过程,并增补和更新了一些内容。例如,在冲击电压的测量中新增了微分积分测量系统;在删减讲述高压示波器内容的同时,新增了数字存储示波器的内容;在对绝缘的 $\tan \delta$ 测量中,新增了在线监测和全数字测量;在绝缘的局部放

电测量中,新增了局部放电的定位和其他检测方法,以及局部放电的现场测试等内容。此外还新增了练习题和思考题。在章节内容的编排上还尽可能做到简明,便于教师精选讲课内容和学生进行自学。

本书第二版由张仁豫主编,王昌长修订了第3,4,9,10章,陈昌渔修订了其他各章,并与王昌长一起修订了附录和撰写新增的习题及思考题,张仁豫设计了本书的章节框架并审阅了主要章节的书稿。

校内外许多同志曾阅读或使用了本书第一版并提出了宝贵的意见,在此谨表谢意。

因编者水平所限,错误及不当之处在所难免,希望读者指正。

编著者

2002年11月

目 录

前言	I
第 1 章 交流高电压试验设备	1
1.1 概述	1
1.2 高电压试验变压器的结构型式及主要参数	3
1.2.1 高电压试验变压器的结构型式	3
1.2.2 试验变压器的主要参数	4
1.3 串级高压试验变压器	6
1.3.1 串级变压器的基本原理及几种串级方式	6
1.3.2 降低试验变压器短路电抗的内部结构措施	10
1.3.3 自耦式串级变压器的短路电抗计算	10
1.3.4 几种自耦式串级试验变压器的外形及结构	13
1.3.5 串级试验变压器的优缺点	13
1.4 高电压试验变压器的调压装置	15
1.4.1 自耦调压器	15
1.4.2 移圈式调压器	15
1.4.3 电动发电机组	17
1.5 试验变压器输出电压的升高及波形畸变	18
1.5.1 容性试品上的电压升高及引起的测量误差	18
1.5.2 由于试品闪络所引起的恢复过电压及防止这种过电压的方法	19
1.5.3 高电压试验变压器输出电压的波形失真及改善措施	22
1.6 交流高压串联谐振试验设备	24
1.7 用高压试验变压器产生操作冲击波的方法	27
1.7.1 电容器对变压器一次侧放电产生操作冲击波	27

1.7.2 用闸流管使变压器一次侧瞬间接通工频电源产生操作冲击波	31
思考题	34
习题	35
参考文献	35
第2章 交流高电压的测量	36
2.1 概述	36
2.2 测量球隙	37
2.3 静电电压表	41
2.4 高压交流分压器及充气标准电容器	45
2.4.1 交流分压器的测量误差分析	46
2.4.2 交流电容分压器的组成	51
2.5 峰值电压表	54
2.5.1 利用电容电流整流测量峰值电压	55
2.5.2 利用电容器上的整流充电电压测量峰值电压	55
2.5.3 有源数字式峰值电压表	58
思考题	59
习题	59
参考文献	59
第3章 直流高电压试验设备	60
3.1 概述	60
3.2 高压硅堆	63
3.3 硅堆的电压分布和均压措施	65
3.4 倍压电路	68
3.5 直流高压串级发生器	71
3.6 小型化的直流高压串级发生器	79
思考题	82
习题	82
参考文献	83
第4章 直流高电压的测量	84
4.1 概述	84
4.2 电阻分压器	85
4.3 桥式电阻分压器	87
4.4 测量系统的比对和校准	91
思考题	92
习题	92

参考文献	93
第 5 章 冲击电压发生器	94
5.1 发生器的功用和冲击电压波形	94
5.2 冲击电压发生器的基本原理	96
5.3 发生器放电回路的数学分析	99
5.3.1 基本回路的分析	99
5.3.2 简化回路的近似计算分析	102
5.3.3 考虑电感作用后的简化回路分析	104
5.3.4 通过计算机程序计算发生器放电回路	105
5.4 冲击电压发生器的充电回路	107
5.5 冲击电压发生器的同步	111
5.5.1 中间球隙过电压状态分析	112
5.5.2 改善发生器同步性能的措施	113
5.6 冲击电压发生器的波形振荡	117
5.6.1 阻尼条件的分析	117
5.6.2 寻求发生器电感 L 和杂散电容 C' 的方法	120
5.7 冲击电压发生器的结构	122
5.8 冲击电压发生器设计计算举例	125
5.9 产生截断波的方法	129
5.10 产生操作冲击波的方法	131
5.11 陡波前冲击电压的产生	133
思考题	135
习题	135
参考文献	136
第 6 章 冲击高电压的测量	137
6.1 概述	137
6.2 用球隙测量冲击电压的特点	138
6.3 冲击高电压分压器	139
6.3.1 冲击高压分压系统的构成	139
6.3.2 冲击测量系统的转移特性	140
6.3.3 各类冲击分压器概述	145
6.3.4 电阻分压器	146
6.3.5 电容分压器	161
6.3.6 阻容串联分压器	164
6.3.7 微分积分测量系统	170
6.3.8 冲击测量系统的性能试验和校准	173

6.4 高压示波器	177
6.5 数字存储示波器	179
6.5.1 发展及应用	179
6.5.2 基本原理	179
6.5.3 主要技术指标	180
6.5.4 DSO 应用于高电压测试中的注意事项	182
6.6 高电压测试的抗干扰措施	184
6.6.1 电磁干扰的主要来源和防止措施	184
6.6.2 抗干扰综合措施实例	185
6.6.3 冲击测量系统的干扰试验	185
6.7 光电测量系统	186
思考题	188
习题	188
参考文献	189
第7章 冲击电流发生器	191
7.1 概述	191
7.2 冲击电流发生器的基本原理	192
7.3 冲击电流发生器的结构	193
7.4 冲击电流发生器的电流幅值和波形的调节	196
7.5 冲击电流方波发生器	198
7.6 冲击电流发生器的恒流充电	199
7.6.1 采用恒流源充电的必要性	199
7.6.2 L - C 恒流源的基本原理	200
7.6.3 恒流充电装置的实例	202
思考题	203
习题	203
参考文献	203
第8章 冲击电流的测量	204
8.1 概述	204
8.2 分流器	204
8.2.1 对分流器的性能要求	204
8.2.2 分流器的几种结构形式	206
8.3 罗戈夫斯基线圈	209
8.3.1 罗戈夫斯基线圈测量电流的原理和特点	209
8.3.2 两种积分方式的罗戈夫斯基线圈	209
8.3.3 罗戈夫斯基线圈的结构	211

8.4 冲击电流测量系统的性能试验	212
思考题	214
习题	214
参考文献	214
第9章 高电压下介质损耗和电容的测量	215
9.1 概述	215
9.2 西林电桥	216
9.2.1 基本原理和接线	216
9.2.2 杂散电容和电桥屏蔽	218
9.2.3 外界电磁场的干扰和消除	219
9.2.4 电桥的准确度和指零仪	221
9.3 电流比较仪式电桥	221
9.4 在线监测和全数字测量法	223
思考题	226
习题	226
参考文献	227
第10章 局部放电测量	228
10.1 概述	228
10.2 局部放电的检测	230
10.3 局部放电检测时的干扰和抗干扰措施	234
10.4 局部放电的定位及其他检测方法	236
10.5 局部放电的现场测试	239
思考题	241
习题	241
参考文献	241
第11章 高电压实验室	242
11.1 高电压实验室的主要设备及其参数	242
11.2 高电压实验室的净空距离	244
11.3 高电压实验室的屏蔽	247
11.3.1 屏蔽的作用和原理	247
11.3.2 高电压实验室的屏蔽结构	250
11.4 高电压实验室的接地	252
11.4.1 接地的作用	252
11.4.2 接地装置的实施	254
11.4.3 接地系统的性能试验	254

11.5 高电压实验室的建筑·····	255
11.6 高电压实验室的基本安全规则·····	255
思考题·····	256
习题·····	257
参考文献·····	257
附录 A 各种附表 ·····	258
表 A1 球隙放电标准 ·····	258
表 A2 大容量成套工频高压试验设备主要技术数据 ·····	262
表 A3 脉冲电容器 ·····	263
表 A4 高压硅堆技术参数 ·····	264
表 A5 同轴电缆参数表 ·····	265
表 A6 电阻合金材料的性能和特点 ·····	266
表 A7 常用电阻合金线规格 ·····	267
表 A8 国产电源滤波器的主要性能 ·····	268
表 A9 各类设备的 1 min 工频耐受电压 ·····	268
表 A10 各类设备的雷电冲击耐受电压 ·····	269
表 A11 超高压设备的标准绝缘水平 ·····	269
附录 B 3~4 阶冲击放电回路的电压象函数表达式 ·····	270
附录 C 冲击电压发生器的放电回路计算程序 ·····	271

第 1 章

交流高电压试验设备

1.1 概 述

交流高电压试验设备主要是指高电压试验变压器。本章除介绍高电压试验变压器外,还介绍了高电压串联谐振试验设备。

电力系统中的电气设备,其绝缘不仅经常受到工作电压的作用,而且还会受到例如大气过电压和内部过电压的侵袭。高电压试验变压器的功用在于产生工频高电压,使之作用于被试电气设备的绝缘上,以考验其在长时的工作电压及瞬时的内过电压下是否能可靠工作。另外,它也是试验研究高压输电线路的气体绝缘间隙、电晕损耗、静电感应、长串绝缘子的闪络电压以及带电作业等项目的必需的高压电源设备。近年来,由于超高电压及特高电压输电的发展,必须研究内绝缘或外绝缘在操作冲击波作用下的击穿规律及击穿数值。利用高压试验变压器还可以产生“长波前”类型的操作波。因此工频试验变压器除了产生工频试验电压,以及作为直流高压和冲击高压设备的电源变压器的固有的功用外,还可以用来产生操作波试验电压。所以,工频试验变压器是高电压实验室内不可缺少的主要设备之一。由于它的电压值需要满足内过电压的要求,故试验变压器的工频输出电压将大大超过电力变压器的标称电压值,常达几百千伏甚至几千千伏的数值。目前我国和世界上多数工业发达国家都具有 2250 kV 的试验变压器。

试验变压器在原理上与电力变压器并无区别,只是前者电压较高,变比较大。由于电压值高,所以要采用较厚的绝缘及较宽的间隙距离,也因此试验变压器的漏磁通较大,短路电抗值也较大,而电压高的串级试验变压器的总短路电抗值则更大。由于在大的电容负载下,试验变压器一、二次侧的电压关系与线卷匝数比有一些差异,因此试验变压器常有特殊的测量电压用的线卷。当变压器的额定电压升高时,它的体积和重量的增加趋势超过按额定电压的三次方(U^3)的上增速度。为了限制单台试验变压器的体积和重量,有必要在接线上和结构上采取一些特殊措施,例如目前所采用的串级装置等。这样,试验变压器在某些情况下,具有特殊形式。

试验变压器的运行条件与电力变压器是不同的,例如:

(1) 试验变压器在大多数情况下,工作在电容性负荷下;而电力变压器一般工作在电感性负荷下。

(2) 试验变压器所需试验功率不大,所以变压器的容量不很大;而高压电力变压器的容量都很大。

(3) 试验变压器在工作时,经常要放电;电力变压器在正常运行时,发生事故短路的机会是不多的,而且即使发生,继电保护装置会立即断开电源。

(4) 电力变压器在运行中可能受到大气过电压及操作过电压的侵袭;而试验变压器并不受到大气过电压的作用,但由于试品放电的缘故,它在工作时,也可能在绕组上产生梯度过电压。

(5) 试验变压器工作时间短,在额定电压下满载运行的时间更短。譬如进行电气设备的耐压试验常常是 1 min 工频耐压,而电力变压器则几乎终年或多年在额定电压下满载运行。

(6) 由于上述原因,试验变压器工作温度低,而电力变压器温升较高。也因此电力变压器都带有散热管、风冷甚至强迫油循环冷却装置,而试验变压器则没有各种附加的散热装置或只有简单的散热装置。

上述情况表明,试验变压器在运行条件方面比电力变压器有利,而在重要性方面则不如电力变压器,所以设计时采用较小的安全系数。如 50 kV~250 kV 试验变压器本身的试验电压比其额定电压仅高 25 kV;更高电压(≥ 300 kV)的试验变压器的试验电压比额定电压仅高 10%。例如,500 kV 试验变压器的 5 min 100 Hz 自感应试验电压为 550 kV,国产 YDC—1500/1500(额定电压为 1500 kV,额定容量为 1500 kVA)二级串级试验变压器,单台 750 kV 变压器的 5 min 100 Hz 自感应试验电压为额定电压的 110%;两台串级时所取的感应试验电压仅为额定电压的 105%。而电力变压器的试验电压常比额定电压高得多,例如 220 kV 电力变压器的 1 min 工频试验电压为 325 kV~400 kV;330 kV 变压器的出厂 1 min 相对地工频试验电压为 510 kV(注:均为有效值)。正因为高压试验变压器的试验电压较低,设计温升较低,故在额定功率下只能作短时运行。例如上述 500 kV 试验变压器,在额定电压下只能连续工作 30 min,在 330 kV 电压及 330 kVA 容量下才能持续运行。有的特高电压的试验变压器,在额定电压及额定容量下,只能运行 5 min。

试验变压器在进行供电试验时的接线如图 1-1 所示。

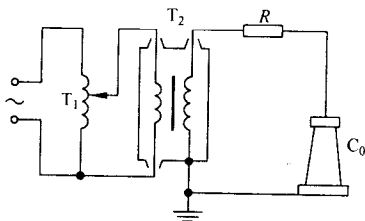


图 1-1 试验变压器试验接线

T_1 ——调压器; T_2 ——试验变压器; R ——保护电阻; C_0 ——试品

一般情况下试品 C_0 的一端是接地的,所以试验变压器的高压绕组一端接地,另一端

用高压套管引出,经过保护电阻 R 接到试品之高压端。电阻 R 用来防止试品放电时所发生的电压截波对变压器绕组纵绝缘的损伤,同时它也起着抑制试品闪络时所造成的恢复过电压的作用(见 1.5.2 节)和限制过电流的作用。保护电阻 R 的阻值理由由试验变压器厂供给,它的保守的数值可按 $0.1 \Omega/V$ 选取,但不超过 $100 \text{ k}\Omega$ 。它由金属电阻丝绕成。在环境温度可保证高于 0°C 时,也可以采用水电阻。其长度可按每米 $150 \text{ kV} \sim 200 \text{ kV}$ (有效值)选取。

行业标准对试验变压器绝缘中的局部放电量 Q 的大小有所规定。对铁壳式变压器规定在 0.7 倍额定电压下, $Q \leq 10 \text{ pC}$ 。

1.2 高电压试验变压器的结构型式及主要参数

1.2.1 高电压试验变压器的结构型式

高电压试验变压器大多采用油浸式变压器(空气式—干式变压器现已较少采用),该种变压器有金属壳及绝缘壳两类。

金属壳变压器可分为单套管和双套管两种。单套管变压器的高压绕组一端可与外壳相连,但为了测量上的方便常把此端不直接与外壳相连,而经几千伏的小套管引到外面来再与外壳一起接地,如有必要时可经过仪表再与外壳一起接地,油浸式单套管铁壳试验变压器外形如图 1-2 所示。双套管式的变压器外壳对地绝缘。其中的高压绕组分成匝数相等的两部分,分别绕在铁心的左右两柱上,高压绕组的中点与铁心和外壳相连,低压绕组绕在具有 X 出线端的高压绕组的外面(作为单台变压器应用时,高压绕组的 X 点接地),这样高压绕组与铁心及外壳之间的最大电位差为最高输出电压的一半,即承受 $U/2$ 的电压(U 为高压的输出电压额定值)。由于铁心及外壳也带有 $U/2$ 的电位,所以外壳需用支柱绝缘子对地绝缘起来。图 1-3 为其结构示意图。采用这种结构使高压绕组与铁心、外壳间以及高低压绕组间的电位差降低,绝缘利用比较合理,因此能减小尺寸,减轻重量。

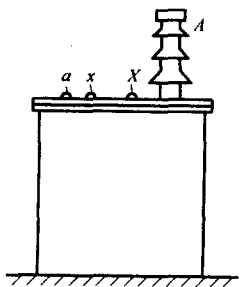


图 1-2 油浸式单套管铁壳试验变压器外形

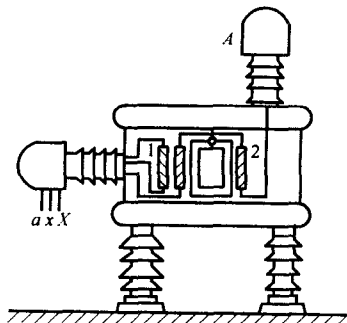


图 1-3 外铁壳需对地绝缘的双套管试验变压器

1——低压绕组; 2——高压绕组

绝缘壳式的高压变压器如图 1-4 所示,它是以绝缘壳(通常为酚醛纸筒、环氧玻璃布筒或瓷套)来作为容器,同时又用它作为外绝缘,以省去引出套管,其铁心与绕组和双套管

金属壳变压器相同,只是铁心的两柱常常是上下排列的(也有左右排列的),铁心需要用绝缘支持起来,使之悬空。高压绕组的高压端 A 与金属上盖连在一起,接地端 X 以及低压绕组的 a, x 两端从底座引出。这种结构体积小,重量轻,优点显著。以酚醛纸筒作外壳的变压器比瓷外壳的重量较轻,不会碰碎,但怕水,易受潮。此种变压器的内部结构见图 1-5 所示。

关于更高电压下所使用的串级变压器的结构,在后面另作叙述。

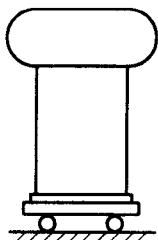


图 1-4 绝缘筒外壳油浸式试验变压器

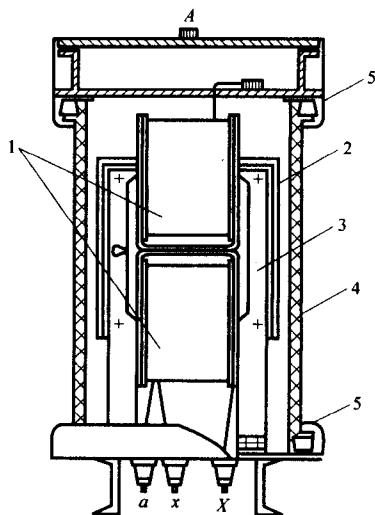


图 1-5 绝缘筒式试验变压器的内部概貌图

- 1——绕组；2——铁心；3——绝缘支架；
4——绝缘筒；5——屏蔽罩

1.2.2 试验变压器的主要参数

试验变压器的主要参数为电压及容量。由于试验变压器的体积和重量随其额定电压值的增加而急剧增加,故单个变压器的电压都限制在 1000 kV 以下,部分国产试验变压器的额定电压和额定容量如表 1-1 和附录 A 中的表 A2 所示。单台式和串级式分别叫做 YD 型和 YDC 型,型号中带 W 者为绝缘筒式。

因为试品大多为电容性的,当知道试品的电容量(参见表 1-2)及所加的试验电压值时,便可计算出试验电流及试验所需的变压器容量:

$$\text{试验电流} \quad I_s = \omega C U \times 10^{-9} \text{ A (有效值)} \quad (1-1)$$

$$\text{所需变压器容量} \quad P_s = \omega C U^2 \times 10^{-9} \text{ kVA} \quad (1-2)$$

式中, U —— 所加的试验电压, kV (有效值);

C —— 试品的电容量, pF;

ω —— 所加电压的角频率。

表 1-1 国产试验变压器的额定电压和额定容量

额定电压/kV	5	10	25	35	50	100	150	250	300	500	750	1000	1500	2250
额定容量/kVA	3	3	3	3	5	10	25	250	300	300	750	1000	750	2250
	5	5	5	5	10	25	50	500	1200	500	1500	2000	1500	9000
	10	10	10	10	25	50	100	1000		1000	3000			
		25	25	25	50	100	150			1500				
			50	50	100	200	300							
				100	200	250								
						400								
						500								

表 1-2 常见的试品电容量

试品名称	电容量/pF
线路绝缘子	<50
高压套管	50~600
高压断路器, 电流互感器, 电磁式电压互感器	100~1000
电容式电压互感器	3000~5000
电力变压器	1000~15000
电力电缆(每米)	150~400

除了一般试品外,有时也有电容量较大的试品。在有试验线路的高压实验室中,往往需要考虑供应较大的电容电流及电晕电流。当然试验线路的电容值与线路的长短有关。架设试验线路的目的之一是研究电晕损耗,为了测量准确起见,线路较长是有利的,但又由于经济上的考虑,有时超高压试验线路选取 500 m 左右。根据运行经验 330 kV 的试验线路,选取 1 A 制的试验变压器是有可能满足试验要求的;而对于 ≥ 500 kV 的试验线路,1 A 制的试验变压器就难以满足要求了。例如,为了研究 750 kV 线路的电晕损耗,需要变压器供给 3 A 左右的电流。

对于特大的电容性试品,如电缆厂中的成卷高压电缆的耐压试验,以及特大容量发电机的耐压试验等,往往要特制试验变压器来适应试验功率的要求,目前常用串联谐振装置(见 1.6 节)来满足试验的要求。此外也正在发展采用低频(2 Hz)和超低频(0.1 Hz)的耐压试验方法。

有时在试验大电容值的试品时,可采用补偿的方法来减小流经变压器高压绕组中的电流。假如在高压侧进行补偿,可和电容性试品并联一电感线圈,如不计负荷中的有效电流分量,则所要求的试验变压器的容量可按下式计算:

$$P_s = \left(\omega C \times 10^{-12} - \frac{1}{\omega L} \right) U^2 \times 10^3 \text{ kVA} \quad (1-3)$$

式中, U ——试验电压值, kV;

C ——试品电容, pF;

L ——补偿线圈电感, H;

ω ——试验电压的角频率。

从上式可看出,采用补偿的方法后可使试验变压器的容量大大减小,不过采用补偿时要考虑到经济和技术两方面因素,首先是高压补偿线圈比较贵,其次采用补偿后可能使输出电压波形畸变。因此在对波形要求较高的试验中,例如在测介质损耗及测电晕损耗时,一般宁愿采用大容量试验变压器而不愿采用补偿法。

试验变压器有时也可碰到电导性负载,例如做绝缘子湿闪试验及污染放电试验,由于沿介质表面的湿放电及污染放电都属于电弧放电过程,如试验电流不够大,不能形成电弧,此试验便将失去意义。而且在容量较小阻抗较大时,试验电流的增加将引起压降的增加,而真正作用在试品上的电压并未增加,在试验时根本无法判断何时发生闪络。试验回路的电压应足够稳定,不致受泄漏电流变化的影响。试品上非破坏性放电不应使试验电压降低过多及维持时间过长,以致明显影响试品上破坏性放电电压的测量值。为了使试验电压实际上不受泄漏电流的影响,当在试验电压下试品短路时,变压器输送的短路电流和电源频率下的泄漏电流相比要足够大,并且应满足下列数值的要求:

(1) 对固体、液体或两者组合绝缘的小样品上的干试验,短路电流约为 0.1 A (有效值)。

(2) 对自恢复外绝缘(绝缘子、隔离开关等)的干试验,短路电流不小于 0.1 A (有效值);对于湿试验短路电流不小于 0.5 A (有效值);对于可能产生大泄漏电流的大尺寸试品的湿试验,短路电流可能需达到 1 A。

(3) 对于人工污秽试验,一般需 15 A 或以上的较大的短路电流值。

为使测量的放电电压不受试品的非破坏性局部放电和预放电的影响,试品及附加电容器的电容量总和应足够大,一般为 0.5 nF~1.0 nF。如果试验变压器的外部保护电阻不超过 10 k Ω ,则可将试验变压器端的有效电容看成与试品相并联。

1.3 串级高压试验变压器

1.3.1 串级变压器的基本原理及几种串级方式

单个变压器的电压超过 500 kV 时,费用随电压的上升而迅速增加,同时在机械结构上和绝缘上都有困难,此外对于运输与安装亦有困难。所以目前单个变压器的额定电压很少超过 750 kV。一般在需要 500 kV~750 kV 以上的电压时,常采用几个变压器串接的方法。几台试验变压器串接的意思,就是使几台变压器绕组的电压相叠加,从而使单台变压器的绝缘结构大为简化。

根据变压器一次侧绕组供电方式之不同,串级变压器可有两种类型的串级方式。

第一种串级方式是把数台相同变压器的高压绕组串接起来,而各台变压器的一次侧绕组,除第一级外,其他都要通过绝缘变压器接到共同的低压电源。图 1-6 是具有 3 个变