

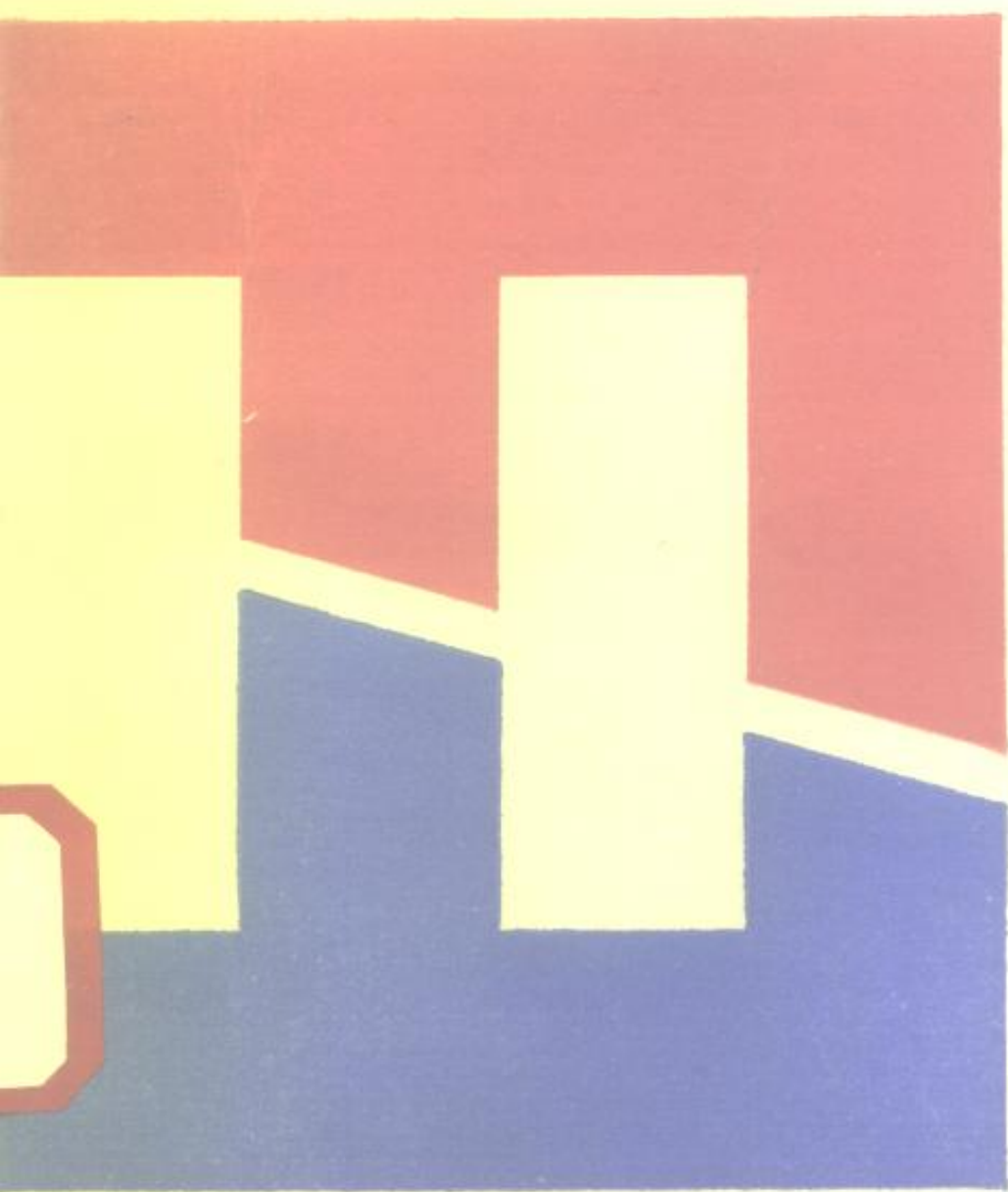
郑景清

郑树人

编著

变压器应用与维修

上海科学技术出版社



变 压 器 应 用 与 维 修

郑景清 郑树人 编著

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书是一本内容丰富、图文并茂,专门介绍变压器的应用与维修的著作。作者根据自己 40 余年来从事变压器技术工作的经验,从变压器的设计一直到应用和维修,都作了详细的全面介绍。

本书共分 10 章,内容包括:概述、变压器的技术参数和铭牌规定、变压器的基本原理和设计计算程序、电力变压器的联结组别与三相电力变压器的运行问题、变压器组件、变压器试验、变压器的安装与维护、变压器故障原因分析及检修、特殊用途变压器及变压器类产品。书末还有大量变压器新产品的有关技术数据,供读者参考。

本书可供从事变压器设计、使用、安装及维修的工程技术人员参考,也可以供有关电机专业的高校师生参考。

责任编辑 郭雨水

变压器应用与维修

郑善清 郑树人 编著

上海科学技术出版社出版、发行

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所经销 上海市印刷三厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 12.125 插页 2 字数 264.000

1993 年 9 月第 1 版 1993 年 9 月第 1 次印刷

印数 1—7.000

ISBN 7-5323-3133-4/TM·73

定价 6.80 元

(沪)新登字108号

代 序

本书主要作者郑景清教授级高级工程师,长期从事变压器设计制造工作,先后担任上海变压器厂副总工程师、全国中小型变压器统一设计行业组组长、《变压器》和《电世界》等杂志编委、中国电工技术学会输配电专业委员会委员、国际电工技术协会会员等职务,并受国家标准局邀请参加我国变压器技术标准的审定工作。他曾为《变压器》和《电世界》杂志撰写专业文章 10 多篇,其学术论文曾多次获得优秀论文奖。

1988 年郑景清同志接受上海科学技术出版社委托编写《变压器应用与维修》一书,其哲嗣郑树人同志子承父业克绍箕裘曾主持吴江开关厂、吴江水利电力设备厂技术工作多年,从事变压器制造及变压器有载调压开关的设计。故此书由其父子合作编写,1989 年间正当《变压器应用与维修》一书初稿接近完成之际,郑景清同志因工厂、社会工作劳累得脑溢血症,虽有好转遵医嘱不能继续脑力劳动工作,郑树人同志因担任厂长后,任务繁忙。由于我与郑景清同志共事多年,相互合作,素来默契。曾合作编写《仪用互感器》一书(1956 年上海科学技术出版社),合写变压器技术文章 10 多篇均获发表。1982 年起我任《电世界》杂志责任编辑,有关变压器专业文章均委郑景清同志审稿,故郑氏父子委托我对全书初稿作润色、整理和补充,使之早日定稿。我于 1990 年退休后,本可悠游山水以尽余年,为使郑景清同志从事 44 年变压器的经验能及早褒以成集,尽快出版,故不揣愚陋力接受这一委托,狗尾续貂亦

所不免。为了提高本书质量,商请《电世界》杂志社总编辑冯维泰同志对全书作最后审校,以使在图形符号全书统一连贯、符合新国标等方面,更能符合出版要求。经一年数月努力,全书已全部定稿,正当付梓有日,不禁有如释重负之感,此亦聊表数十年深交之谊,谨代序如上,此书编写过程中承上海变压器厂钱章福工程师等大力支持,谨代作者表示万分感谢之情。

顾荣保(纪平)谨代序

1992年7月

目 录

第1章 概述	1
1.1 变压器发展的历史情况	2
1.2 变压器的分类和用途	6
1. 电炉变压器	8
2. 整流变压器	8
3. 试验变压器	8
4. 矿用变压器	8
5. 中频变压器	8
6. 船用变压器	8
7. 树脂绝缘干式电力变压器(也称环氧浇注干式变压器) ..	8
8. 其他特种变压器	9
1.3 变压器类产品	9
1. 调压器	9
2. 互感器	10
3. 电抗器	10
1.4 变压器的技术参数和铭牌规定	10
1. 型号	10
2. 额定电压	11
3. 额定容量	12
4. 额定电流	13
5. 额定频率	13
6. 联结组	13
7. 空载电流	13
8. 短路(阻抗)电压	13

9. 效率	14
10. 冷却方式与温升限值	14
11. 重量	14
12. 使用条件	14
13. 分接头和调压方式	14

第2章 变压器的结构16

2.1 铁心	18
1. 铁心形状	18
2. 铁心叠片方式	18
3. 铁心种类	22
2.2 绕组	24
1. 同心式绕组	24
2. 交叠式绕组	29
2.3 油箱	29
1. 散热管油箱	30
2. 带有散热器的油箱	30
3. 平顶油箱	31
4. 瓦楞形油箱(波纹油箱)	32

第3章 变压器的基本原理和设计计算程序35

3.1 变压器的基本原理	35
1. 电磁感应原理	35
2. 磁感应强度	36
3. 磁路和安匝	36
4. 交流电压的相量图和相位	37
5. 基尔霍夫的两条电路定律与在磁路上的应用	39
6. 楞次定律	39
3.2 变压器空载情况的分析	41
1. 变压器空载运行时的物理现象	41

2. 变压器空载运行时的主要参数和性能	43
3. 变压器的空载损耗	45
4. 变压器空载时绕组漏阻抗影响	46
5. 变压器空载情况下的相量图	46
6. 变压器在空载情况下的等值电路	47
3.3 变压器负载运行情况的分析	48
1. 一次电流和一次电势	48
2. 一、二次侧绕组的电流关系	49
3. 二次侧的电势关系	50
4. 折合算法	51
5. 等值电路	53
6. 相量图	55
3.4 变压器各个参数及其测定	55
1. 短路电阻 r_k	55
2. 漏电抗(短路电抗) x_k	56
3. 短路损耗 P_s	56
4. 空载损耗 P_0	57
5. 阻抗电压 U_s	57
6. 变压器的电压变动率(调整率) $\Delta U\%$	57
7. 变压器的效率 η	58
8. 三绕组变压器的参数	58
3.5 变压器的设计计算程序	58
1. 变压器计算程序	59
2. 电气参数确定	59
3. 磁路计算	61
4. 线圈计算	72
5. 变压器主绝缘	77
6. 变压器纵绝缘	78
7. 重量及短路损耗的计算	79
8. 阻抗电压	79

9. 热计算	81
10. 油量计算	83
11. 设计实例	83

第4章 电力变压器的联结组别与三相电力变压器的运行问题

.....	89
4.1 三相电力变压器的铁心和线圈绕向	89
1. 三相变压器的磁路	89
2. 变压器的线圈绕向和极性	91
4.2 三相变压器的联结组别	94
4.3 变压器的运行条件	102
1. 正常使用条件	102
2. 特殊使用条件	103
3. 油浸式电力变压器负载导则	104
4.4 变压器的并联运行	105
1. 变压器并联运行的优点	106
2. 变压器并联运行的条件	106
4.5 变压器的节能	109
1. 变压器容量的选择和经济负载率	109
2. 改进设计和使用低损耗变压器	109
3. 其他几种节能变压器	115
4.6 变压器的分接和调压	118
1. 电压调整的目的和实现	118
2. 无励磁调压及其分接开关	118
3. 有载分接开关调压	119
4.7 变压器超铭牌运行	121
1. 变压器长期超铭牌运行后可能存在的问题	122
2. 负载导则	122
3. 变压器超铭牌运行有关的参数计算公式	123

第 5 章 变压器组件	127
5.1 套管.....	127
5.2 安全保护装置.....	131
1. 安全气道.....	131
2. 压力释放阀.....	132
3. 气体继电器.....	134
5.3 油务处理装置.....	134
1. 加油孔.....	134
2. 放油活门.....	135
3. 油样活门.....	136
4. 油渣塞、放气塞.....	136
5. 蝶形阀门.....	136
6. 油位计.....	137
7. 吸湿器.....	139
8. 净油器.....	139
5.4 测温及温度监控装置.....	142
1. 温度计座.....	143
2. 电接点温度计.....	143
5.5 调压开关.....	144
1. 无励磁调压开关.....	144
2. 有载调压开关.....	150
 第 6 章 变压器试验	 158
6.1 试验类别.....	158
6.2 试验注意要点.....	159
6.3 变压器出厂试验项目.....	160
1. 电压比试验.....	160
2. 绕圈联结组标号的测定.....	161
3. 绕圈直流电阻测定.....	162
4. 绝缘特性测量.....	165

5. 空载试验·····	167
6. 负载试验·····	169
7. 外施高压试验·····	171
8. 感应高压试验·····	173
6.4 变压器型式试验项目·····	174
1. 温升试验·····	174
2. 冲击电压试验·····	178
3. 突发短路试验·····	179
4. 零序阻抗测定·····	181
5. 油箱密封性试验和油箱机械强度试验·····	182
6.5 变压器交接与预防性试验·····	182
1. 投入运行前试验·····	182
2. 运行中的定期试验·····	184
3. 检查变压器出厂时必须附有的技术文件·····	184
第7章 变压器的安装与维护 ·····	185
7.1 变压器的安装·····	185
1. 安装时的注意要点·····	185
2. 安装竣工后的验收·····	187
3. 不能及时安装时的妥善保管措施·····	187
7.2 变压器的防雷措施·····	188
1. 雷击导致变压器烧坏的原因分析·····	188
2. 防雷措施·····	190
7.3 变压器的干燥·····	191
1. 采用热源和设备进行干燥·····	191
2. 采用带负荷干燥·····	195
3. 变压器干燥过程中应注意的问题·····	196
7.4 变压器油·····	198
1. 变压器油的一般分析法·····	198
2. 变压器油保护·····	201

3. 变压器油的气相色谱分析(溶气分析).....	204
7.5 变压器的日常使用维护和检修.....	207
1. 合理使用变压器是保证变压器安全运行的主要因素.....	207
2. 变压器运行中的检查.....	209
3. 变压器的定期维修.....	210
4. 变压器检修方法.....	211

第 8 章 变压器故障原因分析及检修	216
8.1 变压器的常见故障.....	216
8.2 变压器分接开关的故障原因与检查.....	217
1. 分接开关的错位故障.....	217
2. 变压器油位低落.....	218
3. 分接开关接触不良.....	218
4. 带负荷分接开关.....	218
8.3 铁心多点接地故障.....	218
8.4 油浸变压器的燃烧爆炸故障.....	219
1. 造成变压器燃烧的原因和防止.....	219
2. 变压器燃烧事故的防范措施.....	220
8.5 变压器的不吊心检修.....	220
1. 变压器不吊心检查.....	220
2. 故障变压器的检查.....	221
8.6 变压器的吊心检修.....	224
1. 吊心和拆卸步骤.....	224
2. 吊心的注意事项.....	225
3. 组装的步骤与注意事项.....	225
4. 绕组和铁心检修.....	227
8.7 变压器箱体及其他部件的检修.....	229
1. 套管检修和一般检修.....	229
2. 解体检修(以充油套管为例).....	230
3. 油箱和顶盖的检修.....	232

4. 油枕和防爆管的检修.....	233
5. 分接头切换装置的检修.....	233
6. 阀门、油再生装置及空气过滤器的检修.....	234
8.8 变压器检修年限与吊心检修时注意事项.....	234
1. 变压器检修年限.....	234
2. 变压器小修项目.....	235
3. 变压器大修注意事项.....	235
第9章 特殊用途变压器	237
9.1 自耦变压器.....	237
9.2 不燃性变压器和干式变压器.....	239
1. 环氧浇注型干式变压器.....	240
2. 环氧薄型浇注干式变压器.....	243
3. 组合的箱式电站.....	243
4. 充以六氟化硫(SF ₆)的干式密闭式变压器.....	243
9.3 船用变压器.....	244
9.4 矿用变压器.....	246
1. 一般矿用变压器.....	246
2. 防爆型矿用变压器.....	247
3. 矿用隔爆型移动变电站.....	247
9.5 盐浴炉变压器.....	249
9.6 试验变压器.....	250
1. 概述.....	250
2. 试验变压器的结构型式.....	251
9.7 整流变压器.....	254
1. 直流电和整流变压器.....	254
2. 整流变压器的原理和构造.....	255
3. 几种新颖的整流变压器.....	261
4. 整流变压器的发展趋势.....	263
9.8 电炉变压器.....	264

1. 电炉变压器的结构	264
2. 电炉变压器的运行	268
9.9 直降式变压器	271
1. 调压原理	271
2. 直降式整流变压器	273
9.10 中频变压器	274
9.11 电焊变压器	276
1. 磁分路动铁心式电焊变压器	277
2. 动绕组式电焊变压器	283
9.12 防雷电力变压器	284

第10章 变压器类产品 286

10.1 互感器	286
1. 互感器常用技术名词解释	286
2. 互感器型式	289
3. 互感器的基本原理和主要技术参数	290
4. 特种互感器	299
10.2 调压器	308
1. 接触调压器	308
2. 移圈调压器	310
3. 感应调压器	311
10.3 电磁式稳压器	320
1. 稳压器原理	320
2. 几种常用稳压变压器	322
10.4 电抗器	326
1. 直流电抗器	327
2. 交流电抗器	335
3. 交流、直流电抗器采用空心电抗器时其电感值的确定和计算	339
10.5 磁放大器	341

10.6 小型变压器	344
1. 小型单相变压器的计算	344
2. BK、BKC 系列控制变压器	348
3. 脉冲变压器	350
附录一	358
附表 1.1 6、10kV 50Hz 三相双绕组油浸式电力变压器标准技术数据	358
附表 1.2 35kV 50Hz 三相双绕组油浸式电力变压器标准技术数据	360
附表 1.3 63kV 50Hz 三相双绕组油浸式电力变压器标准技术数据	361
附表 1.4 110kV 50Hz 三相双绕组油浸式电力变压器标准技术数据	362
附表 1.5 S7-10kV 及以下系列低损耗电力变压器的主要技术数据	见插页
附表 1.6 S9-10kV 及以下统一设计系列低损耗电力变压器的主要技术数据 (1985 年)	见插页
附表 1.7 SL7-35kV 及以下统一设计系列低损耗电力变压器的主要技术数据 (1982 年)	见插页
附表 1.8 变压器主要绝缘材料的规格和物理性能	364
附表 1.9 变压器绝缘常用浸渍漆、涂料和粘合剂的性能	370
附录二 变压器类产品的主要国家和部颁标准	372

第 1 章 概 述

近年来,随着工农业生产的发展,用电量不断上升。多数国家的电能需用量,大约十年增长一倍。为了把大量的电能更经济合理地传输到用电区,就要通过变电站与输电线路。

在现代的输电方式中,有高压交流输电和高压直流输电两种。因交流输电具有变压器升降电压比较方便、系统联络容易等优点,故大部分输电线路,都采用三相交流输电。

在传输功率恒定时,传输电压越高,则所需电流越小。电压降正比于电流,线损正比于电流的平方。所以用较高的输电电压可以获得较低的线路压降和线路损耗。现行的发电机额定电压为 $15\sim 20\text{kV}$, 不符合远距离送电的要求。所以要通过变压器,将发电机发出的电,从 15kV 或 20kV 升到 35kV 乃至 110kV 或更高。输送的功率越大,距离越远,则输电线路输送的电压应越高。目前世界各国的输电电压朝着高压 $110\sim 220\text{kV}$ 、超高压 $330\sim 750\text{kV}$ 和特高压 750kV 以上的方向发展。

另一方面,在受电端又不能直接使用这样高的电压,于是又需用变压器进行降压。如果输出端升压两次,那末受电端也要降压两次。由此可见,变压器的需要容量约为发电机容量的 4 倍。事实上变压器的需要容量还得考虑使用端的装机容量及设备更新,故变压器的需要容量远远大于 4 倍。这个倍数各国情况不同,采用的数据也不尽一致。

近年来全世界发电量增长突飞猛进,我国七五计划期间

年发电量接近增长 1000 万 kW, 则变压器年需求容量需达 8000 万 kVA 至 1 亿 kVA, 其中输配电用电力变压器约占 55%, 配电变压器约占 45%。随着工业的发展, 发电容量的逐步增长, 变压器仍有着很大的市场潜力。

1.1 变压器发展的历史情况

公元前 600 年左右, 希腊人早就有了摩擦生电的认识。公元前 270 年, 我国古代发现了磁的现象。四大发明之一的指南针即是磁现象的产物。以后, 公元 1600 年, 英国的吉尔伯特开始研究磁和电的现象。由于当时都是孤立地认识磁和电的现象, 故未得到相互联系与相互转换的认识。

1819 年, 丹麦物理学家奥斯特发现了磁和电之间的联系。他发现导线中如有电流通过, 则附近放置的磁针有偏转现象, 即电能可以转变为磁能的原理。1820 年比奥、沙瓦两人也发现了这一现象, 从而证明了奥斯特的发现。同年, 法国人安培推想, 磁铁所以有吸力, 是因磁铁内环绕着分子电流的缘故。安培认为磁能也是由电能产生的。从此人们确认电能可以转变为磁能。

1831 年法国人法拉第做了实验, 当磁铁对线圈、导线相对运动时可以产生电流, 发现了磁能可以转变为电能的电磁感应原理。至 1838 年俄国人楞次发现了决定感应电流的规律, 并于 1839 年用实验予以证明。电磁感应原理和电能磁能相互转化的原理是电机学理论的依据, 也即是变压器和发电机、电动机原理的依据。

之后, 1876 年俄国雅勃洛契柯夫用电磁线圈做成了一台变压器, 并首次把变压后的低压交流电供给照明的“电烛”。