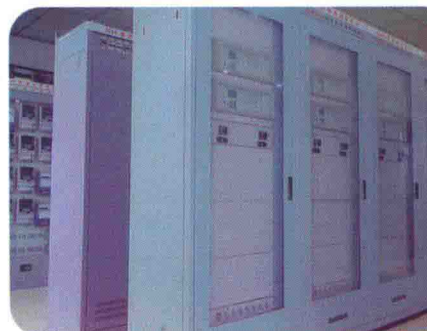


10/0.4kV 配电

实用技术培训教程

10/0.4kV PEIDIAN SHIYONG JISHU PEIXUN JIAOCHENG

狄富清 狄晓渊 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

10/0.4kV 配电实用 技术培训教程

狄富清 狄晓渊 编著



机械工业出版社

本书是作者根据自己多年对电力公司职工、社会电工的培训及从事10/0.4kV 配电技术工作的经验而写成的。本书共分为14章,内容包括电工常用电气计算、配电变压器、低压电器、高压电器、低压成套配电装置、高压成套配电装置、箱式变电站、母线装置、无功功率补偿装置、电力线路、电力测量仪表与电能计量装置、二次回路、微机保护装置、防雷与接地装置。本书不仅详细介绍了电气设备的结构原理、选择及安装、运行维护、操作技能、异常故障的检查处理,而且列出其大量的技术参数。同时,书中还列举了大量实用例题。

本书可作为10/0.4kV 配电实用技术电工培训教材,也可作为职业技术学校的教科书。同时适用于广大农民工的培训,对提高其电工技能将有极大帮助。

图书在版编目(CIP)数据

10/0.4kV 配电实用技术培训教程/狄富清,狄晓渊
编著. —北京:机械工业出版社,2013.4
ISBN 978-7-111-41960-0

I. ①狄… II. ①狄…②狄… III. ①配电系统-技术培训-教材 IV. ①TM727

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第061206号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:付承桂 责任编辑:任鑫

版式设计:霍永明 责任校对:李锦莉 刘秀丽

封面设计:赵颖喆 责任印制:张楠

北京京丰印刷厂印刷

2013年6月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·32.25印张·799千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-41960-0

定价:88.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着国家经济平稳快速发展、城乡经济技术开发区的大量建设、人民生活水平的日益提高、城乡居民住宅小区建设规模不断扩大,为此,必须加速建设与改造 10/0.4kV 城乡配电网。

由于处在知识经济的年代,10/0.4kV 配网综合自动化程度日益提高,配电设备不断更新,技术更加先进,10/0.4kV 配电运行管理技术已经发生了深刻变化。非晶合金节能型配电变压器、干式变压器、箱式变电站、真空断路器、六氟化硫(SF_6)断路器、智能化低压断路器、多功能电能表、架空绝缘电缆线路等新设备新技术已被广泛应用。10/0.4kV 配电所全面采用微机保护监控装置,实现了电气设备的保护、遥控、遥测、遥信、遥调综合自动化技术管理。由此,广大电工必须学会使用新设备,掌握新技术,不断提高对 10/0.4kV 配电所电气设备及电力线路的现场运行维护管理水平,提高现场实际操作技能,提高对现场电气设备发生的各种异常故障及事故处理的综合能力。为此,我们特意编写了本书,以供从事于 10/0.4kV 配电网建设与运行管理工作的广大电工作为培训教材和日常工作中的参考用书。同时也可作为中等职业技术学校的电工专业技术教材。对广大农民工进城,从事 10/0.4kV 电气设备的安装作业者,本书也可作为参考用书。

本书技术先进、内容丰富、资料翔实、图文并茂。全书共分为 14 章,重点介绍电工常用电气计算、配电变压器、箱式变电站、高低压电器设备及成套配电装置,二次回路、微机保护装置、电能计量及电力线路等内容。将 10/0.4kV 电工常用计算、电气设备的基本结构、动作原理、安装工艺、线路架设、运行管理、倒闸操作、事故处理等内容,与其相关的实用技术参数紧密结合,融于全书,便于读者学习使用。此外,本书还详细介绍了 10/0.4kV 短路电流的含义及计算,微机保护装置动作电流的整定计算,并列举了大量实用例题。

本书在编写过程中,参考了许多作者的相关文献,得到机械工业出版社电工电子分社牛新国社长的大力支持,付承桂和任鑫两位编辑也提出了许多宝贵的修改意见,在此,一并表示深深谢意!

由于作者经验和水平有限,书中难免出现错误和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

作 者

2012 年 12 月 23 日

目 录

前言	
第一章 电工常用电气计算	1
第一节 直流电路	1
一、欧姆定律	1
二、串联电路	1
三、并联电路	1
四、电功率与电能	2
第二节 单相交流电路	2
一、瞬时值和最大值	2
二、周期、频率与角频率	3
三、正弦交流电的有效值	3
四、交流电的电阻、电感、电容的计算	3
五、交流电路的功率和功率因数	5
第三节 三相交流电路	5
一、三相对称交流电动势表示方法	5
二、三相电路的联结	6
三、三相交流电路的功率及功率因数	7
第四节 短路电流的含义及计算原则	8
一、短路电流的含义	8
二、短路电流计算的一般原则	8
第五节 短路回路各元件阻抗的计算	9
一、10kV 系统电抗的计算	9
二、配电变压器阻抗的计算	9
三、配电变压器零序阻抗的计算	11
四、导线、电缆阻抗的计算	13
五、母线阻抗的计算	16
六、低压断路器及刀开关的阻抗值	16
第六节 10kV 配电系统短路电流的计算	17
一、基准值的计算	17
二、标幺值的计算	17
三、10kV 配电系统电抗标幺值的计算	18
四、配电变压器阻抗标幺值的计算	18
五、电力线路阻抗标幺值的计算	19
六、短路电流的计算	19
第七节 短路电流计算实例	20
第八节 低压短路电流的计算	23
一、短路电流有效值的计算	23
二、短路冲击电流的计算	23
三、短路电流最大有效值的计算	24
四、短路容量的计算	24
第九节 电气设备的校验	27
一、短路动稳定校验	27
二、短路热稳定校验	28
三、短路容量校验	28
第二章 配电变压器	29
第一节 配电变压器的工作原理	29
一、概述	29
二、工作原理	29
第二节 配电变压器结构	30
一、配电变压器的外形结构	30
二、油箱及冷却装置	30
三、变压器的器身	31
四、保护装置	32
五、调压装置	33
六、出线装置	33
第三节 配电变压器铭牌及技术参数	33
第四节 油浸式配电变压器	37
一、SBH11-M 型配电变压器	37
二、SBH16-M 型配电变压器	38
第五节 干式配电变压器	38
一、概述	38
二、干式配电变压器的分类	38
三、SCBH10 型干式配电变压器	39
四、SCB9-Z 型干式有载调压配电变压器	40
第六节 变压器的温度控制	42
一、油浸式变压器的温度控制	42
二、干式变压器的温度控制	43
第七节 配电变压器的室内安装	45
一、配电变压器安装位置的选定	45

二、配电变压器室的最小尺寸	45	十、配电变压器跳闸后的检查及 处理	82
三、变压器室的高度与基础	46	十一、配电变压器的应急停运	83
四、变压器的验收检查	47	十二、配电变压器的着火处理	83
五、变压器安装的基本要求	47	十三、判断配电变压器故障的试验 项目	83
六、油浸式配电变压器的安装	50	第十四节 配电变压器的检修	84
七、干式配电变压器的安装	52	一、检修周期	84
八、配电室电气进出线的安装	60	二、变压器小修项目	84
第八节 配电变压器杆塔式安装	67	三、变压器大修项目	85
一、杆塔式安装的基本要求	67	四、竣工验收项目	85
二、S11-100/10 型配电变压器的 安装	68	第十五节 配电变压器的电气试验	86
三、S11-320/10 型配电变压器的 安装	69	一、配电变压器的电气试验项目	86
第九节 配电变压器台墩式安装	71	二、配电变压器的常规电气试验 方法	86
第十节 配电变压器落地式安装	73	第三章 低压电器	89
第十一节 配电变压器并联运行	73	第一节 刀开关	89
一、概述	73	一、概述	89
二、并联运行的条件	73	二、技术参数	89
三、并联运行前的试验	73	三、刀开关的安装	90
四、并联运行负荷分担计算	74	四、刀开关的运行与维护	91
第十二节 配电变压器的运行维护	75	五、刀开关的常见故障及处理方法	92
一、新安装或大修后的配电变压器 投运前的检查验收	75	第二节 智能化断路器的特点及功能	92
二、配电变压器的正常巡视检查	76	一、智能化断路器的特点	92
三、配电变压器的特殊巡视检查	76	二、智能控制器的基本功能	93
四、干式配电变压器的运行检查	77	第三节 DW15 系列万能式断路器	93
五、配电变压器过负荷运行	77	一、概述	93
第十三节 配电变压器异常故障处理	78	二、技术参数	94
一、配电变压器出现强烈而不均匀 的噪声且振动很大时的处理	78	三、结构原理	94
二、配电变压器过热时的处理	78	第四节 Emax 系列智能化断路器	97
三、配电变压器油位异常的原因及 处理	79	一、概述	97
四、配电变压器油温升高的检查及 处理	79	二、技术参数	99
五、配电变压器过负荷处理	80	三、Emax 系列断路器的安装	102
六、配电变压器气体继电器报警 原因及处理	80	四、Emax 系列断路器电子脱扣器的 使用	107
七、配电变压器气体继电器动作 原因及处理	80	第五节 Tmax 系列塑料外壳式断路器	113
八、压力释放阀动作后的检查及 处理	81	一、概述	113
九、冷却装置的故障处理	82	二、技术参数	114
		三、PR222DS/PD 电子脱扣器	114
		四、电气控制接线	118
		五、外形结构及安装尺寸	118
		第六节 低压电器的选择	123
		一、低压电器选择的一般原则	123

二、低压断路器的选择	124	二、真空断路器的结构	155
三、低压熔断器的选择	125	三、真空灭弧室的结构及工作原理	155
第七节 低压断路器的运行维护及 故障处理	127	四、技术参数	157
一、低压断路器的运行维护	127	五、电气控制接线	159
二、低压断路器的常见故障及处理	128	第五节 LN2-10 型 SF ₆ 断路器	165
第八节 交流接触器	131	一、SF ₆ 断路器的特点	165
一、概述	131	二、技术参数	165
二、A 系列交流接触器	131	三、LN2-10 型 SF ₆ 断路器的结构	166
三、B 系列交流接触器	132	第六节 隔离开关操动机构	166
四、交流接触器的安装	134	一、CS9-G 型手力操动机构	166
五、交流接触器的运行维护	135	二、CJ2-XG 型电动操动机构	168
六、交流接触器的常见故障及处理 方法	136	第七节 断路器操动机构	171
第九节 剩余电流保护器	137	一、CD10 型电磁操动机构	171
一、概述	137	二、CT 系列弹簧储能操动机构	173
二、技术参数	138	第八节 隔离开关的运行维护	178
三、剩余电流保护器的安装	138	一、隔离开关的操作	178
四、剩余电流保护器的运行维护	140	二、隔离开关的巡视检查	178
第十节 低压熔断器	140	三、隔离开关的常见故障及处理	179
一、概述	140	第九节 真空断路器的运行维护及 故障处理	180
二、技术参数	140	一、真空断路器正常运行时的检查	180
三、熔断器的安装	140	二、真空断路器异常运行时的检查	180
四、熔断器的运行维护	142	三、真空断路器的运行维护	181
五、熔断器的常见故障及处理	142	四、真空断路器的故障处理	185
第四章 高压电器	144	第十节 SF ₆ 断路器的运行维护及 故障处理	186
第一节 隔离开关	144	一、SF ₆ 断路器运行中的检查和 维护	186
一、概述	144	二、SF ₆ 断路器的故障处理	187
二、GN22-10 型户内隔离开关	144	三、断路器自动分合闸故障的检查 与处理	188
三、GW1-12 型户外隔离开关	145	四、断路器拒绝分合闸故障的检查 与处理	189
第二节 负荷开关	147	第十一节 操动机构的运行维护及 异常故障处理	189
一、FN16-12 系列负荷开关	147	一、操动机构的检查	189
二、SF ₆ 型 SF ₆ 负荷开关	148	二、操动机构的运行维护	190
三、LK-LBS 型负荷开关	149	三、操动机构的异常故障处理	191
四、LK-GLBS 型负荷开关	150	第十二节 电气设备倒闸操作	191
第三节 RL27 型 SF ₆ 柱上负荷开关	151	一、倒闸操作设备状态	191
一、概述	151	二、电气设备运行状态之间倒换 典型操作	193
二、技术参数	151	三、倒闸操作术语	194
三、主要特点	152		
四、主要功能	152		
五、外形结构及安装尺寸	154		
第四节 真空断路器	155		
一、概述	155		

四、倒闸操作的一般规定	194	七、电气主接线	235
五、倒闸操作的分类	195	第四节 10kV 开关柜的安装及调试	237
六、倒闸操作的基本要求	195	一、室内、外配电装置的最小电气安全净距	
七、倒闸操作的基本原则	196	二、安装及调试的基本原则	237
八、倒闸操作的基本步骤	196	三、10kV 开关柜的安装尺寸及设备材料	238
九、倒闸操作票的填写方法和填写项目	198	四、10kV 开关柜的安装基础	246
十、倒闸操作举例	199	五、10kV 开关柜的安装注意事项	248
第五章 低压成套配电装置	201	六、验收试验项目	249
第一节 配电柜的型号选择	201	第五节 开关柜的运行操作	249
一、概述	201	一、开关柜的操作原则	249
二、GGD 型低压固定式开关柜	201	二、开关柜的机械联锁操作	249
三、GBD 型低压固定分隔式开关柜	201	三、开关柜的具体操作程序	250
四、MNS 型低压抽出式开关柜	202	四、开关柜操作注意事项	251
五、GCK 型低压抽出式开关柜	203	第六节 开关柜的运行维护	251
六、GCS 型低压抽出式开关柜	203	一、开关柜运行巡视和投运前检查	251
第二节 低压配电柜的安装	204	二、维护与检修	253
一、安装尺寸	204	三、开关柜的常见故障及其排除方法	253
二、安装前的准备工作	210	第七章 箱式变电站	255
三、安装工艺要求	211	第一节 ZGSBH16 型组合式变电站	255
四、安装后的检查与验收	212	一、概述	255
第三节 低压配电装置的运行维护	213	二、技术参数	255
一、低压配电装置的送电及试运行	213	三、电气主接线	256
二、低压配电装置运行的一般要求	213	四、外形结构及安装尺寸	257
三、低压配电装置的巡视检查	214	第二节 YB 型预装式变电站	261
四、低压配电系统异常运行和故障缺陷的处理方法	215	一、概述	261
第六章 高压成套配电装置	217	二、技术参数	261
第一节 XGN15-12 型开关柜	217	三、电气主接线	263
一、概述	217	四、外形结构及安装尺寸	263
二、技术参数	217	第三节 箱式变电站的运行维护	265
第二节 KYN28-12 系列开关柜	218	一、投运前的检查	265
一、概述	218	二、投运操作步骤	265
二、技术参数	219	三、箱式变电站的维护与检修	265
三、开关柜结构	221	第八章 母线装置	267
四、电气主接线	224	第一节 母线的选择	267
第三节 Safe 系列开关柜	226	一、母线材料的选择	267
一、概述	226	二、母线截面积的选择	267
二、主要特点	227	第二节 矩形母线的安装	271
三、技术参数	228	一、室内配电装置的安全净距	271
四、外形结构	230	二、母线颜色及相序排列	272
五、遥控、遥测及遥信单元功能	230	三、母线的加工	273
六、变压器及线路继电保护	233		

四、矩形母线的安装	276	第十章 电力线路	304
五、低压成套开关柜母线的安装	277	第一节 导线和电缆的选择	304
六、母线槽的安装	280	一、按发热条件选择导线和电缆的 截面积	304
七、母线的验收和电气测试	284	二、按经济电流密度选择导线的截 面积	305
第三节 母线的运行维护	284	三、按允许电压损失选择导线和电 缆的截面积	306
一、母线的正常运行	284	四、按机械强度选择导线的最小允 许截面积	310
二、母线的巡视检查	285	五、电缆额定电压的选择	310
三、母线的故障处理	285	第二节 架空绝缘电缆	311
四、母线的检修项目	286	一、概述	311
第九章 无功功率补偿装置	287	二、使用特性	311
第一节 无功补偿的作用及基本原则	287	三、电缆型号规格	311
一、无功补偿的作用	287	四、技术参数	312
二、无功补偿的基本原则	287	第三节 交联聚乙烯绝缘电缆	315
第二节 无功功率补偿计算	287	一、概述	315
一、电容值计算	287	二、电缆的型号及使用范围	315
二、电容器额定电流计算	288	三、技术参数	316
三、电容器额定容量计算	289	第四节 架空线路的施工	321
四、按配电变压器的额定容量计算 无功功率补偿容量	291	一、杆位复测	321
五、按提高功率因数计算无功功率补 偿容量	291	二、挖坑	321
六、按每千瓦有功负荷计算无功功率 补偿容量	291	三、排杆	322
七、补偿电容器台数计算	292	四、组杆	322
八、补偿后增加的有功功率计算	293	五、立杆	322
九、电动机补偿容量的计算	293	六、拉线及其安装	322
第三节 RVT 功率因数控制器	294	七、放线	324
一、主要特点	294	八、紧线	324
二、主要功能	295	九、导线在绝缘子上的固定	324
三、菜单浏览	296	十、导线的连接	325
四、RVT 的调试	296	第五节 架空绝缘线路的施工	326
第四节 电容器的安装	296	一、架空绝缘线路架设的一般原则	326
一、电容器安装的基本要求	296	二、架空绝缘导线配电变压器的 安装	327
二、WGK-31 系列无功功率补偿装置 的安装接线	297	三、10kV 架空绝缘线路的安装	328
三、RVT 型无功功率补偿装置的安装 接线	300	四、0.4kV 架空绝缘线路的安装	330
第五节 电容器的运行维护	300	第六节 电缆的敷设	332
一、新装电容器组投入运行前的 检查	300	一、电缆的敷设方式	332
二、电容器组的运行操作	300	二、电缆敷设的一般要求	333
三、电容器的巡视检查	301	三、电缆沟的施工	334
四、电容器异常故障处理	301	四、塑料电缆中间接头的制作	335
		五、热缩型电缆中间接头的制作	337

六、热缩型电缆终端头的制作	338	二、电能表的安装工艺	370
七、冷缩型交联电缆头的制作	339	第八节 电能计量装置的接线检查	375
第七节 架空线路运行维护	339	一、单相电能表的接线检查	375
一、架空线路的巡视检查	339	二、三相电能表的接线检查	376
二、架空线路的运行维护	339	三、电能计量装置的断线检查	378
三、架空线路运行维护时注意事项	340	四、互感器极性接反检查	380
四、线路故障处理	340	五、电能表准确度的现场测试	383
第八节 电缆的运行维护与试验	341	第九节 电能计量装置的运行维护	383
一、电缆的运行	341	一、电能表的电量抄录与使用	383
二、电缆的维护	341	二、电能表的常见故障与处理	388
三、电缆的故障处理	342	第十节 电能电费的计算	389
四、电缆试验	342	一、电能电费的计算原则	389
第十一章 电力测量仪表与电能		二、线损率的计算	390
计量装置	344	三、线路电能损耗的计算	390
第一节 电力测量仪表	344	四、配电变压器电能损耗的计算	390
一、电力测量仪表的选择	344	五、功率因数考核电费调整的计算	392
二、安装接线	344	六、追补电能的计算	395
第二节 电能计量原理	346	第十二章 二次回路	397
一、单相有功电能表	346	第一节 二次回路的含义及分类	397
二、三相三线有功电能表	346	一、二次回路的含义	397
三、三相四线有功电能表	347	二、二次回路的分类	397
四、无功电能表	347	第二节 断路器控制回路	398
五、电能表的电能计量	349	一、LW2 控制开关	398
第三节 电能表的选择	349	二、电磁操动机构断路器的控制	
一、电能表的选择原则	349	回路	398
二、单相电能表	349	三、弹簧操动机构断路器的控制	
三、三相电能表	350	回路	401
第四节 电流互感器	354	第三节 信号回路	402
一、电流互感器的结构原理	354	一、断路器位置及状态指示信号	402
二、电流互感器的选择	355	二、事故信号	402
三、电流互感器的安装	356	三、预告信号	403
四、电流互感器的运行维护	358	四、闪光信号装置	404
第五节 电压互感器	359	五、微机监控保护装置的信号功能	405
一、电压互感器的结构原理	359	第四节 直流回路	406
二、电压互感器的选择	359	一、蓄电池组直流操作电源	406
三、电压互感器的安装	360	二、硅整流电容储能直流系统	407
四、电压互感器的运行维护	362	第五节 直流系统的绝缘检测	408
第六节 电能计量装置的配置	363	一、概述	408
一、电能计量装置的配置原则	363	二、直流绝缘检测原理	408
二、电能计量装置的配置	363	三、由继电器构成的绝缘检测装置	408
三、电力负荷管理终端	364	第六节 二次回路的安装接线	409
第七节 电能计量装置的安装	366	一、安装接线的基本要求	409
一、电能计量与控制二次回路	366	二、屏背面的展开图	410

三、二次设备在安装接线图上的表示方法	411	一、概述	442
四、安装接线图中的标号	411	二、主要保护功能	442
五、接线端子	412	三、主要测控功能	443
六、“相对编号法”在安装接线图上的应用	415	四、技术参数	443
第七节 二次回路的故障处理	417	五、保护测控功能原理	443
一、二次设备的常见故障	417	六、安装接线	445
二、二次回路的一般故障处理原则	417	七、装置定值整定	447
三、二次回路查找故障的一般步骤	418	第七节 RCS-9621A 型配电变压器保护测控装置	450
四、二次交流电压回路断线	418	一、概述	450
五、直流系统接地处理	418	二、主要保护功能	450
第十三章 微机保护装置	421	三、主要测控功能	451
第一节 微机保护在配电网中的应用	421	四、技术参数	451
一、微机保护监控装置的优点	421	五、保护测控功能原理	451
二、微机保护监控系统的原理	421	六、安装接线	454
三、微机监控系统的功能	421	七、装置定值整定	457
四、利用微处理器改进配电所的测量和信号系统	423	第八节 RCS-9000 保护测控装置的操作	460
第二节 配电所电气设备继电保护装置	424	一、液晶显示	460
的配置	424	二、命令菜单	460
一、配电变压器继电保护的类型	424	第九节 DMR201P/301P 型微机保护装置	465
二、配电所电气设备微机保护的配置	426	一、主要特点	465
三、10kV 配电线路的保护	429	二、主要功能	465
第三节 10kV 配电线路继电保护整定计算	430	三、技术参数	466
一、无时限电流速断保护	430	四、安装接线	467
二、带时限电流速断保护	430	第十节 零序电流保护	471
三、过电流保护	431	一、10kV 线路零序电流保护	471
第四节 配电变压器继电保护整定计算	434	二、0.4kV 低压线路零序电流保护	475
一、电流速断保护	434	第十一节 备用电源自投装置	481
二、过电流保护	435	一、NSP-642 型数字式备用电源自投装置	481
三、过负荷保护	435	二、DPT/TE 双电源自动切换装置	483
四、零序电流保护	436	第十二节 微机保护的运行维护	485
五、温度保护	436	一、投运前的注意事项	485
第五节 智能化配电元件 (IPD)	438	二、装置操作	485
一、概述	438	三、运行后的注意事项	486
二、人机界面 (HMI)	439	四、运行维护时的注意事项	486
三、RTU 监测与控制	439	五、保护测控装置异常故障处理	486
第六节 RCS-9612A II 型微机线路保护测控装置	442	第十四章 防雷与接地装置	488
		第一节 防雷装置	488
		一、防直击雷装置	488
		二、防感应雷装置	489

第二节 接地装置	490	七、测定接地电阻值	496
一、接地的种类	490	第三节 防雷接地装置的运行维护	500
二、接地电阻	491	一、防雷装置的运行维护	500
三、接地体与保护接地线	492	二、接地装置的安全要求	500
四、接地电阻的计算	493	三、接地装置的运行维护	501
五、接地装置的安装	494	参考文献	503
六、土壤电阻率的测量	495		

第一章 电工常用电气计算

第一节 直流电路

一、欧姆定律

在恒定电流的电路中，用欧姆定律表示电流、电压、电阻三者的关系，电路中的电流与电压成正比，与电阻成反比。图 1-1 所示的电流、电压、电阻之间关系可用式 (1-1) 表示。

$$\left. \begin{aligned} I &= \frac{U}{R} \\ U &= IR \\ R &= \frac{U}{I} \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

式中， I 为电流，单位为 A； U 为电压，单位为 V； R 为电阻，单位为 Ω 。

二、串联电路

电阻串联电路如图 1-2 所示。串联电路中电压、电流、电阻之间关系见式 (1-2)。

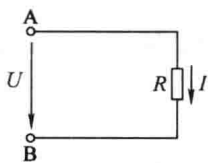


图 1-1 欧姆定律

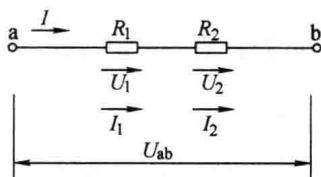


图 1-2 串联电路

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= I_1 R_1 \\ U_2 &= I_2 R_2 \\ U_{ab} &= U_1 + U_2 \\ I &= I_1 = I_2 \\ R_{ab} &= R_1 + R_2 \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

式中， R_1 、 R_2 为电阻，单位为 Ω ； R_{ab} 为串联电路的总电阻，单位为 Ω ； I_1 、 I_2 为通过电阻 R_1 、 R_2 的电流，单位为 A； I 为通过串联电路的电流，单位为 A； U_1 、 U_2 为电阻 R_1 、 R_2 上的电压，单位为 V； U_{ab} 为串联电路电源总电压，单位为 V。

三、并联电路

电阻并联电路如图 1-3 所示。并联电路中，电压、电流、电阻之间关系见式 (1-3)。

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= I_1 R_1 \\ U_2 &= I_2 R_2 \\ U_{ab} &= U_1 = U_2 \\ I &= I_1 + I_2 \\ \frac{1}{R_{ab}} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

式中, R_{ab} 为并联电路的总电阻, 单位为 Ω ; U_{ab} 为并联电路电源总电压, 单位为 V。

其余符号含义同式 (1-2)。

四、电功率与电能

1. 电功率

电流在单位时间内所做的功称作电功率, 用符号 P 表示, 单位为瓦 [特] (W)。用公式表示为

$$P = UI \quad (1-4)$$

式中, P 为电功率, 单位为 W; U 为负荷 (也称为负载) 端电压, 单位为 V; I 为负荷电流, 单位为 A。

实际工作中, 电功率的常用单位除了瓦 [特] 外, 还有千瓦 (kW)、兆瓦 (MW), 其换算关系为

$$1\text{kW} = 10^3\text{W}, \quad 1\text{MW} = 10^3\text{kW}$$

电阻 R 消耗的功率

$$P = UI = U \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R} = I^2 R \quad (1-5)$$

由上式可知, 当 I 一定时, 电功率 P 和电阻 R 成正比; 当电压 U 一定时, 电功率 P 和电阻 R 成反比。

2. 电能

电流在一段时间 t 内, 电路消耗 (或电源提供) 的电功率 P 称为该电路的电能, 符号用 W 表示。

$$W = Pt \quad (1-6)$$

式中, W 为电能, 单位为 $\text{W} \cdot \text{h}$ 或 $\text{kW} \cdot \text{h}$; t 为时间, 单位为 h。

以 1kW 的电功率使用 1 小时 (h), 电能单位为千瓦小时; 即俗称 1 度电 = $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

由式 (1-6) 可得

$$P = \frac{W}{t} \quad (1-7)$$

在实际运算中, 有时会遇到下列非法定单位的换算:

$$1\text{hp (英马力)} = 736\text{W} = 0.736\text{kW}$$

第二节 单相交流电路

一、瞬时值和最大值

单相交流电的电压、电流、电动势等的大小和方向均是按正弦波形状周期性地变化的。

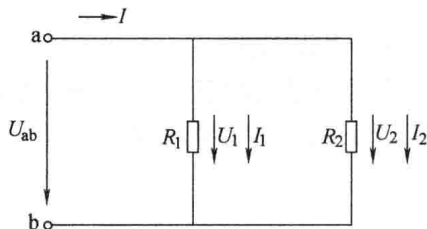


图 1-3 并联电路

交流电在某一时刻的大小值,称为交流电的瞬时值。瞬时值一般用小写字母 e 、 u 、 i 来表示。

最大的瞬时值称为最大值,最大值也称为振幅或峰值。最大值常用符号 E_m 、 U_m 、 I_m 表示。

二、周期、频率与角频率

交流电每循环一次所需要的时间叫周期。周期用符号 T 来表示,单位是秒 (s)。

频率是指 1s 内交流电重复变化的次数,用字母 f 表示,单位是赫 [兹] (Hz)。周期和频率互为倒数,即

$$f = \frac{1}{T} \quad (1-8)$$

在 $e = E_m \sin \omega t$ 这个式子中, ω 通常称为角频率,单位是弧度/秒 (rad/s) 交流电变化一个周期 T ,其角度 $\omega T = 2\pi$,因此角频率与周期的关系为

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (1-9)$$

三、正弦交流电的有效值

一个交流电通过一个电阻在一个周期时间内所产生的热量和某一直流电通过同一电阻在相同的时间内产生的热量相等,这个直流电的量值就称为交流电的有效值。电工仪表测量到的数值为交流电的有效值。

正弦交流电的有效值等于交流电的电流、电压、电动势最大值 I_m 、 U_m 、 E_m 的 $1/\sqrt{2}$,即

$$\left. \begin{aligned} I &= \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m \text{ 或 } I_m = \sqrt{2} I \\ U &= \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707 U_m \text{ 或 } U_m = \sqrt{2} U \\ E &= \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0.707 E_m \text{ 或 } E_m = \sqrt{2} E \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

四、交流电的电阻、电感、电容的计算

单相交流电路电气元件连接如图 1-4 所示。

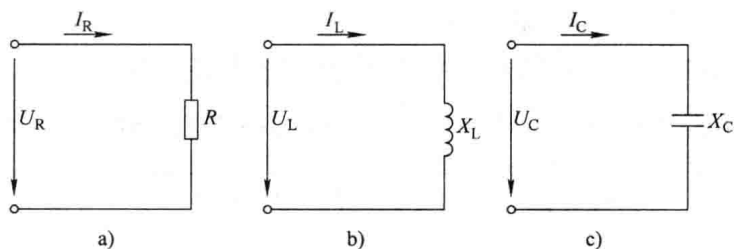


图 1-4 单相交流电路

a) 电阻电路 b) 电感电路 c) 电容电路

1. 电阻电路

单相交流电的电阻电路按式 (1-11) 计算,即

$$\left. \begin{aligned} U_R &= IR \\ I_R &= \frac{U_R}{R} \\ R &= \frac{U_R}{I_R} \end{aligned} \right\} \quad (1-11)$$

式中, U_R 为电源电压, 单位为 V; I_R 为电阻电流, 单位为 A; R 为电阻元件电阻, 单位为 Ω 。

2. 电感电路

单相交流电的电感电路按式 (1-12) 计算, 即

$$\left. \begin{aligned} X_L &= \omega L = 2\pi fL \\ U_L &= I_L X_L = I_L \omega L \\ I_L &= \frac{U_L}{X_L} = \frac{U_L}{2\pi fL} \end{aligned} \right\} \quad (1-12)$$

式中, X_L 为电抗, 单位为 Ω ; ω 为角频率, 为 $2\pi f$; f 为频率, 50Hz; L 为线圈电感, 单位为 H; I_L 为通过电感元件的电流, 单位为 A; U_L 为电感元件的电压, 单位为 V。

3. 电容电路

单相交流电的电容电路按式 (1-13) 计算, 即

$$\left. \begin{aligned} X_C &= \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} \\ U_C &= I_C X_C = I_C \frac{1}{2\pi fC} \\ I_C &= \frac{U_C}{X_C} = 2\pi fC U_C \end{aligned} \right\} \quad (1-13)$$

式中, X_C 为容抗, 单位为 Ω ; ω 为角频率; f 为频率, 50Hz; C 为电容量, 单位为 F, $1F = 10^6 \mu F$; I_C 为电容电流, 单位为 A; U_C 为电容电压, 单位为 V。

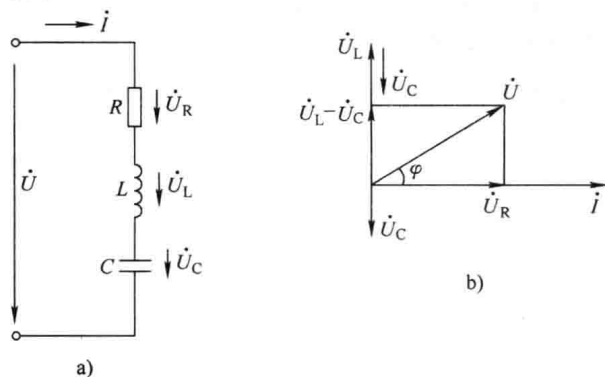


图 1-5 电阻、电感、电容串联电路

a) 电路 b) 相量图

4. 电阻、电感、电容串联电路

电阻、电感、电容串联电路如图 1-5 所示。

由于 $\dot{U}_L$ 与 $\dot{U}_C$ 方向相反, $\dot{U}$ 的大小可以用勾股定理求得, 即

$$U = \sqrt{(U_R)^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{(RI)^2 + (X_L I - X_C I)^2} = I \sqrt{R^2 + X^2} = IZ \quad (1-14)$$

$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (1-15)$$

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} \quad (1-16)$$

式中, Z 为阻抗, 单位为 Ω ; R 为电阻, 单位为 Ω ; X_L 为电抗, 单位为 Ω ; X_C 为容抗, 单位为 Ω ; U 为交流电压, 单位为 V; U_R 为电阻电压, 单位为 V; U_L 为电感电压, 单位为 V; U_C 为电容电压, 单位为 V; I 为回路电流, 单位为 A。

从图 1-5 中可知,电压超前电流,称此电路为感性电路。若相反,此时称为容性电路,其电压电流的相位差

$$\varphi = \arctan \frac{U_L - U_C}{U_R} = \arctan \frac{X_L - X_C}{R} = \arctan \frac{X}{R} \quad (1-17)$$

五、交流电路的功率和功率因数

1. 有功功率

单相交流电的有功功率按式 (1-18) 计算, 即

$$P = UI \cos \varphi \quad (1-18)$$

式中, P 为有功功率, 单位为 kW; U 为电压有效值, 单位为 kV; I 为电流有效值, 单位为 A; $\cos \varphi$ 为功率因数。

2. 无功功率

对于储能元件或设备, 如线圈等储存电能, 而不消耗功率, 称为无功功率, 其值按式 (1-19) 计算, 即

$$Q = UI \sin \varphi \quad (1-19)$$

式中, Q 为无功功率, 单位为 kvar; U 为电压有效值, 单位为 kV; I 为电流有效值, 单位为 A; $\sin \varphi$ 为功率因数角 φ 的正弦值。

3. 视在功率

在单相交流电路中, 电压有效值与电流有效值的乘积, 称为视在功率, 其值按式 (1-20) 计算, 即

$$S = UI \quad (1-20)$$

式中, S 为视在功率, 单位为 kV · A; U 为电压有效值, 单位为 kV; I 为电流有效值, 单位为 A。

4. 功率因数

在单相交流电路中, 有功功率与视在功率之比, 称为功率因数, 其值按式 (1-21) 计算, 即

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{UI} \quad (1-21)$$

在单相交流电路中, 视在功率、有功功率、无功功率、功率因数角之间相量关系如图 1-6 所示。

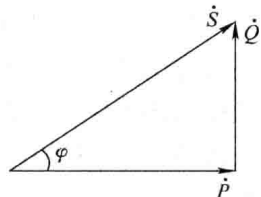


图 1-6 视在功率、有功功率、无功功率相量图

第三节 三相交流电路

由三相交流电源和三相负荷组成的电路, 叫三相交流电路。三相交流电源是由三个最大值相等、频率相同、相互的相位差为 120° 的电动势作为供电的体系。

在 10/0.4kV 的配电系统中, 采用三相交流电传输功率。

一、三相对称交流电动势表示方法

三相电动势可由三相发电机提供, 三相电动势的瞬时表达式为

$$\left. \begin{aligned} e_U &= E_m \sin \omega t \\ e_V &= E_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\ e_W &= E_m \sin(\omega t + 120^\circ) \end{aligned} \right\} \quad (1-22)$$