

10/0.4kV 配电

实用技术简明培训教程

10/0.4kV PEIDIAN SHIYONG JISHU JIANMING PEIXUN JIAOCHENG

狄富清 狄晓渊 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

10/0.4kV 配电实用 技术简明培训教程

狄富清 狄晓渊 编著
王举强 言翠文



机械工业出版社

本书共 14 章, 内容包括短路电流计算、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、电力电缆线路、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、选型及安装、运行维护、操作技能、故障检修处理, 而且列出其大量的技术参数。同时, 书中还给出了大量实用例题。

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学用书, 同时也适用于广大农民工的上岗培训, 对提高其电工技能有极大的帮助。

图书在版编目 (CIP) 数据

10/0.4kV 配电实用技术简明培训教程/狄富清等
编著. —2 版. —北京: 机械工业出版社, 2018. 11
ISBN 978-7-111-61249-0

I. ①狄… II. ①狄… III. ①配电系统-技术-岗位
培训-教材 IV. ①TM72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 249846 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

责任校对: 李锦莉 刘丽华 封面设计: 陈沛

责任印制: 常天培

北京京丰印刷厂印刷

2019 年 1 月第 2 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 17.75 印张 · 432 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-61249-0

定价: 79.00 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

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网: www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

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的不断扩大，必须加速建设与改造 10/0.4kV 城乡智能化配电网。

由于处在知识经济的新时代，10/0.4kV 配电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、智能化低压断路器及智能化电能表等新设备、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 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电工专业技术的教材。对从事 10/0.4kV 电气设备安装作业的农民工，本书也是不错的参考。

本书技术先进、内容丰富、资料翔实、图文并茂。全书共 14 章，重点介绍了短路电流计算、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，以及电能计量等内容。本书将短路电流计算、电气设备的基本结构、动作原理、安装工艺、运行维护、倒闸操作、事故处理等内容，与其相关的实用技术紧密结合，简明扼要，深入浅出，融于全书，便于读者学习使用。本书还详细介绍了微机保护装置动作电流的整定计算，并列举了大量的实用例题。

本书在编写过程中，参考了许多作者的相关文献，得到付承桂编辑的大力支持，并提出了许多宝贵的修改意见，在此，一并表示感谢！

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

目 录

前言

第一章 短路电流计算 1

第一节 短路电流的含义及计算原则 1

一、短路电流的含义 1

二、短路电流计算的一般原则 1

第二节 短路回路各元件阻抗的计算 2

一、10kV 系统电抗的计算 2

二、配电变压器阻抗的计算 2

三、配电变压器零序阻抗的计算 4

四、导线、电缆阻抗的计算 6

五、母线阻抗的计算 9

六、低压断路器及隔离开关的阻抗值 9

第三节 10kV 配电系统短路电流的计算 10

一、基准值的计算 10

二、标幺值的计算 10

三、10kV 配电系统电抗标幺值的计算 11

四、配电变压器阻抗标幺值的计算 11

五、电力线路阻抗标幺值的计算 12

六、短路电流的计算 12

第四节 短路电流计算实例 13

第五节 低压短路电流的计算 16

一、短路电流有效值的计算 16

二、短路冲击电流的计算 16

三、短路电流最大有效值的计算 17

四、短路容量的计算 17

第六节 电气设备的校验 20

一、短路动稳定校验 20

二、短路热稳定校验 20

三、短路容量校验 20

第二章 配电变压器 21

第一节 配电变压器的工作原理 21

一、概述 21

二、工作原理 21

第二节 配电变压器结构 22

一、配电变压器的外形结构 22

二、油箱及冷却装置 22

三、变压器的器身 23

四、保护装置 24

五、调压装置 25

六、出线装置 25

第三节 配电变压器铭牌及技术参数 25

第四节 油浸式配电变压器 28

一、SBH11-M 型配电变压器 28

二、SBH16-M 型配电变压器 29

第五节 干式配电变压器 29

一、概述 29

二、干式配电变压器的分类 29

三、SCBH10 型干式配电变压器 29

四、SCB9-Z 型干式有载调压配电变压器 29

第六节 变压器温度控制 31

一、油浸式变压器的温度控制 31

二、干式变压器的温度控制 31

第七节 配电变压器的室内安装 32

一、配电变压器安装位置的选定 32

二、配电变压器室的最小尺寸 32

三、变压器室的高度与基础 33

四、变压器的验收检查 33

五、变压器安装的基本要求 35

六、油浸式配电变压器的安装 36

七、干式配电变压器的安装 38

第八节 配电变压器杆塔式安装 47

一、杆塔式安装的基本要求 47

二、S11-100/10 型配电变压器的安装 47

三、S11-320/10 型配电变压器的安装 47

第九节 配电变压器并联运行负荷分担计算 48

第十节 配电变压器的运行维护 50

一、新安装或大修后的配电变压器投运前的检查验收 50

二、配电变压器的正常巡视检查 50

三、配电变压器的特殊巡视检查	51	第四节 低压电器的选择	76
四、干式配电变压器的运行检查	51	一、低压电器选择的一般原则	76
五、配电变压器过负荷运行	52	二、低压断路器的选择	76
第十一节 配电变压器异常故障处理	52	三、低压熔断器的选择	78
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	52	第五节 低压断路器的运行维护及 故障处理	80
二、配电变压器过热时的处理	53	一、低压断路器的运行维护	80
三、配电变压器油位异常的原因及 处理	54	二、低压断路器的常见故障及处理	81
四、配电变压器油温升高的检查及 处理	54	第四章 高压电器	85
五、配电变压器过负荷处理	55	第一节 隔离开关	85
六、配电变压器气体继电器报警 原因及处理	55	一、概述	85
七、配电变压器气体继电器动作 原因及处理	55	二、GN22-10/1600-40 型户内 隔离开关	85
八、压力释放阀动作后的检查及 处理	56	三、GW1-12-630 型户外隔离开关	85
九、冷却装置的故障处理	57	第二节 FN16A-12D/630 型负荷开关	87
十、配电变压器跳闸后的检查及 处理	57	一、概述	87
十一、配电变压器的应急停运	58	二、主要技术参数	87
十二、配电变压器的着火处理	58	三、外形结构	87
十三、判断配电变压器故障的试验 项目	58	第三节 真空断路器	87
第三章 低压电器	60	一、概述	87
第一节 隔离开关	60	二、真空断路器的结构	88
一、概述	60	三、真空灭弧室的结构及工作原理	89
二、主要技术参数	60	四、主要技术参数	90
三、隔离开关的安装	60	五、电气控制接线	90
四、隔离开关的运行与维护	60	第四节 断路器操动机构	94
五、隔离开关的常见故障及处理方法	61	一、CD10 型电磁操动机构	94
第二节 Emax 系列智能化断路器	61	二、CT 系列弹簧储能操动机构	96
一、概述	61	第五节 隔离开关的运行维护	100
二、技术参数	63	一、隔离开关的操作	100
三、电子脱扣器的安装接线原理	63	二、隔离开关的巡视检查	100
四、Emax 系列断路器电子脱扣器的 使用	65	三、隔离开关的常见故障及处理	101
第三节 Tmax 系列塑料外壳式断路器	69	第六节 真空断路器的运行维护及 故障处理	102
一、概述	69	一、真空断路器正常运行时的检查	102
二、技术参数	69	二、真空断路器异常运行时的检查	102
三、PR222DS/PD 电子脱扣器	69	三、真空断路器的运行维护	103
四、电气控制接线	72	四、真空断路器的故障处理	107
		五、断路器自动分合闸故障的检查 与处理	108
		六、断路器拒绝分合闸故障的检查 与处理	109
		第七节 操动机构的运行维护及 异常故障处理	110

一、操动机构的检查	110	五、电气主接线	139
二、操动机构的运行维护	111	第四节 10kV 开关柜的安装	141
三、操动机构的异常故障处理	111	一、开关柜安装的基本原则	141
第八节 电气设备倒闸操作	112	二、10kV 开关柜的安装基础	142
一、倒闸操作设备状态	112	三、10kV 开关柜的安装	142
二、电气设备运行状态之间倒换 典型操作	113	四、10kV 开关柜的安装注意事项	147
三、倒闸操作术语	115	五、验收试验项目	147
四、倒闸操作的一般规定	115	第五节 开关柜的运行操作	148
五、倒闸操作的分类	115	一、开关柜的操作原则	148
六、倒闸操作的基本要求	116	二、开关柜的机械联锁操作	148
七、倒闸操作的基本原则	116	三、开关柜的具体操作程序	149
八、倒闸操作的基本步骤	117	四、开关柜操作注意事项	150
九、倒闸操作票的填写方法和填写 项目	118	第六节 开关柜的运行维护	150
十、倒闸操作举例	119	一、开关柜运行巡视和投运前检查	150
第五章 低压成套配电装置	122	二、维护与检修	151
第一节 配电柜的型号选择	122	三、开关柜的常见故障及排除 方法	152
第二节 低压配电柜的安装	123	第七章 箱式变电站	153
一、安装尺寸	123	第一节 ZGSBH16 型组合式变电站	153
二、安装前的准备工作	128	一、概述	153
三、安装工艺要求	128	二、技术参数	153
四、安装后的检查与验收	130	三、电气主接线	154
第三节 低压配电装置的运行维护	130	四、外形结构及安装尺寸	155
一、低压配电装置的送电及试运行	130	第二节 YB 型预装式变电站	159
二、低压配电装置运行的一般要求	131	一、概述	159
三、低压配电装置的巡视检查	132	二、技术参数	159
四、低压配电系统异常运行和故障 缺陷的处理方法	133	三、电气主接线	161
第六章 高压成套配电装置	134	四、外形结构及安装尺寸	161
第一节 XGN15-12 型开关柜	134	第三节 箱式变电站的运行维护	163
一、概述	134	一、投运前的检查	163
二、主要技术参数	134	二、投运操作步骤	163
第二节 KYN28-12 系列开关柜	134	三、箱式变电站的维护与检修	163
一、概述	134	第八章 母线装置	165
二、主要技术参数	135	第一节 母线的选择	165
三、开关柜结构	135	一、母线材料的选择	165
四、电气主接线	136	二、母线截面积的选择	165
第三节 Safe 系列开关柜	137	第二节 矩形母线的安装	168
一、概述	137	一、室内配电装置的安全净距	168
二、主要特点	138	二、母线颜色及相序排列	169
三、主要技术参数	138	三、母线的加工	170
四、保护功能	138	四、矩形母线的安装	173
		五、母线槽的安装	174
		六、母线的验收和电气测试	178

第三节 母线的运行维护	178	七、冷缩型交联电缆头的制作	202
一、母线的正常运行	178	第三节 电缆的运行维护	202
二、母线的巡视检查	179	一、电缆的运行	202
三、母线的故障处理	179	二、电缆的维护	202
四、母线的检修项目	180	三、电缆的故障处理	203
第九章 无功功率补偿装置	181	第十一章 电力测量仪表与电能	
第一节 无功补偿的作用及基本原则	181	计量装置	204
一、无功补偿的作用	181	第一节 电力测量仪表	204
二、无功补偿的基本原则	181	一、电力测量仪表的选择	204
第二节 无功功率补偿计算	181	二、安装接线	204
一、电容值计算	181	第二节 电能表的选择	205
二、电容器额定电流计算	182	一、单相电能表	205
三、电容器额定容量计算	183	二、三相电能表	205
四、按配电变压器的额定容量计算		第三节 电流互感器	206
无功功率补偿容量	184	一、电流互感器的结构原理	206
五、按提高功率因数计算无功功率补		二、电流互感器的选择	207
偿容量	184	三、电流互感器的安装	207
六、按每千瓦有功负荷计算无功功率		四、电流互感器的运行维护	209
补偿容量	184	第四节 电压互感器	210
七、补偿电容器台数计算	185	一、电压互感器的结构原理	210
八、补偿后增加的有功功率计算	185	二、电压互感器的选择	210
第三节 电容器的安装	186	三、电压互感器的安装	211
一、电容器安装的基本要求	186	四、电压互感器的运行维护	212
二、WGK-31 系列无功功率补偿装置		第五节 电能表的安装	213
的安装接线	187	一、单相电能表的安装	213
第四节 电容器的运行维护	190	二、三相电能表的安装	214
一、新装电容器组投入运行前的		第六节 电能计量装置的运行维护	217
检查	190	一、电能表的电量抄录	217
二、电容器组的运行操作	190	二、电能表的常见故障与处理	217
三、电容器的巡视检查	190	第十二章 二次回路	219
四、电容器异常故障处理	191	第一节 断路器控制回路	219
第十章 电力电缆线路	193	一、LW2 控制开关	219
第一节 交联聚乙烯绝缘电缆	193	二、电磁操动机构断路器的控制	
一、概述	193	回路	220
二、电缆的型号及使用范围	193	三、弹簧操动机构断路器的控制	
三、电缆允许载流量	193	回路	222
第二节 电缆的敷设	196	第二节 信号回路	223
一、电缆的敷设方式	196	一、断路器位置及状态指示信号	223
二、电缆敷设的一般要求	196	二、事故信号	223
三、电缆沟的施工	197	三、预告信号	224
四、塑料电缆中间接头的制作	198	四、闪光信号装置	225
五、热缩型电缆中间接头的制作	200	五、微机监控保护装置的信号功能	226
六、热缩型电缆终端头的制作	201		

第三节 直流回路	227	二、技术参数	251
第四节 二次回路的安装接线	228	三、主要保护功能	251
一、安装接线的基本要求	228	四、主要测控功能	251
二、屏背面的展开图	229	五、保护测控功能	252
三、二次设备在安装接线图上的表示方法	229	六、装置保护定值整定	252
四、安装接线图中的标号	229	七、安装接线	253
五、接线端子	230	第五节 RCS-9621A 型配电变压器保护测控装置	255
六、“相对编号法”在安装接线图上的应用	233	一、概述	255
第五节 二次回路的故障处理	235	二、技术参数	255
一、二次设备的常见故障	235	三、主要保护功能	255
二、二次回路的一般故障处理原则	235	四、主要测控功能	256
三、二次回路查找故障的一般步骤	236	五、装置保护定值整定	256
四、二次交流电压回路断线	236	六、安装接线	257
五、直流系统接地处理	237	第六节 零序电流保护	260
第十三章 微机保护装置	239	一、10kV 线路零序电流保护	260
第一节 配电所电气设备继电保护装置配置	239	二、0.4kV 低压线路零序电流保护	260
一、配电变压器继电保护的类型	239	第七节 微机保护的运行维护	261
二、配电所电气设备微机保护的配置	241	一、投运前的注意事项	261
三、10kV 配电线路的保护	241	二、装置操作	261
第二节 10kV 配电线路继电保护整定计算	242	三、运行后的注意事项	262
一、无时限电流速断保护	242	四、运行维护时的注意事项	262
二、带时限电流速断保护	243	五、保护测控装置异常故障处理	263
三、过电流保护	243	第十四章 防雷与接地装置	264
第三节 配电变压器继电保护整定计算	247	第一节 防雷装置	264
一、电流速断保护	247	一、防直击雷装置	264
二、过电流保护	247	二、防感应雷装置	264
三、过负荷保护	248	第二节 接地装置	265
四、零序电流保护	248	一、接地电阻	265
五、温度保护	248	二、接地体与保护接地线	266
第四节 RCS-9612A II 型线路保护测控装置	251	三、接地电阻的计算	266
一、概述	251	四、接地装置的安装	268
		五、测定接地电阻值	269
		第三节 防雷接地装置的运行维护	271
		一、防雷装置的运行维护	271
		二、接地装置的安全要求	272
		三、接地装置的运行维护	272
		参考文献	274

第一章 短路电流计算

第一节 短路电流的含义及计算原则

一、短路电流的含义

电力系统中可能发生的短路故障，主要有三相短路、两相短路和单相短路。一般情况下，三相短路电流都大于两相和单相短路电流。

在计算短路电流时，通常把电力系统的电源容量视为无穷大。在这样的系统内，当某处发生短路时，电源电压维持不变，即短路电流周期分量在整个短路过程中不衰减。电网三相短路电流变化曲线如图 1-1 所示。

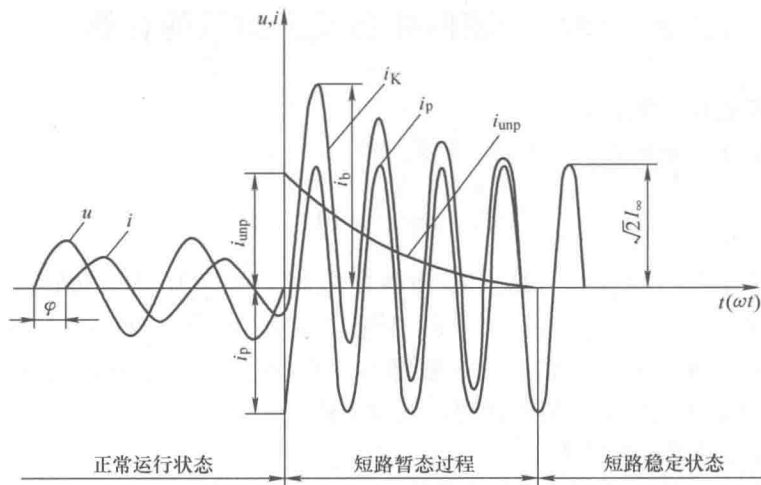


图 1-1 电网三相短路电流变化曲线

为了选择和校验电气设备、载流导体，一般应计算下列短路电流值，即

I_K ——短路电流周期分量有效值，单位为 kA；

I_∞ ——稳态短路电流有效值，单位为 kA；

i_b ——短路全电流最大瞬时冲击值，单位为 kA；

I_b ——短路全电流最大有效值，单位为 kA；

S_K ——短路容量，单位为 $MV \cdot A$ 。

二、短路电流计算的一般原则

1) 计算短路电流用于验算电器和导体的开断电流、动稳定和热稳定时，应按工程的设计规划内容计算。一般应以最大运行方式下的三相短路电流为依据，如配电所一般应以 2 台或 3 台配电变压器（简称主变）容量进行计算，并适当考虑电网 5~10 年的远景发展规划进行计算。

2) 计算短路电流时,应按可能发生最大短路电流的正常联结方式进行计算。短路点应选择短路电流为最大的地点。

3) 导体和电器的动稳定、热稳定以及电器的开断电流,一般按三相短路电流验算。

4) 计算 10kV 及以上高压电网短路电流时,一般将元件的电阻忽略不计,如果短路电路中总电阻 ΣR 大于总电抗 ΣX 的 1/3 时,则线路和其他元件的有效电阻仍应计入。

5) 计算 1000V 以下低压电网短路电流时,一般不允许忽略短路回路中电气设备的电阻值,如配电变压器的电阻、低压线路的电阻、不太长的母线和电缆、电流互感器的一次绕组、低压断路器的过电流线圈及低压断路器和隔离开关触头的接触电阻等,因为这些电阻对低压短路电流有影响。

6) 计算某一电压级的短路电流时,应使用平均电压。

7) 计算高压系统短路电流时,一般采用标幺值方法、短路功率法进行计算。计算 1000V 以下低压配电网的短路电流时,一般采用有名值方法计算,即电压的单位为 V,电流的单位为 kA,电阻的单位为 $m\Omega$ 。

第二节 短路回路各元件阻抗的计算

一、10kV 系统电抗的计算

10kV 电力系统电抗可按式 (1-1) 计算,即

$$X_S = \frac{U_N^2}{S_K} \times 10^3 \quad (1-1)$$

式中, X_S 为系统电抗,单位为 $m\Omega$; U_N 为额定电压,单位为 kV, 10kV 时取 $U_N = U_{av} = 10.5kV$, 0.38kV 时取 $U_N = U_{av} = 0.4kV$; S_K 为短路容量,单位为 $MV \cdot A$ 。

电源变电所 10kV 母线侧短路电流一般都控制在 16 ~ 20kA 之间,则短路容量为 277 ~ 346 $MV \cdot A$,或根据各地电网的实际状况,到有关供电单位查取。

二、配电变压器阻抗的计算

配电变压器的阻抗可按式 (1-2) 计算,即

$$Z_T = \frac{u_K \% U_N^2}{100S_N} \times 10^6 \quad (1-2)$$

式中, Z_T 为配电变压器的阻抗,单位为 $m\Omega$; $u_K \%$ 为配电变压器的阻抗电压; U_N 为配电变压器的额定电压,单位为 kV; S_N 为配电变压器的额定容量,单位为 $kV \cdot A$ 。

配电变压器的电阻可按式 (1-3) 计算,即

$$R_T = \frac{\Delta P_K U_N^2}{S_N^2} \times 10^6 \quad (1-3)$$

式中, R_T 为配电变压器的电阻,单位为 $m\Omega$; ΔP_K 为配电变压器的负荷损耗,单位为 kW。

配电变压器的电抗 ($m\Omega$) 可按式 (1-4) 计算,即

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (1-4)$$

【例 1-1】 一台 S11—2500/10 型配电变压器,额定电压 $U_{N1} = 10kV$, $U_{N2} = 0.4kV$,额定容量 $S_N = 2500kV \cdot A$,阻抗电压 $u_K \% = 5.0\%$,负荷损耗 $\Delta P_K = 19.70kW$,试计算该配电变

压器的阻抗、电阻、电抗。

解：配电变压器的阻抗按式 (1-2) 计算，得

$$Z_T = \frac{u_k \% U_{N2}^2}{100S_N} \times 10^6 = \frac{5.0 \times 0.4^2}{100 \times 2500} \times 10^6 \text{ m}\Omega = 3.20 \text{ m}\Omega$$

配电变压器的电阻按式 (1-3) 计算，得

$$R_T = \frac{\Delta P_K U_{N2}^2}{S_N^2} \times 10^6 = \frac{19.70 \times 0.4^2}{2500^2} \times 10^6 \text{ m}\Omega = 0.50 \text{ m}\Omega$$

配电变压器的电抗按式 (1-4) 计算，得

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{3.20^2 - 0.50^2} \text{ m}\Omega = 3.16 \text{ m}\Omega$$

按照【例 1-1】的计算方法，将常用型号的配电变压器的电阻、电抗、阻抗经计算后，其值见表 1-1 ~ 表 1-3，供读者选用时参考。

表 1-1 10/0.4kV 级 S11 系列配电变压器的电阻、电抗、阻抗

额定容量 $S_N/\text{kV} \cdot \text{A}$	阻抗电压 $u_k (\%)$	负荷损耗 $\Delta P_K/\text{kW}$	电阻 $R_T/\text{m}\Omega$	电抗 $X_T/\text{m}\Omega$	阻抗 $Z_T/\text{m}\Omega$
30	4	0.57	101.33	187.73	213.33
50	4	0.83	53.12	116.46	128.00
63	4	0.99	39.91	93.42	101.59
80	4	1.19	29.75	74.26	80.00
100	4	1.42	22.72	59.83	64.00
125	4	1.71	17.51	48.11	51.20
160	4	2.09	13.06	37.81	40.00
200	4	2.47	9.88	30.44	32.00
250	4	2.90	7.42	24.50	25.60
315	4	3.47	5.60	19.53	20.32
400	4	4.09	4.09	15.47	16.00
500	4	4.90	3.14	12.41	12.80
630	4.5	5.89	2.37	11.18	11.43
800	4.5	7.10	1.78	8.82	9.00
1000	4.5	9.78	1.56	7.03	7.20
1250	4.5	11.40	1.17	5.64	5.76
1600	4.5	13.70	0.86	4.42	4.50
2000	5	16.80	0.67	3.94	4.00
2500	5	19.70	0.50	3.16	3.20

表 1-2 10kV 级 SBH11-M 系列配电变压器的电阻、电抗、阻抗

额定容量 $S_N/\text{kV} \cdot \text{A}$	阻抗电压 $u_k (\%)$	负荷损耗 $\Delta P_K/\text{kW}$	电阻 $R_T/\text{m}\Omega$	电抗 $X_T/\text{m}\Omega$	阻抗 $Z_T/\text{m}\Omega$
30	4	0.60	106.67	184.75	213.33
50	4	0.87	55.68	115.26	128.00
63	4	1.04	41.92	92.54	101.59
80	4	1.25	31.25	73.64	80.00
100	4	1.50	24.00	59.33	64.00
125	4	1.80	18.43	47.77	51.20
160	4	2.20	13.75	37.56	40.00
200	4	2.60	10.40	30.26	32.00

(续)

额定容量 $S_N/kV \cdot A$	阻抗电压 $u_K (\%)$	负荷损耗 $\Delta P_K/kW$	电阻 $R_T/m\Omega$	电抗 $X_T/m\Omega$	阻抗 $Z_T/m\Omega$
250	4	3.05	7.81	24.40	25.60
315	4	3.65	5.89	19.45	20.32
400	4	4.30	4.30	15.41	16.00
500	4	3.15	3.30	12.37	12.80
630	4.5	6.20	2.50	11.15	11.43
800	4.5	7.50	1.88	8.80	9.00
1000	4.5	10.30	1.47	7.05	7.20
1250	4.5	12.00	1.23	5.63	5.76
1600	4.5	14.50	0.91	4.41	4.50
2000	5	17.40	0.70	3.94	4.00
2500	5	20.20	0.52	3.16	3.20

表 1-3 10/0.4kV 级 SC10 系列干式配电变压器的电阻、电抗、阻抗

额定容量 $S_N/kV \cdot A$	阻抗电压 $u_K (\%)$	负荷损耗 $\Delta P_K/kW$	电阻 $R_T/m\Omega$	电抗 $X_T/m\Omega$	阻抗 $Z_T/m\Omega$
30	4	0.61	108.44	183.72	213.33
50	4	0.85	54.40	115.86	128.00
80	4	1.20	30.00	74.16	80.00
100	4	1.37	21.92	60.13	64.00
125	4	1.60	16.38	48.51	51.20
160	4	1.85	11.56	38.30	40.00
200	4	2.20	8.80	30.77	32.00
250	4	2.40	6.14	24.85	25.60
315	4	3.02	4.87	19.73	20.32
400	4	3.48	3.48	15.62	16.00
500	4	4.26	2.73	12.51	12.80
630	4	5.12	2.06	9.95	10.16
630	6	5.19	2.09	15.10	15.24
800	6	6.07	1.52	11.90	12.00
1000	6	7.09	1.13	9.53	9.60
1250	6	8.46	0.87	7.63	7.68
1600	6	10.20	0.64	5.97	6.00
2000	6	12.60	0.50	4.77	4.80
2500	6	15.00	0.38	3.82	3.84

三、配电变压器零序阻抗的计算

1. Dyn11 联结组标号

配电变压器高压绕组三角形 (D) 联结时, 绕组内可通过零序循环感应电流, 因而可与低压绕组零序电流相互平衡去磁。因此, 低压侧零序阻抗很小。配电变压器零序电阻按式 (1-5) 近似计算, 即

$$R_{T0} = KR_T \quad (1-5)$$

式中, R_{T0} 为配电变压器零序电阻, 单位为 $m\Omega$; K 为系数, 一般取 0.5; R_T 为配电变压器的电阻, 单位为 $m\Omega$ 。

配电变压器零序电抗按式 (1-6) 计算, 即

$$X_{T0} = Ku_k \% \frac{U_{ph}}{I_{ph}} \times 10^3 \quad (1-6)$$

式中, X_{T0} 为配电变压器零序电抗, 单位为 $m\Omega$; K 为系数, 取 $0.9 \sim 1$, 容量较小 ($50kV \cdot A$) 时取小值, 容量较大 ($2500kV \cdot A$) 时取大值; $u_k \%$ 为阻抗电压; U_{ph} 为相电压, $230V$; I_{ph} 为相电流, 单位为 A 。

【例 1-2】 SBH11-M-1250/10 型配电变压器, 额定电压 $U_{N1}/U_{N2} = 10/0.4kV$, 额定容量 $S_N = 1250kV \cdot A$, 阻抗电压 $u_k \% = 4.5\%$, 绕组联结组标号为 Dyn11。试计算该变压器的零序阻抗。

解: 查表 1-2 得 SBH11-M-1250/10 型变压器电阻 $R_T = 1.23m\Omega$ 。配电变压器零序电阻按式 (1-5) 计算, 即

$$R_{T0} = KR_T = 0.5 \times 1.23m\Omega = 0.615m\Omega$$

配电变压器低压侧相电流按式 (2-6) 计算, 得

$$I_{ph \cdot 2} = I_{N2} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{N2}} = \frac{1250}{\sqrt{3} \times 0.4} A = 1804A$$

配电变压器零序电抗按式 (1-6) 计算, 即

$$X_{T0} = Ku_k \% \frac{U_{ph}}{I_{ph \cdot 2}} \times 10^3 = 1 \times 4.5\% \times \frac{230}{1804} \times 10^3 m\Omega = 5.74m\Omega$$

2. Yyn0 联结组标号

配电变压器高压绕组呈星形 (Y) 联结时, 绕组不能流过零序电流, 低压侧 Yn 联结励磁时, 由零序电流产生的零序磁通一部分经过空气形成回路, 磁阻较大, 零序磁通较小, 所以零序阻抗较小, 零序电阻按式 (1-7) 计算, 即

$$R_{T0} = K \frac{U_{ph}}{I_N} \times 10^3 \quad (1-7)$$

式中, R_{T0} 为配电变压器零序电阻, 单位为 $m\Omega$; U_{ph} 为配电变压器低压侧额定相电压, 单位为 V ; I_N 为配电变压器低压侧额定相电流, 单位为 A ; K 为系数, 取 0.5 。

零序电抗按式 (1-8) 计算, 即

$$X_{T0} = K \frac{U_{ph}}{I_N} \times 10^3 \quad (1-8)$$

式中, X_{T0} 为配电变压器零序电抗, 单位为 $m\Omega$; U_{ph} 为配电变压器低压侧额定相电压, 单位为 V ; I_N 为配电变压器低压侧额定相电流, 单位为 A ; K 为系数, 一般取值范围为 $0.3 \sim 0.7$, 配电变压器容量较小时, 取小数; 容量较大时, 取大数。

【例 1-3】 SBH11-M-1250/10 型配电变压器, 额定电压 $U_{N1}/U_{N2} = 10/0.4kV$, 额定容量 $S_N = 1250kV \cdot A$, 联结组标号为 Yyn0, 试计算该变压器的零序电阻及零序电抗。

解: 配电变压器低压侧额定电流按式 (2-6) 计算, 即

$$I_{ph \cdot 2} = I_{N2} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{N2}} = \frac{1250}{\sqrt{3} \times 0.4} A = 1804A$$

配电变压器零序电阻按式 (1-7) 计算, 即

$$R_{T0} = K \frac{U_{ph}}{I_N} \times 10^3 = 0.5 \times \frac{230}{1804} \times 10^3 \text{ m}\Omega = 63.75 \text{ m}\Omega$$

配电变压器零序电抗按式 (1-8) 计算, 即

$$X_{T0} = K \frac{U_{ph}}{I_{ph \cdot 2}} \times 10^3 = 0.6 \times \frac{230}{1804} \times 10^3 \text{ m}\Omega = 76.50 \text{ m}\Omega$$

该配电变压器 (Yyn0 联结) 零序电抗实测值为 78.6mΩ。

Yyn0 联结的 10kV 配电变压器零序电抗实测值见表 1-4。

表 1-4 10kV 配电变压器 (Yyn0 联结) 零序电抗实测值

额定容量/kV·A	50	80	100	125	160	200	250	315	400
零序电抗/mΩ	902.2	753.6	613.1	460.5	407.1	359.2	307.0	229.8	220.1
额定容量/kV·A	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	
零序电抗/mΩ	175.6	151.2	150.1	110.2	78.6	59.2	45.9	37.1	

四、导线、电缆阻抗的计算

1. 电阻的计算

电流在导体中流动时所受到的阻力, 称为电阻, 用字母 R 或 r 表示。常用的电阻单位有欧 (Ω)、千欧 ($\text{k}\Omega$)、兆欧 ($\text{M}\Omega$), 它们之间的换算关系

$$1\text{k}\Omega = 10^3\Omega, 1\text{M}\Omega = 10^3\text{k}\Omega$$

金属导体的电阻与导体的材料性质及尺寸有关, 即

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-9)$$

式中, R 为导体的电阻, 单位为 Ω ; L 为导体的长度, 单位为 m ; S 为导体截面积, 单位为 mm^2 ; ρ 为导体的电阻率, 单位为 $\Omega \cdot \text{m}$ 。

式 (1-9) 说明, 导体的电阻 R 与长度 L 成正比, 与截面积 S 成反比, 且与电阻率 ρ 有关。

电阻率是指长 1m 、截面积为 1mm^2 的导体, 在 20°C 温度下的电阻值。常用导电材料的电阻率见表 1-5。

表 1-5 常用导电材料的电阻率

材料名称	银	铜	铝	低碳钢	铅	铸铁
电阻率 ρ /($\Omega \cdot \text{m}$, 20°C)	0.0165	0.0175	0.0283	0.13	0.20	0.50

从表 1-5 可以看出, 电阻率较小的银、铜、铝常用来制作导电器材, 以降低器材的电阻和接触电阻。

导线、电缆的电阻按式 (1-10) 计算, 即

$$R_L = R_{0L} L \quad (1-10)$$

式中, R_L 为导线、电缆的电阻, 单位为 $\text{m}\Omega$; R_{0L} 为导线、电缆单位长度电阻, 单位为 $\text{m}\Omega/\text{m}$; L 为导线、电缆长度, 单位为 m 。

LJ 型铝绞线单位长度电阻见表 1-6。

表 1-6 LJ 型铝绞线单位长度电阻

型号	标称截面积 S/mm^2	单位长度直流电阻 R_{0L} $/(\text{m}\Omega/\text{m})$ <	型号	标称截面积 S/mm^2	单位长度直流电阻 R_{0L} $/(\text{m}\Omega/\text{m})$ <
LJ—16	16	1.802	LJ—120	120	0.2373
LJ—25	25	1.127	LJ—150	150	0.1943
LJ—35	35	0.8332	LJ—185	185	0.1574
LJ—50	50	0.5786	LJ—210	210	0.1371
LJ—70	70	0.4018	LJ—240	240	0.1205
LJ—95	95	0.3009	LJ—300	300	0.09689

LGJ 型钢芯铝绞线单位长度电阻见表 1-7。

表 1-7 LGJ 型钢芯铝绞线单位长度电阻

型号	标称截面积 S $/\text{mm}^2$	单位长度直流电阻 R_{0L} (温度为 $+70^\circ\text{C}$ 时) $/(\text{m}\Omega/\text{m})$ <	型号	标称截面积 S $/\text{mm}^2$	单位长度直流电阻 R_{0L} (温度为 $+70^\circ\text{C}$ 时) $/(\text{m}\Omega/\text{m})$ <
LGJ—16	16	2.141	LGJ—120	120	0.286
LGJ—25	25	1.371	LGJ—150	150	0.228
LGJ—35	35	0.979	LGJ—185	185	0.185
LGJ—50	50	0.685	LGJ—240	240	0.143
LGJ—70	70	0.489	LGJ—300	300	0.114
LGJ—95	95	0.361			

电力电缆单位长度电阻见表 1-8。

表 1-8 电力电缆单位长度电阻

标称截面积 S/mm^2	单位长度铜导体直流 电阻 R_{0L} (温度 为 $+90^\circ\text{C}$ 时) $/(\text{m}\Omega/\text{m})$ <	单位长度铝导体直流 电阻 R_{0L} (温度 为 $+90^\circ\text{C}$ 时) $/(\text{m}\Omega/\text{m})$ <	标称截面积 S/mm^2	单位长度铜导体直流 电阻 R_{0L} (温度 为 $+90^\circ\text{C}$ 时) $/(\text{m}\Omega/\text{m})$ <	单位长度铝导体直流 电阻 R_{0L} (温度 为 $+90^\circ\text{C}$ 时) $/(\text{m}\Omega/\text{m})$ <
25	0.911	1.465	185	0.123	0.198
35	0.651	1.046	240	0.0949	0.153
50	0.455	0.732	300	0.0759	0.122
70	0.325	0.523	400	0.0570	0.0916
95	0.240	0.385	500	0.0455	0.0732
120	0.190	0.305	630	0.0361	0.0581
150	0.152	0.244			

JKYJ-1、TJLYJ-1、JKYJ-10、JKLY-10 型交联聚乙烯绝缘架空电缆单位长度电阻见表 1-9。

表 1-9 交联聚乙烯绝缘架空电缆单位长度电阻

标称截面积 S/mm^2	单位长度铜导体直流 电阻 R_{0L} (温度 为 +70℃ 时) /($\text{m}\Omega/\text{m}$) <	单位长度铝导体直流 电阻 R_{0L} (温度 为 +70℃ 时) /($\text{m}\Omega/\text{m}$) <	标称截面积 S/mm^2	单位长度铜导体直流 电阻 R_{0L} (温度 为 +70℃ 时) /($\text{m}\Omega/\text{m}$) <	单位长度铝导体直流 电阻 R_{0L} (温度 为 +70℃ 时) /($\text{m}\Omega/\text{m}$) <
16	1.329	2.141	95	0.224	0.361
25	0.850	1.370	120	0.177	0.286
35	0.607	0.979	150	0.142	0.228
50	0.425	0.685	185	0.115	0.185
70	0.304	0.489	240	0.0886	0.143

2. 电抗的计算

架空线路单位长度电抗按式 (1-11) 计算, 即

$$X_0 = 0.1445 \lg \frac{D_{av}}{r} + 0.0157 \quad (1-11)$$

式中, X_0 为架空线路单位长度电抗, 单位为 Ω/km ; r 为导线半径, 单位为 mm ; D_{av} 为导线几何均距, 单位为 mm 。

导线三角形 (Δ) 排列时, 几何均距为

$$D_{av} = D_{12} = D_{23} = D_{31}$$

导线水平排列时, 几何均距为

$$D_{av} = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}} = \sqrt[3]{2D^3} = 1.26D$$

导线、电缆的电抗按式 (1-12) 计算, 即

$$X_L = X_{0L}L \quad (1-12)$$

式中, X_L 为导线、电缆的电抗, 单位为 $\text{m}\Omega$; X_{0L} 为导线、电缆单位长度电抗, 单位为 $\text{m}\Omega/\text{m}$; L 为导线、电缆长度, 单位为 m 。

电力线路每相的单位长度电抗平均值见表 1-10。

表 1-10 电力线路每相的单位长度电抗平均值 (单位: Ω/km)

线路结构	线路电压			
	6~10kV		220/380V, 1kV	
	$X_1 = X_2$	X_0	$X_1 = X_2$	X_0
架空线路	0.4	1.4	0.32	1.12
三芯电缆	0.08	0.28	0.06	0.21
1kV 四芯电缆	—	—	0.066	0.17

3. 导线、电缆阻抗计算

导线、电缆的阻抗 (单位为 $\text{m}\Omega$) 按式 (1-13) 计算, 即