

10/0.4kV 配电设备

继电保护实用技术

10/0.4kV PEIDIAN SHEBEI JIDIAN BAOHU SHIYONG JISHU

狄富清 狄晓渊 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

10/0.4kV 配电设备 继电保护实用技术

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从事 10/0.4kV 配电设备继电保护设计、施工、安装,及现场运行维护的实际经验而写成的。本书共分为 12 章,内容包括短路电流计算、微机保护在配电网中的应用、配电变压器继电保护、配电变压器微机保护装置、10kV 线路继电保护、10kV 线路微机保护装置、分段母线及电压互感器和电容器保护、低压线路及电器继电保护、配电所自动化装置、配电所直流电源、二次回路、配电所事故处理。本书不仅详细介绍了继电保护的基本原理结构、整定值计算、运行维护、微机保护操作、异常故障处理,而且还介绍了常用的微机保护监控装置的性能特点及主要技术参数。同时,书中还列举了大量实用例题。

本书可作为配电所值班电工及社会电工的参考书,对于从事继电保护专业的技术人员也有参考价值,同时也可作为职业技术学校的教科书。

图书在版编目(CIP)数据

10/0.4kV 配电设备继电保护实用技术/狄富清,狄
晓渊编著. —北京:机械工业出版社,2014.5
ISBN 978-7-111-46553-9

I. ①狄… II. ①狄…②狄… III. ①配电装置-继电
保护 IV. ①TM642

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 086467 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:陈秀丽

责任印制:刘 岚

北京京丰印刷厂印刷

2014 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·15 印张·1 插页·365 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-46553-9

定价:48.00 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的不断扩大,因此需要进一步加速城乡电网的建设与改造。这对 10/0.4kV 配电所安全可靠供电提出了更高的要求。

由于处在知识技术经济的时代,配电设备不断更新,配电技术更加先进,配电网综合自动化程度也日益提高。现在的配电所全面采用了微机保护测控装置,实现了电气设备的保护、测控,以及遥控、遥测、遥信、遥调等综合自动化技术管理。由此,广大电工迫切需要学习继电保护的基本原理知识,掌握微机保护测控装置的先进技术,不断提高继电保护的现场运行维护管理水平、实际操作技能和快速处理现场电气设备发生的各种异常故障的综合能力,确保配电设备安全可靠供电。为此,我们特意编写了本书,以供从事于 10/0.4kV 配电所广大值班电工在继电保护装置的日常运行维护管理工作中,作为参考用书。本书对继电保护专业的工程技术人员也有一定的参考价值,同时也可作为职业技术学校相关专业的教科书。

本书技术先进、设备更新、内容丰富、体例完备、资料翔实、图文并茂。全书共分 12 章,重点介绍了 10/0.4kV 配电所中的配电变压器、高低压电气设备、电力线路的继电保护基本原则、二次回路原理与接线、短路电流计算、保护动作值的整定计算、运行维护及异常故障处理。同时还介绍了常用的微机保护测控装置及综合自动化系统的特性、功能和主要技术参数。书中还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、任鑫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

2013 年 11 月 18 日

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 8

六、低压断路器及刀开关的阻抗 值 9

第三节 10kV 用标幺值计算短路电流 9

一、基准值的计算 9

二、标幺值的计算 10

三、10kV 配电系统电抗标幺值的 计算 10

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 11

六、短路电流的计算 11

第四节 10kV 用有名值计算短路电流 14

一、系统阻抗的计算 14

二、架空线路电抗的计算 14

三、电力电缆电抗的计算 14

四、短路电流的计算 15

第五节 低压短路电流的计算 17

第二章 微机保护在配电网中的 应用 20

第一节 微机保护监控的原理及功能 20

一、微机保护监控装置的优点 20

二、微机保护监控系统的原理 20

三、微机保护系统的功能 20

四、微机监控系统的功能 21

五、利用微处理器改进配电所的测量和 信号系统 23

第二节 智能化配电元件 (IPD) 23

一、概述 23

二、人机界面 (HMI) 24

三、RTU 监测与控制 24

第三节 配电所电气设备微机保护的 配置 27

一、微机保护配置的原则 27

二、双电源单母线不分段继电保护 30

三、双电源单母线分段继电保护 30

第三章 配电变压器继电保护 31

第一节 配电变压器的瓦斯保护 31

一、配电变压器瓦斯保护的基本 原则 31

二、配电变压器瓦斯保护的原理 接线 31

第二节 配电变压器电流速断保护 32

一、电流速断保护的基本原理 32

二、电流速断保护整定计算 32

第三节 配电变压器过电流保护 33

一、过电流保护基本原理 33

二、过电流保护整定计算 33

第四节 配电变压器过负荷保护 34

一、过负荷保护基本原理 34

二、过负荷保护整定计算 34

第五节 配电变压器零序电流保护 35

一、中性点不接地零序电流保护 35

二、中性点接地零序电流保护 38

第六节 配电变压器继电保护整定计算 实例 44

第四章 配电变压器微机保护装置 47

第一节 SNP-2316 型配电变压器微机保护 装置 47

一、概述 47

二、安装接线 48

第二节 RCS-9621A 型配电变压器保护测控 装置 53

一、概述 53

二、主要保护功能 53

三、主要测控功能	53	的事项	85
四、技术参数	53	六、运行后的注意事项	85
五、保护测控功能原理	54	七、运行维护时的注意事项	86
六、安装接线	56	第五章 10kV 线路继电保护	87
七、装置定值整定	59	第一节 无时限电流速断保护	87
第三节 DMR201P/DMR301P 型微机保护		一、无时限电流速断保护基本原理	87
测控装置	62	二、无时限电流速断保护动作值的	
一、主要特点	62	整定	88
二、主要功能	62	三、无时限电流速断保护的原理	
三、技术参数	63	接线	88
四、安装接线	64	第二节 限时电流速断保护	89
第四节 SDP-5100 系列微机保护测控		一、限时电流速断保护基本原理	89
装置	68	二、限时电流速断保护动作值的	
一、概述	68	整定	89
二、主要特点	68	三、限时电流速断保护的原理接线	90
三、主要功能	69	第三节 过电流保护	90
四、安装接线	70	一、过电流保护的基本原理	90
第五节 NS912 型配电变压器保护测控		二、过电流保护动作值的整定	90
装置	71	三、过电流保护的原理接线	91
一、概述	71	第四节 三段式定时限过电流保护	94
二、主要特点	72	一、三段式定时限过电流保护的基	
三、主要功能	72	原理	94
四、模件组成	73	二、三段式定时限过电流保护动作	
五、保护方式	74	值的整定	95
六、指示灯及按键含义	74	三、电流保护归总式原理图与展开图	98
七、配电变压器保护压板	74	第五节 三段式过电流保护整定计算	
第六节 配电变压器温度控制	75	实例	100
一、配电变压器温度控制的原则	75	第六章 10kV 线路微机保护装置	104
二、油浸式变压器的温度控制	75	第一节 RCS-9612A II 型微机线路保护测控	
三、干式变压器的温度控制	76	装置	104
第七节 RCS-9000 微机保护测控装置的		一、概述	104
操作	78	二、主要保护功能	104
一、液晶显示	78	三、主要测控功能	104
二、命令菜单	78	四、技术参数	104
第八节 继电保护及自动装置的运行		五、保护测控功能原理	105
维护	83	六、安装接线	107
一、投运前的注意事项	83	七、装置定值整定	109
二、继电保护及自动装置的巡视		第二节 NS901 型线路微机保护测控	
检查	83	装置	113
三、继电保护及自动装置的运行及投切		一、概述	113
规定	84	二、主要特点	113
四、装置操作	84	三、主要功能	113
五、监控机上进行有载调压操作时应注意		四、模件组成	114

五、保护功能配置的原则	115	第一节 WKH 系列微机保护装置	144
六、指示灯及按键含义	116	一、概述	144
七、线路保护压板	116	二、主要功能	144
第三节 SPAJ 140C 型馈线保护装置	116	三、安装接线	144
一、概述	116	第二节 Emax 系列智能化断路器保护	
二、主要保护功能	117	装置	147
三、保护动作原理	117	一、概述	147
四、保护动作指示器	117	二、断路器电子脱扣器安装	147
五、低定值与高定值动作方式的		三、Emax 系列断路器电子脱扣器的	
选择	122	使用	149
六、设置定值的注意事项	123	第三节 Tmax 系列塑料外壳式断路器保护	
第四节 线路过电流保护的运行维护	125	装置	155
第七章 分段母线、电压互感器及		一、概述	155
电容器保护	126	二、PR222DS/PD 电子脱扣器	155
第一节 10kV 分段母线保护	126	三、电气控制接线	158
一、分段母线保护的基本原理	126	第九章 配电所自动化装置	163
二、分段母线保护的整定计算	127	第一节 配电所综合自动化	163
第二节 SNP-2361 型分段母线微机保护		一、概述	163
装置	129	二、综合自动化的主要功能	163
一、概述	129	三、综合自动化的特点	163
二、安装接线	129	四、综合自动化系统结构	164
第三节 SNP-2305 型电压互感器微机保护		第二节 NSP-642 型数字式备用电源自投	
装置	130	装置	165
一、电压互感器 (PT) 柜装置	130	一、简介	165
二、需要切换电压互感器 (PT) 柜		二、备用电源自投方式	165
装置	132	三、端子接线	166
第四节 NS921 电容器保护测控装置	135	四、相关定值说明	166
一、概述	135	第三节 NS931 型备用电源自投装置	167
二、主要特点	135	一、概述	167
三、主要功能	136	二、主要特点	167
四、模件组成	137	三、主要功能	167
五、指示灯及键盘按键含义	137	四、模件组成	168
第五节 WGK-31 系列无功功率补偿		五、10kV 运行方式	169
装置	138	六、自投切换方式	169
一、概述	138	七、运行中的注意事项	170
二、安装接线	138	第四节 DPT/TE 双电源自动切换	
第六节 RVT 功率因数控制器	141	装置	170
一、主要特点	141	一、概述	170
二、主要功能	141	二、自投、自复的自动模式	170
三、菜单浏览	142	三、主要功能	171
四、RVT 的调试	142	四、安装接线	172
五、安装接线	142	第五节 NS950 系列综合测控装置	173
第八章 低压线路及电器继电保护	144	一、概述	173

二、主要特点	173	一、安装接线的基本要求	194
三、主要功能	173	二、屏背面的展开图	195
四、模件组成	173	三、二次设备在安装接线图上的表示 方法	195
五、信号灯及键盘按键含义	174	四、安装接线图中的标号	196
第六节 NS PRO 配电所自动化系统	174	五、接线端子	196
一、概述	174	六、“相对编号法”在安装接线图上的 应用	199
二、主要特点	175	第五节 KYN28-12 型开关柜二次回路	202
三、硬件结构	175	一、KYN28-12 型开关柜的二次回路 原理	202
四、模件组成	176	二、KYN28-12 型开关柜的二次回路 安装接线	205
第十章 配电所直流电源	177	第六节 二次回路的故障处理	211
第一节 直流操作电源	177	一、二次设备的常见故障	211
一、蓄电池组直流操作电源	177	二、二次回路的一般故障处理原则	212
二、硅整流电容储能直流系统	177	三、二次回路查找故障的一般步骤	212
第二节 蓄电池组的运行维护	178	四、二次交流电压回路断线	212
一、正常运行维护	178	五、直流系统接地处理	213
二、蓄电池组的巡视检查	180	第十二章 配电所事故处理	216
三、使用蓄电池时的注意事项	180	第一节 事故处理的原则与程序	216
第三节 GZDW-6000 微机型高频开关直流 电源	181	一、事故处理原则	216
一、概述	181	二、事故处理的一般程序	216
二、装置的主要特点	181	三、编写现场事故处理报告	217
三、装置的主要功能	181	第二节 配电变压器的事故处理	217
四、装置面板设备组成	181	一、瓦斯保护动作报警的处理	217
五、装置的运行操作	182	二、瓦斯保护动作跳闸的处理	218
第四节 直流系统的绝缘检测	183	三、配电变压器过负荷的处理	219
一、概述	183	四、配电变压器事故跳闸的处理 原则	219
二、直流绝缘检测原理	183	五、配电变压器跳闸后的检查处 理方法	219
三、由继电器构成的绝缘检测装置	183	六、配电变压器紧急停运	220
第十一章 二次回路	185	第三节 线路和断路器事故的处理	220
第一节 二次回路的含义及分类	185	一、线路保护动作跳闸事故的处理	220
一、二次回路的含义	185	二、10kV 系统单相接地故障的处理	221
二、二次回路的分类	185	三、断路器拒跳而造成越级跳闸的 处理	221
第二节 断路器控制回路	186	四、断路器拒绝合闸的处理	222
一、LW2 控制开关	186	第四节 微机保护监控异常的故障处 理	222
二、电磁操动机构断路器的控制回路	186	一、新安装的保护装置竣工后的验收 项目	222
三、弹簧操动机构断路器的控制回路	189		
第三节 信号回路	190		
一、断路器位置及状态指示信号	190		
二、事故信号	190		
三、预告信号	191		
四、闪光信号装置	192		
五、微机监控保护装置的信号功能	193		
第四节 二次回路的安装接线	194		

二、新安装计算机监控系统现场验收项目	223
三、继电保护及二次回路检验、测试及缺陷处理后的验收项目	225
四、液晶显示异常故障的处理	226
五、配电所综合自动化监控系统故障处理原则	226

六、微机保护监控系统“死机”的原因及处理方法	227
七、保护测控装置异常故障处理	229
八、配电所防误操作	230
参考文献	231

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。

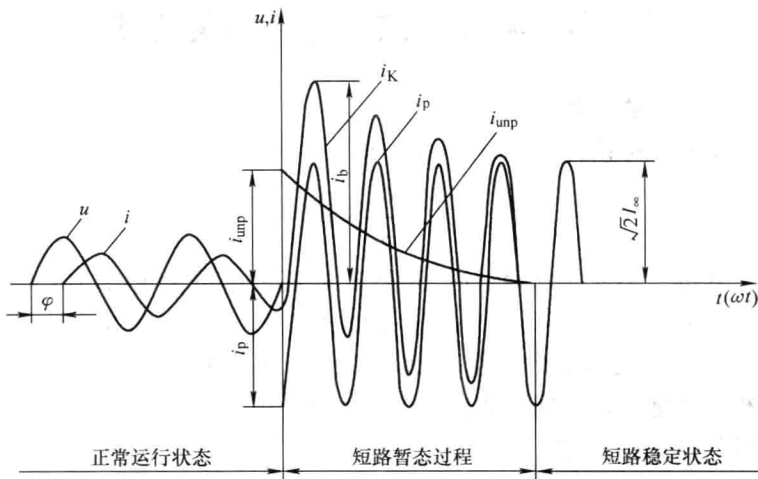


图 1-1 电网三相短路电流变化曲线

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 · 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）容量计算，并适当考虑电网未来 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 及以上高压电网的短路电流时, 一般将元件的电阻略去不计, 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的电阻、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都有影响。

6) 在计算某一电压级的短路电流时, 应用平均电压。

7) 在计算高压系统短路电流时, 一般采用标么值方法、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应控制在 16 ~ 20kA 之间, 则短路容量为 277 ~ 364 $MV \cdot A$, 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

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

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百分比, 取 u_K 值; 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 $S_N = 2500 \text{ kV} \cdot \text{A}$ ，阻抗电压 $u_k\% = 5.0\%$ ，负荷损耗 $\Delta P_k = 19.70 \text{ kW}$ ，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

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

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

(续)

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 $Z_T/\text{m}\Omega$
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
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 $S_N/\text{kV} \cdot \text{A}$	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	0.61	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可按式(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,一般取 0.9 ~ 1,容量较小(50kV·A)时取小值,容量较大(2500kV·A)时取大值; $u_K\%$ 为阻抗电压百分数; 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 $S_N = 1250kV \cdot A$,配电变压器低压侧相电流 $I_{ph \cdot 2} = I_{N2} = 1804A$,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成星形(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 ~ 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 $S_N = 1250kV \cdot A$,配电变压器低压侧额定电流 $I_{ph \cdot 2} = I_{N2} = 1804A$,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。

采用 Yyn0 联结的 10kV 配电变压器的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

导线、电缆的电阻按式（1-9）计算，即

$$R_L = R_{0L} L \tag{1-9}$$

式中， R_L 为导线、电缆的电阻，单位为 mΩ； R_{0L} 为导线、电缆单位长度电阻，单位为 mΩ/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 1-5。

表 1-5 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 1-6。

表 1-6 LGJ 型钢芯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} (温度为 $+70^\circ\text{C}$ 时) / ($\text{m}\Omega/\text{m}$) <	型号	标称截面积 S / mm^2	单位长度直流电阻 R_{0L} (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 1-7。

表 1-7 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 1-8。

表 1-8 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 $+70^\circ\text{C}$ 时) / ($\text{m}\Omega/\text{m}$) <	单位长度铝导体直流 电阻 R_{0L} (温度为 $+70^\circ\text{C}$ 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 $+70^\circ\text{C}$ 时) / ($\text{m}\Omega/\text{m}$) <	单位长度铝导体直流 电阻 R_{0L} (温度为 $+70^\circ\text{C}$ 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

导线、电缆的电抗按式 (1-10) 计算, 即

$$X_L = X_{0L}L \quad (1-10)$$

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 1-9。

表 1-9 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 (1-11) 计算, 即

$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} \quad (1-11)$$

五、母线阻抗的计算

母线的电阻按式 (1-12) 计算, 即

$$R_M = R_{0M}L \quad (1-12)$$

式中, R_M 为母线的电阻, 单位为 $\text{m}\Omega$; R_{0M} 为母线单位长度电阻, 单位为 $\text{m}\Omega/\text{m}$; L 为母线长度, 单位为 m 。

母线的电抗按式 (1-13) 计算, 即

$$X_M = X_{0M}L \quad (1-13)$$

式中, X_M 为母线的电抗, 单位为 $\text{m}\Omega$; X_{0M} 为母线单位长度电抗, 单位为 $\text{m}\Omega/\text{m}$; L 为母线长度, 单位为 m 。

母线的阻抗 ($\text{m}\Omega$) 按式 (1-14) 计算, 即

$$Z_M = \sqrt{R_M^2 + X_M^2} \quad (1-14)$$

三相母线单位长度电阻、电抗见表 1-10。

表 1-10 三相母线单位长度电阻、电抗

母线规格 ($a \times b$)/mm	温度为 +70℃ 时, 单位长度电阻 $R_{0M}/(\text{m}\Omega/\text{m})$		当相间中心距离 D 为下列 诸值时, 单位长度电抗 $X_{0M}/(\text{m}\Omega/\text{m})$			
	铜导体	铝导体	160mm	200mm	250mm	350mm
25 × 3	0.292	0.469	0.218	0.232	0.240	0.267
25 × 4	0.221	0.355	0.215	0.229	0.237	0.265
30 × 3	0.246	0.394	0.207	0.221	0.230	0.256
30 × 4	0.185	0.299	0.205	0.219	0.227	0.255