

变电设备

合理选择与运行检修

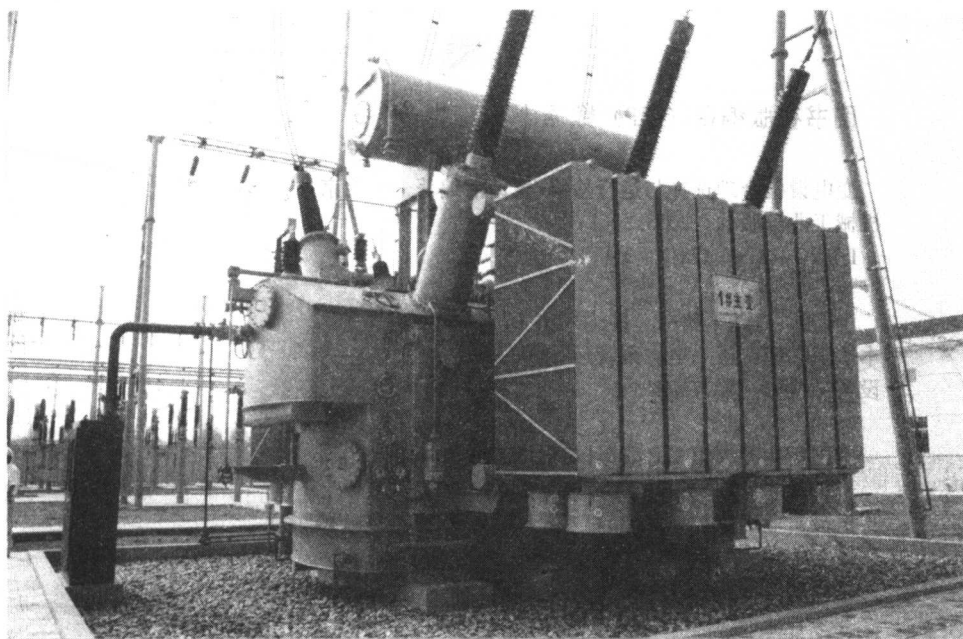
狄富清 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

变电设备合理选择 与运行检修

狄富清 编著



机械工业出版社

本书根据目前电网及企业厂矿变电所选用电气设备的现状及今后的发展趋势, 紧密结合生产建设实际, 全面系统地介绍了变电所短路电流的计算、电气主接线的选择、变压器的选择与运行检修, 高压电器选择的原则与校验, 六氟化硫(SF₆)断路器、组合电器(GIS)、真空断路器、操动机构、隔离开关、高压开关柜、母线、电流互感器、电压互感器、避雷器等高压电气设备的合理选择。并列举 35kV、110kV、220kV 变电所电气设备选择的实例, 同时介绍了相关高压电器的日常运行维护与检修等内容。

本书具有实用性强的特点。首先, 可供有关变配电工程设计人员、变电所运行检修电工参考; 其次, 对于供电企业电工、城乡工业企业电工、进网作业电工的日常工作也有一定的指导作用; 再次, 还可作为大专院校相关电力专业师生教学与学习的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

变电设备合理选择与运行检修/狄富清编著. —北京:
机械工业出版社, 2006.1
ISBN 7-111-17817-3

I. 变… II. 狄… III. ①变电所-电气设备-基本知识②变电所-电力系统运行③变电所-电气设备-检修 IV. TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 130141 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: 牛新国

责任编辑: 付承桂 版式设计: 霍永明 责任校对: 魏俊云
程俊巧

封面设计: 陈沛 责任印制: 洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2006 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16·39.5 印张·3 插页·1000 千字

0 001—4 000 册

定价: 69.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68326294
封面防伪标均为盗版

前 言

近年来,我国国民经济建设呈现出平稳较快发展的趋势,特别是国家西部地区的开发建设、沿海地区经济的高速发展、国家级经济技术开发区的规划建设、地方及民营经济的快速增长,促进了国家经济的全面发展以及全国人民生活水平的提高。由此带动了我国电力消费始终保持强劲增长态势,推动了电力工业的快速发展。

随着长江三峡电站的建设投运、西电东送的有效实施,500kV级电力网已经成为骨干网架,220kV级电力网逐步形成分层分区运行的电力网格局。全国电力网正在快速建设发展之中。在建中的某地 ± 500 kV直流输电工程输送电力将达到7200MW。仅位于苏南电网负荷中心某地,在建中的500kV变电所,主变总容量将达到4000MVA,220kV出线达16回,以便输配三峡送电负荷。由此可见,必将大量新建220kV及以下的输配电配套工程,采用新技术、选择新设备,确保电网变电所的安全经济运行、可靠供电,以满足社会经济发展和人民生活对电力的需求。

根据我国变电所目前现有电气设备状况及今后发展趋势,应首先生产选用新型号、低损耗、低噪声、免维护的电力变压器及单断口、自能式、弹簧操动机构、免维护的SF₆断路器及GIS组合电器。为此,该书重点介绍了220kV及以下、单台主变容量180MVA及以下变电所的短路电流计算、电气主接线选择,变压器、断路器、隔离开关、成套配电装置、互感器、母线、避雷器等变电设备的选择及相关设备的日常运行维护检修等内容。

该书资料翔实、图文并茂、技术设备先进,内容密切结合生产实际,实用性较强,并列有大量实用例题。最后给出35kV、110kV、220kV变电所电气设备的选择实例,为有关工程技术人员选择变电所的电气设备提供了大量的技术参考数据,同时也为变电所运行检修人员提供了相关设备的日常运行维护和检修等内容。

在该书编写的过程中,参考应用了江苏省电力设计院编印的《江苏110kV变电所典型设计》、《江苏220kV变电所典型设计》讲座资料与江苏省电力公司生产运营部编印的《变电设备管理与运行维护资料选编》、江苏省电力公司编印的《供电企业安全性评价标准及依据(试行)》第一册〈变电一次设备〉等内容。在该书的整个策划编写过程中,得到了江苏省溧阳市供电公司领导的大力支持和同志们们的热心帮助,机械工业出版社有关编辑也对本书给予了热情关注,并提出了不少宝贵的修改意见,本人在此一并深表衷心感谢。

由于本人水平所限,书中难免存在错误和不当之处,敬请读者批评指正。

作 者

2005年8月31日

目 录

前言

第一章 短路电流计算	1
第一节 概述及一般原则	1
第二节 电路元件有名值的计算	2
第三节 电路元件标么值的计算	14
第四节 有名值计算短路电流有效值	19
第五节 标么值计算短路电流有效值	21
第六节 短路功率法计算短路电流有效值	23
第七节 短路全电流冲击值和有效值的计算	30
第八节 短路电流计算举例	36
第二章 电气主接线的选择	44
第一节 电气主接线选择的原则和要求	44
第二节 电气主接线基本形式	46
第三节 变电所电气主接线选择举例	51
第三章 高压电器选择的原则与校验	79
第一节 一般原则与技术要求	79
第二节 变电设备绝缘配合的选择	87
第三节 高压断路器技术条件	99
第四节 高压电器短路稳定校验	109
第四章 变压器的选择与运行检修	112
第一节 变压器的工作原理与结构特点	112
第二节 主变压器容量和台数的选择	118
第三节 常用变压器型号的选择	121
第四节 变压器技术参数选择	135
第五节 变压器抗短路能力的选择	143
第六节 变压器电压调整的选择	145
第七节 变压器电压调整计算举例	154
第八节 变压器的运行方式	158
第九节 变压器的巡视检查	163
第十节 变压器异常运行和处理	166
第十一节 变压器的运行维护	169
第十二节 变压器的检修	174
第十三节 电力变压器的试验	180

第五章 SF₆ 断路器的选择	189
第一节 SF ₆ 断路器选择的一般原则	189
第二节 LW8—35A (T) 型 SF ₆ 断路器	197
第三节 LW16—35 型 SF ₆ 断路器	207
第四节 LW30—126 型 SF ₆ 断路器	211
第五节 LW36—126 型 SF ₆ 断路器	216
第六节 LTB72—170D1/B 型 SF ₆ 断路器	218
第七节 GL312—145 型 SF ₆ 断路器	220
第八节 3AP1FG—145 型 SF ₆ 断路器	228
第九节 LW30—252 型 SF ₆ 断路器	232
第十节 GL314—252 型 SF ₆ 断路器	234
第十一节 LTB245E1 型 SF ₆ 断路器	242
第十二节 SF ₆ 断路器的运行管理	243
第十三节 SF ₆ 断路器的检修	254
第六章 真空断路器的选择	257
第一节 真空断路器选择的一般原则	257
第二节 ZN12—10 型真空断路器	258
第三节 ZN28A—10 型真空断路器	261
第四节 ZN28G—12 型真空断路器	265
第五节 VS1—12 型真空断路器	270
第六节 ZN12—35 型真空断路器	275
第七节 ZW7—40.5 型户外真空断路器	278
第八节 真空断路器的运行维护与检修	279
第七章 组合电器的选择	285
第一节 组合电器的结构与特点	285
第二节 ZF10—126 (L) 型组合电器	286
第三节 ZF2—220 型组合电器	288
第四节 8D□型组合电器	289
第五节 组合电器的运行管理	293
第八章 操动机构的选择	296
第一节 操动机构选择的要求与种类	296
第二节 电磁操动机构	304

第三节	CT系列弹簧操动机构	305	第十一章 母线的选择	468	
第四节	FK3型弹簧操动机构	314	第一节	硬母线的选择	468
第五节	BLK型螺旋弹簧操动机构	316	第二节	软母线的选择	472
第六节	3AP1—FG—145型SF ₆ 断路器 操动机构	318	第三节	母线的稳定校验	476
第七节	操动机构的运行维护与 检修	319	第四节	母线选择举例	480
第九章 隔离开关的选择		322	第十二章 电流互感器的选择	486	
第一节	隔离开关选择的原则	322	第一节	电流互感器选择的原则	486
第二节	户内高压隔离开关	325	第二节	电流互感器的配置原则	489
第三节	FN16A—12 ^D _{RD} 型负荷开关	330	第三节	10kV电流互感器	494
第四节	GW4—40.5~126型隔离开关	335	第四节	35kV电流互感器	508
第五节	GW4—220D(W)型隔离开关	344	第五节	110kV电流互感器	516
第六节	GW17A— ¹²⁶ / ₂₅₂ 型隔离开关	347	第六节	220kV电流互感器	524
第七节	GW16A— ¹²⁶ / ₂₅₂ 型隔离开关	350	第七节	套管式电流互感器	528
第八节	SPO型和SPV型隔离开关	353	第八节	电流互感器选择举例	536
第九节	GW8、GW13型中性点隔离 开关	358	第九节	电流互感器的运行与维护	537
第十节	母线接地隔离开关	361	第十三章 电压互感器的选择	541	
第十一节	隔离开关的运行与检修	365	第一节	电压互感器选择的一般 原则	541
第十章 高压开关柜的选择		368	第二节	10kV电压互感器	544
第一节	高压开关柜选择的原则	368	第三节	35kV电压互感器	554
第二节	GG—1A(F1)型固定式开 关柜	372	第四节	油浸式电压互感器	558
第三节	XGN2—10型固定式开关柜	383	第五节	电容式电压互感器	561
第四节	JYN2—10型移开式开关柜	394	第六节	电压互感器的运行管理	569
第五节	KYN□—12型移开式开关柜	401	第十四章 避雷器的选择	573	
第六节	HXGN1A—10型环网柜	409	第一节	避雷器的特点与结构	573
第七节	HXGN6—10(F、R)型环 网柜	417	第二节	避雷器的配置原则	575
第八节	JGN2□—40.5型固定式开 关柜	420	第三节	氧化锌避雷器的技术参数	577
第九节	JYN1—40.5型移开式开关柜	434	第四节	避雷器的选择计算	581
第十节	KYN10—40.5型移开式开 关柜	448	第五节	避雷器的运行管理	585
第十一节	ZZK□—40.5型中置式开 关柜	455	第十五章 变电所电气设备选择 举例	587	
第十二节	高压开关柜选择举例	462	第一节	35/10kV变电所电气设备选择 举例	587
第十三节	高压开关柜的安装运行 和维修	465	第二节	110/10kV变电所电气设备选择 举例	590
			第三节	110/35/10kV变电所电气设备 选择举例	597
			第四节	220/110/35kV变电所电气设备 选择举例	607
			参考文献	626	

第一章 短路电流计算

第一节 概述及一般原则

一、概述

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，通常把电源容量视为无穷大的电力系统。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。

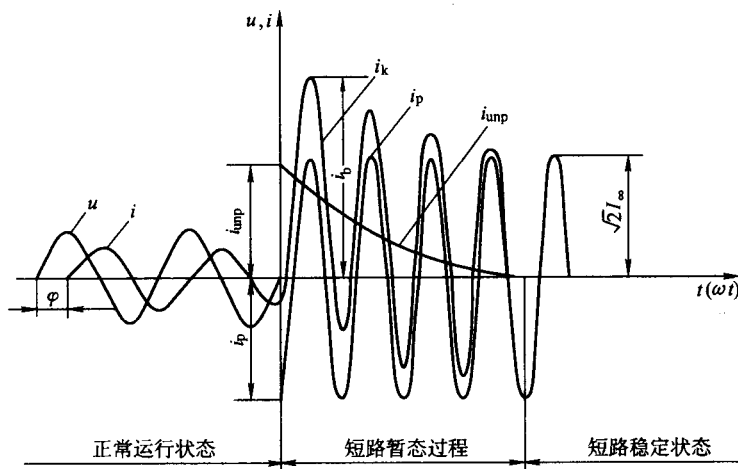


图 1-1 电网三相短路电流变化曲线

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 MVA。

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，应按本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，如变电所一般应以 2

台或3台主变压器（简称主变）容量计算，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接线方式进行计算。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、电流互感器的一次绕组、自动开关的过电流线圈及自动开关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) 计算某一电压级的短路电流时，应用平均电压。

(7) 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以下低压电网的短路电流时，一般采用有名值方法计算，即电压V，电流kA，电阻m Ω 。

第二节 电路元件有名值的计算

在计算电力系统短路电流时，首先应对短路回路中高压系统、变压器、线路、开关设备等电路元件的电阻进行计算。

一、电力系统电抗的计算

电力系统中高压侧电抗可按式(1-1)计算

$$X = \frac{U_N^2}{S_K} \quad (1-1)$$

式中 X ——电力系统电抗，单位为 Ω ；

U_N ——电力系统额定电压，单位为kV；电力系统额定电压为10kV、35kV、110kV、220kV；

S_K ——电力系统短路容量，单位为MVA。

电力系统短路容量见表1-1。或者从供电系统查得上一级电压出线断路器的短路容量。

表1-1 电力系统短路容量

额定电压/kV	短路电流/kA	短路容量/MVA	系统电抗/ Ω
10	16	276	0.362 3
35	16	968	1.265 4
110	20	3 806	3.179 1
220	40	15 224	3.179 1

【例1-1】某10kV配电变压器，其高压侧的短路电流为16kA，短路容量为276MVA，试计算高压系统电抗。

解：根据式 (1-1) 算得高压系统电抗为

$$X = \frac{U_N^2}{S_K} = \frac{10^2}{276} \Omega = 0.362 \text{ } 3\Omega$$

按同样方法算得 35kV、110kV、220kV 系统电抗值见表 1-1。

二、双绕组变压器阻抗计算

变压器的负载损耗可按式 (1-2) 计算，即

$$\Delta P_K = 3I_N^2 R \quad (1-2)$$

则变压器的每相电阻为

$$R_T = \frac{\Delta P_K}{3I_N^2} \quad (1-3)$$

变压器相对额定时的电阻可按式 (1-4) 计算，即

$$R_T \% = R \frac{S_N}{U_N^2} = \frac{\Delta P_K}{3I_N^2} \times \frac{S_N}{U_N^2} = \frac{\Delta P_K}{S_N} \times 100\% \quad (1-4)$$

由式 (1-5) 求得变压器的每相电阻为

$$R_T = \frac{R \% U_N^2}{S_N} \times 10^6 = \frac{\Delta P U_N^2}{S_N^2} \times 10^6 \quad (1-5)$$

式中 R_T ——变压器每相电阻，单位为 $m\Omega$ ；

ΔP_K ——变压器的负载损耗，单位为 kW；

I_N ——变压器的二次额定电流，单位为 A；

S_N ——变压器的额定容量，单位为 kVA；

U_N ——变压器的二次额定电压，单位为 kV。

变压器的相对电抗可按式 (1-6) 计算，即

$$X \% = \sqrt{(u_K \%)^2 - (R \%)^2} \quad (1-6)$$

变压器的电抗可按式 (1-7) 计算，即

$$X_T = \frac{u_K \% U_N^2}{100 S_N} \times 10^6 \quad (1-7)$$

式中 X_T ——变压器的电抗，单位为 $m\Omega$ ；

$u_K \%$ ——变压器的阻抗电压，单位为 %。

变压器的阻抗为

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (1-8)$$

变压器的正序和负序电阻、电抗为

$$R_1 = R_2 = R_T \quad (1-9)$$

$$X_1 = X_2 = X_T \quad (1-10)$$

变压器的零序电阻、电抗，与变压器的接线方式有关。配电变压器一般采用 Yyn 接线，此时低压侧短路，零序电流可以在低压侧通过，但零序磁通必须经绝缘介质和油箱构成回路，磁阻很大，零序励磁电流也很大，此时， $R_0(m\Omega)$ 、 $X_0(m\Omega)$ 可近似计算为

$$R_0 \approx 0.5R_1 \quad (1-11)$$

$$X_0 \approx 0.3 \frac{U_{ph}}{I_{ph}} \times 10^3 \quad (1-12)$$

式中 U_{ph} ——额定相电压，单位为 V；

I_{ph} ——额定相电流，单位为 A。

变压器的时间常数为

$$T_f = \frac{X}{314R} \quad (1-13)$$

【例 1-2】 已知一台 S9—1600/10 型配电变压器，其电压比为 10/0.4kV，负载损耗 $\Delta P_K = 14.5\text{kW}$ ，阻抗电压 $u_K\% = 4.5\%$ 。试计算变压器每相电阻及电抗值。

解：每相电阻按式 (1-5) 计算得

$$R_T = \frac{\Delta P_K U_N^2}{S_N^2} \times 10^6 = \frac{14.5 \times 0.4^2 \times 10^6}{1600^2} \text{m}\Omega = 0.906 \text{m}\Omega$$

每相相对的电阻、电抗按式 (1-4)、式 (1-6) 计算得

$$R\% = \frac{\Delta P_K}{S_N} \times 100\% = \frac{14.5}{1600} \times 100\% = 0.90\%$$

$$X\% = \sqrt{(u_K\%)^2 - (R\%)^2} = \sqrt{(4.5\%)^2 - (0.90\%)^2} = 4.41\%$$

按式 (1-7) 计算电抗值为

$$X = \frac{X\% U_N^2 10^6}{100 S_N} = \frac{4.41 \times 0.4^2 \times 10^6}{100 \times 1600} \text{m}\Omega = 4.41 \text{m}\Omega$$

由式 (1-9)、式 (1-10) 计算变压器的正序和负序电阻、电抗值为

$$R_1 = R_2 = R = 0.906 \text{m}\Omega$$

$$X_1 = X_2 = X = 4.41 \text{m}\Omega$$

变压器的零序电阻由式 (1-11) 算得

$$R_0 = 0.5R_1 = 0.5 \times 0.906 \text{m}\Omega = 0.453 \text{m}\Omega$$

变压器的零序电抗由式 (1-12) 算得 (其中相电流查表 1-2 得 $I_{ph} = 2312.14\text{A}$)

$$X_0 = 0.3 \frac{U_{ph}}{I_{ph}} \times 10^3 = 0.3 \times \frac{400}{\sqrt{3} \times 2312.14} \times 10^3 \text{m}\Omega = 30.00 \text{m}\Omega$$

变压器的时间常数由式 (1-13) 算得

$$T_f = \frac{X}{314R} = \frac{4.41}{314 \times 0.906} \text{s} = 0.0154 \text{s}$$

按上述方法同样算得 10/0.4kV S9 型无励磁变压器有关技术参数见表 1-2，10/0.4kV SC 型环氧树脂浇注干式变压器有关技术参数见表 1-3，35kV S9 型无励磁调压变压器有关技术参数见表 1-4、表 1-5，35kV SZ9 型有载调压变压器有关技术参数见表 1-6，110kV SZ9 型有载调压变压器有关技术参数见表 1-7。

表 1-2 10kV S9 型无励磁调压变压器技术参数

额定容量/ kVA	额定电压/ kV		额定电流/ A		损耗/ kW		阻抗电压 (%)			绕组阻抗/(mΩ/相)				标么值			时间 常数/ s
	一次	二次	一次	二次	空载	负载	U_d	U_R	U_X	电阻		电抗		Z_*	X_*	R_*	
										正序	零序	正序	零序				
30	10	0.4	1.73	43.35	0.13	0.60	4	2.00	3.46	106.66	53.33	184.53	1 600.09	133.33	115.46	66.67	0.005 5
50	10	0.4	2.89	72.25	0.17	0.87	4	1.74	3.60	55.68	27.84	115.20	960.06	80.00	72.03	34.80	0.006 6
63	10	0.4	3.64	91.04	0.20	1.04	4	1.65	3.64	41.92	20.96	92.44	761.91	63.49	60.41	19.53	0.007 0
80	10	0.4	4.62	115.61	0.24	1.25	4	1.56	3.68	31.25	15.63	73.60	599.98	50.00	42.59	26.20	0.007 5
100	10	0.4	5.78	144.51	0.29	1.50	4	1.50	3.71	24.00	12.00	59.36	479.99	40.00	37.08	15.00	0.007 8
125	10	0.4	7.23	180.63	0.34	1.80	4	1.44	3.73	18.43	9.22	47.74	384.01	32.00	29.85	11.52	0.008 2
160	10	0.4	9.25	231.21	0.40	2.20	4	1.37	3.76	13.75	6.87	37.60	300.00	25.00	23.48	8.59	0.008 7
200	10	0.4	11.56	289.02	0.48	2.60	4	1.30	3.78	10.40	5.20	30.24	239.99	20.00	18.91	6.50	0.009 3
250	10	0.4	14.45	361.27	0.56	3.05	4	1.22	3.81	7.81	3.90	24.38	192.00	16.00	15.23	4.88	0.009 9
315	10	0.4	18.21	455.20	0.67	3.65	4	1.16	3.83	5.88	2.94	19.45	152.38	12.69	12.14	3.68	0.010 5
400	10	0.4	23.12	578.03	0.80	4.30	4	1.08	3.85	4.30	2.15	15.40	120.00	10.00	9.63	2.68	0.011 4
500	10	0.4	28.90	722.54	0.96	5.15	4	1.03	3.86	3.29	1.65	12.35	96.00	8.00	7.73	2.06	0.011 9
630	10	0.4	36.42	910.40	1.20	6.20	4.5	0.98	4.39	2.49	1.25	11.15	76.19	7.14	6.96	1.56	0.014 3
800	10	0.4	46.24	1 156.06	1.40	7.50	4.5	0.93	4.40	1.88	0.94	8.80	60.00	5.63	5.51	1.17	0.014 9
1 000	10	0.4	57.80	1 445.08	1.70	10.30	4.5	1.03	4.38	1.65	0.83	7.01	48.00	4.50	4.38	1.03	0.013 5
1 250	10	0.4	72.25	1 806.36	1.95	12.00	4.5	0.96	4.39	1.23	0.61	5.62	38.39	3.60	3.52	0.77	0.014 5
1 600	10	0.4	92.48	2 312.14	2.40	14.50	4.5	0.91	4.40	0.91	0.45	4.41	29.99	2.81	2.75	0.57	0.015 4

表 1-3 10kV SC 型环氧树脂浇注干式变压器技术参数

额定容量/ kVA	额定电压/ kV		额定电流/ A		损耗/ kW		阻抗电压 (%)			绕组阻抗/(mΩ/相)				标么值			时间 常数/ s
	一次	二次	一次	二次	空载	负载	U_d	U_R	U_X	电阻		电抗		Z_*	X_*	R_*	
										正序	零序	正序	零序				
30	10	0.4	1.73	43.35	0.24	0.56	4	1.86	3.54	99.55	49.77	188.80	1 600.09	118.00	100.26	62.22	0.006 0
50	10	0.4	2.89	72.25	0.32	1.10	4	2.20	3.34	70.40	25.20	106.88	960.05	66.80	50.26	44.00	0.004 8
80	10	0.4	4.62	115.60	0.33	1.50	4	1.87	3.53	37.50	18.75	70.60	600.03	44.13	37.39	23.44	0.005 9
100	10	0.4	5.78	144.50	0.38	1.70	4	1.70	3.62	27.20	13.60	57.92	480.03	36.20	31.96	17.00	0.006 7
125	10	0.4	7.22	180.63	0.38	2.00	4	1.60	3.66	20.48	10.24	46.84	384.01	29.28	26.33	12.80	0.007 2
160	10	0.4	9.24	231.21	0.55	2.10	4	1.31	3.77	13.12	6.56	37.70	300.00	23.56	22.09	8.20	0.009 1
200	10	0.4	11.56	289.01	0.60	2.60	4	1.30	3.78	10.40	5.20	30.24	240.00	18.90	17.75	6.50	0.009 3
250	10	0.4	14.45	361.27	0.79	2.70	4	1.08	3.85	6.91	3.45	24.64	192.00	15.40	14.78	4.32	0.011 4
315	10	0.4	18.20	455.20	0.84	3.25	4	1.03	3.86	5.24	2.62	19.60	152.38	12.25	11.80	3.28	0.011 9
400	10	0.4	23.12	578.03	0.95	3.60	4	0.90	3.89	3.60	1.80	15.56	120.00	9.73	9.47	2.25	0.013 7
500	10	0.4	28.90	722.54	1.20	4.00	4	0.80	3.91	2.56	1.28	12.51	96.00	7.82	7.65	1.60	0.015 6
630	10	0.4	36.41	910.40	1.50	6.20	4	0.98	3.87	2.49	1.24	9.82	76.19	6.14	5.94	1.56	0.012 5

(续)

额定容量/ kVA	额定电压/ kV		额定电流/ A		损耗/ kW		阻抗电压 (%)			绕组阻抗/(mΩ/相)				标么值			时间 常数/ s
	一次	二次	一次	二次	空载	负载	U_d	U_R	U_X	电阻		电抗		Z_*	X_*	R_*	
										正序	零序	正序	零序				
800	10	0.4	46.24	1 156.06	1.50	8.95	6	1.12	5.89	2.23	1.11	11.78	60.00	7.36	7.23	1.39	0.016 8
1 000	10	0.4	57.80	1 445.08	2.00	9.10	6	0.91	5.93	1.45	0.72	9.48	48.00	5.93	5.86	0.91	0.020 8
1 250	10	0.4	72.25	1 806.35	2.30	11.30	6	0.90	5.93	1.15	0.57	7.59	38.40	4.74	4.66	0.72	0.021 0
1 600	10	0.4	92.48	2 312.13	2.80	13.70	6	0.85	5.94	0.85	0.42	5.94	30.00	3.71	3.67	0.54	0.022 2
2 000	10	0.4	115.60	2 890.17	3.50	16.30	6	0.81	5.94	0.65	0.32	4.75	24.00	2.97	2.94	0.41	0.023 3
2 500	10	0.4	144.50	3 612.71	3.70	18.80	6	0.75	5.95	0.48	0.24	3.80	19.20	2.38	2.36	0.30	0.025 2

表 1-4 35kV S9 型无励磁调压变压器技术参数

额定容量/ kVA	额定电压/ kV		额定电流/ A		损耗/ kW		阻抗电压 (%)			绕组阻抗/(mΩ/相)				标么值			时间 常数/ s
	一次	二次	一次	二次	空载	负载	U_d	U_R	U_X	电阻		电抗		Z_*	X_*	R_*	
										正序	零序	正序	零序				
50	35	0.4	0.82	72.25	0.21	1.22	6.5	2.440 0	6.024 6	78.08	39.04	192.78	960.05	130.00	120.49	48.80	0.007 9
100	35	0.4	1.65	144.50	0.30	2.03	6.5	2.030 0	6.174 8	32.48	16.24	98.79	480.03	65.00	61.75	20.30	0.009 7
125	35	0.4	2.06	180.63	0.34	2.39	6.5	1.912 0	6.212 4	24.47	12.23	79.51	384.01	52.00	49.70	15.29	0.010 4
160	35	0.4	2.64	231.21	0.38	2.84	6.5	1.775 0	6.252 9	17.75	8.87	62.53	300.00	40.62	39.08	11.09	0.011 3
200	35	0.4	3.30	289.02	0.44	3.33	6.5	1.665 0	6.283 1	13.32	6.66	50.26	239.99	32.50	31.41	8.33	0.012 1
250	35	0.4	4.13	361.27	0.51	3.96	6.5	1.584 0	6.304 0	10.14	5.07	40.35	192.00	26.00	25.22	6.33	0.012 7
315	35	0.4	5.20	455.20	0.61	4.77	6.5	1.514 3	6.321 1	7.69	3.84	32.11	152.38	20.63	20.06	4.81	0.013 3
400	35	0.4	6.61	578.03	0.74	5.76	6.5	1.440 0	6.338 5	5.76	2.88	25.35	120.00	16.25	15.84	3.60	0.014 1
500	35	0.4	8.26	722.54	0.86	6.93	6.5	1.386 0	6.350 5	4.43	2.21	20.32	96.00	13.00	12.70	2.77	0.014 6
630	35	0.4	10.40	910.40	1.04	8.28	6.5	1.314 3	6.365 7	3.34	1.67	16.17	76.19	10.31	10.09	2.08	0.015 5
800	35	0.4	13.21	1 156.07	1.23	9.99	6.5	1.248 8	6.378 9	2.49	1.24	12.76	59.99	8.12	7.97	1.56	0.016 4
1 000	35	0.4	16.51	1 445.08	1.44	12.15	6.5	1.215 0	6.385 4	1.94	0.97	10.22	48.00	6.50	6.39	1.21	0.016 8
1 250	35	0.4	20.64	1 806.36	1.76	14.67	6.5	1.173 6	6.409 0	1.50	0.75	8.20	38.39	5.20	5.11	0.94	0.017 4
1 600	35	0.4	26.42	2 312.13	2.12	17.55	6.5	1.096 8	6.415 1	1.09	0.54	6.41	30.00	4.06	4.00	0.68	0.018 8

表 1-5 35kV S9 型无励磁调压变压器技术参数

额定容量/ kVA	额定电压/ kV		额定电流/ A		损耗/ kW		阻抗电压 (%)			绕组阻抗/(mΩ/相)				标么值			时间 常数/ s
	一次	二次	一次	二次	空载	负载	U_d	U_R	U_X	电阻		电抗		Z_*	X_*	R_*	
										正序	零序	正序	零序				
800	35	10.5	13.21	44.04	1.23	9.9	6.5	1.23	6.38	170 5.43	852.72	8 792.43	41 344	8.125	7.976 3	1.546 9	0.016 4
1 000	35	10.5	16.51	55.05	1.44	12.2	6.5	1.22	6.38	134 5.05	672.53	7 033.95	33 075	6.50	6.384 4	1.220 0	0.016 6
1 250	35	10.5	20.64	68.81	1.76	14.7	6.5	1.17	6.39	103 7.23	518.62	5 635.98	26 461	5.20	5.114 2	0.940 8	0.017 3
1 600	35	10.5	26.42	88.08	2.12	17.6	6.5	1.10	6.41	757.97	378.98	4 416.89	20 672	4.06	4.001 4	0.6875	0.018 5
2 000	35	10.5	33.03	110.10	2.72	17.8	6.5	0.89	6.44	490.61	245.31	3 550.05	16 538	3.25	3.219 4	0.445 0	0.023 0

(续)

额定容量/ kVA	额定电压/ kV		额定电流/ A		损耗/ kW		阻抗电压 (%)			绕组阻抗/(mΩ/相)				标么值			时间常数/ s
	一次	二次	一次	二次	空载	负载	U_d	U_R	U_x	电阻		电抗		Z_*	X_*	R_*	
										正序	零序	正序	零序				
2 500	35	10.5	41.29	137.63	3.20	18.4	6.5	0.74	6.46	324.58	162.29	2 848.86	13 229	2.60	2.583 2	0.294 4	0.027 9
3 150	35	10.5	52.02	173.41	3.80	24.3	7.0	0.77	6.96	270.00	135.00	2 436.00	10 500	2.22	2.20 65	0.244 9	0.028 7
4 000	35	10.5	66.06	220.20	4.52	28.8	7.0	0.72	6.96	198.45	99.23	1 918.35	8 268	1.75	1.740 7	0.180 0	0.030 8
5 000	35	10.5	82.58	275.25	5.40	33.0	7.0	0.66	6.97	145.53	72.77	1 536.88	6 615	1.40	1.393 7	0.132 0	0.033 6
6 300	35	10.5	104.05	346.82	6.56	36.9	7.5	0.59	7.46	102.50	51.25	1 305.50	5 250	1.19	1.186 4	0.092 9	0.040 5
8 000	35	10.5	132.12	440.41	9.20	40.5	7.5	0.51	7.48	69.77	34.88	1 030.83	4 134	0.94	0.937 8	0.063 3	0.047 0
10 000	35	10.5	165.15	550.51	10.88	47.7	7.5	0.48	7.48	52.59	26.29	824.67	3 307	0.75	0.748 4	0.047 7	0.049 9
12 500	35	10.5	206.44	688.14	12.80	56.7	8.0	0.45	7.98	40.00	20.00	703.83	2 646	0.64	0.638 9	0.036 3	0.056 0
16 000	35	10.5	264.24	880.81	15.20	69.3	8.0	0.43	7.99	29.84	14.92	550.56	2 067	0.50	0.499 3	0.027 1	0.058 7
20 000	35	10.5	330.31	1101.02	18.00	83.7	8.0	0.42	7.99	23.07	11.53	440.45	1 653	0.40	0.399 4	0.020 9	0.060 8
25 000	35	10.5	412.88	1 376.27	21.28	99.0	8.0	0.39	7.99	17.46	8.73	352.36	1 323	0.32	0.319 6	0.015 8	0.064 3
31 500	35	10.5	520.23	1 734.10	25.28	118.8	8.0	0.38	7.99	13.20	6.60	279.65	1 050	0.25	0.249 7	0.011 9	0.067 5

表 1-6 35kV SZ9 型有载调压变压器技术参数

额定容量/ kVA	额定电压/ kV		额定电流/ A		损耗/ kW		阻抗电压 (%)			绕组阻抗/(mΩ/相)				标么值			时间常数/ s
	一次	二次	一次	二次	空载	负载	U_d	U_R	U_x	电阻		电抗		Z_*	X_*	R_*	
										正序	零序	正序	零序				
1 000	35	0.4	16.52	1 445.08	1.55	12.78	6.5	1.278 0	6.373 1	2.044 8	1.02	10.19	48	6.500 0	6.373 1	1.278 0	0.015 8
1 250	35	0.4	20.64	1 806.36	1.88	15.41	6.5	1.232 8	6.382 0	1.577 9	0.79	8.17	38	5.200 0	5.105 6	0.986 2	0.016 5
1 600	35	0.4	26.42	2 312.14	2.40	18.40	6.5	1.150 0	6.397 4	1.150 0	0.58	6.39	30	4.062 5	3.998 4	0.718 7	0.017 6
2 000	35	0.4	33.03	2 890.17	2.88	18.72	6.5	0.936 0	6.432 2	0.748 8	0.37	5.15	24	3.250 0	3.216 1	0.468 0	0.021 9
1 600	35	10.5	26.42	88.08	2.40	18.40	6.5	1.115 0	6.403 6	792.42	396.21	4 412.48	20 672	4.062 5	3.998 4	0.718 7	0.017 7
2 000	35	10.5	33.03	110.10	2.88	18.40	6.5	0.920 0	6.434 5	507.15	253.57	3 547.02	16 537	3.250 0	3.217 3	0.460 0	0.022 3
2 500	35	10.5	41.29	137.63	3.40	19.32	6.5	0.772 8	6.453 8	340.80	170.40	2 846.13	13 229	2.600 0	2.581 5	0.309 1	0.026 5
3 150	35	10.5	52.02	173.41	4.04	26.01	7.0	0.825 7	6.951 1	289.00	144.50	2 432.88	10 500	2.222 2	2.206 7	0.262 1	0.026 8
4 000	35	10.5	66.06	220.20	4.84	30.69	7.0	0.767 2	6.957 8	211.47	105.73	1 917.74	8 269	1.750 0	1.739 5	0.191 8	0.028 8
5 000	35	10.5	82.58	275.25	5.80	36.00	7.0	0.720 0	6.962 8	158.76	79.38	1 535.29	6 615	1.400 0	1.392 6	0.144 0	0.030 8
6 300	35	10.5	104.05	346.82	7.04	38.70	7.5	0.614 3	7.474 8	107.50	53.75	1 308.09	5 250	1.190 4	1.186 4	0.097 5	0.038 7
8 000	35	10.5	132.12	440.41	9.84	42.75	7.5	0.534 3	7.480 9	73.64	36.82	1 030.96	4 134	0.937 5	0.935 1	0.066 7	0.044 6
10 000	35	10.5	165.15	550.50	11.60	50.58	8.0	0.505 8	7.983 9	55.76	27.88	880.22	3 307	0.800 0	0.798 4	0.050 6	0.050 2
12 500	35	10.5	206.44	688.14	13.68	59.85	8.0	0.478 8	7.985 6	42.23	21.12	704.33	2 645	0.640 0	0.638 8	0.038 3	0.053 1
16 000	35	10.5	264.24	880.81	15.80	73.20	8.0	0.457 5	7.986 9	31.44	15.72	550.34	2 067	0.500 0	0.499 2	0.028 5	0.055 7
20 000	35	10.5	330.31	1 101.01	20.15	91.00	8.7	0.455 0	8.688 0	25.08	12.54	478.93	1 653	0.435 0	0.434 4	0.022 7	0.060 1

表 1-7 110kV SZ9 型有载调压变压器技术参数

额定容量/ kVA	额定电压/ kV		额定电流/ A		损耗/ kW		阻抗电压 (%)			绕组阻抗/(mΩ/相)				标么值			时间常数/ s				
	一次	二次	一次	二次	空载	负载	U_d	U_R	U_x	电阻		电抗		Z_*	X_*	R_*					
										正序	零序	正序	零序								
6 300	110	10.5	33.11	346.82	7.6	36.9	10.5	0.59	10.483	4	102.50	51.25	1 834.59	5	250.01	1.67	1.667	4	0.092	9	0.057
8 000	110	10.5	42.04	440.41	9.1	45.0	10.5	0.56	10.485	1	77.52	38.76	1 444.98	4	134.35	1.31	1.308	1	0.070	3	0.059
10 000	110	10.5	52.55	550.51	11.0	53.1	10.5	0.53	10.486	6	58.54	29.27	1 156.15	3	307.49	1.05	1.048	7	0.053	0	0.063
12 500	110	10.5	65.69	688.14	12.7	63.0	10.5	0.50	10.488	1	44.45	22.23	925.05	2	645.98	0.84	0.839	0	0.040	3	0.066
16 000	110	10.5	84.08	880.81	15.4	77.4	10.5	0.48	10.489	0	33.33	16.67	722.76	2	067.19	0.66	0.659	3	0.030	2	0.069
20 000	110	10.5	105.09	1 101.02	18.2	93.6	10.5	0.47	10.489	5	25.79	12.89	578.23	1	653.74	0.53	0.529	4	0.023	4	0.071
25 000	110	10.5	131.37	1 376.27	21.2	110.7	10.5	0.44	10.490	7	19.53	9.77	462.64	1	323.00	0.42	0.419	6	0.017	7	0.075
31 500	110	10.5	165.53	1 734.10	25.6	133.2	10.5	0.42	10.491	5	14.80	7.40	367.20	1	050.00	0.33	0.329	7	0.013	4	0.079
40 000	110	10.5	210.19	2 202.04	30.7	156.6	10.5	0.39	10.492	7	10.79	5.39	289.21	8	26.87	0.26	0.259	8	0.009	7	0.085
50 000	110	10.5	262.74	2 752.55	36.3	194.4	10.5	0.38	10.493	1	8.57	4.29	231.37	6	61.49	0.21	0.209	8	0.007	8	0.085
63 000	110	10.5	331.06	3 468.21	43.3	234.0	10.5	0.37	10.493	5	6.50	3.25	183.63	5	24.99	0.17	0.169	8	0.005	9	0.089

三、三绕组变压器阻抗的计算

1. 电阻的计算

如果三绕组变压器每侧绕组容量比为 100/100/100, 已知三个绕组两两作短路试验时测得的负载损耗为 $\Delta P_{K_{1,2}}$ 、 $\Delta P_{K_{1,3}}$ 、 $\Delta P_{K_{2,3}}$, 因为

$$\Delta P_{K_{1,2}} = \Delta P_{K_1} + \Delta P_{K_2}$$

$$\Delta P_{K_{2,3}} = \Delta P_{K_2} + \Delta P_{K_3}$$

$$\Delta P_{K_{1,3}} = \Delta P_{K_1} + \Delta P_{K_3}$$

则求解可得

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{K_1} &= \frac{1}{2} (\Delta P_{K_{1,2}} + \Delta P_{K_{1,3}} - \Delta P_{K_{2,3}}) \\ \Delta P_{K_2} &= \frac{1}{2} (\Delta P_{K_{1,2}} + \Delta P_{K_{2,3}} - \Delta P_{K_{1,3}}) \\ \Delta P_{K_3} &= \frac{1}{2} (\Delta P_{K_{1,3}} + \Delta P_{K_{2,3}} - \Delta P_{K_{1,2}}) \end{aligned} \right\} \quad (1-14)$$

根据绕组的负载损耗, 可按式 (1-15) 计算出变压器各绕组的电阻值, 即

$$\left. \begin{aligned} R_{T_1} &= \frac{\Delta P_{K_1} U_N^2}{S_N^2} \times 10^6 \\ R_{T_2} &= \frac{\Delta P_{K_2} U_N^2}{S_N^2} \times 10^6 \\ R_{T_3} &= \frac{\Delta P_{K_3} U_N^2}{S_N^2} \times 10^6 \end{aligned} \right\} \quad (1-15)$$

式中 R_{T_1} 、 R_{T_2} 、 R_{T_3} ——变压器每个绕组的电阻值, 单位为 mΩ;

ΔP_{K_1} 、 ΔP_{K_2} 、 ΔP_{K_3} ——变压器每个绕组的负载损耗，单位为 kW；

S_N ——变压器的额定容量，单位为 kVA；

U_N ——归算到变压器高压侧电压，单位为 kV。

如果变压器绕组 1、2 的容量等于变压器的额定容量，而绕组 3 的容量小于额定容量时，此时 $\Delta P_{K_{2,3}}$ 和 $\Delta P_{K_{1,3}}$ 应按式 (1-16) 归算到变压器的额定容量，即

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{K_{2,3}} &= \Delta P'_{K_{2,3}} \left(\frac{S_N}{S_{N_3}} \right)^2 \\ \Delta P_{K_{1,3}} &= \Delta P'_{K_{1,3}} \left(\frac{S_N}{S_{N_3}} \right)^2 \end{aligned} \right\} \quad (1-16)$$

如果已知一个最大的负载损耗 ΔP_K 时，变压器的容量比为 100/100/100 时，因各绕组容量相等，则归算到同一电压的电阻也相等，假使第 1 绕组满载，第 2 或第 3 绕组空载，此时负载损耗最大，各绕组电阻值相等，即

$$R_{T_1} = R_{T_2} = R_{T_3} = R_{T_{100}}$$

则变压器各绕组的电阻可按式 (1-17) 计算，即

$$R_{T_{100}} = \frac{1}{2} \times \frac{\Delta P_K U_N^2}{S_N^2} \times 10^6 \quad (1-17)$$

式中 $R_{T_{100}}$ ——变压器容量为 100% 时的等值电阻，单位为 $m\Omega$ ；

ΔP_K ——变压器最大负载损耗，单位为 kW；

U_N ——归算到同侧时变压器额定电压，单位为 kV；

S_N ——变压器额定容量，单位为 kVA。

2. 电抗值的计算

已知变压器两两绕组 $u_{K_{1,2}}\%$ 、 $u_{K_{1,3}}\%$ 、 $u_{K_{2,3}}\%$ 的阻抗电压，则变压器每侧绕组电抗可按式 (1-18) 计算，即

$$\left. \begin{aligned} u_{K_1}\% &= \frac{1}{2} (u_{K_{1,2}}\% + u_{K_{1,3}}\% - u_{K_{2,3}}\%) \\ u_{K_2}\% &= \frac{1}{2} (u_{K_{1,2}}\% + u_{K_{2,3}}\% - u_{K_{1,3}}\%) \\ u_{K_3}\% &= \frac{1}{2} (u_{K_{2,3}}\% + u_{K_{1,3}}\% - u_{K_{1,2}}\%) \end{aligned} \right\} \quad (1-18)$$

变压器各绕组的等值电抗可按式 (1-19) 计算，即

$$\left. \begin{aligned} X_{T_1} &= \frac{u_{K_1}\% U_N^2}{100 S_N} \times 10^6 \\ X_{T_2} &= \frac{u_{K_2}\% U_N^2}{100 S_N} \times 10^6 \\ X_{T_3} &= \frac{u_{K_3}\% U_N^2}{100 S_N} \times 10^6 \end{aligned} \right\} \quad (1-19)$$

式中 X_{T_1} 、 X_{T_2} 、 X_{T_3} ——变压器的各绕组电阻，单位为 $m\Omega$ ；

U_N ——归算到一侧变压器的额定电压，单位为 kV ；

S_N ——变压器的额定容量，单位为 kVA 。

【例 1-3】某变电所安装 1 台 OSFPS9—120000/220 型自耦变压器，额定电压为 $220 \pm 2 \times 2.5/121/38.5/11.5kV$ ，容量比为 $120\ 000/120\ 000/60\ 000/40\ 000kVA$ ，阻抗电压为 $u_{K_{1,2}}\% = 8.57\%$ ， $u_{K_{1,3}}\% = 32.72\%$ ， $u_{K_{2,3}}\% = 22.03\%$ ，负载损耗为 $\Delta P_{K_{1,2}} = 280kW$ ， $\Delta P_{K_{1,3}} = 257.84kW$ ， $\Delta P_{K_{2,3}} = 264.97kW$ 。试计算该变压器绕组的阻抗值。

解：①电阻的计算 首先按式 (1-16) 将变压器损耗 $\Delta P_{K_{2,3}}$ 、 $\Delta P_{K_{1,3}}$ 归算到变压器的额定容量时的损耗，即

$$\Delta P_{K_{2,3}} = \Delta P'_{K_{2,3}} \left(\frac{S_N}{S_{N_3}} \right)^2 = 264.97 \times \left(\frac{120}{60} \right)^2 kW = 1\ 059.88kW$$

$$\Delta P_{K_{1,3}} = \Delta P'_{K_{1,3}} \left(\frac{S_N}{S_{N_3}} \right)^2 = 257.84 \times \left(\frac{120}{60} \right)^2 kW = 1\ 031.36kW$$

按式 (1-14) 计算变压器三绕组负载损耗，即

$$\begin{aligned} \Delta P_{K_1} &= \frac{1}{2} (\Delta P_{K_{1,2}} + \Delta P_{K_{1,3}} - \Delta P_{K_{2,3}}) \\ &= \frac{1}{2} (280 + 1\ 031.36 - 1\ 059.88) kW \\ &= 125.74kW \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{K_2} &= \frac{1}{2} (\Delta P_{K_{1,2}} + \Delta P_{K_{2,3}} - \Delta P_{K_{1,3}}) \\ &= \frac{1}{2} (280 + 1\ 059.88 - 1\ 031.36) kW \\ &= 154.26kW \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{K_3} &= \frac{1}{2} (\Delta P_{K_{1,3}} + \Delta P_{K_{2,3}} - \Delta P_{K_{1,2}}) \\ &= \frac{1}{2} (1\ 031.36 + 1\ 059.88 - 280) kW \\ &= 905.62kW \end{aligned}$$

按式 (1-15) 计算变压器三绕组的电阻，即

$$R_{T_1} = \frac{\Delta P_{K_1} U_N^2}{S_N^2} \times 10^3 = \frac{125.74 \times 220^2}{120\ 000^2} \times 10^3 \Omega = 0.42\Omega$$

$$R_{T_2} = \frac{\Delta P_{K_2} U_N^2}{S_N^2} \times 10^3 = \frac{154.26 \times 220^2}{120\ 000^2} \times 10^3 \Omega = 0.51\Omega$$

$$R_{T_3} = \frac{\Delta P_{K_3} U_N^2}{S_N^2} \times 10^3 = \frac{905.62 \times 220^2}{120\ 000^2} \times 10^3 \Omega = 3.04\Omega$$

②电抗的计算 按式(1-18)计算变压器每个绕组的电抗百分比,即

$$\begin{aligned} u_{K_1} \% &= \frac{1}{2} (u_{K_{1,2}} \% + u_{K_{1,3}} \% - u_{K_{2,3}} \%) \\ &= \frac{1}{2} (8.57\% + 32.72\% - 22.03\%) \\ &= 9.63\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_{K_2} \% &= \frac{1}{2} (u_{K_{1,2}} \% + u_{K_{2,3}} \% - u_{K_{1,3}} \%) \\ &= \frac{1}{2} (8.57\% + 22.03\% - 32.72\%) \\ &= -1.06\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_{K_3} \% &= \frac{1}{2} (u_{K_{2,3}} \% + u_{K_{1,3}} \% - u_{K_{1,2}} \%) \\ &= \frac{1}{2} (22.03\% + 32.72\% - 8.57\%) \\ &= 23.09\% \end{aligned}$$

按式(1-19)计算变压器每个绕组的电抗,即

$$X_{T_1} = \frac{u_{K_1} \% U_N^2}{100 S_N} \times 10^3 = \frac{9.63 \times 220^2}{100 \times 120\,000} \times 10^3 \Omega = 38.84 \Omega$$

$$X_{T_2} = \frac{u_{K_2} \% U_N^2}{100 S_N} = \frac{-1.06 \times 220^2}{100 \times 120\,000} \times 10^3 \Omega = -4.27 \Omega$$

$$X_{T_3} = \frac{u_{K_3} \% U_N^2}{100 S_N} \times 10^3 = \frac{23.09 \times 220^2}{100 \times 120\,000} \times 10^3 \Omega = 93.12 \Omega$$

变压器等效阻抗如图 1-2 所示。

四、电力线路阻抗的计算

电力架空线路的电阻可按式(1-20)计算,即

$$R = r_0 l \quad (1-20)$$

式中 R ——架空线路电阻,单位为 Ω ;

r_0 ——架空线路每千米电阻,单位为 Ω/km ;

l ——架空线路长度,单位为 km 。

电力架空线路的电抗可按式(1-21)计算,即

$$X = x_0 l \quad (1-21)$$

式中 X ——架空线路电抗,单位为 Ω ;

x_0 ——架空线路每千米电抗,单位为 Ω/km ;

l ——架空线路长度,单位为 km 。

每千米架空线路的电抗、电阻有名值和标么值见表 1-8。

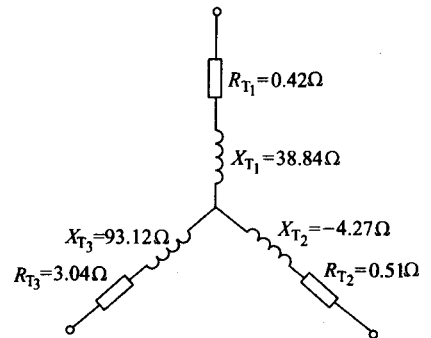


图 1-2 变压器等效阻抗图