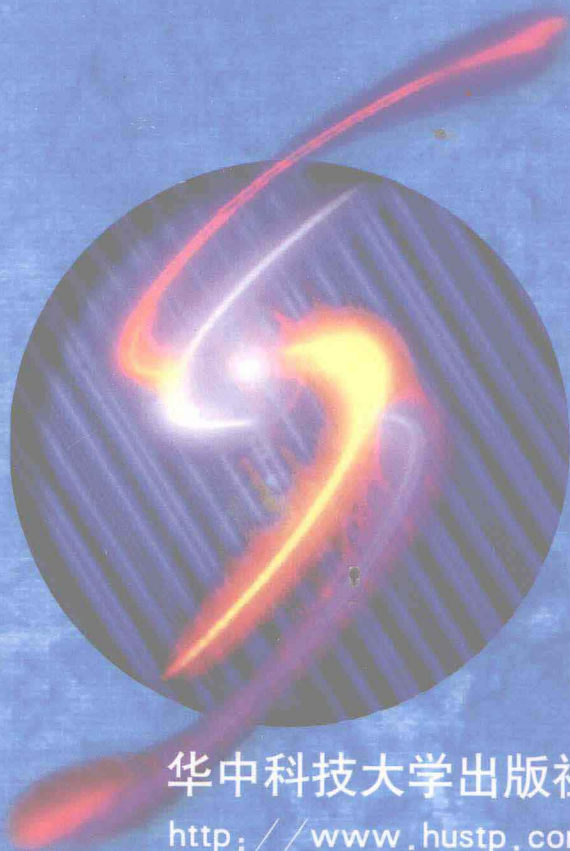




21世纪电气与电子工程系列教材

电力系统分析题解

何仰赞 温增银



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

电力系统分析题解

何仰赞 温增银

华中科技大学出版社
中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

电力系统分析题解/何仰赞 温增银 主编.-2版. —武汉:华中科技大学出版社,2008年7月

ISBN 978-7-5609-3430-3

I. 电… II. ①何… ②温… III. 电力系统-分析-高等学校-教材
IV. TM711-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 102955 号

电力系统分析题解

何仰赞 温增银 主编

策划编辑:李 德

封面设计:潘 群

责任编辑:李 德

责任校对:李 琴

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉众心图文激光照排中心

印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:787mm×960mm 1/16

印张:17.25

字数:338 000

版次:2008年7月第2版

印次:2008年7月第2次印刷

定价:28.00元

ISBN 978-7-5609-3430-3/TM·97

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本书根据何仰赞和温增银编写的《电力系统分析(第三版)》(华中科技大学出版社 2002 年版)的内容,逐章给出了复习思考题,并对各章习题给出了详解,同时还增添了一些补充题并提供了解答。

本书可作为电力系统分析课程的辅助教材,供高等学校电气工程有关专业的师生和欲报考电气工程有关专业的研究生参考,也可以供电力系统相关专业的技术人员参考。

前 言

“电力系统分析”是电气工程相关专业的一门重要课程。习题演练是掌握该课程基本概念、基本原理和基本计算方法的必要手段。本书作为该课程的教学参考书,针对作者编写的《电力系统分析(第三版)》(华中科技大学出版社 2002 年出版)的内容,逐章给出了复习思考题,并为每章的习题提供了详细解答。此外,为了丰富题目的类型,还增选了一些补充题,并给出了详细解答。

《电力系统分析(第三版)》所附的习题答案中有一部分与本书提供的计算结果并不完全吻合,主要是缘于计算过程中的舍入误差,另有极少部分偏差较大,则可能出于笔误或其他原因,正确的答案应以本书为准。

本书的习题详解部分主要由温增银完成,补充题及解答主要由何仰赞完成,复习思考题由两位作者共同拟订。

作 者

2008 年 2 月

目 录

第一章 电力系统的基本概念	(1)
一、复习思考题	(1)
二、习题详解	(1)
第二章 电力网各元件的等值电路和参数计算	(4)
一、复习思考题	(4)
二、习题详解	(4)
第三章 同步发电机的基本方程	(17)
一、复习思考题	(17)
二、习题详解	(17)
第四章 电力网络的数学模型	(22)
一、复习思考题	(22)
二、习题详解	(22)
第五章 电力系统三相短路的暂态过程	(32)
一、复习思考题	(32)
二、习题详解	(33)
第六章 电力系统三相短路电流的实用计算	(44)
一、复习思考题	(44)
二、习题详解	(44)
第七章 电力系统各元件的序阻抗和等值电路	(59)
一、复习思考题	(59)
二、习题详解	(59)
第八章 电力系统不对称故障的分析和计算	(68)
一、复习思考题	(68)
二、习题详解	(68)
第九章 电力系统的负荷	(86)
一、复习思考题	(86)
二、习题详解	(86)
第十章 电力传输的基本概念	(89)
一、复习思考题	(89)
二、习题详解	(90)

第十一章 电力系统的潮流计算	(106)
一、复习思考题	(106)
二、习题详解	(107)
第十二章 电力系统的无功功率和电压调整	(133)
一、复习思考题	(133)
二、习题详解	(134)
第十三章 电力系统的有功功率平衡和频率调整	(144)
一、复习思考题	(144)
二、习题详解	(145)
第十四章 电力系统的经济运行	(149)
一、复习思考题	(149)
二、习题详解	(149)
第十五章 电力系统运行稳定性的基本概念	(158)
一、复习思考题	(158)
二、习题详解	(158)
第十六章 电力系统的电磁功率特性	(161)
一、复习思考题	(161)
二、习题详解	(161)
第十七章 电力系统暂态稳定性	(174)
一、复习思考题	(174)
二、习题详解	(175)
第十八章 电力系统静态稳定性	(192)
一、复习思考题	(192)
二、习题详解	(192)
第十九章 提高电力系统稳定性的措施	(201)
一、复习思考题	(201)
二、习题详解	(201)
第二十章 补充题及解答	(210)
一、网络数学模型与参数计算	(210)
二、故障分析和短路计算	(215)
三、电力系统稳态计算	(230)
四、电力系统稳定计算	(249)

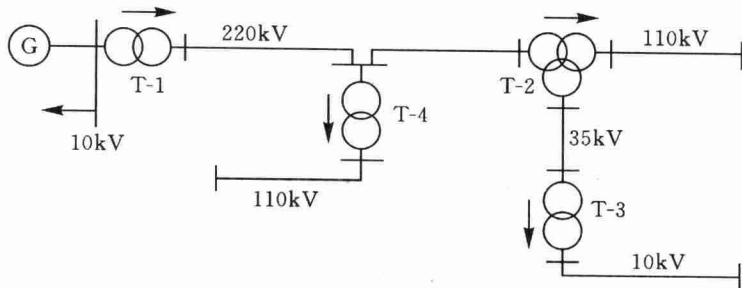
第一章 电力系统的基本概念

一、复习思考题

1. 什么是电力系统？什么是电力网？它们都由哪些设备组成？
2. 电力网的额定电压是怎样规定的？电力系统各类元件的额定电压与电力网的额定电压有什么关系？
3. 升压变压器和降压变压器的分接头是怎样规定的？变压器的额定变比与实际变比有什么区别？
4. 电能生产的主要特点是什么？对电力系统运行有哪些基本要求？
5. 根据供电可靠性的要求，电力系统负荷可以分为哪几个等级？各级负荷有何特点？
6. 电能质量的基本指标是什么？
7. 电力网的接线方式中，有备用接线和无备用接线，各有什么特点？
8. 什么是开式网络？什么是闭式网络？它们各有何特点？
9. 你知道各种电压等级单回架空线路的输送功率和输送距离的适宜范围吗？

二、习题详解

1-2 电力系统的部分接线如题图 1-2 所示，各电压级的额定电压及功率输送方向已标明在图中。试求：



题图 1-2 系统接线图

- (1) 发电机及各变压器高、低压绕组的额定电压；
- (2) 各变压器的额定变比；

(3)当变压器 T-1 工作于+5%抽头, T-2、T-4 工作于主抽头, T-3 工作于-2.5%抽头时,各变压器的实际变比是多少?

解 (1)发电机及各变压器高、低压绕组的额定电压。

发电机: $V_{GN}=10.5\text{ kV}$,比同电压级网络的额定电压高5%。

对于变压器的各侧绕组,将依其电压级别从高到低赋以标号1、2和3。

变压器 T-1 为升压变压器: $V_{N2}=10.5\text{ kV}$,等于发电机额定电压; $V_{N1}=242\text{ kV}$,比同电压级网络的额定电压高10%。

变压器 T-2 为降压变压器: $V_{N1}=220\text{ kV}$,等于同电压级网络的额定电压; $V_{N2}=121\text{ kV}$ 和 $V_{N3}=38.5\text{ kV}$,分别比同电压级网络的额定电压高10%。

同理,变压器 T-3: $V_{N1}=35\text{ kV}$ 和 $V_{N2}=11\text{ kV}$ 。

变压器 T-4: $V_{N1}=220\text{ kV}$ 和 $V_{N2}=121\text{ kV}$ 。

(2)各变压器的额定变比。

以较高的电压级作为分子。

$$\text{T-1: } k_{T1N} = 242/10.5 = 23.048$$

$$\text{T-2: } k_{T2N(1-2)} = 220/121 = 1.818$$

$$k_{T2N(1-3)} = 220/38.5 = 5.714$$

$$k_{T1N(2-3)} = 121/38.5 = 3.143$$

$$\text{T-3: } k_{T3N} = 35/11 = 3.182$$

$$\text{T-4: } k_{T4N} = 220/121 = 1.818$$

(3)各变压器的实际变比。

各变压器的实际变比为两侧运行时实际整定的抽头额定电压之比。

$$\text{T-1: } k_{T1} = (1+0.05) \times 242/10.5 = 24.2$$

$$\text{T-2: } k_{T2(1-2)} = 220/121 = 1.818$$

$$k_{T2(1-3)} = 220/38.5 = 5.714$$

$$k_{T2(2-3)} = 121/38.5 = 3.143$$

$$\text{T-3: } k_{T3} = (1-0.025) \times 35/11 = 3.102$$

$$\text{T-4: } k_{T4} = 220/110 = 2$$

1-3 电力系统的部分接线如题图 1-3 所示,网络的额定电压已在图中标明。

试求:

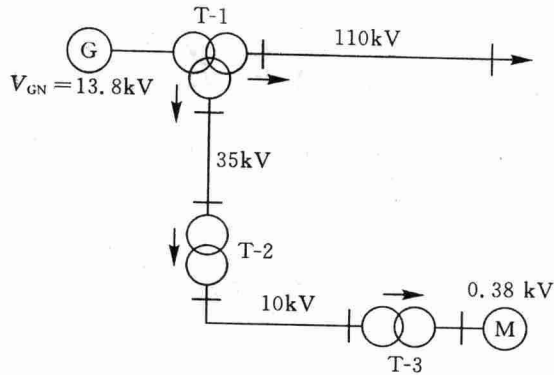
(1)发电机,电动机及变压器高、中、低压绕组的额定电压;

(2)当变压器 T-1 高压侧工作于+2.5%抽头,中压侧工作于+5%抽头;T-2 工作于额定抽头;T-3 工作于-2.5%抽头时,各变压器的实际变比。

解 (1)发电机、电动机及变压器高、中、低压绕组额定电压。

(a)发电机:网络无此电压等级,此电压为发电机专用额定电压,故 $V_{GN}=13.8\text{ kV}$ 。

(b)变压器 T-1:一次侧与发电机直接连接,故其额定电压等于发电机的额定电压;二次侧额定电压高于网络额定电压10%,故 T-1 的额定电压为 $121/38.5/$



题图 1-3 系统接线图

13.8 kV。

(c) 变压器 T-2: 一次侧额定电压等于网络额定电压, 二次侧额定电压高于网络额定电压 10%, 故 T-2 的额定电压为 35/11 kV。

(d) 变压器 T-3: 一次侧额定电压等于网络额定电压, 二次侧与负荷直接连接, 其额定电压应高于网络额定电压 5%, 因此 T-3 的额定电压为 $10 / [(1 + 0.05) \times 0.38] \text{ kV} = 10 / 0.4 \text{ kV}$ 。

(e) 电动机: 其额定电压等于网络额定电压 $V_{MN} = 0.38 \text{ kV}$ 。

(2) 各变压器的实际变比为

$$T-1: k_{T1(1-2)} = (1 + 0.025) \times 121 / [(1 + 0.05) \times 38.5] = 3.068$$

$$k_{T1(1-3)} = (1 + 0.025) \times 121 / 13.8 = 8.987$$

$$k_{T1(2-3)} = (1 + 0.05) \times 38.5 / 13.8 = 2.929$$

$$T-2: k_{T2} = 35 / 11 = 3.182$$

$$T-3: k_{T3} = (1 - 0.025) \times 10 / 0.4 = 24.375$$

第二章 电力网各元件的等值电路和参数计算

一、复习思考题

1. 在电力网计算中,单位长度输电线路常采用哪种等值电路?等值电路有哪些主要参数?这些参数各反映什么物理现象?
2. 何谓一相等值参数?
3. 什么是导线的自几何均距?它与导线的计算半径有什么关系?分裂导线的自几何均距又是怎样计算的?
4. 架空线路的导线换位有什么作用?
5. 什么是三相线路的互几何均距?它是怎样计算的?
6. 分裂导线对线路的电感和电容各有什么影响?你知道各种不同结构的架空线(单导线,2分裂,3分裂和4分裂导线)每千米的电抗和电纳的大致数值吗?
7. 在电力网计算中两绕组和三绕组变压器常采用哪种等值电路?
8. 怎样利用变压器的铭牌数据计算变压器等值电路的参数?
9. 在计算绕组容量不等的三绕组变压器的电阻和电抗时要注意什么问题?
10. 变压器的变压比是如何定义的?它与原、副方绕组的匝数比有何不同?
11. 为什么变压器的 Π 型等值电路能够实现原、副方电压和电流的变换?
12. 什么是标幺制?采用标幺制有什么好处?
13. 三相电力系统中基准值是怎样选择的?
14. 不同基准值的标幺值之间是怎样进行换算的?
15. 在多级电压网络中,各电压级的基准电压是怎样选择的?能避免出现非基准变比变压器吗?

二、习题详解

2-1 110 kV 架空线路长 70 km,导线采用 LGJ-120 型钢芯铝线,计算半径 $r=7.6$ mm,相间距离为 3.3 m,导线分别按等边三角形和水平排列,试计算输电线路的等值电路参数,并比较分析排列方式对参数的影响。

解 取 $D_s=0.8r$ 。

(1)导线按等边三角形排列时

$$D_{\text{eq}} = D = 3.3 \text{ m}$$

$$R = r_0 l = \frac{\rho}{S} l = \frac{31.5}{120} \times 70 \text{ } \Omega = 18.375 \text{ } \Omega$$

$$X = x_0 l = l \times 0.1445 \lg \frac{D_{\text{eq}}}{D_s} = 70 \times 0.1445 \lg \frac{3.3 \times 1000}{0.8 \times 7.6} \text{ } \Omega = 27.66 \text{ } \Omega$$

$$B = b_0 l = \frac{7.58 \times l}{\lg \frac{D_{\text{eq}}}{r}} \times 10^{-6} \text{ S} = \frac{7.58 \times 70}{\lg \frac{3.3 \times 1000}{7.6}} \times 10^{-6} \text{ S} = 2.012 \times 10^{-4} \text{ S}$$

(2) 导线按水平排列时

$$D_{\text{eq}} = 1.26D = 1.26 \times 3.3 \text{ m} = 4.158 \text{ m}$$

$$R = 18.375 \text{ } \Omega$$

$$X = x_0 l = l \times 0.1445 \lg \frac{D_{\text{eq}}}{D_s} = 70 \times 0.1445 \lg \frac{4.158 \times 1000}{0.8 \times 7.6} \text{ } \Omega = 28.676 \text{ } \Omega$$

$$B = b_0 l = \frac{7.58 \times l}{\lg \frac{D_{\text{eq}}}{r}} \times 10^{-6} = \frac{7.58 \times 70}{\lg \frac{4.158 \times 1000}{7.6}} \times 10^{-6} \text{ S} = 1.938 \times 10^{-4} \text{ S}$$

电阻与导线的排列方式无关,水平排列比等边三角形排列增大了相间几何均距 D_{eq} ,但因其是指数函数关系,因而等值电抗略有增大,等值电纳略有减小。

2-2 110 kV 架空线路长 90 km,双回路共杆塔,导线及地线在杆塔上的排列如题图 2-2 所示,导线采用 LGJ-120 型钢芯铝线,计算半径 $r = 7.6 \text{ mm}$,试计算输电线路的等值电路参数。

解 取 $D_s = 0.8r = 0.8 \times 7.6 \text{ mm} = 6.08 \text{ mm}$ 。从题图 2-2 所示的导线排列看,它相当于水平排列,相间距离为

$$D = \sqrt{3.5^2 + 0.5^2} \text{ m} = 3.536 \text{ m}$$

相间几何均距为

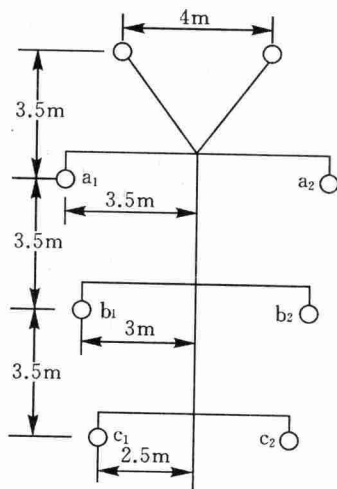
$$D_{\text{eq}} = 1.26 \times D = 1.26 \times 3.536 \text{ m} = 4.455 \text{ m}$$

$$R = \frac{1}{2} r_0 l = \frac{1}{2} \frac{\rho}{S} l = \frac{1}{2} \times \frac{31.5}{120} \times 90 \text{ } \Omega = 11.813 \text{ } \Omega$$

$$X = \frac{1}{2} x_0 l = \frac{1}{2} \times 90 \times 0.1445 \lg \frac{D_{\text{eq}}}{D_s} = \frac{1}{2} \times 90 \times 0.1445 \lg \frac{4.455 \times 1000}{0.8 \times 7.6} \text{ } \Omega = 18.629 \text{ } \Omega$$

$$B = 2b_0 l = 2 \times l \times \frac{7.58}{\lg \frac{D_{\text{eq}}}{r}} \times 10^{-6}$$

$$= 2 \times 90 \times \frac{7.58}{\lg \frac{4.455 \times 1000}{7.6}} \times 10^{-6} \text{ S} = 4.929 \times 10^{-4} \text{ S}$$



题图 2-2 导线在杆塔上的排列

2-3 500 kV 输电线路长 600 km, 采用三分裂导线 $3 \times \text{LGJQ-400}$, 分裂间距为 400 mm, 三相水平排列, 相间距离为 11 m, LGJQ-400 导线的计算半径 $r = 13.6 \text{ mm}$ 。试计算输电线路 II 型等值电路的参数:

- (1) 不计线路参数的分布特性;
- (2) 近似计算及分布特性;
- (3) 精确计算及分布特性;

并对三种条件计算所得结果进行比较分析。

解 先计算输电线路单位长度的参数, 查得 LGJQ-400 型导线的计算半径 $r = 13.6 \text{ mm}$ 。

单根导线的自几何均距

$$D_s = 0.8r = 0.8 \times 13.6 \text{ mm} = 10.88 \text{ mm}$$

分裂导线的自几何均距

$$D_{sb} = \sqrt[3]{D_s d^2} = \sqrt[3]{10.88 \times 400^2} \text{ mm} = 120.296 \text{ mm}$$

分裂导线的等值计算半径

$$r_{eq} = \sqrt[3]{r d^2} = \sqrt[3]{13.6 \times 400^2} \text{ mm} = 129.584 \text{ mm}$$

相间几何均距

$$D_{eq} = 1.26D = 1.26 \times 11 \text{ m} = 13.86 \text{ m}$$

$$r_0 = \frac{\rho}{3S} = \frac{31.5}{3 \times 400} \Omega/\text{km} = 0.02625 \Omega/\text{km}$$

$$x_0 = 0.1445 \lg \frac{D_{eq}}{D_{sb}} = 0.1445 \lg \frac{13.86 \times 1000}{120.296} \Omega/\text{km} = 0.298 \Omega/\text{km}$$

$$b_0 = \frac{7.58}{\lg \frac{D_{eq}}{r_{eq}}} \times 10^{-6} = \frac{7.58}{\lg \frac{13.86 \times 1000}{129.584}} \times 10^{-6} \text{ S/km} = 3.735 \times 10^{-6} \text{ S/km}$$

(1) 不计线路参数的分布特性。

$$R = r_0 l = 0.02625 \times 600 \Omega = 15.75 \Omega$$

$$X = x_0 l = 0.298 \times 600 \Omega = 178.8 \Omega$$

$$B = b_0 l = 3.735 \times 10^{-6} \times 600 \Omega = 22.41 \times 10^{-4} \text{ S}$$

(2) 近似计算及分布特性, 即采用修正系数计算。

$$k_r = 1 - \frac{1}{3} x_0 b_0 l^2 = 1 - \frac{1}{3} \times 0.298 \times 3.735 \times 10^{-6} \times 600^2 = 0.8664$$

$$k_x = 1 - \frac{1}{6} \left(x_0 b_0 - r_0^2 \frac{b_0}{x_0} \right) \times l^2$$

$$= 1 - \frac{1}{6} \left(0.298 \times 3.735 \times 10^{-6} - 0.02625^2 \times \frac{3.735 \times 10^{-6}}{0.298} \right) \times 600^2 = 0.9337$$

$$k_b = 1 + \frac{1}{12} x_0 b_0 l^2 = 1 + \frac{1}{12} \times 0.298 \times 3.735 \times 10^{-6} \times 600^2 = 1.0334$$

$$R = k_r r_0 l = 0.8664 \times 0.02625 \times 600 \Omega = 13.646 \Omega$$

$$X = k_x x_0 l = 0.9337 \times 0.298 \times 600 \Omega = 166.946 \Omega$$

$$B = k_b b_0 l = 1.0334 \times 3.735 \times 10^{-6} \times 600 \text{ S} = 23.158 \times 10^{-4} \text{ S}$$

(3) 精确计算及分布特性。

传播常数:

$$\begin{aligned} \gamma &= \beta + j\alpha = \sqrt{(g_0 + jb_0)(r_0 + jx_0)} \\ &= \sqrt{j3.735 \times 10^{-6} \times (0.02625 + j0.298)} \text{ 1/km} \\ &= 1.057 \times 10^{-3} \angle 87.483^\circ \text{ 1/km} = (4.6419 \times 10^{-5} + j1.056 \times 10^3) \text{ 1/km} \end{aligned}$$

波阻抗:

$$Z_c = \sqrt{\frac{r_0 + jx_0}{g_0 + jb_0}} = \sqrt{\frac{0.02625 + j0.298}{j3.735 \times 10^{-6}}} \Omega = 283.01 \angle -2.517^\circ \Omega$$

$$\begin{aligned} \gamma l &= 1.057 \times 10^{-3} \angle 87.483^\circ \times 600 = 0.6342 \angle 87.483^\circ \\ &= 0.02785 + j0.6336 = x + jy \end{aligned}$$

利用公式

$$\text{sh}(x + jy) = \text{sh}x \cos y + j \text{ch}x \sin y$$

$$\text{ch}(x + jy) = \text{ch}x \cos y + j \text{sh}x \sin y$$

以及 $\text{sh}x = \frac{1}{2}(e^x - e^{-x})$, $\text{ch}x = \frac{1}{2}(e^x + e^{-x})$, 将 $\gamma l = x + jy$ 的值代入

$$\begin{aligned} \text{sh} \gamma l &= \text{sh}(0.02785 + j0.6336) = \text{sh}0.02785 \cos 0.6336 + j \text{ch}(0.02785) \sin 0.6336 \\ &= 0.02245 + j0.59233 = 0.59266 \angle 87.829^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ch} \gamma l &= \text{ch}(0.02785 + j0.6336) \\ &= \text{ch}(0.02785) \cos(0.6336) + j \text{sh}(0.02785) \sin(0.6336) \\ &= 0.80621 + j0.01649 = 0.80638 \angle 1.1717^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z &= Z_c \text{sh}(\gamma l) = 283.01 \angle -2.517^\circ \times 0.59266 \angle 87.829^\circ \Omega \\ &= 167.729 \angle 85.312^\circ \Omega = (13.708 + j167.169) \Omega \end{aligned}$$

$$Y = \frac{2 \times [\text{ch}(\gamma l) - 1]}{Z} = \frac{2 \times [0.80621 + j0.01649 - 1]}{167.729 \angle 85.312^\circ} \text{ S}$$

$$= (7.124 \times 10^{-6} + j23.19 \times 10^{-4}) \text{ S}$$

(4) 三种算法中,后两种算法差别不大(除 Y 增加了一个微小的 G 之外),说明修正系数法计算量小,并能保证在本题所给的输电距离内有足够的精度。

2-4 有一台 SFL₁-31500/35 型双绕组三相变压器,额定变比为 35/11,查得 $\Delta P_0 = 30 \text{ kW}$, $I_0\% = 1.2$ ^①, $\Delta P_s = 177.2 \text{ kW}$, $V_s\% = 8$,求变压器参数归算到高、低压侧的有名值。

① 百分号的表示习惯上用两种方式,例如 $V_s = 8\%$ 或 $V_s\% = 8$ 都是表示相同的短路电压比,在计算式中通常用 $V_s\%$,这是习惯用法。

解 (1) 归算到高压侧的参数。

$$G_T = \frac{\Delta P_0}{V_N^2} \times 10^{-3} = \frac{30}{35^2} \times 10^{-3} \text{ S} = 2.449 \times 10^{-5} \text{ S}$$

$$B_T = \frac{I_0 \%}{100} \times \frac{S_N}{V_N^2} \times 10^{-3} = \frac{1.2}{100} \times \frac{31500}{35^2} \times 10^{-3} \text{ S} = 30.86 \times 10^{-5} \text{ S}$$

$$R_T = \frac{\Delta P_s V_N^2}{S_N^2} \times 10^3 = \frac{177.2 \times 35^2}{31500^2} \times 10^3 \Omega = 0.2188 \Omega$$

$$X_T = \frac{V_s \%}{100} \times \frac{V_N^2}{S_N} \times 10^3 = \frac{8}{100} \times \frac{35^2}{31500} \times 10^3 \Omega = 3.11 \Omega$$

(2) 归算到低压侧的参数,按变压器额定变比归算。

$$G_T = 2.449 \times 10^{-5} \times \left(\frac{35}{11}\right)^2 \text{ S} = 2.479 \times 10^{-4} \text{ S}$$

$$B_T = 30.86 \times 10^{-5} \times \left(\frac{35}{11}\right)^2 \text{ S} = 31.243 \times 10^{-4} \text{ S}$$

$$R_T = 0.2188 \times \left(\frac{11}{35}\right)^2 \Omega = 0.0216 \Omega$$

$$X_T = 3.11 \times \left(\frac{11}{35}\right)^2 \Omega = 0.3072 \Omega$$

2-5 有一台型号为 SFS-40000/220 的三相三绕组变压器,容量比为 100/100/100,额定变比为 220/38.5/11,查得 $\Delta P_0 = 46.8 \text{ kW}$, $I_0 \% = 0.9$, $\Delta P_{S(1-2)} = 217 \text{ kW}$, $\Delta P_{S(1-3)} = 200.7 \text{ kW}$, $\Delta P_{S(2-3)} = 158.6 \text{ kW}$, $V_{S(1-2)} \% = 17$, $V_{S(1-3)} \% = 10.5$, $V_{S(2-3)} \% = 6$ 。试求归算到高压侧的变压器参数有名值。

解 (1) 各绕组的等值电阻

$$\begin{aligned} \Delta P_{S1} &= \frac{1}{2} (\Delta P_{S(1-2)} + \Delta P_{S(1-3)} - \Delta P_{S(2-3)}) \\ &= \frac{1}{2} (217 + 200.7 - 158.6) \text{ kW} = 129.55 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{S2} &= \frac{1}{2} (\Delta P_{S(1-2)} + \Delta P_{S(2-3)} - \Delta P_{S(1-3)}) \\ &= \frac{1}{2} (217 + 158.6 - 200.7) \text{ kW} = 87.45 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{S3} &= \frac{1}{2} (\Delta P_{S(1-3)} + \Delta P_{S(2-3)} - \Delta P_{S(1-2)}) \\ &= \frac{1}{2} (200.7 + 158.6 - 217) \text{ kW} = 71.15 \text{ kW} \end{aligned}$$

$$R_1 = \frac{\Delta P_{S1} V_N^2}{S_N^2} \times 10^3 = \frac{129.55 \times 220^2}{40000^2} \times 10^3 \Omega = 3.919 \Omega$$

$$R_2 = \frac{\Delta P_{S2} V_N^2}{S_N^2} \times 10^3 = \frac{87.45 \times 220^2}{40000^2} \times 10^3 \Omega = 2.645 \Omega$$

或

$$R_2 = R_1 \frac{\Delta P_{S2}}{\Delta P_{S1}} = 3.919 \times \frac{87.45}{129.55} \Omega = 2.645 \Omega$$

$$R_3 = R_1 \frac{\Delta P_{S3}}{\Delta P_{S1}} = 3.919 \times \frac{71.15}{129.55} \Omega = 2.152 \Omega$$

(2) 各绕组的等值电抗

$$V_{S1} \% = \frac{1}{2} (V_{S(1-2)} \% + V_{S(1-3)} \% - V_{S(2-3)} \%) = \frac{1}{2} (17 + 10.5 - 6) = 10.75$$

$$V_{S2} \% = \frac{1}{2} (V_{S(1-2)} \% + V_{S(2-3)} \% - V_{S(1-3)} \%) = \frac{1}{2} (17 + 6 - 10.5) = 6.25$$

$$V_{S3} \% = \frac{1}{2} (V_{S(1-3)} \% + V_{S(2-3)} \% - V_{S(1-2)} \%) = \frac{1}{2} (10.5 + 6 - 17) = -0.25$$

$$X_1 = \frac{V_{S1} \%}{100} \times \frac{V_N^2}{S_N} \times 10^3 = \frac{10.75}{100} \times \frac{220^2}{40000} \times 10^3 \Omega = 130.075 \Omega$$

$$X_2 = X_1 \times \frac{V_{S2} \%}{V_{S1} \%} = 130.075 \times \frac{6.25}{10.75} \Omega = 75.625 \Omega$$

$$X_3 = X_1 \times \frac{V_{S3} \%}{V_{S1} \%} = 130.075 \times \frac{-0.25}{10.75} \Omega = -3.025 \Omega$$

(3) 变压器的导纳

$$G_T = \frac{\Delta P_0}{V_N^2} \times 10^{-3} = \frac{46.8}{220^2} \times 10^{-3} \text{ S} = 9.669 \times 10^{-7} \text{ S}$$

$$B_T = \frac{I_0 \%}{100} \times \frac{S_N}{V_N^2} \times 10^{-3} = \frac{0.9}{100} \times \frac{40000}{220^2} \times 10^{-3} \text{ S} = 74.38 \times 10^{-7} \text{ S}$$

2-6 有一台 SFSL-31500/110 型三绕组变压器, 额定变比为 110/38.5/11, 容量比为 100/100/66.7, 空载损耗 80 kW, 激磁功率 850 kvar, 短路损耗 $\Delta P'_{S(1-2)} = 450 \text{ kW}$, $\Delta P'_{S(2-3)} = 270 \text{ kW}$, $\Delta P'_{S(1-3)} = 240 \text{ kW}$, 短路电压 $V_{S(1-2)} \% = 11.55$, $V_{S(2-3)} \% = 8.5$, $V_{S(1-3)} \% = 21$ 。试计算变压器归算到各电压级的参数。

解 (1) 归算到 110 kV 侧参数

$$G_T = \frac{\Delta P_0}{V_N^2} \times 10^{-3} = \frac{80}{110^2} \times 10^{-3} \text{ S} = 6.612 \times 10^{-6} \text{ S}$$

$$B_T = \frac{\Delta Q_0}{V_N^2} \times 10^{-3} = \frac{850}{110^2} \times 10^{-3} \text{ S} = 70.248 \times 10^{-6} \text{ S}$$

$$\Delta P_{S(1-2)} = \Delta P'_{S(1-2)} \times \left(\frac{S_{N*}}{S_{N2*}} \right)^2 = 450 \times \left(\frac{100}{100} \right)^2 \text{ kW} = 450 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{S(1-3)} = \Delta P'_{S(1-3)} \times \left(\frac{S_{N*}}{S_{N3*}} \right)^2 = 240 \times \left(\frac{100}{66.7} \right)^2 \text{ kW} = 539.46 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{S(2-3)} = \Delta P'_{S(2-3)} \times \left(\frac{S_{N2*}}{S_{N3*}} \right)^2 = 270 \times \left(\frac{100}{66.7} \right)^2 \text{ kW} = 606.89 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{S1} = \frac{1}{2} (\Delta P_{S(1-2)} + \Delta P_{S(1-3)} - \Delta P_{S(2-3)})$$

$$= \frac{1}{2} (450 + 539.46 - 606.89) \text{ kW} = 191.285 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{S2} = \frac{1}{2} (\Delta P_{S(1-2)} + \Delta P_{S(2-3)} - \Delta P_{S(1-3)})$$

$$= \frac{1}{2} (450 + 606.89 - 539.46) \text{ kW} = 258.715 \text{ kW}$$

$$\Delta P_{S3} = \frac{1}{2} (\Delta P_{S(1-3)} + \Delta P_{S(2-3)} - \Delta P_{S(1-2)})$$

$$= \frac{1}{2} (539.46 + 606.89 - 450) \text{ kW} = 348.175 \text{ kW}$$

$$R_1 = \frac{\Delta P_{S1} V_N^2}{S_N^2} \times 10^3 = \frac{191.285 \times 110^2}{31500^2} \times 10^3 \Omega = 2.333 \Omega$$

$$R_2 = R_1 \times \frac{\Delta P_{S2}}{\Delta P_{S1}} = 2.333 \times \frac{258.715}{191.285} \Omega = 3.155 \Omega$$

$$R_3 = R_2 \times \frac{\Delta P_{S3}}{\Delta P_{S2}} = 3.155 \times \frac{348.175}{258.715} \Omega = 4.246 \Omega$$

$$V_{S1} \% = \frac{1}{2} (V_{S(1-2)} \% + V_{S(1-3)} \% - V_{S(2-3)} \%) = \frac{1}{2} (11.55 + 21 - 8.5) = 12.025$$

$$V_{S2} \% = \frac{1}{2} (V_{S(1-2)} \% + V_{S(2-3)} \% - V_{S(1-3)} \%) = \frac{1}{2} (11.55 + 8.5 - 21) = -0.475$$

$$V_{S3} \% = \frac{1}{2} (V_{S(1-3)} \% + V_{S(2-3)} \% - V_{S(1-2)} \%) = \frac{1}{2} (21 + 8.5 - 11.55) = 8.975$$

$$X_1 = \frac{V_{S1} \%}{100} \times \frac{V_N^2}{S_N} \times 10^3 = \frac{12.025}{100} \times \frac{110^2}{31500} \times 10^3 \Omega = 46.191 \Omega$$

$$X_2 = X_1 \times \frac{V_{S2} \%}{V_{S1} \%} = 46.191 \times \frac{-0.475}{12.025} \Omega = -1.825 \Omega$$

$$X_3 = X_1 \times \frac{V_{S3} \%}{V_{S1} \%} = 46.191 \times \frac{8.975}{12.025} \Omega = 34.475 \Omega$$

(2) 归算到 35 kV 侧的参数

$$G_T = G_{T(110)} \times \left(\frac{V_{N1}}{V_{N2}} \right)^2 = 6.612 \times 10^{-6} \times \left(\frac{110}{38.5} \right)^2 \text{ S} = 53.971 \times 10^{-6} \text{ S}$$

$$B_T = B_{T(110)} \times \left(\frac{V_{N1}}{V_{N2}} \right)^2 = 70.248 \times 10^{-6} \times \left(\frac{110}{38.5} \right)^2 \text{ S} = 573.453 \times 10^{-6} \text{ S}$$

$$R_1 = R_{1(110)} \times \left(\frac{V_{N2}}{V_{N1}} \right)^2 = 2.333 \times \left(\frac{38.5}{110} \right)^2 \Omega = 0.286 \Omega$$

$$R_2 = R_{2(110)} \times \left(\frac{V_{N2}}{V_{N1}} \right)^2 = 3.155 \times \left(\frac{38.5}{110} \right)^2 \Omega = 0.386 \Omega$$

$$R_3 = R_{3(110)} \times \left(\frac{V_{N2}}{V_{N1}} \right)^2 = 4.246 \times \left(\frac{38.5}{110} \right)^2 \Omega = 0.520 \Omega$$

$$X_1 = X_{1(110)} \times \left(\frac{V_{N2}}{V_{N1}} \right)^2 = 46.191 \times \left(\frac{38.5}{110} \right)^2 \Omega = 5.658 \Omega$$