

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANLI XITONG FENXI KECHENG SHEJI
YU ZONGHE SHIYAN

电力系统分析课程设计与综合实验

祝淑萍 等 编著



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

微机原理与接口技术
走进电世界
电路
电路（少学时）
电工学（上册）
电工学（下册）
电工电子技术
电工电子技术
电工电子技术（上册）
电工电子技术（下册）
电工学实验指导书
数字电子技术基础
模拟电子技术基础
数字电子技术
模拟电子技术
数字电路实验及课程设计
工程电磁场（附光盘）
电力电子技术
电力电子技术
电力电子技术习题集
电力市场（第二版）
电力市场营销管理（第二版）
继电保护原理（第二版）
电机与拖动基础（第二版）
电机学
信号与系统
信号与系统分析
信号分析与处理
数字信号处理
单片机原理及应用
PLC应用技术要点与题解
电子信息工程概论
电力系统电磁兼容技术
电力工程基础
电力系统分析基础
电力系统分析课程设计与综合实验

马 平
李裕能
唐 巍
张长富
张文生
张文生
李 海
蔡 旭
郑宗亚
郑宗亚
娄 娟
王义军
韩学军
朱传琴
方舒燕
郁汉琪
杨宪章
石新春
李先允
李先允
杜松怀
刘秋华
刘学军
刘启新
曾令全
胡 钊
吴 冰
杨育霞
张长森
许 珉
弭洪涛
叶树江
李景禄
温步瀛
韦 钢
祝淑萍

ISBN 978-7-5083-5194-0



9 787508 351940 >

定价：16.00元

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANLI XITONG FENXI KECHENG SHEJI
YU ZONGHE SHIYAN

电力系统分析课程设计 与综合实验

编 著 祝淑萍 段慧达 姚 欣
主 审 张卫会



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

全书分为3篇9章,主要包括电力系统基本知识习题解、电力系统稳态分析与计算习题解、电力系统故障分析与计算习题解、电力系统质量控制习题解、电力系统综合实验台简介、电力系统分析实验内容、电力系统分析课程设计的的基本要求、电力系统分析课程设计的类型与题目、电力系统分析课程设计的示例。

本书可作为高等院校电气工程及其自动化专业的本科教材,也可作为高职高专和函授相关专业教材,同时还可供从事电力系统规划、设计等的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统分析课程设计与综合实验/祝淑萍等编著. —北京:中国电力出版社, 2007

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 5194 - 0

I. 电... II. 祝... III. 电力系统—分析—高等学校—教学参考资料 IV. TM711

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 011902 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2007 年 3 月第一版 2007 年 3 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 9.75 印张 236 千字

印数 0001—3000 册 定价 16.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

现代电力系统是由大量发电、输电、配电和用电设备及自动控制设备组成的复杂系统。电力系统的形成经过规划、设计、建设、运行和改造等阶段不断发展更新逐步达到完善。随着电力系统的快速发展和专业教学改革的深入,作为“十一五”规划教材建设项目之一,本书是在电力系统分析课程教学及课程设计实践经验的基础上,总结多年教学、设计、实验教学的经验编写而成的。

全书由三篇组成。第一篇为电力系统分析的主要习题解,主要包括了电力系统基本知识习题解、电力系统稳态分析与计算习题解、电力系统故障分析与计算习题解及电力系统质量控制习题解四章内容。题目由浅入深,提高了学生的思考能力;此外加入了计算机潮流算法的应用,为学生进行电力系统分析设计打下了基础,拓宽了学习的层面,也加深了学习的层次。第二篇为电力系统分析综合实验,是在电力系统分析、电力系统自动化及电机学等课程的基础上完成的电力系统分析实验,主要包括电力系统综合实验台简介、电力系统分析实验内容。通过电力系统综合实验台的各种操作实验,使学生更好地掌握电力系统稳态运行与暂态过程的基本原理和运行特性,进一步加深对电力系统分析课程理论知识的理解,培养和提高独立动手能力和分析、解决问题的能力;第三篇为电力系统分析课程设计,主要包括电力系统分析课程设计的基本要求、电力系统分析课程设计的类型与题目、电力系统分析课程设计的示例等内容。通过课程设计的示例使学生初步掌握工程设计的过程和编程的方法,本部分的内容仅供参考。

本书为适应电力系统的现代化发展和培养应用型人才而编写。全书总体结构合理、认知性强、难易适度,符合少而精的原则,满足专业培养目标和该课程的教学基本要求,既可供高等院校电力系统类专业的师生使用,也可供从事电力系统规划、设计、分析与研究的广大工程技术人员参考。

本书在集体讨论、共同设计和调试的基础上分工编写全书,由祝淑萍统稿。本书第一、二、三章由姚欣编写;第五、六章由段慧达编写;第四、七、八、九章由祝淑萍编写。

本书在编写的过程中,得到了北华大学电气工程系同行师生们的大力支持。初稿完成后,由东北电力大学张卫会教授仔细审阅,提出了不少宝贵意见,谨在此表示衷心感谢。

由于水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请批评指正。

作 者

2006年12月

目 录

前言

第一篇 电力系统分析的主要习题解

第一章 电力系统基本知识习题解	3
第一节 电力系统组成与额定电压等级	3
第二节 电力系统各元件数学模型的建立	4
第三节 电力系统元件标么制的应用及简化电路	6
第二章 电力系统稳态分析与计算习题解	12
第一节 辐射形网络电能损耗和电压降落的计算	12
第二节 两端电源网络的潮流分布与计算	19
第三节 潮流计算的牛顿—拉夫逊法应用	20
第四节 电力系统计算机算法的应用	22
第三章 电力系统故障分析与计算习题解	27
第一节 无穷大电源供电系统的对称短路分析与计算	27
第二节 同步发电机突然发生对称短路的分析与计算	31
第三节 不对称短路时各元件的等值序电抗和等值序网络的形成	33
第四节 不对称故障时短路点的电压和电流分析与计算	34
第五节 断线分析与计算	37
第四章 电力系统质量控制习题解	39
第一节 电力系统有功功率和频率的调节	39
第二节 电力系统无功功率和电压控制的综合分析	40
第三节 电力系统运行方式的优化	44

第二篇 电力系统分析综合实验

第五章 电力系统综合实验台简介	47
第一节 电力系统综合实验台构成	47
第二节 双电源电力系统结构图的建立	49
第三节 实验的安全规程和安全操作说明	51
第四节 实验基本要求与实验报告	52
第六章 电力系统分析实验内容	55
第一节 同步发电机空载实验、短路实验	55
第二节 同步发电机 V 形曲线及零功率因数实验	57

第三节	发电机外特性实验	61
第四节	单机一无穷大系统稳态运行方式实验	63
第五节	电力系统双电源单回路稳态非全相运行实验	66
第六节	电力系统功率特性和功率极限实验	69
第七节	发电机单机带负载实验	74
第八节	电力系统无功调节特性实验	77
第九节	电力系统暂态稳定性实验	79
第十节	电力系统短路电流波形的测试实验	84

第三篇 电力系统分析课程设计

第七章	电力系统分析课程设计的基本要求	87
第一节	电力系统分析课程设计的规范与基本要求	87
第二节	电力系统分析课程设计需搜集的基础资料	88
第三节	电力系统分析课程设计说明书的撰写与要求	93
第八章	电力系统分析课程设计的类型与题目	96
第一节	电力系统分析课程设计的类型	96
第二节	电力系统分析课程设计的题目	98
第九章	电力系统分析课程设计的示例	100
第一节	变电所一次系统最佳方案的设计	100
第二节	电力变压器台数和容量的最佳方案设计	107
第三节	复杂网络 N-R 法潮流分析与计算的设计	113
第四节	三相短路故障分析与计算的算法设计	121
第五节	不对称故障分析与计算的程序设计	131
第六节	电力系统电压控制的示例	145
参考文献		150

第一篇 电力系统分析的主要习题解

电力系统分析是电力系统常规计算的核心内容,因此是电气工程及电力系统自动化等专业必须掌握的知识。为了让学生在读懂教科书的同时,通过做练习来巩固和提高已学的知识,本书提供了四章的电力系统分析主要的习题解,并针对不同层面的学生分别编写了基本习题及有一定深度适合研究生考试参考的提高题,希望学生可以根据自身情况选择适合的题目进行相应的练习,以对所学的知识起到提高巩固的作用。

本篇习题中主要包括了电力系统基本知识习题解、电力系统稳态分析与计算习题解、电力系统故障分析与计算习题解及电力系统质量控制习题解四章内容。其中第一章中主要覆盖电力系统组成、额定电压等级、电力元件的数学模型以及标幺制等电力系统分析中的基础内容,是学习电力系统分析的入门部分,因此必须认真掌握。而此章习题正好可以在掌握基本知识的基础上通过练习题进行复习和巩固,其中在表 1-1 和表 1-2 中给出了各种阻抗的计算公式及网络化简方式,以方便学习应用,使学习达到一个更好的效果。在第二章中主要包含简单及复杂网络的潮流计算,题目由浅入深,充分锻炼了学生的思维能力,最后加入了计算机潮流算法的应用,为学习电力系统分析设计打下了基础。第三章中主要包含对称与不对称故障的分析与计算,并在此穿插序网图的绘制,拓宽学生学习的知识面,可以较容易地消化和理解电力系统中的故障分析部分的知识。第四章中不但包括质量控制中常规的频率调整和电压调整习题,同时为了适应电力系统的现代化发展,还加入经济调度相关内容——电力系统运行方式的优化,拓宽了学习的层面,也加深了学习的层次。本书的编写适应了现代社会发展与需求。

表 1-1

有名值与标幺值换算公式

参数名称	有 名 值	标 幺 值	说 明
功率	$S = S_* S_B$	$S_* = \frac{S}{S_B}$	一般取 $S_B = 100\text{MV} \cdot \text{A}$
电压	$U = U_* U_B$	$U_* = \frac{U}{U_B}$	一般取 $U_B = U_{avN}$
电流	$I = I_* I_B = I_* \frac{S_B}{\sqrt{3}U_B}$	$I_* = \frac{I}{I_B}$	$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3}U_B}$
电 抗	$X = X_* X_B = X_* \frac{U_B^2}{S_B}$	$X_* = \frac{X}{X_B} = X \frac{S_B}{U_B^2} \quad X'_* = X_* \frac{S'_B}{S_B}$	X'_* 是以 S'_B 为基准容量的标幺值, X_* 是以 S_B 为基准容量的标幺值
发电机电抗	$X''_G = \frac{X_G \%}{100} \frac{U_N^2}{S_N}$	$X''_{G*} = \frac{X_G \%}{100} \frac{S_B}{P_N} \cos \varphi_N$ $X''_{G*} = \frac{X_G \%}{100} \frac{S_B}{S_N}$	次暂态电抗用于短路计算
电动机电抗	$X''_M = \frac{X_M \%}{100} \frac{U_N^2}{S_N}$	$X''_{M*} = \frac{1}{K_{st}} \frac{S_B}{S_N} = \frac{1}{K_{st}} \frac{S_B}{P_N} \cos \varphi_N$	次暂态电抗用于短路计算, K_{st} 为 起动电流倍数

续表

参数名称	有名值	标么值	说明
变压器电抗	$X_T = \frac{U_K \%}{100} \frac{U_N^2}{S_N}$	$X_{T*} = \frac{U_K \%}{100} \frac{S_B}{S_N}$	当为三绕组变压器时, 各侧的 $U_K \%$ 经计算得出
线路电抗	$X_W = x_0 L$	$X_{W*} = \frac{S_B}{U_B^2} x_0 L$	x_0 为线路每公里电抗值, Ω/km L 为线路长度, km
电抗器电抗	$X_R = \frac{X_R \%}{100} \frac{U_N}{\sqrt{3} I_N}$	$X_{R*} = \frac{X_R \%}{100} \frac{U_N}{\sqrt{3} I_N} \frac{S_B}{U_B^2}$	$X_R \%$ 为电抗器铭牌上的电抗百分数 U_N 、 I_N 为其额定电压、额定电流
系统等值电抗	$X_S = \frac{U_N^2}{S_K}$	$X_{S*} = \frac{S_B}{S_K} (S_K = \sqrt{3} I_K U_N)$	S_K 为系统某一点的短路容量, $\text{MV} \cdot \text{A}$ I_K 为该点的三相短路电流, kA U_N 为该点的额定电压, kV

表 1-2 网络化简时常用的等值变换公式

变换名称	变换前网络	变换后等效网络	等效网络的阻抗
有源电动势支路的并联			$Z_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \dots + \frac{1}{Z_n}}$ $\dot{E}_{eq} = Z_{eq} \left(\frac{\dot{E}_1}{Z_1} + \frac{\dot{E}_2}{Z_2} + \dots + \frac{\dot{E}_n}{Z_n} \right)$
三角形变星形			$Z_L = \frac{Z_{ML} Z_{LN}}{Z_{ML} + Z_{LN} + Z_{NM}}$ $Z_M = \frac{Z_{ML} Z_{NM}}{Z_{ML} + Z_{LN} + Z_{NM}}$ $Z_N = \frac{Z_{LN} Z_{NM}}{Z_{ML} + Z_{LN} + Z_{NM}}$
星形变三角形			$Z_{ML} = Z_M + Z_L + \frac{Z_M Z_L}{Z_N}$ $Z_{LN} = Z_N + Z_L + \frac{Z_N Z_L}{Z_M}$ $Z_{NM} = Z_M + Z_N + \frac{Z_M Z_N}{Z_L}$
N 支路星形变为网形, 消去原星形的中心点 N (以 $n=4$ 为例)			$Z_{AB} = Z_A Z_B \sum \frac{1}{Z}$ $Z_{BC} = Z_C Z_B \sum \frac{1}{Z} \text{ (其余略)}$ $\sum \frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_A} + \frac{1}{Z_B} + \frac{1}{Z_C} + \frac{1}{Z_D}$

第一章 电力系统基本知识习题解

第一节 电力系统组成与额定电压等级

- 1-1. 电力系统由发电机、变压器、电力线路、负载四部分组成。
 1-2. 电力网由升压变压器、输电线路、降压变压器、配电线路四部分组成。
 1-3. 电力系统中线路额定电压为 10kV 时发电机额定电压为 10.5kV。
 1-4. 试确定图 1-1 中各变压器一、二次侧的额定电压。

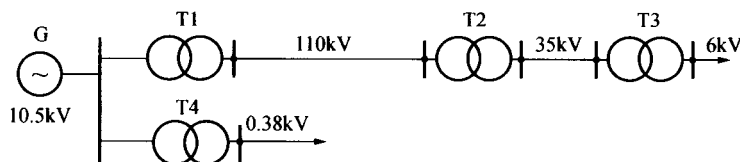


图 1-1 题 1-4 图

解: T1: 10.5kV/121kV; T2: 110kV/38.5kV; T3: 35kV/6.6kV; T4: 10kV/0.4kV。

- 1-5. 试确定图 1-2 中各元件设备的额定电压。

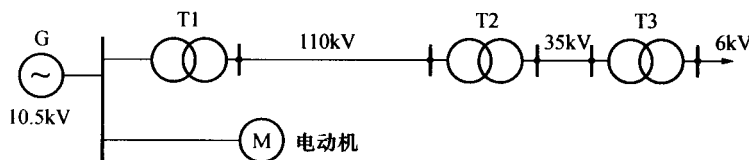


图 1-2 题 1-5 图

解: T1: 10.5kV/121kV; T2: 110kV/38.5kV; T3: 35kV/6.6kV; M: 10kV。

- 1-6. 试确定图 1-3 中各元件设备的额定电压。

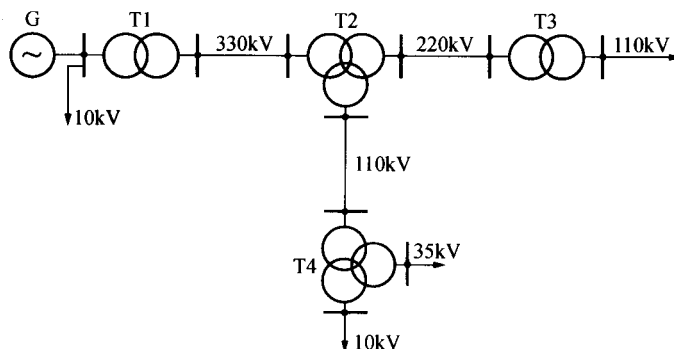


图 1-3 题 1-6 图

解: G: 10.5kV; T1: 10.5kV/363kV; T2: 330kV/242kV/121kV; T3: 220kV/121kV; T4: 110kV/38.5kV/11kV。

第二节 电力系统各元件数学模型的建立

1-7. 画出线路和变压器接线方式的参数及等值电路图。

解：参数和等值电路如图 1-4 所示（其中 B 为单条线路对地的电纳； $Z = r_0 l + jx_0 l$ 为单条线路的串联阻抗； R_T 、 X_T 、 G_T 、 B_T 分别为单台变压器的电阻、电抗、电导和电纳。以下相同）。

1-8. 画出两台变压器并联运行的参数及等值电路图。

解：参数和等值电路如图 1-5 所示。

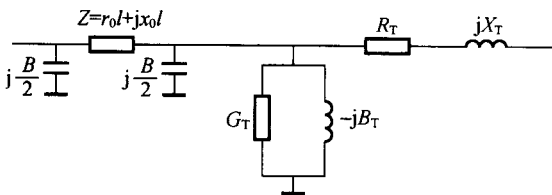


图 1-4 题 1-7 图

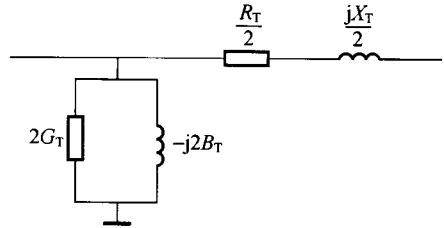


图 1-5 题 1-8 图

1-9. 画出两条线路并联的参数及等值电路图。

解：参数和等值电路如图 1-6 所示。

1-10. 画出两条线路和一台变压器的参数及等值电路图。

解：参数和等值电路如图 1-7 所示。

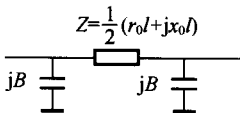


图 1-6 题 1-9 图

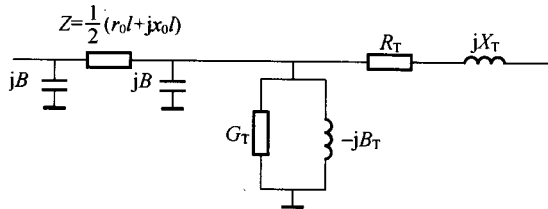


图 1-7 题 1-10 图

1-11. 画出发电机和两台变压器并联运行接线的参数及等值电路图。

解：参数和等值电路如图 1-8 所示（ E_Q 为发电机的等值电动势； x_d 为发电机等值电抗）。

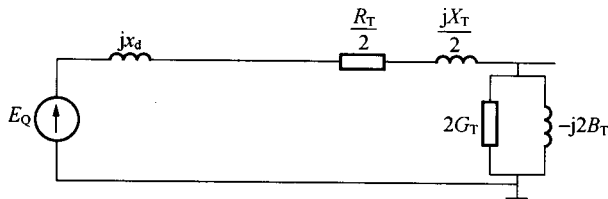


图 1-8 题 1-11 图

1-12. 画出变压器和负载组成接线方式的参数及等值电路图。

解：参数和等值电路如图 1-9 所示（ Z_L 为负载的等值阻抗）。

1-13. 画出三绕组变压器的参数及等值电路图。

解：参数和等值电路如图 1-10 所示。

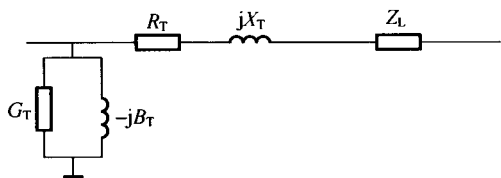


图 1-9 题 1-12 图

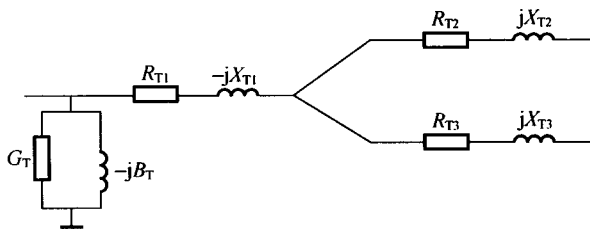


图 1-10 题 1-13 图

1-14. 画出两端发电机组和线路组成接线方式的参数及等值电路图。

解：参数和等值电路如图 1-11 所示。

1-15. 500kV 架空线路长 600km，采用三分裂导线，型号为 LGJQ-400×3（计算半径 $R=13.7\text{mm}$ ），裂距为 400mm，三

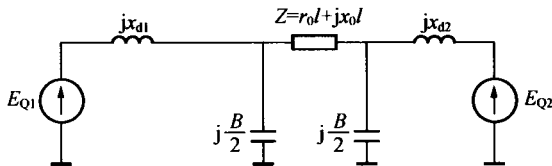


图 1-11 题 1-14 图

相导线水平排列，线距 $D=11\text{m}$ 。试绘制其等值电路图。

解：(1) 求 r_0 ，即

$$r_0 = \frac{\rho}{S} = \frac{31.5}{400 \times 3} = 0.026251 \quad (\Omega/\text{km})$$

(2) 求 x_0 。由题意知

$$D_m = 1.26 \times 11000 = 13860 \quad (\text{mm})$$

$$R'_e = \sqrt[3]{R' d_{12} \cdots d_{1n}} = \sqrt[3]{0.81 \times 13.7 \times 400 \times 400} = 121.09 \quad (\text{mm})$$

则由式

$$x_0 = 0.02 \pi \ln \frac{D_m}{R'_e} \quad (1-1)$$

可得

$$x_0 = 0.02 \times 3.14 \times \ln \frac{13860}{121.09} = 0.29771 \quad (\Omega/\text{km})$$

(3) 求 b_0 。由 (2) 计算知

$$D_m = 1.26D = 13860 \quad (\text{mm})$$

则

$$R_e = \sqrt[3]{13.7 \times 400 \times 400} = 129.9 \quad (\text{mm})$$

得

$$b_0 = 17.4533 \times 10^{-6} / \ln \frac{13860}{129.9} = 3.737 \times 10^{-6} \quad (\text{S/km})$$

(4) 等值电路如图 1-12 所示。

$$R = r_0 \times l = 15.75 \Omega; \quad X = x_0 \times l = 178.62 \Omega; \quad B = b_0 \times l = 2242.38 \times 10^{-6} \text{S}$$

1-16. 一台三相双绕组变压器的铭牌参数为：SFL-80MV·A/38.5kV； $U_K\% = 7$ ； $\Delta P_K = 430\text{kW}$ ； $\Delta P_0 = 78\text{kW}$ ； $I_0\% = 2$ 。试求：

(1) 绘制单相等值电路图；

(2) 归算到高压侧的阻抗和并联导纳。

解：(1) 等值电路如图 1-13 所示。

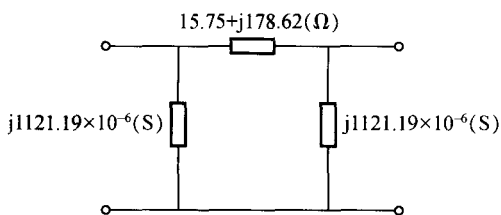


图 1-12 题 1-15 图

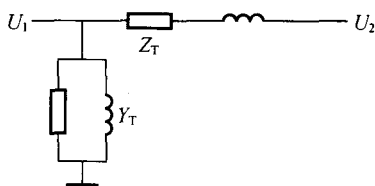


图 1-13 题 1-16 图

(2) 由

$$R_T = \frac{\Delta P_K}{1000} \cdot \frac{U_N^2}{S_N^2} \quad (1-2)$$

$$X_T = \frac{U_K\%}{100} \cdot \frac{U_N^2}{S_N} \quad (1-3)$$

$$G_T = \frac{\Delta P_0}{1000 \times U_N^2} \quad (1-4)$$

$$B_T = \frac{I_0\%}{100} \cdot \frac{S_N}{U_N^2} \quad (1-5)$$

$$Z_T = R_T + jX_T \quad (1-6)$$

$$Y_T = G_T - jB_T \quad (1-7)$$

得出该变压器归算到高压侧的阻抗及并联导纳为

$$Z_T = R_T + jX_T = 0.0996 + j1.3 \quad (\Omega)$$

$$Y_T = G_T - jB_T = 5.26 \times 10^{-5} - j1.08 \times 10^{-3} \quad (S)$$

1-17. 线路及参数如图 1-14 所示, 试求:

(1) 绘制 Π 形单相等值电路图;

(2) 计算阻抗和并联导纳。

解: (1) 等值电路如图 1-15 所示。

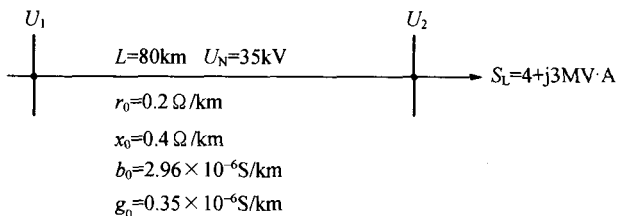


图 1-14 题 1-17 图 (一)

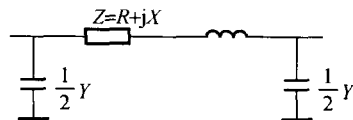


图 1-15 题 1-17 图 (二)

(2) 由

$$Z = R + jX = r_0 l + jx_0 l \quad (1-8)$$

$$Y = G + jB = g_0 l + jb_0 l \quad (1-9)$$

得

$$Z = 16 + j32 \quad (\Omega)$$

$$Y = 28 \times 10^{-6} + j23.7 \times 10^{-5} \quad (S)$$

第三节 电力系统元件标么制的应用及简化电路

1-18. 标么制是相对单位制的一种, 在标么制中各物理量都用标么值表示。标么值定义

为

$$\text{标么值} = \frac{\text{实际有名值(任意单位)}}{\text{基准值(与有名值同单位)}}$$

标么制既是一种单位制，也是一种简化运算的工具。电力系统计算中广泛采用标么制，因其具有一系列的优点，如各物理量的标么值较小、计算简单、易于判断一些物理量和计算结果的正确性。

1-19. 各元件标么值准确计算公式如下：

$$\text{发电机参数} \quad X_{G*} = \frac{X_G \% \cdot U_{NG}^2 \cdot S_B}{100 \times U_B^2 \cdot S_{NG}}$$

$$\text{变压器参数} \quad R_{T*} = \frac{\Delta P_K \cdot U_{NT}^2 \cdot S_B}{1000 \times U_B^2 \cdot S_{NT}}, \quad X_{T*} = \frac{U_K \% \cdot U_{NT}^2 \cdot S_B}{100 \times U_B^2 \cdot S_{NT}}$$

$$G_{T*} = \frac{\Delta P_0 \cdot U_B^2}{1000 \times U_{NT}^2 \cdot S_B}, \quad B_{T*} = \frac{I_0 \% \cdot U_B^2 \cdot S_{NT}}{100 \times U_{NT}^2 \cdot S_B}$$

$$\text{线路参数} \quad R_{W*} = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_B}{U_B^2}, \quad X_{W*} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_B}{U_B^2}, \quad B_{W*} = b_0 \cdot l \cdot \frac{U_B^2}{S_B}$$

$$\text{电抗器参数} \quad X_{T*} = \frac{X_R \% \cdot U_{NR} \cdot I_B}{100 \times U_B \cdot I_{NR}}$$

$$\text{负载} \quad R_{L*} = \frac{U_*^2}{S_*^2} \cdot P_*, \quad X_{L*} = \frac{U_*^2}{S_*^2} \cdot Q_*, \text{ 或 } R_{L*} = R_L \cdot \frac{S_B}{U_B^2}, \quad X_{L*} = X_L \cdot \frac{S_B}{U_B^2}$$

1-20. 近似计算下的各元件标么值计算公式 ($U_B = U_{av}$, $U_N = U_{av}$)。

$$\text{发电机参数} \quad X_{G*} = \frac{X_G \% \cdot S_B}{100 \times S_{NG}}$$

$$\text{变压器参数} \quad R_{T*} = \frac{\Delta P_K \cdot S_B}{1000 \times S_{NT}^2}, \quad X_{T*} = \frac{U_K \% \cdot S_B}{100 \times S_{NT}}$$

$$G_{T*} = \frac{\Delta P_0}{1000 \times S_B}, \quad B_{T*} = \frac{I_0 \% \cdot U_B^2 \cdot S_{NT}}{100 \times U_{NT}^2 \cdot S_B}$$

$$\text{线路参数} \quad R_{W*} = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_B}{U_{av}^2}, \quad X_{W*} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_B}{U_{av}^2}, \quad B_{W*} = b_0 \cdot l \cdot \frac{U_{av}^2}{S_B}$$

$$\text{电抗器参数} \quad X_{T*} = \frac{X_R \% \cdot U_{NR} \cdot S_B}{100 \times \sqrt{3} \cdot U_{av}^2 \cdot I_{NR}}$$

$$\text{负载} \quad R_{L*} = \frac{U_*^2}{S_*^2} \cdot P_*, \quad X_{L*} = \frac{U_*^2}{S_*^2} \cdot Q_*, \text{ 或 } R_{L*} = R_L \cdot \frac{S_B}{U_{av}^2}, \quad X_{L*} = X_L \cdot \frac{S_B}{U_{av}^2}$$

1-21. 电力系统如图 1-16 所示，试求：各电源到短路点的电抗标么值（设 $S_B = 100\text{MV}\cdot\text{A}$, $U_B = U_{av}$, $U_N = U_{av}$ ，要求绘制等值电路）。

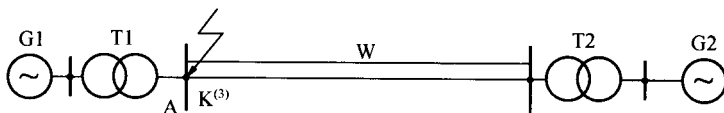


图 1-16 题 1-21 图 (一)

系统各参数如下：

发电机 G1 $100\text{MV}\cdot\text{A}$, $X''_{d1} = 0.183$, $\cos\varphi = 0.85$

发电机 G2 $50\text{MV}\cdot\text{A}$, $X''_{d2} = 0.163$, $\cos\varphi = 0.85$

变压器 T1 $120\text{MV}\cdot\text{A}$, $U_K\% = 10.5$, $242/10.5\text{kV}$

变压器 T2 $60\text{MV}\cdot\text{A}$, $U_K\% = 10.2$, $242/6.3\text{kV}$

每条线路 $x_0 = 0.4\Omega/\text{km}$, $L_1 = 80\text{km}$, 共两条线路并联运行。

解: (1) 设基准功率 $S_B = 100\text{MV}\cdot\text{A}$, $U_B = U_{av}$, $U_N = U_{av}$

$$\text{由} \quad X_{G*} = x_d'' \cdot \frac{S_B}{S_{NG}} \quad (1-10)$$

$$X_{T*} = \frac{U_K\%}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{NT}} \quad (1-11)$$

$$X_{W*} = x_0 \cdot L_1 \cdot \frac{S_B}{U_B^2} \quad (1-12)$$

$$\text{得} \quad X_{1*} = X_{G1*} + X_{T1*} = 0.183 \times \frac{100}{100} + \frac{10.5}{100} \times \frac{100}{120} = 0.183 + 0.0875 = 0.271$$

$$\begin{aligned} X_{2*} &= X_{G2*} + X_{T2*} + X_{W*} = 0.163 \times \frac{100}{50} + \frac{10.2}{100} \times \frac{100}{60} + 0.5 \times 0.4 \times 80 \times \frac{100}{231^2} \\ &= 0.326 + 0.17 + 0.03 = 0.526 \end{aligned}$$



图 1-17 题 1-21 图 (二)

(2) 其等值电路如图 1-17 所示。

1-22. 发电机 G1 和 G2 具有相同的容量, 它们的额定电压分别为 6.3kV 和 10.5kV 。若以它们的额定条件为基准的发电机电抗的标么值是相等的 ($X_{NG1*} =$

X_{NG2*}), 问这两个发电机电抗的欧姆数的比值是多少?

$$\text{解: 由} \quad X_{G1} = X_{NG1*} \cdot \frac{U_{NG1}^2}{S_{N1}} \quad (1-13)$$

$$X_{G2} = X_{NG2*} \cdot \frac{U_{NG2}^2}{S_{N2}} \quad (1-14)$$

$$\text{得} \quad \frac{X_{G1}}{X_{G2}} = \frac{X_{NG1*} \cdot U_{NG1}^2 \cdot S_{N2}}{X_{NG2*} \cdot U_{NG2}^2 \cdot S_{N1}}$$

由已知 $S_{N1} = S_{N2}$, $X_{NG1*} = X_{NG2*}$ 可得

$$\frac{X_{G1}}{X_{G2}} = \frac{U_{NG1}^2}{U_{NG2}^2}$$

$$\text{即} \quad \frac{X_{G1}}{X_{G2}} = \frac{6.3^2}{10.5^2} = 0.36$$

1-23. 有两台变压器, 一台的额定电压为 $121\text{kV}/6.3\text{kV}$, 另一台的电压为 $110\text{kV}/6.6\text{kV}$ 。在这两台变压器的二次侧接有欧姆数相同的电抗 $X = 10\Omega$ 。试求:

(1) 从两台变压器高压侧看这电抗 X 的欧姆值分别是多少?

(2) 设变压器的额定功率和高压侧额定电压分别为 $S_{NT} = 100\text{MV}\cdot\text{A}$, $U_{N1} = 115\text{kV}$, 这两个电抗的标么值比值是多少?

$$\text{解: (1) 由} \quad \frac{X'}{X} = K^2 \quad (1-15)$$

$$\text{可得} \quad X'_1 = K_1^2 \cdot X_1 = \frac{121^2}{6.3^2} \times 10 = 3688.84 \quad (\Omega)$$

$$X'_2 = K_2^2 \cdot X_2 = \frac{110^2}{6.6^2} \times 10 = 2777.78 \quad (\Omega)$$

(2) 由 $S_{NT} = 100\text{MV}\cdot\text{A}$, $U_{N1} = 115\text{kV}$ 可得 $U_{N21} = \frac{U_{N1}}{K_1} = \frac{115 \times 6.3}{121} = 5.99 \text{ (kV)}$ (第一台变压器), $U_{N22} = \frac{U_{N1}}{K_2} = \frac{115 \times 6.6}{110} = 6.9\text{kV}$ (第二台变压器)。

于是有 $X_{1*} = X_1 \cdot \frac{S_N}{U_{N21}^2}$, $X_{2*} = X_2 \cdot \frac{S_N}{U_{N22}^2}$

从而得 $\frac{X_{1*}}{X_{2*}} = \frac{U_{N22}^2}{U_{N21}^2} = \frac{6.9^2}{5.99^2} = 1.33$

1-24. 有一电力系统, 各元件参数如图 1-18 所示, 设 $S_B = 100\text{MV}\cdot\text{A}$ 。试求:

(1) 准确计算各元件电抗标幺值 (基本段电压为 110kV , 归算到基准侧);

(2) 近似计算各元件电抗标幺值 (基准电压取平均额定电压);

(3) 校验两种计算的误差百分值。

解: (1) 由公式 $X_G = X'' \cdot \frac{U_{NG}^2}{S_{NG}} \cdot \frac{S_B}{U_B^2}$ (1-16)

$X_T = \frac{U_K \%}{100} \cdot \frac{U_{NT}^2}{S_{NT}} \cdot \frac{S_B}{U_B^2}$ (1-17)

$X_W = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_B}{U_B^2}$ (1-18)

得 $X_G = 0.2 \times \frac{10.5^2}{50} \times \frac{100}{9.55^2} = 0.484$, $X_T = \frac{8}{100} \times \frac{10.5^2}{60} \times \frac{100}{9.55^2} = 0.161$

(2) 由式(1-10)、式(1-12)

得 $X_G = 0.2 \times \frac{100}{50} = 0.4$, $X_T = \frac{8}{100} \times \frac{100}{60} = 0.133$

(3) $X_1 = 0.484 + 0.161 = 0.645$, $X_2 = 0.4 + 0.133 = 0.533$

其误差百分值为 $\Delta \% = \frac{(0.645 - 0.533)}{0.645} \times 100 = 17.4$

(4) 其等值电路如图 1-19 所示。

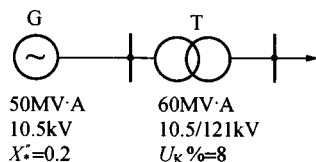


图 1-18 题 1-24 图 (一)

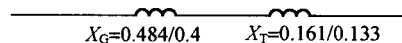


图 1-19 题 1-24 图 (二)

1-25. 各元件电抗标幺值如图 1-20 所示, 有 N 根电缆并联运行, 若使 K 点三相短路的冲击电流不超过 20kA , 求 N 的最大并联根数 (设 $S_B = 100\text{MV}\cdot\text{A}$, $U_B = U_{av}$)。

解: 由于 $X_\Sigma = 0.1 + 0.3 + 0.4 \times 0.5 + \frac{0.572}{N}$

$$I''_* = \frac{1}{X_\Sigma}$$

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3}U_B} = \frac{100}{\sqrt{3} \times 10.5} = 5.5(\text{kA})$$

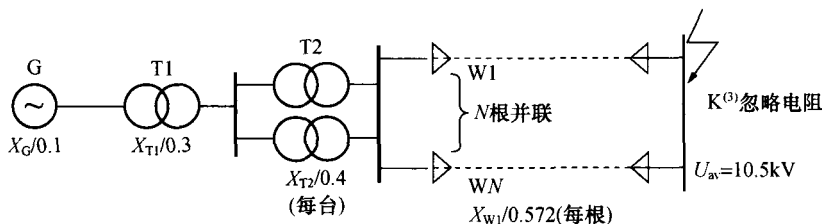


图 1-20 题 1-25 图

所以当 $I'' = \frac{20}{2.55} = 7.84 \text{ kA}$ 时, $X'_\Sigma = \frac{I_B}{I''} = \frac{5.5}{7.84} = 0.7$

则 $N = \frac{0.572}{0.7 - 0.6} = 5.72$, 由此可知取 $N = 6$ 根, 即可使冲击电流小于 20 kA 。

1-26. 110 kV 线路上接有负载 $S_L = 20 + j15 (\text{MV} \cdot \text{A})$ 。试分别用阻抗和导纳表示该负载, 如取 $S_B = 100 \text{ MV} \cdot \text{A}$, $U_B = U_{av}$, 将其表示为以导纳表示的标么值。

解: (1) 求阻抗 Z_L 和导纳 Y_L 。

由 $Z_L = \frac{U^2}{S_L} = \frac{110^2}{20 - j15} = 387.2 + j290.4 \quad (\Omega)$

则有 $Y_L = \frac{1}{Z_L} = \frac{1}{387.2 + j290.4} = (16.53 - j12.4) \times 10^{-4} \quad (\text{S})$

(2) 求 Y_{L*} 。

已知 $S_B = 100 \text{ MV} \cdot \text{A}$, $U_B = U_{av} = 115 \text{ kV}$

则有 $Y_{L*} = \frac{Y_L}{Y_B} = Y_L \cdot \frac{U_B^2}{S_B} = (16.53 - j12.4) \times 10^{-4} \times \frac{115^2}{100} = 0.219 - j0.164$

1-27. 某 110 kV 降压变电所有两台额定容量均为 $10 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 的变压器, 两台变压器的参数相同: $\Delta P_K = 74 \text{ kW}$, $U_K\% = 10.5$, $\Delta P_0 = 26 \text{ kW}$, $I_0\% = 1.5$, 共同承担 $18 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 负载。求此变电所等值负载。

解: 已知负载功率 S_L , 求变压器自身损耗 ΔS_T

$$\Delta P_T = 2 \times \frac{\Delta P_0}{1000} + \frac{\Delta P_K}{2 \times 1000} \cdot \left(\frac{S}{S_{NT}} \right)^2 = 2 \times \frac{26}{1000} + \frac{74}{2 \times 1000} \left(\frac{18}{10} \right)^2 = 0.119 \quad (\text{MW})$$

$$\begin{aligned} \Delta Q_T &= 2 \times \frac{I_0\%}{100} S_{NT} + \frac{U_K\%}{2 \times 100} \cdot S_{NT} \left(\frac{S}{S_{NT}} \right)^2 \\ &= 2 \times \frac{1.5}{100} \times 10 + \frac{10.5}{2 \times 100} \times 10 \times \left(\frac{18}{10} \right)^2 = 2.001 \quad (\text{Mvar}) \end{aligned}$$

则 $\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{0.119^2 + 2.001^2} = 2.005 \quad (\text{MV} \cdot \text{A})$

因此该变电所等值负载为

$$S = S_L + \Delta S_T = 18 + 2.005 = 20.005 (\text{MV} \cdot \text{A})$$

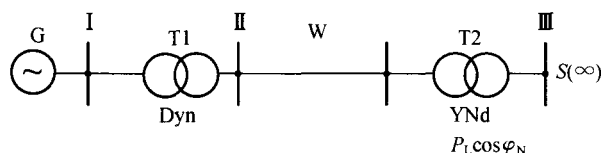


图 1-21 题 1-28 图 (一)

1-28. 如图 1-21 所示简单电力系统, 用近似法确定标么值等值电路。取 $S_B = 100 \text{ MV} \cdot \text{A}$, $U_B = U_{av}$, $U_N = U_{av}$ 。参数为:

$$G \quad P_N = 240 \text{ MW}, \cos \varphi_N = 0.8,$$