

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材配套用书



电力工程

学习指导与习题解答

金宇清 马宏忠 孙国强 卫志农 等编

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材配套用书

电力工程 学习指导与习题解答

金宇清 马宏忠 孙国强 编
卫志农 袁越 丁晓群

鞠平 主审



机械工业出版社

由鞠平教授主编的《电力工程》第2版为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材、国家精品课程教材。本书是为该教材配套的学习指导性用书。内容包括电力设备、电力系统稳态分析、电力系统暂态分析、电力工程的设计与管理等4篇16章。书中对各章的基本知识点及内在联系进行了总结,对重点、难点内容进行了分析,对教材中大部分思考题与习题给出了详细解答或解题指导,还补充了一些有代表性的习题。

本书适合作为普通高等学校电气工程及其自动化专业以及其他相关专业的补充教材、学习指导用书、自学辅导教材或考研参考用书,也可供教师备课及批改作业参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力工程学习指导与习题解答/金宇清等编. —北京:机械工业出版社, 2016. 6

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材配套用书

ISBN 978-7-111-53618-5

I. ①电… II. ①金… III. ①电力工程-高等学校-教学参考资料
IV. ①TM7

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第084974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:于苏华 责任编辑:于苏华 韩静 责任校对:潘蕊

封面设计:马精明 责任印制:李昂

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2017年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·9.25印张·222千字

标准书号:ISBN 978-7-111-53618-5

定价:22.00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

服务咨询热线:010-88379833

读者购书热线:010-88379649

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网:www.cmpbook.com

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

金书网:www.golden-book.com

前 言

鞠平教授主编的《电力工程》教材自2009年1月出版以来,已有上百所高校选用或参考。衷心感谢读者对该教材的厚爱和建议,我们于2014年对《电力工程》进行了修订,出版了《电力工程》第2版,并配套了教学课件。近来不断有读者希望出版针对该教材的教学指导和习题详解,为此我们编写了本书。

全书包括电力设备、电力系统稳态分析、电力系统暂态分析、电力工程的设计与管理等4篇共16章内容。各章又分别包括基本知识点、重点和难点、习题提示与参考答案和补充习题与参考答案等内容。基本知识点对各章需要掌握的学习内容提出了基本要求;重点和难点归纳阐明了教学主要内容和易错易混淆的问题;习题提示与参考答案对原书各章的大部分习题给出了较详细的解答或解题指导;补充习题与参考答案根据原书知识点补充了一些习题,并给出了解答。

本书以培养和提高学生自主学习能力和分析解决问题能力作为基本思想,强调对电力工程基本概念、基本理论和基本分析方法的理解、掌握和使用。目的在于让学生厘清学习思路,总结方法要略,启迪创新思维,促进能力提高。

本书第1、3、4、6(部分)、10章由金宇清副教授编写,第2、5、6(部分)、13、14、15章由马宏忠教授编写,第7、8、9章由孙国强副教授、卫志农教授编写,第11、12、16章由袁越教授与金宇清副教授编写,第6章(主要部分)由丁晓群教授编写。全书由鞠平教授主审。

在本书的编写过程中,河海大学部分研究生为习题整理做了工作,主要有黄春梅、顾苏雯、林雪、顾丽玲、周荣玲、陆宇焯、刘世凯、陈刚、吴霖、陈婷、赵猛等,在此向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加上时间仓促,书中难免有不妥之处,恳请广大读者批评指正,并提出宝贵意见。金宇清的电子邮箱: jyq16@hhu.edu.cn。

编 者

目 录

前 言

第1篇 电力设备

第1章 绪论	1	第4章 同步发电机	20
1.1 基本知识点	1	4.1 基本知识点	20
1.2 重点和难点	2	4.2 重点和难点	21
1.3 习题解答	4	4.3 习题解答	23
I. 习题提示与参考答案	4	I. 习题提示与参考答案	23
II. 补充习题与参考答案	7	II. 补充习题与参考答案	25
第2章 输电设备	8	第5章 开关类设备	26
2.1 基本知识点	8	5.1 基本知识点	26
2.2 重点和难点	8	5.2 重点和难点	26
2.3 习题解答	9	5.3 习题解答	28
I. 习题提示与参考答案	9	I. 习题提示与参考答案	28
II. 补充习题与参考答案	14	II. 补充习题与参考答案	31
第3章 电力负荷	15	第6章 高压绝缘与保护控制	33
3.1 基本知识点	15	6.1 基本知识点	33
3.2 重点和难点	16	6.2 重点和难点	34
3.3 习题解答	17	6.3 习题解答	37
I. 习题提示与参考答案	17	I. 习题提示与参考答案	37
II. 补充习题与参考答案	19	II. 补充习题与参考答案	41

第2篇 电力系统稳态分析

第7章 电力系统的潮流	45	8.3 习题解答	70
7.1 基本知识点	45	I. 习题提示与参考答案	70
7.2 重点和难点	46	II. 补充习题与参考答案	75
7.3 习题解答	49	第9章 电力系统的电压	78
I. 习题提示与参考答案	49	9.1 基本知识点	78
II. 补充习题与参考答案	60	9.2 重点与难点	79
第8章 电力系统的频率	68	9.3 习题解答	80
8.1 基本知识点	68	I. 习题提示与参考答案	80
8.2 重点与难点	69	II. 补充习题与参考答案	88

第3篇 电力系统暂态分析

第10章 电力系统的对称故障	91	10.2 重点和难点	91
10.1 基本知识点	91	10.3 习题解答	93

I. 习题提示与参考答案	93	II. 补充习题与参考答案	106
II. 补充习题与参考答案	94	第 12 章 电力系统的稳定	108
第 11 章 电力系统的不对称故障	96	12.1 基本知识点	108
11.1 基本知识点	96	12.2 重点和难点	109
11.2 重点和难点	97	12.3 习题解答	111
11.3 习题答案	99	I. 习题提示与参考答案	111
I. 习题提示与参考答案	99	II. 补充习题与参考答案	119
第 4 篇 电力工程的设计与管理			
第 13 章 电气主接线	121	15.1 基本知识点	130
13.1 基本知识点	121	15.2 重点和难点	131
13.2 重点和难点	122	15.3 习题解答	132
13.3 习题解答	123	I. 习题提示与参考答案	132
I. 习题提示与参考答案	123	II. 补充习题与参考答案	134
II. 补充习题与参考答案	125	第 16 章 电力工程管理	135
第 14 章 电力网络接线的设计	126	16.1 基本知识点	135
14.1 基本知识点	126	16.2 重点和难点	135
14.2 重点和难点	126	16.3 习题答案	136
14.3 习题解答	127	I. 习题提示与参考答案	136
I. 习题提示与参考答案	127	II. 补充习题与参考答案	137
II. 补充习题与参考答案	129	参考文献	139
第 15 章 电气设备的选择	130		

第1篇 电力设备

第1章 绪论

通过本章的学习,应该了解电力系统的构成及基本参量;了解发电厂及变电所的类型;了解电力系统的特点和要求;掌握电力系统中性点接地方式;掌握标么值的计算、换算及基准值的选择;掌握复杂网络中标么值的计算。

1.1 基本知识点

1. 关于电力系统的一些基本概念

1) 电力系统的构成:从功能上分为发电、输配电、用电3部分,具体由发电厂、变压器、线路及各种用电设备组成。

2) 电气接线图:描述了电力系统各个部分的电气连接关系,严格来说应为三相电路,但通常简化为单线图,如教材第1章图1-9所示。

3) 地理接线图:描述了电力系统各个部分的地理连接关系,图中线路走向与实际一致,线路长度与实际线路长度成比例,如教材第1章图1-10、图1-11所示。

4) 一次设备:指直接承担发电、输电、配电、用电功能的设备。

5) 二次设备:指为了一次设备正常运转和实现电能管理所需的测量、监视、控制、继电保护、自动化、通信等设备。

2. 电力系统的基本参量

包括总装机容量、最大负荷、年发电量、年用电量、额定频率、额定电压等,见教材第1章表1-1。

3. 电力系统的电压等级和电压分布

1) 标准额定电压均指线电压。

2) 我国电力系统中的额定电压等级及其平均额定电压数值,见教材第1章表1-2。

3) 低压、高压、超高压、特高压的电压范围,见教材第1章表1-3。

4) 电网中的电压分布,见教材第1章图1-12和表1-4。

4. 发电厂的种类

包括火电厂、水电厂、核电厂、风电场、光伏电站等。

5. 变电所的分类

1) 按功能可分为升压变电所、降压变电所。

2) 按在电力系统中的地位可分为枢纽变电所、中间变电所、地区变电所和终端变电所。

6. 电力系统对频率、电压的要求

电力系统对频率、电压的要求见教材第1章表1-6和表1-7。

7. 电力系统中性点的接地方式

1) 中性点接地方式指电力系统中性点与大地间的电气连接方式,我国电力系统广泛采用的中性点接地方式主要有中性点不接地、中性点经消弧线圈接地及中性点直接接地3种。

2) 我国电力系统中性点采用的运行方式是:

110kV及以上系统:中性点直接接地;

20~60kV系统:中性点经消弧线圈接地;

3~10kV系统:中性点不接地或经消弧线圈接地;

500V以下的三相三线制系统:中性点不接地;

220V/380V三相四线制系统:中性点直接接地。

8. 电力系统计算的标幺制

1.2 重点和难点

本章重点和难点在于电力系统计算的标幺制,其在电力系统的潮流分析、故障分析、稳定分析等计算中被广泛采用。

1. 标幺值的计算

$$\text{标幺值} = \frac{\text{实际有名值(有单位)}}{\text{基准值(与有名值同单位)}} \quad (1-1)$$

若选定电压、电流、功率和阻抗的基准值分别为 U_B 、 I_B 、 S_B 和 Z_B 时,相应的标幺值表示如下:

(1) 电压、电流的标幺值

$$U_* = \frac{U}{U_B} \quad I_* = \frac{I}{I_B} \quad (1-2)$$

(2) 功率标幺值

$$S_* = \frac{S}{S_B} \quad P_* = \frac{P}{S_B} \quad Q_* = \frac{Q}{S_B} \quad (1-3)$$

(3) 阻抗标幺值

$$Z_* = \frac{Z}{Z_B} \quad R_* = \frac{R}{Z_B} \quad X_* = \frac{X}{Z_B} \quad (1-4)$$

式(1-2)~式(1-4)中,下标含有*号的物理量表示标幺值,在本书后续章节中该下标通常省略;下标含有字母B的量表示基准值;无下标的量表示实际有名值。虽然标幺值无量纲,但为了清晰起见,通常将其单位标注为“p. u.”(是“per unit”的缩写)。

2. 基准值的选择

(1) 一般原则

为了在运用标幺值进行计算时,仍能使用电路理论的基本公式,各物理量的基准值之间必须满足一定的关系,对于单相电路有:

$$U_{p \cdot B} = Z_B I_B \quad S_{p \cdot B} = U_{p \cdot B} I_B \quad (1-5)$$

式中共有4个基准值,可任意选择两个基准值,而剩下的两个基准值可由该公式确定。一般

选择电压和功率的基准值，电流和阻抗的基准值由式(1-5)确定。

(2) 三相系统中各基准值之间的关系

计算三相电路时，一般采用线电压 U 、线电流（即相电流） I 、三相功率 S 和一相等值阻抗 Z 。各物理量基准值之间的关系式与有名值之间的关系式相同，即

$$U_B = \sqrt{3} Z_B I_B = \sqrt{3} U_{p \cdot B} \quad S_B = \sqrt{3} U_B I_B = 3 U_{p \cdot B} I_B = 3 S_{p \cdot B} \quad (1-6)$$

则各物理量标幺值之间有

$$U_* = Z_* I_* = U_{p*} \quad S_* = U_* I_* = S_{p*} \quad (1-7)$$

选择基准值时，一般先选择电压和功率的基准值，其他物理量的基准值由此推得

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} U_B} \quad Z_B = \frac{U_B^2}{S_B} \quad Y_B = \frac{1}{Z_B} \quad (1-8)$$

(3) 电压基准值的选择

- 1) 取电力设备或电力系统的额定电压。
- 2) 取电力系统的“平均额定电压”，见教材第 1 章表 1-2。

(4) 功率基准值的选择

- 1) 取电力设备的额定容量。
- 2) 取电力系统的总容量。
- 3) 取 $100\text{MV} \cdot \text{A}$ 或者 $1000\text{MV} \cdot \text{A}$ 。

3. 标幺值之间的换算

由于以标幺值形式给出的设备参数都是以设备自身的额定容量和额定电压为基准的，因此在对电力系统进行计算前，必须把所有设备的参数都换算到统一的基准之下。通常的方法是先将其额定标幺值还原为有名值，然后在统一基准下重新计算其标幺值。下面以电抗为例进行介绍：

$$X_{(\text{有名值})} = X_{(N)} * \frac{U_N^2}{S_N} \quad (1-9)$$

设统一基准电压和基准功率分别为 U_B 和 S_B ，那么以此为基准的标幺电抗值应为

$$X_{(B)*} = X_{(\text{有名值})} / \left(\frac{U_B^2}{S_B} \right) = X_{(N)} * \frac{U_N^2 S_B}{U_B^2 S_N} \quad (1-10)$$

4. 复杂网络中标幺值的计算

由多电压级组成的复杂网络，其标幺值的计算方法通常有两种：准确计算法和近似计算法。准确计算法又可分为归一式和扩散式，其计算结果一致。

(1) 准确计算法——归一式

先将各电压等级元件参数的有名值归算到同一电压等级（称之为基本级），在此基础上选定统一的基准值求各元件参数的标幺值。一般选择最高电压等级为基本级。

(2) 准确计算法——扩散式

扩散式是指将基本级的基准电压，经变压器电压比归算到各段的电压基准值，然后就由实际有名值计算得到标幺值。功率基准值经过变压器后不改变，故不需归算。见教材第 1 章例 1-1。

(3) 近似计算法

近似计算法是指近似地将变压器电压比取为两侧的平均额定电压比，将基本级的基准电

压取为该级的平均额定电压，从而其他各电压等级的基准电压就是该级的平均额定电压。该方法的优点在于计算电抗标幺值时不需要考虑电压的归算，只需要按容量进行归算。见教材第1章例1-1。

近似算法在电力系统的短路计算中应用较多。

5. 频率、角速度和时间的基准值

1) 频率基准值：取额定频率，即 $f_B = f_N = 50\text{Hz}$ 。

2) 角速度基准值：取同步角速度，即 $\omega_B = 2\pi f_B$ 。

3) 时间基准值：取 $t_B = 1/\omega_B$ ，当 $f_N = 50\text{Hz}$ 时， $t_B = (1/314.16)\text{s}$ 。

1.3 习题解答

1. 习题提示与参考答案

习题 1-1 ~ 习题 1-4 略

习题 1-5 采用标幺制选取基准值时应遵循什么原则？为什么？电力系统分析中基准功率通常如何选取？基准电压又如何选取？

【答】对于基准值的选择，除要求基准值与有名值单位相同以外，原则上可以是任意的。但是，采用标幺制的目的就是为了简化计算和便于对计算结果进行分析。因此，选择基准值时应考虑达到这些目的。

功率基准值的选择有三种方法：一是选择电力设备额定容量，即发电机的额定容量或变压器的额定容量；二是选择电力系统的总容量；三是考虑到计算的简单，又避免数值过大或过小，一般取 $100\text{MV}\cdot\text{A}$ 或 $1000\text{MV}\cdot\text{A}$ 为基准值。

电压基准值的选择有两种方法：一是以电力设备或电力系统的额定电压作为基准值；二是以电力系统的“平均额定电压”作为基准值。

习题 1-6 如何选择幅值的基准值？幅值与有效值的标幺值之间有什么关系？

【答】幅值的基准值可以根据各物理量之间的关系式，由电压基准值推导而来。幅值与有效值的标幺值相等。

习题 1-7 系统接线如图 1-1 所示，如果已知变压器 T_1 归算至 121kV 侧的阻抗为 $(2.95 + j48.7)\Omega$ ， T_2 归算至 110kV 侧的阻抗为 $(4.48 + j48.4)\Omega$ ， T_3 归算至 35kV 侧的阻抗为 $(1.127 + j9.188)\Omega$ ，输电线路的参数已标于图中，试分别作出元件参数用有名值和标幺值表示的等效电路。

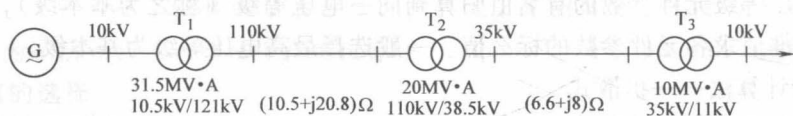


图 1-1 题 1-7 图

【答】设 T_1 和 T_2 之间的线路为 L_{12} ，设 T_2 和 T_3 之间的线路为 L_{23} 。

(1) 有名值参数（精确计算，归算到 110kV 侧）

$$Z_{T1} = (2.95 + j48.7)\Omega$$

$$Z_{T2} = (4.48 + j48.4) \Omega$$

$$Z_{T3} = (1.127 + j9.188) (110/38.5)^2 \Omega = (9.2 + j75) \Omega$$

$$Z_{L12} = (10.5 + j20.8) \Omega$$

$$Z_{L23} = (6.6 + j8) (110/38.5)^2 = (53.88 + j65.31) \Omega$$

等效电路如图 1-2 所示。

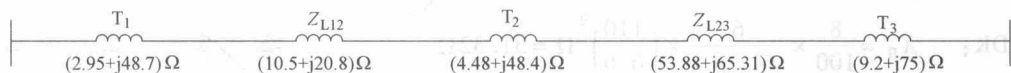


图 1-2 元件参数用有名值表示时的等效电路

(2) 标么值参数 (近似计算, 归算到 110kV 侧) 取 $S_B = 100 \text{MV} \cdot \text{A}$, $U_B = U_{av}$

$$Z_{T1*} = (2.95 + j48.7) \frac{100}{115^2} = 0.0223 + j0.368 (\text{p. u.})$$

$$Z_{T3*} = (1.127 + j9.188) \frac{100}{37^2} = 0.082 + j0.67 (\text{p. u.})$$

$$Z_{T2*} = (4.48 + j48.4) \frac{100}{115^2} = 0.034 + j0.366 (\text{p. u.})$$

$$Z_{L12*} = (10.5 + j20.8) \frac{100}{115^2} = 0.079 + j0.157 (\text{p. u.})$$

$$Z_{L23*} = (6.6 + j8) \frac{100}{37^2} = 0.482 + j0.584 (\text{p. u.})$$

等效电路如图 1-3 所示。

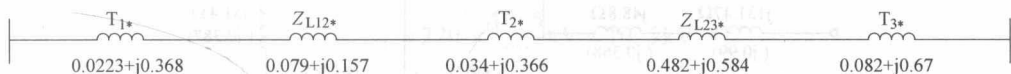


图 1-3 元件参数用标么值表示时的等效电路

习题 1-8 简单系统接线如图 1-4 所示。试作出该系统的等效电路 (不计电阻、导纳):

(1) 所有参数归算至 110 kV 侧。

(2) 所有参数归算至 10 kV 侧。

(3) 选取 $S_B = 100 \text{MV} \cdot \text{A}$ 、 $U_B = U_{av}$ 时以标么值表示的等效电路。

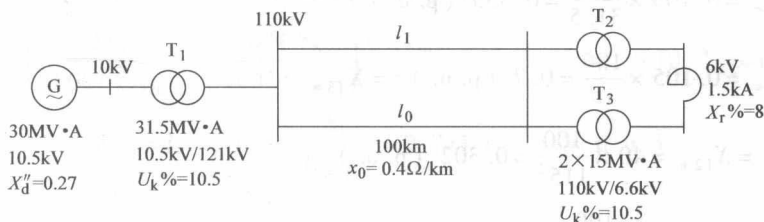


图 1-4 题 1-8 图

[答] (1) 所有参数归算至 110kV 侧, 采用有名值精确计算:

$$G: X_G = 0.27 \times \frac{10.5^2}{30} \left(\frac{121}{10.5} \right)^2 \Omega = 131.77 \Omega$$

$$T_1: X_{T1} = \frac{10.5}{100} \times \frac{121^2}{31.5} \Omega = 48.8 \Omega$$

$$T_2: X_{T2} = X_{T3} = \frac{10.5}{100} \times \frac{110^2}{15} \Omega = 84.7 \Omega$$

$$L: X_{L1} = X_{L2} = 0.4 \times 100 \Omega = 40 \Omega$$

$$DK: X_R = \frac{8}{100} \times \frac{6}{\sqrt{3} \times 1.5} \times \left(\frac{110}{6.6} \right)^2 \Omega = 51.32 \Omega$$

(2) 所有参数归算至 10kV 侧时

$$G: X_{G*} = 0.27 \times \frac{10.5^2}{30} = 0.99 \text{ (p. u.)}$$

$$T_1: X_{T1*} = \frac{10.5}{100} \times \frac{10.5^2}{31.5} = 0.368 \text{ (p. u.)}$$

$$T_2: X_{T2*} = 84.7 \times \left(\frac{10.5}{121} \right)^2 = 0.638 \text{ (p. u.)} = X_{T3*}$$

$$L: X_{L1*} = X_{L2*} = 0.4 \times 100 \times \left(\frac{10.5}{121} \right)^2 = 0.301 \text{ (p. u.)}$$

$$DK: X_{R*} = 51.4 \times \left(\frac{10.5}{121} \right)^2 = 0.387 \text{ (p. u.)}$$

等效电路如图 1-5 所示。(图中阻抗上方的数值为归算到 110kV 侧的结果, 阻抗下方括号中的数值为归算到 10kV 侧的结果)

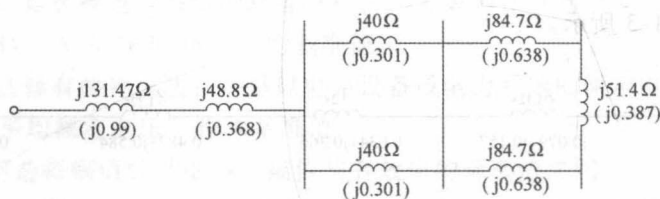


图 1-5 等效电路 1

(3) 选取 $S_B = 100 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 、 $U_B = U_{av}$ 时, 以标幺值表示的等效电路:

$$G: X_{G*} = 0.27 \times \frac{100}{30} = 0.9 \text{ (p. u.)}$$

$$T_1: X_{T1*} = 0.105 \times \frac{100}{31.5} = 0.333 \text{ (p. u.)}$$

$$T_2: X_{T2*} = 0.105 \times \frac{100}{15} = 0.7 \text{ (p. u.)} = X_{T3*}$$

$$L: X_{L1*} = X_{L2*} = 40 \times \frac{100}{115^2} = 0.302 \text{ (p. u.)}$$

$$DK: X_{R*} = 0.185 \times \frac{100}{6.3^2} = 0.466 \text{ (p. u.)}$$

等效电路如图 1-6 所示。

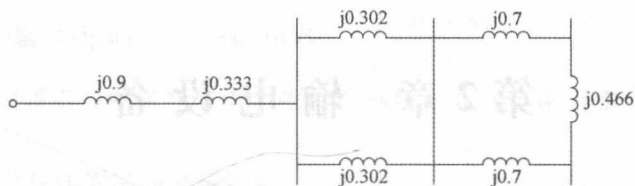


图 1-6 等效电路 2

II. 补充习题与参考答案

习题 1-9 试计算图 1-7 所示系统的参数标幺值。

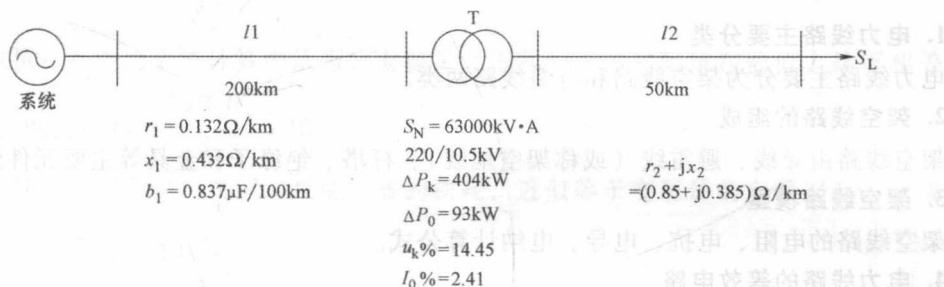


图 1-7 电力系统接线图

[答] 以下采用准确算法中的扩散式。

取 220kV 级的基准值为 $S_B = 100 \text{MV} \cdot \text{A}$, $U_B = 220 \text{kV}$, 首先确定各电压等级的基准电压为

$$U_{B(220)} = 220 \text{kV}$$

$$U_{B(10)} = 220 \times \frac{10.5}{220} \text{kV} = 10.5 \text{kV}$$

则标幺值参数计算为

$$Z_{I1*} = l_1 (r_1 + jx_1) \frac{S_B}{U_{B(220)}^2} = 0.054 + j0.178 (\text{p. u.})$$

$$Y_{I1*} = \frac{l_1}{100} j b_1 \frac{U_{B(220)}^2}{S_B} = j8.1 \times 10^{-4} (\text{p. u.})$$

$$Z_{T*} = \left(\frac{\Delta P_k U_{N(220)}^2}{1000 S_N^2} + j \frac{u_k \% U_{N(220)}^2}{100 S_N} \right) \frac{S_B}{U_{B(220)}^2} = 0.01 + j0.229 (\text{p. u.})$$

$$Y_{T*} = \left(\frac{\Delta P_0}{1000 U_{N(220)}^2} - j \frac{I_0 \% S_N}{100 U_{N(220)}^2} \right) \frac{U_{B(220)}^2}{S_B} = (9.3 - j241) \times 10^{-4} (\text{p. u.})$$

$$Z_{I2*} = l_2 (r_2 + jx_2) \frac{S_B}{U_{B(10)}^2} = 0.771 + j0.349 (\text{p. u.})$$

第2章 输电设备

本章重点介绍输电设备，主要包括输电线路、变压器、直流输电等。本章重点掌握输电线路的结构特点、变压器的参数计算和直流输电的基本概念。

2.1 基本知识点

1. 电力线路主要分类

电力线路主要分为架空线路和电缆线路两类。

2. 架空线路的组成

架空线路由导线、避雷线（或称架空地线）、杆塔、绝缘子和金具等主要元件组成。

3. 架空线路模型

架空线路的电阻、电抗、电导、电纳计算公式。

4. 电力线路的等效电路

一字形等效电路：当电力线路为长度不超过 100km 的架空线路或不长的电缆线路，且工作电压不高时采用。

π 形和 T 形等效电路：当电力线路为长度在 100 ~ 300km 之间的架空线路或长度不超过 100km 的电缆线路。

5. 变压器的参数计算

电阻、电抗、对地电导、对地电纳；

外测法：空载实验、短路实验；

双绕组变压器的参数计算、三绕组变压器的参数计算、自耦变压器的参数计算。

6. 直流输电

直流输电的概述、直流输电系统的工作原理、直流输电系统的等效电路。

2.2 重点和难点

1. 线路基本结构及组成元件

架空线：由导线、避雷线、杆塔、绝缘子和金具等元件组成。

2. 输电线路电阻、电抗、电导以及电纳的计算

架空输电线路的参数有 4 个：

1) 电阻 r ：反映线路通过电流时产生的有功功率损耗效应。

$$r = \frac{\rho}{S}$$

2) 电感 L ：反映载流导体的磁场效应。

双回路架空线路的电抗： $x_1 = 0.1445 \lg \frac{D_{eq}}{r}$

分裂导线的三相输电线电抗： $x_1 = 0.1445 \lg \frac{D_{eq}}{r_{eq}} + \frac{0.0157}{n}$

3) 电导 g ：线路带电时绝缘介质中产生的泄漏电流及导体附近空气游离而产生有功功率损耗。

4) 电容 C ：带电导体周围的电场效应。

输电线路的以上4个参数沿线路均匀分布。

3. 变压器参数的计算

1) 电阻：变压器的电阻是通过变压器的短路损耗 P_K ，其近似等于额定总铜耗 P_{Cu} 。双

绕组变压器电阻： $R_T = \frac{\Delta P_S U_N^2}{S_N^2} \times 10^3$

2) 电抗：在电力系统计算中认为，大容量变压器的电抗和阻抗在数值上接近相等。双

绕组变压器电抗： $X_T = \frac{U_S \% U_N^2}{S_N} \times 10$

3) 电导：变压器电导对应的是变压器的铁耗，近似等于变压器的空载损耗。双绕组变

压器电导： $G_T = \frac{\Delta P_0}{U_N^2} \times 10^{-3}$

4) 电纳：在变压器中，流经电纳的电流和空载电流在数值上接近相等。双绕组变压器

电纳： $B_T = \frac{I_0 \% S_N}{100 U_N^2} \times 10^{-3}$

4. 直流输电的优缺点

优点：

- 1) 线路造价低、年运行费用低。
- 2) 不存在一般交流系统中稳定性问题。
- 3) 能限制短路电流。
- 4) 调节速度快，运行可靠。
- 5) 没有充电电流，不需要并联电抗器补偿。

缺点：

- 1) 换流装置价格昂贵，换流站造价高。
- 2) 消耗大量的无功功率。
- 3) 产生谐波。
- 4) 缺乏成熟的高压直流断路器。

2.3 习题解答

I. 习题提示与参考答案

习题 2-1 ~ 习题 2-5 略

习题 2-6 什么是钢芯铝绞线？什么是扩径钢芯铝绞线？什么是分裂导线？各有什么特点？

[答] 钢芯铝绞线是由铝线和钢线绞合而成的,适用于架空输电线路。它内部是钢“芯”,外部是用铝线通过绞合方式缠绕在钢芯周围;钢芯主要起增加强度的作用,铝绞线主要起传送电能的作用。

扩径钢芯铝绞线是以满足技术条件的常规导线规格为基准,采取扩大导线外径技术,在保证电晕所要求的导线外径前提下,减少导线的铝截面,从而减少导线的总重量,减少铁塔荷载和结构重量,极大地降低线路造价。

分裂导线是超高压输电线路为抑制电晕放电和减少线路电抗所采取的一种导线架设方式。即每相导线由几根直径较小的分导线组成,各分导线间隔一定距离并按对称多角形排列,而且布置在正多边形的顶点上。普通分裂导线的分裂根数一般不超过4根,超高压输电线路的分裂导线数一般取3~4根。

习题 2-7 绝缘子的主要作用是什么?直线杆塔上悬挂绝缘子串中绝缘子的数量与电压等级有什么样的关系?

[答] 高压电线连接塔的一端挂了很多盘状的绝缘体,是为了增加爬电距离的,通常由玻璃或陶瓷制成,叫绝缘子。各电压等级大致绝缘串子数量如下:

电压等级/kV	35	110	220	330	500
串子个数	3	7	13	17~19	25~28

习题 2-8 观察电力电缆的结构,分析各部分的结构特征和作用。

[答] 电力电缆的基本结构由线芯(导体)、绝缘层、屏蔽层和保护层4部分组成。

线芯:线芯是电力电缆的导电部分,用来输送电能,是电力电缆的主要部分。

绝缘层:绝缘层是将线芯与大地以及不同相的线芯间在电气上彼此隔离,保证电能输送,是电力电缆结构中不可缺少的组成部分。

屏蔽层:15kV及以上的电力电缆一般都有导体屏蔽层和绝缘屏蔽层。

保护层:保护层的作用是保护电力电缆免受外界杂质和水分的侵入,以及防止外力直接损坏电力电缆。

习题 2-9 架空线路的电抗怎样计算?分裂导线对三相输电线路电抗有什么影响?

[答] 分裂导线减小三相输电线的电抗。

习题 2-10 在电力网计算中两绕组和三绕组变压器各有哪种等效电路?

[答] 略。

习题 2-11 怎样利用电力变压器铭牌数据计算变压器等效电路的参数?

[答] 请自行结合实际计算变压器的等效电路参数。

习题 2-12 分别从整流和逆变两个工作状态分析直流输电系统的工作原理。

[答] 电源由交流发电机供给,经换流变压器将电压升高后接至整流器,由整流器将高压交流变为高压直流,经过直流输电线路输送到受端,再经过逆变器重新将直流变换成交流,并经变压器降压后供给用户使用。

习题 2-13 一条长度为100km、额定电压为110kV的双回路架空线路,导线型号为LGJ-185,水平排列,线间距离为4m,求线路的参数,并画出等效电路。

[答] 根据公式得 $x_1 = 0.3937 \Omega/\text{km}$, $r_1 = 0.17 \Omega/\text{km}$, $b_1 = 2.778 \times 10^{-6} \Omega/\text{km}$ 。

习题 2-14 某220kV输电线路选用LGJ-80型号导线,直径为24.2mm,水平排列,线间距离为6m,试求线路单位长度的电阻、电抗和电纳,并验证是否发生电晕。

[答] $r_1 = 0.394 \Omega/\text{km}$, $x_1 = 0.420 \Omega/\text{km}$, $b_1 = 2.708 \times 10^{-6} \Omega/\text{km}$ 。

习题 2-15 某 330kV 输电线路, 采用 LGJQ—300×2 型双分裂导线, 导线为水平排列并经过完全换位, 线间距离为 9m, 分裂导线的间距为 400mm, 试计算每千米线路的电抗和电容值。

[答] $x_1 = 0.328\Omega/\text{km}$, $C = 1.088 \times 10^{-8}\text{F}$ 。

习题 2-16 某 500kV 输电线路的杆塔型式和导线布置情况如图 2-1 所示, 三相导线采用三角形布置并经过完全换位, 导线间的水平距离为 12.2m, 垂直距离为 8.4m, 导线为 LGJQ—600×2 型双分裂导线, 分裂导线的间距为 600mm, 各相导线对地高度如图所示。试求: (1) 线路每千米电抗和电容值。(2) 计入大地影响后每相对地电容值。

[答] (1) $x_1 = 0.324\Omega/\text{km}$, $C = 1.102 \times 10^{-8}\text{F}$ 。

(2) $C = 0.908 \times 10^{-8}\text{F}$ 。

习题 2-17 已知一台 SSPSOL 型三相三绕组自耦变压器, 其容量比为 300000kV·A/300000kV·A/150000kV·A, $U_{1N} = 242\text{kV}$, $U_{2N} = 121\text{kV}$, $U_{3N} = 13.8\text{kV}$, $\Delta P_{S(1-2)} = 950\text{kW}$, $\Delta P_{S(1-3)}^* = 620\text{kW}$, $\Delta P_{S(2-3)}^* = 123\text{kW}$, $U_{S(1-2)}\% = 13.73$, $U_{S(1-3)}^*\% = 11.9$, $U_{S(2-3)}^*\% = 18.64$, $I_0\% = 0.5$ 。试求以高压侧为基准的该变压器各基本参数 (说明: 凡带 * 号的值都是以低压侧绕组的容量为基准的值)。

[答] $R_{T1} = 0.15\Omega$, $R_{T2} = 0.47\Omega$, $R_{T3} = 1.15\Omega$;
 $x_{T1} = 0.24\Omega$, $x_{T2} = 26.56\Omega$, $x_{T3} = 46.22\Omega$, $G_T = 2.1 \times 10^{-6}\text{S}$, $B_T = 25.6 \times 10^{-6}\text{S}$

习题 2-18 某变电所装有一台型号为 SFSL1—15000/110、容量比为 100kV·A/100kV·A/100kV·A 的三绕组变压器。试验数据为 $\Delta P_{S1-2} = 120\text{kW}$, $\Delta P_{S2-3} = 120\text{kW}$, $\Delta P_{S1-3} = 95\text{kW}$, $U_{S1-2}\% = 10.5$, $U_{S1-3}\% = 17$, $U_{S2-3}\% = 6.0$, $\Delta P_0 = 22.7\text{kW}$, $I_0\% = 1.3$, 试求变压器的参数并作出等效电路。

[答] (1) 电阻 R_{T1} 、 R_{T2} 、 R_{T3} 的计算

各绕组的短路损耗为

$$\Delta P_{S1} = \frac{1}{2} [\Delta P_{S(1-2)} + \Delta P_{S(3-1)} - \Delta P_{S(2-3)}] = \frac{1}{2} (120 + 120 - 95) \text{kW} = 72.5 \text{kW}$$

$$\Delta P_{S2} = \frac{1}{2} [\Delta P_{S(1-2)} + \Delta P_{S(2-3)} - \Delta P_{S(3-1)}] = \frac{1}{2} (120 + 95 - 120) \text{kW} = 47.5 \text{kW}$$

$$\Delta P_{S3} = \frac{1}{2} [\Delta P_{S(2-3)} + \Delta P_{S(3-1)} - \Delta P_{S(1-2)}] = \frac{1}{2} (95 + 120 - 120) \text{kW} = 47.5 \text{kW}$$

各绕组的电阻为

$$R_{T1} = \frac{\Delta P_{S1} U_N^2}{1000 S_N^2} = \frac{72.5}{1000} \times \frac{110^2}{15^2} \Omega = 3.9 \Omega$$

$$R_{T2} = \frac{\Delta P_{S2} U_N^2}{1000 S_N^2} = \frac{47.5}{1000} \times \frac{110^2}{15^2} \Omega = 2.56 \Omega$$

$$R_{T3} = \frac{\Delta P_{S3} U_N^2}{1000 S_N^2} = \frac{47.5}{1000} \times \frac{110^2}{15^2} \Omega = 2.56 \Omega$$

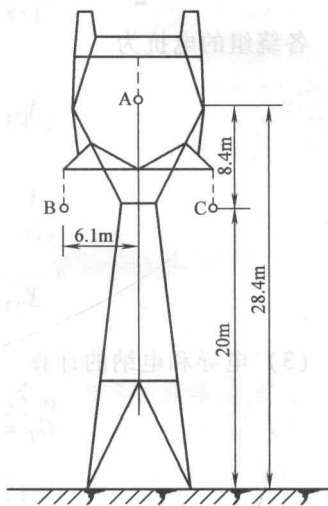


图 2-1 教材题 2-16 图