

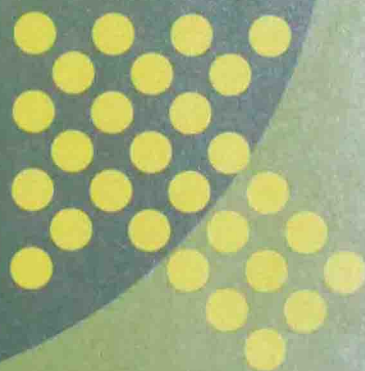
21世纪高等学校规划教材



电力系统分析

——知识要点及习题详解

查丛梅 主 编
董 燕 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

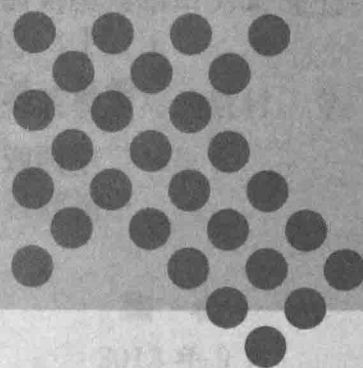
21世纪高等学校规划教材



电力系统分析

——知识要点及习题详解

主 编 查丛梅
副主编 董 燕
编 写 朱永胜
主 审 许 珉



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是与查丛梅主编的 21 世纪高等学校规划教材《电力系统分析》配套的习题解答,内容基本与教材保持一致,全书共分十五章,各章节主要由学习目标、要点归纳及相应习题解答等内容组成。书中的习题在选择上具有代表性,每一道习题都力求针对教材的相应知识点进行训练,既有对基本概念的巩固,又有综合性的练习。习题解答过程紧扣基本概念,思路明确清晰,计算过程翔实具体。

本书可供高等学校电气类专业师生教学使用,也可供一般读者自学使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力系统分析:知识要点及习题详解/查丛梅主编. —北京:中国电力出版社,2013.8

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978 - 7 - 5123 - 4822 - 6

I. ①电… II. ①查… III. ①电力系统—系统分析—高等学校—教学参考资料 IV. ①TM711

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 193504 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 8 月第一版 2013 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.25 印张 294 千字

定价 23.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

电力系统分析是电气工程专业的一门重要的专业课程，同时也是学习其他专业课程的基础。为满足高等院校相关专业的教学改革及实际教学的需求，本着促进教学、提高教学质量和教学效率的目的，结合我校教学实际，编写本辅导教材。

本书能帮助读者更好地学习和掌握“电力系统分析”课程相关知识，书中系统总结了《电力系统分析》教材的主要内容，提炼出各章的学习目标和重点难点，并对主要知识点进行归纳讲解，同时，精选了大量典型习题，在选题时特别注重选择了不同的题型并进行了详细的分析和解答。通过学习，能够清晰“电力系统分析”课程的知识脉络，理解基本概念，掌握主要计算方法和步骤，提高解题能力。

习题集内容包括电力系统稳态分析和暂态分析。即电力系统的基本知识及各元件的参数和等值电路；电力系统的潮流计算；电力系统的有功和无功功率平衡；电力系统的经济运行；电力系统三相短路的暂态过程及实用计算；电力系统各元件的序阻抗和等值电路及简单不对称故障的分析和计算；电力系统稳定性分析。

本书为中国电力出版社出版的《电力系统分析》（查丛梅主编）的配套参考书，和教材在内容分析上互为补充，可供电气工程及自动化专业全日制学生和自学考试学生在学习电力系统分析课程时与教材配套使用，亦可作为考研时的辅导书，本书同时可供从事电力系统工作的工程技术人员和相关专业人员参考。

本习题集的编写凝聚了许多人的辛勤汗水，其中部分习题摘自相关院校编写的教材、专著，编者在此一并表示衷心的感谢。

由于时间仓促，加之水平有限，书中难免有不当之处，恳请读者批评指正。

编者

2013年9月

目 录

前言

第一章	电力系统的基本知识	1
第二章	电力网各元件的参数和等值电路	7
第三章	简单电力系统的潮流分析与计算	29
第四章	复杂电力系统的潮流计算	52
第五章	电力系统的无功功率平衡与电压调整	68
第六章	电力系统的有功功率平衡与频率调整	78
第七章	电力系统的经济运行	89
第八章	同步发电机的基本方程	101
第九章	电力系统三相短路的暂态过程	106
第十章	电力系统三相短路的实用计算	115
第十一章	电力系统各元件的序阻抗和等值电路	136
第十二章	电力系统简单不对称故障的分析和计算	144
第十三章	电力系统稳定性的基本概念和发电机的机电特性	159
第十四章	电力系统静态稳定性及提高措施	169
第十五章	电力系统暂态稳定性及提高措施	178
参考文献		188

第一章 电力系统的基本知识

一、学习目标

1. 课程内容

- (1) 电力系统的基本概念;
- (2) 电力系统的组成;
- (3) 电力系统运行的特点和应满足的基本要求;
- (4) 电力系统的接线方式和电压等级;
- (5) 柔性交流输电系统。

2. 基本要求

理解电力系统的组成; 特别注意动力系统、电力系统和电力网的概念; 了解电力系统的接线方式及其优缺点; 掌握电力系统电压等级的概念与计算; 了解柔性交流输电系统的概念和基本组成。

3. 重点和难点

电力系统和电力网的概念, 电力系统电压等级的概念与计算。

二、要点归纳

1. 电力系统的组成

重点掌握动力系统、电力系统和电力网的概念, 图 1-1 比较清楚地描述了这三个概念。

2. 电力系统运行的特点与要求

(1) 电能生产的特点:

- 1) 电能不能大量储存。
- 2) 电能生产、输送、消费同时完成。
- 3) 运行状态改变瞬间完成。
- 4) 电能质量要求严格。
- 5) 电能与国民经济各部门间关系密切。

(2) 电力系统运行的要求:

- 1) 保证安全可靠的供电 (重要性、负荷分类)。
- 2) 保证良好的电能质量 (指标: 电压、频率、波形)。
- 3) 保证电力系统运行的经济性 (指标: 煤耗率、网损率、厂用电率)。

3. 电力系统的接线方式和电压等级

(1) 接线方式及其特点:

- 1) 接线方式的种类。
- 2) 各类接线方式的优缺点。

(2) 电压等级的划分及适用范围。

- 1) 额定电压及其确定方法。(包括电气设备、发电机、变压器) 电力系统 (电力网) 的

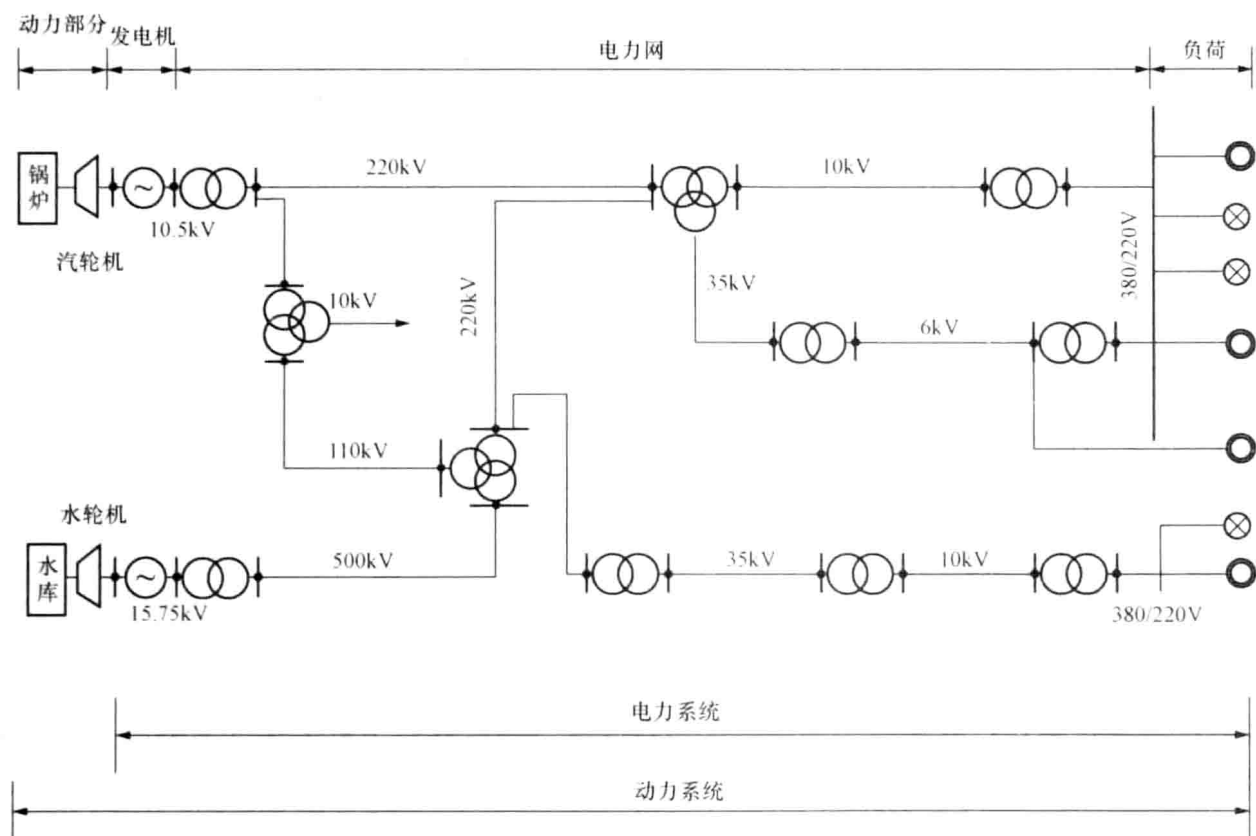


图 1-1 动力系统、电力系统和电力网的示意图

额定电压与用电设备的额定电压相等。

发电机的额定电压比网络额定电压高 5%。

变压器一次绕组的额定电压与网络额定电压相等，但直接与发电机连接时，其额定电压等于发电机的额定电压。变压器二次绕组的额定电压定义为空载时的额定电压，满载时二次绕组的电压应比网络额定电压高 10%。

2) 我国规定的电压等级。

3) 电压等级与供电范围。

对应一定的输送功率和输送距离，应有一个技术和经济上较合理的电压。各种电压等级的单回线架空线路的输送功率和输送距离的关系见教材表 1-2。

三、习题解答

1-1 根据发电厂使用一次能源的不同，发电厂主要有哪几种类型？

答 发电厂主要有火力发电厂、水力发电厂、核动力发电厂和其他能源（太阳能、风能、潮汐等）发电厂。

1-2 什么是动力系统、电力系统及电力网？电力系统为什么要采用高压输电？

答 把生产、输送、分配和消费电能的各种电气设备连接在一起而组成的整体称为电力系统。电力系统加上发电厂的动力部分就称为动力系统。电力系统中输送和分配电能的部分就称为电力网。

当输送的功率和距离一定时，线路的电压越高，线路中的电流就越小，所用导线的截面积可以减小，用于导线的投资也越小，同时线路中的功率损耗、电能损耗也相应减少。

1-3 电力系统运行的主要特点是什么？电力系统的基本要求是什么？

答 与其他工业系统相比，电能的生产、输送、分配和消费有以下特点：

(1) 重要性。电能与国民经济各部门及人民生活关系密切，电能供应的中断或减少将影响国民经济的各个部门，造成巨大的经济损失。

(2) 同时性。电能不能大量储存，即电能的生产、输送、分配及消费几乎是同时进行的，在任一时刻，发电机发出的电能等于负荷消费的电能（在发电机容量允许范围内）。

(3) 快速性。电力系统从一种运行方式变到另一种运行方式的暂态过程非常快。

电力系统的基本要求是：

(1) 保证供电的可靠性。

(2) 保证良好的电能质量。

(3) 保证系统运行的经济性。

1-4 为什么要规定额定电压？电力线、发电机、变压器和用电设备的额定电压是如何确定的？

答 为了使电力设备生产实现标准化和系列化，方便运行、维修，各种电力设备都规定额定电压。

电力系统的额定电压与用电设备的额定电压相等。

发电机的额定电压比网络额定电压高 5%。

变压器一次绕组的额定电压与网络额定电压相等，但直接与发电机连接时，其额定电压等于发电机的额定电压。变压器二次绕组的额定电压定义为空载时的额定电压，满载时二次绕组的电压应比网络额定电压高 10%。

1-5 我国电网的电压等级有哪些？

答 220、380V，3、6、10、35、110、220、330、500、750、1000kV。

1-6 标出图 1-2 所示电力系统中各元件的额定电压。

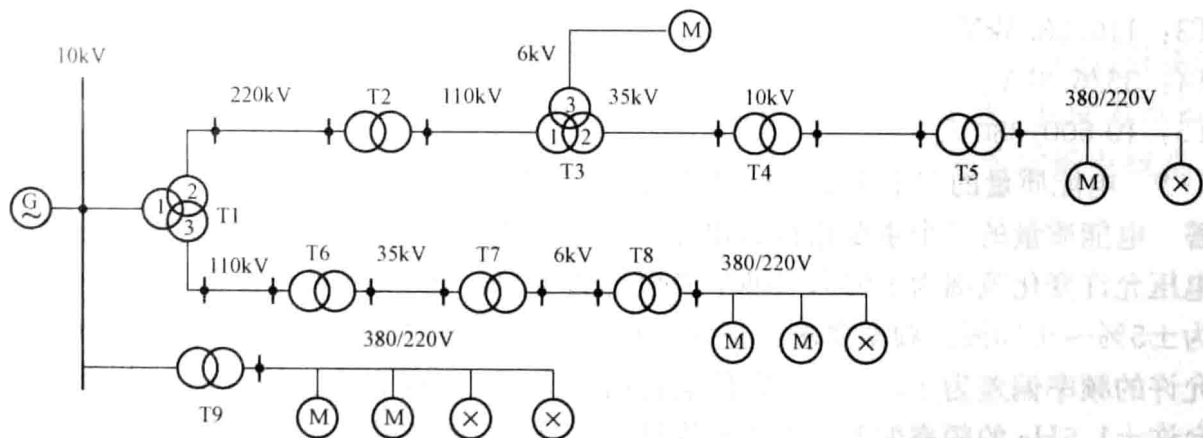


图 1-2 题 1-6 图

答 T1: 10.5/121/242kV。

T2: 220/121kV。

T3: 110/38.5/6.6kV。

T4: 35/11kV。

T5: 10/400kV。

T6: 110/38.5kV。

T7: 35/66kV。

T8: 6/400kV。

T9: 10.5/400kV。

1-7 标出图 1-3 所示电力系统中各发电机、变压器和电动机的额定电压。

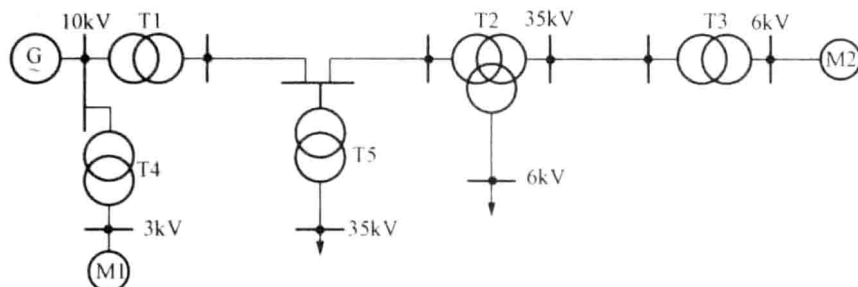


图 1-3 题 1-7 图

1-8 试确定图 1-4 所示电力系统中各变压器的额定电压（图中示出的是电力系统的额定电压）。

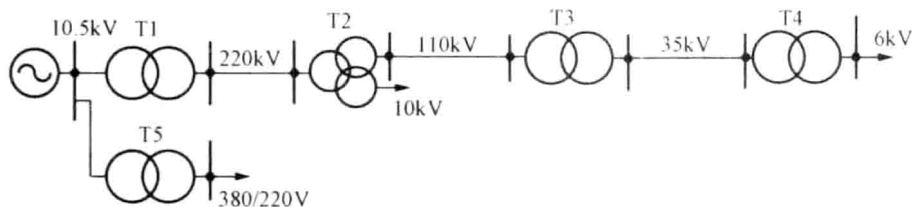


图 1-4 题 1-8 图

答 T1: 10.5/242kV。

T2: 220/121/10.5kV。

T3: 110/38.5kV。

T4: 35/6.3kV。

T5: 10 500/380V。

1-9 电能质量的三个主要指标是什么？各有怎样的要求？

答 电能质量的三个主要指标是电压、频率和波形。电压要求：我国目前规定 3kV 及以上电压允许变化范围为 $\pm 5\%$ ，10kV 及以下为 $\pm 7\%$ ，低压照明及农业用户电压允许变化范围为 $\pm 5\% \sim \pm 10\%$ 。频率要求：正常运行时，中小系统允许的频率偏差为 $\pm 0.5\text{Hz}$ ，大系统允许的频率偏差为 $\pm 0.2\text{Hz}$ ；事故运行时，30min 以内允许 $\pm 1\text{Hz}$ 的频率偏差，15min 以内允许 $\pm 1.5\text{Hz}$ 的频率偏差，绝不允许低于 -4Hz 。波形要求：110kV 电网要求电压总谐波畸变率不超过 2.0%，66、35kV 电网不超过 3.0%，10、6kV 电网不超过 4.0%，380kV 电网不超过 5.0%。

1-10 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？

答 根据负荷允许停电程度（供电可靠性）的不同，将负荷分为三级：

(1) 一级负荷。停电将造成人身伤亡和设备事故、产生废品，使生产秩序长期不能恢复

或产生严重政治影响，使人民生活发生混乱等。对一级负荷，要保证不间断供电。

(2) 二级负荷。停电将造成大量减产，使人民生活受到影响。

(3) 三级负荷。不属于一、二级的负荷，如工厂的附属车间、小城镇等。

对二、三级负荷，在电能不足时，应优先保证二级负荷的供电。

1-11 在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？

答 无备用接线方式是指负荷只能从一条路径获得电能的接线方式。无备用接线的主要优点在于简单、经济、运行操作方便，主要缺点是供电可靠性差，并且在线路较长时，线路末端电压往往偏低，因此这种接线方式不适用于一级负荷占很大比重的场合。但一级负荷的比重不大，并可为这些负荷单独设置备用电源时，仍可采用这种接线，这种接线方式广泛应用于二级负荷。

有备用接线方式是指负荷至少可以从两条路径获得电能的接线方式。有备用接线的主要优点在于供电可靠性高，电压质量好。在有备用接线中，双回路的放射式、干线式和链式接线的缺点是不够经济；环形网络的供电可靠性和经济性都不错，但其缺点是运行调度复杂，并且故障时的电压质量差；两端供电网络很常见，供电可靠性高，但采用这种接线的先决条件是必须有两个或两个以上独立电源，并且各电源与各负荷点的相对位置又决定了这种接线的合理性。

1-12 什么是开式网络？什么是闭式网络？

答 凡变电站（用户）只能从一个方向取得电能的网络，叫做开式网络。有单、双回路放射式、干线式和链式。

凡变电站（用户）可以从两个或两个以上的方向取得电能的网络，叫做闭式网络。有环形网络、两端供电网络。

1-13 举例说明无备用接线和有备用接线的优缺点。

答 (1) 无备用接线。每一个负荷只能由一回线供电，因此供电可靠性差；其优点在于简单、经济、运行操作方便。

在图 1-5 中，发电机的额定容量为 30MVA，输出电压等级为 10kV。经过升压变压器 T1，将电压等级升高到 110 kV。L1 为 110kV 电压等级的高压输电线路，长度为 80km。T2 是降压变压器，它将电压等级由 110kV 降为 6kV。L2 为 6kV 电压等级的输电线路。电网中，A 和 B 为负荷点，都由发电机 G 供电。

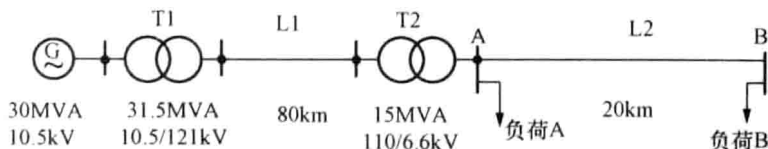


图 1-5 无备用接线

(2) 有备用接线。每一个负荷都能由两回线供电，因此供电可靠性高；其缺点在于不够经济。有备用接线中的环式接线和两端供电网络供电可靠性高，也较为经济，缺点在于运行调度较复杂。

在图 1-6 中，节点①是电源节点，节点④和节点⑥是负荷节点。输电线路 L1、L2、L3 构成了一个闭环。这是一个环式接线网络，负荷 I 可以由线路 L1 和线路 L2 供电，负荷 II

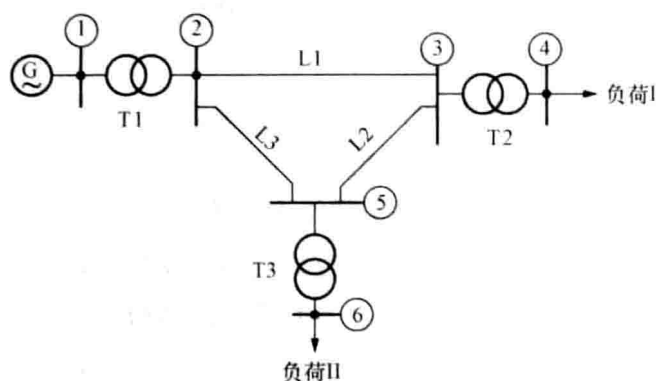


图 1-6 有备用接线

可以由线路 L2 和线路 L3 供电。供电可靠性大大提高。

1-14 简述柔性交流输电系统的定义和作用。

答 柔性交流输电系统 (Flexible AC Transmission Systems, FACTS) 是综合电力电子技术、控制技术、微处理和微电子技术及通信技术而形成的用于灵活快速控制交流输电的新技术。它利用由大功率电力电子元器件构成的装置来调节交流电力

系统的网络参数或运行参数,以优化电力系统的运行状态,提高交流电力系统线路的电能传输能力。该技术主要针对交流电的电压、相角、无功功率和电抗等参数进行控制,能够有效地提高交流系统的安全稳定性,可以获得最大的安全裕度和最小的输电成本,能够满足电力系统对电力输送的长距离与大功率安全稳定的要求。

第二章 电力网各元件的参数和等值电路

一、学习目标

1. 课程内容

- (1) 输电线路的参数和等值电路;
- (2) 变压器的等值电路及参数;
- (3) 电力网络的等值电路 (标幺制)。

2. 基本要求

- (1) 掌握电力线路的参数和等值电路。
 - 1) 掌握电力线路每相导线单位长度的电阻、电抗、电导和电纳的计算公式。
 - 2) 了解电力线路电阻、电抗、电导和电纳的物理意义及影响因素。
 - 3) 了解架空线路电晕临界电压的计算方法, 掌握架空线路是否发生电晕的校验方法。
 - 4) 理解架空线路采用分裂导线的作用和意义, 并掌握其参数计算方法。
 - 5) 掌握电力线路的等值电路及其参数计算。
- (2) 掌握变压器的参数和等值电路。
 - 1) 熟练掌握双绕组变压器的电阻、电抗、电导和电纳的计算公式。
 - 2) 掌握利用变压器的短路试验数据和空载试验数据计算各种变压器的 Γ 型等值电路参数的方法。
- (3) 掌握电力网络的等值电路。
 - 1) 充分理解和掌握多级电压网络进行参数和变量归算的意义和方法。
 - 2) 充分理解标幺制在电力系统分析和计算中的意义。熟练掌握标幺值的定义和数学表达式、各量标幺值求法及在多级电压网络中标幺值归算的两种方法。熟练掌握标幺值和有名值相互转换的方法。

3. 重点难点

掌握输电线路的参数和等值电路, 掌握变压器的等值电路及参数。电力网络的等值电路 (标幺制), 要求掌握用标幺值法获得电力网络的等值电路。

二、要点归纳

1. 线路的参数计算及等值电路

- (1) 电力线路的结构 (架空线路和电缆线路)。
- (2) 线路的参数计算公式。
- (3) 架空线路换位。

架空线由于三相导线在杆塔上排列不对称, 三相之间和每相对地之间的互感总是不完全相同的, 从而引起了三相导线上电抗的不对称, 故架空线路的三相导线应进行换位。按规程规定: “在中性点直接接地的电力网中, 长度超过 100km 的线路, 均应换位。换位循环长度不宜大于 200km。”

(4) 线路电纳等值含义。

(5) 等值电路 (主要掌握中等长度的电力线路)。

2. 变压器的参数计算及等值电路

(1) 参数计算公式。分为双绕组变压器、三绕组变压器和自耦变压器。

1) 双绕组变压器。根据空载及短路试验数据计算四个参数 R_T 、 X_T 、 G_T 、 B_T 。

2) 三绕组变压器。要掌握三绕组变压器等效电路的求解与双绕组变压器的异同, 用空载试验推导 G_T 、 B_T 的方法不变, 但短路试验要做三次。假如三个绕组容量一致, 则只需进行三次短路试验; 假如三个绕组容量不一致, 则需要对部分参数进行折算。

3) 自耦变压器。自耦变压器的一、二次绕组之间除磁的耦合关系之外, 还存在电的关系; 其等效电路与普通变压器的相同。

(2) r 型等值图。

3. 标么值

(1) 标么制。

(2) 工程上基准值的选取。

(3) 归算方法有精确计算法和近似计算法, 重点掌握近似计算法。

三、常用公式

1. 输电线路的参数计算公式

电阻为 $r_1 = \rho \frac{l}{S}$, 用集中参数表示为 $R = r_1 l$ 。

单相导线线路单位长度电抗

$$x_1 = 0.144 \, 5 \lg \frac{D_{eq}}{r} + 0.015 \, 7 \mu$$

式中 r ——导线的半径, mm;

μ ——导线材料的相对导磁系数, 铜和铝取 1, 钢远大于 1;

D_{eq} ——三相导线间的几何均距, mm。

当三相导线间的距离分别为 D_{ab} 、 D_{bc} 、 D_{ac} 时, $D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab} D_{bc} D_{ac}}$ 。

分裂导线线路单位长度电抗

$$x_1 = 0.144 \, 5 \lg \frac{D_{eq}}{r_{eq}} + \frac{0.015 \, 7}{n}$$

式中 n ——每相分裂根数;

r_{eq} ——分裂导线的等值半径, mm。

单相导线线路单位长度电纳

$$b_1 = \frac{7.58}{\lg \frac{D_{eq}}{r}} \times 10^{-6} \text{ (S/km)}$$

分裂导线线路单位长度电纳

$$b_1 = \frac{7.58}{\lg \frac{D_{eq}}{r_{eq}}} \times 10^{-6} \text{ (S/km)}$$

2. 变压器的参数计算公式

$$R_T = \frac{\Delta P_s U_N^2}{S_N^2} \times 10^3$$

$$X_T = \frac{U_s \%}{100} \times \frac{U_N}{\sqrt{3} I_N} = \frac{U_s \% \times U_N^2}{100 \times S_N} \times 10^3$$

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

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

注意

①额定电压的值决定参数为归算到变压器哪一侧的值；②变压器容量不同时参数的折算问题，三绕组变压器和自耦变压器按容量折算情况。

3. 各元件标幺值的计算公式

现以图 2-1 为例说明和推导精确算法、近似算法的计算公式。

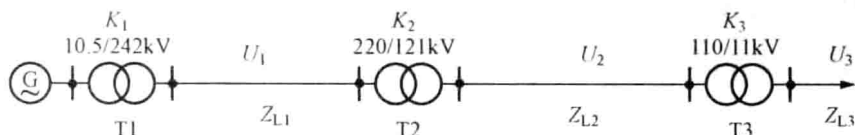


图 2-1 具有多级电压的电力系统示意图

在图 2-1 中有 U_1 、 U_2 、 U_3 三个电压等级，以 Z_{L3} 为例推导。

(1) 精确算法。

1) 将各电压级参数的有名值归算到基本级，在基本级按选取的统一基准电压 U_B 和基准功率 S_B 换算成标幺值。选基准 $S_B=100\text{MVA}$ ， $U_B=U_1=242\text{kV}$ ，即

$$\begin{aligned} Z'_{L3} &= K_2^2 K_3^2 Z_{L3} = \left(\frac{220}{121}\right)^2 \times \left(\frac{110}{11}\right)^2 \times Z_{L3} \\ Z_{L3}^* &= \frac{Z'_{L3}}{Z_B} = K_2^2 K_3^2 Z_{L3} \frac{S_B}{U_B^2} = \left(\frac{220}{121}\right)^2 \times \left(\frac{110}{11}\right)^2 \times Z_{L3} \frac{S_B}{U_B^2} \\ &= \left(\frac{220}{121}\right)^2 \times \left(\frac{110}{11}\right)^2 \times Z_{L3} \frac{S_B}{242^2} \end{aligned}$$

2) 在基本级选定基准电压 U_B 和基准功率 S_B 。将基准电压归算到各电压级，然后在各电压级将有名值换算成标幺值。选基准 $S_B=100\text{MVA}$ ， $U_B=U_1=242\text{kV}$ 。

将基准电压归算到 U_3 电压等级为 $U_{B3} = \frac{U_B}{K_2 K_3}$ ，则 $Z_B = \frac{U_{B3}^2}{S_B}$ ，所以

$$\begin{aligned} Z_{L3}^* &= Z_{L3} \frac{S_B}{U_{B3}^2} = Z_{L3} \frac{K_2^2 K_3^2}{U_B^2} S_B \\ &= Z_{L3} \left(\frac{220}{121}\right)^2 \times \left(\frac{110}{11}\right)^2 \times \frac{S_B}{U_B^2} = \left(\frac{220}{121}\right)^2 \times \left(\frac{110}{11}\right)^2 \times Z_{L3} \frac{S_B}{242^2} \end{aligned}$$

这两种方法计算结果相同。



注意

这里要体会两种方法的思想,特别是第二种方法非常实用,下面用第二种方法介绍近似算法。我们从以上计算中看到计算过程较复杂,主要原因是分子分母不能约去。如果每个电压等级统一选取额定电压,这个问题就可以解决了,这就是近似算法的基本思想。

(2) 近似算法。工程计算中常采用此法,即将各个电压级都以其平均额定电压 U_{av} 作为基准电压,然后在各个电压级将有名值换算成标么值。各级平均额定电压规定为: 3.15、6.3、10.5、37、115、230、345、525kV。现仍以 Z_{L3} 为例,即

$$Z_{L3}^* = Z_{L3} \frac{S_B}{U_{B3}^2} = Z_{L3} \frac{K_2^2 K_3^2}{U_B^2} S_B$$

式中, K_2 、 K_3 均为由平均额定电压表示的变比,即 $K_2 = \frac{230}{115}$, $K_3 = \frac{115}{10.5}$, $U_B = 230\text{kV}$, 则

$$Z_{L3}^* = Z_{L3} \frac{S_B}{U_{B3}^2} = Z_{L3} \frac{K_2^2 K_3^2}{U_B^2} S_B = Z_{L3} \left(\frac{230}{115} \right)^2 \times \left(\frac{115}{10.5} \right)^2 \times \frac{S_B}{230^2} = Z_{L3} \frac{S_B}{10.5^2}$$

式中,分母的电压为线路元件 Z_{L3} 所在电压级的平均额定电压。以此方法可得到系统常用元件的近似算法的公式如下:

$$\text{发电机} \quad x_{G^*} = \frac{x_G \% S_B}{100 S_N}$$

$$\text{变压器} \quad x_{T^*} = \frac{U_s \% S_B}{100 S_N}$$

$$\text{输电线路} \quad x_{L^*} = x_l \frac{S_B}{U_{av}^2}$$

$$\text{电抗器} \quad x_{R^*} = \frac{x_R \%}{100} \times \frac{U_N}{\sqrt{3} I_N} \frac{S_B}{U_{av}^2}$$



注意

① 线路元件电抗标么值公式中的电压为线路元件所在电压级的平均额定电压; ② 电抗器的额定电压不等于所在电压级的平均额定电压, 这是为了减小电抗器电抗的计算误差。

四、习题解答

2-1 架空线路与电缆线路各有什么特点?

答 架空线路将裸导线架设在杆塔上,由导线、避雷针、绝缘子和金具等主要元件组成。它的导线和避雷针受各种因素的影响,运行条件恶劣,因而其材料都具有相当高的机械强度和抗化学腐蚀能力,还具有良好的导电性能。当线路电压超过 220kV 时,还采用扩径导线或分裂导线。电缆线路一般将电缆敷设在地下,由导线、绝缘体、绝缘层和保护皮组成。电缆线路价格比架空电路价格高,维修费时,但不需要在地面上架设杆塔,占地面积较少,供电可靠,不易受外力破坏,对人身较安全,不影响环境美观。

2-2 架空线路主要由哪几部分组成? 各部分的作用是什么?

答 (1) 架空线路主要由导线、避雷线、杆塔、绝缘子、金具等组成。

(2) 各部分的作用:

- 1) 导线的作用是传输电能。
- 2) 避雷针的作用是将雷电流引入大地以保护电力线路免受雷击。
- 3) 塔杆的作用是支持导线和避雷线。
- 4) 绝缘子的作用是使导线和塔杆保持绝缘。
- 5) 金具的作用是支持接线, 保护导线和避雷线, 连接和保护绝缘子。

2-3 架空输电线路的电阻、电抗、电纳和电导是怎样计算的? 影响电抗参数的主要因子是什么?

答 线路的参数计算公式为:

(1) 每相导线单位长度电阻 $r_1 = \frac{\rho}{S}$ 。

(2) 每相导线单位长度电抗 $x_1 = 0.1445 \lg \frac{D_{eq}}{r_{eq}} + \frac{0.0157}{n}$ 。

(3) 每相导线单位长度电纳 $b_1 = \frac{7.58}{\lg \frac{D_{eq}}{r}} \times 10^{-6}$ 。

(4) 电导由绝缘子的泄漏电流和电晕现象决定, $g_1 = \frac{\Delta P_k}{U_l^2}$, 通常很小, 可忽略不计。

影响电抗参数的主要因子是 D_{eq} (三相导线重心间的几何均距) 和 r_{eq} (等效半径, $r_{eq} = \sqrt[n]{rd^{n-1}}$, 其中, r 为每个导线的实际半径, d 为一相中分裂导线的几何均距, n 为分裂根数)。

2-4 电缆线路主要由哪几部分组成? 各部分的作用是什么?

答 (1) 电缆线路主要由导线、绝缘层、钢铠保护层等组成。

(2) 各部分的作用:

- 1) 导线的作用是传输电能。
- 2) 绝缘层的作用是保护导线以防受损。
- 3) 钢铠保护层的作用是导线受力和保护。

2-5 什么是分裂导线和扩径导线? 为什么要用这种导线?

答 分裂导线就是将每相导线分裂成若干根, 这样, 线路的每相中不只具有一根导线, 而是具有总截面与单根导线截面相当的几根 (如分裂成 2、3、4 根) 导线, 导线相互间保持一定距离。导线的这种分裂可使导线周围的电磁场发生很大变化, 减小电晕和线路电抗。

扩径导线是指人为地扩大导线直径, 但又不增大载流部分的导线截面。对导线进行扩径处理同样也是为了减小电晕和线路电抗。

2-6 架空线为什么要换位? 规程规定, 架空线长于多少千米就应进行换位?

答 架空线由于三相导线在杆塔上排列不对称, 三相之间和每相对地之间的互感总是不完全相同的, 从而引起了三相导线上电抗的不对称, 故架空线路的三相导线应进行换位。按规程规定: “在中性点直接接地的电力网中, 长度超过 100km 的线路, 均应换位。换位循环长度不宜大于 200km。”

2-7 标幺制及其特点是什么? 在电力系统计算中, 基准值如何选择?

答 (1) 标幺制是指在电力系计算时, 采用没有单位的阻抗、导纳、电压、电流、功率等的相对值进行运算。

(2) 标幺制的特点:

1) 不论电力系统元件的大小, 用标幺值表示时, 各个参数和典型的性能数据通常都在一定的范围以内, 因此便于比较和分析。

2) 用标幺值表示时, 归算到高压侧或低压侧时的参数恒相等, 故用标幺值计算时不必再进行归算。

3) 标幺值的缺点是没有量纲, 无法用量纲关系来检查。

(3) 基准值的单位应与有名值的单位相同是选择基准值的一个限制条件。选择基准值的另一个限制条件是阻抗、导纳、电压、电流、功率的基准值之间也应符合电路的基本关系。如阻抗、导纳的基准值为每相阻抗、导纳; 电压、电流的基准值为线电压、线电流; 功率的基准值为三相功率。由此可见, 五个基准值中只有两个可以任意选择, 其余三个必须根据上列关系派生。功率的基准值一般选取系统中某一发电厂的总功率或系统的总功率, 也可取某发电机或变压器的额定功率, 有时也取某一整数等。电压的基准值往往取网络中被选作基本级的额定电压。

2-8 电力系统元件参数标幺制的两种计算方法是否相同? 为什么? 自己试证明一下。

答 略

2-9 有一个电力系统, 各元件参数如图 2-2 所示。试求:

(1) 准确计算各元件电抗的标幺值 (采用变压器实际变比), 基本段取 I 段, $U_{BI} = 10.5\text{kV}$ 。

(2) 近似计算各元件电抗的标幺值 (采用变压器平均额定变比)。基本段分别取 I、II、III 段。

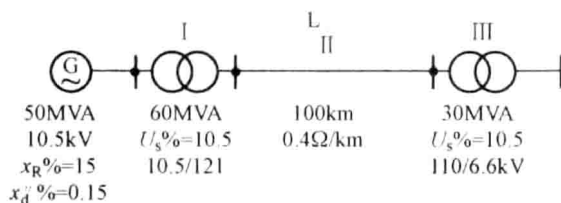


图 2-2 题 2-9 电力系统接线图

解 (1) $S_B = 100\text{MVA}$, $U_{BI} = 10.5\text{kV}$, $U_{BII} = 121\text{kV}$

$$U_{BIII} = \frac{121}{110} \times 6.6 = 7.26(\text{kV})$$

$$x_{G*}'' = x_d'' \frac{S_B}{S_{NG}} \frac{U_{NI}^2}{U_{BI}^2} = 0.15 \times \frac{100}{50} \times \frac{10.5^2}{10.5^2} = 0.3$$

$$x_{T1*} = \frac{U_s\%}{100} \frac{S_B}{S_{NI}} \frac{U_N^2}{U_{BI}^2} = \frac{10.5}{100} \times \frac{100}{60} \times \frac{10.5^2}{10.5^2} = 0.175$$

$$x_{L*} = x_1 l \frac{S_B}{U_{BII}^2} = 0.4 \times 100 \times \frac{100}{121^2} = 0.2732$$

$$x_{T2*} = \frac{U_s\%}{100} \frac{S_B}{S_{NIII}} \frac{U_{NIII}^2}{U_{BII}^2} = \frac{10.5}{100} \times \frac{100}{30} \times \frac{110^2}{121^2} = 0.2892$$