

★附研究生入学考试模拟练习及全真试题

# 电力系统分析复习指导



# 习题精解

(第二版)

杨淑英 邹永海 编



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

# 电力系统分析复习指导

## 与 习题精解

(第二版)

★ 附研究生入学考试模拟练习及全真试题

杨淑英 邹永海 编



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## 内 容 提 要

本书是为了帮助读者更好地学习和掌握《电力系统分析》课程相关知识,与当前选用的高等学校教材《电力系统稳态分析》和《电力系统暂态分析》相匹配而编写的。书中系统总结了《电力系统分析》的重点内容,并精选了大量典型例题和习题。

本书为第二版,对第一版内容进行了修改、删除和更新。全书分复习指导与习题、习题精解两部分,包括电力系统的基本概念、元件的参数及等值网络、简单电力系统的计算和分析、潮流的计算机算法、有功功率和频率调整、无功功率和电压调整、故障分析的基本知识、同步发电机突然三相短路分析、三相短路的实用计算、对称分量法及元件的各序参数和等值电路、不对称故障的分析与计算、各元件的机电特性、静态稳定、暂态稳定等重要知识点,同时选编综合练习和华北电力大学研究生入学考试全真试题,以备读者深入模拟练习。

本书可供高等院校电气工程专业师生、参加全国高等教育自学考试电力系统专业的自学人员和广大电力工程技术人员学习参考,是志于报考电力系统专业硕士研究生人员理想的复习和备考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

电力系统分析复习指导与习题精解/杨淑英,邹永海编.

—2版.—北京:中国电力出版社,2008

附研究生入学考试模拟练习及全真试题

ISBN 978-7-5083-7687-5

I. 电… II. ①杨…②邹… III. 电力系统-分析-高等学校-自学参考资料 IV. TM711

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 106385 号

中国电力出版社出版、发行

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

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2002年8月第一版

2008年10月第二版 2008年10月北京第三次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 24.25印张 547千字

印数 6001—9000册 定价 45.00元

### 敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

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

本书是一本供学习、备考《电力系统分析》课程的辅助参考书,与当前选用的高等学校教材《电力系统稳态分析》和《电力系统暂态分析》相适应,并在其基础上编写。

“电力系统分析”课程是各高等院校电气工程专业的必修课,学好这门课程非常重要,但是在学习过程中许多学生感到有很大的难度。根据国家教委关于国家重点教材的编写要求,为更好地满足目前的教学需要,培养出大批高质量的电力事业建设人才,我们编写了这本《电力系统分析复习指导与习题精解》。本书力求较强的系统性和针对性,以便学生掌握扎实的电力系统基本理论知识,同时也为广大电力工程技术人员提供必要的基础理论、计算方法,从而更准确地掌握电力系统的运行情况,保证电力系统的可靠、优质和经济运行。

本书为第二版,对第一版内容进行了修改、删除及更新。全书共分十五章。第一~十四章为电力系统稳态运行、故障分析及电力系统稳定性分析等内容,各章内容包括学习指导、解题示例和习题等。学习指导除简明扼要地介绍本章中的主要内容外,还对学生容易混淆或较难理解的问题作了必要的说明,希望起到提要钩玄的作用,既便于学习当中掌握重点,也可供复习当中查阅参考。解题示例精选了本章中的典型例题,解题时注意剖析解题思路和解题方法,可以对学生起到举一反三的作用,提高学生分析问题、解决问题的能力。每章均有相当数量的习题,书后附有各章习题的详细题解及答案。第十五章为综合练习,题目多选自国内一些高校的研究生入学考试试题,同时该章还附有华北电力大学近几年的“电力系统分析”课程硕士研究生入学考试全真试题,可提高运用综合知识的能力并供模拟练习之用。

本书第一、二章由邹永海编写,第三~十五章由杨淑英编写,杨淑英任主编。

本书适用于高等院校电气工程专业在校师生、参加全国高等教育自学考试电力系统专业的自学人员和广大电力工程技术人员。本书也是志于报考电力系统专业硕士研究生人员理想的复习和备考资料。

本书的编写得到了华北电力大学李庚银教授等多位同行的大力支持和帮助,华北电力大学赵书强、栗然教授任本书主审,对书稿进行了细致的审阅,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。此外,在本书的编写过程中,还借鉴了国内各高校同行们宝贵的教学成果,并得到了专家们热情帮助和鼓励,特别是西安交通大学李光琦教授,对本书的编写给予了很多指导,在此深表感谢。

由于编写时间短,内容较多,书中难免有缺点和错误,恳请读者批评指正。

编者

2008年9月

# 目 录

## 前言

### 第一部分 复习指导与习题

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 第一篇 电力系统稳态分析 .....        | 1  |
| 第一章 电力系统的基本概念 .....       | 1  |
| 复习指导 .....                | 1  |
| 习题一 .....                 | 3  |
| 第二章 电力系统各元件的参数及等值网络 ..... | 5  |
| 复习指导 .....                | 5  |
| 习题二 .....                 | 12 |
| 第三章 简单电力系统的计算和分析 .....    | 17 |
| 复习指导 .....                | 17 |
| 习题三 .....                 | 27 |
| 第四章 电力系统潮流的计算机算法 .....    | 37 |
| 复习指导 .....                | 37 |
| 习题四 .....                 | 45 |
| 第五章 电力系统的有功功率和频率调整 .....  | 52 |
| 复习指导 .....                | 52 |
| 习题五 .....                 | 58 |
| 第六章 电力系统的无功功率和电压调整 .....  | 63 |
| 复习指导 .....                | 63 |
| 习题六 .....                 | 73 |
| 第二篇 电力系统暂态分析 .....        | 79 |
| 第七章 电力系统故障分析的基本知识 .....   | 79 |
| 复习指导 .....                | 79 |
| 习题七 .....                 | 83 |
| 第八章 同步发电机突然三相短路分析 .....   | 87 |
| 复习指导 .....                | 87 |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 习题八 .....                             | 97  |
| <b>第九章 电力系统三相短路的实用计算</b> .....        | 100 |
| 复习指导 .....                            | 100 |
| 习题九 .....                             | 103 |
| <b>第十章 对称分量法及元件的各序参数和等值电路</b> .....   | 112 |
| 复习指导 .....                            | 112 |
| 习题十 .....                             | 117 |
| <b>第十一章 不对称故障的分析与计算</b> .....         | 123 |
| 复习指导 .....                            | 123 |
| 习题十一 .....                            | 131 |
| <b>第十二章 电力系统各元件的机电特性</b> .....        | 140 |
| 复习指导 .....                            | 140 |
| 习题十二 .....                            | 144 |
| <b>第十三章 电力系统静态稳定</b> .....            | 148 |
| 复习指导 .....                            | 148 |
| 习题十三 .....                            | 153 |
| <b>第十四章 电力系统暂态稳定</b> .....            | 159 |
| 复习指导 .....                            | 159 |
| 习题十四 .....                            | 164 |
| <b>第十五章 综合练习及研究生入学考试全真试题</b> .....    | 169 |
| 模拟练习一 .....                           | 169 |
| 模拟练习二 .....                           | 171 |
| 模拟练习三 .....                           | 173 |
| 模拟练习四 .....                           | 175 |
| 模拟练习五 .....                           | 177 |
| 模拟练习六 .....                           | 179 |
| 1998 年华北电力大学硕士研究生入学考试《电力系统分析》试题 ..... | 181 |
| 1999 年华北电力大学硕士研究生入学考试《电力系统分析》试题 ..... | 183 |
| 2000 年华北电力大学硕士研究生入学考试《电力系统分析》试题 ..... | 185 |
| 2001 年华北电力大学硕士研究生入学考试《电力系统分析》试题 ..... | 187 |
| 2007 年华北电力大学硕士研究生入学考试《电力系统分析》试题 ..... | 188 |

## 第二部分 习题精解

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| <b>第一篇 电力系统稳态分析</b> ..... | 190 |
| 第一章 电力系统的基本概念 .....       | 190 |
| 第二章 电力系统各元件的参数及等值网络 ..... | 190 |
| 第三章 简单电力系统的计算和分析 .....    | 201 |

|      |                          |     |
|------|--------------------------|-----|
| 第四章  | 电力系统潮流的计算机算法 .....       | 224 |
| 第五章  | 电力系统的有功功率和频率调整 .....     | 232 |
| 第六章  | 电力系统的无功功率和电压调整 .....     | 240 |
| 第二篇  | 电力系统暂态分析 .....           | 254 |
| 第七章  | 电力系统故障分析的基本知识 .....      | 254 |
| 第八章  | 同步发电机突然三相短路分析 .....      | 260 |
| 第九章  | 电力系统三相短路的实用计算 .....      | 265 |
| 第十章  | 对称分量法及元件的各序参数和等值电路 ..... | 276 |
| 第十一章 | 不对称故障的分析与计算 .....        | 287 |
| 第十二章 | 电力系统各元件的机电特性 .....       | 310 |
| 第十三章 | 电力系统静态稳定 .....           | 318 |
| 第十四章 | 电力系统暂态稳定 .....           | 336 |
|      | 习题答案 .....               | 356 |
| 附录   | 常用参数 .....               | 370 |
|      | 参考文献 .....               | 378 |

# 第一部分

## 复习指导与习题

### 第一篇 电力系统稳态分析

电力系统稳态分析,研究的内容分为两类,一类是电力系统稳态运行状况下的分析与潮流分布计算,另一类是电力系统稳态运行状况的优化和调整。

#### 第一章 电力系统的基本概念

##### 复 习 指 导

本章主要明确电力系统的基本概念、各元件的额定电压和接线图,重点是各元件额定电压的确定。

##### 一、电力系统、电力网和动力系统的基本概念

(1) 电力系统是指由发电机、变压器、电力线路、各种用电设备等在电气上相互连接所组成的有机整体。

(2) 电力网是指由各种电压等级的输、配电线路以及由它们所联系起来的各类变电所组成的网络。

(3) 动力系统是指电力系统与动力部分的总和。

##### 二、电力系统运行的特点和要求

(1) 运行特点。

- 1) 电能不能大量储存;
- 2) 电力系统过渡过程非常快;
- 3) 与国民经济各部门紧密相关。

(2) 基本要求。

电力系统运行要保证供电可靠性、电能质量和经济性。

##### 三、电力系统的负荷曲线

主要了解有功功率日负荷曲线、年最大负荷曲线、年持续负荷曲线。

#### 四、电力系统的接线图

接线图  $\left\{ \begin{array}{l} \text{电气接线图} \\ \text{地理接线图} \end{array} \right.$       接线方式  $\left\{ \begin{array}{l} \text{无备用接线} \\ \text{有备用接线} \end{array} \right.$

#### 五、电力系统中发电机、变压器、输电线路、用电设备等元件的额定电压

##### 1. 用电设备的额定电压

以  $U_N$  表示用电设备的额定电压（为其他元件的参考电压）。

##### 2. 输电线路的额定电压

输电线路的首端和末端均可接用电设备，而用电设备的端电压一般容许在额定电压的  $\pm 5\%$  范围内波动。因而在没有调压设备的情况下，输电线路可以容许  $10\%$  的电压损耗。

若输电线路的首端电压较用电设备的额定电压高  $5\%$ ，即为  $U_1 = U_N(1 + 5\%)$ ，输电线路的末端电压较用电设备的额定电压低  $5\%$ ，即为  $U_2 = U_N(1 - 5\%)$ ，则输电线路的额定电压为  $(U_1 + U_2)/2 = U_N$ 。

##### 3. 发电机的额定电压

发电机作为直接配电的电源，总是接在线路的首端，它的额定电压应较输电线路的额定电压高  $5\%$ ，所以发电机的额定电压为  $U_{GN} = U_N(1 + 5\%)$ 。

##### 4. 变压器的额定电压

变压器的额定电压即为变压器两侧的额定电压，以变比表示为  $k = U_{1N}/U_{2N}$ 。

变压器具有发电机和负荷的双重地位，它的一次侧是接受电能的，相当于用电设备，它的二次侧是送出电能的，相当于发电机。所以变压器一次侧的额定电压等于用电设备的额定电压，即  $U_{1N} = U_N$ 。

对于直接与发电机相连的变压器，其一次侧额定电压等于发电机的额定电压，即  $U_{1N} = U_{GN} = U_N(1 + 5\%)$ 。

考虑到线路延长导致电压降落的情况，为保持在正常工作时变压器二次侧的输出电压较后面线路的额定电压高  $5\%$ ，所以变压器二次侧的电压为  $U_{2N} = U_N(1 + 5\%)$ 。

若考虑变压器负载运行时，将在变压器内部有  $5\%$  的压降，则变压器二次侧的额定电压为  $U_{2N} = U_N(1 + 10\%)$ 。

变压器两侧的额定电压总结为：

$$\begin{aligned} \text{一次侧额定电压} & \left\{ \begin{array}{ll} U_{1N} = U_N & (\text{降压变压器或中间联络变压器}) \\ U_{1N} = U_{GN} & (\text{直接与发电机相连的变压器}) \end{array} \right. \\ \text{二次侧额定电压} & \left\{ \begin{array}{ll} U_{2N} = U_N(1 + 5\%) & (\text{空载}) \\ U_{2N} = U_N(1 + 10\%) & (\text{负载}) \end{array} \right. \end{aligned}$$

【例 1-1】 标出图 I-1-1 所示电力系统中各元件的额定电压。

解 各元件的额定电压标于图 I-1-2 中。

#### 六、电力系统中性点接地方式

电力系统中性点接地方式有两种：①不接地；②接地。

电压等级在  $6 \sim 35\text{kV}$  及以下者，中性点不接地，或经消弧线圈接地；电压等级在

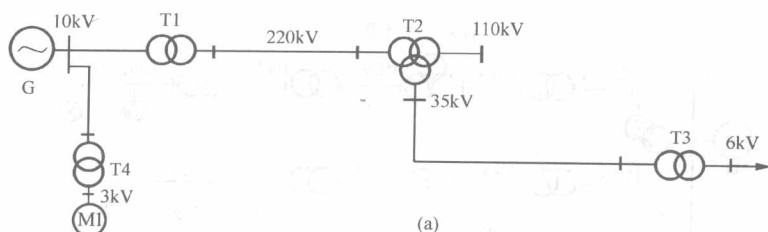


图 I-1-1 例 1-1 系统图

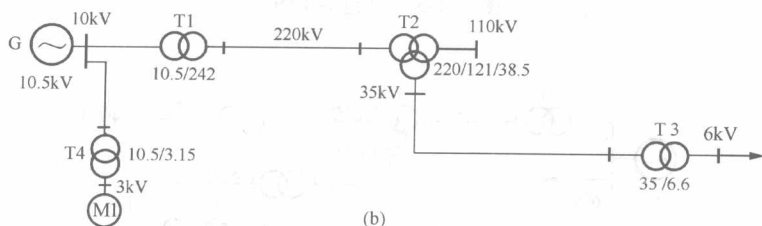


图 I-1-2 例 1-1 答案

110kV 及以上者，中性点直接接地。

### 七、电力线路的结构

电力线路按结构可分为架空线路和电缆线路。

- (1) 架空线路的组成：由导线、避雷线、杆塔、绝缘子和金具等主要元件组成。
- (2) 电缆线路的内部构造一般包括三部分：导体、绝缘层和包护层。



## 习题一

- 1-1 什么叫电力系统、电力网及动力系统？电力系统为什么要采用高压输电？
- 1-2 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？
- 1-3 我国电网的电压等级有哪些？
- 1-4 标出图 I-1-3 电力系统中各元件的额定电压。
- 1-5 请回答如图 I-1-4 所示电力系统中的两个问题：
  - (1) 发电机 G、变压器 T1 T2 T3 T4、三相电动机 M、单相电灯 L 等各元件的额定电压。
  - (2) 当变压器 T1 在 +2.5% 抽头处工作，T2 在主抽头处工作，T3 在 -2.5% 抽头处工作时，求这些变压器的实际变比。
- 1-6 图 I-1-5 中已标明各级电网的电压等级。试标出图中发电机和电动机的额定电压及变压器的额定变比。
- 1-7 电力系统接线如图 I-1-6 所示，电网各级电压示于图中。试求：

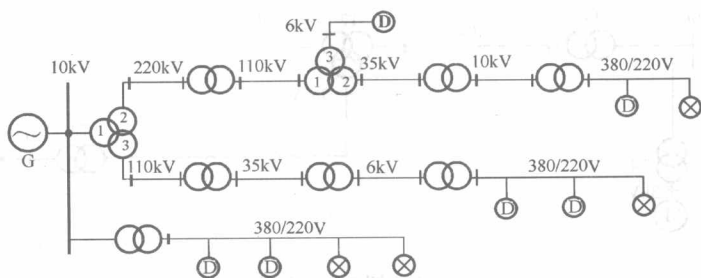


图 I-1-3 习题 1-4 图

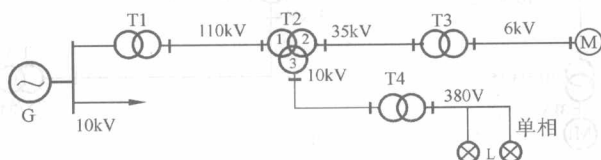


图 I-1-4 习题 1-5 图

- (1) 发电机 G 和变压器 T1、T2、T3 高低压侧的额定电压。
- (2) 设变压器 T1 工作于 +2.5% 抽头，T2 工作于主抽头，T3 工作于 -5% 抽头，求这些变压器的实际变比。

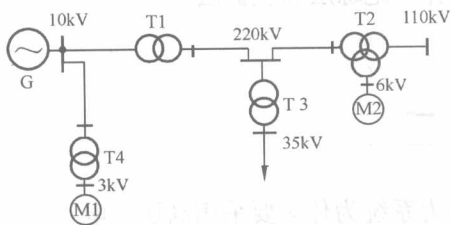


图 I-1-5 习题 1-6 图

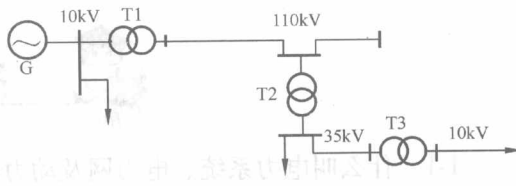


图 I-1-6 习题 1-7 图

- 1-8 比较两种接地方式的优缺点，分析其适用范围。
- 1-9 什么叫三相系统中性点位移？它在什么情况下发生？中性点不接地系统发生单相接地时，非故障相电压为什么增加 $\sqrt{3}$ 倍？
- 1-10 若在变压器中性点经消弧线圈接地，消弧线圈的作用是什么？
- 1-11 什么叫分裂导线、扩径导线？为什么要用这种导线？
- 1-12 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？
- 1-13 架空线的电压在 35kV 以上应该用悬式绝缘子，如采用 X—4.5 型绝缘子时，各种电压等级应使用多少片绝缘子？

## 第二章 电力系统各元件的参数及等值网络

### 复习指导

本章内容主要包括电力系统各主要元件的参数和等值电路以及电力系统等值网络的绘制。

#### 一、电力系统各主要元件的参数和等值电路

##### (一) 电力线路的参数和等值电路

电力线路单位长度的参数为

$$\begin{cases} r_1 = r_{20} [1 + \alpha(t - 20)] \\ x_1 = 0.1445 \lg \frac{D_m}{r} + 0.0157 \\ b_1 = \frac{7.58}{\lg \frac{D_m}{r}} \times 10^{-6} \\ g_1 = \frac{\Delta P_g}{U^2} \times 10^{-3} \end{cases}$$

常用的等值电路为  $\pi$  形, 若忽略  $g_1$  时, 如图 I-2-1 所示, 图中

$$R = r_1 l \quad X = x_1 l \quad B = b_1 l \quad (l \text{ 为电力线路的长度})$$

校验线路是否会发生电晕, 其电晕临界电压 (相电压) 经验公式为

$$U_{cr} = 49.3 m_1 m_2 \delta \cdot r \lg \frac{D_m}{r}$$

采用分裂导线时, 由于导线的分裂, 减小了电场强度, 电晕临界电压改为

$$U_{cr} = 49.3 m_1 m_2 \delta \cdot r_{nd} \lg \frac{D_m}{r_{eq}}$$

$$\text{其中 } f_{nd} = n \left[ 1 + 2(n-1) \frac{r}{d} \sin \frac{\pi}{n} \right]$$

式中  $f_{nd}$ ——与分裂状况有关的系数, 一般  $f_{nd} \geq 1$ ;

$r_{eq}$ ——分裂导线的等效半径, cm;

$n$ ——分裂根数;

$r$ ——每根导体的半径, cm。

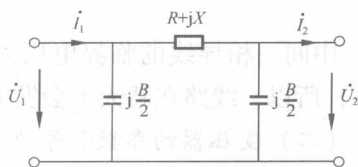


图 I-2-1  $\pi$  形等值电路

导线水平排列时, 边相导线的电晕临界电压较按上式求得的  $U_{cr}$  高 6%, 即  $U'_{cr} = 1.06 U_{cr}$ ; 中间相导线的电晕临界电压较按上式求得的  $U_{cr}$  低 4%, 即  $U'_{cr} = 0.96 U_{cr}$ 。

以上介绍了电晕临界电压的求法,在实际导线的工作电压一旦达到或超过临界电压时,电晕现象就会发生。

【例 2-1】一条长度为 100km,额定电压为 110kV 的双回路架空输电线,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值电路图。

解 LGJ—185 型号导线,查表得:

$$\text{半径 } r = \frac{d}{2} = \frac{19}{2} = 9.5 \text{ mm} = 0.95 \text{ cm}$$

$$\text{线路每千米的电阻(可由附录中附表 2 查得)} r_1 = \frac{\rho}{S} = 0.17 (\Omega/\text{km})$$

$$\text{线路每千米的电抗 } x_1 = 0.1445 \lg \frac{D_m}{r} + 0.0157$$

$$D_m = \sqrt[3]{4 \times 4 \times 2 \times 4} = 5.04 \text{ m} = 504 (\text{cm})$$

$$x_1 = 0.1445 \lg \frac{504}{0.95} + 0.0157 = 0.409 (\Omega/\text{km})$$

$$\text{线路每千米的电纳 } b_1 = \frac{7.58}{\lg \frac{D_m}{r}} \times 10^{-6} = \frac{7.58 \times 10^{-6}}{\lg \frac{504}{0.95}} = 2.79 \times 10^{-6} (\text{S}/\text{km})$$

双回线路的电阻、电抗和电纳为

$$R = \frac{r_1 l}{2} = \frac{0.17 \times 100}{2} = 8.45 (\Omega)$$

$$X = \frac{x_1 l}{2} = \frac{0.409 \times 100}{2} = 20.45 (\Omega)$$

$$B = 2b_1 l = 2 \times 2.79 \times 10^{-6} \times 100 = 558 \times 10^{-6} (\text{S})$$

$$\text{电晕临界电压 } U_{\text{cr}} = 49.3 m_1 m_2 \delta \cdot r \lg \frac{D_m}{r}$$

取  $m_1 = 1$ 、 $m_2 = 1$  (晴天),  $\delta = 1$

$$U_{\text{cr}} = 49.3 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0.95 \times \lg \frac{504}{0.95} = 127.61 (\text{kV})$$

中间一相导线的临界电压为  $U_{\text{cr}} = 0.96 \times 127.61 = 122.51 \text{ kV}$ , 因为  $U_{\text{cr}} > U$  (工作电压), 所以, 线路在晴天不会发生电晕。线路的等值电路如图 I-2-2 所示。

(二) 变压器的参数和等值电路

### 1. 双绕组变压器

双绕组变压器的等值电路如图 I-2-3 所示:

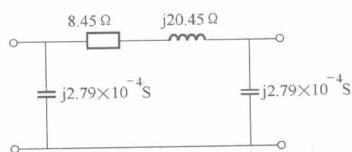


图 I-2-2 例 2-1 线路的等值电路

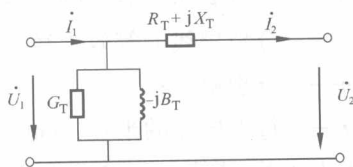


图 I-2-3 双绕组变压器等值电路

参数

$$R_T = \frac{P_k U_N^2}{1000 S_N^2} \quad X_T = \frac{U_k \%}{100} \cdot \frac{U_N^2}{S_N}$$

$$G_T = \frac{P_0}{1000 U_N^2} \quad B_T = \frac{I_0 \%}{100} \cdot \frac{S_N}{U_N^2}$$

各参数为工程单位:  $P_k$ 、 $P_0$  (kW),  $S_N$  (MVA),  $U_N$  (kV)。

【例 2-2】试计算 SFL1—20000/110 型双绕组变压器归算到高压侧的参数, 并画出它的等值电路。变压器铭牌给出该变比为 110/11kV、 $S_N = 20\text{MVA}$ 、 $P_k = 135\text{kW}$ 、 $P_0 = 22\text{kW}$ 、 $U_k \% = 10.5$ 、 $I_0 \% = 0.8$ 。

解 由短路损耗  $P_k = 135\text{kW}$  可求得变压器电阻为

$$R_T = \frac{P_k U_N^2}{1000 S_N^2} = \frac{135 \times 110^2}{1000 \times 20^2} = 4.08(\Omega)$$

由短路电压百分值  $U_k \%$  可求得变压器电抗为

$$X_T = \frac{U_k \% U_N^2}{100 S_N} = \frac{10.5 \times 110^2}{100 \times 20} = 63.53(\Omega)$$

由空载损耗  $P_0 = 22\text{kW}$  可求得变压器励磁支路的电导为

$$G_T = \frac{P_0}{1000 U_N^2} = \frac{22}{1000 \times 110^2} = 1.82 \times 10^{-6}(\text{S})$$

由空载电流百分值  $I_0 \%$  可求得变压器励磁支路的电纳为

$$B_T = \frac{I_0 \% S_N}{100 U_N^2} = \frac{0.8 \times 20}{100 \times 110^2} = 1.322 \times 10^{-5}(\text{S})$$

于是等值电路如图 I-2-4 所示。

## 2. 三绕组变压器

三绕组变压器的等值电路如图 I-2-5 所示。

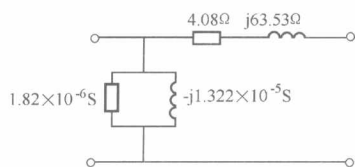


图 I-2-4 例 2-2 图

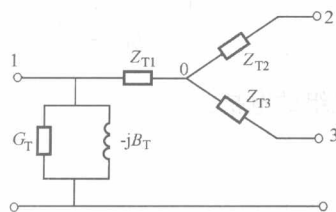


图 I-2-5 三绕组变压器等值电路

(1) 求电阻:

对容量比为 100/100/100 的变压器各绕组的短路损耗为

$$\begin{cases} P_{k1} = \frac{1}{2} [P_{k(1-2)} + P_{k(3-1)} - P_{k(2-3)}] \\ P_{k2} = \frac{1}{2} [P_{k(1-2)} + P_{k(2-3)} - P_{k(3-1)}] \\ P_{k3} = \frac{1}{2} [P_{k(2-3)} + P_{k(3-1)} - P_{k(1-2)}] \end{cases} \quad (2-1)$$

$$\begin{cases} R_{T1} = \frac{P_{k1}}{1000} \cdot \frac{U_N^2}{S_N^2} \\ R_{T2} = \frac{P_{k2}}{1000} \cdot \frac{U_N^2}{S_N^2} \\ R_{T3} = \frac{P_{k3}}{1000} \cdot \frac{U_N^2}{S_N^2} \end{cases} \quad (2-2)$$

对容量比为 100/50/100 的变压器, 已知  $P'_{k(1-2)}$ 、 $P'_{k(2-3)}$ 、 $P'_{k(3-1)}$  为第二绕组中流过它本身额定电流时两两之间的短路损耗。于是有

$$P_{k(1-2)} = \left(\frac{S_{N1}}{S_{N2}}\right)^2 P'_{k(1-2)} \quad P_{k(2-3)} = \left(\frac{S_{N3}}{S_{N2}}\right)^2 P'_{k(2-3)} \quad P_{k(3-1)} = P'_{k(3-1)}$$

然后可按式 (2-1)、式 (2-2) 求  $R_{T1}$ 、 $R_{T2}$ 、 $R_{T3}$ 。

对容量比为 100/100/50 的变压器有

$$P_{k(1-2)} = P'_{k(1-2)} \quad P_{k(2-3)} = \left(\frac{S_{N2}}{S_{N3}}\right)^2 P'_{k(2-3)} \quad P_{k(3-1)} = \left(\frac{S_{N1}}{S_{N3}}\right)^2 P'_{k(3-1)}$$

然后可按式 (2-1)、式 (2-2) 求  $R_{T1}$ 、 $R_{T2}$ 、 $R_{T3}$ 。

对容量分布不均的变压器有

$$R_{T(100)} = \frac{P_{kmax}}{2000} \cdot \frac{U_N^2}{S_N^2} \quad R_{T(X)} = \frac{S_N}{S_X} R_{T(100)}$$

(2) 求电抗:

各绕组的短路电压为

$$\begin{cases} U_{k1} \% = \frac{1}{2} \times [U_{k(1-2)} \% + U_{k(3-1)} \% - U_{k(2-3)} \%] \\ U_{k2} \% = \frac{1}{2} \times [U_{k(1-2)} \% + U_{k(2-3)} \% - U_{k(3-1)} \%] \\ U_{k3} \% = \frac{1}{2} \times [U_{k(2-3)} \% + U_{k(3-1)} \% - U_{k(1-2)} \%] \end{cases} \quad (2-3)$$

各绕组的电抗为

$$\begin{cases} X_{T1} = \frac{U_{k1} \%}{100} \cdot \frac{U_N^2}{S_N} \\ X_{T2} = \frac{U_{k2} \%}{100} \cdot \frac{U_N^2}{S_N} \\ X_{T3} = \frac{U_{k3} \%}{100} \cdot \frac{U_N^2}{S_N} \end{cases} \quad (2-4)$$

$$(3) \text{ 励磁支路的导纳为 } G_T = \frac{P_0}{1000 U_N^2} \quad B_T = \frac{I_0 \%}{100} \cdot \frac{S_N}{U_N^2}$$

**【例 2-3】** 某变电所有一台 SFSL1—15000/110 三绕组变压器, 容量比为 100/100/100。试验数据为:  $P_{k(3-1)} = 120\text{kW}$ 、 $P_{k(1-2)} = 120\text{kW}$ 、 $P_{k(2-3)} = 95\text{kW}$ 、 $U_{k(3-1)} \% = 17$ 、 $U_{k(1-2)} \% = 10.5$ 、 $U_{k(2-3)} \% = 6$ 、 $P_0 = 22.7\text{kW}$ 、 $I_0 \% = 1.3$ 。试求变压器的参数及等值

电路。

解 (1) 电阻  $R_{T1}$ 、 $R_{T2}$ 、 $R_{T3}$  的计算:

各绕组的短路损耗为

$$\begin{cases} P_{k1} = \frac{1}{2} [P_{k(1-2)} + P_{k(3-1)} - P_{k(2-3)}] = \frac{1}{2} (120 + 120 - 95) = 72.5 \\ P_{k2} = \frac{1}{2} [P_{k(1-2)} + P_{k(2-3)} - P_{k(3-1)}] = \frac{1}{2} (120 + 95 - 120) = 47.5 \\ P_{k3} = \frac{1}{2} [P_{k(2-3)} + P_{k(3-1)} - P_{k(1-2)}] = \frac{1}{2} (95 + 120 - 120) = 47.5 \end{cases}$$

各绕组的电阻为

$$\begin{cases} R_{T1} = \frac{P_{k1}}{1000} \cdot \frac{U_N^2}{S_N^2} = \frac{72.5}{1000} \cdot \frac{110^2}{15^2} = 3.9 (\Omega) \\ R_{T2} = \frac{P_{k2}}{1000} \cdot \frac{U_N^2}{S_N^2} = \frac{47.5}{1000} \cdot \frac{110^2}{15^2} = 2.56 (\Omega) \\ R_{T3} = \frac{P_{k3}}{1000} \cdot \frac{U_N^2}{S_N^2} = \frac{47.5}{1000} \cdot \frac{110^2}{15^2} = 2.56 (\Omega) \end{cases}$$

(2) 电抗  $X_{T1}$ 、 $X_{T2}$ 、 $X_{T3}$  的计算:

各绕组的短路电压为

$$\begin{cases} U_{k1} \% = \frac{1}{2} [U_{k(1-2)} \% + U_{k(3-1)} \% - U_{k(2-3)} \%] = \frac{1}{2} (10.5 + 17 - 6) = 10.75 \\ U_{k2} \% = \frac{1}{2} [U_{k(1-2)} \% + U_{k(2-3)} \% - U_{k(3-1)} \%] = \frac{1}{2} (10.5 + 6 - 17) = -0.25 \\ U_{k3} \% = \frac{1}{2} [U_{k(2-3)} \% + U_{k(3-1)} \% - U_{k(1-2)} \%] = \frac{1}{2} (17 + 6 - 10.5) = 6.25 \end{cases}$$

各绕组的电抗为

$$\begin{cases} X_{T1} = \frac{U_{k1} \%}{100} \cdot \frac{U_N^2}{S_N} = \frac{10.75}{100} \cdot \frac{110^2}{15} = 86.8 (\Omega) \\ X_{T2} = \frac{U_{k2} \%}{100} \cdot \frac{U_N^2}{S_N} = \frac{10.25}{100} \cdot \frac{110^2}{15} = 2.0 (\Omega) \\ X_{T3} = \frac{U_{k3} \%}{100} \cdot \frac{U_N^2}{S_N} = \frac{6.25}{100} \cdot \frac{110^2}{15} = 50.5 (\Omega) \end{cases}$$

(3) 电导和电纳的计算:

$$G_T = \frac{P_0}{1000 U_N^2} = \frac{22.7}{1000 \times 110^2} = 1.8 \times 10^{-6} (S)$$

$$B_T = \frac{I_0 \% S_N}{100 U_N^2} = \frac{1.3 \times 15}{100 \times 110^2} = 16.1 \times 10^{-6} (S)$$

(4) 变压器的空载损耗的计算:

$$P_0 = 22.7 \text{ kW} = 0.0227 \text{ MW}$$

$$Q_0 = \frac{I_0 \% S_N}{100} = \frac{1.3}{100} \times 15 = 0.195 (\text{Mvar})$$

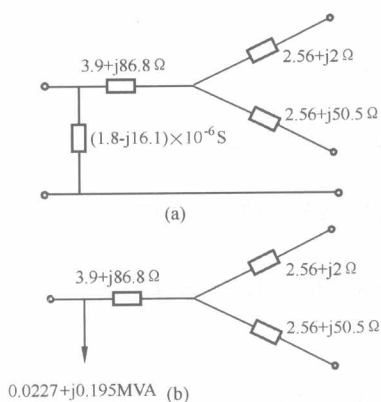


图 I-2-6 例 2-3 三绕组变压器等值电路

然后可按式 (2-1)、式 (2-2) 求电阻。

$$U_{k(1-2)} \% = U'_{k(1-2)} \% \quad U_{k(3-1)} \% = \left( \frac{S_N}{S_3} \right) U'_{k(3-1)} \%$$

$$U_{k(2-3)} \% = \left( \frac{S_N}{S_3} \right) U'_{k(2-3)} \%$$

然后可按式 (2-3)、式 (2-4) 求电抗。

励磁支路为  $G_T$  和  $B_T$  与前面公式相同。

### (三) 电抗器的参数和等值电路

如图 I-2-7 所示：

$$X_R = \frac{U_{rN}}{\sqrt{3}I_{rN}} \cdot \frac{X_r \%}{100}$$

### (四) 发电机的参数和等值电路

如图 I-2-8 所示：

$$X_G = \frac{X_G \%}{100} \cdot \frac{U_N^2}{S_N}$$

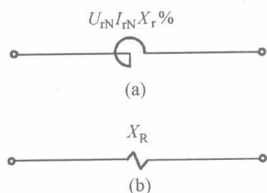


图 I-2-7 电抗器等值电路

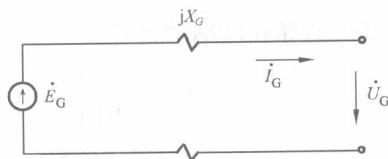


图 I-2-8 发电机等值电路

## 二、电力系统的等值网络

首先将各元件的参数归算至基本级（潮流计算时，一般选最高电压级为基本级），然后再把各元件的等值电路连接起来，成为电力系统的等值网络。