

电力系统分析复习指导与习题精解

——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

责任编辑 刘宇峰

封面设计 刘 扬

CEPP

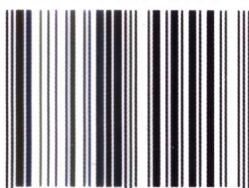
内容提要

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。

全书共分十五章。第一至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，各章内容包括复习指导、解题示例和习题等。复习指导除简明扼要地介绍本章中的主要内容外，还对容易混淆或较难理解的问题作了必要的说明，起到提要钩玄的作用，既便于学习当中掌握重点，也可供复习当中查考之用。解题示例精选了本章中的典型例题，解题时注意交待解题思路和解题方法，可以起到举一反三的作用，提高分析问题、解决问题的能力。每章后附有相当数量的习题，紧扣研究生入学考试试题题型，并在书后附有各章习题的详细题解及答案。第十五章为模拟练习，题目多选自国内一些高校的研究生入学考试试卷，同时还附有华北电力大学1998~2001年的“电力系统分析”课程研究生入学考试全真试题，可供提高运用综合知识的能力及模拟自测之用。

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。本书也是有志报考电力系统专业硕士研究生人员手中理想的复习和备考资料。

ISBN 7-5083-0990-1



9 787508 309903 >

ATION TO STANDARDS

ISBN 7-5083-0990-1/TM-429

定价：40.00 元

Cognitive. || Perception

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电力系统分析复习指导与习题精解

——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

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, 邹永海编著.
- 北京: 中国电力出版社, 2002
附研究生入学考试模拟练习及全真试题
ISBN 7-5083-0990-1

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 (2002) 第 016410 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>)

利森达印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2002 年 8 月第一版 2002 年 10 月北京第二次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 23.5 印张 531 千字

印数 3001—6000 册 定价 40.00 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)

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，并在其基础上编写的。

“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，但是大部分学生也反映在学习过程中有很大的难度。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，为培养出大批高质量的电力事业的建设人材，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，以便能够使学生掌握扎实的电力系统基本理论知识，同时也能够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。

全书内容共分十五章。第一至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，也可供复习当中查考之用。解题示例精选了本章中的典型例题，解题时注意交待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。第十五章内容为综合练习，题目多选自国内一些高校的研究生入学考试试卷，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，可提高学生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。本书也是有志报考电力系统专业硕士研究生人员手中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，华北电力大学原校长陈志业教授任本书主审，对书稿进行了细致的审阅，提出了许多宝贵意见，在此对他们表示衷心的感谢。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，诚恳希望读者提出批评指正。

编者

2001年7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

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	16
复习指导	16
习题三	26
第四章 电力系统潮流的计算机算法	35
复习指导	35
习题四	43
第五章 电力系统的有功功率和频率调整	49
复习指导	49
习题五	55
第六章 电力系统的无功功率和电压调整	60
复习指导	60
习题六	70

第二篇 电力系统暂态分析

第七章 电力系统故障分析的基本知识	75
复习指导	75
习题七	79
第八章 同步发电机突然三相短路分析	83
复习指导	83

1AC59/07

习题八	93
第九章 电力系统三相短路的实用计算	96
复习指导	96
习题九	99
第十章 对称分量法及元件的各序参数和等值电路	108
复习指导	108
习题十	113
第十一章 不对称故障的分析与计算	118
复习指导	118
习题十一	126
第十二章 电力系统各元件的机电特性	135
复习指导	135
习题十二	139
第十三章 电力系统静态稳定	143
复习指导	143
习题十三	148
第十四章 电力系统暂态稳定	154
复习指导	154
习题十四	159
第十五章 综合练习及研究生入学考试全真试题	164
模拟练习一	164
模拟练习二	166
模拟练习三	168
模拟练习四	170
模拟练习五	172
模拟练习六	174
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	176
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	178
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	180
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	182

第二部分 习 题 精 解

第一编 电力系统稳态分析

第一章 电力系统的基本概念	184
第二章 电力系统各元件的参数及等值网络	184
第三章 简单电力系统的计算和分析	195
第四章 电力系统潮流的计算机算法	217

第五章	电力系统的有功功率和频率调整	225
第六章	电力系统的无功功率和电压调整	232

第二篇 电力系统暂态分析

第七章	电力系统故障分析的基本知识	246
第八章	同步发电机突然三相短路分析	252
第九章	电力系统三相短路的实用计算	257
第十章	对称分量法及元件的各序参数和等值电路	268
第十一章	不对称故障的分析与计算	279
第十二章	电力系统各元件的机电特性	301
第十三章	电力系统静态稳定	309
第十四章	电力系统暂态稳定	325
习题答案		344
附录	常用参数	359
参考文献		367

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、用户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

发电机做为直接配电的电源，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】 标出例 1-1 图 (a) 电力系统中各元件的额定电压。

解 各元件的额定电压标于例 1-1 图 (b) 中。

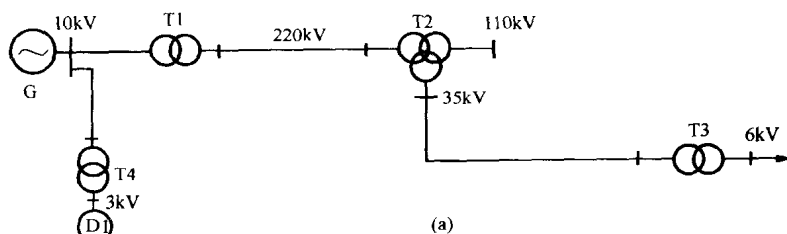


图 I-1-1 例 1-1 图 (a)

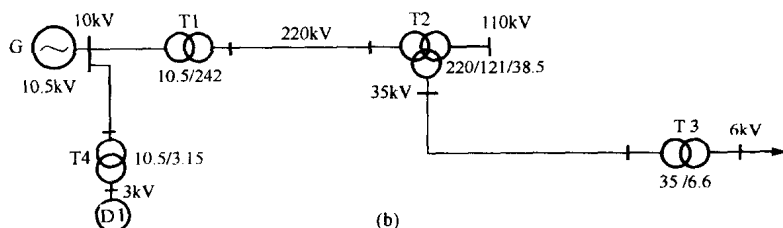


图 I-1-2 例 1-1 图 (b)

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 ~ 35kV 及以下者，中性点不接地，或经消弧线圈接地；电压等级在 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。

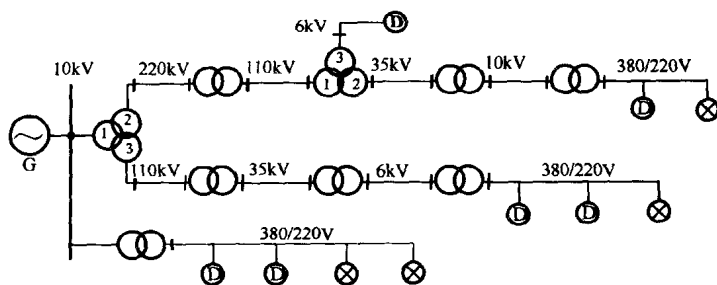


图 I-1-3 习题 1-4 图

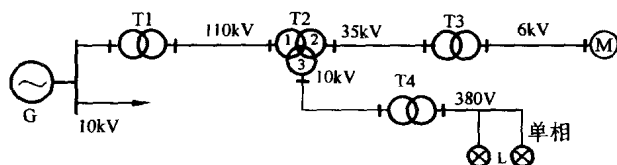


图 I-1-4 习题 1-5 图

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：

(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。

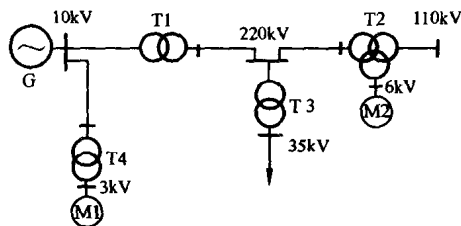


图 I-1-5 习题 1-6 图

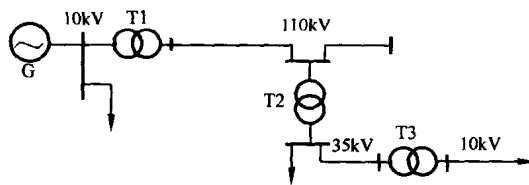


图 I-1-6 习题 1-7 图

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



本章主要包括：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 π 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

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

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

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

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

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。

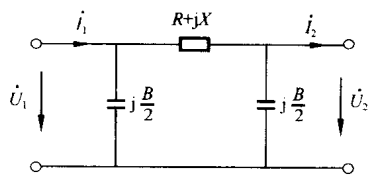


图 I-2-1 π 形等值电路

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_{α} 高 6%，即 $U'_{\alpha} = 1.06 U_{\alpha}$ ；中间相导线的电晕临界电压较按上式求得的 U_{α} 低 4%，即 $U'_{\alpha} = 0.96 U_{\alpha}$ 。

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:

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

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

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

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

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

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

双回线路的电阻、电抗和电纳为

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

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

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

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

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

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

中间一相导线的临界电压为 $U_\alpha = 0.96 \times 127.61 = 122.51\text{kV}$, 因为 $U_\alpha > U$ (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:

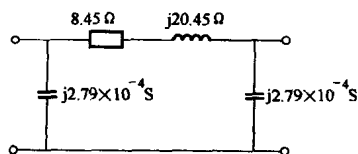


图 I-2-2 例 2-1 线路的等值电路

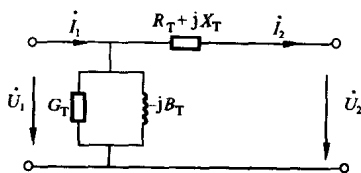


图 I-2-3 双绕组变压器等值电路

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

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

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

【例 2-2】试计算 SF11—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 110/11、 $S_N = 20\text{MVA}$ 、 $P_k = 135\text{kW}$ 、 $P_0 = 22\text{kW}$ 、 $U_k \% = 10.5$ 、 $I_0 \% = 0.8$ 。

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

$$X_T = \frac{U_k \% U_N^2}{1000 S_N} = \frac{10.5 \times 110^2}{1000 \times 20} = 63.53(\Omega)$$

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

$$G_T = \frac{P_0}{100 U_N^2} = \frac{22}{100 \times 110^2} = 1.82 \times 10^{-6}(\text{S})$$

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。

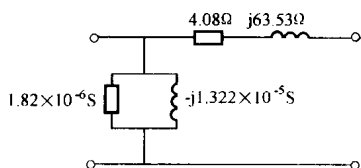


图 I-2-4 例 2-2 图

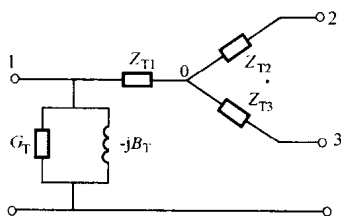


图 I-2-5 三绕组变压器等值电路

(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

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

(2) 求电抗:

各绕组的短路电压为

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

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

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

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

等值电路如图 I -2-6 所示。