

城镇（农村）工矿企业电工培训教材

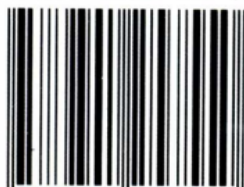
（高级工）

高压电气
低压设备
试验设计

山西省电力工业局 编

中国电力出版社

ISBN 7-80125-755-3



9 787801 257550 >

ISBN 7-80125-755-3/TM·475

全三册定价:28.00 元 (本册:11.00 元)

TM
S13

城镇（农村） 工矿企业电工培训教材

高低压设备电气试验

（高级工）

山西省电力工业局 编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书为《城镇（农村）工矿企业电工培训教材高低压设备电气试验高级工》。

本书共分十章，主要介绍了短路电流计算及动热稳定校验、高电压测量、断路器机械特性试验、变压器空载和短路试验、电缆故障测量、输电线路工频参数及中性点不接地系统电容电流测量、互感器的特性试验、绝缘油的试验、局部放电试验、电气设备故障检测及附录。为了便于培训和考核，每章后均附有复习题。

本书可作为厂矿及县（市）电业部门从事电气试验人员培训教材，也可作为从事电气试验专业人员参考书。

图书在版编目（CIP）数据

高低压设备电气试验/山西省电力工业局编. -北京：中国电力出版社，1998

城镇（农村）工矿企业电工培训教材

ISBN 7-80125-755-3

I. 高… II. 山… III. ①高压电器-试验-技术培训-教材
②低压电器-试验-技术培训-教材 IV. TM5

中国版本图书馆 CIP 数据核字（98）第 29106 号

高低压设备电气试验（高级工）

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>）

长城印刷厂印刷 各地新华书店经售

*

1999 年 1 月第一版 1999 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 32 开本 8 印张 176 千字

印数 0001—3850 册 全三册定价 28.00 元（本册 11.00 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）

城镇(农村)工矿企业电工培训教材

编审委员会

名 誉 主 任:卞学海 李振生
主 任:刘润来
常 务 副 主 任:郭连邦
副 主 任:程忠智 宗 健 徐 奇 贺至刚
张克让 王靖中 杨定鑫 程纪奎
顾希衍 王文杰 郑承平 刘玉柱
委 员:周 新 郭林虎 李 禄 阎刘生
乔文普 李 波 吴秀初 杨 忠
卫克俭 苑连池 杨德水
办 公 室 主 任:杨定鑫(兼)
办 公 室 副 主 任:乔文普 陈 涛 姜丽敏 郭林虎
办 公 室 工 作 人 员:曹 璘 王荣辉 罗 琳

《高低压设备电气试验》(高级工)

编写人员

主 编:史宪泽
参 编:刘俊义 田生荣 高世伟

前 言

根据原电力部教育工作会议的精神和中电联教培部《关于电力工业培训教材建设工作的意见》，在部领导的关怀下，山西省电力工业局和中国电力出版社经协商研究后，决定编写出版这套《城镇（农村）工矿企业电工培训教材》。

我国工矿企业和农村，目前约有 300 万电工在从事电力设施的安装、检修、运行维护和试验工作，他们是建设和发展供用电事业，维护供用电设施安全的一支重要生力军。随着我国电力事业的不断发展和电力科学技术的进步，对这支生力军的整体素质也相应地提出了更高的要求。为此，编写一套适用于城镇（农村）工矿企业电工培训学习的教材，是当务之急，也是我们电力管理和电力出版部门义不容辞的责任。

本套丛书的内容覆盖了变配电设备运行、检修、安装，供电线路施工、运行、检修，电机检修，电气试验，电气仪表及内线工程施工和检修等 8 个工种对初、中、高级工的技术要求，每个工种分初、中、高级工 3 个分册出版，共 24 个分册。

在编写本套丛书的过程中，着重根据工人技术等级标准中对每一工种的定义、工作内容、技术等级、适用范围等的规定，紧扣标准提出的知识要求和技能要求，从生产实际需要出发拟出初步的编写提纲；经数月重点调查研究、广泛征求意见、认真修订后形成正式的编写提纲；之后，又历时半

余年，始成初稿。初稿形成后，在局系统内进行了专家审稿和主编者的修改、统稿工作。因此，定稿后的培训教材，深信是紧扣工人技术等级标准的实用性教材。

城镇（农村）工矿企业电工培训教材，体现了工人技术培训的特点以及理论联系实际的原则，尽量反映了新技术、新设备、新工艺、新材料、新经验和新方法，其内容涉及电压等级从高压 110kV 到 3kV，低压 500V 及以下电工所需的技术基础知识和技能知识。与每一工种对应的初、中、高级工 3 个分册，自成一个小的系列，呈阶梯式递进，内容上互不重复。每一分册的具体内容又分为核心内容和复习题两大部分。核心内容主要讲解必备知识以及与技能要求对应的一些专业知识。复习题的形式多种多样，解答习题的目的在于巩固和深化所学知识。

本书是《高低压设备电气试验》高级工培训教材，全部内容共分十章；全书由史宪泽主编，参编是刘俊义、田生荣、高世伟。本书由罗国祥主审。

在编写这套丛书的过程中，得到了原电力工业部领导的关怀以及中电联教培部和各有关司局的关心、支持，同时也取得了全国电力系统各有关单位和人员的关注、支持和帮助，他们为本书提供了咨询、技术资料以及许多宝贵的建议，在此一并表示衷心感谢。

各单位和广大读者在使用本套教材过程中，如发现有不妥之处或有需要修改的意见，敬请随时函告，以便再版时修改。

山西省电力工业局 中国电力出版社

1998 年 4 月

目 录

前 言

第一章 短路电流计算及动稳定热稳定校验 1

第一节 电路元件参数的计算 1

第二节 网络变换 6

第三节 三相短路电流计算 10

第四节 电气设备动稳定和热稳定校验 15

复习题 20

第二章 高电压测量 23

第一节 分压器 23

第二节 电压互感器、静电电压表、球间隙 33

第三节 示波器 40

复习题 47

第三章 断路器机械特性试验 49

第一节 分合闸时间和同期测量 49

第二节 分合闸速度及操作机构动作电压
的测量 56

第三节 机械特性试验项目的顺序 63

复习题 66

第四章 变压器的空载和短路试验 68

第一节 变压器的电磁特性 68

第二节 变压器空载试验 72

第三节	变压器的短路试验	78
复习题		85
第五章	电缆故障测量	87
第一节	电缆故障分类及故障性质判断	87
第二节	低电阻接地故障的测试	90
第三节	高电阻故障的测试	98
第四节	电缆断线故障测试	102
复习题		105
第六章	输电线路工频参数测量及中性点不接地系统电容电流的测量	108
第一节	输电线路工频参数测量	109
第二节	消弧线圈试验及中性点不接地系统电容电流测量	127
复习题		146
第七章	互感器的特性试验	149
第一节	电流互感器的特性试验	149
第二节	电压互感器的特性试验	157
复习题		169
第八章	绝缘油的试验	172
第一节	绝缘油的电气性能试验	173
第二节	绝缘油中溶解气体的气相色谱分析	177
复习题		195
第九章	局部放电试验	199
第一节	局部放电基本概念	199
第二节	试验接线方法及步骤	203
第三节	确定测试值的方法及注意事项	208

第四节	互感器的局部放电试验·····	214
复习题	·····	218
第十章	电气设备故障检测 ·····	221
第一节	变压器铁芯故障及检测·····	221
第二节	变压器绕组故障及其测试项目·····	226
第三节	电压互感器组输出电压不平衡的试验 与分析·····	228
第四节	绝缘油老化的判断方法·····	231
第五节	无载分接开关错位的检测·····	234
复习题	·····	237
附录 1	例题：编写 110kV 输变电设备投运前 试验大纲 ·····	240
附录 2	微机在试验管理中的应用——高压设备台账 及试验分析系统 ·····	244
参考文献	·····	248

短路电流计算及动稳定 热稳定校验

电气设备的载流体通过电流时，会同时受到电动力的作用和热效应。特别是通过短路电流时，会产生很大的电动力和热效应，电气设备及其绝缘可能因此被破坏。为了正确地选择和校验电气设备及其载流体，保证电气设备可靠运行，必须对它们所受的电动力及其热效应进行计算。为此，需要事先进行短路电流的计算，以校验电气设备的动稳定和热稳定。本章着重介绍有关短路电流的常用计算方法及电气设备动稳定、热稳定的校验。

第一节 电路元件参数的计算

一、基准值

计算高压电气装置中的短路电流时，各电气量通常用标么值而不用有名值。在标么值计算中，各电气量的基准值用各量的符号加下角 0 来表示。为了计算方便，通常取基准容量 $S_0 = 100 \text{ MV} \cdot \text{A}$ ，随着电网容量增大，基准容量可取 $S_0 = 1000 \text{ MV} \cdot \text{A}$ 。基准电压 U_0 取各级电压的平均值 U_{av} ， U_{av} 为额定电压的 1.05 倍，即 $U_0 = U_{av} = 1.05 U_N$ 。当基准容量 S_0 与基

准电压 U_0 确定后, 基准电流 I_0 与基准电抗 X_0 便已确定, 即

$$I_0 = \frac{S_0}{\sqrt{3} U_0} \quad (1-1)$$

$$X_0 = \frac{U_0}{\sqrt{3} I_0} = \frac{U_0^2}{S_0} \quad (1-2)$$

基准容量确定后, 各电压等级下的常用基准值如表 1-1 所示。

表 1-1 常用基准值表 ($S_0=100\text{MV} \cdot \text{A}$)

基准电压 U_0 (kV)	3.15	6.3	10.5	37	63	115
基准电流 I_0 (kA)	18.3	9.17	5.5	1.56	0.92	0.502
基准电抗 X_0 (Ω)	0.0995	0.397	1.10	13.7	39.55	132

二、各元件参数标么值的计算

电路元件的标么值是指有名值与基准值之比, 即

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

标么值用各电气量的符号加下角 * 表示

$$\left. \begin{aligned} U_* &= \frac{U}{U_0} \\ S_* &= \frac{S}{S_0} \\ I_* &= \frac{I}{I_0} = I \frac{\sqrt{3} U_0}{S_0} \\ X_* &= \frac{X}{X_0} = X \frac{S_0}{U_0^2} \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

可见, 相电压和线电压的标么值是相同的, 单相功率和三相功率的标么值也是相同的, 这是标么值的优点之一。某些物理量可用与标么值相等的另一些物理量来代替, 如 $I_* = S_*$, 这是标么值的另一个优点。

三、各元件的电抗值

计算短路电流时，必须知道电力系统中各主要元件的电抗值。在高压装置中，一般只考虑主要元件，这里介绍同步发电机、变压器及架空线路的电抗。

1. 同步发电机的电抗

在三相短路电流实用计算中，只需知道同步发电机在短路瞬间电抗，即纵轴次暂态电抗 X_d^* 。一般制造厂提供的同步电抗都是以发电机本身的额定容量 S_N (MV·A) 及额定电压 U_N (kV) 为基准值的百分电抗值 $X_{d.N}^*\%$ ，则发电机电抗的有名值为

$$X_d^* = \frac{X_{d.N}^*\% U_N^2}{S_N \times 100} \quad (1-4)$$

式中 U_N ——同步发电机的额定电压，kV；

S_N ——同步发电机的额定容量，MV·A；

$X_{d.N}^*\%$ ——同步发电机的次暂态电抗（额定）百分值。

同步发电机的电抗标么值为

$$X_{d.}^* = \frac{X_d^*}{X_0} = X_d^* \frac{S_0}{U_0^2} = \frac{X_{d.N}^*\% U_N^2 S_0}{S_N \times 100 U_0^2}$$

若 $U_N = U_0$ ，则

$$X_{d.}^* = \frac{X_{d.N}^*\%}{100} \cdot \frac{S_0}{S_N} \quad (1-5)$$

2. 电力变压器的电抗

双绕组变压器短路电压 $U_k\%$ 等于变压器一侧绕组短路、另一侧绕组流过额定电流时的电压降对其额定电压的百分数。变压器电抗的标么额定值用百分数表示时，等于短路电压的百分数，即 $X_{T.N} \times 100\% = U_k\%$ 或 $X_{T.N} = \frac{U_k\%}{100}$ 。

变压器电抗有名值 X_T (Ω) 为

$$X_T = \frac{U_k\% \cdot U_N^2}{100S_N} = X_{T \cdot N} \frac{U_N^2}{S_N} \quad (1-6)$$

式中 S_N ——变压器的额定容量，MV·A；

U_N ——变压器的额定电压，kV；

$U_k\%$ ——变压器短路电压百分数。

变压器电抗标么值为

$$X_{T \cdot} = \frac{X_T}{X_0} = \frac{U_k\% U_N^2 S_0}{100 S_N U_0^2}$$

若 $U_0 = U_N$ ，则

$$X_{T \cdot} = \frac{U_k\% S_0}{100 S_N} \quad (1-7)$$

三绕组变压器各绕组间短路电压百分数分别用 $U_{k1-2}\%$ 、 $U_{k2-3}\%$ 、 $U_{k1-3}\%$ 表示。角注 1、2、3 分别表示一次、二次和三次绕组。要注意，这些百分数都是对变压器的额定容量（即容量最大的绕组的容量）的百分数。三绕组变压器及其等值电路如图 1-1 所示。

在等值电路图 1-1 中，电抗 X_1 、 X_2 、 X_3 的标么额定值为

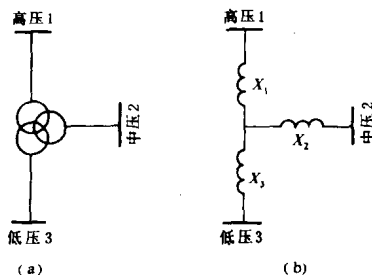


图 1-1 三绕组变压器及其等值电路

(a) 三绕组变压器；(b) 等值电路

$$\left. \begin{aligned} X_{1 \cdot N} &= \frac{1}{200} (U_{k1-2} \% + U_{k1-3} \% - U_{k2-3} \%) \\ X_{2 \cdot N} &= \frac{1}{200} (U_{k1-2} \% + U_{k2-3} \% - U_{k1-3} \%) \\ X_{3 \cdot N} &= \frac{1}{200} (U_{k1-3} \% + U_{k2-3} \% - U_{k1-2} \%) \end{aligned} \right\} \quad (1-8)$$

标么值为

$$\begin{aligned} X_{1 \cdot} &= \frac{X_{1 \cdot N} \frac{U_N^2}{S_N}}{X_0} = X_{1 \cdot N} \frac{U_{N1}^2 S_0}{S_N U_0^2} \\ X_{2 \cdot} &= X_{2 \cdot N} \frac{U_{N2}^2 S_0}{S_N U_0^2} \\ X_{3 \cdot} &= X_{3 \cdot N} \frac{U_{N3}^2 S_0}{S_N U_0^2} \end{aligned}$$

式中 U_{N1} 、 U_{N2} 、 U_{N3} ——一、二、三次侧额定电压，kV；
 S_N ——最大容量绕组的额定容量，
 MV·A。

3. 架空线路的电抗

在实用计算中，架空线路的电抗值在没有具体线路参数时，对于 10~110kV 架空线路，可按每一回路 0.4Ω/km 计算。

从有名值换算到标么值时，用式 (1-9) 计算

$$X_{\cdot} = \frac{X}{X_0} = X \frac{S_0}{U_0^2}$$

当 $U_{av} = U_0$ 时

$$X_{\cdot} = X \frac{S_0}{U_{av}^2} \quad (1-9)$$

式中 U_{av} ——线路所在一级的平均电压。

若已知线路各参数，则架空输电线路的电抗 X_1 按式 (1-

10) 计算

$$X_1 = 0.145 \lg \frac{D}{0.789r} \quad (1-10)$$

其中 $D = \sqrt[3]{d_{ab}d_{ac}d_{cb}}$

式中 D ——导线相间几何均距, cm;

r ——导线半径, cm;

d ——相间距离, cm。

第二节 网 络 变 换

一、网络的简化

在计算短路电流时,要按照前面的方法将各元件电抗值换算到标么值后,根据系统的接线方式绘出单线的电抗图,然后进行网络归并与简化(网络变换),求出到短路故障点的总电抗值。在网络简化中,常常可以发现对短路点具有局部或全部的对称关系,利用对称关系根据以下原则,可使网络大大简化。

(1) 同电位的点,可以用线连接起来;

(2) 同电位点之间的电抗被短接后可以除去。对称网络的示例如图 1-2 所示。

图 1-2 中,如果 G_1 与 G_2 、 T_1 与 T_2 相同,计算 k_1 点短路电流时, A 点和 B 点具有相同的电位,可以直接短接 A 、 B 两点,视 X_L 为零,因此完全可以将 G_1 和 G_2 、 T_1 和 T_2 并联。

二、网络简化方法及计算公式

1. 串联电抗的等值电路

串联网络变换示意图,如图 1-3 所示。

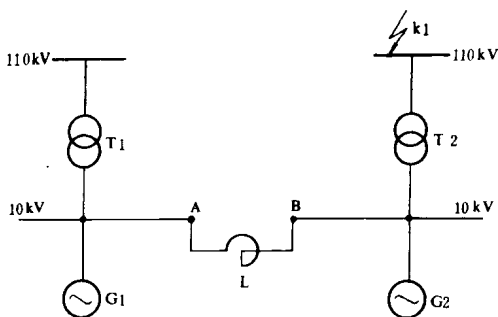


图 1-2 对称网络的示例

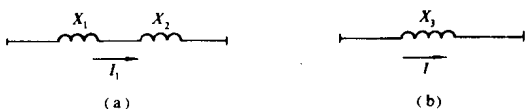


图 1-3 串联网络的变换示意图

(a) 变换前的网络；(b) 变换后的网络

变换后网络元件的电抗计算式为

$$X_3 = X_1 + X_2 \quad (1-11)$$

变换前网络中的电流分布为

$$I_1 = I \quad (1-12)$$

2. 并联电抗的等值电抗

并联网络的变换示意图，如图 1-4 所示。

变换后网络元件的电抗计算式为

$$X_3 = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_1 + X_2} \quad (1-13)$$

若支路很多时，电抗的计算式为