

电力系统电气设备选择 与实用计算

傅知兰 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

策划编辑：曹新伟 翟巧珍

责任编辑：翟巧珍

- ◆ 配电变压器修理手册
- ◆ 大型火力发电厂厂用电系统
- ◆ 电力系统继电保护及自动化产品选型手册
- ◆ 现代同步发电机励磁系统设计及应用
- ◆ 电力设备红外诊断101例
- ◆ 输变电工程项目管理手册
- ◆ 电力变压器故障分析与技术改进
- ◆ 火电厂维护消缺技术问答丛书
(锅炉分册、汽轮机分册、发电机及电气分册、热控分册)
- ◆ 火电建设工程竣工技术资料编制指南

ISBN 7-5083-2322-X



9 787508 323220 >

定价：63.00 元

电力系统电气设备选择 与实用计算

傅知兰 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是以相关国家标准、行业标准及专业性文件为依据,收集了近年来与此方向有关的中外资料,并结合作者丰富的实践经验编制而成。

本书根据电力设备的分类设章,全书共分为12章,主要包括短路电流实用计算,电气设备的选择和验算,输电线路、变电所母线参数计算与实例,封闭母线,中性点接地装置选择,补偿装置,汽轮发电机的电磁参数及温升,异步电动机的电磁参数及应用,变压器的电磁参数及故障分析,高压断路器、隔离开关的开断与关合,电力工程的绝缘配合,密封免维护铅酸蓄电池的技术数据与容量选择。每章均设有计算实例,所提供的数据和计算方法均以实用和准确为原则。

本书可供从事电力系统设计、电网调度与运行、电力设备运行与检修等专业的工程技术人员参考使用,也可作为大专院校师生的实用参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统电气设备选择与实用计算/傅知兰编. —北京:中国电力出版社,2004

ISBN 7-5083-2322-X

I.电... II.傅... III.电力系统-电气设备
IV.TM7

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第038125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>)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2004年10月第一版 2004年10月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 41.25印张 941千字

印数 0001—3000册 定价 63.00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)

前 言

受辽宁省电力科学研究院培训中心委托,于2001年编写了《电力系统电气设备实用技术与计算》培训讲义。同年9月在辽宁省电力科学研究院举办的培训班上与辽、黑两省部分电气专业人员进行了交流,普遍认为内容比较全面,并具有实用性。本书是在原讲义的基础上又做了较大篇幅的扩充和调整。

本书在编写过程中以有关国家标准、行业标准和专业性文件为指导,结合多年实践,对工作记录做了重新整理,收集了近年来与本书有关的资料,文中所提供的数据和计算方法是实用和较准确的。

全书共12章,每一章节均附有例题和计算实例。第一章给出了短路电流周期分量、非周期分量、热效应及不对称短路的实用计算公式。对某电厂一期工程和二期扩建工程的各个系统不同短路点进行了实例计算,作为电气设备选择的依据。第二章介绍了电气设备的选择原则和技术条件,给出了导体和电气设备的技术数据。从实例出发,对发电厂电气一次部分设计、安装和运行提供了详实的参考资料。第三章包括输电线路参数的计算和实例:220kV单回、双回输电线路及500kV线路参数的计算与实测结果;变电所软母线、铝管母线的参数计算方法;110kV、220kV、500kV线路雷电参数及耐雷水平的计算;并给出了流经变电所接地装置入地电流的估算方法。第四章给出了离相封闭母线验算所使用的图表和曲线,并对220MW、300MW及600MW发电机主母线进行了验算。简要介绍了共箱封闭母线的选择方法。第五章主要介绍300MW及600MW汽轮发电机选择中性点设备的计算方法,给出了国内部分大电厂的实际设备数据;对分级绝缘变压器中性点的保护方式进行了计算,并给出运行实例。第六章包括并联电容器的选择与验算;调相机选择简介;发电机改调相机的启动方式与实测结果;高压输电线路电容串联补偿;并联电抗器的限压作用;近年来电力系统大机组(300MW、600MW及800MW)进相运行的试验数据和方式。第七章给出了汽轮发电机各种参数及短路电流的计算公式,以25MW、200MW及300MW汽轮发电机进行了实例计算;给出了汽轮发电机电容参数计算经验公式和波参数实测值。在发电机事故处理和修复中各种参数运用实例。介绍了国内两台内冷发电机转子最热点的温升测量方法及数据。第八章包括电动机参数及特性的计算公式;磁性槽楔应用与拆除的计算特点与计算实例;电动机波参数的实测数据及运用。第九章主要包括不同绕组结构形式的短路电压计算;分裂绕组变压器参数变换计算及运行特点;近年来变压器重大典型事故的分析与处理。第十章介绍了高压断路器的主要性能和参数;高压断路器开断短路电流的工作状态;短路电流非周期分量对断路器运行状态的影响;高压断路器、隔离开关、合电气设备在电力系统中的实测数据。第十一章依据DL/T 620—1997《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》规定,介绍了送电线路、变电所绝缘子串及最小空气间隙的选择方

法；电气设备耐受电压选择依据；应用《惯用法》对电气设备内、外绝缘试验电压的选取做了实例计算；给出了阀型避雷器和氧化锌避雷器的技术数据。第十二章根据《GM 型密封免维护铅酸蓄电池电力工程设计手册》全面介绍 GM 型蓄电池主要技术性能、技术数据、容量选择计算及使用要求等。对 300MW、600MW 机组及 220kV 变电所的 110V 直流控制电源和 220V 直流电源选择进行了实例计算；对国内运行的不同型式的铅酸蓄电池的选择进行了比较。结合近年来电力系统汽轮机弯轴事故的发生，为便于电气专业人员配合直轴工作，附录 E 中还介绍了加热装置的主要工艺要求和设计方法。

几十年的工作中曾得到东北电力设计院孔庆东工程师，黑龙江电力设计院韩景恒工程师，原哈尔滨电机厂缪昌明工程师，沈阳变压器厂周于邦工程师，朱英浩院士，阜新封闭母线厂刘云清、张恩远工程师，清华大学郭淑英、陈昌渔老师，浙江大学王毓东老师，东北电力学院骆济寿老师、原哈尔滨工业大学解广润老师，汤蕴璆老师，导师陈维贤同志及电力系统科研单位的专家们无私指导和帮助；本书的编写得到了辽宁电力科学研究院王贵轩工程师的鼓励和支持；在编写过程中辽宁电力科学研究院高压所李伟清同志、田景林同志和王东烨同志及时提供了有用的资料，在此一并表示感谢。特别感谢几十年来配合我一起工作的工人师傅们。

在本书编写过程中，得到华北电力设计院的崔德魁、高惠民，华中科技大学电力工程系的熊信银和中国纺织工业设计院李道本等专家的大力支持和帮助，在此表示诚挚的感谢。

由于个人水平有限，不妥与错误之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2004.3



前言

第一章 短路电流实用计算 1

第一节	短路电流计算的目的, 假定条件和计算步骤.....	1
第二节	网络简化与等效.....	2
第三节	三相短路电流周期分量.....	9
第四节	三相短路电流非周期分量	11
第五节	三相短路电流的冲击电流和全电流	12
第六节	短路电流的热效应	13
第七节	不对称短路电流计算	14
第八节	异步电动机的反馈电流计算	19
第九节	三相短路电流的实例计算	19

第二章 电气设备的选择与验算 51

第一节	汽轮发电机的选择	51
第二节	变压器容量选择	56
第三节	发电厂电气主接线	69
第四节	导体和电器设备选择的一般规定	78
第五节	裸导体	83
第六节	电力电缆.....	101
第七节	高压断路器.....	105
第八节	高压隔离开关.....	115
第九节	SF ₆ 封闭式组合电器	123
第十节	高压熔断器.....	130
第十一节	限流电抗器.....	137
第十二节	电流互感器.....	142
第十三节	电压互感器.....	162
第十四节	绝缘子及穿墙套管.....	168
第十五节	设备选择及验算实例.....	172

第三章 输电线路、变电所母线参数计算与实例 204

第一节	输电线路的参数计算.....	204
-----	----------------	-----

第二节	输电线路工频参数的测量	223
第三节	输电线路计算雷电过电压使用参数	239
第四节	变电所母线参数	246
第五节	流经变电所接地装置入地短路电流的估算	252
第四章	封闭母线	257
第一节	全连式离相封闭母线	257
第二节	全连式离相封闭母线的定额值及主要技术要求	257
第三节	封闭母线校验	261
第四节	200MW、300MW及600MW发电机主封闭母线(自冷式)校验实例	267
第五节	共箱母线	280
第六节	封闭母线外壳的屏蔽作用	282
第五章	中性点接地装置的选择	285
第一节	发电机中性点接地方式及装置选择	285
第二节	厂用电系统中性点运行方式	292
第三节	分级绝缘变压器中性点的保护	296
第六章	补偿装置	302
第一节	并联电容器	302
第二节	调相机	309
第三节	发电机改作调相机运行(工频启动方式)	311
第四节	发电机改作调相机变频启动方式	320
第五节	超高压输电线路的串联电容补偿	328
第六节	并联电抗器的作用及选择	339
第七节	发电机的进相运行	350
第七章	汽轮发电机的电磁参数及温升	366
第一节	汽轮发电机的电磁参数	366
第二节	汽轮发电机转子绕组发热不均匀度的计算与实测	397
第三节	汽轮发电机转子线圈拆套运行的计算	403
第四节	发电机的电容及波阻抗	412
第八章	异步电动机的电磁参数及应用	415
第一节	异步电动机的励磁电流	415
第二节	异步电动机的参数计算	425
第三节	异步电动机的性能计算	432

第四节	磁性槽楔在高压异步电动机上的应用	433
第五节	异步电动机的波参数	451
第六节	厂用电机的启动	453
第九章	变压器的电磁参数及故障分析	460
第一节	短路电压(阻抗)计算	460
第二节	分裂绕组变压器的阻抗变换	468
第三节	分裂绕组变压器的运行特点	474
第四节	变压器的零序参数及零序等值电路	479
第五节	变压器的事故、返修与验收	494
第十章	高压断路器、隔离开关的开断与关合	503
第一节	高压断路器的主要性能和参数	503
第二节	高压断路器开断短路电流的工作状态	506
第三节	短路电流非周期分量对断路器运行状态的影响	520
第四节	隔离开关的倒闸操作	522
第五节	断路器、隔离开关切、合电气设备在电力系统中的实例	525
第十一章	电力系统的绝缘配合	553
第一节	系统中性点接地方式	553
第二节	绝缘配合的原则和方法	554
第三节	架空送电线路的绝缘配合	559
第四节	变电所绝缘子串及空气间隙的绝缘配合	562
第五节	电气设备试验电压的确定	565
第六节	试验电压的一般规定	579
第七节	避雷器	582
第十二章	密封免维护铅酸蓄电池的技术数据与容量选择	593
第一节	蓄电池的技术参数	593
第二节	放电特性及曲线	596
第三节	蓄电池组电池个数及终止电压的确定	602
第四节	容量选择计算	604
第五节	不同型式蓄电池组选择的比较	619
附录 A	发电机运算曲线数字表	626
附录 B	电气设备电容值	631
附录 C	新老线规铜线尺寸及计算截面	634

附录 D 磁性材料及使用说明	638
附录 E 汽轮机直轴加热电磁计算	645
参考文献	650

第一章

短路电流实用计算

第一节 短路电流计算的目的

假定条件和计算步骤

一、计算的目的

电力系统短路电流计算的主要目的是：

- (1) 选择导体和电器设备；
- (2) 电网接线和发电厂、变电所电气主接线的比较、选择；
- (3) 选择继电保护装置和整定计算；
- (4) 验算接地装置的接触电压和跨步电压；
- (5) 为确定送电线路对附近通信线路电磁危险的影响提供计算资料。

二、计算假定条件

短路电流实用计算中，采用以下假设条件和原则。

- (1) 正常工作时三相系统对称运行。
- (2) 所有电源的电动势相位角相同。
- (3) 系统中的同步电动机和异步电动机均为理想电动机，不考虑电动机磁饱和、磁滞、涡流及导体的集肤效应等影响；转子结构完全对称；定子绕组三相结构完全相同，空间角为 120° 。
- (4) 电力系统中各元件的磁路不饱和。
- (5) 电力系统中所有电源都在额定负荷下运行，其中 50% 负荷接在高压母线上。
- (6) 同步电动机都具有自动调整励磁装置（包括强行励磁）。
- (7) 短路发生在短路电流为最大值的瞬间。
- (8) 不考虑短路点的电弧阻抗和变压器的励磁电流。
- (9) 除计算短路电流的衰减时间常数和低压网络的短路电流外，元件的电阻均略去不计。
- (10) 元件的参数均取其额定值，不考虑参数的误差和调整范围。
- (11) 输电线路的电容略去不计。
- (12) 用概率统计法制定短路电流运算曲线。

三、一般规定

- (1) 验算导体和电器动稳定、热稳定以及电器开断电流所用的短路电流，应按本工程

设计容量计算,并考虑电力系统的远景发展规划(一般为本期工程建成后5~10年)。

确定短路电流时,应按可能发生最大短路电流的正常接线方式,而不应按仅在切换过程中可能并列运行的接线方式。

(2) 在电气连接的网络中,选择导体和电器用的短路电流,应考虑具有反馈作用的异步电动机的影响和电容补偿装置放电电流的影响。

(3) 选择导体和电器时,对不带电抗器回路的计算短路点,应选择在正常接线方式时短路电流为最大的地点。

对带电抗器的6~10kV出线与厂用分支回路,除其母线与母线隔离开关之间隔离板前的引线和套管的计算短路点应选择在电抗器前外,其余导体和电器的计算短路点一般选在电抗器后。

(4) 导体和电器的动稳定、热稳定以及电器的开断电流,一般按三相短路验算。若发电机出口的两相短路,或中性点直接接地系统及自耦变压器等回路中的单相、两相接地短路较三相短路严重时,则应按严重情况计算。

四、计算步骤

现在,电力设计部门对复杂电力系统及发电厂,变电所短路电流的计算几乎都在计算机上进行。作为单体的发电厂、供电公司企业,对设计验算、设备改造等需进行短路电流计算时,有时勿需专购短路电流计算程序,进行手算会更方便,概念更清楚。这里只介绍短路电流计算的基本数据准备、短路电流计算阻抗图绘制和计算步骤,不涉及具体的计算程序和上机操作。计算步骤如下:

- (1) 绘制相应的电力系统、发电厂、变电所接线图;
- (2) 确定与短路电流有关的运行方式;
- (3) 计算各元件的正、负及零序阻抗(电抗),系统电抗一般由上级调度部门给出;
- (4) 绘制相应的短路电流计算阻抗图;
- (5) 根据需要取不同的短路点进行短路电流计算;
- (6) 列出短路电流计算结果表。

第二节 网络简化与等效

一、网络简化

(1) 高压短路电流计算宜用标么值计算,基准容量可取 $S_b = 100\text{MVA}$ 或 $S_b = 1000\text{MVA}$;基准电压可取 $U_b = 1.05 U_N$ (U_N 为额定电压)。

(2) 对短路点的电气距离大致相等的同类型发电机可合并为一台等值发电机。

(3) 同电位的点可以短接,其间的电抗可以略去。

(4) 计算电抗可按式(1-1)计算

$$X_{\text{calc}} = X_* \frac{S_N}{S_b} \quad (1-1)$$

式中 X_{calc} ——计算电抗标么值；

X_* ——电源到短路点的合成阻抗标么值；

S_N ——电源额定容量，MVA；

S_b ——基准容量，MVA。

二、电路元件的参数计算

1. 基准值计算

高压短路电流计算一般只计及各元件（发电机、变压器、电抗器、线路等）的电抗，采用标么值计算。为了计算方便，通常取基准容量 $S_b = 100\text{MVA}$ 或 $S_b = 1000\text{MVA}$ ，基准电压 U_b 一般取用各级的平均电压，即

$$U_b = U_{\text{av}} = 1.05 U_N \quad (1-2)$$

式中 U_{av} ——平均电压；

U_N ——额定电压。

当基准容量 S_b (MVA) 与基准电压 U_b (kV) 选定后，基准电流 I_b (kA) 与基准电抗 X_b (Ω) 便已决定。

基准电流

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3} U_b} \quad (1-3)$$

基准电抗

$$X_b = \frac{U_b}{\sqrt{3} I_b} = \frac{U_b^2}{S_b} \quad (1-4)$$

常用基准值见表 1-1。

表 1-1

常用基准值 ($S_b = 100\text{MVA}$)

基准电压 U_b (kV)	3.15	6.3	10.5	15.75	18	37	63	115	162	230	345	525
基准电流 I_b (kA)	18.33	9.16	5.50	3.67	3.21	1.56	0.916	0.502	0.356	0.251	0.167	0.11
基准电抗 X_b (Ω)	0.0992	0.397	1.10	2.48	3.24	13.7	39.7	132	262	529	1190	2756

2. 各元件参数标么值的计算

电路元件的标么值为有名值与基准值之比，计算公式见式 (1-5) ~ 式 (1-8)

$$U_* = \frac{U}{U_b} \quad (1-5)$$

$$S_* = \frac{S}{S_b} \quad (1-6)$$

$$I_* = \frac{I}{I_b} = I \frac{\sqrt{3} U_b}{S_b} \quad (1-7)$$

$$X_* = \frac{X}{X_b} = X \frac{S_b}{U_b^2} \quad (1-8)$$

采用标么值后, 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, 某些物理量还可以用标么值相等的另一些物理量来代替, 如 $I_* = S_*$ 。

电抗标么值和有名值的变换公式见表 1-2。

表 1-2 电抗标么值和有名值的变换公式

序号	元件名称	标 么 值	有名值 (Ω)	备 注
1	发电机 调相机 电动机	$X_{d*} = \frac{X_d\%}{100} \times \frac{S_b}{P_N/\cos\varphi}$	$X_d = \frac{X_d\%}{100} \times \frac{U_b^2}{P_N/\cos\varphi}$	$X_d\%$ 为电机次暂态电抗百分值; P_N 系指电机额定容量, 单位为 MW
2	变压器	$X_{d*} = \frac{U_k\%}{100} \times \frac{S_b}{S_N}$	$X_d = \frac{U_k\%}{100} \times \frac{U_N^2}{S_N}$	$U_k\%$ 为变压器短路电压的百分值; S_N 系指最大容量绕组的额定容量, 单位为 MVA
3	电抗器	$X_{L*} = \frac{X_L\%}{100} \times \frac{U_N}{\sqrt{3}I_N} \times \frac{S_b}{U_b^2}$	$X_L = \frac{X_L\%}{100} \times \frac{U_N}{\sqrt{3}I_N}$	$X_L\%$ 为电抗器的百分电抗值, 分裂电抗器的自感电抗计算方法与此相同; I_N 单位为 kA
4	线路	$X_* = X \frac{S_b}{U_b^2}$	$X = 0.145lg \frac{D}{0.789r}$ $D = \sqrt[3]{d_{ab}d_{ac}d_{cb}}$	r 为导线半径 (cm); D 为导线相间的几何均距 (cm); d 为相间距离

注 U_b 和 U_N 实际为设备本身电压, 单位为 kV。

从某一基值容量 S_{1b} 的标么值换算到另一基值容量 S_{2b} 的标么值

$$X_{*2} = X_{*1} \frac{S_{2b}}{S_{1b}} \quad (1-9)$$

从某一基值电压 U_{1b} 的标么值换算到另一基值电压 U_{2b} 的标么值

$$X_{*2} = X_{*1} \frac{U_{1b}^2}{U_{2b}^2} \quad (1-10)$$

从已知系统短路容量 S_k'' , 求该系统的组合电抗标么值

$$X_* = \frac{S_b}{S_k''} \quad (1-11)$$

各类元件的电抗平均值见表 1-3。

表 1-3 各类元件的电抗平均值

序号	元 件 名 称		电 抗 平 均 值			备 注
			X''_d 或 X_1 (%)	X_2 (%)	X_0 (%)	
1	无阻尼绕组的水轮发电机		29.0	45.0	11.0	国产机
2	有阻尼绕组的水轮发电机		21.0	21.5	9.5	
3	容量为 50MW 及以下的汽轮发电机		14.5	17.5	7.5	
4	100MW 及 125MW 的汽轮发电机		17.5	21.0	8.0	
5	200MW 的汽轮发电机		14.5	17.5	8.5	
6	300MW 的汽轮发电机		17.2	19.8	8.4	
7	同步调相机		16.0	16.5	8.5	
8	同步电动机		15.0	16.0	8.0	
9	异步电动机		20.0			
10	6~10kV 三芯电缆		$X_1 = X_2 = 0.08\Omega/\text{km}$		$X_0 = 0.35X_1$	
11	20kV 三芯电缆		$X_1 = X_2 = 0.11\Omega/\text{km}$		$X_0 = 0.35X_1$	
12	35kV 三芯电缆		$X_1 = X_2 = 0.12\Omega/\text{km}$		$X_0 = 3.5X_1$	
13	110kV 和 220kV 单芯电缆		$X_1 = X_2 = 0.18\Omega/\text{km}$		$X_0 = (0.8 \sim 1.0)X_1$	
14	无避雷线的架空输电线路	单回路	单导线	$X_1 = X_2 = 0.4\Omega/\text{km}$	$X_0 = 3.5X_1$	系每回路值
15		双回路			$X_0 = 5.5X_1$	
16	有钢质避雷线的架空输电线路	单回路	双分裂导线	$X_1 = X_2 = 0.31\Omega/\text{km}$	$X_0 = 3X_1$	系每回路值
17		双回路			$X_0 = 4.7X_1$	
18	有良导体避雷线的架空输电线路	单回路	四分裂导线	$X_1 = X_2 = 0.29\Omega/\text{km}$	$X_0 = 2X_1$	系每回路值
19		双回路			$X_0 = 3X_1$	

注 X_1 —正序电抗； X_2 —负序电抗； X_0 —零序电抗。

3. 变压器及电抗器的等值电抗计算

三绕组变压器、自耦变压器、分裂变压器及分裂电抗器的等值电抗计算公式见表 1-4。

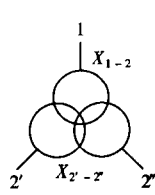
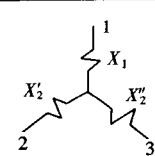
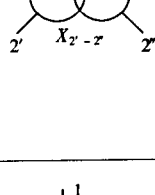
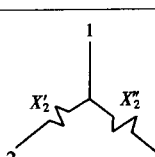
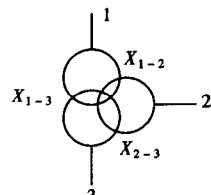
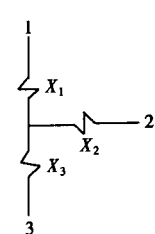
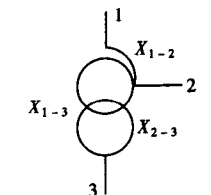
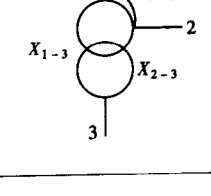
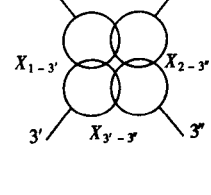
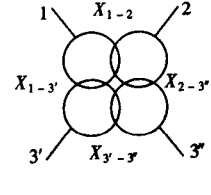
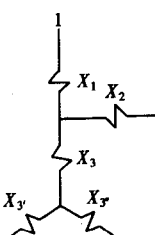
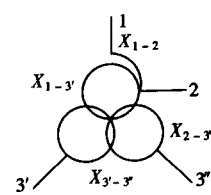
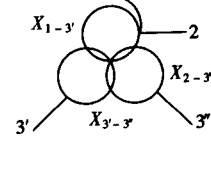
三绕组变压器的容量组合有 100/100/100、100/100/50 及 100/50/100 三种方案，自耦变压器也有后两种组合方案。通常，制造单位提供的三绕组变压器的电抗已经归算到以额定容量为基准的数值。但对于自耦变压器有时却未归算，在使用时应予注意。如果制造单位提供的是未经归算的数值，则其高低、中低绕组的电抗应乘以自耦变压器额定容量对低压绕组容量的比值。

普通电抗器的电抗由每相的自感决定，等值电路用自身的电抗表示。由于电抗器的绕组间的互感很小，可看作 $X_0 = X_1 = X_2$ 。分裂电抗器是在绕组中部有一个抽头，将绕组分成匝数相等的两部分。由于电磁交链，将使分裂电抗器在不同的工作状态下呈现不同的电抗值，计算时应根据运行方式和短路点的位置，选择计算公式。

4. 网络变换基本公式

网络变换的基本公式见表 1-5，更为复杂的网络变换可参考有关手册。

表 1-4 三绕组变压器、自耦变压器、分裂绕组变压器及分裂电抗器的等值电抗计算公式

名称	接线图	等值电抗	等值电抗计算公式	符号说明
双绕组变压器			低压绕组分裂 $X_1 = X_{1-2} - \frac{1}{4} X_{2'-2''}$ $X_2' = X_2'' = \frac{1}{2} X_{2'-2''}$	X_{1-2} —高压绕组与总的低压绕组间的穿越电抗; $X_{2'-2''}$ —分裂绕组间的分裂电抗
			普通单相变压器低压两个绕组分别引出使用 $X_1 = 0$ $X_2' = X_2'' = 2X_{1-2}$	
三绕组变压器			$X_1 = \frac{1}{2} (X_{1-2} + X_{1-3} - X_{2-3})$ $X_2 = \frac{1}{2} (X_{1-2} + X_{2-3} - X_{1-3})$ $X_3 = \frac{1}{2} (X_{1-3} + X_{2-3} - X_{1-2})$	
				
自耦变压器				
				
三绕组变压器			$X_1 = \frac{1}{2} (X_{1-2} + X_{1-3'} - X_{2-3'})$ $X_2 = \frac{1}{2} (X_{1-2} + X_{2-3'} - X_{1-3'})$ $X_3 = \frac{1}{2} (X_{1-3'} + X_{2-3'} - X_{1-2} - X_{3'-3''})$ $X_3' = X_3'' = \frac{1}{2} X_{3'-3''}$	X_{1-2} —高中压绕组间的穿越电抗; $X_{3'-3''}$ —分裂绕组间的分裂电抗; $X_{1-3'}$ = $X_{1-3''}$ —高压绕组与分裂绕组间的半穿越电抗; $X_{2-3'}$ = $X_{2-3''}$ —中压绕组与分裂绕组间的半穿越电抗
				
自耦变压器				
				

续表

名称	接线图	等值电抗	等值电抗计算公式	符号说明
仅由一臂供给电流			$X = 2X_L(1 + f_0)$	X_L —其中 一个分支的电 抗 f_0 —互感系 数, 在 0.4 ~ 0.6 之间取值 X_3 —互感电 抗
分裂电抗器 由中间向两臂供给电流或由两臂向中间供给电流			$X_1 = X_2 = X_L(1 - f_0)$ (两臂电流相等)	
由中间和一臂同时供给电流			$X_1 = X_2 = X_L(1 + f_0)$ $X_3 = -X_L f_0$	

表 1-5

网络变换基本方法的公式

序号	变换名称	变换符号	变换前的网络	变换后的网络	变换后网络元件的阻抗
1	串联	+			$X_* = X_1 + X_2 + \dots + X_n$
2	并联	//			$X_* = \frac{1}{\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \dots + \frac{1}{X_n}}$ 当只有两支时 $X_* = \frac{X_1 X_2}{X_1 + X_2}$
3	三角形变成等值星形	Δ/Y			$X_L = \frac{X_{LM} X_{NL}}{X_{LM} + X_{MN} + X_{NL}}$ $X_M = \frac{X_{LM} X_{MN}}{X_{LM} + X_{MN} + X_{NL}}$ $X_N = \frac{X_{MN} X_{NL}}{X_{LM} + X_{MN} + X_{NL}}$