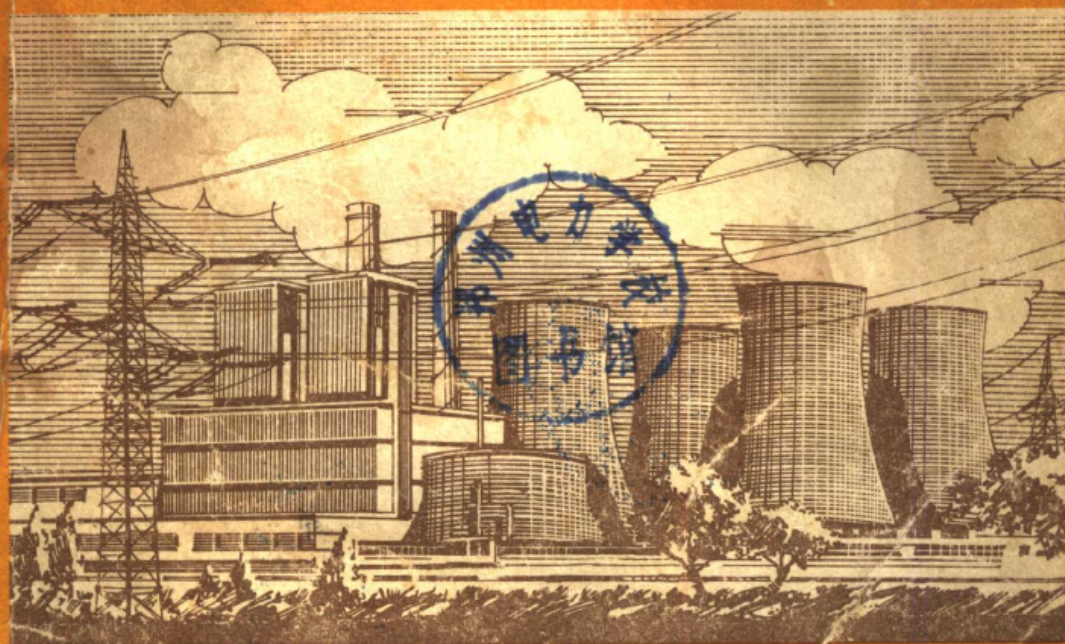


试用教材

# 电力系统 故障分析和计算

蔡元宇编



沈阳电力专科学校

电力系统故障分析与计算

蔡元宇 编

沈阳电力专科学校

一九八八年三月

83022

沈文出登字第348号

2.30元

## 前 言

本书是根据原水利电力部中等专业学校继电保护和自动装置专业的教学大纲编写的。全书内容包括电力系统故障分析的基本知识，对称故障的分析和计算，横向、纵向不对称故障的分析和计算，中性点不接地系统接地故障分析，电力系统短路故障的计算机算法，并附有电力系统短路电流计算程序，可供学生毕业设计或工程计算使用。

在编写中，力求深入浅出、突出重点，概念清楚明确、便于阅读。为了巩固和加深所学的知识，书后附有习题及答案。

本教材的习题部分由马大庆同志编写，全书插图由方红同志绘制，编者在此表示感谢。

本书由沈阳电力专科学校李俊年同志主审，对全书提出了详细的修改意见，编者对此表示感谢。

由于编者水平有限，时间仓促，书中错误和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

# 目 录

结 论	1
第一章 故障分析的基本知识	2
第一节 电力系统的短路故障	2
一、短路的定义及其种类	2
二、产生短路的原因	2
三、短路对设备及系统的危害	2
四、短路计算的任务和若干简化假设	3
第二节 标么制	4
一、标么值	4
二、基准值的选取	5
第三节 电力系统中各元件的电抗	6
一、同步电机	6
二、电力变压器	7
三、电抗器	8
四、架空线和电缆线	8
第四节 标么值的换算	8
一、不同基准值的标么值间的换算	8
二、平均额定电压	9
三、变压器联系的网络各元件参数标么值计算	10
四、由标么值转换为有名值	12
第五节 短路电流计算的步骤	12
一、计算电路图	13
二、等值电路图	13
三、短路回路总电抗的决定	14
第六节 无限大容量电力系统供电的电路内三相短路	17
一、无限大容量电力系统的概念	17
二、短路电流变化过程	18
三、短路冲击电流	19
四、最大有效值电流	20

五、母线残余电压	20
六、短路容量	21
第二章 对称故障的分析和计算	28
第一节 同步发电机的等值电路	23
一、用电势 $E_q$ 和电势 $E'_q$ 表示的等值电路	28
二、用电势 $E'$ 表示的同步电机等值电路	29
三、用电势 $E''$ 表示的同步电机等值电路	30
第二节 发电机供电电路内三相短路	31
一、短路电流曲线	31
二、次暂态短路电流的计算	33
三、异步电动机对短路电流的影响	35
第三节 应用运算曲线求任意时刻短路电流的周期分量	38
一、运算曲线的概念	38
二、应用运算曲线计算短路电流的方法	39
第四节 短路电流的近似计算	46
一、已知电力系统的某些数据时的计算	46
二、将系统看作是无大容量系统时的计算	46
第三章 对称分量法及电力系统各元件的序阻抗和等值电路	57
第一节 对称分量法	57
一、不对称的三相量分解为对称分量	57
二、对称三相电路中各序对称分量的独立性	59
第二节 对称分量法在不对称故障计算中的应用	59
第三节 电力系统元件的序阻抗	63
一、同步电机；二、变压器	64
三、电抗器；四、架空线路	66
五、电缆；六、负荷	66
第四节 电力系统各序网络图的制订	67
一、正序网络图；二、负序网络图	67
三、零序网络图	67
第四章 横向不对称故障的分析计算	72
第一节 单相接地短路	72
一、故障点电流电压计算	72
二、故障点电流电压相量图	74
三、经过过渡阻抗 $Z_f$ 的单相接地短路	74

第二节 两相短路.....	78
一、故障点电流电压计算.....	78
二、故障点电流电压相量图.....	79
三、经过过渡阻抗 $Z_f$ 的两相短路.....	80
第三节 两相接地短路.....	81
一、故障点电流电压计算.....	81
二、故障点电流电压相量图.....	82
三、两相短路经过阻抗 $Z_f$ 接地.....	82
第四节 计算不对称短路的正序等效定则.....	85
第五节 应用运算曲线求故障点正序短路电流.....	87
第六节 不对称故障时电网中电流、电压分布.....	90
一、电流分布计算.....	90
二、各序电压分量分布计算.....	91
三、三相不对称电压沿线分布规律.....	94
四、考虑电网电阻时的电压电流相量图.....	96
第七节 变压器两侧电压电流对称分量的相位关系.....	98
一、电压电流对称分量经变压器的变换.....	98
二、变压器某侧发生不对称短路时 两侧电压电流相量图.....	100
第八节 中性点不接地系统的单相接地故障.....	105
一、中性点不接地系统的正常运行情况.....	105
二、发生单相接地故障时的情况.....	106
三、多条线路电网单相接地时的电流分布.....	107
四、发电机定子绕组单相接地时的电流分布.....	109
第九节 中性点经消弧线圆接地系统的接地故障.....	110
一、消弧线圆的工作原理.....	110
二、消弧线圆接地电网中单相接地时的电流分布.....	112
第十节 纵向不对称故障的分析计算.....	117
第一节 概述.....	117
第二节 单相断线.....	118

<b>第三节 两相断线</b> .....	121
<b>第六章 电力系统短路故障的计算机算法</b> .....	126
<b>第一节 节点导纳矩阵</b> .....	126
一、节点导纳矩阵的形成方法.....	126
二、节点导纳矩阵的特点.....	127
三、节点导纳矩阵的修改.....	129
<b>第二节 节点阻抗矩阵</b> .....	130
一、什么叫节点阻抗矩阵.....	130
二、节点阻抗矩阵元素的物理意义.....	131
三、从节点导纳矩阵求节点阻抗矩阵.....	132
<b>第三节 解线性方程组的高斯消去法</b> .....	133
一、三阶线性方程组的求解过程.....	134
二、解 $n$ 阶线性方程组的计算公式.....	137
三、解线性方程组的高斯消去法程序.....	138
<b>第四节 解线性方程组的因子表法</b> .....	139
一、三阶线性方程组的因子表解法.....	139
二、 $n$ 阶线性方程组因子表解法的计算公式.....	144
三、线性方程组因子表解法的程序.....	144
<b>第五节 对称短路计算</b> .....	147
一、应用迭加原理推导计算公式.....	147
二、用稀疏阻抗矩阵法求自阻抗和互阻抗.....	148
<b>第六节 不对称短路计算</b> .....	149
<b>第七节 稳态短路电流计算</b> .....	157
<b>第八节 电力系统短路电流计算程序</b> .....	157
一、节点导纳矩阵及其因子表的存贮.....	157
二、电力系统等值网络节点编号的优化.....	159
三、原始数据准备.....	159
四、程序框图及计算步骤.....	161



附录一 短路电流周期分量运算曲线数字表.....	167
附录二 电力系统短路电流计算用程序.....	171
习题答案 .....	189

## 绪 论

电力系统是由发电机、变压器、输电线路和负荷等元件组成的网络。发电厂的发电机生产电能，变压器、电力线路输送、分配电能，各种用电设备消费电能。正常运行时，发电机输出的功率与用电设备所吸取的功率相平衡，电力系统的频率和电压都是稳定的。这种运行状态称为稳态。严格地说，这时的功率、电流、电压、频率也并不是常量，而是持续地变化，但由于变化很小，实际上可以认为是常量。

在电力系统运行过程中，常常受到各种突然的扰动，这些扰动使电力系统处于暂态过程之中，这时功率、电流、电压、频率会发生较大的变化，严重时可能会造成对系统的危害。例如短路故障引起较正常电流大得多的短路电流，可能使设备过热或受力而损坏，短路故障改变了网络结构，因而改变了各发电机的输出功率，造成各发电机组输入功率和输出功率不平衡，有可能引起发电机组互相失去同步；由于雷击或断路器操作引起的过电压可能危及设备的绝缘等等。因此，必须对电力系统的各种暂态过程进行分析研究，以确保电力系统安全运行。

电力系统暂态过程通常可以分为电磁暂态和机电暂态来研究。在暂态过程刚开始的一段时间内，系统中的发电机以及其他转动机械的转速由于惯性作用还来不及变化，暂态过程主要地决定于各元件的电磁参数，这一阶段称为电磁暂态。随着暂态过程的发展，转速已有了变化，于是暂态过程的情况将不仅与电磁参数有关，而且还和转动机械的机械参数（转速、角位移）有关，这种牵涉角位移的暂态过程，我们称它为机电暂态过程。

本课程主要研究电力系统中由于故障所引起的电磁暂态过程。研究电磁暂态过程的重点在于分析计算短路故障后网络中电流、电压的变化，这时不计发电机组间角位移的变化（即各发电机组转速不变）。机电暂态过程将在电力工程课中研究。至于有关雷电及操作引起的暂态过电压，由高压工程有关书籍讨论。

## 第一章 故障分析的基本知识

### 第一节 电力系统的短路故障

电力系统可能发生的故障类型比较多，常见的，对电力系统危害比较严重的有：短路、断相以及有载分闸故障等。由于短路故障是电力系统中危害最严重的故障，所以本书将选择短路故障作为重点来分析。

#### 一、短路的定义及其种类

所谓短路，是指电力系统正常运行情况以外的相与相之间或相与地之间（或中性线）之间的连接。在正常运行时，除中性点外，相与相或相与地之间是绝缘的。

在三相系统中，可能发生的短路有：三相短路、两相短路、单相接地短路和两相接地短路。三相短路也称为对称短路，系统各相与正常运行时一样仍处于对称状态。其他类型的短路都是不对称短路。

电力系统运行经验表明，在各种类型的短路中，单相短路占大多数，两相短路较少，三相短路的机会最少。三相短路虽然很少发生，但情况较严重，应给以足够的重视。况且，从短路计算方法来看，一切不对称短路的计算，在采用对称分量法后，都归结为对称短路的计算。因此，对三相短路的研究是有其重要意义的。

#### 二、产生短路的原因

产生短路的主要原因是电气设备载流部分的绝缘损坏。引起绝缘损坏的原因有：各种形式的过电压（例如遭到雷击），绝缘材料的自然老化、脏污、直接的机械损伤等。绝缘的破坏在大多数情况下是由于没有及时发现和消除设备中的缺陷，以及设计、安装和运行维护不良所致。运行人员带负荷拉刀闸，或者线路检修后未拆除地线就送电等误操作，也会引起短路故障。此外，鸟兽跨越在裸露的载流部分以及风、雪、雹、雾等自然现象所造成的短路也是屡见不鲜的。总之，产生短路的原因有客观的，也有主观的，只要运行人员加强责任心，严格按规章制度办事，就可以把短路故障的发生控制在一个很低的限度内。

#### 三、短路对设备及系统的危害

随着短路类型、发生地点和持续时间的不同，短路的后果可能只破坏局部地区的正常供电，也可能威胁整个系统的安全运行。短路的危险后果一般有以下几个方面：

① 短路故障使故障点附近的支路中出现比正常值大许多倍的电流，由于短路电流的电动力效应，导体间将产生很大的机械应力，致使导体和它们的支架、绝缘子变形或损坏。

② 短路电流通过设备使发热增加，短路持续时间较长时，设备或其绝缘可能过热以致损坏。

③ 短路还会引起网络中电压降低，特别是靠近故障点处电压下降得最多，结果可能使部分用户的供电受到破坏。图 1-1 示出简单供电网络在正常运行时（折线 1）和 K 点发生三相短路时（折线 2）各点电压变化的情况。K 点三相短路时，K 点电压降至零。由于变压器和线路 L-1、L-2 流过很大的短路电流，造成很大的电压降，致使配电所的母线电压下降很多，使由配电所供电的用电设备不能正常工作。

④ 当短路发生地点离电源不远而持续时间又较长时，并列运行的发电厂可能失去同步，破坏系统稳定，造成大片地区停电。这是短路故障的最严重后果。

⑤ 发生不对称短路时，不平衡电流产生不平衡磁通，会在邻近的平行的通讯线路内感应出相当大的电势，造成对通讯的干扰。

为了保证电气设备安全而可靠的运行，减轻短路故障的影响，除应努力设法消除可能引起短路的一切原因外，还应尽快地切除短路故障部分，使系统电压在较短时间内恢复到正常值。为此，可采用快速动作的继电保护和断路器，发电厂装设自动励磁调整器等。另外，还可采用限制短路电流的措施，如安装电抗器等。

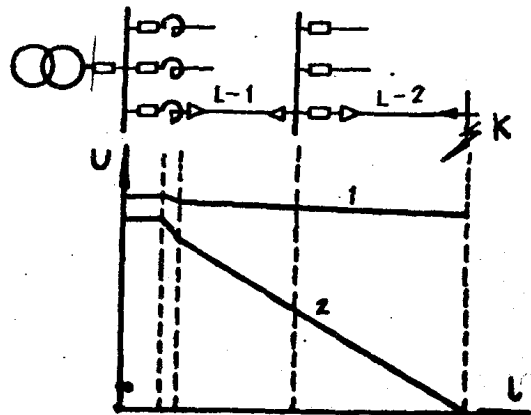


图 1-1 正常运行和短路故障时  
电网各点电压的变动

#### 四、短路计算的任务和若干简化假设

在电力系统和电气设备的设计和运行中，短路计算是解决一系列技术问题所不可缺少的基本计算。例如：选择合理的电气接线图；选用有足够热稳定性和机械强度的电气设备及载流导体；确定限制短路电流的措施；在电力系统中合理地配置各种继电保护装置并整定其参数等等。因此，掌握短路发生以后的物理过程以及短路时电流、电压的计算方法是非常必要的。

在实际工作中，根据一定的任务进行短路计算时，必须首先确定计算条件。所谓计算条件，一般包括：短路发生时系统的运行方式，短路的类型和发生地点，以及短路后所采取的措施等。从短路计算的角度来看，系统运行方式指的是系统中投入运行的发电、

变电、输电、用电的设备的多少以及它们之间相互联系的情况。计算不对称短路时，还应包括中性点的运行状态。对于不同的计算目的，所采用的计算条件是不同的。

在短路的实际计算中，为了简化计算，常采取以下一些简化假设：

① 发电机无摇摆现象。这种假设主要是考虑到在短路瞬间，电磁过程要比引起发电机摇摆的机电过程快得多。为了使计算简化，作了这种假设，并认为发电机间的初相角相等。假设各发电机的电势同相位。

② 负荷只作近似估计。在电力系统的负荷中，异步电动机往往占很大的比重，它的等值阻抗会随转速变化。为了使计算简化，假设系统内所有负荷均可用恒定阻抗代替而忽略不计。

③ 不计发电机、变压器等元件磁路饱和。此种假设使分析和计算大为简化，系统各元件的参数都是恒定的，并且在分析过程中可以应用迭加原理。

④ 三相系统对称。除了短路故障本身破坏了系统的对称外（如不对称短路），电力系统其他部分可当作是对称的。

⑤ 忽略高压输电线的电阻和电导，忽略变压器的电阻和励磁电流。这就是说，发电、输电、变电和用电的元件均可用纯电抗表示。加上所有发电机电势都同相位的条件，这就避免了复数运算。

⑥ 金属性短路。短路处往往存在一定的电阻，如外物电阻、电弧电阻、接地电阻等，这种电阻称为过渡电阻。所谓金属性短路，就是不计过渡电阻的影响，认为过渡电阻等于零的理想情况。在一般情况下，这是允许的，只有在某些继电保护计算时，才需要考虑它的影响。

必须指出，这些假设都是相对的、有条件的，在一种场合不大起作用的因素，在另一种情况下则可能显示更大的甚至是决定性的影响。例如在低压系统中，可以不考虑参数的分布性，但在分析超高压远距离输电线路的暂态过程时，电气参数的分布性常常需要考虑，否则在分析某些继电保护装置的動作行为时就可能得出错误的结论。因此，采取任一假设时，都不可忘记它适用的合理范围。

电力系统的短路故障有时也称为横向故障，因为它是相对相或相对地的故障。前面提到的断相故障也称为纵向故障，例如一相或两相断相，使系统发生非全相运行。它们的分析方法和不对称短路的分析方法是类似的，以后也要介绍。在电力系统中的不同地点（两处以上）同时发生故障的情况，称为复故障，本书不作介绍。

## 第二节 标么制

在电工计算中，一般采用有名单位制，例如电流用安培做单位，电压用伏特做单位等等。而在电力系统故障的计算中，除了少数情况采用有名制外，一般都采用标么制进行计算，使运算步骤简化，所以我们先讨论一下标么制。

### 一、标么值

所谓标么制，和百分制一样也是一种相对单位制，其一般数学表达式为：

$$\text{标么值} = \frac{\text{实际有名值 (任意单位)}}{\text{基准值 (与实际有名值同单位)}} \quad (1-1)$$

对于任一物理量均可以标么值表示。例如发电机的电压  $U_G = 10.5\text{KV}$ ，若选定电压的基准值  $U_B = 10\text{KV}$ ，则发电机电压的标么值为：

$$U_{G\bullet} = \frac{10.5}{10} = 1.05$$

式中  $U_{G\bullet}$  的下标  $\bullet$  表示标么值。

标么值的基准值一般来说是可以任选的，所以，当我们说一个物理量的标么值时，必须同时说明它是以什么量作为基准值的，否则只说一个标么值就没有什么意义了。

知道了标么值和它相对应的基准值后，当然也很容易求得实际值：

$$\text{实际有名值} = \text{标么值} \times \text{基准值} \quad (1-2)$$

其单位与基准值相同。工程上一般都习惯于把额定值选为该物理量的基准值。这样，如果该物理量处于额定（标准）状态下，其标么值为 1.0（么）。标么值的名称即由此而来，以额定值为基准值得出的标么值，称为额定标么值。

标么值同百分值的关系是：百分值除以 100 即得同样基准值表示的标么值，即

$$\text{标么值} = \text{百分值} / 100 \quad (1-3)$$

## 二、基准值的选取

前面说过，基准值的选取是任意的。但是，采用标么值的目的是为了简化计算和便于对计算结果作出分析评价，因此，选取基准值应尽可能实现这些目的。

在单相电路中，电压  $U$ 、电流  $I$ 、视在功率  $S$  和阻抗  $Z$  这四个物理量之间存在下列关系：

$$U = Z I \quad S = U I \quad (1-4)$$

选定上述各量的基准值，它们与有名值具有相同的关式：

$$U_B = Z_B I_B \quad S_B = U_B I_B \quad (1-5)$$

用有名值除以基准值的对应项，可得：

$$U_{\bullet} = Z_{\bullet} I_{\bullet} \quad S_{\bullet} = U_{\bullet} I_{\bullet} \quad (1-6)$$

上式可见，在标么制中电路各物理量之间的基本关系式与有名制中的完全相同。因而有各单位制中的有关公式就可以直接应用到标么制中。

在对称的三相电路中，我们可以取一相来计算，其方法和上述的单相电路一样。也可将三相电路看作等效 Y 接法，采用线电压  $U$ 、线电流  $I$ 、三相视在功率  $S$  和一相等值阻抗  $Z$  进行计算。在物理量之间存在下列关系：

$$S = \sqrt{3} Z I \quad S = \sqrt{3} U I \quad (1-7)$$

选定上述各量的基准值，使它们与有名值具有相同的关式：

$$U_B = \sqrt{3} Z_B I_B \quad S_B = \sqrt{3} U_B I_B \quad (1-8)$$

将式(1-7)除以式(1-8)中的对应项, 可得:

$$U_\bullet = Z_\bullet I_\bullet \quad S_\bullet = U_\bullet I_\bullet \quad (1-9)$$

由此可见, 在标么制中, 三相电路的计算公式与单相电路的完全相同。线电压标么值与相电压标么值相等, 三相功率标么值与单相功率标么值相等。这样就简化了公式, 给计算带来了方便。值得注意的是, 两种情况下的基准值并不相同。

式(1-8)表示的式子中有四个基准值, 可以任选两个, 一般先选定电压和功率的基准值, 则电流和阻抗的基准值分别为:

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} U_B} \text{ KA} \quad (1-10)$$

$$Z_B = \frac{U_B}{\sqrt{3} I_B} = \frac{U_B^2}{S_B} \Omega \quad (1-11)$$

式中  $S_B$  单位为 MVA,  $U_B$  单位为 KV。

当选定电压、电流、功率和阻抗的基准值后, 相应的标么值如下:

$$\left. \begin{aligned} U_\bullet &= \frac{U}{U_B} \\ I_\bullet &= \frac{I}{I_B} = \frac{\sqrt{3} U_B I}{S_B} \\ S_\bullet &= \frac{S}{S_B} = \frac{P + jQ}{S_B} \\ Z_\bullet &= \frac{Z}{Z_B} = \frac{R + jX}{Z_B} = R \frac{S_B}{U_B^2} + jX \frac{S_B}{U_B^2} \end{aligned} \right\} (1-12)$$

式中线电压单位为 KV, 线电流单位为 KA, 三相视在、有功、无功功率单位为 MVA、MW、MVar, 阻抗、电阻、电抗单位均为  $\Omega$ 。

### 第三节 电力系统中各元件的电抗

计算短路故障时, 必须知道电力系统中各元件的电抗值, 在 1000 伏以上高压装置的计算中一般只考虑各主要元件, 如: 同步电机、电力变压器、电抗器、架空线及电缆线的电抗。配电装置中的母线、长度较小的连接导线及断路器、电流互感器等的阻抗, 由于对短路计算的影响很小, 不予考虑。

#### 一、同步电机

在三相短路电流的实用计算中，一般只需知道同步电机在短路起始瞬间的电抗，即纵轴次暂态电抗  $X_d''$ 。产品目录中给出同步电机的额定电压  $U_N$ 、额定容量  $S_N$  和纵轴次暂态电抗的额定标么值  $X_d''$ 。在数据不全的情况下作近似计算时，可采用表 1-1 所列的平均值：

表 1-1

类 型	$X_d''$
汽轮发电机	0.125
水轮发电机	0.2
同步补偿机	0.2
同步电动机	0.2

## 二、电力变压器

产品目录中给出了变压器的额定电压  $U_N$ 、额定容量  $S_N$  和短路电压百分值  $U_k\%$ 。

双绕组变压器短路电压百分值等于变压器在额定负载电流时的电压降对其额定电压比值的百分数，变压器电抗的额定标么值等于短路电压百分值除以 100，即：

$$X_T = U_k\% / 100$$

三绕组变压器各绕组间短路电压的百分值分别用  $U_{KI-I}\%$ 、 $U_{KI-II}\%$  和  $U_{KI-III}\%$  表示。

$I$ 、 $II$  和  $III$  分别表示高压、中压和低压。必须注意，这些百分值都是对变压器额定容量而言的。三绕组变压器的等值电路如图 1-2 所示。

等值电抗  $X_I$ 、 $X_{II}$  和  $X_{III}$  的标么值为：

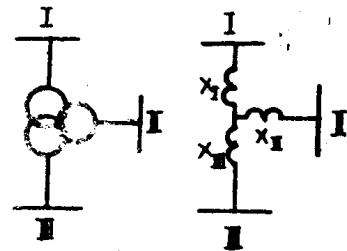


图 1-2 三绕组变压器和其等值电路

$$\left. \begin{aligned} X_I &= \frac{1}{200} (U_{KI-II}\% + U_{KI-III}\% - U_{KI-I}\%) \\ X_{II} &= \frac{1}{200} (U_{KI-I}\% + U_{KI-III}\% - U_{KI-II}\%) \\ X_{III} &= \frac{1}{200} (U_{KI-I}\% + U_{KI-II}\% - U_{KI-III}\%) \end{aligned} \right\} \quad (1-13)$$

三绕组变压器的三个绕组的额定电压通常是不同的，用以联接三个不同电压等级的系统。有一种称为分裂低压绕组的变压器，它也是一种三绕组变压器。 $I$  为高压绕组， $II$  和  $III$  为两组相同的低压绕组（容量较小），运行时分别接到两台相同容量的发电机。用一个实例来说明，当  $U_{KI-II}\% = U_{KI-III}\% = 13.5$ ， $U_{KI-I}\% = 20$ ，则由式

(1-13)：



$$X_{I_0} = \frac{1}{200} (13.5 + 13.5 - 20) = 0.035$$

$$X_{II_0} = X_{III_0} = \frac{1}{200} (13.5 + 20 - 13.5) = 0.1$$

正常运行时，绕组 I、II 相当于并联运行，与高压绕组 I 一起，穿越电抗只有  $0.035 + 0.1/2 = 0.085$ 。而绕组 I—I、I—II 及 I—III 之间的电抗均较大，可限制 I 或 II 侧母线发生短路时的故障电流。

### 三、电抗器

电抗器在电力系统中用来限制短路电流，一般给出 额定电压  $U_N$ 、额定电流  $I_N$  和电抗百分值  $X_R\%$  等参数，其电抗百分值定义为  $X_R\% = \frac{\sqrt{3} I_N X_R}{U_N} \times 100$

电抗标么值为电抗百分值除以 100。

### 四、架空线和电缆线

在实用计算中，架空线和电缆线路每公里的电抗值，可采用表 1—2 所示的平均数。

表 1—2

线路种类	电抗 ( $\Omega/Km$ )
6~220KV 架空线	0.4
1000V 以下架空线	0.3
35KV 电缆线路	0.12
3~10KV 电缆线路	0.07 ~ 0.08
1000V 以下电缆线路	0.06 ~ 0.07

### 第四节 标么值的换算

#### 一、不同基准值的标么值间的换算

在电力系统的实际计算中，对于直接电气联系的网络，各元件的参数必须按统一的基准值换算。如上节所述，从手册或产品目录中查得的电机和电器的阻抗值，一般都是以各自的额定值为基准的额定标么值。由于各元件的额定值不尽相同，因此，必须把它们换算成统一基准值的标么值。

进行换算时，先把额定标么阻抗还原为有名值，再计算其统一基准值时的标么值。

对于发电机和变压器，额定标么电抗  $X_{(N)}$  的基准值已知为  $U_N^2 / S_N$ ，按式 (1—

2) 有：