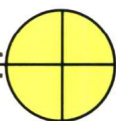


短路电流



实用计算

李瑞荣 编著

3



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

短路电流



李瑞荣 编著

实用
计算



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是为满足电力安全生产需要,提高供用电人员技术素质,从供用电单位生产实际需求和工人实际水平出发编写的。

本书的主要内容是短路电流计算的方法、步骤及其在工程计算中的应用,其中包括:对称短路电流的计算和不对称短路电流的计算的方法;断线的简单计算;短路电流计算在工程设计、设备选择、继电保护装置整定计算中的应用。书中还介绍了低压设备的短路电流实用计算方法及低压设备的选择等内容。全书例举了大量的计算实例,力求做到紧密结合生产实际,各章节文字简练,通俗易懂。

本书既适用于具有较高文化程度的专业技术人员,也适用于工矿企业电工及农村电工,对现场工程施工人员也具有一定参考价值;既可供电力系统电气运行及继电保护工作人员使用,也可作为中等专业学校及技工学校教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

短路电流实用计算/李瑞荣编著. -北京:中国电力出版社, 2003

ISBN 7-5083-1220-1

I. 短… II. 李… III. 短路电流计算 IV. TM152

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 064619 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>)

北京通天印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2003 年 4 月第一版 2003 年 4 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 32 开本 7.25 印张 160 千字

印数 0001—3000 册 定价 12.00 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

随着电力事业的发展，电力系统容量不断增加，高压供电用户不断增多，新的供用电技术和设备不断被供电部门和社会用户所采用，这对供电企业职工、工矿企业电工和农村电工技术水平提出了更高的要求。为了适应电力安全生产的需要，提高供用电人员的技术素质，我们从供用电单位生产实际需要和工人实际水平出发，编写了这本《短路电流实用计算》。

本书的主要内容包括：短路电流计算的方法、步骤及其在工程计算中的应用。在短路电流计算中着重介绍了对称短路电流的计算和不对称短路电流的计算的方法；简单介绍了断路的计算；重点讲述了短路电流计算在工程设计、设备选择、继电保护装置整定计算中的应用。并根据广大用户电工的要求，介绍了低压设备的短路电流实用计算方法及低压设备的选择等内容。本书在编写中，例举了大量的计算实例，力求做到紧密结合生产实际，各章节文字简练，通俗易懂。

本书既适用于具有较高文化程度的专业技术人员，也适用于工矿企业电工及农村电工，对现场工程施工人员也具有一定参考价值；既可供电力系统电气运行及继电保护工作人员使用，也可作为中等专业学校及技工学校教学参考用书。

本书在编写过程中，除参阅了有关资料外，还得到了许多专家的指导，并由北京供电局高级工程师苏玉林同志提供

了大量基础资料并担任了主审，在此一并感谢。

限于编者水平，书中难免存有遗缺之处，敬请各位同行及读者批评指正。

编 者

2003 年 2 月

目 录

前言

第一章 电力系统短路的一般概念	1
第一节 短路的基本概念	1
第二节 短路的种类	2
第三节 短路的原因	3
第四节 短路对设备及系统的危害	3
第五节 短路电流计算的目的	5
第二章 短路计算的基本方法	6
第一节 三相短路电流实用计算的假设条件	6
第二节 三相短路电流实用计算步骤	7
第三节 短路电流计算的两种计算方法	10
第三章 三相短路电流的实用计算	26
第一节 无限大容量电源供电系统三相短路	26
第二节 发电机供电电路内的三相短路	43
第三节 用运算曲线法计算短路电流	56
第四章 对称分量法	70
第一节 对称分量法的基本概念及运算	70
第二节 序阻抗的计算	79

第三节	短路故障时的等值网络	89
第五章	简单不对称短路的计算	93
第一节	单相接地短路电流的计算方法	94
第二节	两相短路	105
第三节	两相接地短路	112
第四节	正序等效定则	117
第五节	变压器引出端发生短路时各绕组的电流关系	124
第六章	断线的简单计算	137
第一节	单相断线	138
第二节	两相断线	142
第七章	短路电流实用计算的应用	148
第一节	短路电流的电动力及发热计算	148
第二节	电气设备选择	151
第三节	短路电流计算在继电保护中的应用	172
第八章	常用低压电器的选择	196
第一节	熔断器	196
第二节	电动机	199
第三节	配电变压器	206
第四节	其他低压电器的选择	211
第九章	低压电力线路中短路电流的计算	219
第一节	低压系统短路计算原则	219
第二节	各元件参数计算及应用	221



电力系统短路的一般概念

第一节 短路的基本概念

通常，电力系统处于正常运行状态，电流、电压、频率等电气参数均在允许范围内。实践证明，电力系统在运行中，由于某种原因有可能发生故障。其中短路就是常见的一种故障，对于电力系统的正常运行危害很大。一旦发生短路，有关电气量就会发生急剧变化，如电流突然增大、电压降低等。但是由于电力系统中存在有惯性的元件，这些变化是不可能在 $0s$ 内完成的，必须有一暂态过程。例如：在系统短路瞬间，发电机转子的转速由于其本身的惯性作用还来不及变化，而电磁功率则按照电力系统中改变了的电气参数重新分配，因此，在短路开始的瞬间，电力系统的变化只是电流增大、电压降低、系统中潮流分布的改变等。这个过程称之为“电磁暂态过程”。

随着暂态过程的发展，发电机转子的转速已有了变化。于是，发电机的功率分配不仅与各发电机的电动势有关，而且还与发电机转子的转速变化情况有关，这种牵涉到角位移的暂态过程我们称之为“机电暂态过程”。

从上述可知，当电力系统发生短路时，电磁暂态过程和机



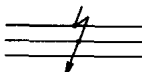
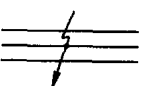
电暂态过程虽然是电力系统暂态过程中的一个整体，但是这两个过程在本质上又有区别。在短路电流实用计算中因只讨论短路电流的大小和变化过程，不涉及相位变化，故对机电暂态过程不做分析。

电力系统的短路，就是指正常运行状态以外的一切不同相与相之间、相与地之间的非正常连接，此时电力系统的电流称为短路电流。

第二节 短路的种类

电力系统常见的短路类型有：三相短路、两相短路、两相不同接地点短路、单相接地短路。各种短路类型的示意图、表示符号与故障概率见表 1-1 所示。

表 1-1 各种常见短路类型的示意图、表示符号与故障概率

短路类型	示意图	符号	故障概率
三相短路		$k^{(3)}$	5%
两相短路		$k^{(2)}$	10%
两相不同接地点短路		$k^{(1,1)}$	20%
单相短路		$k^{(1)}$	65%



三相短路是对称性短路，因为此时三相电流和三相电压同正常运行时一样，仍然对称的（短路回路的三相阻抗相等），只是三相电流增大、三相电压降低而已，电流和电压之间的相位差一般也较正常时增大。

上述几种基本类型的短路除三相短路外都是不对称性短路，因为这是三相处于不同情况下，每相电路中的电流和电压的数值不相等，其间的相角也不相同。

以上各种短路是指同时在同一地点短路，此外在电网中还可能在不同地点同时发生短路，如：两相不同接地点短路，在发电机和变压器中还可能发生一相绕组的匝间短路等。

第三节 短路的原因

产生短路的原因可分为两大类：一是内因，二是外因。所谓内因，是指电力系统中各元件本身的绝缘水平低，在电网中出现过电压或雷击时，绝缘遭到破坏而形成的短路。所谓外因，即不是电力系统中元件本身的原因，例如：外力破坏（树倒砸线，吊车碰线等）、自然灾害（地震、风灾、雹灾等）、动物跨接载流部分、运行人员误操作（带负荷拉隔离开关、带地线合隔离开关等）都可能造成短路。

第四节 短路对设备及系统的危害

电力系统发生短路造成的危害程度，一般与短路类型、地点和持续的时间等因素有关。三相短路较其他类型的短路引起的后果更为严重，在靠近电源侧短路，短路持续时间

长，易烧毁设备及引起电力系统失去稳定。短路引起的后果可分为以下几种：

(1) 设备遭到破坏，在短路处常常发生电弧烧毁电气设备。发生短路时，由于短路的总阻抗减小，短路回路中的短路电流可能超过该回路的额定电流许多倍，该电流通过导体时引起设备发热而使绝缘遭到破坏。短路电流还可能引起很大的机械力，同时导体也受到很大的电动力的作用使导体发生变形甚至损坏。因此电气装置中的各种电气设备应有足够的电动（机械）稳定性和热稳定性，即要求电气设备在流过最大可能的短路电流时间内不致损坏。

(2) 电压严重降低，对用户生产生活影响极大。短路也同时引起电网的电压降低，特别是靠近短路点处电压降低得更多，结果可能导致部分或全部用户的供电遭到破坏。一般用户多用异步电动机，而异步电动机的转矩 M_a 与其极端电压 U 的平方成正比，即 $M_a \propto U^2$ 。因此，当电压降低时，转矩急剧下降使电机停转；还有的用户装了低电压保护，当电压降到一定程度，电机自动停止运行。所以短路发生后对用户的产品数量和质量都有影响，甚至造成人身伤亡和设备损坏。

(3) 使电力系统稳定遭到破坏。当短路发生后并列运行的发电机组有可能解列、失去同步、稳定遭到破坏，甚至造成整个电力系统崩溃和瓦解，这是短路最严重的后果。

(4) 不对称短路所产生的零序电流，会严重影响通信线路工作，并且损坏设备及造成人身危险。

综上所述，对短路故障进行分析、计算具有十分重要的意义。



第五节 短路电流计算的目的

短路电流计算的目的，就在于通过计算掌握短路电流的大小和变化规律，选取适当的电气设备，配置合理的继电保护装置，以便在短路发生时使损失降低到最小范围内，保证电力系统正常运行。所以，短路电流计算是电力工程技术人员及技术工人不可缺少的技能。

在本书中力求理论与实际相结合，并以解决实际问题为主，重点介绍三相短路、单相接地短路的计算方法，使读者通过学习，熟练地掌握短路电流的计算技巧，科学合理地选择新建工程中的电气设备，核算已运行设备的短路容量，对继电保护装置的定值进行计算，并校验其灵敏度。



短路计算的基本方法

第一节 三相短路电流实用计算的假设条件

短路从起始状态到短路状态，其短路电流受各种因素的影响，变化过程是复杂的。短路电流实用计算方法，就是在满足工程准确等级要求的前提下，采用了一些必要的假设条件，将短路电流的数值较简单地计算出来。其假设条件如下：

(1) 在短路过程中，发电机无摇摆现象，这主要考虑到短路的瞬间，电磁过程要比发电机摇摆的过程快得多。

(2) 假设电力系统在正常时三相是对称的。

(3) 在电力系统中所有发电机的电动势相位在短路过程中都相同，频率与正常工作时相同。

(4) 发电机的转子是对称的，转子不论转到哪个位置发电机的参数保持不变。

(5) 变压器的励磁电流略去不计，相当于变压器励磁回路开路，这样就简化了变压器的等值电路图。

(6) 在大的电力系统中，对于末端负荷线路，在短路电流计算中不计负荷电流的影响。在小的电网中，如小水电、小火电的电力网中，则应计算负荷的影响。在短路电流计算



中，可按综合负荷考虑，其参数计算方法如下：

1) 负荷综合阻抗的标么值 $Z_{\text{th}} = 1.2$

2) 负荷综合阻抗的实际值 $Z_{\text{th}} = 1.2 \times (U_N^2 / S_N)$

式中： U_N 和 S_N 分别为负荷的额定电压和额定视在功率。

(7) 假设发电机、变压器的铁芯在短路过程均未饱和，它们的电抗值与电流大小无关。

(8) 长度在 300km 以内的输电线路的电容略去不计。

(9) 在被计算的电力系统中，其综合电阻 R 若小于综合电抗 Z 的 1/3，则 R 略去不计。

(10) 由多台发电机供电的网络中发生短路时，各发电机短路电流同期分量变化规律相同。

(11) 在短路时，电源处母线上的电压不变（即无限大电源）。

以上这些假设在短路电流实用计算中是非常重要的，然而在计算中可以使用叠加原理、可以用单相序网络等值电路来代替。一般计算时，只考虑金属性短路，即不计过渡电阻的影响。

第二节 三相短路电流实用计算步骤

在短路发生后的第一个周期内的短路电流周期分量的有效值，称为起始次暂态短路电流，用 I'' 表示。当系统阻抗 Z_s 不超过短路点到电源的总阻抗 ($Z_1 + Z_L$) 的 5% 时，我们把此电源称为无限大系统。

在无限大系统中的次暂态短路电流与稳态短路电流 I_∞ 相等。三相短路电流的计算就是指次暂态短路电流 I'' 的计

算。其计算步骤如下：

1. 做出电力系统计算系统图

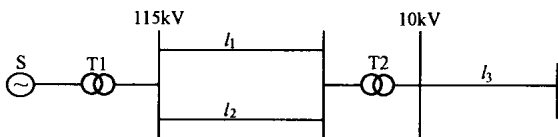


图 2-1 电力系统计算系统图

图 2-1 为一个简单电力系统计算系统图。在计算用图中应包括与短路电流计算有关的全部电力元件（如系统、发电机、变压器、输电线路等），以及它们之间的相互连接关系。在元件旁边应注明它们的技术数据，如额定电压、额定容量、线路的长度及线路型号等。另外，在计算图上应标明短路点。为了便于计算，每个元件按顺序编号。

2. 计算各元件参数

根据给定的电力系统，首先确定是用标么值的计算方法计算短路电流，还是用实际值计算的方法。一般在有两个及两个以上的电压等级情况下用标么值的方法较用实际值的方法计算简便。

用实际值计算时，首先选定一个基准值（即电压等级），此基准值应选被计算短路电流短路点的电压等级，然后将其他电压等级所有元件的阻抗用变压器变比原理换算到基本级上来。

用标么值计算时，首先选定一个基准容量，此基准容量的选择则应是“便于计算”，使 x 值小数点前后的 0 最少。一般选取整数，如：系统大，取 $S_b = 1000\text{MVA}$ ；系统小，取 $S_b = 100\text{MVA}$ 。



基准电压一般选取平均电压： $U_b \approx U_{av}$ 比额定电压高 5%， U_n (kV) 220 110 35 10 0.38； U_{av} (kV) 230 115 37 10.5 0.4 然后算出基准电流值。

3. 绘制等值网络图

绘制电力系统等值网络图的目的是便于短路电流计算。图中应标明各元件的序号及阻抗，见图 2-2 所示。

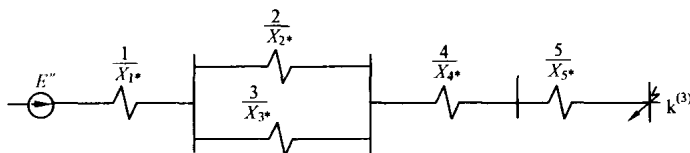


图 2-2 等值网络图

如： $2/X$ 分子 2 表示元件序号，分母 X 表示元件的阻抗值。

4. 网络化简

网络化简是将等值网络化简到最简单的形式，若有两个及两个以上的电源，则归并成一个电源。有并联的回路化简成串联。采取多电源归并成一个电源的方法，是因为我们采取了一系列的假设条件，所以在计算中可以用电源的阻抗相并联的方法。例如：有两个电源的阻抗分别为 A 和 B ，则归并后的阻抗为 $A \times B / (A + B)$ ，经化简后的网络图见图 2-3 所示。

5. 进行短路电流计算

通过以上工作，把一个复杂的系统简化成只有一个等效元件的系统，等效元件的一端是综合电动势，另一端是综合阻抗和短路点，这样就可以用最简单的欧姆定律来计算短路电流，即

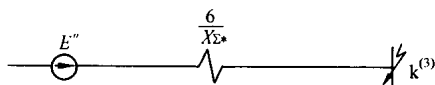


图 2-3 简化网络图

$$I = \frac{E}{X}$$

式中 E ——系统电源对短路点的综合次暂态电动势，在简化计算中取 1；

X ——系统对短路点的综合阻抗。

必须注意：根据以上步骤，用实际值求得的短路电流，都是归算到基本级的数值，要想得到非基本级的短路电流，必须根据变压器的变比换算到要计算短路电流的那个电压等级。用标么值方法计算求得的短路电流，要想得到实际值，还必须乘以相应电压等级的基准电流值。

第三节 短路电流计算的两种计算方法

计算短路电流时，各电气量如电流、电压、功率和电抗等的数值，可用有名值表示，也可用标么值表示。为了计算方便，在低压系统中宜用有名值算法，在高压系统中宜用标么值算法。

一、标么值算法

标么值就是相对值算法，用新选单位进行某物理量的衡量，衡量的值称标么值。

一个有名值 A 与另一个作为基准值的有名值 B 的比值 A/B ，称为 A 相对于基准值 B 的标么值，基准值 B 应与 A

