



银领工程系列



电力系统故障分析

■ 王宝华 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

第2版

电气工程系列

电力系统故障分析

■ 王德明 主编

中国电力出版社
CHINA ELECTRICITY PRESS

银领工程系列

电力系统故障分析

王宝华 主编



高等教育出版社

内容提要

本书叙述了电力系统故障分析的基本原理和方法,从为电力系统继电保护服务的角度出发,介绍了电力系统横向故障、纵向故障以及振荡时电气量的分析方法和电气量的特征,并介绍了电力系统故障分析的计算机算法、给出了用 MATLAB 编制的程序。

全书共分 9 章,分别为:标么制和网络化简;同步发电机三相突然短路分析;电力系统元件序阻抗和等值电路;电力系统三相短路分析;电力系统横向短路故障分析;电力系统纵向不对称故障分析;电力系统振荡分析;电力系统故障特征及其应用;电力系统故障分析的计算机算法。每章前提出本章内容的知识点、重点、难点;每章后以框图的形式对该章进行总结。文中适当的地方提供相关实例分析。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校、民办高校及本科院校举办的二级职业技术学院电力系统继电保护与自动化、发电厂及电力系统及相关专业的教材,也可作为相关专业工程技术人员的参考和培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统故障分析/王宝华主编. —北京:高等教育出版社, 2006.7

ISBN 7-04-019659-X

I. 电... II. 王... III. 电力系统-故障诊断
IV. TM711

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 070365 号

策划编辑 刘洋 责任编辑 曲文利 封面设计 李卫青 责任绘图 吴文信
版式设计 陆瑞红 责任校对 朱惠芳 责任印制 毛斯璐

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 国防工业出版社印刷厂

网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×1092 1/16
印 张 10.75
字 数 250 000

版 次 2006 年 7 月第 1 版
印 次 2006 年 7 月第 1 次印刷
定 价 14.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 19659-00

出版说明

为了认真贯彻《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》，落实《2003—2007年教育振兴行动计划》，缓解国内劳动力市场技能型人才紧缺现状，为我国走新型工业化道路服务，自2001年10月以来，教育部在永州、武汉和无锡连续三次召开全国高等职业教育产学研经验交流会，明确了高等职业教育要“以服务为宗旨，以就业为导向，走产学研结合的发展道路”，同时明确了高等职业教育的主要任务是培养高技能人才。这类人才，既要能动脑，更要能动手，他们既不是白领，也不是蓝领，而是应用型白领，是“银领”。从而为我国高等职业教育的进一步发展指明了方向。

培养目标的变化直接带来了高等职业教育办学宗旨、教学内容与课程体系、教学方法与手段、教学管理等诸多方面的改变。与之相应，也产生了若干值得关注与研究的新课题。对此，我们组织有关高等职业院校进行了多次探讨，并从中遴选出一些较为成熟的成果，组织编写了“银领工程”丛书。本丛书围绕培养符合社会主义市场经济和全面建设小康社会发展要求的“银领”人才的这一宗旨，结合最新的教改成果，反映了最新的职业教育工作思路和发展方向，有益于固化并更好地推广这些经验和成果，很值得广大高等职业院校借鉴。我们的这一想法和做法也得到了教育部领导的肯定，教育部副部长吴启迪专门为首批“银领工程”丛书提笔作序。

我社出版的高等职业教育各专业领域技能型紧缺人才培养培训工程系列教材也将陆续纳入“银领工程”丛书系列。

“银领工程”丛书适合于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校开办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

高等教育出版社

2006年2月

前 言

本教材基于“以服务为宗旨、以就业为导向、走产学研结合的发展道路”的高职高专办学指导思想和“培养技能型人才、培养‘银领’人才”的高职高专人才培养方向,以应用为目的,以必需、够用为度,以讲清概念、强化应用为教学重点来编写。

为突出高职高专的办学指导思想和人才培养方向,为突出“电力系统故障分析”在电力系统继电保护和电力系统电气设备中的应用,本书具有以下特点:

1. 减少理论介绍和分析,注重理论在实际中的应用。如对于同步发电机突然短路部分,只从短路波形图入手,以物理概念为基础,介绍各种电气量出现的原因和相互之间的关系,没有介绍派克变换和短路电流的计算;每当对概念或理论进行简单介绍后,都给出例题,帮助使用者理解概念和相关理论。

2. 重点介绍了电力系统的故障计算方法。由于电力系统故障的相关计算是电力系统继电保护整定计算和电气设备选择的基础,所以必须掌握电力系统故障计算的基本方法。

3. 突出了电力系统的故障特征介绍。电力系统故障状态与正常运行状态的区别是构成继电保护装置工作原理的基础,因此,掌握故障的特征有时显得比故障计算还重要,本书对电力系统的故障特征进行了单独的总结,为使用者理解微机保护的相关原理打下了基础。

4. 将目前普遍使用的 MATLAB 语言引入到故障的计算机算法中。在介绍了电力系统故障分析的计算机算法原理后,给出了 MATLAB 程序来计算算例,以帮助使用者掌握编程思想,并用来检验所完成习题的正确性。当然这些程序还不能作为大规模、复杂电力系统的通用计算程序。

本书编写过程中,参考了不少已有教材或著作的成果,主要的已列入书末的参考文献,在此对原作者表示感谢和敬意。

本书由王宝华、顾艳编写。王宝华编写了绪论及第 1~4、8、9 章,顾艳编写了第 5~7 章。王宝华负责全书的统稿,并担任主编。

本书由南京工程学院罗士萍副教授主审,她对本书提出了很多宝贵意见,在此表示深深的感谢。

由于编写者的水平有限,书中错误和不足之处在所难免,恳请专家和读者批评指正。

编 者

2006 年 2 月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

绪论	1	第 4 章 电力系统三相短路 分析	50
第 1 章 标么制和网络化简	6	第一节 无限大容量电源供电的三相短路 分析	50
第一节 标么制	6	第二节 电力系统三相短路的实用 计算	55
第二节 标么制的基准值选取	7	本章小结	60
第三节 电力系统各元件阻抗标么值 计算	9	习题	61
第四节 网络化简	11	第 5 章 电力系统横向短路故 障分析	62
本章小结	20	第一节 对称分量法	62
习题	21	第二节 不对称短路各序网络的 构成	63
第 2 章 同步发电机三相突然 短路分析	22	第三节 两相短路故障分析	66
第一节 同步发电机三相突然短路的 电流波形	22	第四节 单相接地短路故障分析	71
第二节 同步发电机三相突然短路的 分析	23	第五节 两相接地短路故障分析	75
本章小结	26	第六节 经过渡电阻后的短路故障 分析	80
第 3 章 电力系统元件序阻抗和 等值电路	27	第七节 保护安装处的电流和突变量	83
第一节 序阻抗的基本概念	27	第八节 横向短路故障的综合特点	85
第二节 发电机的各序电抗及等值 电路	29	第九节 变压器两侧电压、电流对称 分量关系	90
第三节 变压器的各序电抗及等值 电路	31	本章小结	101
第四节 输电线路的各序参数和等值 参数	36	习题	102
第五节 负荷的各序参数及等值电路	44	第 6 章 电力系统纵向不对称故 障分析	104
第六节 电抗器的各序参数及等值 电路	46	第一节 纵向不对称故障的分析方法	104
本章小结	48	第二节 单相断线分析	106
习题	48	第三节 两相断线分析	109
		本章小结	112
		习题	112

第7章 电力系统振荡分析	114	习题	138
第一节 振荡时电气量变化分析	114		
第二节 短路故障和振荡的区分	117	第9章 电力系统故障分析的	
本章小结	119	计算机算法	139
习题	120	第一节 三相短路的计算机计算方法	139
第8章 电力系统故障特征及其		第二节 不对称短路故障的计算机	
应用	121	计算方法	145
第一节 短路故障序分量的关系	121	第三节 电力系统纵向不对称故障的	
第二节 断线故障序分量的关系	125	计算机计算方法	153
第三节 复故障分析	126	本章小结	158
第四节 相电流差突变量选相元件的		习题	158
构成原理	130	参考文献	159
第五节 工频变化量方向元件	133	附录 短路电流周期分量计算	
第六节 故障录波器录波波形的分析	135	曲线数字表	160
本章小结	137		

绪 论

一、故障的概念

电力系统可能发生的故障类型较多,常见的、对电力系统危害比较严重的有短路、断相以及各种复杂故障等。而短路故障是电力系统中危害最为严重的故障。

正常运行的电力系统在某处发生短路或断相故障的情况称为简单故障;而发生两个或两个以上的简单故障则称为复杂故障或复合故障。

1. 短路的概念

所谓短路故障(横向故障),是指电力系统正常运行情况以外的一切相与相之间或相与地之间的“短接”。在电力系统正常运行时,除中性点外,相与相或相与地之间是绝缘的。如果由于某种原因使其绝缘破坏而构成了通路,则称电力系统发生了短路故障。

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(如遭到雷击)、绝缘材料的自然老化、脏污、直接机械损伤等。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。线路对树枝放电、大风引起的碰线、鸟害、树枝等物掉落在导线上以及雪、雹等自然现象也能引起短路故障。此外,运行人员带负荷拉刀闸,或者线路检修完后忘记拆除接地线就加上电压等误操作,也会引起短路故障。

在三相系统中,三相同同时短接的情况称为三相短路。由于各相阻抗相同,三相对称,所以又称为对称短路。电力系统在同一地点所发生的其他类型短路有:两相短路、两相接地短路和单相接地短路,在发生这一类短路时,三相系统将处于不对称状态,所以称为不对称短路。各种短路的示意图和符号如图0-1所示。

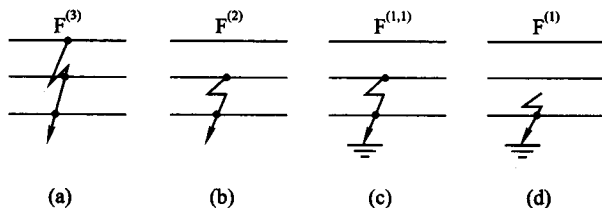


图0-1 短路故障示意图和符号

(a)三相短路 (b)两相短路 (c)两相接地短路 (d)单相接地短路

电力系统的大量运行实践表明,各类短路发生的次数在短路总次数中所占的百分比是不同的,其中单相接地短路故障最多,而相间短路较少。但是,不能由此轻视对相间短路的研究,特别是三相短路,虽然它发生的机会较少,但情况较严重,又是研究其他短路的基础,所以要予以足够的重视。

2. 断相故障和复杂故障

电力系统除了短路故障外还可能发生断相故障以及各种类型的复杂故障。

所谓断相故障(纵向故障)是指电力系统一相断开或两相断开的非全相运行情况。这种故障也属于不对称性故障。

常见的断相故障有:线路单相接地短路时,故障相断路器跳开;断路器合闸过程中三相不同时接通;分相检修线路或断路器;输电线一相或两相断线等。

在电力系统中的不同地点(两处或两处以上)同时发生不对称故障的情况,称为复杂故障。这种情况又可视作多个简单不对称故障的复合,所以又称复故障。如双电源系统中,线路发生单相接地故障时,线路一侧故障相断路器跳开,另一侧断路器没有跳开,则线路上同时存在非全相运行和接地短路故障。

随着电力系统的发展,发生这些故障的几率增大了。因此必须加强对这些故障的分析和研究。

3. 线路故障的分析

大量统计资料表明:高压电网的短路故障中,线路故障约占90%,母线、变压器和高压配电装置等故障约占10%。

线路故障中,单相接地短路占绝大多数,线路短路故障开始发生时,绝大多数故障可能是单相接地,因故障常具有转变扩展性质,单相接地很容易发展为多相短路故障。从这点出发,缩短故障切除时间,可避免多相短路故障对电力系统造成的严重影响,并使单相重合闸发挥作用;同时,缩短故障切除时间,也可减轻故障点设备的损伤程度。

两相接地短路故障比单相接地短路故障的几率少得多,但比三相短路故障的几率多,这合乎故障发展的特点。有统计资料表明,对中性点直接接地的高压电力系统,单相和两相接地的短路故障占了绝大多数,所以反应接地短路故障的保护负担着十分重要的任务,任何情况下,应保证反应接地短路故障的保护有较好的性能并可靠投入运行。

三相短路故障有两种类型:第一种是发展性三相短路,由单相、两相短路故障发展为三相短路故障,大多数三相短路故障属于这种类型,其在短路初瞬电力系统是不对称的;此外,发展为三相短路的时间不是固定的,有长有短。第二种是三相同性性的对称短路,主要由雷害造成。例如当线路杆塔接地电阻较大、架空地线保护耐雷水平较低而雷击架空地线时,塔顶电位突然升高,大大超过瓷瓶的绝缘强度,其结果是向三相导线闪络,造成三相短路。当然,这种情况大多发生在山区线路上,因为山区线路的杆塔位置多选择在山顶或山坡比较高耸的地方,容易遭受雷击。另外,断路器三相触头同时接通情况较好时,合闸送电忘拆接地线的输电线也表现为三相同性性对称短路。在三相同性性对称短路时,电力系统一直处于对称状态。

运行实践表明,三相短路故障比两相短路故障多,占有一定比例,且三相短路故障对电力系统的影响最严重。

两相短路故障发生原因较为特殊,所以发生的几率较少。如大风造成的导线异常摆动,在两相导线摇摆靠近时引起闪络,发生两相短路。这种短路故障在保护动作时间过长或短路电流较大的一侧先跳闸时,故障可能自行消除。此外,这种故障可能会连续发生,有时一天内一条线路会连续发生多次。船桅与过江导线相碰,飞机与导线相碰,换位杆塔上连接两不同相的绝缘瓷瓶间发生闪络,阻波器引线烧断等均会引起两相短路故障,如不迅速切除,两相短路故障可能发展为两相接地短路或三相短路故障。

装设单相重合闸的线路发生单相接地短路,在两侧断路器跳闸后,线路处于非全相运行过程中,健全相仍然会发生单相接地故障。在设计保护和考虑重合闸时,应注意这一故障情况。

在分析短路故障时,还应注意如下三点:

第一是故障的转换性,也称发展性。所谓故障的转换性,是指在短时间内,一种故障转换为另一种性质不同的故障。如 A 相接地后,由于雷害,短时间内 B 相又发生接地。有时可能出现 A 相接地后,发生 A、B 相短路而接地消失的现象。也有可能故障开始时是两相短路,短时间内转换为两相接地短路。在分析短路故障时,应充分注意转换性故障的特点。

第二是故障的重复性。输电线路发生故障,在重合闸成功的短时间内,在同一地点又发生故障的可能性较大,尤其是大气条件恶劣的情况下更是如此。

第三是故障点的过渡电阻。过渡电阻由弧光电阻和过渡物电阻组成。对相间短路故障来说,过渡电阻主要是弧光电阻。对接地短路来说,过渡物电阻是接地电阻。接地电阻比弧光电阻要大得多,一般可将弧光电阻忽略而只计接地电阻。对接地电阻可作如下说明:

杆塔上因瓷瓶闪络而发生的接地短路故障,接地电阻是杆塔本身的接地电阻,如有架空地线,则是架空地线并联杆塔接地电阻的综合值;输电线直接对树枝、竹竿、农作物等放电引起接地短路故障,或带电导线短路于接地电阻很大的石头、建筑物或其他物体上,这种短路故障的接地电阻较大,可达到几十欧甚至数百欧。

所以,在分析接地短路故障时,不应忽略接地电阻的影响。

二、短路的现象及后果

电力系统发生短路时,伴随短路所产生的基本现象是:电流剧烈增加,例如发电机出线端处三相短路时,电流的最大瞬时值可能高达额定电流的 10~15 倍,从绝对值来讲可达上万安,甚至十几万安。在电流急剧增加的同时,系统中的电压将大幅度下降,例如,发生三相短路时,短路点的电压将降到零,短路点附近各点电压也将明显降低。

由于短路时上述现象的发生,因而短路所引起的后果是破坏性的。具体表现在以下几个方面:

(1) 短路点的电弧有可能烧坏电器设备,同时很大的短路电流通过设备会使发热增加,当短路持续时间较长时,可能使设备过热而损坏。

(2) 很大的短路电流通过导体时,要引起导体间很大的机械应力,如果导体及它们的支架不够坚固,则可能遭到破坏。

(3) 短路时,系统电压大幅度下降,对用户工作影响很大。系统中最主要的负荷是异步电动机,它的电磁转矩同它的端电压平方成正比,电压下降时,电磁转矩将显著下降,使电动机停转,以致造成产品报废及设备损坏等严重后果。

(4) 当电力系统中发生短路时,有可能使并列运行的发电厂失去同步,破坏系统稳定,使整个系统的正常运行遭到破坏,引起大面积停电。这是短路故障最严重的后果。

(5) 不对称接地短路所造成的不平衡电流,将产生零序不平衡磁通,会在邻近的平行线路内(如通信线路,铁道信号系统等)感应出很大的电动势。这将造成对通信的干扰,并危及设备和人身安全。

由上述可见,对短路过程的研究具有十分重要的意义。实际上,短路问题已成为电力技术方

面的基本问题之一。在发电厂、变电站以及整个电力系统的设计和运行的许多工作中,都必须有短路计算的结果作为依据,例如:选择合理的电气接线图,选用有足够热稳定和机械强度的电气设备和载流导体,确定限制短路电流的措施,研制和在电力系统中合理配置各种继电保护和自动装置,并正确地整定其参数等等。因此深入掌握有关短路问题的理论及其计算方法很有必要。

三、故障分析和计算的目的

1. 故障分析的目的

主要运用对称分量法来分析电力系统发生的各种故障以及电气量的特征,为继电保护装置和自动装置的研究提供新的原理和算法,同时,借助于继电保护装置、自动装置的动作情况以及故障录波器所记录的波形,为电力系统在运行中出现的各种故障的分析提供理论依据。

2. 短路电流计算的目的

(1) 作为选择电气设备(电器、母线、瓷瓶、电缆等)的依据

电力系统中的电气设备在短路电流的力效应和热效应作用下,必须不受到损坏,以免扩大事故范围造成更大的损失。为此在设计时必须校验所选择的电气设备的热稳定性和力稳定性,这就需要计算发生短路时流过电气设备的短路电流。

(2) 继电保护的设计和调整

必须对电力网中发生的各种短路情况进行计算和分析,才能正确解决电力系统中的继电保护配置和整定,在这些计算中不但要求计算出在故障支路中的短路电流和各序分量的数值,而且还要计算出短路电流及各序分量在网络中的分布情况。

(3) 接线图的比较和选择

评价和比较接线图时,计算短路电流是一项很重要的内容。在设计电力网接线图时,往往会出现这种情况,因为电的联系强,在发生短路时电流太大,以致必须选用昂贵的电气设备,而使所设计的接线图在经济上不合理,如果适当改变电路的接法或者增加限制短路电流的设备,就会得到既可靠又经济的接线图。在电厂扩建计划中增加新的机组时,对拟定的接线图也要进行短路电流计算,以便对新装的和原有的电气设备进行热稳定性和力稳定度的校验。

另外,在确定输电线路对铁道信号系统和通信的干扰影响,以及进行事故分析时,都要计算短路电流。

四、故障分析的基本假设

影响电力系统瞬态过程的因素很多,例如磁路饱和,各种物理过程的相互影响等,若在实际分析中把这些影响因素都考虑进去,将会十分复杂,有时也是不可能的。另外,在许多情况下也没有必要这样做。因此,通常在满足工程要求的前提下,采取一些合理的假设,以忽略次要因素,突出主要矛盾,简化分析计算。电力系统故障分析的基本假设如下:

1. 不计磁路饱和、磁滞的影响。这样系统中各元件的参数是恒定的,可以应用叠加定理。
2. 系统是三相对称系统。不对称仅存在于不对称故障处,因而,应用对称分量法时,可将各序的网络用单相等值电路进行分析。
3. 各元件序参数的阻抗角可认为相等,进而可认为系统综合阻抗的阻抗角相等。
4. 在进行短路电流大小计算时,一般可略去各元件的电阻。

5. 负荷只作近似估计,或作为恒定阻抗,或当作临时电源,视情况而定。

6. 当对某些继电保护进行分析计算时,需要考虑过渡电阻的影响,否则,可认为短路是金属性短路,即不计过渡电阻的影响。

必须指出,任何一条假设都是相对的、有条件的,在一种场合下不起作用的因素,在另一种情况下则可能显示重大的甚至是决定性的影响。例如在低压系统中,参数的分布性可以不考虑,但在分析超高压远距离输电线路的瞬态过程时,电气参数的分布性常常就需要考虑,否则在分析某些继电保护装置的动作情况时就可能得出错误的结论。因此,采取任一假设时,都不可以忘记它运用的合理范围。

五、电力系统故障分析课程的内容

电力系统故障分析包含绪论和九章内容。绪论中介绍了电力系统发生故障的原因和引起的后果,故障的基本概念和故障分析的基本假设以及电力系统故障分析和计算的目的。第1章为标么制和网络化简,讨论了标么制的应用以及电力系统故障计算中常用的网络简化的方法。第2章为同步发电机三相突然短路分析,着重介绍同步发电机三相突然短路的物理过程。第3章为电力系统元件序阻抗和等值电路,介绍电力系统中各种元件的正序、负序和零序阻抗及各序等值电路,这是故障分析的基础。第4章为电力系统三相短路分析,着重分析无限大容量供电系统发生三相短路的瞬态过程及三相短路电流和冲击电流计算的工程方法。第5章为电力系统横向短路故障分析,利用对称分量法来分析各种类型的短路故障。第6章为电力系统纵向不对称故障分析,仍然以对称分量法来分析各种断线故障。第7章为电力系统振荡分析,介绍电力系统振荡时电气量的变化情况及其与短路故障的区别。这3章为本书的重点。第8章为电力系统故障特征及其应用,着重介绍电力系统发生各种类型故障时的表现的相同点和不同点,为继电保护的实现和实际故障的分析提供帮助。第9章为电力系统故障分析的计算机算法,介绍了各种短路故障、断线故障的计算机算法,并给出了基于 MATLAB 的故障计算程序。

第 1 章 标么制和网络化简



要求

掌握电力系统中各元件标么值的计算方法;掌握电力系统网络化简的方法



知识点

- 了解标么制的优点,掌握标么制的基准值选取方法和相互之间的关系
- 掌握电力系统各元件标么值的计算
- 掌握常用的网络化简方法
- 掌握电流分布系数和转移电抗的定义及其求取方法,以及它们之间的关系



重点和难点

- 电力系统各元件标么值的计算
- 电流分布系数和转移电抗的定义及其求取方法

第一节 标 么 制

在电力系统故障计算中,可以用有名值进行,即所有电气量均采用具有相应单位的实际值表示,如电压的单位用 kV,电流的单位用 kA,电阻的单位用 Ω ,功率的单位用 kW 等。在实际工程计算中,常用标么值进行,使计算过程简化,这称为标么制。

当用标么值表示一个量时,就是求这个量对基准值的相对数值,没有单位。标么值的计算公式为

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

显然,对同一个有名值,当所选的基准值不同时,其标么值就不同。所以,当说一个物理量的标么值时,必须同时说明以什么作为基准值,否则只说一个标么值是没有意义的。

采用标么值,有如下的优点:

1. 采用标么值易于比较电力系统各元件的特性及参数

电力系统各种电气设备的额定电压的高低,容量的大小彼此相差很大,它们的特性和参数,用实际值表示时也就差别很大,很难进行比较,但用标么值表示后,这些特性和参数都在一定范围内,就便于进行对比分析。例如一台额定电压为 110 kV,容量为 10 000 kV·A 的变压器,其短路电压 $U_{s1} = 11.6$ kV,而另一台额定电压为 10.5 kV,容量为 7 500 kV·A 的变压器,其短路电压 $U_{s2} = 1.05$ kV,这两个短路电压相差很大,不好比较,如果取它们各自的额定电压作为基准值,则标么值为

$$U_{s1*} = \frac{11.6}{110} = 0.105; \quad U_{s2*} = \frac{1.05}{10.5} = 0.1$$

说明这两台变压器的短路电压都是其额定电压的 10% 左右(用下标 * 表示标么值,但后面章节中经常省去 *, 标么值和有名值的表示相同)。

2. 采用标么制便于判断电气设备的特性和参数好坏

例如,知道一台发电机运行中,其端电压是 10.5 kV,相电流为 1 000 A,从这些数值不能判定其运行情况是否正常,但如果得到的数据是以发电机额定值作为基准值的标么值,譬如 $U_* = 1.0$, $I_* = 0.8$, 则立即可以判断发电机的运行电压是正常的,负载电流小于额定电流。可见,用标么值表示比用实际值能给人以更明确的概念。

3. 采用标么制可使计算大大简化

第二节 标么制的基准值选取

一、基准值的选取原则

采用标么制,首先应选定基准值。在短路计算中使用的物理量有电压、电流、功率和阻抗,所以基准值也有四个:电压基准值 U_B , 电流基准值 I_B , 功率基准值 S_B 和阻抗基准值 Z_B , 虽然说这些基准值可以任意选择,但实际上为了计算的方便,基准值的选取必须遵守一定的约束。那就是,无论单相系统还是三相系统中,在选定的基准值下,必须存在 $S_* = U_* I_*$, $U_* = Z_* I_*$ 。

在这样的原则下,单相系统中,基准值必须满足

$$S_B = U_B I_B, \quad U_B = Z_B I_B$$

三相系统中,基准值必须满足

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

$$U_B = \sqrt{3} Z_B I_B \quad (1-2)$$

式中 U_B 、 I_B ——线电压、线(相)电流的基准值;

Z_B ——每相阻抗的基准值;

S_B ——三相容量的基准值。

二、三相系统同一电压级中的基准值

由于标么制中,三相系统基准值的选取满足式(1-1)、(1-2),所以在 U_B 、 I_B 、 Z_B 、 S_B 四个基准值的选取中,只要选取了两个基准值,其他两个基准值也就确定了。通常选取 S_B 和 U_B , 按下式确定其他两个基准值:

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

$$Z_B = \frac{U_B}{\sqrt{3} I_B} = \frac{U_B^2}{S_B} \quad (1-4)$$

S_B 和 U_B 的选取,原则上可以是任意的,但是为了计算方便,一般选取某一发电厂的总容量或系统总容量(较多的选取 100 MV·A 或 1 000 MV·A)。对于 U_B 可以选取该电压级的额定电压,但在故障分析中,通常选取的是该电压级的平均额定电压 U_{av} 。各电压级的平均额定电压如表 1-1 中所示(U_N 为电网额定电压)。例如 110 kV 级, $U_B = U_{av} = 115$ kV; 220 kV 级, $U_B = U_{av} = 230$ kV。

表 1-1 各电压级的平均额定电压

U_N/kV	0.38	3	6	10	35	110	220	330	500
U_{av}/kV	0.40	3.15	6.6	10.5	37	115	230	345	525

当基准值选定后,各电气量的标么值可作如下计算:

$$S_* = \frac{S}{S_B} \quad (1-5)$$

$$U_* = \frac{U}{U_{av}} \quad (1-6)$$

$$I_* = \frac{I}{I_B} = \frac{I}{\frac{S_B}{\sqrt{3}U_{av}}} = \frac{\sqrt{3}U_{av}I}{S_B} \quad (1-7)$$

$$Z_* = \frac{Z}{Z_B} = Z \frac{S_B}{U_{av}^2} \quad (1-8)$$

注意,式(1-5)中的 S 应为三相容量,如果是单相容量,则 S_B 也应是单相容量的基准值;式(1-6)中的 U 应为线电压,如果是相电压,则 U_{av} 也应为相电压基准值。

三、不同电压级基准值间的关系

电力系统中存在不同电压级的线路段,由升压变压器或降压变压器相耦联,并且这些变压器的变比一般是不等的。在故障分析中,为了计算方便,可假设系统中所有变压器的变比等于两侧平均额定电压之比(这样假设,误差在工程允许范围内)。在图 1-1 中,变压器变比为 $\frac{U_{av1}}{U_{av2}}$,不同电压级通过变压器耦联着,所以两侧的基准值有着一定的关系。

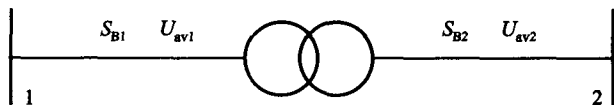


图 1-1 变压器两侧基准值间的关系

由于功率通过变压器不会发生变化,所以电力系统中基准容量选定后,各电压级的基准容量也随之确定下来并等于选定的基准容量。在图 1-1 中, $S_{B1} = S_{B2} = S_B$; 基准电压中,1 侧为 U_{av1} , 2 侧为 U_{av2} 。由于 S_B 和 U_B 确定后,1 侧的 I_{B1} 、 Z_{B1} 和 2 侧的 I_{B2} 、 Z_{B2} 根据式(1-3)、(1-4)可以确定,如下式所示:

$$I_{B1} = \frac{S_B}{\sqrt{3}U_{av1}} \quad (1-9)$$

$$Z_{B1} = \frac{U_{av1}^2}{S_B} \quad (1-10)$$

$$I_{B2} = \frac{S_B}{\sqrt{3}U_{av2}} \quad (1-11)$$

$$Z_{B2} = \frac{U_{av2}^2}{S_B} \quad (1-12)$$