

基于PSASP建模的典型发电厂短路计算研究

传统人工方式计算发电厂短路电流工作量大、计算准确度不高、速度慢及效率低,为此提出了以电力系统分析综合程序(Power System Analysis Software Package, PSASP)对典型发电厂及电网系统运行方式进行建模,利用计算机程序完成发电厂短路电流计算的方法。分析了系统不同运行方式下发电厂三相对称短路故障和不对称短路故障时,短路电流的特征,结合国内现行的短路电流计算标准,给出了基于PSASP程序的电网系统不同运行方式下的等效物理模型、建模方法和PSASP元件模型的参数整定条件。通过应用于实例的仿真短路电流计算,并对采用两种不同计算方法的计算结果进行对比分析,验证了本方法的正确性和可行性。与传动人工计算方式相比,本方法提高了发电厂短路电流计算的准确性及效率,可以广泛应用于发电厂短路电流计算。

何信林 张小宏/西安热工研究院有限公司
肖桂霞/华能陕西靖边电力有限公司

0 引言

短路计算的目的是为了正确选择和校验电气设备,准确地整定供配电系统保护装置,避免在短路电流作用下损坏电气设备,保证供配电系统中出现短路故障时保护装置能可靠动作^[1-2]。在电力系统投入运行前和实际运行参数发生改变时,都需要通过短路计算,求解流经某些电气设备的短路电流,对继电保护整定值及设备的关键参数进行校验,以确保电力设备安全运行以及继电保护定值的可靠性^[3-4]。

随着电网的发展,网络结构日趋复杂,对电力系统短路故障分析计算的工作量越来越大,计算难度也越来越高,传统人工的计算方式已不能满足对短路计算速度和效率的要求。而随着计算机

硬件和软件技术的不断更新发展,图形化人机界面的计算程序在电力系统短路计算领域中的应用也越来越广,在提高计算效率的同时,把专业人员从烦琐的计算工作中解脱出来,从而将更多的精力集中到对计算结果的分析上,大大提高了工作效率^[5-6]。

电力系统分析综合程序(Power System Analysis Software Package, PSASP)是基于电网基础数据库、固定模型库以及用户自定义模型库的支持,进行电力系统(输电、供电和配电系统)各种计算分析的大型软件包。PSASP具有运行稳定、运算结果明确、使用方便和界面友好等优点,其运算分析功能强大,能以方便实用的报表和曲线形式输出;能自动生成图示化结果;能在系统单线图上标注计算结果;还与Excel、AutoCAD和Matlab等通用的软件分析工具有着方便的接口,可充分利用这些软件的资源^[7]。

目前,常见的文献、资料对PSASP的短路计算软件模块的应用分析大多集中在电网侧,应用于发电厂侧的实例较少见。本文结合典型的发电厂主接线方式,用PSASP进行图形化建模,并针对不同类型的短路故障特征进行了短路计算建模研究,分析了不同运行方式下的系统等效阻抗在PSASP建模中的应用。通过某电厂实例,对传统人工计算方法与基于PSASP建模的计算方法所得出的结果进行对比,验证了基于PSASP建模的典型发电厂短路计算方法的正确性。



何信林/高级工程师

关键词/Keywords

电网·
发电厂·
PSASP建模·
对称短路故障·
不对称短路故障·
短路计算·

1 典型的发电厂电气主接线方式

随着发电厂发电机组单机容量越来越大,越来越多的机组采用发电机—变压器组单元接线的方式^[8-9],发电机经主变压器、升压站和高压输电线路接入电网,同时发电机出口封闭母线上引接高压厂用变压器、励磁变压器作为高压厂用电源、发电机励磁电源。一般来说,同一个发电厂有多台发电机组、多条高压输电线路。典型发电厂电气主接线方式如图1所示。图1中1G、2G和nG代表发电机;1MT、2MT和nMT代表主变压器;1AT代表高压厂用变压器;1ET代表励磁变压器;1L、2L和nL代表高压输电线路。

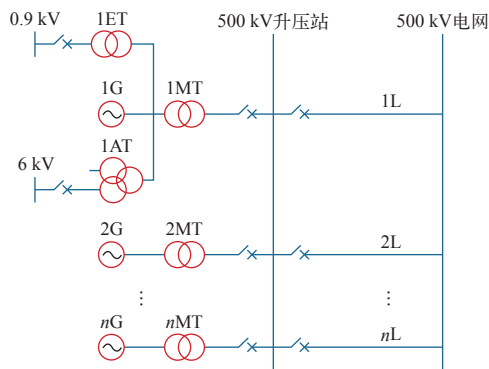


图1 典型发电厂电气主接线图

2 传统短路计算方法

传统人工的短路计算一般采用标幺值计算方法,分为基准值的选取、不同基准值的标幺值之间的换算、确定计算条件、绘制等效电路和不同故障类型的短路电流计算等几个步骤^[10]。

2.1 基准值的选取

各个电量的基准值选取应服从功率方程和欧姆定律^[11],通常以 S_B 、 U_B 表示基准容量和基准电压,基准电流 I_B 和基准阻抗 Z_B 分别通过式(1)、式(2)求得,即

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

$$Z_B = \frac{U_B^2}{S_B} = X_B \quad (2)$$

三相对称系统中,不管是Y接线还是D接线,

任何一点的线电压(或线电流)的标幺值与该点的相电压(或相电流)的标幺值相等,且三相总功率的标幺值与每相的功率标幺值相等。故:采用标幺值时,对称三相电路完全可以用单相电路计算。

2.2 不同基准值的标幺值之间的转换

已知发电机、变压器的额定容量 S_N 、额定标幺值阻抗 X_{dN}'' 、 $U_{KN}\%$,用式(3)、式(4)计算基于基准值的标幺值阻抗,即

$$X_{dB}'' = X_{dN}'' \times \frac{S_B}{S_N} \quad (3)$$

$$X_{TB} = \frac{U_{KN}\%}{100} \times \frac{S_B}{S_N} \quad (4)$$

2.3 确定计算条件及绘制等效电路图

短路计算的条件根据系统运行方式、短路地点、短路类型和短路后采取的措施进行确定。其中系统运行方式是指系统中投入的发电、输电、变电和用电设备的多少以及它们之间的连接情况。而短路点的选取应遵循使被选择设备通过的短路电流最大的原则。图2为某厂计算电路图,图2中K1、K2、K3和K4为不同电压母线的短路点。

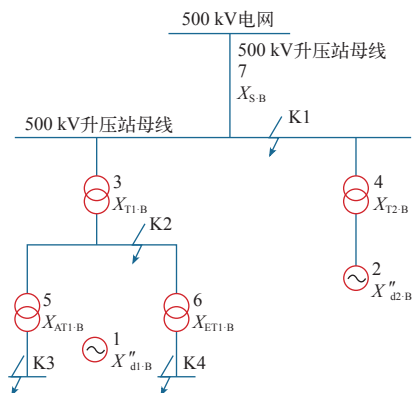


图2 某厂计算电路图

对短路点K1短路阻抗进行归算前,绘制K1短路点对应等效电路如图3所示。

对短路点K2短路阻抗进行归算前,绘制K2短路点对应等效电路如图4所示。

短路点K3、K4等效电路图绘制方法与K1、K2

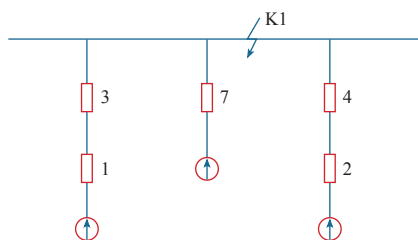


图3 K1短路点等效电路图

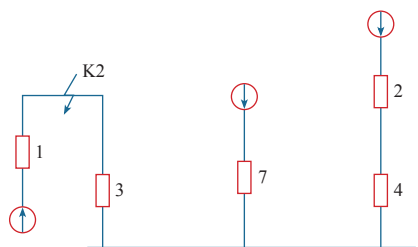


图4 K2短路点等效电路图

点类似。

2.4 不同故障类型的短路电流计算

根据文献[12]中对三相交流系统短路电流计算条件及计算方法的规定，对短路点不同类型故障的等效电抗进行归算，从而计算不同故障类型下的短路电流。

2.4.1 三相对称短路电流计算

对于三相对称短路故障，其短路电流的计算可简化为单相电路进行计算。三相对称短路故障电流按照式（5）计算

$$I_{K-B}^{(3)} = \frac{1}{X_{\Sigma-B}} \quad (5)$$

式中， $X_{\Sigma-B}$ 、 $I_{K-B}^{(3)}$ 分别为归算至短路点的等效电抗、三相短路故障电流（基于基准值的标幺值）。

2.4.2 不对称短路电流计算

对于不对称短路故障，其短路电流计算采用对称分量法，将不对称三相系统分解成三个对称系统^[13]（正序、负序和零序）。对于两相故障、单相故障电流分别按照式（6）、式（7）计算

$$I_{K-B}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{1}{X_{\Sigma-B}} \quad (6)$$

$$I_{K-B}^{(1)} = \frac{1}{X_{1\Sigma-B} + X_{2\Sigma-B} + X_{0\Sigma-B}} \quad (7)$$

式中， $X_{1\Sigma-B}$ 、 $X_{2\Sigma-B}$ 、 $X_{0\Sigma-B}$ 、 $I_{K-B}^{(2)}$ 和 $I_{K-B}^{(1)}$ 分别为归算至短路点的正、负、零序等效电抗，两相故障和单相故障电流（基于基准值的标幺值）。

3 基于PSASP的短路计算建模

在PSASP程序包的图模一体化建模环境中，绘制某厂主接线图，其发电机、主变压器、高压厂用变压器和励磁变压器均可应用基础数据库中现成的模型。而在进行短路计算之前，电网部门已明确提供了系统最大、最小运行方式下的正负序、零序等效电抗，因此在进行本厂短路计算建模时不能再按照习惯将系统看成无穷大的分析方式。那么，在系统侧建模时，需要综合考虑系统侧的物理模型，确保可以方便地实现系统最大、最小运行方式、三相对称和不对称故障时的等效电抗切换。

经过对不同运行及故障方式的分析研究，提出了以两个发电机—变压器串联单元分别代表系统最大、最小运行方式时等效物理模型的方法，完成对本厂短路计算的建模。图5为某厂基于PSASP的短路计算模型示意图。

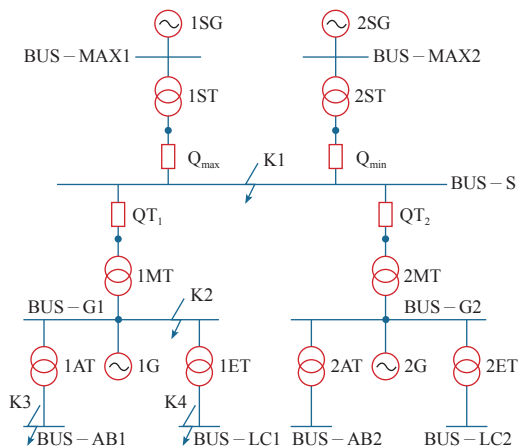


图5 某厂基于PSASP的短路计算模型示意图

图5中，1SG、1ST串联回路为系统最大运行方式下的正负序、零序等效物理模型，2SG、2ST串联回路为系统最小运行方式下的正负序、零序等效物理模型； Q_{max} 、 Q_{min} 为系统最大、最小运行方式切换开关， QT_1 、 QT_2 为本厂最大、最小方式切换开关。

系统等效模型的参数根据式(8)、式(9)设置

$$\begin{cases} S_{1SG.n} = P_{1SG.n} = S_{1ST.n} = S_B \\ X_{1SG.d}'' + X_{1ST.1} = X_{S1.max} \\ X_{1ST.0} = X_{S0.max} \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} S_{2SG.n} = P_{2SG.n} = S_{2ST.n} = S_B \\ X_{2SG.d}'' + X_{2ST.1} = X_{S1.min} \\ X_{2ST.0} = X_{S0.max} \end{cases} \quad (9)$$

PSASP进行短路计算时,不考虑负荷模型的影响,采用基于方案的计算方式^[14]。系统最大运行方式下短路计算时,切换开关Q_{max}、QT₁和QT₂合闸,Q_{min}分闸;系统最小运行方式下短路计算时,切换开关Q_{min}、QT₁合闸,Q_{max}、QT₂分闸。

4 应用实例及计算分析

4.1 计算参数

某厂与电网系统通过500 kV升压站相连,电网部门提供的系统参数包含系统最大运行方式下正负序等效电抗、零序等效电抗和系统最小运行方式下正负序等效电抗、零序等效电抗,如表1所示。

表1 电网参数

	正负序等效电抗/ Ω	零序等效电抗/ Ω
最大运行方式	0.003 28	0.004 39
最小运行方式	0.007 23	0.007 67
基准值	$S_B = 100 \text{ MV} \cdot \text{A}$	$U_B = 525 \text{ kV}$

某厂电气设备主要包括发电机、主变压器、高压厂用变压器和励磁变压器,其主要参数如表2所示。

表2 发电厂电气设备参数

项目	参数	项目	参数
发电机额定容量/ $\text{MV} \cdot \text{A}$	564.7	发电机额定功率/MW	480
发电机额定电压/kV	21.5	发电机次暂态电抗(%)	24.1
发电机负序电抗(%)	23.9	发电机零序电抗(%)	14.2
主变压器容量/ $\text{MV} \cdot \text{A}$	580	主变压器额定电压/kV	525/21.5
主变压器短路阻抗(%)	18	主变压器联结组	YNd11
高压厂用变压器容量/ $\text{MV} \cdot \text{A}$	25	高压厂用变压器额定电压/kV	21.5/6.3
高压厂用变压器短路阻抗(%)	13	高压厂用变压器联结组	Dyn11
励磁变压器容量/ $\text{MV} \cdot \text{A}$	5.85	励磁变压器额定电压/kV	21.5/0.9
励磁变压器短路阻抗(%)	8	励磁变压器联结组	Yd11

4.2 传统方法短路计算结果

根据本文上述介绍的计算方法,分别计算某厂在系统最大、最小运行方式下短路点K1、K2、K3和K4的对称三相短路、不对称短路电流结果(基于基准值的标么值)如表3所示。

表3 某厂传统方法短路计算结果(标么值)

短路点	最大方式三相			最小方式两相			最小方式单相
	总	发电机供	系统供	总	发电机供	系统供	
K1	331.9	13.56	304.7	151.9	11.74	—	155.4
K2	52.71	23.42	29.29	—	23.42	22.65	—
K3	1.85	—	—	1.60	—	—	0.065
K4	0.72	—	—	0.62	—	—	—

4.3 PSASP程序计算结果

根据本文上述介绍的基于PSASP建模的短路计算方法,分别计算某厂在系统最大、最小运行方式下短路点K1、K2、K3和K4的对称三相短路、不对称短路电流结果(基于基准值的标么值)如表4所示。

表4 某厂基于PSASP建模的短路计算结果(标么值)

短路点	最大方式三相			最小方式两相			最小方式单相
	总	发电机供	系统供	总	发电机供	系统供	
K1	332.0	13.57	304.9	151.5	12.02	—	155.3
K2	52.72	23.43	29.29	—	23.43	22.65	—
K3	1.86	—	—	1.60	—	—	0.064
K4	0.72	—	—	0.62	—	—	—

4.4 两种方法计算结果比较

根据表3、表4,某厂两种不同方法的短路计算结果基本吻合,各组对应数据中,K1点最小方式两相短路电流(发电机提供)误差率最大,为-2.4%。分析误差产生主要原因^[15-16]有:

1) 人工计算时,对于主变压器、高压厂用变压器和励磁变压器的电压比按标准电压比考虑;而采用PSASP建模时相应变压器按实际分接头位置计算电压比。这是两种计算方法产生误差的重要原因之一。

2) PSASP中元件模型带来的误差。例如,高压厂用变压器为分裂变压器,在PSASP中没有现成的元件模型,建模时采用双绕组变压器进行代替,从而引入了误差。在以后进行准确计算时,

可以用三绕组变压器元件作为分裂变压器模型，通过合理的参数归算，减小元件模型带来的计算误差。

3) 用PSASP建模进行短路计算时, 采用基于方案的计算方式, 未考虑系统潮流对母线电压的影响, 造成计算误差。基于PSASP建模的短路计算用于工程实际时, 可将系统潮流方式考虑进去, 采用基于潮流的计算方式, 可使计算结果更接近实际, 以减少计算误差。

5 结束语

根据应用实例及计算分析可知,本文提出的基于PSASP建模的典型发电厂短路电流计算结果准确、可信;以PSASP基础数据库中发电机、变压器模型串联并适当设置参数后作为电网的等效物理模型是可行的。

基于PSASP建模的典型发电厂短路电流计算方法经推广应用后,可以大大减轻发电厂短路计算的人工计算工作量,提高工作效率,同时降低人工计算所带来的出错机率,提高计算准确度。

参考文献

- [1] 毕兆东, 王宁, 夏彦辉, 等. 基于动态短路电流计算的继电保护定值在线校核系统 [J]. 电力系统自动化, 2012, 36 (7): 81-85.
- [2] 张树华, 方富淇. 电力系统可视化短路电流计算 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2001, 13 (5): 69-72.
- [3] 余晓丹, 周树堂, 余国平, 等. 两种实用短路计算方法分析 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2006, 18 (4): 108-112.
- [4] 戴志辉, 王增平. 继电保护可靠性研究综述 [J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38 (15): 161-167.

- [5] 潘忠美, 康小宁, 余健明, 等. 电力系统任意复杂故障的计算方法研究 [J]. 西安理工大学学报, 2008, 24 (2): 238-241.
- [6] 杨海林. 电力系统短路电流计算程序的改进 [J]. 青海电力, 2004, 23 (2): 37-39.
- [7] 钟慧荣, 蒋秀洁. PSASP在电力系统分析实验教学中的应用 [J]. 实验科学与技术, 2008, 6 (6): 72-75.
- [8] 张鹏, 郭永基. 电气主接线可靠性评估的区间方法 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28 (19): 48-52.
- [9] 陈尚发. 大型发电厂电气主接线优化方案的研究 [J]. 电力建设, 2006, 27 (8): 23-36.
- [10] 刘万顺. 电力系统故障分析 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2010: 34-213.
- [11] 高春如. 大型发电机组继电保护整定计算与运行技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2006: 2-32.
- [12] 周念成, 罗艾青, 王强钢, 等. 含多感应发电机的配电网短路计算对称分量法 [J]. 电力系统自动化, 2013, 37 (11): 65-70.
- [13] 田华, 王卿, 朱峰, 等. 基于PSASP程序的短路电流计算结果分析比较探讨 [J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38 (1): 56-60.
- [14] 姚玉斌, 晋文转, 宋学清, 等. 影响电力系统短路计算结果的原因分析 [J]. 电力系统保护与控制, 2006, 34 (11): 12-16.
- [15] 王晓蔚, 石振刚, 杨潇, 等. 基于PSASP的短路计算分析 [J]. 电气传动自动化, 2010, 32 (2): 57-60.
- [16] 黄彦浩, 施浩波, 安宁. IEC 60909标准与PSASP短路计算的比较研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (15): 69-74.

(收稿日期: 2015-03-13) **EA**

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告