

10 kV 系统单相接地过电压的仿真计算

夏小飞, 许 飞

(广西电网公司电力科学研究院, 广西 南宁 530023)

摘要: 利用 ATP 电磁暂态仿真计算程序, 对影响过电压的各种因素进行了理论分析, 并根据变电站的实例和数据参数建立了仿真计算模型, 针对影响配电网过电压的几个因素分别进行了仿真。仿真数据表明单相接地过电压受燃弧时刻、电弧电阻、故障距离和系统对地电容的影响各不相同, 其中燃弧时刻对过电压的影响最明显, 电弧电阻的影响次之, 故障距离和系统对地电容对过电压的影响较小。

关键词: 配电网; 单相接地; 仿真; 故障相电压; 过电压

中图分类号: TM 86

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2010)09-0075-02

在中性点不接地的配电网中, 当发生间隙性电弧接地故障时, 会产生遍及全电网的电弧接地过电压^[1]。这种过电压的大小与系统参数、电弧熄灭时间等因素有关^[2], 本文采用 ATPdraw 程序, 以某变电站的 10 kV 系统为例, 对间歇性电弧接地过电压进行了仿真计算。

1 仿真模型建立

以某变电站的 10 kV 系统为研究对象, 电容电流 20~75 A, 等值对地电容 2.600 3~9.751 1 μF ; 电源漏感 0.351 5~1.054 4 mH; 系统额定电压 10 kV。

间歇性电弧接地过电压的仿真计算模型见图 1 (图中 X0001 等为仿真中设置的节点号, ∇ 、 $\square$ 为电压、电流探头图标)。给系统供电的交流电源经变压器送至配电网母线, 配电网电源的中性点不接地, 母线接阻抗值(RLC)模拟 $n-1$ 路出线的对地电容, 母线还接有避雷器(MOV)模型, 另一路线用架空线(LCC)模拟, 以便于模拟系统单相接地。在模拟接地的开关下侧接有电阻, 用以模拟弧道和接地电阻, 取 0~15 Ω 。计算步长取 1 μs 。

系统发生单相接地会使系统产生过渡过程, 造成系统电压升高^[3], 单相接地的电弧熄灭, 又会产生

电弧接地过电压, 这种过电压可用高频熄弧理论和工频熄弧理论进行分析^[4]。在仿真计算中亦按这 2 种分析理论进行仿真。根据接地电流的高频过零点^[5], 分别假定高频电流第 1 次(第 2 次)过零点熄弧、故障相电压为最大值时对地燃弧, 计算系统的相对地电压和相间电压及考虑系统对地电容参数^[6]、电源漏抗^[7]、接地电阻^[8]的影响。同样根据接地电流的工频过零点, 假定工频电流过零熄弧、故障相电压为最大值时对地燃弧, 计算系统的过电压^[9]。

2 对各影响因素的仿真计算

假定系统 A 相发生接地故障, 短路故障点距变电站距离为 0.4 km; 对地发生燃弧的相位, 即电路模型中开关合闸时间(即燃弧时刻) t_{cl} 分别设为 5.0 ms、5.7 ms、5.8 ms、6.0 ms、6.6 ms、7.5 ms、10.0 ms 7 个时刻, 其中 90° 对应 A 相电压的最大值; 而熄弧时间 t_{cp} 设为 1 s。计算结果见表 1(表中 U_{cm} 为最大过电压峰值, D 为过电压倍数, 下同)。

由表 1 的数据可知, 由于 LC 回路振荡的原因, 单相接地引起的非故障相过电压最大值并非发生在 A 相电压最大值对应的相位 90°, 而是在峰值(5.0 ms)附近的 5.8 ms 处, 出现过电压最大值为 21.4 kV, 之后又慢慢变小。若在 A 相电源过零时发生接地故障, 非故障相上出现的最大过电压为线电压^[10]。

系统单相接地过电压与接地电阻的关系如表 2

表 1 系统单相接地过电压与燃弧时刻的关系

Tab.1 Relationship between single-phase grounding overvoltage and arc occurrence instant

t_{cl}/ms	U_{cm}/kV	D	t_{cl}/ms	U_{cm}/kV	D
5.0	20.591	2.52	6.6	20.866	2.56
5.7	20.866	2.56	7.5	18.705	2.29
5.8	21.400	2.62	10.0	14.125	1.73
6.0	21.393	2.62			

注: 电源漏感取 0.351 5 mH; 弧道电阻取 1 Ω ; 系统等值对地电容取 2.600 3 μF 。

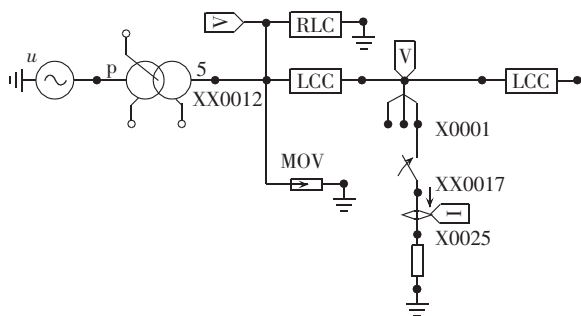


图 1 电弧接地过电压仿真计算模型

Fig.1 Simulation model for arc grounding overvoltage

所示,表中 R 为接地电阻。

表 2 系统单相接地过电压与接地电阻的关系

Tab.2 Relationship between single-phase grounding overvoltage and earthing resistance

R/Ω	U_{cm}/kV	D	R/Ω	U_{cm}/kV	D
0	21.654	2.650	8	15.900	1.947
1	20.591	2.521	15	14.700	1.800
5	17.464	2.138			

注:电源漏感取 0.351 5 mH;燃弧相位取 90° ;系统等值对地电容取 2.600 3 μF 。

由表 2 数据可知,接地电阻变大,过电压倍数呈下降趋势,这是因为回路中的电阻能够衰减振荡过程,所以过电压倍数变小^[12]。

系统单相接地过电压与对地电容的关系如表 3 所示,表中 C_d 为系统对地电容。

表 3 系统单相接地过电压与对地电容的关系

Tab.3 Relationship between single-phase grounding overvoltage and earthing capacity

$C_d/\mu F$	U_{cm}/kV	D	$C_d/\mu F$	U_{cm}/kV	D
2.600 3	20.591	2.521	8.000 0	20.420	2.500
5.000 0	20.524	2.514	9.751 1	20.368	2.495

注:电源漏感取 0.351 5 mH;燃弧相位取 90° ;弧道电阻取 1 Ω 。

由表 3 数据分析可知,系统对地电容变大,过电压倍数呈较明显的下降趋势。

系统单相接地过电压与短路故障点距变电站距离的关系如表 4 所示,表中 L_g 为故障点与电站的距离。

表 4 系统单相接地过电压与短路故障点与变电站距离的关系

Tab.4 Relationship between single-phase grounding overvoltage and fault distance

L_g/km	U_{cm}/kV	D	L_g/km	U_{cm}/kV	D
0.4	20.591	2.521	5.0	21.714	2.659
1.0	20.172	2.470	8.0	21.487	2.632

注:电源漏感取 0.351 5 mH;燃弧相位取 90° ;弧道电阻取 1 Ω ;系统等值对地电容取 2.600 3 μF 。

由表 4 中数据分析可知,短路故障点距变电站距离对故障产生最大过电压影响很小。

单相接地短路时,最大相间过电压与对地电容的关系如表 5 所示,表中 U_{qm} 为最大相间过电压峰值。

表 5 单相接地短路时最大相间过电压与对地电容的关系

Tab.5 Relationship between inter-phase overvoltage and system-to-ground capacity during single-phase grounding fault

$C_d/\mu F$	U_{qm}/kV	D	$C_d/\mu F$	U_{qm}/kV	D
2.600 3	17.250	1.220	8.000 0	17.684	1.250
5.000 0	17.331	1.225	9.751 1	17.703	1.252

注:电源漏感取 0.351 5 mH;燃弧相位取 90° ;弧道电阻取 1 Ω 。

在表 5 中,最大相间过电压倍数所对应的基准值是线电压的峰值,即 $10\sqrt{2}$ kV。由表 5 中数据可知,对地电容变大,相间过电压倍数有上升趋势,但上升幅度较小。

3 结论

根据上述针对 10 kV 系统进行的单相接地引起过电压的仿真计算,对得出的计算数据进行分析可知:

a. 由于系统回路振荡和参数的配合,单相接地引起的非故障相过电压最大值并非发生在 A 相电压最大值对应的相位 90° ,而是在峰值稍过时出现最大过电压,之后又慢慢变小,在 A 相燃弧相位为 180° ,即 10 ms 处,单相接地引起的非故障相的过电压为线电压;

b. 电弧通道等效接地电阻对过电压影响较大,接地电阻变大,则最大过电压数值变小,这是因为电阻在 LC 振荡回路中能抑制振荡,引起衰减,所以最大过电压会变小;

c. 系统等效对地电容变大,振荡频率变小,所以消耗的能量变小,故最大相间过电压变大,但变化幅度较小;

d. 单相接地点与变电站距离对最大过电压的影响较小^[13]。

参考文献:

- [1] 陈维贤. 电网过电压教程[M]. 北京:中国电力出版社,1995:37.
- [2] 解广润. 电力系统过电压[M]. 北京:水利电力出版社,1988:43.
- [3] 李谦. 配电网间歇性电弧接地过电压抑制措施的仿真研究[J]. 电网技术,1994,18(5):42-44.
LI Qian. Simulation and analysis of overvoltage caused by arc caused by single-phase earth fault in distribution network [J]. Power System Technology, 1994, 18(5): 42-44.
- [4] 丘东明. 10 kV 配电网弧光接地过电压的仿真研究[D]. 重庆:重庆大学电气工程学院,2003.
QIU Dongming. Simulation and analysis of overvoltage caused by arc caused by single-phase earth fault in 10 kV distribution network[D]. Chongqing:Chongqing University, 2003.
- [5] 王艳松,解飞. 配电网单相接地故障的仿真分析[J]. 高电压技术, 2008, 34(1):43-44.
WANG Yansong, XIE Fei. Simulation and analysis of single-phase to ground fault distribution networks[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(1): 43-44.
- [6] 颜湘莲,陈维江,贺子鸣. 10 kV 配电网单相接地故障电弧自熄特性的试验研究[J]. 电网技术, 2008, 32(8):28-29.
YAN Xianglian, CHEN Weijiang, HE Ziming. Experimental research on self-extinction behavior of arc caused by single-phase earth fault in 10 kV distribution network[J]. Power System Technology, 2008, 32(8): 28-29.
- [7] 邢金友. 电流接地系统单相接地故障判断和处理[J]. 煤炭技术, 2009, 28(9):48-49.
XING Jinyou. Fault judge and processing of single-phase ground in current ground system[J]. Coal Technology, 2009, 28(9): 48-49.
- [8] 刘云. 中性点经电阻接地系统单相接地故障稳态性分析[J]. 内江职业技术学院学报, 2009, 35(1):43-44.
LIU Yun. The analyse of neutral grounding system resistance single-phase ground fault steady-state[J]. Journal of Neijiang Vocational & Technical College, 2009, 35(1): 43-44.
- [9] 杜凌云. 城市配网中性点接地方式的选择[J]. 湖北电力, 2008, 32(3):24-25.
DU Lingyun. The selection of neutral point grounding mode for urban distribution network[J]. Hubei Electric Power, 2008, 32(3): 24-25.

[10] 王中旗,张建军,秦国防. 城网 10 kV 电力系统中性点接地方式的研究[J]. 济源职业技术学院学报,2009,8(3):28-29.
WANG Zhongqi,ZHANG Jianjun,QIN Guofang. Study on the neutral point grounding modes of 10 kV electric power system in urban network[J]. Journal of Jiyuan Vocational & Technical College,2009,8(3):28-29.

[11] 刘明岩. 配电网中性点接地方式的选择[J]. 电网技术,2004,28(16):86-89.
LIU Mingyan. Selection of neutral grounding modes in power distribution network[J]. Power System Technology,2004,28(16):86-89.

[12] 陈章潮,顾洁. 配电网规划及自动化(五)第五讲配电网中性点接地方式[J]. 电网技术,1996,20(1):59-61.
CHEN Zhangchao,GU Jie. Planning and automation of power

distribution network[J]. Power System Technology,1996,20(1):59-61.

[13] 林海雪. 电力系统的三相不平衡[M]. 北京:中国电力出版社,1998:47.

(责任编辑: 柏英武)

作者简介:

夏小飞(1981-),男,湖北鄂州人,工程师,硕士研究生,主要从事电力系统过电压试验与研究工 作 (E-mail: whuxf@sina.com);

许 飞(1978-),男,湖北宜昌人,工程师,硕士研究生,主要从事电力系统过电压试验与研究工 作。

Simulative calculation of 10 kV network single-phase grounding overvoltage

XIA Xiaofei,XU Fei

(Guangxi Power Test & Research Institute,Nanning 530023,China)

Abstract: The various factors causing overvoltage are theoretically researched with ATP(Alternative Transient Program) and the simulation model is established according to the data of a real substation. Several factors causing distribution network overvoltage are simulated;arc occurrence instant,arc resistance,fault distance, system-to-ground capacitance. Results show that their influences on single-phase grounding overvoltage are different;the arc occurrence instant has the greatest influence and the arc resistance has less influence, while the fault distance and system-to-ground capacitance have the least influence.

Key words: distribution network; single-phase grounding; simulation; faulty phase voltage; overvoltage