

配电网灵活接地方式运行特性的仿真研究

马勇¹, 魏旭¹, 周志成¹, 付慧¹, 陶风波¹, 陈俊武²

(1. 江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103;

2. 华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 为降低系统过电压水平, 减少线路跳闸率, 配电网中逐渐应用了消弧线圈并联小电阻接地方式。文中在 PSCAD 中建立灵活接地方式的配电网模型, 包括电弧接地故障模型和故障多次重复计算模型等, 从故障类型、小电阻并入时间和故障发生时刻等方面, 利用所建模型对灵活接地方式下系统电压进行了仿真计算。结果表明, 可根据故障相电压波形对故障类型进行判断, 在中性点电压为 0 左右时并入小电阻系统过电压最小。

关键词: 灵活接地; 单相接地故障; 过电压; PSCAD 仿真

中图分类号: TM76; TM862

文献标识码: B

文章编号: 1009-0665(2011)04-0026-04

配电网中性点接地方式的选择直接影响着系统的安全运行。灵活接地(即消弧线圈并联小电阻)方式集合了消弧线圈和小电阻接地方式的优点^[1-3], 既可以降低系统过电压水平, 提高故障选线准确性, 又可以减少线路跳闸率, 提高系统运行可靠性, 故逐渐应用在配电网中, 特别是在升压改造的老旧线路中, 能提高设备的可利用率。

本文建立配电网仿真模型, 深入分析故障接地电阻值、小电阻并入时间、控制策略对灵活接地方式运行特性的影响, 为灵活接地方式在配电网中的应用提供了参考依据。

1 工作原理

消弧线圈并联小电阻接地方式(即灵活接地方式)由自动调谐消弧线圈、小电阻、控制器等部分组成, 如图 1 所示^[4]。

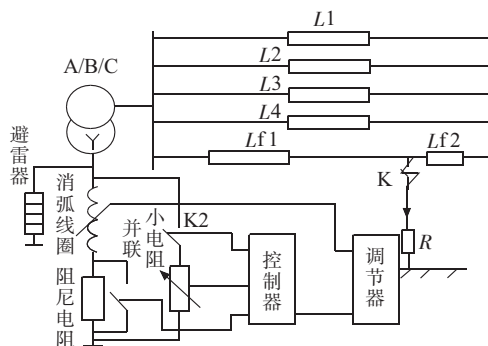


图 1 灵活接地方式结构图

电网正常运行时, 消弧线圈通过中性点与电网相连, 控制器随时计算电网的电容电流, 将消弧线圈调至相应的档位, 小电阻未并入中性点。当发生单相接地故障时, 消弧线圈发挥补偿电网电容电流的作用, 使故障电流减小, 经过一定时间, 瞬时故障消失, 若为永久接地故障, 则并入小电阻, 利用小电

阻抑制过电压, 进而故障选线^[4-6]。

2 仿真模型

对应图 1 在 PSCAD 中建立 20 kV 配电网模型, 采用 110 kV 电源, 变压器的变比为 110/22.2, 线路均为电缆线路, 各线路长度如表 1 所示。

表 1 各线路长度 km

线路	L1	L2	L3	L4	Lf1	Lf2
长度	2.36	3.45	4.82	4.54	4.82	4

直接采用 BREAKERS & FAULTS 模块模拟金属和非金属接地故障, 用 SEQUENCERS 模块模拟间歇性电弧接地中电弧的熄灭和重燃, 用 Multiple Run Component 模块进行不同相位下发生故障的多次的重复性仿真。

通过计算^[1], 线路的电容电流为 59 A 左右。再加上负荷、电源处的对地电容, 实际系统中的电容电流会大于线路电容电流的计算值。消弧线圈直接用电感代替, 通过改变电感的大小改变消弧线圈补偿度, 并联的小电阻取 10 Ω 。

3 灵活接地方式的仿真

灵活接地方式运行的暂态过程一般和以下几个因素有关: 单相接地故障的形式, 短路故障发生时刻, 小电阻的并入时刻以及短路故障相等^[7,8]。

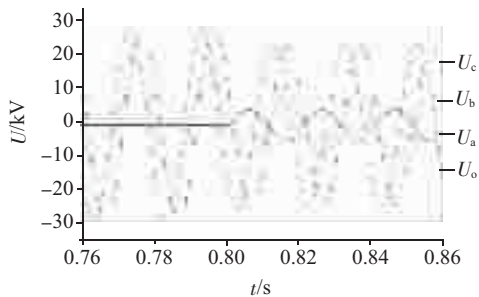
3.1 故障过渡电阻的影响分析

单相接地故障的形式主要有永久金属性接地故障、非金属性接地故障、间歇性弧光接地等^[9]。仿真中金属性接地的故障过渡电阻取 5 Ω , 非金属性接地的故障过渡电阻分别取 100 Ω 和 800 Ω , 间歇性电弧接地的电弧电阻分别取 5 Ω 和 100 Ω 。均假定在 0.3 s 时线路 Lf1 与 Lf2 之间发生 A 相接地故障, 故障发生时 A 相的相位为 0°, 延长一定时间后并入

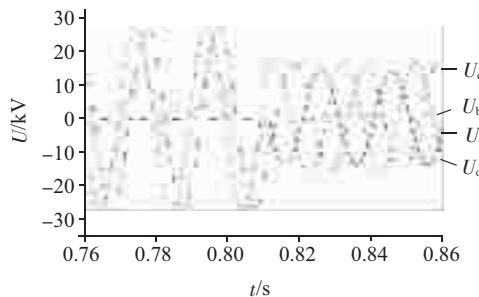
小电阻,仿真结果如表 2 和图 2 所示。其中, U_a, U_b, U_c, U_o 分别为故障点 A,B,C 三相和中性点电压, v 为失谐度, $v=\frac{I_c-I_L}{I_c}$ 。

表 2 不同故障类型在并联小电阻前后系统最大电压标么值($v=-5\%$) p.u.

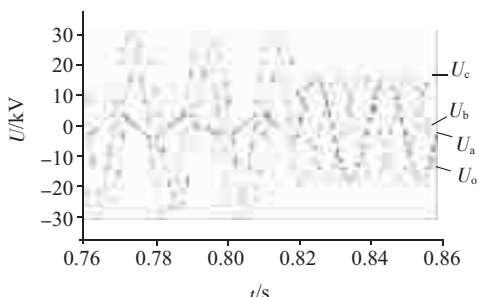
系统最大电压标么值	金属性接地故障	非金属性接地故障			间歇性弧光接地
	$R=5\ \Omega$	$R=100\ \Omega$	$R=800\ \Omega$	$R=5\ \Omega$	$R=100\ \Omega$
并入小电阻之前	1.79	1.80	1.87	3.60	2.06
并入小电阻之后	1.53	1.23	1.17	2.12	1.23



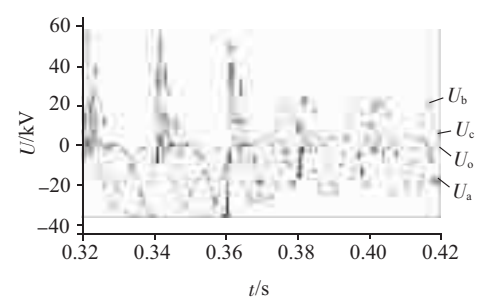
(a)金属性接地故障($R=5\ \Omega$)



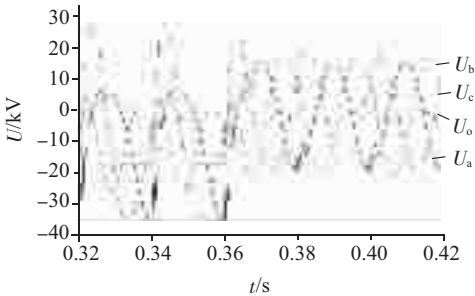
(b)非金属性接地故障($R=100\ \Omega$)



(c)非金属性接地故障($R=800\ \Omega$)



(d)间歇性电弧故障($R=5\ \Omega$)



(e)间歇性电弧故障($R=100\ \Omega$)

图 2 不同故障类型在并联小电阻前后系统电压波形 ($v=-5\%$)

由图 2 和表 2 分析可知:

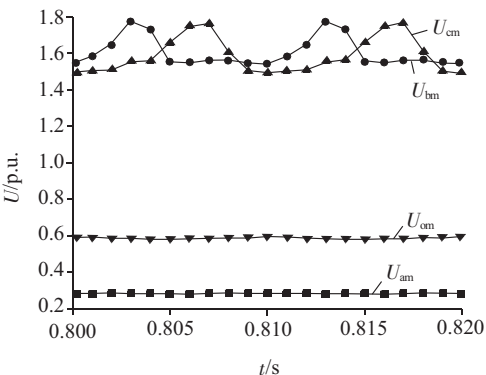
(1) 当故障发生后延时并入小电阻,不同故障类型下的系统过电压均会有明显降低。5 种故障条件下,小电阻的并入可使系统电压降低的范围为 $[0.26\text{ p.u.}, 1.48\text{ p.u.}]$ 。

(2) 发生的故障类型不同,并入小电阻后使系统过电压降低的效果也不同。其中,间歇性弧光接地的故障过渡电阻为 $5\ \Omega$ 时,系统过电压可从 3.6 倍降低到 2.12 倍,效果最为明显,如图 2(d)所示。

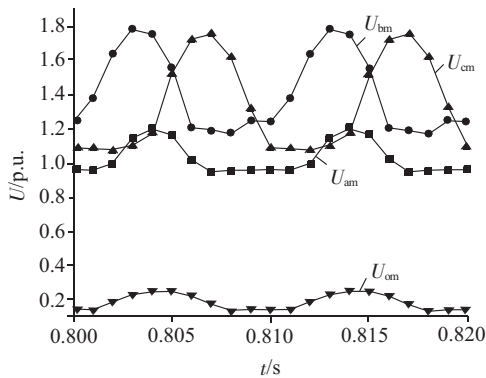
(3) 由于故障过渡电阻的阻尼作用,同种故障类型下,故障过渡电阻越大,系统过电压越小。例如图 2(d)中的电压波形振荡幅度就比图 2(e)要大,电压幅值也高出几乎 2 倍;并入小电阻后,与图 2(b)相比,图 2(c)的中性点电压几乎为 0,波动较小,三相电压接近正常平衡状态。

3.2 小电阻并入时刻的影响分析

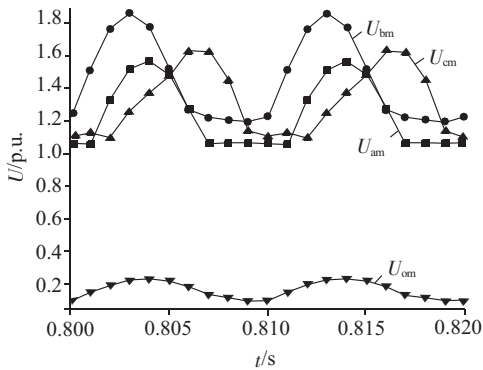
小电阻不同的并入时刻对应着系统电压不同的幅值,因此,小电阻并入时刻的差异也会带来大小不同的过电压。仿真中,同样故障发生时 A 相的相位为 0° ,延长一段时间在一个工频周期内取 20 个时间点并入小电阻,计算每个情况下的系统电压情况,结果如图 3 所示。 $U_{am}, U_{bm}, U_{cm}, U_{om}$ 分别表示并入小电阻后故障点 A,B,C 三相和中性点电压的最大幅值的标么值。



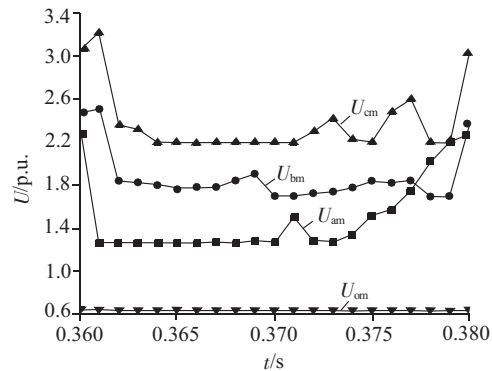
(a)金属性接地($R=5\ \Omega$)



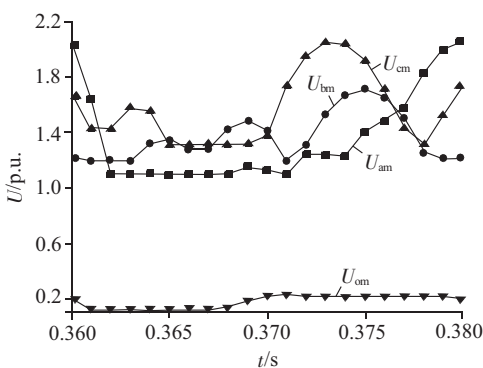
(b) 非金属性接地 ($R=100\ \Omega$)



(c) 非金属性接地 ($R=800\ \Omega$)



(d) 间歇性电弧接地 ($R=5\ \Omega$)



(e) 间歇性电弧接地 ($R=100\ \Omega$)

图 3 系统最大电压倍数与小电阻并入时间的关系 ($\nu=-5\%$)

从图 3 可以看出：

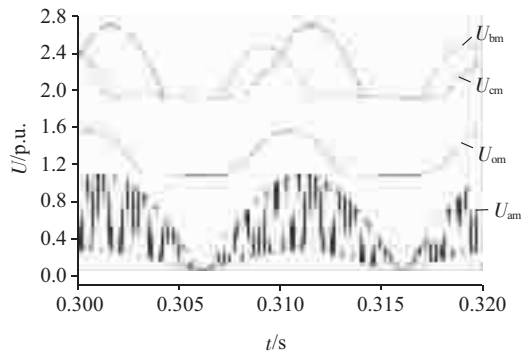
(1) 任何故障下系统过电压大小均受小电阻并入时间的影响,最大电压主要是非故障相的电压,但大小有不同。间歇性弧光接地下的影响最大,金属性

接地故障下的影响最小。其中,电压变化的最大和最小倍数分别为 1.48 倍和 0.26 倍。

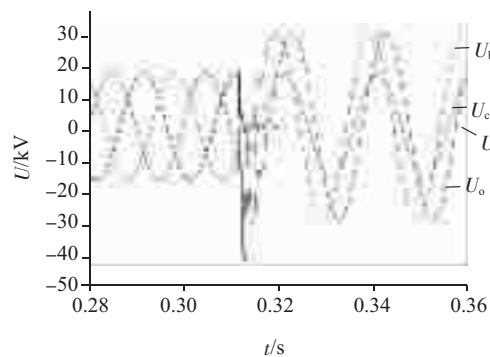
(2) 一个工频周期内不同时间点并入小电阻,系统过电压不同,当中性点电压为 0 时并入小电阻,对系统影响最小,因此,这个时间点的过电压最小。金属性接地故障和非金属性接地故障下中性点电压波形近似正弦波,一个周期内电压为 0 的时刻较少,而间歇性弧光接地故障下,中性点为 0 的时刻较多,因此不同故障类型下能使系统过电压最小的并入时刻差别较大。

3.3 故障发生时刻的影响分析

短路故障发生时刻主要是考虑故障发生时故障相的相位不同带来的影响,这里以金属性接地故障为例进行说明。仿真中故障时间从 0.3 s 开始到 0.32 s,每次增加 0.000 1 s,共仿真 201 次,具体结果如图 4 所示。



(a) 电压最大幅值与故障发生时间关系



(b) 过电压最大时故障点三相和中性点电压波形

图 4 系统过电压最大时电压波形 ($\nu=-5\%$)

在故障相电压为峰值附近时发生金属性接地故障,故障相电压瞬间为 0,非故障相电压振荡很大,高达 4 倍以上^[10]。从仿真结果中可以看出,一个周期内系统过电压最大的时刻有 2 个。改变失谐度,所得到的最大电压倍数的时刻都对应着故障相电压为峰值。

4 控制策略分析

当发生单相接地故障时,关心的主要问题是:故

障类型、并联小电阻的控制等。

故障类型可以通过故障相电压的波形判断,故障相电压波形幅值很小,近似一条水平线的为永久金属性接地故障,故障相电压半个周期为 0,半个周期升高到峰值的为间歇性电弧接地故障,介于两者之间,故障相电压有一定幅值,周期性变化的为非金属性接地故障,电压幅值随着故障过渡电阻的增大而增大。从以上仿真中可以找到使系统过电压幅值最小时所对应的并联小电阻的时刻,这些时刻随着故障初始条件的不同而发生变化,但是都对应着中性点电压为 0,间歇性弧光接地故障时,中性点电压为 0 的时刻较多,但在故障发生后 1/4 周期左右并入可以使系统过电压最小。

在故障相电压为峰值时发生接地故障,系统过电压最大,当中性点电压为 0 时并入小电阻,系统过电压最小。因为小电阻并入后,其上所加电压即为中性点电压,电压越小,带来的影响越小。

由以上分析可知,正常状态下,灵活接地装置中仅消弧线圈与中性点连接,随时跟踪电网调至相应档位;单相接地故障发生时,由于消弧线圈的补偿作用,可使故障电流减小,瞬时故障则消失;若为永久故障,可根据故障相电压波形判断故障类型,金属性接地和非金属性接地故障时,在中性点电压为 0 时并入小电阻,弧光接地故障时,在熄弧时并入小电阻,从而达到降低系统过电压的最佳效果。

5 结束语

(1) 灵活接地方式在不同故障下并入小电阻均会降低系统过电压,故障类型不同,过电压的水平不同,其中间歇性弧光接地故障下效果最好。(2) 小电阻的并入时刻对系统电压最大倍数有影响,虽然不同故障类型,不同故障过渡电阻下会有区别,但在中性点电压为 0 时并入小电阻,带来冲击最小,系统过电压最小,可根据此对灵活接地方式中的小电阻控制。(3) 故障发生的时刻不同,系统过电压大小也不

同,当故障相电压为峰值时发生接地故障,系统过电压最大。

参考文献:

- [1] 要焕年,曹梅月. 电力系统谐振接地[M]. 北京:中国电力出版社,2001.
- [2] 熊信银,张步涵. 电气工程基础[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2005.
- [3] 张同洲. 20 kV 配电网中性点接地方式的选择[J]. 电网技术,2008(S1).
- [4] 陈维江,蔡国雄,蔡雅萍,等. 10 kV 配电网中性点经消弧线圈并联电阻接地方式[J]. 电网技术,2004(24):56-60.
- [5] 张 海. 6~35 kV 电网中性点灵活接地及其控制的研究[D]. 保定:华北电力大学,2006.
- [6] 蔡雅萍. 10 kV 配电网中性点灵活接地方式及接地故障检测系统的研究[D]. 北京:中国电力科学研究院,2002.
- [7] 谢彦斌. 山区 35 kV 电网中性点新型运行方式研究[D]. 重庆:重庆大学,2008.
- [8] 王 杰. 独立电力系统中压电网接地方式和过电压问题研究[D]. 武汉:华中科技大学,2008.
- [9] 韩爱芝,曾定文,鲁铁成. 配电网间歇性电弧接地过电压的仿真分析与对策[J]. 高压电器,2010(1):72-75.
- [10] 张 海,徐玉琴,白 嘉,等. 10 kV 配电网中性点灵活接地方式在单相金属性接地故障下的 ATP 仿真及其研究[J]. 继电器,2006(7):18-23.

作者简介:

马 勇(1986-),男,湖北宝康人,硕士研究生,从事电力系统高压电压工作;

魏 旭(1974-),男,江苏连云港人,高级工程师,从事电力系统过电压和串补装置方面的试验研究管理工作;

周志成(1977-),男,湖南株洲人,高级工程师,从事输电技术、防雷与接地、电力设备状态监测等方面的研究工作;

付 慧(1979-),女,江苏南通人,高级工程师,从事电压分析、输变电设备状态评估等方面的研究管理工作;

陶风波(1982-),男,江苏常州人,工程师,从事过电压分析,输变电设备状态评估等方面的工作;

陈俊武(1964-),男,湖北钟祥人,副教授,从事电力系统过电压、电力设备状态监测与平复等方面的技术研究及教学工作。

Simulation on the Operation Performance of Distribution Grid with Neutral Flexible Grounding

MA Yong¹, WEI Xu¹, ZHOU Zhi-cheng¹, FU Hui¹, TAO Feng-bo¹, CHEN Jun-wu²

(1. Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 211103, China; 2. College of Electrical and Electronics Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: In order to reduce the overvoltage level and the trip rate in power system, the grounding method with arc suppression coil and low resistance in parallel is applied gradually in distribution network. In the paper, the distribution network model with neutral flexible grounding was established in PSCAD, including the arc grounding fault model and repeated calculated fault model. Voltage simulations were carried on from the aspects such as fault type, the time when small resistance into and the fault happen time. The results show that the fault type can be judged by the fault voltage waveform. In addition, the overvoltage is smallest when small resistance is into at the moment that the neutral voltage is 0 around.

Key words: neutral flexible grounding; single phase to earth fault; surge voltage; PSCAD simulation