

[EMTP/ATP]

基于EMTP/ATP的配电网单相接地故障仿真的研究

文/淮南矿业集团张集煤矿 陈孝刚

先分析了小电流接地系统单相接地故障的特征，进一步采用EMTP/ATP对小电流接地系统进行全面分析，即中性点经消弧线圈接地的系统中发生金属性单相接地故障、经弧光电阻单相接地故障和经高阻单相接地故障的情形。

社会的发展和经济的腾飞，推动着整个市场对电能的需求，对电能的质量也同时有着越来越高的要求。配电网是否安全稳定运行是整个电力系统能否正常运行的关键所在，因为配电网不仅是电力系统不可分割的环节，也是和用户的联系最为紧密的部分，在整个电力系统有着重要的作用。

我国的6~35 kV的电压等级的配电网中，不接地或经消弧线圈接地是该电压等级下配电网的中性点的主要的接地方式，也被称作中性点非直接接地的方式。发生单相接地短路故障时，在这样的系统中接地短路电流比负荷电流要小很多，是因为系统中无法形成短路回路，小电流接地系统的名称也由此而来。在上述的小电流接地系统中，发生单相接地短路故障的概率为80%左右。在发生单相接地故障时，其特点是流过接地点的电流较小，按规程规定可持续运行1~2 h，无需立即跳闸。但是带故障的运行时间太长带来的隐患很大，可能进一步发展为相间短路、三相短路，造成更加严重的后果，会对整个系统造成威胁。因

为非故障相电压会上升为线电压，此时对地继续升高会导致弧光过电压。这个时候，电网的运行维护人员就一定要尽快找出短路线路，并且及时采取措施。结合上述的内容，小电流接地系统发生单相接地短路故障时故障线路的选择基本上就是这样的一个过程。

能否正确选线一直是小电流接地系统发生单相接地时的一个挑战，也是电力系统面临的难题。长期以来，基于不同的原理的大量研究和办法都进行了不少，选线装置的更新换代也经历多次，面对不断提高的选线准确性，但是，选线装置的错误判断率较高等问题也不容忽视，这也是直到现在该课题仍是国内外研究的热点的重要原因，也是电力系统急需解决的问题。

综上所述，研究单相接地选线方法以及其相应的仿真对于提高供电的可靠性、电网运行的稳定性具有十分重要的意义。本文先分析了小电流接地系统单相接地故障的特征，进一步采用EMTP/ATP对小电流接地系统进行全面分析。

单相接地故障的特征分析

电力系统中以星形方式连接的变压器和发电机的中性点称之为电力系统中性点。供电可靠性、绝缘水平、电压等级、接地保护方式、内部过电压和系统接线方式等，都是与电力系统息息相关的运行因素。本节中将详细分析小电流接地系统中发生单相接地短路故障时的特征分析，需要说明的是中性点不接地系统研究较多，本文不再赘述，将重点研究中性点经消弧线圈接地时发生单相接地短路的情形。

1. 中性点经消弧线圈接地系统单相接地故障特征分析

在中性点以不接地情况下，在整个配电网系统中的对地电容电流都会从系统的中性点流过。很有可能这个对地电容的总和很大，引起的结果也可能很严重。严重情况下的两点甚至多点的接地故障就会发生，这必然会导致停电事故的发生。这类问题的解决办法，一般的做法就是将合适大小的消弧线圈接入中性点。

对应的装设消弧线圈的规定如下所示：

3~6 kV电网为30 A；10 kV电网为20 A；35 kV电网为10 A。

图1表示的是中性点经消弧线圈接地的系统中，线路2发生A相接地故障的示意图。通过图的分析可知，中性点的位移电压 变为了短路点的零序电压。在分析中不计消弧线圈的电阻值，并且用 L 来表示消弧线圈中的电感值，如果在中性点处接入了消弧线圈之后，电感电流的表达式为：

$$\dot{I}_L = \frac{-E_A}{j\omega L} \quad (1)$$

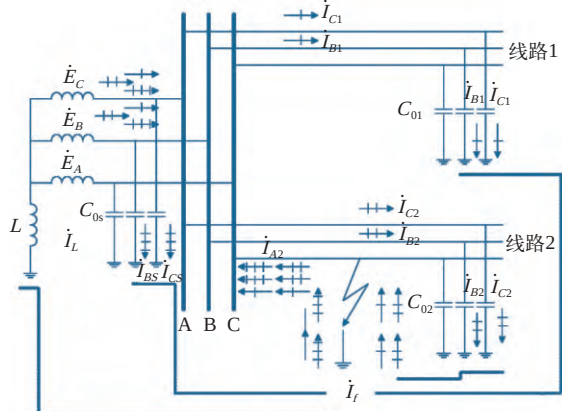


图3所示的为消弧线圈不接地系统发生单相金属性接地的ATP仿真示意图,在该ATP仿真图中中性点接消弧线圈。

非故障线路的三相电流波形如图4所示。

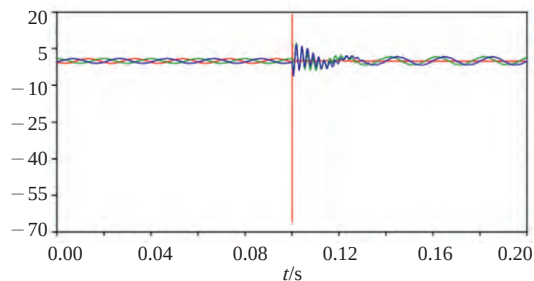


图4 非故障线路的三相电流波形

(file 10 kV经消弧线圈(金属性接地) P14: x-var t)
c: X0011A-X0025A c; X0011B-X0025B c; X0011C-X0025C

由图4可知,故障前正常运行,故障瞬时,A相产生一个非常大的暂态冲击电流,暂态过程结束进入稳态过程,A相电流变为零,BC两相电流明显升高。

故障线路的三相电流波形如图5所示。

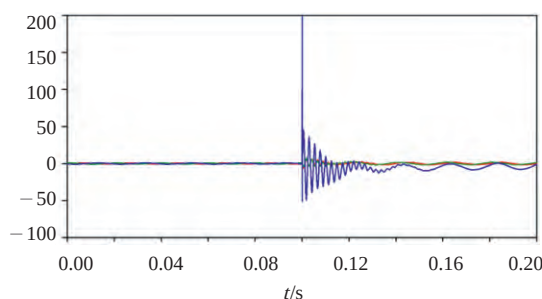


图5 故障线路的三相电流波形

(file 10 kV经消弧线圈(金属性接地) P14: x-var t)
c: X0011C-X0001C c; X0011B-X0001B c; X0011A-X0001A

由图5可知,故障前正常运行,故障瞬时,A相产生一个非常大的暂态冲击电流,暂态过程结束进入稳态过程,A相电流明显升高,BC两相电流幅值变化不大。

接地点电流波形如图6所示。

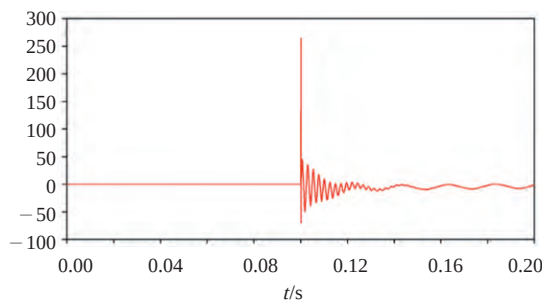


图6 接地点电流波形

(file 10 kV经消弧线圈(金属性接地) P14: x-var t)
c: XX0018-XX0019

如图6所示,故障前正常运行,零序电流为零,故障瞬时,零序电流产生,幅值突增,暂态过程结束,进入稳态过程零序电流周期性变化。

中性电流如图7所示。

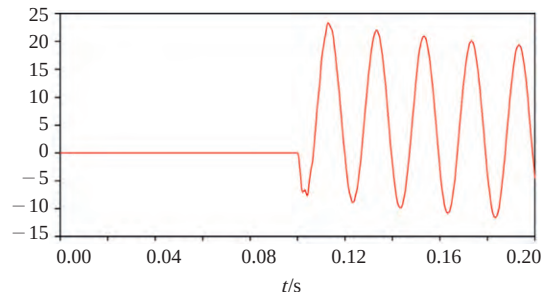


图7 中性电流波形

(file 10 kV经消弧线圈(金属性接地) P14: x-var t)
c: XX0028-XX0021

如图7所示,故障前正常运行,零序电流为零,故障瞬时,零序电流产生,幅值突增,暂态过程结束,进入稳态过程零序电流周期性变化。

(2) 发生弧光单相接地

在该ATP仿真图中的其他元件参数与上节相同,除了断路器改为了由电压和电流控制开合的断路器来模拟弧光接地的过程,如图8所示。

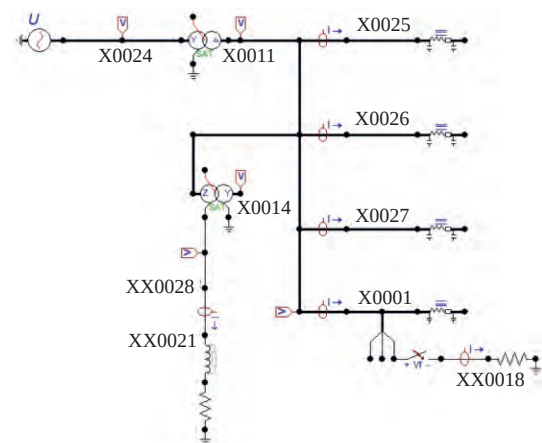


图8 经消弧线圈接地系统发生弧光单相接地的ATP仿真

非故障线路的三相电流波形如图9所示。

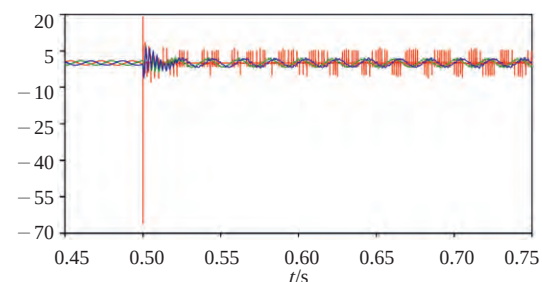


图9 非故障线路的三相电流波形

(file 10 kV经消弧线圈系统(弧光接地) P14: x-var t)
c: X0011A-X0025A c; X0011B-X0025B c; X0011C-X0025C

故障线路的三相电流波形如图10所示。

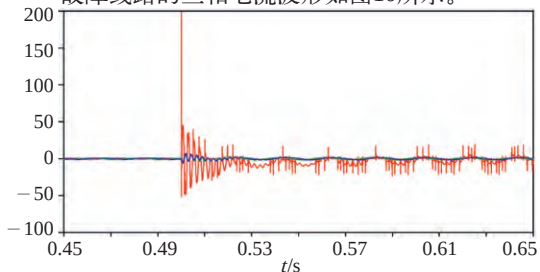


图10 障线路的三相电流波形

(file 10 kV经消弧线圈系统 (弧光接地) P14: x-var t)
c: X0011A-X0001A c: X0011B-X0001B c: X0011C-X0001C

接地点的电流波形如图11所示。

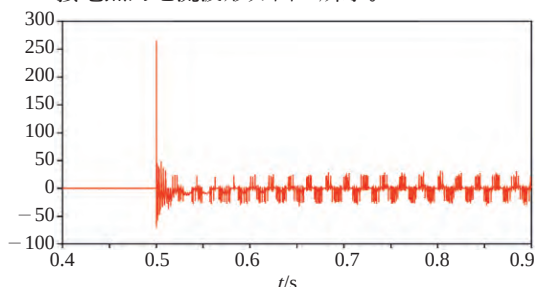


图11 接地点的电流波形

(file 10 kV经消弧线圈系统 (弧光接地) P14: x-var t)
c: XX0019-XX0018

中性点的电流波形如图12所示。

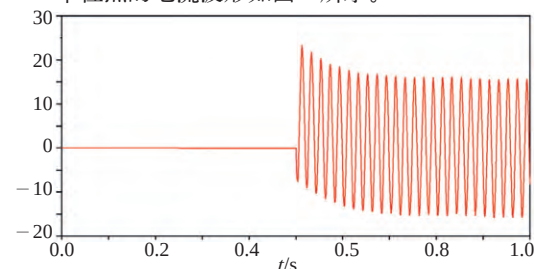


图12 中性点的电流波形

(file 10 kV经消弧线圈系统 (弧光接地) P14: x-var t)
c: XX0028-XX0021

(3) 发生高阻单相接地

如图13所示, 经消弧线圈接地系统中发生高阻单相接地的ATP仿真图, 仿真图中的元件的参数和上节参数一致, 唯一不同的地方是接地电阻的值更大, 变为高阻接地方式。

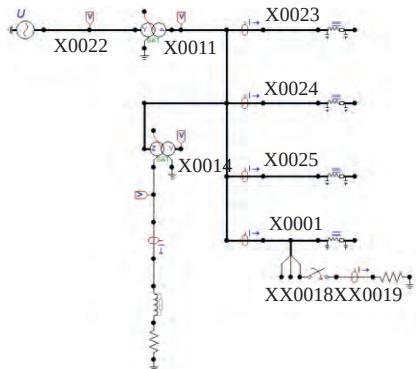


图13 经消弧线圈接地系统中发生高阻单相接地的ATP仿真

非障线路的三相电流波形如图14所示。

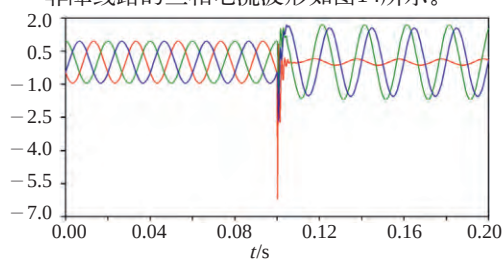


图14 非障线路的三相电流波形

(file 10 kV经消弧线圈系统 (高阻接地) P14: x-var t)
c: X0024A-X0023A c: X0024B-X0023B c: X0024C-X0023C

故障线路的三相电流波形如图15所示。

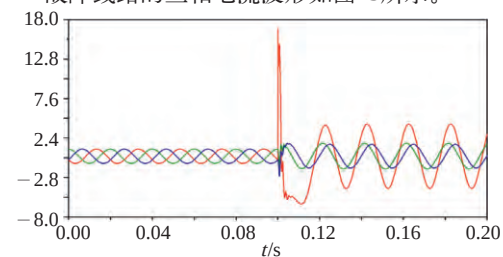


图15 障线路的三相电流波形

(file 10 kV经消弧线圈系统 (高阻接地) P14: x-var t)
c: X0024A-X0001A c: X0024B-X0001B c: X0024C-X0001C

接地点的电流波形如图16所示。

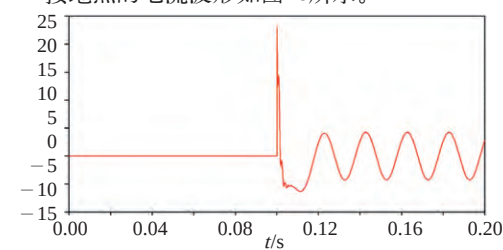


图16 接地点的电流波形

(file 10 kV经消弧线圈系统 (高阻接地) P14: x-var t) c: XX0017-XX0018

中性点的电流波形如图17所示。

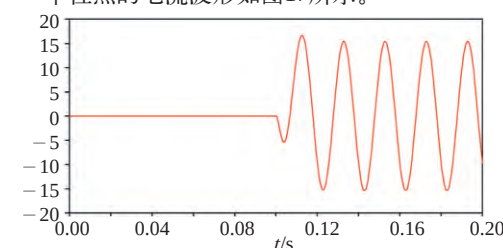


图17 中性点的电流波形

(file 10 kV经消弧线圈系统 (高阻接地) P14: x-var t) c: XX0027-XX0028

结束语

本文先分析了小电流接地系统单相接地故障的特征, 进一步采用EMTP/ATP对小电流接地系统进行全面的分析, 原理清晰, 仿真步骤明确, 仿真结果可靠。本文的研究内容对单相接地选线方法以及其相应的仿真对于提高供电的可靠性、电网运行的稳定性具有十分重要的意义。EA

(收稿日期: 2016.02.27)

(编辑: 白文亭)