

电网变化对零序电流影响定性分析

程小平

(安徽省电力中心调度所, 安徽 合肥 230061)

摘要: 分别讨论了电力系统主要元件如发电机、变压器、线路的投、停对零序电流的影响并给出普遍适用的结论。通过对三序网络的分析,使我们加深了对零序电流实质的理解,对故障时产生的零序电流和零序电压有了更加清楚的认识。在继电保护整定计算和运行管理中做到概念清晰,心中有数,少走弯路,主动而不是被动地适应不断变化的电网要求,本文在此方面将对读者有所帮助。

关键词: 整定计算; 三序网络; 零序电流; 零序电压; 越级跳闸

中图分类号: TM712 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2000)02-0004-03

目前零序电流保护仍然是大电流接地系统中一种重要的保护。零序电流保护装置虽然比距离保护装置原理简单,但零序电流保护比距离保护整定计算要复杂得多。零序电流1段的定值不象距离1段那样一目了然;校验零序电流2段灵敏度的最小零序电流也不象校验距离2段灵敏度的线路长度那样直观简单,而要通过复杂的故障电流计算才能知道。而且零序电流随着电网运行方式变化而变化。这就给零序电流的整定计算及继电保护的运行管理带来繁重的工作量。长期的、大量的整定计算过程数据表明:切除发电机各开关的零序电流都减小;切除中性点直接接地的负荷变压器,变压器切除点的出线本侧开关的正方向零序电流都要减小;出线对侧开关的正方向零序电流都要增大等等。我注意到这些现象很有规律,不象是偶然的巧合,现在关键是这些规律怎样论证?是我从事整定计算实际工作中不断探索的一个问题。下面就分别讨论电网元件如发电机、变压器及线路对零序电流的影响。

1 电源支路对零序电流的影响

1.1 切除发电机

在电网运行中,经常有中性点不直接接地的发变机组要检修,对于整定计算来说切除发电机即切除正序电源。我们知道:零序电流不仅和零序网络有关,还和正序、负序网络有关。在三相对称电网中,零序电流是通过三序网络计算出来的。故障点总的零序、正序、负序等值阻抗分别为 Z_0 、 Z_1 、 Z_2 。在

电力系统中 Z_2 近似等于 Z_1 ,整定计算时取 $Z_2 = Z_1$,单相接地故障时,故障点零序电流为 $I_0 = E / (2Z_1 + Z_0)$;二相接地故障时,故障点零序电流为 $I_0 = E / (Z_1 + 2Z_0)$,切除发电机, Z_1 、 Z_2 均要增加, Z_0 不变,则故障点总的零序电流 I_0 要减小。而零序网络不变,所以每个支路的零序电流都要减小。

所以切除发电机时,无论何处、何种类型接地故障点总的零序电流 I_0 要减小,每条支路的零序电流都要减少。只是减小的程度不一样而已,与发电机切除点越近的支路零序电流影响越大。对于给定的零序电流定值流过该开关的正方向零序电流越小(以下零序电流都是正方向,即只考虑带方向的零序电流保护),灵敏度越低,保护范围越小;反之流过该开关的零序电流越大,灵敏度越高,保护范围越大。由于切除发电机,每条支路的零序电流都要减少。因此要对其附近线路的零序电流要进行保护灵敏度校验,以防止灵敏度下降过多而造成零序保护拒动。但是不存在原有的线路零序电流保护1段越级跳闸问题,因为切除发电机零序电流保护1段保护范围缩小。

1.2 增加发电机

随着基建工程投产,网络可能要新增中性点不直接接地的发变机组。同理可证:增加发电机,无论何处、何种类型接地故障点总的零序电流 I_0 要增大,每条支路的零序电流也都要增大。只是增大的程度不一样而已,与发电机增加点越近的支路零序电流影响越大。因此增加发电机对其附近线路的零序电流1段要进行校验,以防止零序电流1段增加过多而造成零序保护越级跳闸。但是不需要校验原有的线路零序电流保护2段灵敏度,因为增加发电机零序电流保护2段灵敏度肯定提高。

收稿日期: 1999-07-20

作者简介: 程小平(1963-),男,硕士,从事电力系统继电保护整定计算工作。

对于二相相间短路,三相短路时,理论上不产生零序电流,也就不存在正序电源支路变化影响零序电流的问题。

2 切除变压器对零序电流的影响

变压器的类型及接地方式直接影响三序网络参数。若 Y0/ Y0/ (Y0/) 中性点不直接接地的负荷变压器(中、低压侧无电源),它的切除既不影响零序网络,又不影响正序、负序网络;若 Y0/ Y0/ (YD/) 中性点直接接地的负荷变压器,它的切除只影响零序网络,不影响正序、负序网络;若 Y0/ Y0/ 中性点直接接地的变压器中压侧又有电源,它的切除既影响零序网络,又影响正序、负序网络。电力系统中大量使用的是 Y0/ Y0/ 中性点直接接地的负荷变压器,它的切除(如检修时)对各支路零序电流的大小影响如何?下面分不同的故障点来讨论:如图 1、图 2 所示,假设 B 节点只有二台负荷自耦变压器,简化的正序(负序),零序网络图为:

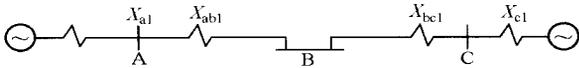


图 1 正负序网络图

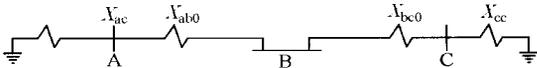


图 2 零序网络图

2.1 在变压器切除点故障

切除 B 节点一台中性点直接接地的变压器 X_0 且在 B 点发生接地故障,单相接地故障时: $I_0 = E / (Z_1 + Z_2 + Z_0)$, 即 $E = I_0 (Z_1 + Z_2) + I_0 \cdot Z_0$ 。

由于切除 X_0 , 故障点总的零序阻抗 Z_0 因少了一条并联电路而增大, I_0 下降。即故障点总的零序电流下降。 Z_1, Z_2 不变, 因而 $I_0 (Z_1 + Z_2)$ 也下降, 而发电机电压 E 在切除 X_0 前后保持不变, 所以 $I_0 \cdot Z_0$ 增加。从单相接地故障复合序网可知: 零序电压为 $U_0 = - I_0 \cdot Z_0$, 所以零序电压绝对值要增大, 保护装置感受的零序电流大小只决定于零序电压绝对值, 零序电压的负号只影响保护装置的零序功率方向。以下零序电压都是指绝对值 ($I_0 \cdot Z_0$)。

二相接地故障时: $I_1 = E / [Z_1 + Z_2 \cdot Z_0 / (Z_2 + Z_0)]$, 即 $E = I_1 \cdot Z_1 + I_1 \cdot Z_0 \cdot Z_2 / (Z_0 + Z_2)$ 。

同理, 切除 X_0 , 零序总阻抗 Z_0 增大, I_1 下降, $Z_1 \cdot I_1$ 减小, 而发电机电压 E 在切除 X_0 前后保持不

变, 从二相接地故障复合序网可知: $U_0 = U_2 = I_1 \cdot Z_0 \cdot Z_2 / (Z_0 + Z_2) = E - Z_1 \cdot I_1$ 增大。即零序电压, 负序电压值都要增大。

由上面分析可见, 无论是单相还是二相接地故障, 切除中性点直接接地的变压器后, 接地故障点总的零序电流 I_0 都要减小, 而故障点的零序电压都要增大。至于每个支路零序电流, 将图 2 故障等效成图 3 可以看出:

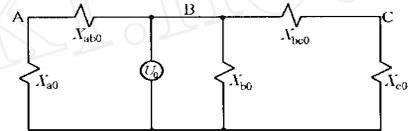


图 3 B 点故障零序电路图

除去和零序电压并联的 X_0 切除外, 其他支路的零序阻抗不变, 所以各支路的零序电流(零序电压除以零序阻抗)都要增大。这并不跟故障点总的零序电流 I_0 减小相矛盾, 因为这时总的零序电流 I_0 中少了 X_0 的零序电流。

2.2 在非变压器切除点故障

上面讨论了在切除变压器的节点发生故障的情况, 那么在其他节点发生故障时情形如何? 例如在图 1 中, A 节点发生故障零序电流的分配可用零序网络图 4 来计算。

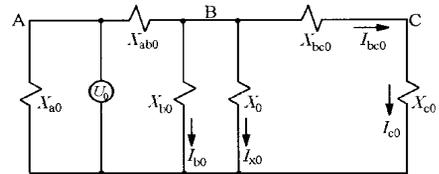


图 4 A 点故障零序电路图

前面已经证明, 无论是单相还是二相接地故障, 切除中性点直接接地的变压器 X_0 后, 无论何处接地故障点总的零序阻抗 Z_0 都要增大, 总的零序电流 I_0 都要减小, 故障点的零序电压 U_0 都要增大。如图 3 中所示: U_0 增大, I_{a0} 增大, 而 I_0 减小, 导致 I_{ab0} 减小, X_{ab0} 上零序压降 U_{ab0} 减小, B 点零序电压 $U_{b0} = U_0 - U_{ab0}$ 增大, 则 I_{b0}, I_{ba0}, I_{a0} 均增大, 这是定性分析。也可用公式定量分析: 令 $X_1 = X_{ab0}, X_2 = X_0 \cdot X_{b0} / (X_0 + X_{b0}), X_3 = X_{bc0} + X_{c0}$,

$$I_{bc0} = \frac{U_0}{X_1 + \frac{X_2 \cdot X_3}{X_2 + X_3}} \cdot \frac{X_2}{X_2 + X_3} = \frac{U_0}{X_1 + X_3 + \frac{X_1 \cdot X_3}{X_2}}$$

切除接地变压器 X_0 , 相当于 X_2 增大, 由上式可见

I_{b0} 也要增大。所以在非变压器切除点发生接地故障时,例如对侧母线A,除故障点到切除变压器母线的支路(AB)零序电流下降外,其他支路(BC、AO、BO、CO)零序电流都要增大。

综合上述分析,可以得到以下结论:变压器切除点的出线本侧开关的正方向零序电流都要减小;出线对侧开关的正方向零序电流都要增大。在继电保护运行整定中,对于零序电流减小的开关需要考虑零序电流灵敏2段是否有足够的灵敏度,以防止拒动;对于零序电流增大的开关需要考虑零序电流1段是否超越,以防止误动。当然,离变压器切除点越远,零序电流变化越小,对于远离故障点的开关就不必过多的考虑了。

以上讨论的是切除中性点直接接地的负荷变压器对各支路零序电流的影响。相反,随着基建工程的投产,有时要增加中性点直接接地的负荷变压器,它对各支路零序电流影响的情况也相反。即变压器增加点的出线本侧开关的零序电流都要增大;出线对侧开关的零序电流都要减小。其它开关零序电流变化的分析原理也和前面一样。

3 切除线路对零序电流的影响

上面讨论了切除中性点不直接接地的发电机组只影响正序、负序网络,使故障点等值正序、负序阻抗增大,零序网络不变,故障点总的零序电流减小,各开关零序电流都减小;切除中性点直接接地的负荷变压器只影响零序网络,使故障点等值零序阻抗增大,正序、负序网络不变,故障点总的零序电流减小,但有的开关零序电流增大,有的开关零序电流减小。切除线路实际上就是切除发电机和中性点直接接地负荷变压器的叠加。不仅影响正序、负序网络,而且影响零序网络。对各开关零序电流大小影响情况就比较复杂,有可能增大,也有可能减小,现分析如下:

单相故障时,线路切除前,在B节点故障时的零序、正序、负序综合阻抗分别为 Z_0 、 Z_1 、 Z_2 , $E = I_0 \cdot (Z_1 + Z_2 + Z_0)$,零序电压 $I_0 \cdot Z_0$ 占全电压E的比例为:

$$\frac{U_0}{E} = \frac{I_0 Z_0}{I_0 (Z_1 + Z_2 + Z_0)} = \frac{Z_0}{2Z_1 + Z_0} \quad (1)$$

切除线路AB后,在B节点故障时的零序、正序、负序综合阻抗 Z_0 、 Z_1 、 Z_2 都要增大, $E = I_0 \cdot (Z_0 + Z_1 + Z_2)$,零序电压 $I_0 \cdot Z_0$ 占全电压E的

比例为:

$$\frac{U_0}{E} = \frac{Z_0}{2Z_1 + Z_0} \quad (2)$$

从(1)、(2)可以推导出如果 $Z_0'/Z_1 > Z_0/Z_1$,则 $U_0 > U_0$

如果 $Z_0'/Z_1 < Z_0/Z_1$,则 $U_0 < U_0$

二相接地故障时,线路AB切除前,在B节点故障时的零序、正序、负序综合阻抗分别为 Z_0 、 Z_1 、 Z_2 , $E = I_1 \cdot Z_1 + I_1 \cdot Z_0 \cdot Z_2 / (Z_0 + Z_2)$,零序电压 $I_1 \cdot Z_0 \cdot Z_2 / (Z_0 + Z_2)$ 占全电压E的比例为:

$$\frac{U_0}{E} = \frac{I_1 \cdot \frac{Z_0 \cdot Z_2}{Z_2 + Z_0}}{I_1 (Z_1 + \frac{Z_0 \cdot Z_2}{Z_2 + Z_0})} = \frac{Z_0}{2Z_0 + Z_1} \quad (3)$$

切除线路AB后,在B节点故障时的零序、正序、负序综合阻抗 Z_0 、 Z_1 、 Z_2 都要增大, $E = I_1 \cdot Z_1 + I_1 \cdot Z_0 \cdot Z_2 / (Z_0 + Z_2)$,零序电压 $I_1 \cdot Z_0 \cdot Z_2 / (Z_0 + Z_2)$ 占全电压E的比例为:

$$\frac{U_0}{E} = \frac{Z_0}{2Z_0 + Z_1} \quad (4)$$

从(3)、(4)也可以推导出:

如果 $Z_0'/Z_1 > Z_0/Z_1$,则 $U_0 > U_0$;

如果 $Z_0'/Z_1 < Z_0/Z_1$,则 $U_0 < U_0$ 。

可见单相和二相接地故障时的结论完全一样。由于线路切除后故障点的 Z_0 、 Z_1 、 Z_2 均增大, Z_0'/Z_1 和 Z_0/Z_1 大小将视具体网络不同而不同。零序电压取决于零序阻抗与正序阻抗的比值,比值大,零序电压就大;比值小,零序电压就小;如果网络改变前后比值相等,则网络改变前后的零序电压不变。

所以切除一条线路,接地故障点总的零序电流 I_0 肯定要减小,而故障点的零序电压变化则如上所述随具体网络的不同而不同。由于各支路零序电流等于零序电压除以零序阻抗,因而零序电流则随零序电压的变化而变化,对于和切除线路成放射性的网络支路,由于线路切除前后零序阻抗不变,零序电流与零序电压成正比,如果零序电压增大,则各支路零序电流增大;如果零序电压减小,则各支路零序电流减小;如果零序电压不变,则各支路零序电流不变。对于和切除线路构成环形网络的支路情况则不同,零序电流与零序电压不一定成正比,因为零序电流不仅与零序电压有关,还与零序阻抗有关,该支路的零序阻抗在线路切除前后也要发生变化。关于增加一条线路对零序电流影响的分析原理也完全一样。

(下转第11页)

(2) 由集结合成的结果看,空调负荷密集地区高压节点负荷的阻抗模值随电压的下降而迅速减小,对电压稳定的负面作用较显著。

(3) 当空调的比重变化时,对装有集中空调建筑的负荷、居民小区负荷、一般企事业负荷的定期抽样结果,将显示空调及其它负荷所占的新百分比,按新数据进行集结合成后,就可以看到空调比重变化对负荷特性影响。

参考文献:

[1] Williams B R, Schvartz W R, Dawson D C. Transmission

Voltage Recovery Delayed by Stalled Air Conditioner Compressors. IEEE Trans Power Systems, 1992, 7(3): 1173 ~ 1179.

[2] Shaffer J W. Air Conditioner Response to Transmission Faults. Paper No. 96 WM 3311 - 9 - PWR. 1996 IEEE/PES Winter Meeting Baltimore, 1996.

[3] Katsuyuki Tomiyama John P. Daniel Satoru Ihara "Modeling Air Conditioner Load for Power System Studies". IEEE Transactions on Power System, 1998, 13(2).

[4] 柳焯. 电压稳定问题中重负荷节点的阻抗模解析(一)(二). 全国高等学校电力系统及其自动化专业第十四届学术年会论文集. 哈尔滨: 1998.

Load characteristic accumulation for high voltage node in the area where air conditioners are gathering

WANG Yi, HAN Bei-yu, LIU Zhuo

(Harbin Institute of Industry, Harbin 150001, China)

Abstract: In this paper, a method consisting of sample investigation and physical, mathematical processing is proposed for the load characteristic accumulation for high voltage node in the area where air conditioners are gathering. Using the method, it can be easily researched that the air conditioners influence on the load characteristic of high voltage node. When the air conditioner load increases, the variations of the load characteristic parameters of high voltage node can be observed.

Keyword: air conditioner load; load characteristic accumulation; voltage stability; high voltage node

(上接第6页)

前面1和2节讨论的切除发电机和变压器的情况就是切除线路的特例。切除发电机后,零序阻抗不变,正序阻抗增大, Z_0/Z_1 比 Z_0/Z_1 大,则 $U_0 > U_0$,零序电压减小,则各支路零序电流减小;切除中性点直接接地的负荷变压器后,零序阻抗增大,正序阻抗不变, Z_0/Z_1 比 Z_0/Z_1 小,则 $U_0 < U_2$,零序电压增大,则各支路零序电流增大:可见和前面的结论完全一致。这也从一个侧面印证了结论的正确性。无数的实际整定比较计算证明的确如此。

上面分别讨论了电力系统的主要元件对零序电流的影响。通过对三序网络的分析,使我们加深了

对零序电流实质的理解,对故障时产生的零序电压和零序电流有了更加清楚的认识。特别是在依赖整定计算程序的今天,了解并掌握这些分析方法,理解并熟记这些结论,在继电保护整定计算和运行管理中能够帮助我们定性判断什么时候应该计算,什么时候不必计算(因为这时零序电流肯定不是我们需要的最大零序电流或最小零序电流)。而不必什么时候都要计算。使我们做到心中有数,少走弯路,减少了计算的盲目性,从而提高劳动效率及工作水平。相信本文对建立起零序电流清晰的物理概念以至提高整定计算水平大有裨益。同时也愿专家、同行多加指教和讨论。

Qualitative analysis zero sequence overcurrent affected by change network component

CHENG Xiao - ping

(Anhui Electric Power Dispatching Center, Hefei 230061, China)

Abstract: This paper respectively discuss power system major component such as generator, transformer, line cut or not influence zero sequence overcurrent and get out general conclusion. Through analysis three sequence network, we are best understand the substance of zero sequence current and zero sequence voltage. In Relay Protection setting calculate and function manage, it is very helpful.

Keywords: setting calculate; three sequence network; zero sequence current