

配网接地保护问题探讨

李一非

国网陕西省电力有限公司西咸新区供电公司 陕西 西咸新区 712044

[摘要] 本文提出全新的灵活接地保护控制策略。通过引入接地选线以及选线跳闸技术,解决高阻接地时零序保护不能动作跳闸的问题;通过为小电阻控制增加故障累积法策略,解决持续短时接地故障;通过为小电阻控制增加“后加速”投入策略,解决与线路保护以及各级DTU/FTU保护时序配合的问题。新保护控制策略及控制系统的应用,可以有效弥补当前灵活接地系统的运行盲区,使灵活接地系统发挥其应有效能。

[关键词] 灵活接地; 保护控制策略; 控制系统; 高阻接地; 选线跳闸

【DOI】 10.12252/j.issn.2096-6261.2021.11.1307

配网灵活接地方式,即中性点经消弧线圈并联小电阻接地方式,目前在6~35kV电网中有部分试点应用^[1]。其基本原理是电网发生单相接地故障时,消弧线圈投入,若故障为瞬时性故障,则由消弧线圈的补偿作用,接地故障可自行消除,电网即恢复正常^[2];若消弧线圈投入持续一段时间,接地故障未消失,则视为永久性故障,此时小电阻投入,从而增大接地电流,促使线路零序过流保护动作,切除接地故障支路,使电网恢复正常。实际应用中,由于对接地过程的复杂性认识不足、对小电阻与配电网相关保护设备协调配合策略考虑不周等原因,灵活接地方式未能达到设计初衷。本文通过对灵活接地电网存在的现实难点进行分析,然后针对这些难点如何解决提出全新的保护控制策略。

1. 单相接地保护现状

1.1 中性点不接地时单相接地特点

1) 当系统发生单相接地时,全系统都会出现零序电压。
2) 非接地线路通过的零序电流为该线路本身对地的电容电流,方向从母线流向线路。
3) 接地线路通过的零序电流为所有非接地线路的对地电容电流的总和。方向从线路流向母线。
4) 系统发生单相接地故障时,接地故障电流不大(为全系统对地电容电流总和),系统相间电压仍然对称,不会破坏系统的稳定运行。现行规程、规范规定,小接地电流系统发生单相接地故障时允许继续运行1.2小时。在此期间采取措施消除故障一般不要求保护动作跳闸。

1.2 中性点不接地系统的保护方式

1) 通过绝缘监视装置检测系统发生单相接地时出现的3U₀电压动作发出系统接地信号。
2) 零序电流保护,利用单相接地时,故障路线的零序电流大于非故障线路零序电流的特点也可以实现有选择性地保护。由于小接地电流系统单相接地故障时的接地故障电流较小,常不足以克服三相零序电流过滤器不平衡电流的影响。零序电流保护一般使用在有条件安装零序电流互感器的线路上。另外,如全系统对地电容电流较小,而本线路对地电容电流相对较大时,保护的灵敏度也难以满足要求。
3) 零序功率方向保护,利用小接地电流系统单相接地故障时故障线路与非故障线路零序功率方向不同的特点,通过检测线路零序功率方向也可实现有选择性的保护。实现零序功率方向保护需输入保护装置系统零序电压和被保护线路的零序电流。对电流互感器的要求也与零序电流保护的要求相同。零序功率方向保护原理应用较多是小电阻接地选线装置。现阶段在电网中大量运用的小电阻接地选

线装置主要采用检测接地线路稳态零序功率方向来确定发生接地故障的线路。这些装置一般只给出发生接地故障的线路名称。后续的检查处理要由运行值班人员拉路确认。

1.3 中性点经消弧线圈接地的保护

1.3.1 中性点经消弧线圈接地系统特点

中性点不接地系统发生单相接地时线路接地点将流过全系统的对地电容电流。如果此电流较大,就会在接地点燃起电弧,引起弧光过电压,导致故障相绝缘破坏,进而发展成相间短路故障。扩大事故。中性点经消弧线圈接地后(如变压器绕组连接为△型,则可在母线上加装Y形绕组接地变压器,也就是设置人工中性点)。系统发生单相接地故障时,流过接地点的电流为全系统对地电容电流与消弧线圈产生的电感电流的向量和。 $I_d = I_e + I_c$ 式中: I_e 为流过故障点的接地电流。 I_c 为消弧线圈产生的电感电流, $I_L = U_0 / j\omega L = -j\omega C / \omega L$ 。 I_c 为全系统对地电容电流, $I_c = 3U_0 \omega C$ 。 I_e 与 I_c 方向相反,这种利用 I_c 抵消 I_e 的措施称为补偿。随加入 I_L 补偿程度的不同,可分为三种补偿方式:全补偿、欠补偿和过补偿。
1) 完全补偿方式: $I_e = I_L + I_c$ 。 $I_e = 0$ 的补偿方式。这种补偿方式可使接地点故障电流为零,但有严重缺点。会引发危险的串联谐振过电压。
2) 欠补偿方式: $I_e > I_c$ 的补偿方式。
3) 过补偿方式下,接地故障点的故障电流是感性的。不会因系统运行方式的变化,电容电流的减少而成为全补偿而出现危险的谐振过电压。这种补偿方式得到了广泛的应用。 I_e 的补偿程度可用补偿度 K 来表示。 $K = (I_L + I_c) / I_c$ 一般取 $K = (5-10)\%$ 。采用消弧线圈过补偿方式,流过故障线路的电流为补偿后的感性电流。它与 U_0 的相位关系与非故障线路电容电流与 U_0 的相位关系相同。其数值也和非故障线路的电容电流的容性电流差不多。因此,前述零序电流保护和零序方向保护都不能采用。

1.3.2 小接地电流系统保护方式

1) 绝缘监察装置:消弧线圈不会改变系统零序电压的分布和大小,对绝缘监察装置没有影响。
2) 短时破坏补偿的方法:在发生接地故障后利用系统出现零序电压的特点,短时将消弧线圈切除。这样就可以按不接地系统的方式实现有选择性的保护。待保护动作后再将消弧线圈投入。
3) 短时投入有效电阻的方法:发生单相接地时在中性点与地之间投入一个有效电阻,使在接地点产生电阻分量电流,再利用余弦型功率方向继电器选出接地故障线路。经一定延时后,再把电阻切除。以上三种方式应用较多还是绝缘监察装置。后

两种方法因控制回路接线复杂，还有会在接地点产生较大接地电流，较少应用。

1.4 暂态分析小电流接地保护

1.4.1 暂态过程

一般情况下，由于电网中绝缘被击穿而引起的接地故障。经常发生在相电压接近最大值的瞬间。因此可以将暂态电容电流看成是以下两个电流值和：1) 故障相电压突然降低引起的放电电流。这个放电电流通过母线流向故障点，放电电流衰减很快，震荡频率高达数千赫兹。震荡频率主要决定与电网中的线路参数、故障点位置以及过渡电阻的数值。2) 由非故障相电压突然升高引起的充电电流。此电流要通过电源而成回路。由于通路的电感增大，因此，充电电流衰减较慢，震荡频率也较低。对于中性点经消弧线圈接地的电网，由于暂态电感电流的最大值应出现在接地故障发生在相电压经过零值瞬间，当故障发生在相电压接近最大值瞬间瞬间时，暂态电感电流近似为零。因此暂态电容电流较暂态电感电流大很多，而正常时稳态电容电流完全为电感电流所补偿。所以随时间变化的特性也不同：a. 大多数接地故障都发生在相电压接近最大值的瞬间，所以不论中性点不接地还是经消弧线圈接地，在故障瞬间其暂态过程是近似相同的；b. 故障时的暂态零序电流第一个半波（简称首半波）的幅值与故障时故障相电压的辐角有关。当相电压在最大值的瞬间发生故障，暂态零序电流首半波幅值最大；c. 流过电网各点暂态零序电流首半波的最大值，较同一点稳态零序电流值大几倍至几十倍；d. 各线路中流过的暂态零序电流首半波的宽度，约为几十微秒到几百微秒。e. 电网发生单相接地故障时，靠近母线端故障线路的暂态零序电流与非故障线路暂态零序电流的方向相反。

1.4.2 小电流接地选线装置

利用小电流接地系统单相接地过渡过程的特点研制的小电流接地选线跳闸装置已投入系统试运行。装置利用现代微机继电保护技术，采用先进的小波分析计算方法能够准确地检测出单相接地暂态过程首半波的方向，进而选出接地线路。装置根据系统要求可选择告警或选择跳闸。

1.4.3 小电流接地保护方式

前面已提到故障时的暂态零序电流首半波的幅值与故障相电压的辐角有关，当相电压在零值或接近零点时暂态零序电流首半波幅值最小。在雷击或外界机械破坏等因素导致的故障可能发生在故障相电压的任意辐角下。当发生这种情况时基于暂态分析的小电流接地保护将不能准确、可靠的选出发生接地故障的线路。

2. 优化的灵活接地保护控制策略

2.1 策略概述

对现有灵活接地运行中出现的各类实际问题，需要有针对性的调整现有的灵活接地控制方式，采取更加合理、科学的控制策略。包括：首先，准确判断引起中性点电压升高的原因，避免非单相接地故障时小电阻的无效投入；其次，对单相接地故障进行判断，使高阻接地、连续短时接地等故障时，小电阻能有效工作；再次，优化单相接地时与线路保护

以及DTU/FTU进行合理的时间配合，避免多次的、长时间的投入小电阻；最后，加入具备跳闸能力的小电流接地选线功能，由选线的跳闸功能来弥补诸如高阻接地等小电阻控制盲区下的故障切除。

2.2 接地类故障的识别策略

接地类故障的识别，即是当电网中性点电压升高并超过设定的报警值时，对引起电压升高的原因进行分析判断，当排除掉PT断线、铁磁谐振等非单相接地原因后，对于确定的由单相接地故障才控制消弧线圈、小电阻进行后续的补偿以及投退。对于PT断线、铁磁谐振等原因引起的直接告警提示，消弧线圈及小电阻不进行无效的、错误的投入。对PT断线的识别，需要采集电网的三相电压，然后对三相电压进行数字合成，得到合成零序电压，然后与直接采集到的零序电压进行有效值比较，当两者不同时，认为PT断线，进行报警提示。对铁磁谐振的识别，是对采集到的零序电压信号进行频谱分析，然后由频谱分析结果计算出谐波总畸变率Thd，若零序电压ThdU₀超过100%，则认为电网发生铁磁谐振，进行报警提示。排除PT断线、铁磁谐振后，其余即可以确定为单相接地故障。

2.3 高阻接地控制策略

灵活接地电网的高阻接地故障，包括两层含义：其一，消弧线圈能够识别的最低故障电压（一般情况下设定为30%U_n）时的接地；其二，是小电阻投入后，产生的能够使线路零序保护动作的最小零序电流时的接地。而这两种情况下所能承受的接地点过渡电阻值是不同的。

2.4 永久性接地控制策略

对持续时间较长的永久性接地故障，需要确保线路零序保护能够动作、线路上的DTU/FTU等设备能够准确隔离的前提下，减少灵活接地系统中小电阻的投切次数。为此，必需使小电阻的投切时序，与线路的零序保护、各级DTU/FTU等设备的保护时限完全匹配。即小电阻单次投入的时间，应该至少大于线路首端及大部分线路FTU/DTU的重合闸时间（例如10S）；在小电阻切除后的较短时间内（例如3分钟），若再次发生单相接地故障，则小电阻不再等待消弧线圈，而是立即投入，以使线路零序保护、线路DTU/FTU等能够尽快通过后加速等快速切除再次发生的故障，实现故障的可靠隔离。压消失，消弧线圈退出。此时，小电阻应持续保持投入，等待线路首端及线路上的各级DTU/FTU依次完成重合闸。若在小电阻单次投入时间内，重合于接地故障，则由线路保护后加速跳闸，切除故障；若线路上的DTU/FTU级数较多、依次重合时间较长，超过小电阻单次投入时间，则在3分钟的等待时间内，若重合于故障，则小电阻立即投入，使线路的零序保护跳闸，线路上的DTU/FTU也掉电分闸后，实现故障隔离。若3分钟后还没有重合于故障，则按照新的一次接地处理。

参考文献

- [1]熊杰. 10kV配网典型故障分析及防范措施[J]. 低碳世界, 2016(21): 27-28.
- [2]赵荣芳. 10kV系统单相接地故障分析及处理[J]. 中国新技术新产品, 2015(24): 71.