

小电源在 110 kV 变电站上网的一种实用保护解决方案

姚成, 朱金大, 徐石明

(国电自动化研究院, 江苏 南京 210003)

摘要: 为了解决小电源上网给电网带来的诸多问题,如小电源侧保护灵敏度低甚至有时无法启动、小电源上网后变电站的供电可靠性降低等,该文提出了基于低电压保护的小电源上网的一种实用保护解决方案。该方案保护原理和配置简单,大大简化了保护整定和运行管理的难度,尤其是提高了小电源侧保护的启动灵敏度,极大地提高了上网变电站的供电可靠性,而且该方案受小电源侧阻抗变化的影响较小。在实践中证明该方案简单有效。

关键词: 小电源; 上网; 保护

中图分类号: TM774 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2005)08-0071-05

0 引言

近几年,利用 110 kV 变电站上网的小电源(小水电和小火电)日益增多。然而小电源在 110 kV 变电站上网带来了诸多问题,如小电源侧保护灵敏度低甚至有时无法启动、小电源上网后变电站的供电可靠性降低等。针对这些问题,本文提出了一种简单实用的小电源上网的解决方案,可有效解决上述问题。

1 目前小电源在 110 kV 变电站上网存在的主要问题

目前小电源在 110 kV 变电站上网,一般是在 110 kV 变电站的 35 kV 母线上接入,因此本文就以小电源在 110 kV 变电站的 35 kV 母线上网为例进行讨论。图 1 为小电源在 110 kV 变电站上网的典型接线图。在图 1 中,个别上网发电机组容量较大,其它发电机组容量较小,在发电机组大运行方式下,可供较大负荷和产生较大短路电流。因此,在这种典型接线情况下,会有如下问题产生:

1) 需增加一个接地点

在小电源的大运行方式下,为防止 110 kV 线路接地时产生的过电压影响 110 kV 线路和变压器及相关设备的安全,一般该变电站的主变压器(变压器 T_1) 110 kV 侧中性点需接地,即增加了图 2 中的 X_1 接地分支。这样,电力系统的零序网络发生变化,线路接地时的短路电流水平升高,零序电流保护的保护区也发生相应变化,因此相关线路和系统的零序保护都需进行校核。在图 2 中可看出,当线路发生接地故障时,由于多了变压器接地分支 X_1 ,

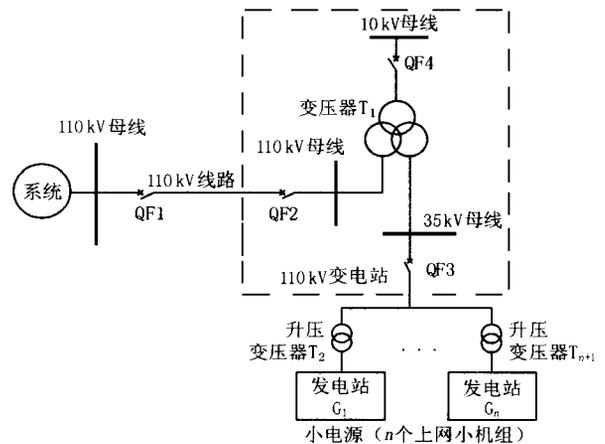


图 1 小电源上网典型接线图

Fig 1 Typical connection of small power source connected to power system

对接地短路电流进行了分流,导致电源侧接地分支 X_x 流过的短路电流 I_k 减少,从而断路器 QF1 处的零序保护灵敏度大幅度降低。若在上网变电站有其它 110 kV 线路,且主变接地分支 X_1 零序电流分流 I_k 较大时,主电源侧(断路器 QF1)保护在保护选择性和灵敏度之间将做出两难选择。另外因为增加了一个接地点,在小电源上网或与主网解列时,都要进行复杂的地刀和相应保护的投停,给运行人员带来了极大的工作量。所有这些都给电网安全运行和管理带来不利的局面。

2) 上网 110 kV 变电站电源进线侧断路器保护整定困难

为防止在 110 kV 线路上发生短路故障,影响电气设备的安全,一般需在上网 110 kV 变电站电源进线侧(即图 1 中 QF2 处)安装一套能有效切除 110

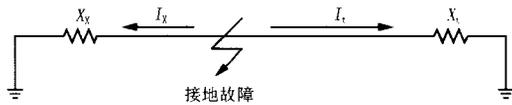


图 2 接地故障时零序网络图

Fig 2 Zero-sequence network when ground fault occurs
kV 线路接地和相间短路故障的保护。

文献 [1] 对地区电源联网作了相关规定。若按该规程规定,需在 QF2 处装设解列保护,则按照解列保护整定要求,解列低压定值一般取 70 V (线电压),时间在 1~2 s 左右^[2]。此定值灵敏度较高,可能在 110 kV 变电站 35 kV 出线故障时,造成 QF2 频繁误动,若加装方向闭锁,则解列保护性能恶化。另一方面 110 kV 线路发生接地故障,解列保护中低电压保护将不起作用,将依靠低频保护进行解列,而低频保护由于有频率滑差闭锁,在频率变化较大情况下,将闭锁低频保护,解列保护性能将大打折扣。因此装设小电源解列保护也存在一定问题(35 kV 侧解列保护也存在同样的问题)。

在小电源容量较大的情况下,大电源和小电源之间的线路可有多种保护方式,特点各异^[3]。为简单和可靠,在 110 kV 线路上的 QF2 处,设计部门一般会设计一套距离和零序电流保护相结合的 110 kV 线路保护。

然而,小电源上网的一个明显特点就是小电源分布分散而且偏远,这就造成小电源运行方式变化过大,很难确定小电源的最小运行方式来校核保护灵敏度。另外也导致了由小电源发电机归算至上网变电站 110 kV 母线侧的阻抗过大,这就造成在小电源最小运行方式下,110 kV 线路上的短路电流比较小,常常导致零序保护的灵敏度达不到规程要求,甚至有时距离保护和零序保护的启动元件也达不到规程要求的灵敏度,造成配置的 110 kV 线路保护起不到应有的作用,形同虚设。而且这也是较大容量的小电源上网可能存在的最大一个问题。

3) 用户供电可靠性降低

由于增加了小电源在 35 kV 母线侧上网,为节省费用,电力管理部门一般不在 110 kV 线路两侧增加线路 PT,为了避免造成重合闸重合时对小电源侧发电机的冲击,常常仅将 QF1 处的重合闸停用。由图 1 可看出,若 110 kV 线路发生瞬时短路故障,QF1 处保护启动,跳开断路器 QF1 将造成该 110 kV 变电站全部失压。

为了改进这一点,有的电力管理部门在 110 kV 线路靠近 QF1 处增加一个线路 PT,停用 QF2 处保

护,实现检无压重合来提高该变电站供电可靠性,其实际效果也并不明显。当 110 kV 线路发生瞬时短路故障时,这种方案依靠装设在 35 kV 侧低压保护(35 kV 侧低频保护由于有滑差闭锁常常造成低频保护不会动作,因而只能依靠 35 kV 侧低压保护)跳开 QF3 (在 110 kV 线路上发生接地故障时,35 kV 侧低压保护不会动作),然后 110 kV 线路 PT 检无压,QF1 重合闸动作,断路器 QF1 合上,实现对该变电站供电。然而,QF3 上的低压保护由于是后备保护,一般动作时间整定的比较长,一般在 1.5 s 以上,即使 QF1 重合成功,此时大多数重要用户的电动机已经因低压纷纷跳开,需要再一次重新启动,对于动力负荷占多数的变电站来说,QF1 重合也就失去了应有的意义。

由此可见,在相应装置未完善之前,变电站的供电可靠性受小电源影响很大^[4,5]。

4) 电力系统设备完善费用较大

在小电源上网后,为保障小电源发电机和相关系统电气设备的安全,需要在电力系统中增设很多设备,具体包括在 110 kV 线路两侧配置线路 PT,在 35 kV 上网线路靠近 QF3 处配置线路 PT,在 110 kV 变电站电源进线侧(QF2 处)配置一套包括距离和零序保护以及检同期合闸装置等等。

不仅许多一次设备需要添置,二次系统也要进行大量更改和重新接线,这样不仅费用较高,而且任务也比较繁重。这给小水电资源比较丰富的省份的电力管理部门带来了很大困难。

2 解决方案

针对上述存在的问题,本文提出了一种简单、实用的小电源上网的解决方案。本方案基本思想就是:在 110 kV 线路上发生瞬时接地故障时,利用变电站与主电源失去电气联系时(QF1 断开),小电源无法维持上网变电站电压,电压将迅速下降这一特征,通过装设在断路器 QF2 处的低电压保护跳开小电源上网断路器(QF3)后,电源侧断路器(QF1)重合后重新对变电站负荷供电。

下面以图 1 作为典型接线图,对本文提出的保护解决方案进行说明。

2.1 假设条件

小电源所能提供的最大功率只能满足 110 kV 变电站正常负荷的小部分。在该变电站失去系统电源后,小电源不能维持变电站负荷,变电站电压迅速崩溃。这在现实中大多数小电源上网的 110 kV 变

电站中都是成立的。

2.2 保护配置

正常情况下,一般在 QF1 处加装距离和零序保护,在 QF3 处配置可带方向的电流电压保护以及低频、低压保护^[6]。本方案另外需增加的保护配置如下:

1) 在 QF2 处加装一套低电压保护,电压取自 110 kV 母线 PT 二次线电压。为防止在全站失压时,误闭锁低电压保护,故取消 PT 断线闭锁。该低电压保护动作后,以一短延时跳开断路器 QF3。

2) 断路器 QF1 采取检无压重合。

3) 断路器 QF3 采取检同期重合。

为满足本方案要求,1)和 2)为必须配置。3)可按实际需要配置,配置与否对本方案的实现影响不大。

2.3 保护动作分析

以下按 110 kV 线路发生的故障种类加以讨论。

当在 110 kV 线路上发生瞬时相间故障时,依靠低电压保护动作跳开小电源上网断路器 QF3,由断路器 QF1 检无压重合,重新向 110 kV 变电站供电。

当在 110kV 线路上发生瞬时接地故障时,由于低电压保护低电压元件取的是线电压,故无法启动。此时,依靠断路器 QF1 零序保护或距离保护动作跳开断路器 QF1 后,造成变电站与主电源失去电气联系,仅有小电源与该变电站连接。由于小电源提供的功率有限,因此无法维持变电站电压,变电站电压迅速下降,全站失压,造成低电压保护启动,以短延时跳开断路器 QF3。此时断路器 QF1 检测到线路无压,重合闸动作,重新向该变电站供电。此时,若小电源发电机还没停机,可根据断路器 QF3 所配的保护,或者实现检同期重合,或者由变电站操作人员手动合断路器 QF3 实现小电源并网。

2.4 保护整定

2.4.1 低电压保护(装设在 QF2 处)整定

电压元件应按躲过变压器 35 kV 母线相间故障并保证低电压保护对 110 kV 线路相间故障全线有灵敏度原则整定,时间可以与主变差动保护配合,取为 0.5 s。这样,在 110 kV 线路上发生瞬时故障后,低电压保护能迅速动作跳开 35 kV 小电源上网断路器 QF3,从而能保证断路器 QF1 在很短时间内重合,恢复对该变电站负荷的供电,不失去大部分动力负荷。若无法躲过变压器 35 kV 母线相间故障,可与主变 35 kV 侧后备保护配合,尽量不要采用方向闭锁低电压保护,这将对保护性能影响很大。

2.4.2 断路器 QF1 重合闸定值整定

为保证断路器 QF1 检无压重合时,对侧低电压保护已可靠启动并跳开断路器 QF3,断路器 QF1 重合闸检无压定值可按与低电压保护电压元件配合整定。

重合闸重合时间可与低电压保护动作时间配合整定,即低电压保护动作时间 + 0.5 s(这样对重合闸的整定也满足故障消弧和去游离等时间的要求)。

这就保证了电源侧 QF1 重合闸重合时,对侧低电压保护已可靠动作并跳开小电源上网断路器 QF3,从而避免了电源侧断路器 QF1 重合造成对小电源发电机的冲击。

3 优缺点

下面详细讨论一下本方案的主要优点。

1) 由于本方案以低电压保护为核心,因此保护原理简单,动作迅速可靠。

2) 上网变电站的主变 110 kV 中性点无需接地。由于在 110 kV 线路发生故障时,可以由低电压保护跳开小电源上网断路器 QF3,可有效避免因故障时造成的过电压,故主变 110 kV 中性点无需接地。而这也避免了因主变 110 kV 中性点接地造成电源侧(QF1)零序保护灵敏度降低以及系统零序网络变化的情况,从而大大减轻了保护整定和运行管理的难度。

3) 本方案最突出的优点就是小电源侧保护灵敏度高。因为小电源发电机阻抗一般都很大,再加上线路阻抗,所以归算至变电站 110 kV 母线的小电源阻抗很大,因此一般配置在小电源侧的常规 110 kV 线路保护的零序电流保护都很难保证有足够的灵敏度,小电源归算阻抗越大则保护灵敏度越低,尤其是在小电源最小运行方式下甚至保护启动元件都没有足够的灵敏度。而在本方案中由于采用低电压保护,因此情况正相反,小电源归算阻抗越大则保护灵敏度越高。

另外相对于装设在 35 kV 小电源上网断路器 QF3 处的低电压保护(解列)来说,本方案中的低电压保护具有动作快的优点(理想情况下,动作时间可整定为 0.5 s,而 35 kV 侧低电压保护动作时间则一般整定在 1.5 s 以上)。

本方案也存在一些缺点。

1) 由于低电压保护取消了 PT 断线闭锁装置,可能在 PT 断线情况下,低电压保护会误动作,误跳

小电源上网断路器 QF3。因为本方案本就以简单实用为特点,因此可由值班人员根据电压断线闭锁信号,停用低电压保护的情况下,抢合小电源断路器,作为弥补。在需要的情况下,可采用小电流闭锁低电压保护来防止低电压保护误动。

2) 在 110 kV 线路发生瞬时接地故障时,低电压保护跳开小电源上网断路器 QF3 的时间以及电源侧断路器 QF1 重合的时间都受变电站电压低至低电压保护电压整定值的时间影响,也就是说受电压崩溃的时间影响^[7]。目前还没有理论给出电压崩溃时负荷和电压的精确数学模型,从而不能从理论上分析确定在失去系统电源后,电压崩溃时变电站电压低至低电压保护电压整定值的时间。实践经验表明,小电源容量占变电站负荷的比例越小,上述时间就越短,保护所起的作用就越明显。因此要想得到较精确结果,可在变电站中通过试验加以核定。

表 1 本保护方案与其它保护方案
优缺点比较一览

Tab 1 Comparison of advantages and disadvantages
between the proposed protection project and others

比较项目	本保护 方案	110 kV 线 路保护	35 kV 低电压 保护(解列)
保护原理	简单实用	复杂	简单
主变中性点	不接地	接地	不接地
保护灵敏度	较高	低	高
动作时间	短	短	长
PT断线闭锁装置	取消	加用	加用
供电可靠性	较高	低	低
实施费用	低	高	低
运行管理任务	简单	繁重	简单
综合效果	良好	差	差

4 结束语

本文提出的小电源上网解决方案简单实用,尤其适合于小水电站位置分散、发电量变化大以及小电源侧保护灵敏度不够的小电源上网的 110 kV 变电站。当然,本文提出的方案也适用于有小电源上网的 35 kV 变电站。

由本文提出的方案在湖北荆门供电局 110 kV 漳河和苏台变电站运行多年,经历过多次故障考验,实践证明本方案简单实用。

参考文献:

[1] QF/T 584-95, 3 ~ 110 kV 电网继电保护装置运行整定规程[S].

QF/T 584-95, Operational and Setting Code for Relay Protection of 3 ~ 110kV Electrical Power Networks[S].

- [2] 崔家佩,孟庆炎,陈永芳,等. 电力系统继电保护与安全自动装置整定计算[M]. 北京:中国电力出版社, 1997.
CU Jia-pei, MENG Qing-yan, CHEN Yong-fang, et al The Setting for Relay Protection and Safety Automation of Power System[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1997.
- [3] 张华贵. 一侧大电源一侧小电源线路的继电保护[J]. 继电器, 1993, 21(3): 15-18
ZHANG Hua-gui The Line Relay Protection between Big Power System and Small Power System [J]. Relay, 1993, 21(3): 15-18
- [4] 赵萍. 小电源系统联网运行供电可靠性问题的探讨[J]. 浙江电力, 2000, (1): 61-62
ZHAO Ping Discussion on the Problems of the Electric Power Supply Reliability for the Small Power System Interconnected[J]. Zhejiang Power, 2000, (1): 61-62
- [5] 徐洁平. 改善含小电厂系统供电可靠性的一个有效方法[J]. 浙江电力, 1997, (3): 36-38
XU Jie-ping A Useful Method for Improving Power Supply Reliability of Power System Including Small Power Plant [J]. Zhejiang Power, 1997, (3): 36-38
- [6] 楼凤丹,陈源. 地区小电源的保护与整定[J]. 浙江电力, 1996, (3): 29-50
LOU Feng-dan, CHEN Yuan Protection and Setting of the Regional Small Power System [J]. Zhejiang Power, 1996, (3): 29-50
- [7] Taylor C W. 电力系统电压稳定[M]. 王伟胜,译. 北京:中国电力出版社, 2002
Taylor C W. Voltage Stabilization of Power System [M]. WANG Wei-sheng, Trans Beijing: China Electric Power Press, 2002
- [8] 贺家李,宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 北京:中国电力出版社, 1991.
HE Jia-li, SONG Cong-ju Theory of Power System Relay Protection [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1991.
- [9] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护实用技术问答[M]. 北京:中国电力出版社, 1997.
National Electric Power Dispatch & Communication Centre The Question and Answer of Applied Technology about Electric Power System Relay Protection [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1997.
- [10] 王锡凡. 现代电力系统分析[M]. 北京:科学出版社, 2003.
WANG Xi-fan Analysis of Modern Power System [M]. Beijing: Science Press, 2003.

- [11] 倪以信,陈寿孙,张宝霖. 动态电力系统的理论和分析 [M]. 北京:清华大学出版社, 2002
NI Yi-xin, CHEN Shou-sun, ZHANG Bao-lin Theory and Analysis of Dynamic Electric Power System [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002

作者简介:

姚成 (1974 -),男,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护; E-mail: yao_cheng69@163.com

朱金大 (1964 -),男,高级工程师,研究方向为配网系统自动化;

徐石明 (1967 -),男,高级工程师,研究方向为配网系统自动化。

收稿日期: 2004-07-22; 修回日期: 2004-12-08

A practical protection scheme for small power source connected to power networks in 110 kV transformer substation

YAO Cheng, ZHU Jin-da, XU Shiming

(Nanjing Automation Research Institute, Nanjing 210003, China)

Abstract: To solve the problems of small power source connected to power networks, such as protection sensitivity on small power source side is so low that sometimes the protection can't start, and after small power source is connected to power networks, power supply reliability of the 110kV transformer substation will decrease, then a practical protection scheme for small power connected to power networks based on the low voltage protection is proposed. Protection theory and configuration of the scheme are very simple, which greatly simplifies the protection setting and operation management, especially enhances the startup sensitivity on small power side and power reliability of the transformer substation. Moreover, the sensitivity is less influenced by small power impedance change. The practice proves the simplicity and efficiency of the proposed scheme.

Key words: small power source; connected to power networks; protection

(上接第 12 页 continued from page 12)

- [3] 彭疆南,孙元章,王海风. 考虑系统完全可观测性的 PMU 最优配置方法 [J]. 电力系统自动化, 2003, 27 (4): 10-16
PENG Jiang-nan, SUN Yuan-zhang, WANG Hai-feng An Optimal PMU Placement Algorithm for Full Network Observability[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27 (4): 10-16
- [4] 于继来,王江,柳焯. 电力系统潮流计算的几点改进 [J]. 中国电机工程学报, 2001, 21 (9): 88-93
YU Ji-lai, WANG Jiang, LIU Zhuo Improvements on Usual Load Flow Algorithms of Power System [J]. Proceed-

ings of the CSEE, 2001, 21 (9): 88-93.

- [5] Nuqui R F, Phadke A G Phasor Measurement Unit Placement Based on Incomplete Observability[A]. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting 2002 888-893

收稿日期: 2004-08-03

作者简介:

王宗义 (1971 -),男,博士研究生,研究方向为电力系统分析与控制; E-mail: zongyiw@bjxj-xjgc.com

郭志忠 (1961 -),男,博士,教授,博士生导师,当前主要研究方向为电力系统分析与控制、光学电流互感器等。

Power system state calculation of PMU placement based on incomplete observability

WANG Zong-yi¹, GUO Zhi-zhong^{1,2}

(1. Dept of Electrical Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China;

2. XJ Electric Power Research Institute, Beijing 100085, China)

Abstract: A novel method for analyzing observability of PMU placement is presented based on network node equation calculation algorithm, which divides system nodes into dynamic observed nodes and unobserved nodes. Two methods for calculating node voltage of the unobserved buses are put forward. One is load flow method in which the observed nodes are taken as slack nodes. The other is the observed nodes voltage is used to present the unobserved voltage and the injected power of unobserved nodes are transformed into equivalent impedances. Characteristics of the proposed methods are analyzed respectively, and the effectiveness of the proposed algorithm is verified by numeric simulation using IEEE14-bus system.

Key words: PMU placement; incomplete observability; bad flow