

一种新型小水电安全自动解列装置的研究

陈志峰, 徐兴发, 王 娴

(广东电网有限责任公司韶关供电局, 广东 韶关 512026)

摘要: 分析小水电地区, 联络系统的主供线路故障跳闸后, 小水电侧形成孤网运行, 将出现高频、高压的工况, 引起用户电器设备损坏, 同时影响电网的检无压重合闸动作。针对此现象, 在研究小水电现有过电压解列装置的不足与小水电接入系统的状况, 提出了一种适用于小水电机组的解列装置。在过电压保护的基础上增加频率判据, 在异常情况下快速准确地将小水电解列, 以避免对用户电器设备的损坏, 提高供电质量与系统运行可靠性。实际运行证明, 这种小水电解列装置的使用能有效地解决孤网运行高频高压的危害, 同时提高电网安全稳定性和供电可靠性。

关键词: 小水电; 孤网运行; 电压; 频率; 自动解列

Research on a new type of auto-disconnection safety for small hydroelectric power system

CHEN Zhifeng, XU Xingfa, WANG Xian

(Shaoguan Power Supply Bureau, Guangdong Power Grid Corporation, Shaoguan 512026, China)

Abstract: In small hydroelectric power system, the main supply line fault of connected system leads to switch trip on both sides, then the small hydroelectric power system forms isolated network operation and it will appear high frequency and high pressure, which will damage electrical equipment of user, at the same time affect the check without pressure auto-reclosing of power systems. According to these phenomena and based on past research of over-voltage protection device and small hydropower status, this paper proposes a suitable splitting device for small hydropower. It is suggested to install a new type of auto-disconnection safety for the small hydroelectric power system. It monitors the frequency and voltage of own of auto-disconnection safety in exceptional circumstances station and quickly disconnects itself from system in abnormal situations to avoid damage to electrical equipment and improve power supply quality as well as the reliability of the system operation. Experiments prove that the new method can improve the stability of the grid and the reliability of power supply.

Key words: small hydroelectric power system; isolated operation; voltage; frequency; auto-disconnection

中图分类号: TM77

文章编号: 1674-3415(2016)01-0144-05

0 引言

韶关电网地处粤北山区, 水电资源丰富, 水电装机容量达 2 000 MW, 大量变电站有水电上网, 其中约有 1 500 个小水电站通过 10 kV 线路上网, 且大部分 T 接于 10 kV 馈线, 在丰水期间, 当主供线路故障跳闸后, 容易形成水电与负荷孤网运行情况。目前小水电侧仅配有过电压保护, 系统电压波动时容易误动, 严重影响水电机组的正常运行, 因此过电压保护投入率不高。孤网运行期间将出现以下问题。

(1) 孤网系统出现高频与高压的现象。若主供线路跳闸, 水电出力大于用电负荷, 将出现高频、高压的工况, 因水电机组未及时解列, 引起地区用户电器设备的损坏, 也造成小水电机组不正常运行^[1-5]。

(2) 孤网系统出现重合闸条件不满足的现象。当小水电所在馈线发生瞬时性故障, 引起馈线“检无压”重合闸条件不满足, 导致重合闸重合失败, 从而变为永久性故障^[6-14]; 当 110 kV 主供线路发生瞬时性故障, 两侧开关跳开, 系统侧采用“检无压”方式, 重合成功; 小水电接入变电站侧采用“检母无压”或“检同期”重合闸方式, 但是孤网期间难以满足以上重合条件, 导致重合闸失败。

基金项目: 广东电网 2014 年科技项目 (K-GD2014-1055)

因此, 将研究一种新型小水电安全自动解列装置, 采用频率、电压综合判据, 解决了过电压保护容易误动的问题, 能及时切除地区小水电, 迅速恢复线路供电, 以增强电网的安全稳定性以及供电可靠性。

1 孤网运行频率电压的理论分析

分析偏远地区电网孤网运行后出现高频高压风险, 现场调研韶关地区 10 kV 小水电上网的接入方式与运行状况后, 采用如图 1 所示的小水电并网系统简化模型, 进行理论分析孤网运行出现高频、高压的情况。

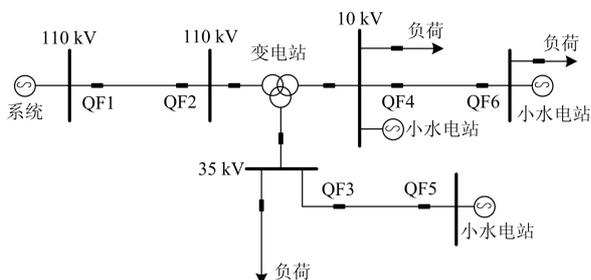


图 1 小水电并网系统简化模型

Fig. 1 Simplified model of the grid-connected small hydropower system

水轮机的转子运动方程为^[15-16]

$$J \frac{d\omega}{dt} = P_m - P_e \quad (1)$$

式中: J 为转子的转动惯量; ω 为转子的角速度; P_m 为发动机机械功率; P_e 为发电机电磁功率。

由式(1)可以看出, 转子角速度的变化率与水轮机的不平衡功率 $P_m - P_e$ 成正比。当小水电地区与系统正常运行时, $P_m - P_e = 0$ 转子转速保持恒定, 即频率恒定; 当断开瞬间形成孤网运行时, 水轮机机械功率暂时保持不变, 而电磁功率大幅度减少, 则 $P_m - P_e > 0$ 转子加速运动, 引起频率开始上升, 并且水轮机飞车现象; 当 $P_m - P_e < 0$ 时, 转子减速运动, 频率降低。小水电地区孤网运行期间, 不平衡功率发生变化, 将引起小网频率上升。

根据电压降的计算公式为

$$\Delta V = \frac{PR + QX}{V_N} \quad (2)$$

小水电串接入变电站, 如图 1 所示, 10 kV 馈线上的传输功率减少或功率上送以及小水电输出无功的支持, 使沿馈线的各负荷节点处电压被抬高。配网后端的电压随运行方式变化而大幅波动, 引起一些负荷节点的电压偏移超标。

线路末端接入小水电, 有功和无功功率向变电

站 10 kV 母线倒送, 经变压器将水电输送到系统中, 线路末端电压要比变电站端高出一个 ΔV 。

$$V = V_N + \Delta V = V_N + \frac{PR + QX}{V_N} \quad (3)$$

当 110 kV(10 kV) 保护动作跳闸, 导致小水电发出的有功与无功功率无法输送到系统中, 使沿馈线的各负荷节点处电压被抬高。

偏远地区的电网因故障与主网解列现场孤网, 由于孤网内过剩的有功功率以及长联络线大量的充电功率极有可能引起严重的高频高压的状况。

2 小水电自动解列装置的功能及特点

新型小水电安全自动解列装置在过电压保护的基础上增加了频率判据, 当出现高频、高压能够及时切除小水电, 迅速恢复供电, 以增强电网的安全稳定性以及供电可靠性。

2.1 高频高压的控制措施

(1) 传统的小水电过电压保护装置在系统电压波动或特殊运行方式(水电厂通过长距离的 10 kV 线路上网)时容易误动作, 而提高过电压保护装置的动作值, 在系统发生孤网运行产生过电压期间, 过电压保护装置可能灵敏度不足而拒动。新型小水电解列装置增加频率判据, 与过电压形成综合判据, 在系统正常运行发生电压波动时由于频率稳定, 装置过电压保护不会误动, 因此能够解决常规过电压保护误动作切水机组的问题。

(2) 丰水期间, 线路跳闸后, 小水电地区由于小水电大量上网且频率调节能力较差, 造成地区频率、电压升高。因发电机转速不能突变, 孤网运行后频率上升较缓慢, 装置动作时间较长, 不利于快速限制孤网的过电压, 解列装置的选择性与快速性无法兼顾。为了解决以上问题, 通过分析小水电站过电压情况以及孤网运行的频率特征, 在新型解列装置功能设计上设置了两段式过频过压保护: 过频过压 I 段整定时电压值较高, 频率值较低, 孤网运行电压较高时保护动作时间较短, 保护供电地区用户电器设备; 过频过压 II 段整定时电压值较低, 频率较高, 由于频率定值提高, 保护动作时间较长, 但电压定值较低, 可保证装置的灵敏性。

两段式的过频过压保护将孤网运行配网接入的小水电迅速解列, 使小水电地区电网出现的高频、高压工况得到有效控制。

2.2 与重合闸配合的控制措施

山区小水电接入方式多为串接、T 接型供电结构, 这种方式将出现在一条线路中接入多个小水电。

线路跳闸孤网运行期间影响线路的重合闸动作，采用小水电解列装置后为重合闸提供有效动作条件。

(1) 配网 10 kV 供电线路串接了小水电，将水电上送至 10 kV 母线。当小水电所在馈线发生瞬时性故障，10 kV 开关重合闸“检无压”条件不满足，导致重合闸重合失败。若线路中的小水电均配置解列装置，线路跳闸孤网运行时可将小水电及时切除，为 10 kV 馈线开关提供检无压重合闸的条件^[17-19]。

(2) 当 110 kV 主供线路发生瞬时性故障，跳开 QF1、QF2 开关，如图 2 所示，随后故障消失，系统侧采用“检无压”方式重合成功，QF1 开关合上；小水电接入变电站侧 QF2 开关，采用“检母线无压”或“检同期”重合闸方式。与系统解列后，110 kV 变电站仍有小水电接入提供地区供电，使得小电源侧 110 kV 母线有压，QF2 开关不满足“检母线无压”条件，而且变电站的频率与电压不稳定，两侧的频差、压差较大且不断变化，导致 QF2 的检同期重合闸条件不满足。若孤网地区小水电均配置解列装置，此时可将小水电及时解列，QF2 开关可通过“检母线无压”重合成功。

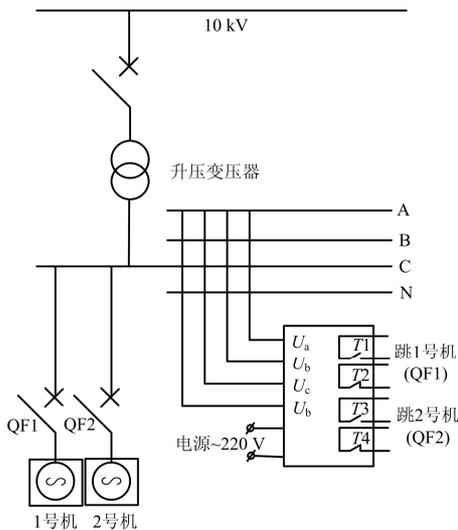


图 2 自动解列装置的接线示意图

Fig. 2 Wiring diagram of auto-disconnection safety

(3) 若孤网运行期间水电与用电负荷均衡，过电压不明显，过频过压保护可能不会动作，此时虽然对用户电器影响不大，但机组的继续运行影响了线路重合闸动作。因此，解列装置设置了高频、低频保护，在孤网运行期间由于小网的不稳定性，会出现高频或低频的工况，可通过此保护对小水电解列，使线路重合闸迅速达到“检无压”或“检母线无压”的条件。

2.3 与大电网低频减载配合的控制措施

小水电解列装置投入低频保护，在小网孤网运

行时对机组解列，保证了重合闸的可靠动作，但其动作原则不符合大电网的低频减载要求，因此需通过整定值与大电网的低频减载配合。小水电解列装置的低频保护动作值应低于大电网的低频减载频率定值，且动作时间应躲大电网低频减载的时间定值，避免影响大电网的稳定控制，即遵循局部服从整体的原则^[20-21]。

3 小水电自动解列装置的软件逻辑

结合水电机组运行环境的特点，对新型小水电解列装置功能进行了设计，该装置能够自动监测小水电系统频率、电压，通过增加频率判据，快速联切水电的功能。新型小水电解列装置装设在小水电站内，通过采集小水电站机组母线电压，其接线如图 2 所示。

根据以上分析，小水电解列装置的逻辑设计如图 3 所示，具备两段式过频过电压保护、过压保护、高频保护、低频保护，所有保护均可整定延时，并可通过控制字独立投退。同时还设置了频率异常和电压异常闭锁功能，防止频率或电压的异常情况可能引起的误动作。

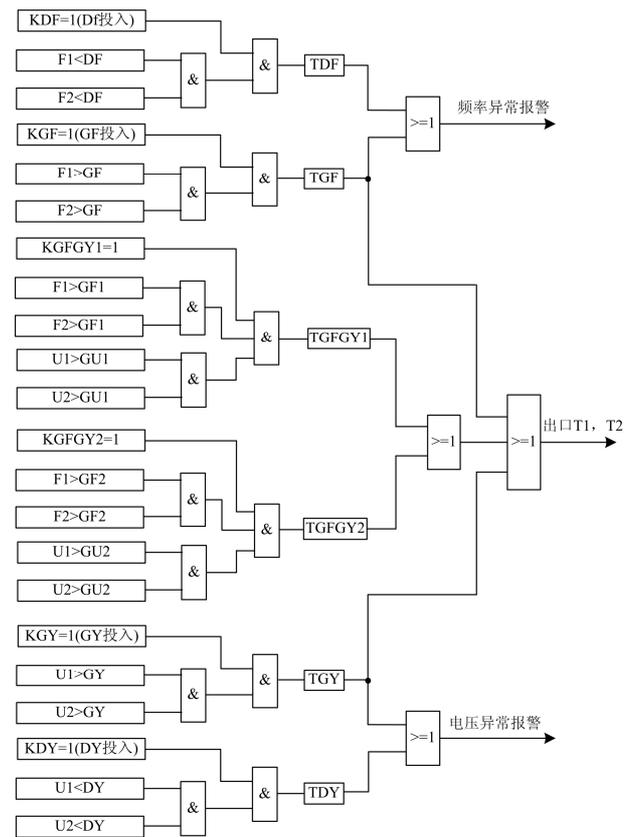


图 3 自动解列的动作逻辑

Fig. 3 Action logic diagram of auto-disconnection

4 自动解列装置的运行效果

当前, 已根据相关功能设计要求开发出安全自动解列装置, 并针对近几年韶关地区 10 kV 出现高频、高压工况较严重的线路进行调研, 结合线路、小型发动机参数对解列装置进行模拟实验。此装置已在韶关电网试点地区的水电站进行了安装, 达到了以下效果。

(1) 系统电压波动, 但频率稳定, 解列装置不会误切水电站的小水电, 保障了水电厂的利益, 得到各电厂认可。

(2) 线路发生瞬间故障, 能够迅速断开水电厂机组开关, 使得小水电侧出现高频、高压的工况得到快速解决, 有效缓解山区小水电地区电网与主网解列的高频高压风险, 减少了线路故障跳闸后孤网运行对居民用电设备的损坏; 同时相关线路重合成功率显著提高, 保障了地区供电可靠性。

5 结论

本文针对当前小水电地区的常规过电压保护装置的不足以及孤网运行的危害, 开发了一种新型频率电压的解列装置, 该装置通过增加频率判据, 有效地解决了系统电压波动时保护装置误动作的现象; 同时小水电侧出现高频、高压的工况得到快速解决, 为重合闸方式提供满足的条件, 实现了山区小水电联络线故障后的快速恢复, 满足了山区电网实际运行的需要, 提高了电网的安全稳定性和供电可靠性, 减少用户电器设备的损坏投诉。

研制的新型安全解列装置经过试点运行, 达到预期目标, 将逐步在韶关电网推广普及, 同时在有地方水电的兄弟单位可以推广使用。

参考文献

- [1] 叶峰. 陕南小水电群网解列后快速并列方式的研究[J]. 陕西理工学院学报(自然科学版), 2012, 28(3): 15-17.
- YE Feng. Study of how to conduct fast paralleling after the disconnection in southern small hydropower grid[J]. Journal of Shaanxi University of Technology (Natural Science Edition), 2012, 28(3): 15-17.
- [2] 黄海. 水电站安全自动解列装置研究[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(9): 82-83.
- HUANG Hai. Study on auto-disconnection safety of hydrostation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2003, 23(9): 82-83.
- [3] 杨剑, 黄金. 地方小水电故障解列动作分析与研究[J]. 电工技术, 2011(11): 51-52.
- YANG Jian, HUANG Jin. Research and motion analysis on small hydropower fault disconnection in local power grid[J]. Electric Engineering, 2011(11): 51-52.
- [4] 高立克, 刘蔚. 地方电网小水电故障解列问题分析研究[J]. 广西电力, 2010, 33(3): 5-9.
- GAO Like, LIU Wei. Study on small hydropower fault disconnection in local power grid[J]. Guangxi Electric Power, 2010, 33(3): 5-9.
- [5] 滕予非, 张华, 汤凡, 等. 偏远地区小电网与主网解列后高频高压风险及抑制策略[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(1): 129-136.
- TENG Yufei, ZHANG Hua, TANG Fan, et al. Over-frequency and overvoltage risk of isolated small power grid in remote area and its suppression strategy[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(1): 129-136.
- [6] 李智勇. 链式结构的小水电汇流站全站失压防范策略[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(6): 143-147.
- LI Zhiyong. Strategies to prevent entire voltage loss for chain-structured afflux station of small hydros[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(6): 143-147.
- [7] 申盛召, 姚秀萍, 王维庆. 水电机组调速系统对孤网频率稳定性影响分析[J]. 大电机技术, 2014(4): 5-9.
- SHEN Shengzhao, YAO Xiuping, WANG Weiqing. The analysis of impact of hydro turbine governing system on stability of isolated net frequency[J]. Large Electric Machine and Hydraulic Turbine, 2014(4): 5-9.
- [8] 姚致清, 于飞, 赵倩, 等. 基于模块化多电平换流器的大型光伏并网系统仿真研究[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(36): 27-33.
- YAO Zhiqing, YU Fei, ZHAO Qian, et al. Simulation research on large-scale PV grid-connected systems based on MMC[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(36): 27-33.
- [9] 唐志军, 邹贵彬, 高厚磊, 等. 含分布式电源的智能配电网保护控制方案[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(8): 9-14.
- TANG Zhijun, ZOU Guibin, GAO Houlei, et al. Protection and control scheme for smart distribution grid with distributed resource[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(8): 9-14.
- [10] 黄伟, 李文云, 吴小辰, 等. 基于广域量测的云南小水电群振荡解列原理及判据[J]. 南方电网技术, 2010, 4(增刊 1): 56-62.
- HUANG Wei, LI Wenyun, WU Xiaochen, et al. The principle and criterion of an oscillation islanding device of yunnan small hydro power based on wide-area measurement[J]. Southern Power System Technology, 2010, 4(S1): 56-62.

[11] 邹浩斌. 分布式小水电对配电网自动控制装置的影响研究[J]. 中国水能及电气化, 2012(9): 40-45.
ZOU Haobin. Study on influence of distributed small hydropower on automatic control device of distribution network[J]. China Water Power & Electrification, 2012 (9): 40-45.

[12] 刘蔚, 赵勇, 吴琛, 等. 一种提高多小水电群送出能力的 PSS 参数协调优化方法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(4): 44-50.
LIU Wei, ZHAO Yong, WU Chen, et al. A method of PSS parameters coordinated optimization for the improvement of transmission capacities of multiple small hydropower station groups[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(4): 44-50

[13] 尹项根, 张哲, 肖繁, 等. 分布式电源短路计算模型及电网故障计算方法研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 1-9.
YIN Xianggen, ZHANG Zhe, XIAO Fan, et al. Study on short-circuit calculation model of distributed generators and fault analysis method of power system with distributed generators[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(22): 1-9.

[14] 马丽叶, 贾彬, 卢志刚, 等. 基于静态安全性和实时供电能力的输电网安全等级研究[J]. 电工技术学报, 2014, 29(6): 229-237.
MA Liye, JIA Bin, LU Zhigang, et al. Research on security classification of transmission network considering static security and real-time power supply capability[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(6): 229-237.

[15] 李晓珺, 张志强, 吴丽华, 等. 地区电网火电机组超速保护定值深化研究[J]. 电网技术, 2013, 37(9): 2521-2525.
LI Xiaojun, ZHANG Zhiqiang, WU Lihua, et al. Further research on setting values of over-speed protection controller for fossil power generation units in regional power grid[J]. Power System Technology, 2013, 37(9): 2521-2525.

[16] 何仰赞, 翁增银. 电力系统分析[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.

[17] 杨素琴, 罗念华, 韩念杭. 分布式电源并网动态无功优化调度的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(17): 122-126.
YANG Suqin, LUO Nianhua, HAN Nianhang. Study on dynamic reactive power optimization dispatching for a local power system with distributed generators[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(17): 122-126.

[18] 李劲, 唐捷, 张勇军. 小水电群对配电网无功电压影响机理分析[J]. 南方电网技术, 2012, 6(5): 39-42.
LI Jin, TANG Jie, ZHANG Yongjun. Mechanism analysis on the effect of small hydropower plant group on the reactive voltage of distribution network[J]. Southern Power System Technology, 2012, 6(5): 39-42.

[19] 姚致清, 赵倩, 刘喜梅. 基于准同步原理的逆变器并网技术研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(24): 127-131.
YAO Zhiqing, ZHAO Qian, LIU Ximei. Research on grid-connected technology of inverter based on quasi synchronous principle[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(24): 127-131.

[20] 丁磊, 郭一忱, 陈青. 电力系统主动解列的可行解列时窗研究[J]. 电工技术学报, 2015, 30(12): 415-421.
DING Lei, GUO Yichen, CHEN Qing. Research on feasible splitting time interval of controlled islanding[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(12): 415-421.

[21] 束洪春, 曹璞璘, 杨竞及, 等. 考虑互感器传变特性的输电线路暂态保护雷击干扰与线路故障识别方法[J]. 电工技术学报, 2015, 30(3): 1-10.
SHU Hongchun, CAO Pulin, YANG Jingji, et al. A method to distinguish between fault and lightning disturbance on transmission lines based on CVT secondary voltage and CT secondary current[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(3): 1-10.

收稿日期: 2015-03-14; 修回日期: 2015-07-29

作者简介:

陈志峰(1974-), 男, 硕士, 工程师, 从事调度继电保护运行与整定研究; E-mail: dekywoo@yahoo.com.cn

徐兴发(1986-), 男, 硕士, 助理工程师, 从事继电保护研究; E-mail: xuxingfa168@163.com

王 娴(1981-), 男, 硕士, 工程师, 从事继电保护研究与整定计算。

(编辑 姜新丽)