

DOI: 10.7667/PSPC161190

一种快速可靠的发电机突加电压保护

陈吉, 崔凤仙, 户传立, 王亚丽, 曹祯, 赵吉生, 孙旋

(西门子电力自动化有限公司, 江苏 南京 211100)

摘要: 分析了发电机组突加电压的危害和当前突加电压保护存在的问题, 即: 发电机组并网运行时突加电压保护误动; 突加电压故障发生时故障切除时间较长, 导致发电机组的损害较大。根据现状, 提出了一种更可靠、快速的突加电压保护方案。该方案适用于静止状态或盘车状态的发电机组突加电压故障, 采用过电压闭锁、开关量闭锁的双重闭锁方式, 确保突加电压保护在发电机组运行时不误动。使用 RMS 算法计算模拟量, 降低保护动作的固有延时。详细描述了该方案的逻辑、算法以及仿真结果, 论证了该方案在静止或低速盘车状态下, 发电机组突加电压故障的先进性和可行性。

关键词: 突加电压保护; 发电机组保护; 双闭锁; 快速

A fast and reliable inadvertent energization protection of generators

CHEN Ji, CUI Fengxian, HU Chuanli, WANG Yali, CAO Zhen, ZHAO Jisheng, SUN Xuan
(Siemens Power Automation Ltd., Nanjing 211100, China)

Abstract: This paper analyzes the risk of inadvertent energization fault and problems of inadvertent energization protection during commission and operation, i.e. mal-operation of inadvertent energization protection during generator operation; the duration of fault lasts too long and results in burning loss of generator. Based on the analysis, a solution of inadvertent energization protection with faster speed and better reliability is proposed, which is used for generators in standstill status or jigger status. To avoid mal-operation, this solution uses redundant blocking conditions: voltage blocking and binary input blocking. To trip faster, the solution uses RMS algorithm for voltage and current calculation. This paper describes the logic, algorithm and simulation of Siemens inadvertent energization protection, and demonstrates the advantages of this solution in standstill or jigger status of generators.

Key words: inadvertent energization protection; generator protection; redundant block; fast

0 引言

根据 2006 年发布的国家标准 GB/T_14285-2006, 300 MW 及以上的发电机组宜装设突加电压保护^[1]。随着发电机组容量的增加, 突加电压保护的应用也越来越普遍, 一些问题随之暴露, 如发电机组并网后, 突加电压保护误动、切除故障时间过长导致转子烧损严重等等。本文针对常见的突加电压保护问题, 提出了一种更可靠、更快速的突加电压保护方案, 以提高发电机组的安全性, 降低事故引发的经济损失。

1 突加电压的危害以及突加电压保护的改进建议

发电机突加电压是指发电机组处于静止或盘

车的状态下, 突然三相并入电网^[2-3], 或发电机组退出系统后^[4], 断路器断口闪络而导致的发电机组突然一相或两相并入电网^[5]。国内对突加电压的定义有所扩展, 将发电机组非同期并网也视为突加电压故障^[6]。以下简单分析突加电压的危害。

当发电机组处于静止或低速盘车的状态时, 发电机组未加励磁, 定子绕组电流为 0 A。发电机组因突加电压故障并入电网后, 定子电流迅速增大, 在定子绕组气隙中产生旋转磁场。该旋转磁场在转子绕组上感应出大电流, 由于集肤效应, 转子表面温度迅速升高, 在电阻较大的部位如护环、槽楔等处发生烧损。定子绕组在此情况下仅有正序电流, 该电流产生的正序旋转磁场的电磁转矩方向与转子的机械转矩方向相同, 使发电机转子超速运行。

断路器断口闪络通常为单相或两相闪络, 在定

子绕组上产生负序电流。该负序电流形成 2 倍于同步转速的旋转磁场, 在转子绕组感应出倍频电流。由于集肤效应, 转子表面热量迅速积累, 超过转子所允许的热容量, 导致转子烧损^[7]。与此同时, 负序倍频旋转磁场会产生倍频交变电磁力矩, 引起转子轴倍频振动^[8]。一般二次厂家有专门的闪络保护, 保护因断路器断口闪络所引起的故障。

从突加电压的危害可见, 突加电压保护应快速切除故障, 降低对发电机组的损害。另在现场运行过程中发现, 某些突加电压保护在发电机组并网运行时会误动, 引起经济损失。综上所述, 突加电压保护应确保保护动作的可靠性, 并尽可能提高切除故障的速度。

2 一种快速可靠的突加电压保护方案

2.1 保护判据与逻辑

西门子突加电压保护由过电流元件、电压闭锁元件及开关量闭锁元件组成, 主要用于静止状态或盘车状态的发电机组。某燃气轮机正常启动过程的电气特性曲线如图 1 所示。发电机由静止状态启动, 至频率转换装置关闭, 在此过程中, 机端电压由零上升至约 10% 的额定电压, 机端电流由零上升至约 20% 的额定电流。

根据图 1 所示发电机组启动电气特性, 西门子突加电压保护采用电压元件为闭锁判据, 过流元件为启动判据, 其保护逻辑如图 2 所示。当发电机端电压超出 50% 额定电压门槛值时, 突加电压保护自

动闭锁。用户也可选择开关量元件闭锁, 在发电机励磁开关闭合后, 手动闭锁突加电压保护。双重闭锁的方案, 确保发电机组在并网后, 突加电压保护不会误动。若在并网前后发生闪络故障或非同期故障, 将由其他保护, 如闪络保护、失同期保护、过流保护等切除故障。

$V_{rated,Gen}$: 发电机额定电压 V : 发电机端电压
 $I_{rated,Gen}$: 发电机额定电流 I : 发电机端电流
 $S_{rated,Gen}$: 发电机额定视在功率 P : 发电机有功功率
 $n_{rated,Gen}$: 发电机额定转速 n : 发电机转速
 f_{rated} : 系统额定频率

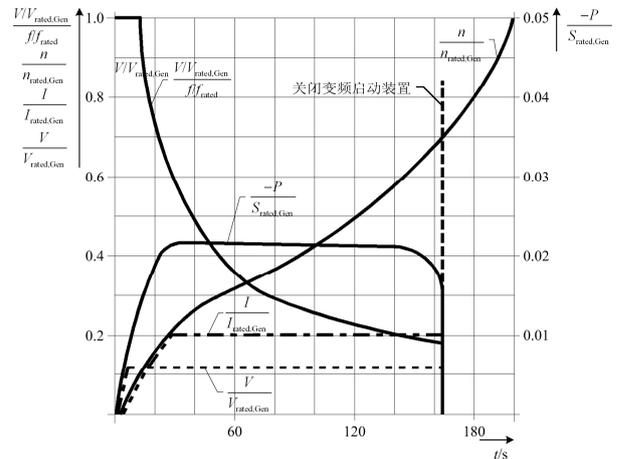


图 1 燃气轮机启动过程的电气量特性曲线

Fig. 1 Characteristic quantities during startup of a gas turbine

在发电机组处于静止或盘车的状态下, 突加电压故障发生, 机端电流将超出电流门槛值, 过电流元件启动。此时若保护未闭锁, 突加电压保护立即启动、跳闸。

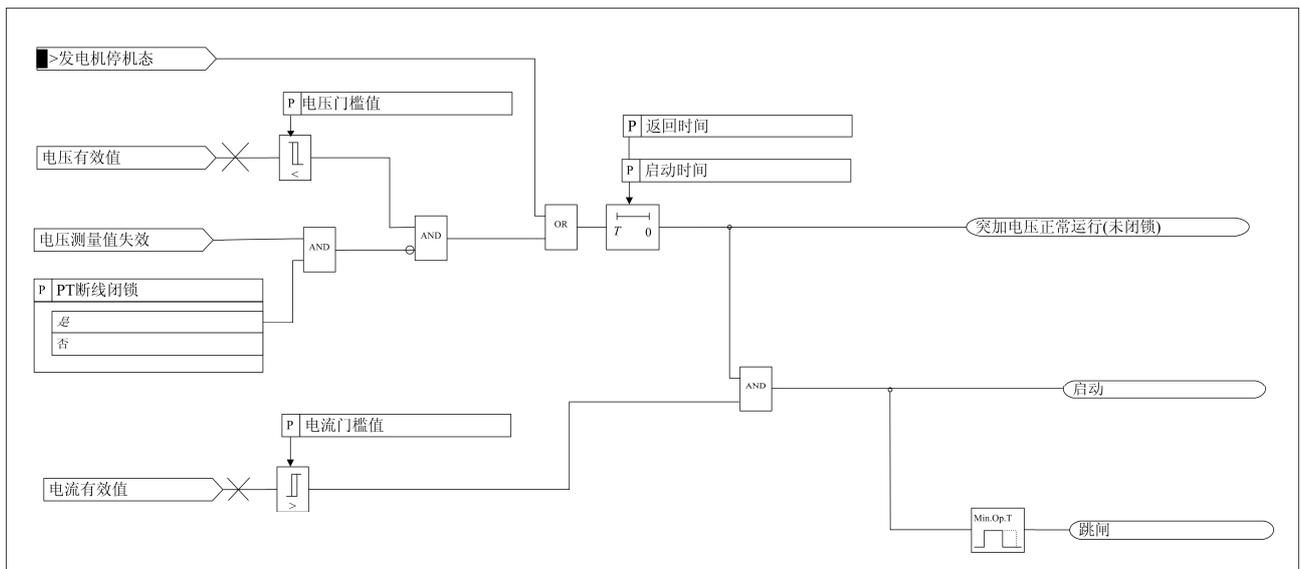


图 2 突加电压保护逻辑图

Fig. 2 Logic diagram of inadvertent energization protection

2.2 可靠性

在现场调试和运行过程中,有时会出现突加电压保护误动的情况,拒动情况较少发生。西门子突加电压保护采取双重闭锁的可靠方案:电压自动闭锁或开关量手动闭锁,配合闭锁启动延时与返回延时,实现突加电压保护的可靠性。

1) 突加电压保护的逻辑一般会使用开关位置。现场曾出现因直流备用电源自投失败,引起开关量直流电源掉电,最终导致突加电压保护因错误的开关位置误动的事故^[9]。西门子突加电压保护在此情况下仍能可靠工作。发电机组并网后,开关量直流电源掉电,西门子突加电压保护开关量闭锁判据失效。发电机组成功并网之后:机端电流超过突加电压保护的过流门槛值,满足过电流判据;机端电压为额定电压,大于电压门槛值,突加电压保护仍处于闭锁状态。因此,在发电机组并网后,运行期间即使出现直流电源故障,导致开关量闭锁失效,西门子突加电压保护也会由电压判据闭锁,不会误动。

2) 对情况 1)进一步分析,假设运行过程中直流电源掉电故障未被及时发现、排除,此时线路三相短路,电流升高,电压跌落^[10]。三相短路故障应由相应的线路保护动作,突加电压保护不应误动。在西门子突加电压保护闭锁逻辑中,此时电压虽小于电压门槛值,但需经过启动延时(默认 5 s)方可解除保护闭锁状态。此延时大于线路保护的启动延时,通过不同保护的时限配合,西门子突加电压保护在此情况下也不会误动。

2.3 快速性

西门子突加电压保护通过 RMS 算法计算电流、电压的有效值。该算法取固定采样间隔的 10 个采样点,先求其绝对值,再计算 10 个采样点的平均值,最后乘以修正系数,得到相应测量量的有效值。图 3 所示为西门子突加电压保护测量量算法。RMS 算法相对于傅里叶算法,数据窗更短且不受频率影响,在突加电压故障时,采用 RMS 算法,能更快切除故障,保障发电机组的安全。

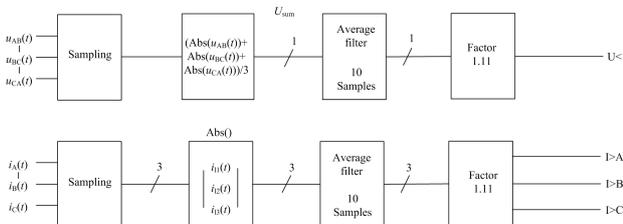


图 3 突加电压保护测量量算法

Fig. 3 Algorithms of inadvertent energization protection

对该算法在不同频率下进行仿真。

1) 如图 4 所示,对该算法在低频($f=5\text{ Hz}$)下进行仿真。左侧图片为输入电流信号,其有效值由 0.1 A 跳变至 2 A;右侧图片为经 RMS 算法输出的电流信号。由仿真结果可见,在低频时($f=5\text{ Hz}$),RMS 算法输出的电流有效值误差较大,在输入电流有效值附近上下波动。

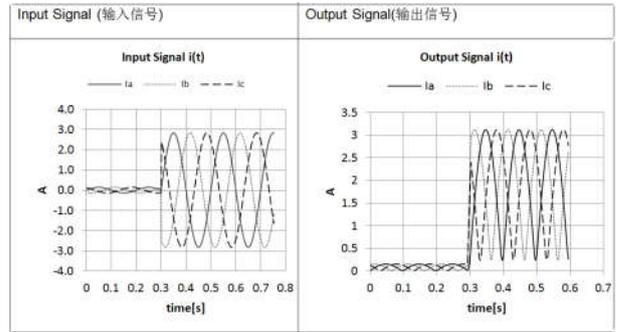


图 4 算法仿真($f=5\text{ Hz}$)

Fig. 4 Simulation of algorithms ($f=5\text{ Hz}$)

2) 如图 5 所示,对该算法在 0~80 Hz 频率下进行仿真。左侧图片为输入电流信号,其有效值为 0.1 A,频率以 1 Hz/s 的速率从 0 Hz 上升至 80 Hz。右侧图片为经 RMS 算法输出的电流信号。从仿真结果可见,在频率为 50 Hz 时,输出电流信号精度最好,有效值等于输入电流的有效值;频率偏离系统额定频率越远,电流有效值波动越大。

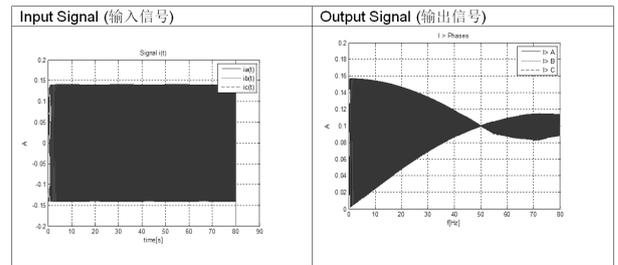


图 5 算法仿真($f: 0\sim 80\text{ Hz}$)

Fig. 5 Simulation of algorithms ($f: 0\sim 80\text{ Hz}$)

从以上仿真结果可见,在发电机停机或盘车的过程中,发生突加电压故障,定子电流的频率迅速上升为系统额定频率,RMS 算法在额定频率下能快速、准确地计算出测量量有效值,使保护动作,切除故障,减小对发电机组的损害。

3 探讨

RMS 算法是数字信号处理的一个重要工具,它对固定采样间隔的 10 个采样点的绝对值求平均,其优点在于数据窗的长度短,且不受频率变化的影响,相对于傅里叶算法,能更快切除故障^[11]。但 RMS

算法对谐波、直流分量的滤除较差。考虑到突加电故障发生之前,断路器分闸,机端无基波、谐波电流,故均值滤波的误差不会引起突加电压保护误动;突加电压故障发生后,定子上有数倍于额定电流的大电流,谐波分量导致的误差可忽略,突加电压保护正确动作。RMS算法提高了突加电压保护动作的速度,相对于傅里叶算法,虽然精度有一定降低,但基于突加电压故障特性,其精度误差并不影响保护动作的正确性。

4 结语

随着大容量发电机组的安装和运行,突加电压故障也逐渐成为损坏发电机组的重要故障之一,突加电压保护配置十分有必要。突加电压保护需同时满足快速、可靠的要求,即在突加电压故障发生时,快速识别故障跳闸;在发电机组正常运行过程中,保护不发生误动。西门子突加电压保护采用简易型RMS算法,缩短了计算数据窗,提高了突加电压保护动作的速度;采用电压、开关量双重闭锁的判据,确保突加电压保护在机组运行时不误动,增加了突加电压保护的可靠性。

参考文献

- [1] 中国国家标准化管理委员会. 继电保护和自动装置技术规程: GB/T 14285—2006[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [2] 张兵海, 张立, 闰文军, 等. 高厂变分支开关误合闸引起的发电机误上电事故分析[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(11): 112-117.
ZHANG Binghai, ZHANG Li, YAN WenJun, et al. Analysis of generator energization fault by improper close of auxiliary power transformer circuit-breaker[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28(11): 112-117.
- [3] 王维俭. 发电机变压器继电保护应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.
- [4] 邱立伟, 冒杰, 吴玉鹏, 等. 发电机误上电保护配置改进及整定运行研究[J]. 继电保护技术, 2015, 1: 1-2.
- [5] 薛小静, 潘峰, 赵焱. 大型水电机组误上电保护的配置和整定计算——以溪洛渡、向家坝机组为例[J]. 水电与新能源, 2015, 129: 30-33.
XUE Xiaojing, PAN Feng, ZHAO Yan. Configuration and setting-calculation of the inadvertent energizing protection in large scale hydropower generator units in Xiluodu and Xiangjiaba stations[J]. Hydropower and New Energy, 2015, 129: 30-33.
- [6] 孙浩波. 大型发电机组同期回路的设计及防止非同期、误上电事故的应用分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(7): 109-131.
SUN Haobo. Technical analysis of non-synchronous tie and inadvertent energization of large generator and design of synchronous circuit[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(7): 109-131.
- [7] 沈浩然, 张建华, 丁磊, 等. 双馈异步发电机单相接地故障瞬态特性研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(18): 6-11.
SHEN Haoran, ZHANG Jianhua, DING Lei, et al. Transient characteristic research of doubly-fed induction generator during single-phase grounding fault[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(18): 6-11.
- [8] 朱晓荣, 刘世鹏. 电网电压不对称跌落时DFIG的控制策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(8): 71-78.
ZHU Xiaorong, LIU Shipeng. A control strategy of DFIG under unbalanced voltage dips[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(8): 71-78.
- [9] 马勇, 赵淳. 一起发电机突然加电压保护误动事故分析[J]. 山东电力技术, 2014, 41(4): 61-62.
MA Yong, ZHAO Chun. A misoperation accident of inadvertent energizing protection[J]. Shandong Electric Power, 2014, 41(4): 61-62.
- [10] 郑涛, 李娟, 杨国生. 计及不同电网电压跌落程度的双馈风电机定子电流分析[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(1): 81-87.
ZHENG Tao, LI Juan, YANG Guosheng. Stator current analysis of doubly-fed induction generators considering different grid voltage dip levels[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(1): 81-87.
- [11] 宁建行, 迟长春, 苏郁林, 等. 基于快速傅里叶变换的剩余电流真有效值算法研究[J]. 电器与能效管理技术, 2015(17): 13-16, 65.
NING Jianhang, CHI Changchun, SU Hanlin, et al. The research of calculation for true rms of residual current based on fast fourier transforms[J]. Electrical & Energy Management Technology, 2015(17): 13-16, 65.

收稿日期: 2016-08-01; 修回日期: 2016-10-09

作者简介:

陈吉(1984—), 女, 学士, 中级工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护; E-mail: chenji@siemens.com

崔凤仙(1983—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统继电保护;

户传立(1977—), 男, 学士, 中级工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护。

(编辑 魏小丽)