

一种面向数字化变电站的母线保护方案

王攀峰, 周晓龙, 杨恢宏

(许继电气公司技术中心, 河南 许昌 461000)

摘要: 差动保护原理作为母线保护的基本原理已经非常成熟并普遍应用,但在数字化变电站尤其是间隔数较多的变电站,用差动原理实现母线保护存在着诸多的难题,尤其是大量数据实时传输对通讯网络提出了过高的要求。提出了一种方向原理的母线保护方案,作为一个功能插件分布于各间隔的保护测控装置中,构成一种网络保护,是一种实现起来低成本并且对网络通讯几乎不增加任何负担的方案。

关键词: 母线保护; 数字化变电站; 方向原理; IED; GOOSE

A scheme of busbar protection in digital substation

WANG Pan-feng,ZHOU Xiao-long,YANG Hui-hong

(Technology Center, XJ Electrical Company, Xuchang 461000,China)

Abstract: Differential principle is a basical busbar protection theory and is widely used. But in digital substations especially with lots of bays,there are some difficulties to apply differential principle.The realtime transferring of too large numbers of data needs extra-requirement to communication networks. This paper proposes a directional principle bus protection scheme.As a function unit distributed in each bay IED and forming a net protection, it is a good scheme with low cost and no extra-load to communication network.

Key words: busbar potection; digital substation; direction principle; IED; GOOSE

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)12-0048-04

0 引言

通用的变电站自动化标准 IEC61850 正被广泛的理解和推广,电子式电压电流互感器以及智能开关技术正逐步成熟并进入应用阶段,数字化变电站示范站的建设正如火如荼地开展。按 IEC61850 标准协议建模的变电站自动化系统,其物理结构分为智能化的一次设备和网络化的二次设备,逻辑结构分为三个层次即间隔层、过程层、站控层。简单的说,以前的变电站自动化系统是相对独立的两部分,即间隔层保护和变电站层的监控系统。而未来的数字化变电站自动化系统是一个无缝的整体,涵盖了数据采集、保护、测控、防误闭锁、故障录波、电压无功控制、一次设备的操作控制甚至状态监测,各功能不再是独立的,而是作为这个整体的一个功能插件,系统的灵活性、扩展性、一致性、互操作性都大大增强。变电站自动化系统的数字化是一个自下而上的过程,分步骤实施。目前主要的研究工作集中在智能化一次设备(OCT/OPT、ECT/EVT)和过程层设备(MU、智能接口、交换机、光纤以

太网)上^[1,2]。普遍认为间隔层保护测控装置的研制是一件顺理成章的事,完全可以继承既有的保护原理,数据接口方式变化一下而已。但实际上并不完全如此。基于数字化变电站的特点,有必要对间隔层保护的实现展开细节上的研究。

1 差动原理母线保护在数字化变电站实现的困难

带比率制动特性的差动保护原理以其快速性、可靠性和灵活性逐步替代了原来的各种母线保护原理,成为目前应用最广泛的母线保护原理。虽然 CT 饱和对差动原理带来了一定的困扰,但随着电子式电流互感器的应用,CT 饱和问题不再存在。所以差动原理仍然是数字化变电站母线保护的首选原理。

在数字化变电站实现母线差动保护,与常规变电站的母线差动保护的最大的区别就是对各间隔的电流采样。常规变电站是从各间隔 CT 二次侧直接连接电缆到母线保护装置的交流变换插件,由保护装置的采样回路集中进行交流采样然后经 AD 转换器

件转换成数字量。而数字化变电站电子式电流互感器输出的直接是数字量, 保护装置所用的模拟量数据、开关量数据均通过光纤以太网从交换机或合并器获取。采样方式的变化衍生出了采样同步问题和数据实时传输问题。采样同步问题可以通过 GPS 对时网络解决, 但要从过程层和间隔层的通讯网络上同时获取所有间隔的信息并且要满足母线保护对交流量的实时性要求和采样频率要求对通讯网络是一个很大的挑战。以 24 个间隔母线系统 96 点/周波采样率 16 位数据为例计算对通讯速率的要求, 如按 IEC61850-9-2 规约为 $24 \times 96 \times 50 \times 984$, 约为 108 M, 即便通讯主干网采用 100 Mbit 以太网也很难在满足别的通讯需求的同时满足母线保护这么大的通讯要求^[3]。因此, 相对线路保护和变压器保护, 通讯瓶颈问题在数字化变电站母线保护中体现尤为突出。

虽然也有些方案提出来, 例如, 多 CPU 和多交换机同时通讯, 分担通讯任务同时分担差流计算任务, CPU 间通过 CAN 总线网络交换分组计算的差流数据, 最后汇总作差动保护^[3]。还有方案提出来采用 BU (Bay Unit) 单元从各间隔合并器或分组交换机进行采样并对采样进行预处理, 然后通过专用的母线保护通讯网络汇总采样数据到 CU (Centre Unit) 单元进行差动保护的计算和判别。但是这些方案都是以较大的成本来解决通讯瓶颈问题, 单就母线保护来讲装置成本要超过常规变电站母线保护。

2 方向原理母线保护方案

方向原理在差动原理以前就曾作为母线保护原理得到应用^[4]。如图 1 所示, 当母线发生故障时功率方向全部是指向母线的, 出线故障时故障线路的功率方向一定是背离母线的。

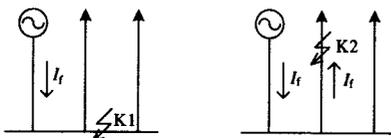


图 1 故障时功率方向示意图

Fig.1 Power direction in system fault

在数字化变电站中采用方向原理构成母线保护有其独特的优越性。首先不像差动原理那样对通讯网络产生过大的负担, 每个间隔单元的保护只需要获得其它间隔单元的功率方向即可。其次不需要专门的母线保护装置, 直接在各间隔保护装置 IED 中增加一个母线保护软件功能模块即可, 是一个完全的网络保护, 相对差动原理的母线保护来讲是一个

近乎零成本的母线保护。

下面以一个数字化变电站的低压母线系统为例 (小电流接地系统), 描述方向原理母线保护的实现方法。

2.1 启动判据

在小电流接地系统中, 发生单相接地故障时, 并不破坏系统线电压的对称性, 系统可继续运行 1~2 个小时, 同时, 绝缘监察装置发出信号, 由运行人员及时处理, 防止故障进一步扩大为两点、多点接地故障^[4,5]。因此, 在小电流接地系统中, 母线发生单相故障时, 母线保护要可靠不动作, 主要保护的故障类型是相间故障、两相接地及三相故障, 所以选取最小相间电压 $U_{\phi\phi\min}$ 小于 70 V 为启动判据。同时要求记忆电压大于 70 V, 以免 PT 断线时误启动。

2.2 反方向判别

用最小相间电压来选择用于方向判别的相间电流, 从而避免非故障相负荷电流对方向判别的影响。灵敏度角取 60° 。电流正极性以一次电流流出母线 (对单母分段接线的分段元件以流出 I 母线流入 II 母线) 为参考正方向。功率方向背离母线为反方向, 最大灵敏角 60° (对分段元件 I 母最大灵敏角固定为 60° , II 母最大灵敏角固定为 240°), 动作范围 180° 。

$$-30^\circ < \text{Arg} \frac{U_{abm}}{I_{ab}} < 150^\circ \quad (1)$$

$$-30^\circ < \text{Arg} \frac{U_{bcm}}{I_{bc}} < 150^\circ \quad (2)$$

$$-30^\circ < \text{Arg} \frac{U_{cam}}{I_{ca}} < 150^\circ \quad (3)$$

U_{abm} 、 U_{bcm} 、 U_{cam} 为相间记忆电压, 如果 $U_{\phi\phi\min} = U_{ab}$, 则方向判别选式 (1), 如果 $U_{\phi\phi\min} = U_{bc}$, 则方向判据选式 (2), 如果 $U_{\phi\phi\min} = U_{ca}$, 则方向判据选式 (3)。为防止轻载或空载线路误判方向, 方向判别还可以设置电流启动门槛, 例如取 $0.1I_n$ 。判出反方向后由电压低 ($U_{\phi\phi\min} < 70 \text{ V}$) 保持。

逻辑图如图 2 所示。

图 2 中的反方向判据满足状态根据公式 (1) ~ (3) 计算得出。为防止故障前后采样数据跨窗对方向判别的影响, 方向判别可以经 20 ms 的延时确认。

当本间隔的功率方向判为反方向时, 本间隔 IED 装置向同一母线上的其它 IED 装置发出闭锁母线保护的 GOOSE 信息。

低压母线系统各段母线一般分列运行, 为防止分段热备用状态下分段死区故障引起方向误判, 当

分段开关位置处于跳位时不参与母线保护，不发闭锁母线保护的信号，同时闭锁本单元母线保护动作逻辑。

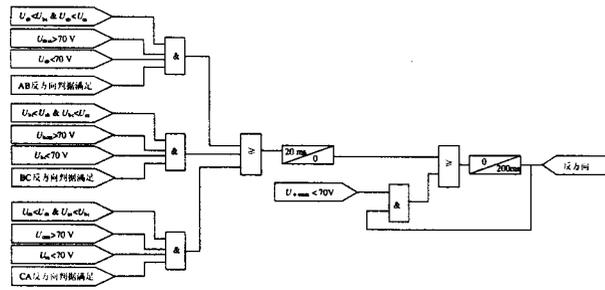


图2 方向判别逻辑框图

Fig.2 Logic diagram of direction principle

2.3 母线保护动作逻辑

如果是母线发生故障，主变、进线等有源元件的IED装置将会启动，同时功率方向会判别为正方向（即非反方向）。而出线元件由于没有电流不会启动，所以不会输出闭锁母线保护的GOOSE信号。这时电源元件的IED装置就可以发出跳本单元断路器的命令，从而切除故障。

如果故障发生在出线上，虽然这时电源元件也会启动同时判为正方向，但由于故障线路启动同时判别为反方向，发出闭锁母线保护的GOOSE信号，电源元件的IED装置接收到闭锁信号，则不动作。

如果母线上一点出线异相上另一点发生同时接地形成区内区外同时故障，这时出线仍然会判出反方向，发出闭锁母线保护的信号，电源元件不动作，待故障线路的保护动作跳开故障线路后，系统仅剩母线上一点接地，则可以继续运行。

低压系统对母线故障动作的快速性要求并不是太高，可以设置一个延时，延时应超过线路保护I段动作时间，例如0.1~0.2s。

同时电压闭锁仍然是母线保护一个很好的防误动措施。图3是电源元件母线保护动作跳本开关的逻辑框图。

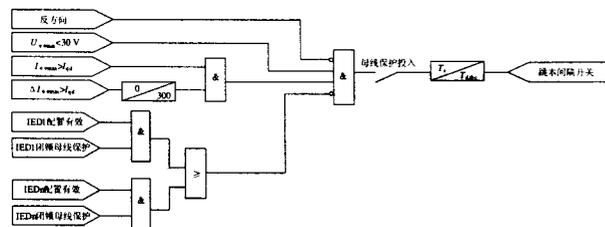


图3 母线保护动作逻辑框图

Fig.3 Logic diagram of busbar protection operation

出于可靠性的考虑，可以增加电流闭锁判据，例如要求最大相间电流应大于一个启动定值，同时最大相间电流的突变量大于启动定值。而且可以设

置参与母线保护的IED装置的配置参数，从而灵活地组合参与同一段母线保护的IED装置，即网络母线保护的成员。

3 系统仿真

以某变电站10kV母线为模型，如图4所示。

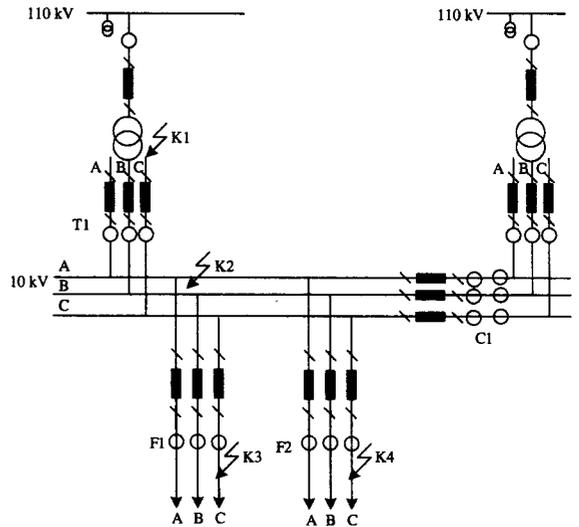


图4 系统仿真模型

Fig.4 Simulated model of the power system

其中：T1为主变，C1为分段，连接另一段母线，F1和F2是挂在该段母线上的馈线。

110 kV 侧系统阻抗： $Z_1 = 0.3191 + j3.3098 \Omega$

10 kV 侧负荷 1 的容量： $S_1 = 1.723 \text{ MVA}$ ，功率因数 0.85。

10 kV 侧负荷 2 的容量： $S_2 = 2.9 \text{ MVA}$ ，功率因数 0.85。

变压器参数：额定电压 110/10.5 kV，阻抗电压 10.5%，空载电流 1.1%，短路损耗 72 kW，空载损耗 14 kW，连接组 $Y_n/d11$ 。

额定电压： $U_N = 10.5 \text{ kV}$ ，额定电流： $I_N = 550 \text{ A}$ 。

仿真在 K1、K2、K3、K4 点发生各种故障时安装在电源 T1、分段 C1、馈线 F1、馈线 F2 四处保护的方向判别的结果。

由于篇幅限制，本文只列出 K2CA、K3AB、K3A-K2B、K3A-K4B 这四种典型故障仿真的方向判别的结果，分别见图 5~ 8。各图中图 t1、f1、f2、c1 分别表示发生对应故障时电源 T1、馈线 F1、馈线 F2、分段 C1 处保护的功率方向判别情况；横坐标表示时间（以故障时刻为 0 点，按每周波 24 点的采样点计时），纵坐标表示对应的功率方向的角度（单位“度”）。

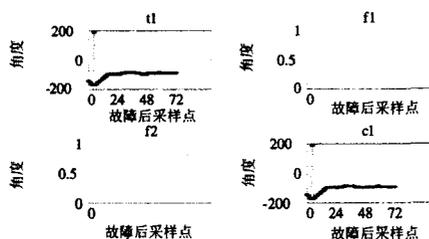


图 5 K2CA 故障
Fig.5 Fault K2CA

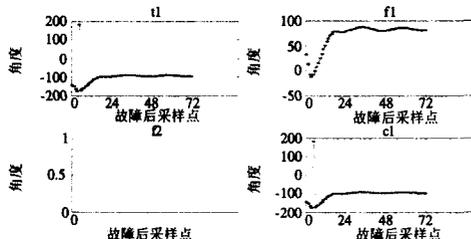


图 6 K3AB 故障
Fig.6 Fault K3AB

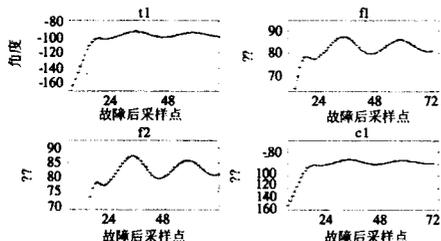


图 7 K3A_K4B 故障
Fig.7 Fault K3A_K4B

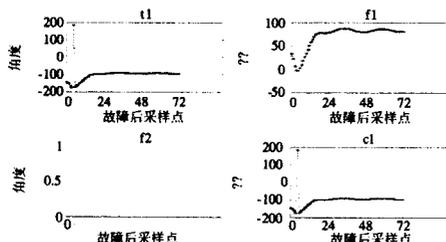


图 8 K3A-K2B 故障
Fig.8 Fault K3A-K2B

由图 5~8 的仿真结果并根据公式 (1)~(3) 可见: 母线发生故障(图 5), 电源元件 T1 与 C1 处非反方向(即正方向)动作, 馈线 F1 与 F2 处反方向不动作, 母线保护能可靠动作; 母线区外发生故障(图 6), 即使区外两点同时故障(图 7), 故障元件 F1 或 F2 处反方向能可靠闭锁; 母线发生区内一点单相故障, 同时区外异相另一点故障(图 8), 区外故障元件 F1 处反方向能可靠闭锁。

因此, 对 35 kV 及以下小电流接地系统, 由于

对母线保护动作时间要求不高, 同时要求母线单相故障时可靠不动作, 两相或三相故障时可靠动作, 本方案是可行的。

4 结论

方向原理的母线保护由于几乎无成本, 实现简单, 对通讯系统没有额外要求, 所以特别适用于数字化变电站。文中论述的面向数字化变电站低压母线系统的保护实现方案已经在某数字化变电站实际试运行。如果能够解决系统故障时功率方向快速可靠判别的问题, 用于高压母线系统也未尝不可。所以在积极探索差动原理应用于数字化变电站母线保护的实现方法的同时, 积极探索利用电子式电流电压互感器测量频带宽, 测量精度高, 响应速度快的特点, 设计快速准确的方向判别原理, 开辟一种更适合数字化变电站母线保护的新思路是很有意义的。

参考文献

- [1] 鲁国刚, 刘骥, 等. 变电站的数字化技术发展[J]. 电网技术, 2006, 30(S):499-504.
LU Guo-gang, LIU Ji, et al. The Technology Development of Substation Digitization[J]. Power System Technology, 2006,30(S): 499-504.
- [2] 高翔, 张沛超. 数字化变电站的主要特征和关键技术[J]. 电网技术, 2006,30(23):67-71.
GAO Xiang, ZHANG Pei-chao. Main Features and Key Technologies of Digital Substation[J]. Power System Technology, 2006,30 (23): 67-71.
- [3] 宋小舟, 等. 基于 IEC61850 功能分层的母线保护方案研究[J]. 电网技术, 2006, 30(S): 329-332.
SONG Xiao-zhou, et al. A Scheme of Bus Protection in Substation Communication Network and System IEC 61850[J]. Power System Technology, 2006,30(S):329-332.
- [4] 王春生, 等. 母线保护[M]. 北京: 中国电力出版社, 1997.
WANG Chun-sheng, et al. Busbar Protection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1997.
- [5] 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 Dispatching and Communication Center. Applied Technology Catechism on Electric Power Relay[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1997.

收稿日期: 2008-08-01; 修回日期: 2008-09-01

作者简介:

王攀峰(1977-), 男, 硕士研究生, 工程师, 从事继电保护研究与开发工作; E-mail: wangpanfeng@xjgc.com

周晓龙(1976-), 男, 本科, 工程师, 从事继电保护研究与开发工作;

杨恢宏(1973-), 男, 硕士, 从事继电保护研究与开发工作。