

分布式直流监测系统的设计与实现

余波¹, 徐丙华¹, 黄吉², 李祥筠², 邵能灵³

(1. 上海市电力公司超高压输变电公司, 上海 200063; 2. 上海希明电气技术有限公司, 上海 200333;
3. 上海交通大学电子信息与电气工程学院, 上海 200240)

摘要: 研制开发了直流监测端子 DOG, 通过检测支路差流及系统网络拓扑结构的变化及时发现直流接地或寄生回路。基于直流端子 DOG, 可以形成具有全分布、底层分布和按需分布配置等多种分布方式的分布式直流监测系统。此分布式系统在实际中可以灵活配置, 能迅速检测直流接地或寄生回路发生的最小范围。系统对于不同的回路配置不同的告警颜色, 更方便问题的查找与维护。基于此装置的分布式直流监测系统在 220 kV、110 kV、35 kV 等各等级变电站的应用中都产生了良好的效果。

关键词: 直流监测端子 DOG; 分布式监测系统; 直流接地; 寄生回路; 变电站

The design and realization of the distributed DC monitoring system

YU Bo¹, XU Bing-hua¹, HUANG Ji², LI Xiang-yun², TAI Neng-ling³

(1. Shanghai High Voltage Transmission Co.Ltd, Shanghai 200063, China;

2. Shanghai Ximing Engineering Laboratories, Shanghai 200333, China;

3. School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: This paper designs a DC monitoring terminal DOG to timely detect DC earthing and DC parasitic circuit through testing the branch differential current and the change of system typology structure. Based on DC monitoring terminal DOG, a distributed DC monitoring system is proposed. The proposed system can be disposed by different styles, which include entire distribution, bottom distribution and the distribution on demand, and it can detect minimum range of DC earthing or DC parasitic circuit quickly. By deploying different alarm colors in different circuits, it is convenient for finding troubles and maintaining. The distributed DC monitoring system is widely used in 220 kV, 110 kV and 35 kV substation and presents good performances.

Key words: DC monitoring terminal DOG; distributed DC monitoring system; DC earthing; parasitic circuit; substation

中图分类号: TM774 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)19-0216-03

0 引言

作为变电站继电保护、自动化等二次设备的运行电源, 直流系统的安全运行是变电站保护及控制系统正常工作的基础, 其重要性不言而喻。长期以来, 直流系统中主要有两个重大隐患: 直流接地和寄生回路。直流接地和寄生回路的发生, 轻则使设备运行处于不正常工作状态, 为运行人员提供错误信息, 从而对正常运行操作和故障处理带来困难; 重则引起继电保护误动或拒动, 酿成大面积停电事故甚至设备损坏。在继电保护工作中, 直流接地和寄生回路的查找较为困难, 为此, 本文研发了直流监测端子 Dog, 直流监测端子 Dog 可以通过检测支路差流及系统网络拓扑结构的变化及时发现直流接地或寄生回路。

直流监测端子 Dog 用以监测变电站直流系统负载侧, 当有直流接地和寄生回路发生, Dog 就会提示, 基于此装置的分布式直流监测系统在 220 kV、110 kV、35 kV 等各等级变电站的应用中都产生了良好的效果。本文主要介绍基于直流端子 Dog 的分布式直流监测系统在变电站中的应用。

1 分布式的直流系统

如图1所示为典型的变电站直流系统, 分为电源侧和负载侧, 中间配置一个集中式的直流报警系统用以监视负载侧的直流对地绝缘状况。从图1中可以看到, 负载通过直流母线引出, 形成一个配电网式的多级树形结构。直流电源从电源侧引出是先上一条小母线; 通过小母线再到负载或次一级的小母线; 而次一级小母线可以继续向下到负载或再次一级小

母线; 以此类推, 所以直流系统是一个分布式的系统。

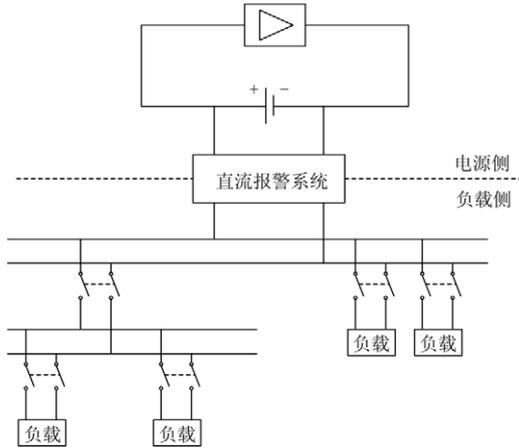


图1 变电站直流系统

Fig.1 DC system of power substation

直流端子Dog安装在任意空气开关的下侧, 用以监测空气开关下的负载侧。由于直流系统的分布式结构, 直流端子Dog也相应分布式的安装于直流系统的各个位置。相对于现有的集中式的直流报警装置, 基于Dog的检测系统被称之为分布式直流监测系统。

2 直流监测端子 Dog 的工作原理

直流端子Dog是通过捕捉正负极间差流及网络拓扑改变来实现对直流接地和寄生回路的检测。正负极间的差流检测主要基于基尔霍夫电流定律。如图2所示, 当异常发生时, 相当于在负载或线路与接地网之间多出一条支路, 会有电流通过地网和接地电阻流回电源, 从而使得电源正负极出线流进电流与流出电流不相等, 即有:

$$i_1 + i_2 \neq 0 \quad (1)$$

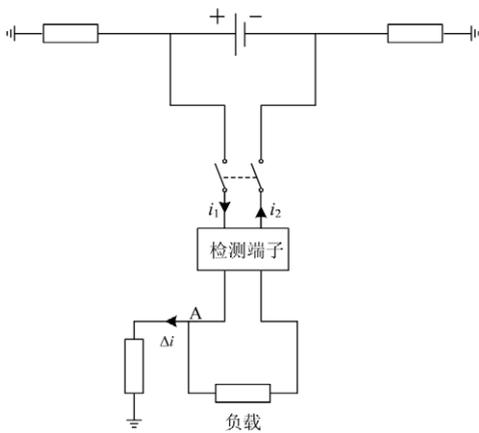


图2 直流端子 Dog 工作原理图

Fig.2 Principle diagram of DC terminal Dog

通过差流的检测即可识别异常。与此同时, 由于支路的存在, 直流回路的网络拓扑发生变化, 从接地一侧的电源端看出去阻抗发生了变化。

以直流感地故障为例, 如图2所示, i_1 , i_2 是流过端子的反相电流。当直流系统没有接地正常运行时 (即设图中A点没有接地), $\Delta i = 0$, $i_1 + i_2 = 0$, 不存在差流, 直流监测端子Dog不会报警。当直流系统中有接地故障发生时, 如图所示, A点接地, 就会产生差流 Δi , 使得 $i_1 + i_2 = \Delta i$; 此时由于接地, 直流回路的网络也发生变化, 此时直流监测端子Dog就能检测出拓扑变化的存在, 红灯常亮发出报警, 工作人员就能知道直流系统内发生了直流感地故障。

对于寄生回路的检测也是相同, 当两路直流系统之间出现了寄生回路, 寄生回路上就会产生差流, 并且整个网络拓扑也发生了变化, 两边直流监测端子Dog会同时报警, 就能及时发现寄生回路的存在。

3 分布式直流监测系统

3.1 全分布监测系统

直流监测端子Dog可分布于整个直流系统中任意一个点, 为了完整的监测整个直流系统, 在系统中每一个空气开关下侧都安装上直流端子, 这样的分布方式称之为全分布监测系统。

图3所示为一个简化的全分布直流系统图。为了方便对全分布监测系统的描述, 对系统中安排的直流端子Dog进行了编号。下面举例说明全分布直流监测系统的工作情况。

3.1.1 直流接地

如果图3所示的直流系统中负载1发生直流感地故障, 那么毫无疑问, 总的直流报警装置会报警, 提示直流系统故障。此时, 直流端子的情况, 从高级到低级, 依次Dog1, Dog1.1, Dog1.1.1都会发出报警信号。工作人员可以通过逐层查找, 最后把接地的范围确定在负载1的区域。同样地, 如果负载5

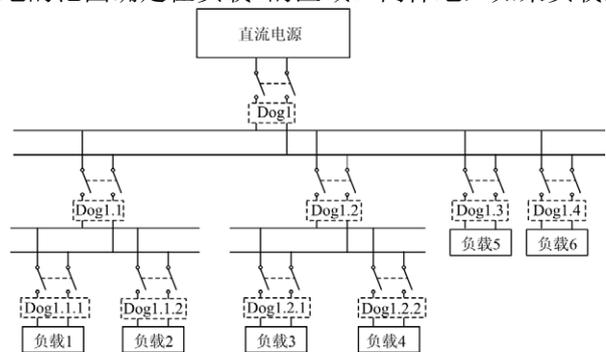


图3 全分布直流监测系统

Fig.3 Entire distributed DC monitoring system

区域发生直直接地，那么Dog1，Dog1.3就会报警，以提示接地点发生的最小范围。

当然也可能不是最底层负载接地，而是线缆或小母线接地，相应地也可以确定最小范围。例如Dog1.1和Dog1.1.1之间的线缆发生接地，此时Dog1，Dog1.1会报警，而Dog1.1.1，Dog1.1.2都会报警，这样，就可以把范围缩小到Dog1.1之下，Dog1.1.1，Dog1.1.2之上。

目前的变电站直流系统的配置中，当发生直流接地时，总报警装置会报警，但要查找到具体的接地点，需要耗费大量的时间和精力，不利于系统的运行。全分布监测系统能把接地范围确定到一个很小的区域内，能使工作量大大减少，大幅提高工作效率。

3.1.2 直流寄生回路

如图3所示，当负载1和负载2之间存在寄生回路时，Dog1.1.1，Dog1.1.2报警，而其他直流端子都不报警；当负载1和负载3之间存在寄生回路时，Dog1.1，Dog1.1.1，Dog1.2，Dog1.2.1会报警，其他直流端子不报警；如果负载1和负载5之间存在寄生回路，Dog1.1，Dog1.1.1，Dog1.3会报警，其他直流端子不报警。根据上述分析，可以简单地判别出寄生回路发生的支路。

综合上述直流接地与寄生回路的情况，可以总结为：

a) 从第一层直流端子到N层X直流端子，均发出报警，可以知道，在X端子下侧负载以下，N+1层端子以上发生了直流接地；如果某层有两个直流端子发出报警，而他们的上一层端子没有发出报警，那么可以确认，这两个端子的下侧负载之间存在了寄生回路。

b) 如果两个直流系统之间发生寄生回路时，无法确认是存在寄生回路还是两个系统都存在直流接地，那么可以采用拉掉其中一个回路的方法；如果存在寄生回路，两个系统中直流端子的报警都会消失；如果是直流接地，那么另一路的直流端子报警仍会存在。

3.2 底层分布监测系统

所谓底层分布监测系统，即指整个分布式系统中，直流监测端子Dog只安装在最底层负载之上。比之全分布系统，这样做可以使成本大幅度降低，而直流系统中，在小母线和线缆上发生直直接地和寄生回路的概率很小，大部分故障发生在控制回路、保护、信号回路等负载侧。所以这是一种不完全但性价比较高的分布方式。

图4所示为一个简化的底层分布直流系统。由于

Dog只安装在最底层负载区域之上，它将只能监测负载区域，它是全分布系统的一个简化版。

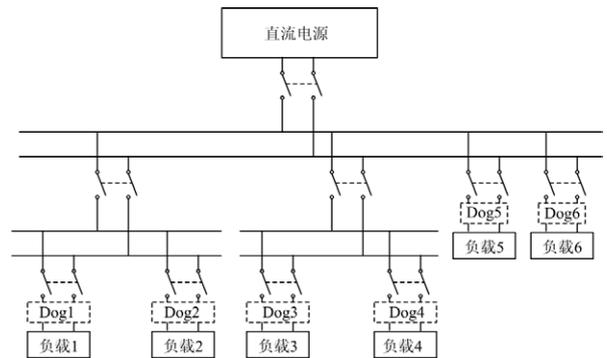


图4 底层分布直流监测系统
Fig.4 Bottom distributed DC monitoring system

底层分布系统不具有全分布系统那么多层次，它只有一层。每一个直流端子都只监测其下的一个负载区域，其对故障的判断也相对简单：当某个直流端子发出故障报警，即意味着其下侧的负载区域发生了直直接地或与其他负载之间存在寄生回路。

3.3 按需配置的分布式监测系统

以上两种分布方式是较为常用的两种分布方式，然而并不是一定要按这两种方式来配置直流端子在系统中的分布，完全可以根据现场需求来对分布式系统做出调整。

从直流监测端子Dog的工作原理可以知道，即使系统中只安装一个直流端子，它也能够对其下侧的直流负载区域起到监测作用。当然单个的直流端子会使我们对其故障原因（直流接地或寄生回路）的判断发生困难。

因此，完全可以根据实际的需要，在直流系统中必要的位置安装直流监测端子，而在不重要或不必要的部分不进行安装。这样，分布式监测系统能获得最大的性价比和效率。

3.4 依据端子颜色判断端子位置

当采用了分布式的直流监测系统后，在现场有更简单的判断方式，那就是根据端子的颜色。

直流监测端子的外壳具有不同的颜色，利用这一点在设计分布式监测系统时可以根据端子所在的不同层次和不同回路使用不同颜色的端子。这样，在现场打开一个保护屏时，可以很容易地在一排直流端子中判断出哪个端子是用于哪个回路的。

例如，在一个35 kV线路保护屏，直流回路一般有保护回路、控制回路和信号回路，假设分别使用黑色、白色和绿色的端子对应不同的回路。如果发生接

(下转第244页 continued on page 244)

systems in a distributed smart grid: design and implementation[C]. //IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications. 2009.

[10] 郝悍勇. IBM 眼中的“智能电网”[J]. 电力信息化, 2006, 7 (6): 24-25.

HAO Han-yong. Smart grid in IBM's eyes[J]. Electric Power Information, 2006, 7 (6): 24-25.

[11] 谭永东. 自律分散系统动态进化问题研究(博士学位论文)[D]. 成都: 西南交通大学, 2007.

TAN Yong-dong. Study on dynamic evolution of autonomous decentralized systems, doctoral dissertation[D]. Chengdu: Southwest Jiao Tong University, 2007.

[12] 程时杰, 李刚, 孙海顺, 等. 储能技术在电气工程领域中的应用与展望[J]. 电网与清洁能源, 2009, 25(2): 3-5.

CHENG Shi-jie, LI Gang, SUN Hai-shun, et al. The application and prospects of energy storage technology in electrical engineering[J]. Power System and Clean Energy, 2009, 25 (2): 3-5.

[13] Collier S E. Ten steps to a smarter grid[C]. //REPC '09. IEEE Rural Electric Power Conference. 2009.

[14] Massoud Amin. Challenges in reliability, security, efficiency, and resilience of energy infrastructure: toward smart self-healing electric power grid[C]. //Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century. 2008.

[15] Richard DeBlasio, Cherry Tom. Standards for the smart grid[C]. //ENERGY 2008. IEEE Energy 2030 Conference. 2008.

收稿日期: 2009-09-18; 修回日期: 2010-08-09

作者简介:

牛朋超 (1983-), 男, 硕士研究生, 从事电力系统稳定运行与控制研究; E-mail: npc19830916@sina.com

康积涛 (1962-), 男, 教授, 硕士生导师, 从事电力系统及其自动化方面的研究;

李爱武 (1982-), 男, 硕士研究生, 从事牵引供电研究。

(上接第 218 页 continued from page 218)
地, 检查保护屏, 会发现白色的端子告警, 那么就知是控制回路发生直流接地, 方便检查。

4 结束语

基于直流监测端子Dog的分布式直流监测系统是现有的集中式直流报警系统的良好补充, 它具有如下优点:

a) 直流端子Dog能够发现寄生回路的存在, 这是现有的直流报警系统所不具备的功能。

b) 直流接地故障发生时, 能够将可能故障区域确定在一个更小的范围内, 方便工作人员的查找及维护。现有直流报警系统只能确定直流接地的存在, 但不能发现直流接地的具体位置。

c) 可按需配置的分布式监测系统。基于Dog的特点, 使得这个分布式系统的配置完全可以取决于需要, 既能够采用全分布的方式以使监测系统的功能达到最强, 也可以采用底层分布方式或自配置方式以减低成本, 提高性价比和效率。

综上所述, 采用基于直流监测端子 Dog 的分布式监测系统对变电站直流系统的保护更完善、更高效、更安全。

参考文献

[1] 邹森元. 浅谈防止直流寄生回路及一点接地问题[J]. 继电器, 1996, 14 (3): 52-57.

ZOU Sen-yuan. Discussion on preventing DC parasitic circuit and one-point-earthing[J]. Relay, 1996, 14 (3):

52-57.

[2] 甘景福. 直流系统间的寄生回路造成的直流接地假象[J]. 华东电力技术, 2004 (2): 41-42, 47.

GAN Jing-fu. DC unreal grounding caused by parasitic circuit between DC systems[J]. North China Electric Power, 2004 (2): 41-42, 47.

[3] Tanenbaum A S, van Steen Maarten. Distributed systems: principles and paradigms[M]. Pearson: Prentice Hall, 2004.

[4] Webb A C, Webb M. Automated testing of power system protection relays[J]. Power Engineering Journal, 1988, 11: 143-146.

[5] 毛锦庆, 等. 电力系统继电保护规定汇编[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.

[6] 田瑞敏, 崔秀梅, 韩晋锋, 等. 变电站查找直流接地浅谈[J]. 科技情报开发与经济, 2006, 16 (1): 285-286.

TIAN Rui-min, CUI Xiu-mei, HAN Jin-feng, et al. Taking about checking the direct current grounding within the transformer substation[J]. SCI/TECH Information Development & Economy, 2006, 16 (1): 285-286.

收稿日期: 2010-01-17; 修回日期: 2010-05-17

作者简介:

余波 (1963-), 女, 工程师, 从事电力系统自动化及科技管理工作; E-mail: nltai@sjtu.edu.cn

徐丙华 (1958-), 男, 工程师, 从事电力系统继电保护及工程管理工作;

黄吉 (1983-), 男, 工程师, 从事电力电子技术研发工作。