

直流系统接地检测*

张 毅, 张 泉, 李永丽

(天津大学电气与自动化工程学院, 天津 300072)

摘要: 直流系统接地在线检测装置利用了磁调制原理的直流感应器, 采用了单片机技术对直流系统一点接地和正负极同时接地, 并且在接地电阻相等的情况下实现在线检测。能够迅速查出故障回路并告警。装置的开发对于一点接地发展成两点接地造成保护误动或拒动有很好的预防作用。

关键词: 直流系统; 接地; 相位差磁调制原理; 微机; 在线监测

中图分类号: TM77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-8930(2005)01-0027-04

Ground Fault Detection for DC System

ZHANG Yi, ZHANG Quan, LI Yong-li

(School of Electrical Engineering and Automation, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: This paper presents a new on-line monitoring apparatus, which can detect ground fault on DC system using the principle of magnetic modulating. This apparatus is not only fit for the case of one pole bus insulation resistance fall, but also for the case of both positive and negative buses insulation simultaneous fall. Using microcomputer, it can find fault loop rapidly and can give an alarm signal. This apparatus will prevent the failure to tripping protection due to the two-point ground fault developed by one-point ground fault.

Key words: DC system; ground fault; magnetic modulating; microcomputer; on-line monitoring

1 前言

直流系统作为发电厂和变电站最可靠的电源已经被人们认可。在一般情况下, 直流系统一点接地并不影响直流系统的运行, 但是, 如果不及时找出故障点并予以修复, 当发生另一点接地故障时, 就可能引起重大事故。过去, 由于直流系统出现问题造成保护拒动并扩大事故, 甚至烧毁一次设备的事故经常发生。由于直流系统是一个非常庞大的多分支网络, 这就给运行人员对于故障点的查找造成很大的困难。

传统的直流系统绝缘检测装置采用的是电桥平衡原理^[1~3], 其最大的缺陷是无法对正负极绝缘同时降低时做出正确地判断, 并且要运行人员人为地进行拉线巡检排除故障。近几年注入低频分量法^[3]在现场得到应用。其原理是在电桥平衡装置发出告警信号后, 低频信号发生器将低频信号注入

直流系统, 通过检测各个支路的低频分量来判断是否该支路发生接地。这种方法的缺陷是无法排除分布电容的干扰, 并且会加大直流系统的纹波系数^[3], 进而对直流系统造成影响。

本文提出了一种微机直流系统接地检测装置方案。它克服了传统装置的缺陷, 并且排除了分布电容影响, 不会对直流系统造成影响。

2 相位差磁调制原理的直流感应器

在交变对称电压源或电流源激励的铁芯中, 若同时存在直流恒定磁场, 铁芯中交变磁通对称性就被破坏, 磁通的波形的正负半波相位将发生变化。相应地, 绕组输出电压的正负半波将发生相对位移。正负半波相位变化量的大小和方向可以反映直流偏置电流的大小和方向, 利用这一特性测量直流电流, 就是相位差磁调制式^[2,4]直流电流测量方法的基本原理(参见图1、图2)。

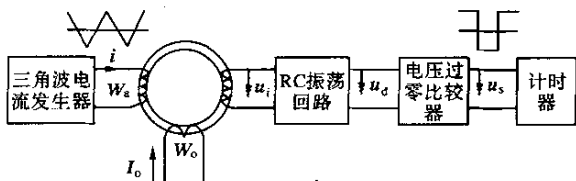


图 1 相位差磁调制原理图

Fig. 1 Principle of magnetic modulating

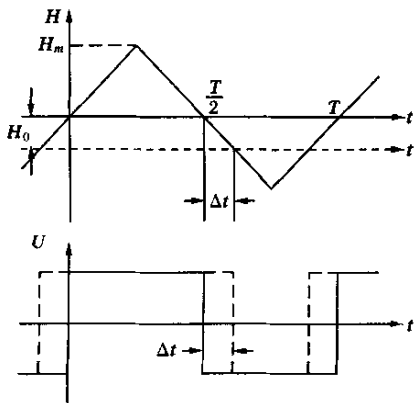


图 2 磁化曲线和输出脉冲波形

Fig. 2 Magnetization curve and waveform of output impulse

由图 1 和图 2 可得

$$\frac{H_0}{\Delta t} = \frac{H_m}{T/4}$$

$$\text{则 } \Delta t = \frac{H_0}{4H_m} T$$

其中: $H_0 = \omega_1 I$, $H_m = \omega_2 I_m$ 。

所以 $\Delta t = [\omega_1 I / (\omega_2 I_m)] (T/4)$

由此可得

$$I = [4\omega_2 I_m / (\omega_1 T)] / \Delta t$$

式中: Δt 为正负矩形脉冲的时间差; I_m 为激励电流的幅值; T 为周期; ω_1 、 ω_2 分别为直流信号绕组和交变激励磁绕组的匝数。

由于电流与时间差成正比, 所以只要检测到 Δt , 就可以测出直流电流值^[4,2]。

3 直流系统绝缘监测装置原理

在直流系统中, 如果没有绝缘下降的情况, 则每个回路的电流和为零, 即 $I_{n+} = I_{n-}$ 。其中: I_{n+} 表示第 n 条回路正极电流; I_{n-} 表示第 n 条回路负极电流。在直流传感器中的总磁场为零, 因此, 输出为零。当其中任一极绝缘降低时, $I_{n+} \neq I_{n-}$ 。这样, 传感器就可以测出本回路的漏电流^[4,2]。再根据测量阻抗计算出哪一极接地, 接地电阻是多大。原理图如图 3 所示。

万方数据

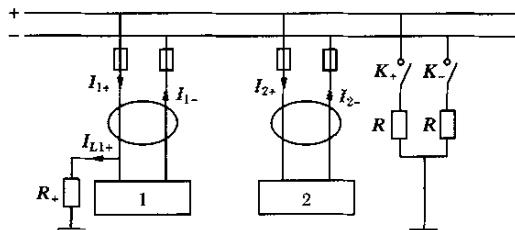


图 3 直流系统绝缘检测原理

Fig. 3 Principle of detecting ground fault on DC system

正常运行时, 将 K_+ 和 K_- 均闭合。当回路 1 正极绝缘下降时, $I_{1+} = I_{L1+} + I_{1-}$, 所以 $I_{L1+} = I_{1+} - I_{1-}$, 而在直流传感器中测得回路 1 的漏电流即为 I_{L1+} , 这时可以根据已知的几个条件计算出回路 1 的正极接地电阻。单极接地直流系统等效电路如图 4 所示。图中 U 表示直流系统母线电压。

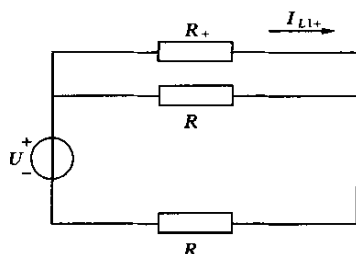


图 4 单极接地直流系统等效电路图

Fig. 4 Equivalent circuit of one-point ground fault of DC system

$$I_{L1+} = \frac{U}{2R_+ + R} \Rightarrow R_+ = \frac{U - I_{L1+}R}{2I_{L1+}}$$

如果是正负极同时绝缘下降, 并且下降的程度相等, 则断开开关 K_+ 或者 K_- , 通过测得的漏电流来计算接地电阻。假设此时断开负极测量电阻开关, 等效电路图如图 5 所示。

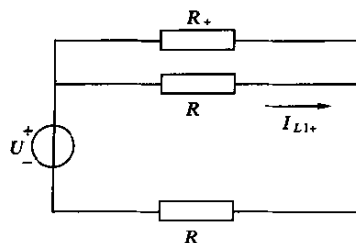


图 5 双极等电阻接地等效电路图

Fig. 5 Equivalent circuit of two-point ground fault

在直流传感器中流过的电流是流过正负极的电流差, 流过电阻 R 的电流如图 5 所示。此时由于正负极对地绝缘同等程度下降, 所以 $R_+ = R_-$ 。

$$I_{L+} = \frac{U}{R_+ + 2R}$$

$$\text{则 } R_+ = \frac{U - 2RI_{L+}}{I_{L+}}$$

因为一般情况下,直流系统只要求一点接地故障的检测,以防止二点接地对系统设备的损坏。上述方案可以实现正极或负极的一点接地及正负极同点接地故障的检测。

这种方法的优点:

1) 克服了传统电桥平衡原理进行直流系统监测的缺陷。当采用电桥平衡原理对直流系统进行监测时,信号继电器告警则表示电桥失去平衡,直流系统有一极绝缘下降。在两极绝缘同时下降并且程度相等时候电桥依然平衡,失去了保护意义。如果用直流传感器就不会出现这样的问题。它可以时时监测直流系统的绝缘水平。

2) 不需注入交流信号。出于对系统安全的考虑,直流系统电压的纹波系数^[1,3,5]要求 $< 5\%$ 。例如用注入低频分量法,会增大直流电压纹波,对系统的稳定造成影响。

3) 不用考虑分布电容的影响。低频注入法的最大缺陷就是分布电容对计算精度产生不可忽略的影响,可能造成误判、错判。

4) 可以时时监测各个回路的电流变化和绝缘电阻的变化,并且可以用单片机实现自动检测。

4 微机型直流系统绝缘检测装置

4.1 装置功能

通过计算直流传感器的电流值,来计算接地电阻值,如果小于用户整定的定值,则告警,并显示接

地支路、接地电阻值和接地极性。具体原理图如图 6 所示。

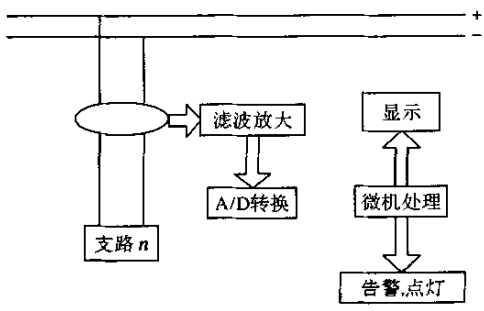


图 6 直流系统绝缘检测装置原理
Fig. 6 Principle of detecting apparatus for DC system

用户可以通过投切开关来选择是手动巡检还是自动巡检。如果是手动巡检,则闭锁微机程序。如果选用自动巡检,则微机轮流转换电子开关,分别对各回路进行检测,计算绝缘电阻值。如果发现绝缘降低情况,发出告警信息,并显示接地支路。如果没有发现绝缘降低的支路,则每隔 1 h 投切测量电阻 R 的开关^[2],做到可检测出回路存在两极绝缘同等程度下降的目的。

4.2 装置硬件结构

如图 7 所示,装置硬件以 51 单片机为核心,主要完成数据的采集和处理、计算算法的实现、整定值管理、实时时钟控制、面板人机接口、串并行接口控制、开关量输入以及控制电子开关等管理和控制功能。

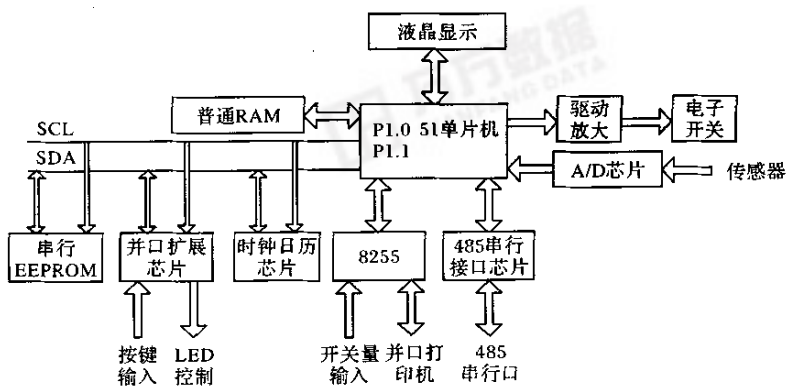


图 7 CPU 板结构图
Fig. 7 Structure of CPU board

由相位差磁调制原理制成的直流传感器,其小电流的稳定性好,原边与副边之间高度绝缘。结构简单,精度好,调试量少,可靠性高。不受接地电容影响。通常情况下,当直流系统有一极电阻小于 20 kΩ 时认为存在接地现象。本装置可以准确检测到单极接地小于 50 kΩ,双极接地小于 100 kΩ 的接

地支路,并且阻值计算误差满足工程要求。

5 结论

直流系统中存在一点接地应该及时查出排除。如果发展成为两点接地,则会造成系统中保护和控制设备的错误动作。本文提出了用相位差磁调制原

理^[2,5]的直流传感器来检测直流系统绝缘的损坏情况;给出了微机化的直流通地自动检测装置的方案。此方法可以实现多个回路自动在线检测,省去了人为拉线查找接地点的麻烦,前景良好。此装置有待于进行现场检验。

参考文献:

- [1] 李晓明,梁军,张沛云,等(Li Xiaoming, Liang Jun, Zhang Peiyun, *et al*). 直流接地点探测新原理(A new method of detecting grounding point in DC system)[J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power System), 2000, 24(13): 55—56
- [2] 向小民,胡翔勇,曾维鲁,等(Xiang Xiaomin, Hu Xiangyong, Zeng Weilu, *et al*). 直流系统绝缘监察装置(Insulation monitoring on DC system)[J]. 中国电力(Electric Power), 1999, 32(8): 38—50
- [3] 张次衡(Zhang Ciheng). 直流系统接地故障检测装置电容影响问题的探讨(Discussion of capacity influence on DC system ground fault detector)[J]. 电

力自动化设备(Electric Power Automation Equipments), 1996, 57(1): 48—50

- [4] Zhao Chengyong, Jia Xiufang, Hao Zhifang. The new method of monitoring DC system insulation on-line [A]. In: Proceedings of the 27th annual conference of the IEEE industrial electronics society [C]. 2001: 688—691
- [5] 李刚,蔡旭(Li Gang, Cai Xu). 一种新型的直流绝缘监测接地点定位综合装置(A new type integrated device of DC insulation monitoring and earth point locating)[J]. 煤矿自动化(Industry and Mine Automation), 2001

作者简介:

张毅(1977—),男,硕士研究生,主要从事电力系统故障分析与继电保护。Email: zy8819@sina.com

李永丽(1963—),女,教授,博士生导师,主要从事电力系统故障分析与继电保护。Email: ly1519@sohu.com

张泉(1972—),男,工程硕士研究生,主要从事变电站综合自动化。Email: zhangquan1972@126.com

~~~~~

## (上接第 18 页)

- [4] Hao Shangyou. A study of basic bidding strategy in clearing pricing auctions[J]. IEEE Transactions on Power System, 2000, 15(3): 975—980
- [5] Mielczarski W, Michalik G, Widjaja M. Bidding strategies in electricity markets [A]. In: Proceedings of the 21st IEEE International Conference on Power Industry Computer Applications [C]. 1999: 71—76
- [6] 于尔铿,周京阳,吴玉生(Yu Erkeng, Zhou Jingyang, Wu Yusheng). 发电报价曲线研究(A study on generator bidding curves)[J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2001, 25(6): 23—26
- [7] 李灿,龚乐年(Li Can, Gong Lenian). 考虑备用容量价格的电力市场模拟(Simulation of electricity market with spinning reserve auction)[J]. 电力系统及其自动化学报(Proceedings of the CSU-EPSCA), 2001, 13(2): 33—35, 64
- [8] 张宇波,罗先觉,薛钧义(Zhang Yubo, Luo Xianjue, Xue Junyi). 非完全信息下电力市场中电厂机组竞价上网的博弈解(Game solution to competitive bidding

of generation companies under incomplete information)[J]. 电力系统及其自动化学报(Proceedings of the CSU-EPSCA), 2003, 15(1): 27—32

- [9] 刘继春,刘俊勇(Liu Jichun, Liu Junyong). 发电公司回收成本型报价决策(Bidding strategy model for cost callback)[J]. 电力系统及其自动化学报(Proceedings of the CSU-EPSCA), 2003, 15(4): 79—82

- [10] 陈建华(Chen Jianhua). 电力市场中发电商报价行为分析(Analysis of bidding behavior of power supply in the electricity market)[D]. 杭州: 浙江大学电气工程学院(College of Electrical Engineering Zhejiang University), 2004

## 作者简介:

康建伟(1979—),男,研究生,主要从事电力市场和电力系统方面的研究。Email: kangjianwei79@etang.com

周浩(1963—),男,副教授,主要从事电力市场分析和电力市场监管方面的研究。Email: zhouhao\_ee@zju.edu.cn