

差磁式直流系统接地故障监测选线装置传感器的研制

马文骥, 兰 华, 李贻涛

(东北电力学院, 吉林 吉林 132012)

摘要: 研制了直流系统接地故障监测选线装置的传感器——差磁式故障监测选线传感器。理论研究及现场实际运行结果表明, 该传感器可以直接检测每条支路漏电流产生的磁场, 无需向直流操作回路注入任何信号, 对直流操作回路无任何影响, 且检测准确、灵敏度高, 解决了电力系统接地故障监测的实际问题。

关键词: 接地故障监测; 传感器; 差磁式

中图分类号: TM55 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2004)18-0057-03

0 引言

电力系统直流操作回路由于各种原因经常并发生对地绝缘水平下降以至于造成接地故障。这种故障如果不及时检测出来并加以排除, 将可能引起继电器误动作或直流保险熔断, 从而给系统的安全运行造成严重危害。

目前一般采用的直流系统绝缘监察回路^[2,3], 当对地总的漏电流超过定值时, 绝缘监察继电器动作报警, 维护人员需要逐条断开各支路电源, 观察报警信号是否消失, 以确定接地支路, 才能处理故障。这种方法操作繁琐, 时间长, 容易引起事故, 给及时排除故障带来困难。特别是当一条以上支路同时接地时, 困难更大, 对确保系统安全运行极为不利。目前也有采用注入信号的方式实现的接地检测装置^[1,4], 但这种方法要向直流系统中注入一种或两种交流信号, 可能造成直流操作回路的误动作, 也容易受到其它交流信号的干扰。

本文采用的差磁式直流系统接地故障监测选线装置的传感器, 直接检测每条支路漏电流产生的磁场, 装置与被测线路只有磁的联系, 没有电的联系, 也无需向直流操作回路注入任何信号, 所以对直流系统的运行没有任何影响。传感器可直接安装在直流操作回路各支路中, 装置通过传感器对直流操作回路各支路漏电流进行在线检测。一旦检测到有对地漏电流超过定值的支路, 即自动报警, 并直接显示出接地支路。维护人员根据装置的指示, 不需逐条断开各支路电源, 不影响操作回路工作状态, 即可准确判断接地支路, 从而快速排除接地故障。此套装置 1999 年安装某发电厂, 经 3 年的实际运行表明该传感器运行可靠、灵敏度高、结构简单, 只要有 0~5 mA 的接地电流产生, 传感器便可以准确地检测出来, 并很容易在微机保护中实现。由于检测是直流

信号, 故传感器抗干扰能力强。

1 差磁式故障监测选线装置的传感器的检测原理

差磁式直流系统接地故障监测选线装置的检测方法为差磁法。即直接检测被测支路正、负电流产生的磁场强度之差。若无接地电流, 传感器无输出, 若有接地电流, 传感器将该电流产生的磁场检测出来, 输出不为 0。检测原理框图如图 1 所示。

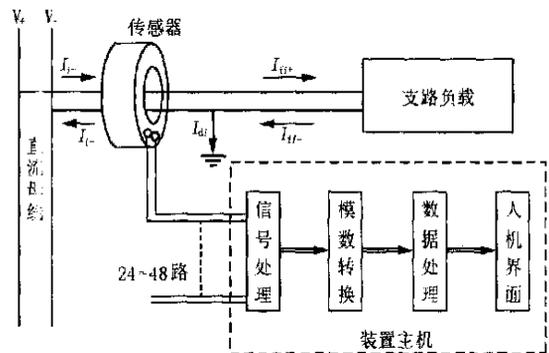


图 1 检测原理图

Fig. 1 Schematic diagram of fault detection employing differential magnetic sensor

图 1 中, I_i 为流过第 i 支路传感器的电流; I_{fi} 为第 i 号支路负载电流; I_{di} 为第 i 号支路接地漏电流。

从正母线端流出的第 i 号支路负载电流 I_{fi+} 经支路负载后, 返回负母线端为 I_{fi-} 。由于 $I_{fi+} = I_{fi-}$, 所以当该支路没有接地漏电流时, $I_i = I_{fi}$, $I_{i+} = -I_{i-}$, 穿过传感器的电流大小相等, 方向相反, 产生的磁场相互抵消, 传感器无检测输出; 当该支路发生接地时, $I_i = I_{fi} + I_{di} \neq 0$, 传感器有检测信号输出, 其输出电压为 ± 5 V。若正向负载接地, 传感器的输出为“+”, 若负向负载支路接地, 传感器输出为

“-”,装置主机将采集到的信号处理后,输出检测结果。

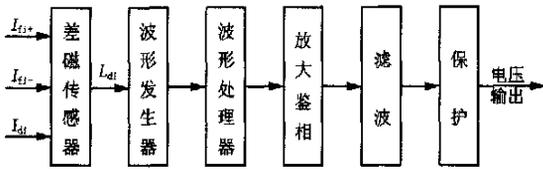


图2 传感器框图

Fig. 2 Block diagram of the proposed sensor

2 差磁式故障监测选线装置的传感器的工作原理及特性分析

差磁式故障监测选线装置的传感器由高磁导率的差磁磁芯线圈、波形发生器、波形处理器、放大鉴相环节、滤波环节、保护环节等6个环节组成,各部分组成如图2所示。若第*i*条支路无故障接地时,传感器检测到的直流电流产生的磁场之和为0,其输出也为0;若第*i*条支路有接地漏电流时, $I_{di} \neq 0$, $I_i = I_{i+} + I_{di}$,这时 $I_{i+} = I_{i-}$,接地电流 I_{di} 经过传感器线圈,线圈产生磁场,根据韦-安关系曲线,漏电流 I_{di} 对应一个电感值 L_i ,信号发生器的输出为一系列的方波。如图3(a)所示,该方波经P调节器和PID调节器分别进入到波形处理器的正、负输入端形成了相位差为 α 的脉冲,见图3(b)。此时波形处理器将信号微分,形成尖顶脉冲,其相位差仍为 α ,见图3(c)、3(d)。设信号发生器的输出信号周期为 T ,波形处理器输出信号的相位差为 α ,所对应的时间间隔为 T_x 。

$$\text{因为 } \frac{T}{360^\circ} = \frac{T_x}{\alpha}$$

$$\text{所以 } T_x = \frac{T}{360^\circ} \alpha$$

鉴相器输出脉冲信号的电压的幅值为 V_g ,脉冲宽度为 T_x ,该信号经过滤波之后,其输出信号为 V_o ,此时,

$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^{T_x} V_g dt = V_g \frac{T_x}{T}$$

若接地电流变化,则相位差 α 变化,滤波放大后的输出电压 V_o 则变化,若正向负载支路接地, V_o 为“正”,若负向负载支路接地, V_o 为“负”。即传感器的输出电压可以在线监测故障支路的极性 & 故障电流的大小。

3 差磁式直流传感器的实际测量结果

差磁式直流传感器已实际应用于某二发电厂,

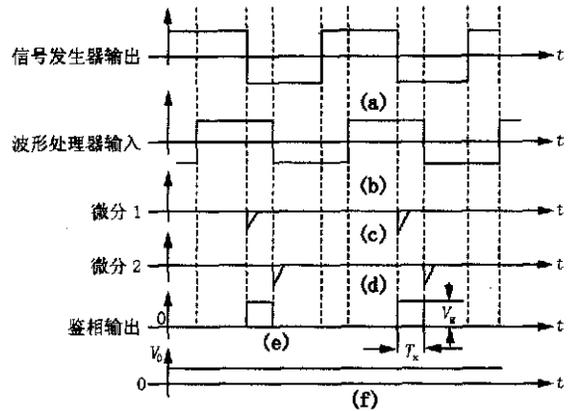


图3 传感器各部分波形

Fig. 3 Waves of each parts of the sensor

经3年的在线运行,此传感器解决了以往直流系统接地故障电流必须大于20 mA的实际问题。运行中,检测到的接地电流及传感器的输出电压如表1所示。从表1中可以看出,该传感器的电流检测范围为 ± 5 mA,即只要有大于5 mA的接地电流,该传感器就可以准确地检测出来,检测的最大绝对误差小于1 mA。

表1 传感器的运行数据

Tab. 1 Operation data of the sensor

正接地电流 / mA	传感器输出电压 / V	负接地电流 / mA	传感器输出电压 / V
0	0.01	0	- 0.01
0.5	0.51	- 0.5	- 0.49
1.0	1.02	- 1.0	- 0.99
1.5	1.51	- 1.5	- 1.50
2.0	2.02	- 2.0	- 1.99
2.5	2.49	- 2.5	- 2.51
3.0	3.01	- 3.0	- 3.01
3.5	3.5	- 3.5	- 3.47
4	4.09	- 4	- 4.01
4.5	4.47	- 4.5	- 4.49
5.0	4.98	- 5.0	- 5.01

4 结论

本文的差磁式直流系统接地故障监测选线装置的传感器是一种新型传感器,和其它检测方法相比,具有如下显著优点:

- 1) 不向直流操作回路注入任何信号,对直流系统的运行没有任何影响。
- 2) 该传感器直接检测每条支路漏电流产生的磁场,装置和被测支路只有磁的联系,没有电的联系。
- 3) 该传感器可以在线直接指示接地支路,接地极性和漏电流的数值。

4) 由于被测信号为直流,故其抗干扰能力强,漏电流的检测范围为 $\pm 10\text{mA}$,电流的分辨率为 0.1mA 。

5) 传感器电路简单,测试程序不复杂。易于操作人员安装调试,且材料成本低。

总之,本文提出的新型传感器构成的测试方法和原有的检测方法相比具有显著的优点。经过连续3年的在线运行结果表明,该传感器运行可靠,广泛地适用于发电厂、变电站的直流操作系统。

参考文献:

- [1] 费万民,张艳莉,吕征宇 (FEI Wan-min, ZHANG Yan-li, L ÜZheng-yu). 电力系统中直流接地电阻检测和接地故障点探测方法的研究 (Study on Methods of Measuring Insulation Resistance Between Ground and DC Power Supply and Detecting Fault Grounded Point) [J]. 电工电能新技术 (Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy), 2001, (3) 60-30.
- [2] 贾清泉,肖鹏,杨以涵,等 (JIA Qing-qun, XIAO Peng, YANG Yi-han, et al). 小电流接地电网单相接地故障

的小波选线方法 (Wavelets Method to Select Single Phase Faulted Circuit for Small Current Grounding Power System) [J]. 继电器 (Relay), 2001, 29(3): 5-8.

- [3] 肖白,束洪春,高峰 (XIAO Bai, SHU Hong-chun, GAO Feng). 小电流接地系统单相接地故障选线方法综述 (Survey of the Methods of Fault Line Selection for Single-phase-to-earth Fault in Networks with Ungrounded Neutral) [J]. 继电器 (Relay), 2001, 29(4): 16-20.
- [4] Robertson D C, Camps O I, Mayer J S, et al. Wavelets and Electromagnetic Power System Transient [J]. IEEE Trans on PWRD, 1996, (2): 1050-1058.

收稿日期: 2003-12-29; 修回日期: 2004-03-25

作者简介:

马文骐(1952-),男,副教授,从事电力系统及其自动化的教学和科研工作;

兰华(1956-),女,教授,从事电力系统及其自动化的教学和科研工作;

李贻涛(1974-),男,工程师,从事电力系统及其自动化的科研工作。E-mail: liyitao@ynmail.com

Development of differential magnetic sensor for line selection in fault detection of DC power system

MA Wen-qi, LAN Hua, LI Yi-tao

(Northeast Institute of Electric Power Engineering, Jilin 132012, China)

Abstract: This paper introduces a kind of differential magnetic sensor, which is applied to the line selection in fault detection of DC power system. Theoretical research and spot operation verify that this sensor can detect the magnetic field generated by leakage current of each branch without injecting any signal into DC operating circuit, so it has no any bad effects to the circuit. With accurate detection and high sensitivity, it solves the practical problems on fault detection of DC power system.

Key words: ground fault detection; sensor; differential magnetic

(上接第 53 页 continued from page 53)

颜俊(1981-),男,硕士研究生,研究方向为人工智能

在电力系统中的应用;

谭方熊(1966-),男,高级工程师,研究方向为电力系统自动化。

Development of a new voltage-reactive power integrated control equipment

YANG Jian¹, YAN Jun¹, TAN Fang-xiong², LIU Pei¹

(1. College of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

2. Guangxi Electrical Industry Investigation and Design Institute, Nanning 530023, China)

Abstract: A high capability voltage-reactive power integrated control equipment based on PC industrial computer and Windows operation system is presented in this paper. It solves the difficulties resulted from the limitations of software and hardware of old devices. The control strategy is based on nine-zone diagram and combined with artificial neural network, which makes a decision about the change of transformer taps and capacitor switching.

Key words: voltage; reactive power; nine-zone diagram; artificial neural network