

基于电缆屏蔽层对地漏电流在线测量的绝缘监视实验研究

建立了矿用高压电缆在某一相的绝缘电阻值下降时的Matlab仿真模型，分析了绝缘电阻下降程度与漏电流大小的关系，并推导出具体的计算公式；采用零磁通高准确度微型电流互感器测量电缆屏蔽层接地线上流过的微小漏电流，运用单片机对数据进行处理，并实时显示漏电流的大小以及当前高压电缆的绝缘电阻值，当绝缘电阻值下降到1 MΩ时发出报警信号。最后通过实验室实验验证了该方法的可行性。

王彦文 白帆 成家伟 孙九严 杜道 陈浩宇/中国矿业大学(北京)机电与信息工程学院

0 引言

矿井高压电网中的输电线路均为电力电缆。由于特殊的使用环境，更容易受到外界水汽、粉尘和腐蚀性物质等因素的侵蚀，从而造成绝缘水平下降，有可能引起单相接地故障，甚至威胁煤矿电网的安全运行。因此，矿用高压电缆绝缘性能的在线监测对整个煤矿供电系统的安全与可靠运行就显得格外重要。为实时监测矿用高压电缆的绝缘状态，可以通过测量电缆对地漏电流计算出当前电缆的绝缘电阻值，并评估出电缆的绝缘水平^[1-5]。

由于电缆的对地漏电流很微小，一般的测量方法并不能满足准确度要求^[6]，因此本文采用了在电缆外屏蔽层与接地线上安装零磁通高准确度微型电流互感器，解决了漏电流测量的准确度问题；借助于电缆三相对地绝缘参数模型，推导出绝缘电阻与漏电流的关系式，由测得的漏电流值推算出绝缘电阻值；利用单片机进行数据采集与处理，并实时显示漏电流的大小以及当前高压电缆的绝

缘电阻值，当绝缘阻值下降到1 MΩ时发出报警信号。

1 漏电流测量及其在线监测方法

在交流电压作用下，流过电力电缆绝缘的漏电流主要有电容电流和电阻电流。这两种电流的相位是不同的，故用Matlab搭建6 kV矿用高压电缆对地漏电流的集中参数仿真模型如图1所示，由6 kV高压电缆引出三条电缆线路，每条线路均接有对地漏电流集中参数模型，对地漏电流经电流表测得。其中，等效对地绝缘电阻为 R ，正常水平下为100 MΩ，等效对地电容为 C ，其数值为0.1 μF。

仿真过程中，改变图1任意一条线路中集中绝缘参数模型的三相中任意一相对地绝缘电阻值，以线路2中 R_1 为例，使其与该线路中其他两相对地绝缘电阻值 R_2 、 R_3 不同，通过电流表测得对地漏电流的有效值。记录不同情况下分别对应的漏电流值 I_1 （单位为mA），将电阻值 R_1 （单位为kΩ）转换成10的对数值，即 $\lg(R_1)$ 。为简化数据表格，下表中只列出了所记录的部分数据。

表 不同 R_1 下的漏电流 I_1 的值

绝缘电阻 $R_1/\text{k}\Omega$	漏电流 I_1/mA	$\lg(R_1)$
100 000	0	5
10 000	0.000 283 68	4
1 000	0.003 120 7	3
100	0.031 5	2
10	0.297 2	1
1	0.859 7	0

在初始对地绝缘电阻值100 MΩ与绝缘电阻值1 kΩ之间，以3 kΩ等间隔取若



王彦文/教授

关键词/Keywords

矿用高压电缆 ·
漏电流 ·
绝缘电阻 ·
Matlab仿真 ·

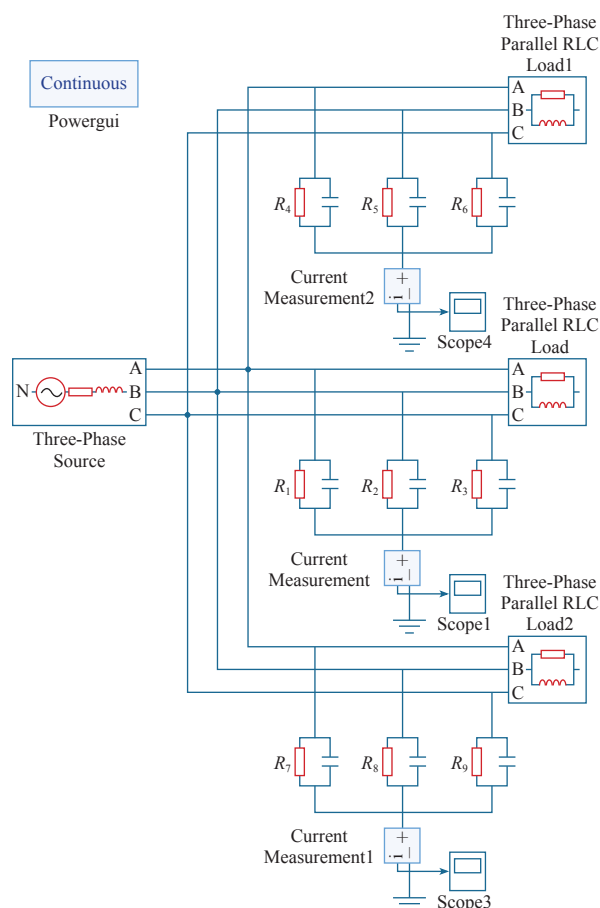


图1 测量矿用高压电缆对地漏电流Matlab仿真模型

千个电阻值作为当前电缆A相的绝缘电阻值 R_1 ，分别进行仿真测得相对应的漏电流 I_1 ，以 I_1 为自变量，以 $\lg(R_1)$ 为因变量，得到曲线如图2所示。

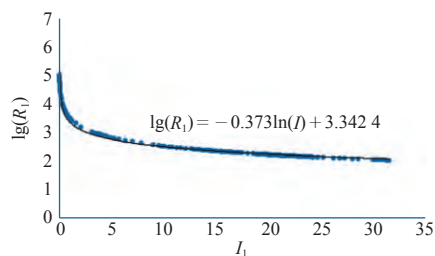


图2 绝缘电阻的对数与漏电流的关系

通过用对数函数曲线进行拟合，推导出A相对地绝缘电阻 R_1 与对地漏电流 I_1 的函数关系式为

$$\lg(R_1) = -0.373\ln(I) + 3.3424 \quad (1)$$

整理得

$$R_1 = 10^{-0.373\ln(I_1) + 3.3424} \quad (2)$$

式中， R_1 为A相对地绝缘电阻，kΩ； I_1 为对地漏电流，mA。

对得到的公式进行验证，将实际测得的漏电流值分别代入式(2)，计算出相应的绝缘电阻值 R'_1 ，将实际的绝缘电阻值 R_1 与 R'_1 进行比较，按照式(3)计算出其误差率 δ ，绝缘电阻测算的误差曲线如图3所示。

$$\delta = \frac{|R'_1 - R_1|}{R_1} \times 100\% \quad (3)$$

式中，横坐标为实际值 R_1 ，单位为kΩ；纵坐标为误差 $\delta\%$ 。

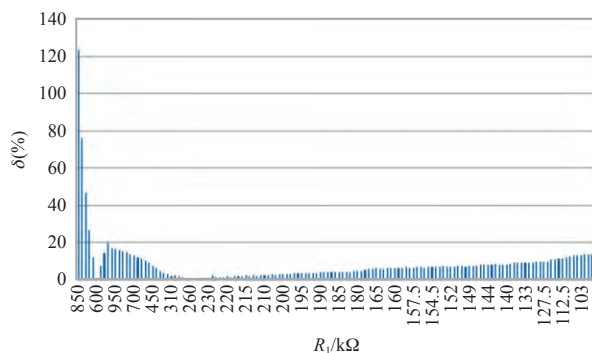


图3 绝缘电阻测算的误差曲线

由图3可知，在绝缘电阻水平下降初始阶段，即绝缘电阻大于6 000 kΩ时，线性拟合较差，误差 δ 可达到120%以上；当绝缘电阻阻值下降到6 000 kΩ及以下时，误差均在20%以内；而当绝缘电阻阻值下降到1 000 kΩ及以下时，误差均在5%，可满足绝缘监测的基本要求。

2 实验验证

将微型电流互感器安装在电缆接地线上，通过反复实验研究，得到采样电阻的优化值为20 Ω，采样电阻上的电压波形如图4所示，电流互感器实验

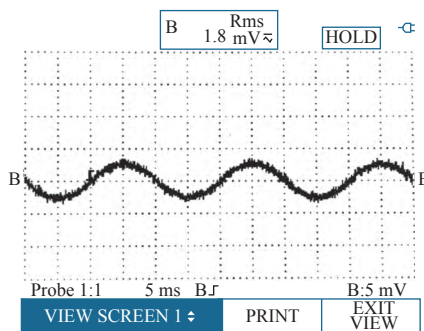


图4 采样电阻电压

接线示意图如图5所示。经运算放大器放大并抬高至0~3 V范围,接入430单片机进行A-D采样、数据处理,并计算对地漏电流值,再依据式(2)推算出绝缘电阻值。

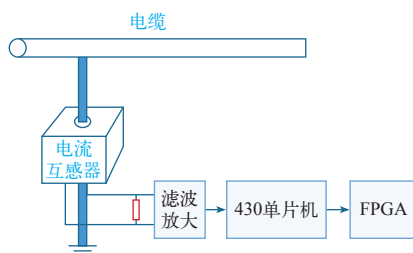


图5 电流互感器实验接线示意图

借助430单片机与FPGA板之间的数据传输功能,将此电流值传送到FPGA板并显示在其四位数码管上(单位为mA),通过判断该值是否达到对地漏电流绝缘水平报警范围来控制FPGA数码管是否闪烁。若数码管闪烁,则该电流值不满足绝缘要求,正常时数码管不闪烁。程序流程如图6所示。

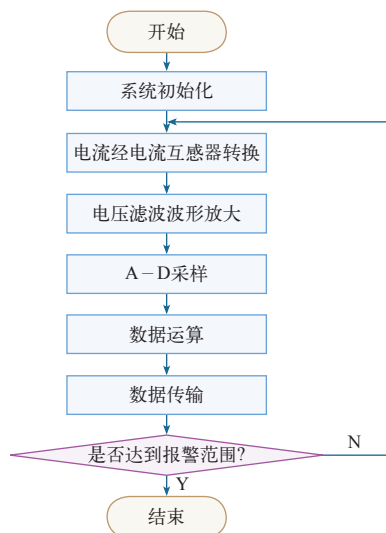


图6 程序流程

3 结束语

该方法借助零磁通高精度电流互感器测量电缆屏蔽层与接地线上的电流,通过单片机处理并分析数据,可用于在线监测矿井高压供电系统中电缆对地的漏电流,并反演推算出三相对地绝缘电阻值。利用Matlab进行了模拟仿真实验,测得的绝缘电阻在下降到6 MΩ以下时,其误差小于20%;当绝缘电阻下降到1 MΩ时,测量误差为5%。虽然准确度不够高,但基本能够满足电缆绝缘在线监测的要求。然后再经过进一步研究,逐步提高高阻值时的测量准确度。

参考文献

- [1] 丁伟民. 矿用高压电缆状态监测及故障诊断预警系统的研究 [D]. 太原: 太原理工大学, 2010: 3-4.
- [2] Ohki Y. Present stage of partial-discharge monitoring technique in after-laying tests for extra-high voltage XLPE cable lines [J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 2000 (2).
- [3] 严璋. 电气绝缘在线检测技术 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2007: 84-86.
- [4] 朱宇川, 赵斌, 闫小军. 基于接地线电流法的电力电缆绝缘监测系统设计 [J]. 信息通信, 2011 (2): 120.
- [5] 陈巧勇, 文习山, 吴桂芳, 等. 交联聚乙烯电缆绝缘在线检测直流叠加法的研究 [J]. 绝缘材料, 2002, 23 (6): 102-106.
- [6] 周理, 沈倪勇. 高压电缆绝缘电阻的测试及探讨 [J]. 铁合金, 2006 (5).

(收稿日期: 2016-02-10) EA

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告