

新型电缆地线断线监测保护装置的研制

田二胜, 汪兴宁, 史志鸿, 孙金国, 王晓辉, 程炳元

(许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 为了保障移动变电站箱体接地的可靠性、连续性, 保证设备及工作人员的安全, 需要进行地线监测, 因此提出一种新型电缆地线断线监测保护装置的研制方案。通过对可能发生的单相接地、断路和短路故障进行比较分析后得出三种故障信号之间、三种故障信号与正常信号之间都有着比较明显的特征, 依此建立可靠的判据。实际运行中装置能可靠地检测出单相接地、断路和短路三种故障并进行正确的出口动作。因此, 装置中应用的故障判据原理是有效和实用的, 能很好地保障系统的可靠接地。

关键词: 电缆; 地线; 监测; 单相接地; 断路; 短路

Development of new cable ground wire breaking monitoring protection equipment

TIAN Er-sheng, WANG Xing-ning, SHI Zhi-hong, SUN Jin-guo, WANG Xiao-hui, CHENG Bing-yuan

(XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

Abstract: In order to ensure the reliability and continuity of the cabinet of mobile substation grounding, and guarantee the safety of the equipment and workers, ground wire should be monitored, so the new cable ground wire monitoring protection equipment is proposed. Through comparing and analyzing the possible single-phase fault, ground break fault and short-circuit fault, it is found that both the three fault signals and the normal signals have obvious characteristics, based on which the reliable criterion can be established. In the actual running, the equipment can test the single-phase fault, the ground break fault and short-circuit fault and do the right action, so the fault judgment criterion used in the equipment is effective and practical, which can ensure a reliable ground.

Key words: cable; ground wire; monitor; single-phase ground; break-circuit; short-circuit

中图分类号: TM774 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)01-0134-05

0 引言

在冶金、露天矿供电系统中会大量使用电缆, 电缆一般有三相五芯或三相六芯电缆, 电缆的组成为 ABC 三相、地线和检测地线 (三相六芯电缆多了一根 N 线)。移动变电站通过地线到达上一级的供电设备的可靠接地网中^[1], 从而实现可靠接地。

如果地线出现故障, 移动站的接地系统就会受到破坏, 线路故障 (如单相故障) 等发生时, 壳体就会带电; 同时会在箱变周围形成跨步电压, 严重威胁箱变周围工作人员的生命安全^[2]。为了保障接地的可靠性, 连续性, 就必须进行地线监测, 确保箱体的可靠接地, 保证设备及工作人员的安全。

1 电缆地线的作用

电缆地线能可靠实现移动变电站的箱体可靠接地。当电缆地线断裂后, 移动变电站处于不可靠接

地状态, 此时, 如果发生电缆单相接地故障, 电缆地线由于处于断裂不可靠接地状态, 地线电压直接升为系统相电压, 地线的一端与箱变壳体相连, 因此, 整个箱体外壳的电压也升高为相电压。箱体虽然安放在地面, 但由于地表电阻以及箱体电阻的作用, 电压仍可保持在几千伏的电压等级。对设备和工作人员造成安全危害。电缆地线的好坏关系到移动站供电系统的可靠性和安全性。

2 地线断线监测装置基本原理

地线断线监测装置^[3]电气原理如图 1 所示。

2.1 地线断线

正常情况下端子 GC 和 G 端子间会输出一 24 V 的直流电压, GC 接入地线监测线, G 端接入地线, 在移动设备端在地线与地线监测线之间串联一 12 V 的稳压器 (稳压器原理: 只要在稳压器两端加上一超过其额定值的电压, 稳压器两端的电压将始终保

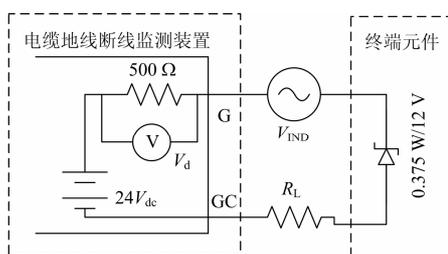


图 1 地线断线监测装置电气原理图

Fig. 1 Electrical schematic of the ground wire breaking monitoring equipment

持在其额定电压)。当地线和地线监测线都正常时, V_d 测到直流电压 12 V; 当地线或地线监测线断裂时, V_d 会测到直流电压 0 V; 当地线和地线监测线相互短路时, 在 GC 和 G 端子间会测到电压为 24 V。

2.2 单相接地

当发生单相接地^[4]时, 交流会窜入直流电源回路, 这时能够在 V_d 上测量到一定的交流电压, 再通过测量三相电压 U_A , U_B , U_C 来判断发生接地故障的相别, 最后通过测量系统的零序电流来最终判定是否发生接地故障, 保证装置的可靠性。

3 地线断线监测硬件原理框图

装置的硬件系统采用模块化设计, 分别包括模拟量采集模块、处理器模块、人机接口模块、开关量模块、通信模块和电源模块六部分组成。硬件框架结构图如图 2 所示。

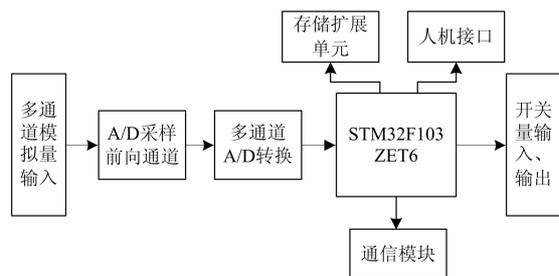


图 2 装置的硬件结构图

Fig. 2 Structure diagram of the hardware of the device

4 地线监测装置对故障的判定

4.1 装置应用于系统的仿真实验

电力系统为高阻接地系统^[5], 电源为无穷大系统, 变压器联结组为 Y/Yn0, 中性点接地电阻为 1000 Ω, 负载为三相不接地感性负载。

地线监测装置的系统仿真原理图如图 3 所示, 正常工作情况下为 Break1 闭合, Break 和 Break2 断开, 下面对单相接地和地线断线分别进行分析。

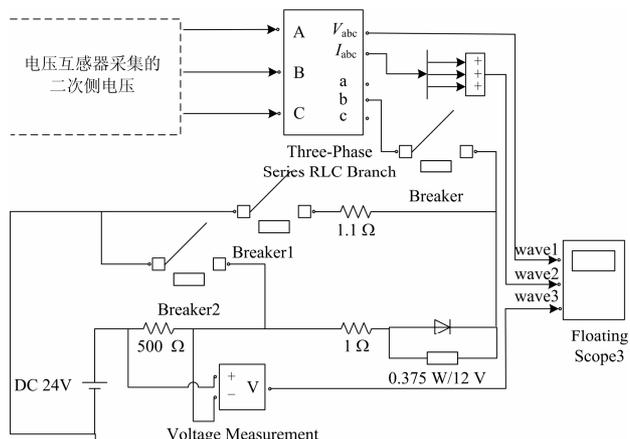


图 3 地线断线监测装置的系统仿真原理图

Fig. 3 System simulation schematic of the ground wire breaking monitoring equipment

4.1.1 电缆单相接地时仿真分析

在正常工作基础上将 Break 闭合, 模拟电缆 B 相发生单相接地故障。wave1 为三相电压波形, B 相发生接地故障时, B 相电压减小到几乎为零, A、C 相电压升为原电压的 1.7 倍; wave2 为电缆零序电流, 发生故障时, 能测到零序电流峰值为 10 A; wave3 为直流电源限流电阻两端的电压, 正常时电压稳定在 12 V 左右, 发生故障时, 会出现明显的交流电压, 电压峰值约为 22 V。

4.1.2 电缆地线断线时仿真分析

在正常工作基础上将 Break1 断开, 模拟电缆地线断线故障, 将 Break2 闭合, 模拟电缆地线短路故障。地线断线时直流电源限流电阻两端的电压为 0 V; 地线正常工作时直流电源限流电阻两端的电压为 12 V; 地线短路时直流电源限流电阻两端的电压为 24 V。

依靠此原理, 可通过采集电压电流量可靠分析电缆地线所发生的所有故障, 故障信号与正常信号差距明显, 依此建立可靠的判据, 能有效保证装置的可靠性。

4.2 具体判定依据

单相接地判据: 在电压变化满足判定的基础上再进行电流的判定, 在发生单相接地的情况下, 电压量将有很明显的变化, 如此可大大减少误动的概率。

对 ABC 三相分别测量相电压, 当测量到某一相电压减少为额定值的一半以下时, 延时一段时间再测量此项电压, 如果电压依旧为额定值的一半以下时, 再测量其他两项的电压, 当其他两项电压中

有一项电压高于 1.3 倍的额定电压时, 判定为系统单相接地故障, 若无高于 1.3 倍额定电压, 则判定为无接地故障, 但会上报单相低电压告警, 当长时间出现这样的告警信号时, 需及时进行检查。

当判定为系统单相接地故障后, 进行零序电流

测量, 零序电流表测量五芯电缆的总电流, 进行判定, 当所测量的零序电流大于所设定的零序电流值时, 判定为本电缆发生单相接地故障; 当零序电流小于所设定的零序电流值时, 判定为本电缆未发生单相接地故障, 此判断逻辑的流程图如图 4 所示。

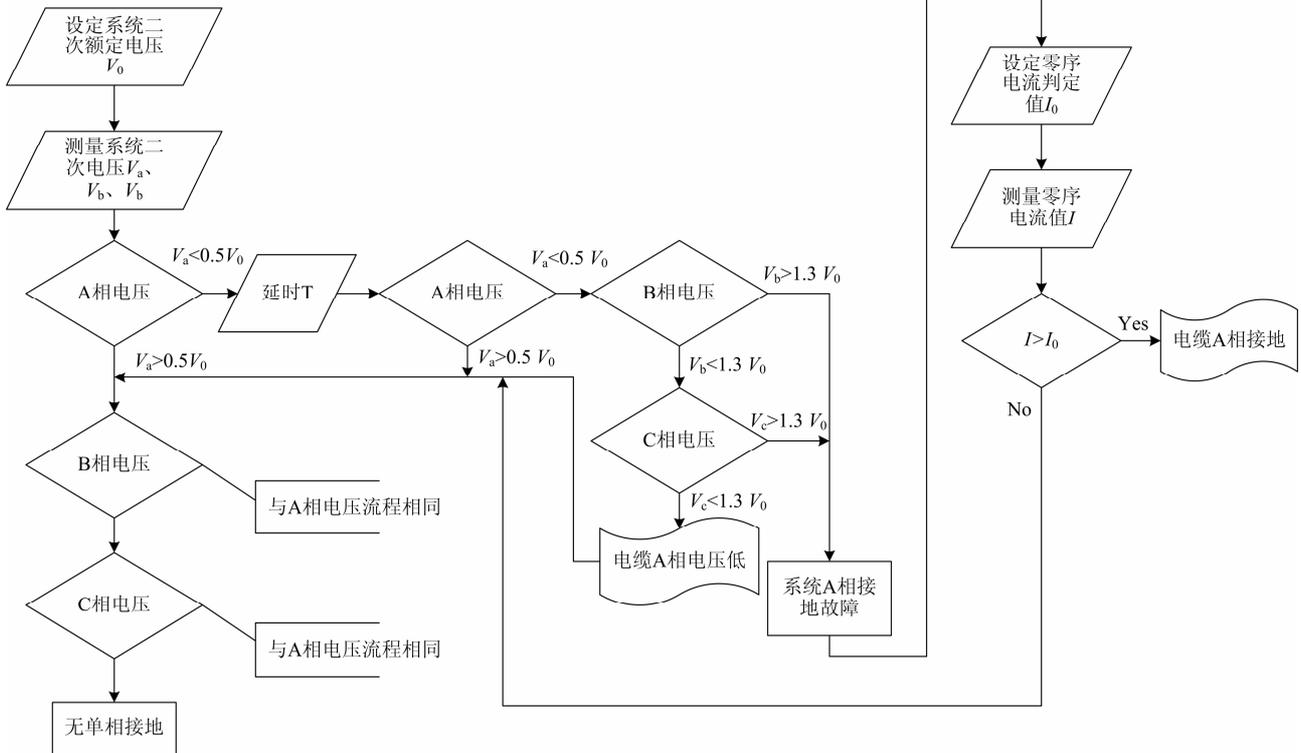


图 4 故障判断逻辑流程图

Fig. 4 Fault diagnosis logic flowchart

24 V 直流电源出口电压测量为 6~18 V 时, 判定为线路正常工作; 测量电压为 0~6 V 时, 判定为地线断线, 发地线断线信号; 测量电压为 18~24 V 时, 判定为地线短路, 发出地线短路信号。理论上也可省略电流互感器, 通过直流电源出口的电压测量提取交流量进行判定。当发生单相接地时, 交流会窜入直流电源回路, 这时能够在直流电源出口的电抗上测量到一定的交流电压, 交流电压值可以调整在十几伏以内, 能够进行精确的测量。

装置开发的主要难点在于如何处理好干扰性的问题和当交流电压窜入直流系统时, 要考虑电源的承受能力。

5 装置抗干扰处理

5.1 软件抗干扰算法

装置的开发难点在于对干扰信号的处理, 软件上使用神经网络算法对现场的干扰信号进行处理, 防止装置受到不同环境下的信号干扰。

装置具体应用的神经网络算法如下所述:

网络有 N 层, 其中, 输入节点为 n 个, 输出节点为 m 个, 网络有 $N-2$ 个隐层, 第 i 层的神经元数为 N_i , 则有 $N_1=n, N_N=m$; 规定第 i 层第 q 个神经元的输出为 $y(i,q)$, 阈值为 $\theta(i,q)$, 其中第 1 层的输出为输入的样本; 从第 i 层的第 s 个神经元到第 $i+1$ 层第 q 个神经元的连接权为 $W(i,s,q)$ 。各层神经元的输出满足:

$$y(i,q) = f\left(\sum_{j=1}^{N_{i-1}} W(i-1,j,q)y(i-1,j) - \theta(i,q)\right) \quad 1 < i \leq N \quad (1)$$

为了提高算法程序的通用性, 用数组 y, θ, W 分别存储变量的输入输出、阈值和权重, 式 (1) 中:

$$y(i,q) = y\left[q + \sum_{k=1}^{N_{k-1}} N_k\right] \quad (2)$$

$i=1$ 时为输入, $i=N$ 时为输出;

$$\theta(i, q) = \theta[q + \sum_{k=z}^{N_{k-1}} N_k] \quad 1 < i \leq N \quad (3)$$

$$W(i, s, q) = W[q + (s-1)N_{i+1} + \sum_{k=1}^{i-1} N_k N_{k+1}] \quad 1 \leq i < N \quad (4)$$

反向传播计算公式为

$$W(i, s, q) = W'(i, s, q) + \eta \sum_{P_i=1}^P \delta(i, q) y(i, s) + \alpha \Delta W(i, s, q) \quad (5)$$

$$\theta(i, q) = \theta'(i, q) - \eta \sum_{P_i=1}^P \delta(i, q) + \alpha \Delta \theta(i, q) \quad (6)$$

其中: W' 和 θ' 分别为前一次迭代时的权重和阈值; ΔW 和 $\Delta \theta$ 分别为上一次对权重和阈值的修正幅度; α 为动量项系数; η 为步长; P 为样本数; δ 为误差函数, 各层的误差函数为

输出层误差

$$\delta(N, q) = y(N, q)(1 - y(N, q))(t(q) - y(N, q)) \quad (7)$$

隐层误差

$$\delta(i, q) = y(i, q)(1 - y(i, q)) - \sum_{k=1}^{N_{i+1}} \delta(i+1, k) W(i, q, k) \quad (8)$$

其中, t 为样本的教师值。

5.2 硬件抗干扰处理

在二次回路中由于分布电容电磁感应等因素, 可能对二次设备造成干扰。

线圈除了有电感、电阻外, 两端的联线间和匝与匝之间还存分布电容, 电容两端电压 U_c 变化可表示为

$$U_c = -\frac{\sqrt{L/C}}{R} U e^{-t/\tau} \sin(\omega t - \delta) \quad (9)$$

式中, $\tau = L/R$ 。

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} \quad (10)$$

当电阻较小时, 电容两端的最大电压可用式(11)计算。

$$U_{\max} = \frac{\sqrt{L/C}}{R} U \quad (11)$$

对此种干扰, 线圈回路采用并联二极管和电阻或阻容吸收回路降低干扰, 除此之外, 还要在二次回路采取屏蔽等以减弱通道上的干扰。

6 终端组件

终端组件是由一个串联在地线和检测地线之间的 0.375 W/12 V 终端稳压二极管以及一个并联在稳压管两端的氧化锌型压敏电阻器组成, 如图 1 所示。稳压管是保证能正确检测地线回路完整的重要元件, 它在导通后电压保持在 12 V 电压, 而地线检测装置能通过测量和它串联在一个回路中的直流电源限流电阻上的电压来判定断线和短路故障, 这样就保证了直流电源限流电阻上电压的独立性。压敏电阻器用来吸收回路中的感应电压和浪涌电压^[6]。

7 结论

电缆地线断线监测装置能可靠地检测地线回路的完好性^[7], 当回路中出现单相接地、短路和断路时, 该电缆地线断线监测装置能正确切除相应断路器并通过指示灯指示出对应故障以帮助相关人员进行线路检修。

该装置能可靠地应用于冶金、露天矿山采矿等大型移动用电设备中^[8], 防止操作人员触电, 保证了操作人员的人身安全。

参考文献

- [1] 许磊, 李琳. 基于电网络理论的变电站接地网腐蚀及断点诊断方法[J]. 电工技术学报, 2012, 27(10): 270-276.
XU Lei, LI Lin. The substation grounding grid corrosion diagnosis method based on the theory of electrical networks[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(10): 270-276.
- [2] 陆玲霞, 陶向阳, 汪雄海. 接地安全技术研究[J]. 机电工程, 2006, 23(5): 50-52, 55.
LU Ling-xia, TAO Xiang-yang, WANG Xiong-hai. The study of ground secure skill[J]. Electrical and Mechanical Engineering, 2006, 23(5): 50-52, 55.
- [3] 郑三立, 范瑜, 黄梅, 等. 微机闭环测试继电保护装置的预仿真[J]. 电工技术学报, 2004, 19(5): 97-101.
ZHENG San-li, FAN Yu, HUANG Mei, et al. Closed-loop test microcomputer relay protection presimulation[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2004, 19(5): 97-101.
- [4] 贾惠彬, 钱翰博, 戚宇林. 一种配电网单相接地故障行波定位方法[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(23): 93-97.
JIA Hui-bin, QIAN Han-bo, QI Yu-lin. One method of

- distribution network single-phase fault location[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(23): 93-97.
- [5] 董雷, 何林, 蒲天骄. 中性点接地方式对配电网可靠性的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(1): 96-101.
DONG Lei, HE Lin, PU Tian-jiao. The effect of neutral ground to distribution system reliability[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(1): 96-101.
- [6] 张三庆, 谷雪松, 崔翔. 微机型保护设备浪涌骚扰的测试及抑制[J]. 继电器, 2004, 32(17): 70-74.
ZHANG San-qing, GU Xue-song, CUI Xiang. Microprocessor-based protection devices surge harassment testing and suppression[J]. Relay, 2004, 32(17): 70-74.
- [7] 成凌飞, 王泰华. 矿用通信电缆基本电气参数数值模型[J]. 电工技术学报, 2010, 25(12): 36-39, 60.
CHENG Ling-fei, WANG Tai-hua. Mine communication cable basic electrical parameters of the numerical model[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(12): 36-39, 60.
- [8] 白继儒. 煤矿井下供电可靠性探讨[J]. 中州煤炭, 2005(3): 13-14.
BAI Ji-ru. Coal mine power supply reliability explore[J]. Zhongzhou Coal, 2005(3): 13-14.

收稿日期: 2013-04-11; 修回日期: 2013-06-06

作者简介:

田二胜(1979-), 男, 本科, 工程师, 主要从事电力系统继电保护及自动化的设计研究工作; E-mail: tianersheng@xjgc.com

汪兴宁(1965-), 男, 研究生, 工程师, 主要从事电力系统继电保护及自动化的设计研究工作;

史志鸿(1967-), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事电力系统继电保护及自动化的研究工作。