

doi: 10.7690/bgzd.2023.09.015

铁路信号电缆绝缘检测准确性优化方法

刘胜涛, 张锐, 王俊

(绵阳市维博电子有限责任公司技术中心, 四川 绵阳 621000)

摘要: 为提高铁路信号电缆在线绝缘检测准确性, 提出具体优化方法。通过理论建模, 分析铁路信号电缆在线绝缘检测不准确的原因, 在此基础上提出优化方法。实践结果表明, 该方法具备有效性。

关键词: 铁路信号电缆; 在线检测; 准确性; 优化

中图分类号: U284 **文献标志码:** A

Accuracy Optimization Method for Insulation Detection of Railway Signal Cables

Liu Shengtao, Zhang Rui, Wang Jun

(Technology Center, Mianyang Weibo Electronic Co., Ltd., Mianyang 621000, China)

Abstract: In order to improve the accuracy of on-line insulation detection of railway signal cable, an optimization method is proposed. Through theoretical modeling, the reasons for inaccuracy of on-line insulation detection of railway signal cable are analyzed, and on this basis, an optimization method is proposed. The practical results show that the method is effective.

Keywords: railway signal cable; on-line detection; accuracy; optimization

0 引言

铁路信号电缆绝缘检测是铁路部门日常维护的常规操作, 是检查信号电缆健康状态的主要方法之一^[1], 而电缆寄生电容和信号电压是导致在线绝缘检测不准的主要原因。实际使用中, 延长测试时间可以降低寄生电容的影响, 但是信号电压存在大小变动和方向转换的情况, 会影响在线绝缘检测结果, 严重时绝缘检测数值大幅波动, 或者数值突然跳变, 导致测试不准确, 结果不可信。鉴于测不准就无法有效开展维护工作, 同时不报警和误报警还可能导致严重安全事故; 因此, 消除信号电源对在线绝缘检测结果的影响, 十分有必要提高检测准确性。笔者通过理论建模, 分析影响在线绝缘检测准确性的机理并提出优化方法。

1 模型分析

铁路信号电缆绝缘在线检测原理如图 1 所示。 X_1 和 X_2 是一对被测信号电缆, U_2 是被测信号电缆连接的信号电源, R_{L1} 和 R_{L2} 分别是 2 根被测电缆对地的绝缘电阻, U_1 是绝缘检测装置向被测电缆注入的测试电压。

为方便计算, 将图 1 简化为理想模型: 假定 U_2 为 0, 则其理想模型如图 2(a)所示, 其中 R_L 是被测

的绝缘电阻, R_x 是已知采样电阻, R_1 是为了保障安全的已知限流电阻。约定 V_x 是 U_2 为 0 时 U_1 在 R_x 上产生的分压, 根据电阻分压原理可知 V_x 值符合如下关系式:

$$V_x = U_1 \times R_x / (R_1 + R_x + R_L) \quad (1)$$

在 U_1 固定且已知的条件下, 测得 V_x 值即可计算出信号电缆对地绝缘电阻, 即:

$$R_L = U_1 \times R_x / V_x - R_1 - R_x \quad (2)$$

由此可知 R_L 与 V_x 呈倒数关系^[2], 关系曲线如图 2(b)所示。

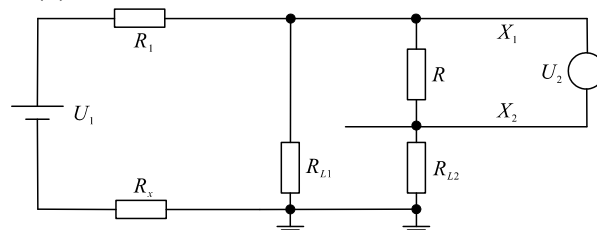


图1 在线绝缘检测原理

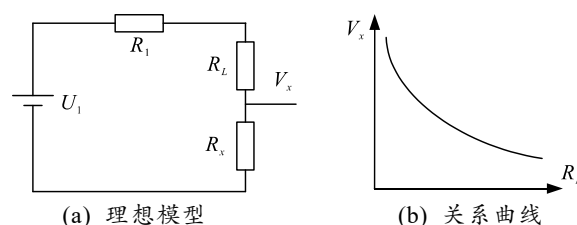


图2 理想在线绝缘检测理论模型和关系曲线

收稿日期: 2023-05-17; 修回日期: 2023-06-30

基金项目: 中央引导地方科技发展资金项目(2022ZYDF022)

作者简介: 刘胜涛(1984—), 男, 四川人, 硕士。

实际使用中，信号电缆是在带电状态下接受绝缘电阻检测的，即图 1 中 U_2 不为 0，电缆上的信号电源 U_2 也被串入了绝缘检测回路。当 U_2 为交流电压时可通过滤波消除其对检测结果的影响^[3]，但如果 U_2 是直流电压且与 U_1 在同一量级，则其影响不能被忽略。

当 U_2 为直流电压时，在线检测理论模型可简化为如图 3(a)所示。由图可知，直流电压会叠加在 R_x 上，绝缘检测装置无法通过滤波消除其影响。

约定 U_2 与 U_1 同向串联时 U_2 的方向为正，反向串联时的方向为负，即图 3(a)所示的方向串联时 U_2 为正。再约定 U_2 引起 R_x 两端电压的变化量为 ΔU ， ΔR_L 是 ΔU 导致的绝缘电阻计算结果的变化量，且：

$$V_{x'} = V_x + \Delta U; \quad (3)$$

$$R_{L'} = R_L + \Delta R_L. \quad (4)$$

根据式(2)可得：

$$R_{L'} = U_1 \times R_x / V_{x'} - R_1 - R_x. \quad (5)$$

U_2 为正时 $\Delta U > 0$ ，则根据式(3)得 $V_{x'} > V_x$ ，根据式(5)得 $R_{L'} < R_L$ 。在图 3(b)中表现为：在 U_1 稳定的情况下， $R_{L'} \sim V_x$ 关系曲线相对 $R_L \sim V_x$ 曲线向左平移，导致绝缘电阻计算结果偏小，严重时可能导致误报警。

同理， U_2 为负时 $\Delta U < 0$ ，则根据式(3)得 $V_{x'} < V_x$ ，根据式(5)得 $R_{L'} > R_L$ 。在图 3(b)中表现为：在 U_1 稳定的情况下， $R_{L'} \sim V_x$ 关系曲线相对 $R_L \sim V_x$ 曲线向右平移，导致绝缘电阻计算结果偏大，严重时可能导致该报警的不报警。

综上所述，实际使用中 R_L 的在线检测值常常偏离实际值，会随着 U_2 大小的变化而波动，当 U_2 方向转换时，会如图 3(b)所示的 $R_{L'} \sim V_x$ 关系曲线在理论曲线的左右两侧之间跳变。

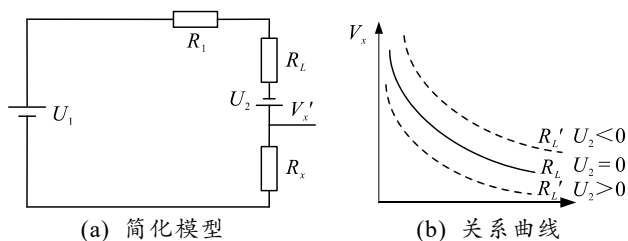


图 3 实际在线绝缘检测理论模型和关系曲线

2 优化方法

根据上述分析，交流成分被滤除后，要准确测得 R_L 值的办法是在检测时消除 U_2 带入的直流电压分量 ΔU 。根据线性电路的叠加定理^[4]： $V_{x'}$ 的值等于

U_1 和 U_2 分别单独作用时 R_x 两端电压的代数和，即式(3)也满足线性电路叠加定理；因此， ΔU 也等于 U_2 单独作用时 R_x 两端的电压，在绝缘检测时分别测出 $V_{x'}$ 和 ΔU 就能实现提高准确性的目的。

优化的具体做法：注入 U_1 前得到如图 4 所示的电路网络拓扑，此时测得 U_2 在 R_x 上产生的电压即为 ΔU ；然后注入 U_1 得到如图 3(a)所示的电路拓扑图，此时电路网络拓扑结构和电阻值均不变，测得 U_1 和 U_2 共同作用在 R_x 上的电压 $V_{x'}$ ；最后对 $V_{x'}$ 和 ΔU 做代数减法即可得到图 2(a)所示的 U_1 单独作用时的 V_x 值，即：

$$V_x = V_{x'} - \Delta U. \quad (6)$$

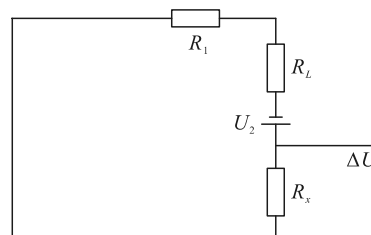


图 4 叠加前理论模型

由于 U_2 有正负 2 个方向，因此 ΔU 也有正负 2 个方向，硬件电路需要兼容 ΔU 为正向和负向 2 种情况。电路采集 ΔU 电压值后用软件判断方向，还需要使用位数较高的 AD，如果 AD 位数不够可通过增加分段的办法提高分辨率^[5]。

3 结束语

笔者参与研制的全电子绝缘在线检测装置，采用了本文中介绍的优化方法。该装置已应用在地铁部分线路以及多个地方铁路。经过 3 年的实际使用验证，有效消除了检测结果波动和跳变的现象，提高了检测结果的准确性，证明该方法是有效的。

参考文献：

- [1] 胡纪五, 吴庆明, 马晋嵘. 电缆绝缘电阻在线测量研究[J]. 电测与仪表, 2000, 37(5): 9-12.
- [2] 李杭生, 肖迎春. 铁道信号微机监测系统中电缆绝缘在线检测[J]. 武汉水利电力大学学报, 2000, 33(6): 92-94.
- [3] 马全生, 秦亚明, 廖立平. 铁路信号电缆绝缘在线测试[J]. 测控技术, 2003(4): 26-27.
- [4] 邱关源, 罗先觉. 电路[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 82-88.
- [5] 闫石. 数字电子技术基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 524-532.