

[高压设备]

一种高压设备漏电及绝缘失效预警的电路方案

文/廖剑飞¹ 周 博² 王颖曜¹ 宋安玲¹

1. 长沙广义变流技术有限公司; 2. 长沙金维信息技术有限公司

提出了一种高压设备的漏电流和绝缘电阻的预警检测电路, 具有整体结构简单、成本低、安全可靠及能够实现整个线缆上的漏电流检测等优点, 已成熟、批量应用于燃料电池DC/DC变流器及CRH3C、CRH6、KDZ6及KDZ7型高铁动车组充电机和出口马来西亚无人城轨车中的辅助变流系统中, 并可应用于所有电气系统中的高压产品中, 具有很好的商业推广价值。

电气系统中的高压产品漏电流和绝缘检测非常重要, 尤其对于需要人工经常操作的用电设备, 关系着人们的生命安全, 因此可靠的检测是这些设备必要的功能。

当前技术分析

现有高压产品漏电流检测方案是在用电设备的输入、中间或输出端, 用磁环等材料做电流传感器来检测漏电流。原理是正负线或正负电流穿过电流传感器, 当无差异电流时, 意味着没有漏电流产生; 当检测到正负电流的差异时, 代表有漏电流。根据用户或行业的标准, 当漏电流大于一个预设值时, 可进行预警和输入断电操作。

目前漏电流检测的一般原理如图1所示, 图1a为与交流电网隔离的直流输入系统, 图1b为与交流电网未隔离的直流输入系统, 图1c为单相交流电源输入系统。

当下面条件同时满足时, 会有电流从A点经 R_{X2} 、 R_{X3} (人体) 和 R_{X1} 形成回路。

1) 箱体未可靠接地。

2) 输入负线对地本身有一个电阻值 R_{X1} 。对于与交流电网隔离的直流输入系统, 绝缘未失效时,

电阻值很大; 对于未隔离的交流输入系统, N本身接大地, R_{X1} 接近0; 同理, 对于与交流电网未隔离的直流输入系统, N本身接大地, R_{X1} 接近0。

3) 当高压+ (或者火线) 绝缘失效时, 对箱体产生一个 R_{X2} 的电阻。

4) 人体不小心碰到箱体 (人体对地电阻 R_{X3})。

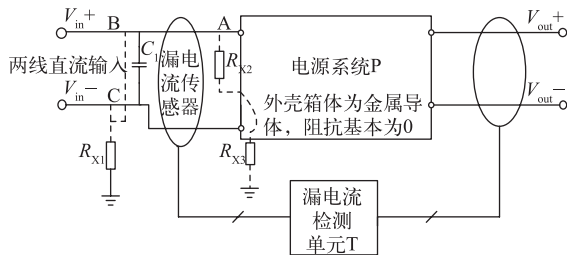
对于图1a与交流电网隔离的直流输入系统, 当绝缘失效时, 电流从A点经 R_{X2} 、 R_{X3} (人体), 再经 R_{X1} , 然后直接到B点或者途径电容到B点, 最后回到A点。

对于图1b与交流电网未隔离的直流输入系统, 当绝缘失效时, 电流从A点经 R_{X2} 、 R_{X3} (人体), 再经 R_{X1} 到达N点, 当交流N为正时, 经过二极管 (否则先经过AC源再到上端二极管) 到达B点, 最后回到A点。

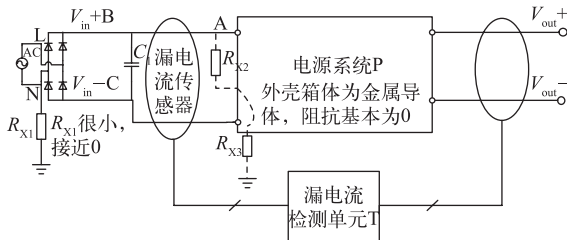
对于图1c单相交流电源输入系统, 当绝缘失效, 电流从A点经 R_{X2} 、 R_{X3} (人体) 再经 R_{X1} , 然后直接到C点, 再途径电容到B点, 最后回到A点。

当 R_{X2} 、 R_{X1} 都很小时, 流过人体的电流大于安全电流, 造成安全事故。其中, 对于交流系统的 R_{X1} 很小, 基本为0; 对于隔离直流系统, 可能直流电本身接大地 ($R_{X1}=0$), 或者正线、负线对地有绝缘

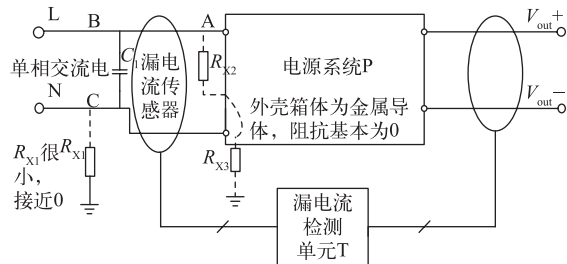
电阻 R_{X1} ， R_{X2} 基本取决于绝缘失效程度（偶然性很大），甚至 R_{X2} 可能直接连接到箱体而基本为0，造成高压直接加在人体电阻上，造成安全事故；对于非隔离直流系统，与交流系统一样， R_{X1} 很小，基本为0。



(a) 与交流电网隔离的直流输入系统



(b) 与交流电网未隔离的直流输入系统



(c) 单相交流电源输入系统

图1 漏电流检测原理

漏电流传感器只有在 R_{X1} 、 R_{X2} 、 R_{X3} 同时都存在时才能检测到漏电流（此时意味着已有多处绝缘失效），隔离直流系统不能提前在 R_{X1} 或 R_{X2} 产生漏电流时就检测到，非隔离直流系统、交流系统不能提前在 R_{X2} 产生漏电流时就提前检测（交流系统、非隔离直流系统零线接地，电阻值很小， R_{X1} 基本为0）。

漏电流传感器检测到瞬时电流大于一定值时，通过控制相关设备（高速接触器、高速断路器或其他高速开关）断开输入的高压线。如果动作慢或者动作开关失效，且电流大于安全电流时，有安全隐患。

综上所述，现有的检测方案存在以下问题：

1) 当产品本身的输入、输出电流较大时，需要很

大的磁环，这种方法需要更大的空间和更多的成本。

2) 漏电流传感器不好选型。漏电流传感器的检测范围一般不大，为零至几安培。

3) 只能检测磁环传感器后端的漏电流（ R_{X2} 位于A点），前端的漏电流（ R_{X2} 位于B点）由于未经过传感器，所以正负电流不会有差值，检测不到，存在安全隐患，不能覆盖所需检测的电源母线。

4) 只能检测漏电流，不能检测绝缘电阻值。

5) 只有在 R_{X1} 、 R_{X2} 和 R_{X3} 同时存在时才能检测到漏电流，当检测到漏电流时它的值可能已经很大，这取决于 R_{X1} 和 R_{X2} 的大小，并且对漏电流的大小不可限制，一旦漏电流检测或保护断开机制失效，会造成不可避免的人身安全事故。

优化方案介绍

针对现有检测技术存在的技术问题，提出一种结构简单、成本低、安全性能更优的高压设备漏电流和绝缘电阻的检测电路及检测方法。检测方案如图2所示（两线系统）。

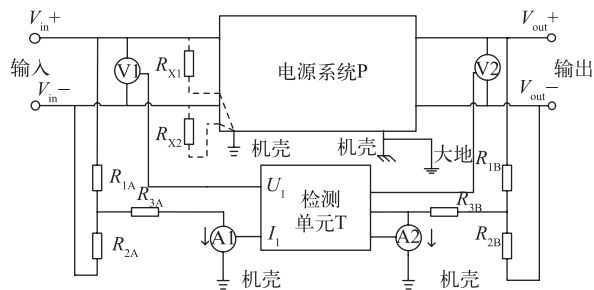


图2 漏电流检测方案（两线系统）

采用控制单元、电流检测单元、电压检测单元、预置漏电流检测电阻和与各电源线相对应的检测电阻，各电源线均通过对应的检测电阻与预置漏电流检测电阻的一端相连，所预置漏电流检测电阻的另一端与电流检测单元的一端相连，电流检测单元的另一端与高压设备的机壳相连；电压检测单元用于检测各电源线之间的电压；控制单元分别与上述电压检测单元和电流检测单元相连，根据漏电流和各电源线之间的电压，得到绝缘失效电源线的绝缘电阻值。

电压检测单元为电压传感器或电压检测电阻。电流检测单元为电流传感器。

检测电阻连接至电源线的输入端、中间端或者

的正负母线电流没有关系，可以降低成本。另外，检测电路能实现整个线缆上的漏电流检测，不受限于漏电位置。同时在绝缘失效时能检测到，不必等人体电流产生及大于一定值才能检测到，安全性能更优，并能够提前检测预警。另配置检测电阻和预制漏电流限制电阻，可以控制绝缘失效时的漏电流值，将电流值控制在人体安全电流内，有效保证了安全。检测电流的大小为毫安级，所需的硬件/器件成本低且体积小，具有极大的商业应用价值，可从轨道交通应用推广到其他工业或家庭用电场合。EA

(收稿日期：2023-04-19)

参考文献

- [1] John Fang (Magtron Marketing). 漏电流检测基本原理以及在电动汽车充电桩中漏电流保护方法的选择[R]. 北京：世界电子元器件，2018.
- [2] 李天友，徐丙垠，薛永端，等. 配电网触电保护技术[R]. 北京：中国电机工程学会专题报告，2018.
- [3] 李天友，郭峰. 低压配电的触电保护技术及其发展[J]. 供用电，2019，36(12)：2-8.
- [4] 杜松怀. 电力系统接地技术[M]. 北京：中国电力出版社，2011：30-37.
- [5] 李奎，陆俭国，岳大为，等. 新型漏电保护理论及其方法的研究[C]. 2008 中国电力系统保护与控制学术研讨会论文集，2008：104-109.
- [6] 关海鸥，杜松怀，苏娟，等. 一种触电信号的自动快速检测模型[J]. 电网技术，2013，37(8)：2328-2335.
- [7] 陈淑芳. 剩余电流动作保护装置安装和运行[M]. 北京：中国水利出版社，2006.

