

# Effects of the Earth Current Frequency and Distortion on Residual Current Devices

Weineng Wang<sup>†</sup>, Zhiqiang Wang, Xiao Peng

Hunan Electric Power Corporation Research Institute, Changsha 410007, China

<sup>†</sup>Email: wangwn@126.com

## Abstract

Residual current devices characterized by simplicity and cost effectiveness holds a wide range of applications in the protection against electric shock that is one of the important detriments to the safety of human and the performances of electrical apparatus. This article puts the focus on the description of the basic structure and principles of residual current devices, particularly the effect of the earth current frequency and distortion on the mal- and miss operation of electrical apparatus is investigated, which is of reference value for the proper selection of electric apparatus.

**Keywords:** Residual Current Devices; Electric Shock Protection; Earth Current; Miss Operation; Mal Operation

## 接地电流频率和畸变对漏电保护器的影响

王伟能, 王志强, 彭潇

湖南省电力公司科学研究院, 湖南 长沙 410007

**摘要:** 电击是危害人身和电气设备安全的重要因素之一。漏电保护器具有简单和经济的特点, 在电击保护中得到了广泛应用。本文介绍了漏电保护器的基本结构和原理, 重点研究了电击保护中接地电流频率和畸变对漏电保护器的误动和拒动的影响, 得出对正确选用漏电保护器具有一定指导意义的结论。

**关键词:** 漏电保护器; 电击保护; 接地电流; 拒动; 误动

## 前言

电击是由闪电触及家用电线、或意外事故中折断的电线接触某些带电体等引起闪击所致, 易导致电器设备损坏及人身安全事故。

电击保护是一种防护电击的重要手段, 目前主要有几种方式<sup>[1]</sup>: 自动断开电源; 二类设备; 绝缘设备; 电气隔离; 不接地局部等电位连接。自动断开电源由于具有简单易行的特点, 成为电击保护中最常用的方式。采用自动断开电源方式的漏电保护器也得到了越来越广泛的应用<sup>[2,3,4]</sup>。

由于漏电保护器是信号触发动作的, 那么在其它电磁干扰下也会产生信号触发漏电保护器动作, 形成误动; 当电源开关合闸送电时, 会产生冲击信号造成漏电保护器误动; 多分支漏电之和可以造成越级误动; 当中性线产生重复接地时, 会使漏电保护器产生分流拒动; 当电源缺相, 所缺相又正好是漏电保护器的工作电源时, 会产生拒动。

由以上分析可以看出, 漏电保护器在实际使用中存在发生误动和拒动问题。本文介绍了漏电保护器的基本结构和原理, 重点研究了电击保护中接地电流频率和畸变对漏电保护器误动和拒动的影响。

## 1 电击

大部分触电死亡和设备损坏事故都是电击造成的。通常说的触电事故基本上是指电击而言的。

按照电气设备的状态, 电击可分为直接接触电击和间接接触电击。前者是人体触及正常状态下带电的带

电体时发生的电击；后者是人体触及正常状态下不带电而故障状态下意外带电的带电体时发生的电击。因此，前者又称为正常状态下的电击，后者又称为故障状态下的电击。

按照人体触及带电体的方式和电流通过人体的途径，电击可分为单相电击、两相电击和跨步电压电击。单相电击是指人体在地面或其他接地导体上，人体某一部位触及一相带电体的触电事故。大部分触电事故都是单相触电事故。单相触电的危险程度与电网运行方式有关。一般情况下，接地电网的单相触电比不接地电网的危险性大。两相电击是指人体两处同时触及两相带电体的触电事故，其危险性一般是比较大的。当带电体接地有电流流入地下时，电流在接地点周围土壤中产生电压降。人在接地体周围，两脚之间出现的电压即跨步电压。由此引起的触电事故叫跨步电压触电。高压故障接地处或有较大电流流过的接地装置附近都可能出现较高的跨步电压<sup>[5]</sup>。

IEC 60479-1 规定了电流/时间关系的四个区域，叙述了每个区域内人体的病态生理效应，如图 1 所示，横轴表示流经人体电流大小，纵轴表示电流的持续时间。图中各区含义如下：AC-1 区表示无知觉；AC-2 区表示有知觉；AC-3 区表示存在可逆效应的肌肉收缩；AC-4 区表示可能出现不可逆效应；AC-4-1 区表示心脏纤维性颤动可达 5%；AC-4-2 区表示心脏纤维性颤动可达 50%；AC-4-3 区表示心脏纤维性颤动可超过 50%；图中各曲线含义如下：A 曲线表示电流感知阈；B 曲线表示肌肉反应阈；C1 曲线表示 0% 几率的心室纤维性颤动阈；C2 曲线表示 5% 几率的心室纤维性颤动阈；C3 曲线表示 50% 几率的心室纤维性颤动阈<sup>[6]</sup>。以曲线 C1 为例说明，当电流通过人体时，如果电流超过 30 mA，则人体很可能被电击致死，除非该电流能在相当短的的时间内被切断。

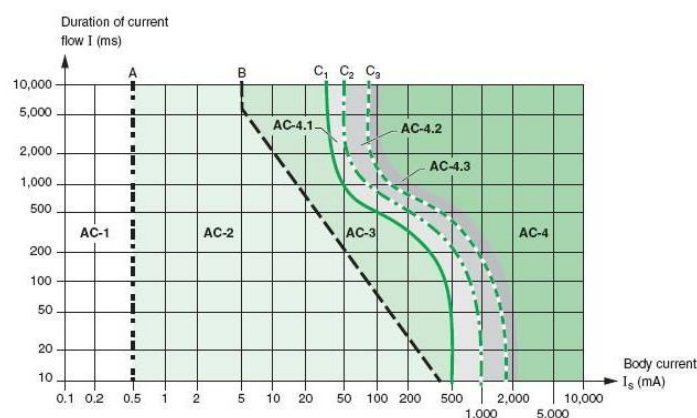


图 1 电击人体病态生理效应区域图

## 2 漏电保护器工作原理

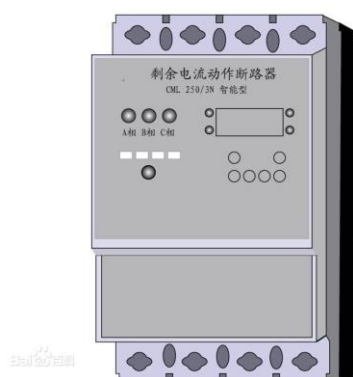


图 2 电流型漏电保护器外观示例

漏电保护器按动作信号类型可分为两类：电流型漏电保护器和电压型漏电保护器。前者是根据故障电流动作，后者是根据故障电压动作。由于电压型漏电保护器结构复杂，受外界干扰动作特性稳定性差，制造成本高，现已基本淘汰。国内外漏电保护器的研究和应用均以电流型漏电保护器为主导地位。

电流型漏电保护器是以电路中零序电流的一部分（通常称为残余电流）作为动作信号，一般采用电子元件作为中间机构，灵敏度高，功能齐全，因此这种保护装置得到越来越广泛的应用<sup>[7]</sup>。如图 3 所示，电流型漏电保护器主要由三部分组成：

零序电流互感器（图中 TR, ferranti transformer）：被保护的相线 L1、L2、L3 和中性线 N 穿过环形铁芯，构成互感器的一次线圈，缠绕在铁芯上的绕组构成了互感器的二次线圈。如果没有漏电发生，这时流过三条相线和中性线的电流矢量和为零，不能产生交变磁场，互感器二次线圈不能产生感生电流。如果发生了漏电，流过三条相线和中性线的电流矢量和不为零，互感器二次线圈产生感生电流  $I_s$  并输入脱扣结构进行进一步处理。

脱扣结构（图中 WS, tripping mechanism）：包括放大器、比较器、脱扣器和主开关。其中放大器是对来自零序电流互感器的感生电流  $I_s$  进行放大；比较器比较放大后的感生电流  $I_s$  和额定剩余动作电流；感生电流  $I_s$  大于或等于额定剩余动作电流时，脱扣器和主开关实施动作，自动切断故障处的电源，完成漏电保护功能。

试验按钮（图中 T, test button）：定期检查漏电保护器是否完好和可靠。通过按下试验按钮，模拟漏电途径，检查漏电保护器是否正常动作。

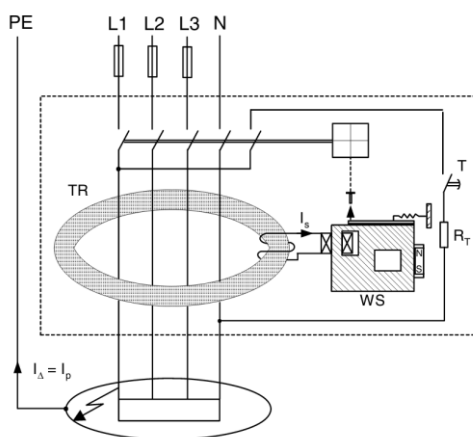


图 3 漏电保护器内部结构示意图

### 3 接地电流频率和畸变的影响

本节主要分析在具有变频功能的电路中，电流频率和畸变对漏电保护器电击保护动作的影响。

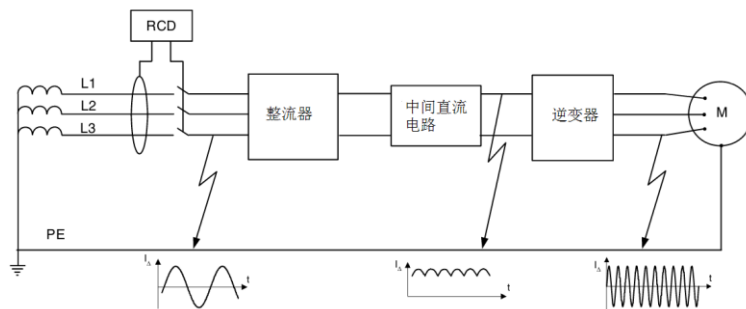


图 4 变频电路中的接地电流波形

变频一般用于控制鼠笼式电动机的转速。图 4 给出了带漏电保护器的变频电路示意图。图中 RCD 表示漏电保护器（Residual Current Device）。变频电路主要由三部分组成：第一部分是整流器，对电源侧输入的波形进行整流；第二部分是中间直流电路，对整流器输出波形进行滤波；第三部分是逆变器，把中间直流电路生成的直流电逆变成所需频率的交流电。交流电经过上述变频电路后，从低频率变为高频率。同样，接地故障电流经过变频电路后，频率升高。

在电流频率 50Hz 条件下，感知电流阈值为 0.5mA，即在给定 50Hz 条件下，流经人体并导致人体有任何感觉的最小电流值为 0.5mA。从图 1 得知，在 2s 持续时间下，引起人体肌肉失去控制和肌肉收缩的电流阈值

为 10mA，引起心室纤维性颤动进而危及生命的电流阈值为 30~40mA。

对于更高频率的电流，人体感知电流阈值、肌肉反应阈值、心室纤维性颤动阈值也增大。图 5 给出了三种阈值随频率变化的曲线图。

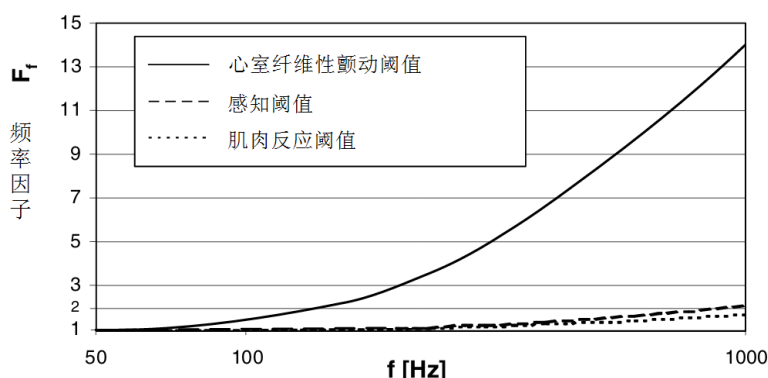


图 5 50~1000Hz 范围内阈值随频率变化曲线图

当频率等于 1000Hz 时，心室纤维性颤动阈值从 30~40mA 变为 420mA。这是非常重要的信息，因为如果接地电流频率高于 50Hz，许多漏电保护器脱扣电流明显增加。

为了研究接地电流频率对漏电保护器跳闸的影响，在额定剩余动作电流  $\Delta I_n = 30$  和 100 mA 情况下，对多台漏电保护器进行了测试。图 6、图 7 和图 8 给出了在试验室条件下的测试结果。

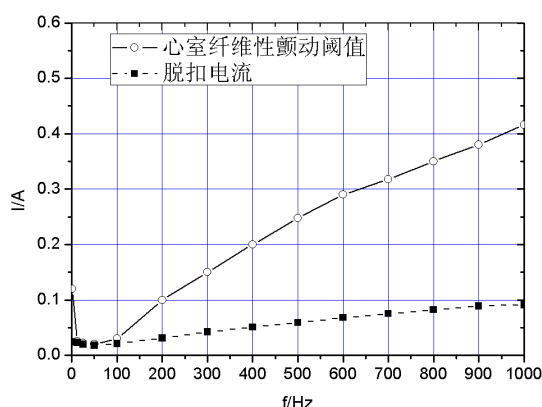


图 6  $\Delta I_n = 30$ mA 情况下，AC 型漏电保护器脱扣电流

图 6 给出了  $\Delta I_n = 30$ mA 情况下，AC 型漏电保护器脱扣电流和心室纤维性颤动阈值随频率的变化曲线。其中实线表示心室纤维性颤动阈值随频率的变化，虚线表示从 1~1000Hz 的脱扣电流大小。从图中可以得出，漏电保护器脱扣电流大小是取决于接地电流频率。当频率高于 50Hz 时，脱扣电流远小于心室纤维性颤动阈值，因此，在测试频率范围内，当发生电击时，人体不会产生心室纤维性颤动，AC 型漏电保护器能起到正常的电击保护作用。

图 7 给出了  $\Delta I_n = 100$ mA 情况下，A 型漏电保护器脱扣电流和心室纤维性颤动阈值随频率的变化曲线。从图中可以得出，脱扣电流远大于心室纤维性颤动阈值，因此，在测试频率范围内，当发生电击时，人体可能会产生心室纤维性颤动，A 型漏电保护器不能起到正常的电击保护作用。

图 8 给出了  $\Delta I_n = 100$ mA 情况下，短延时 AC 型漏电保护器脱扣电流和心室纤维性颤动阈值随频率的变化曲线。从图中可以得出，在频率 100Hz 到 650Hz 范围内，脱扣电流远小于心室纤维性颤动阈值，即在此频率范围内，当发生电击时，人体不会产生心室纤维性颤动，短延时 AC 型漏电保护器能起到正常的电击保护作用。

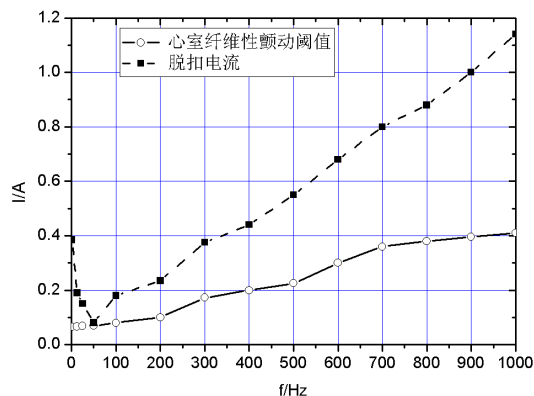


图 7  $\Delta I_n = 100\text{mA}$  情况下, A 型漏电保护器脱扣电流

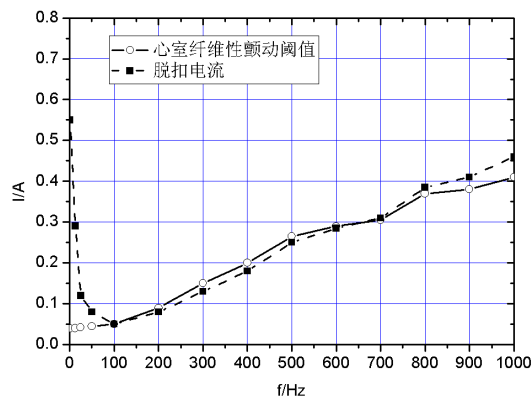


图 8  $\Delta I_n = 100\text{mA}$  情况下, 短延时 AC 型漏电保护器脱扣电流

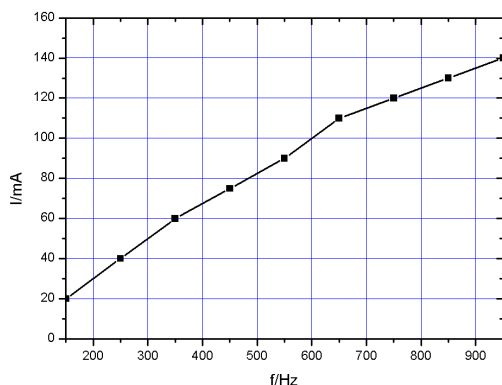


图 9 谐波对 AC 型漏电保护器脱扣电流的影响

变频电路中的接地电流一般包含各次谐波, 导致其波形畸变。试验研究表明, 接地电流中谐波阶数越高, 漏电保护器对应的脱扣电流越大。图 9 给出了在  $\Delta I_n = 100\text{mA}$  情况下, 各次谐波对 AC 型漏电保护器脱扣电流的影响, 其基波对应的实际动作电流为  $65\text{mA}$ 。试验表明, 接地电流的高次谐波可能会增加漏电保护器对应的实际动作电流。

## 4 小结

漏电保护器在发生电击事故时, 可有效保护人身和电气设备安全。然而, 对漏电保护器的选择必须非常小心。在变频电路中, 接地电流的频率和波形会发生变化, 影响漏电保护器的电击保护作用。本文研究了接地电流频率和畸变对脱扣电流的影响, 得出的结论对正确选用漏电保护器具有一定的现实意义。

## REFERENCES

- [1] IEC 60364-4-41 Electrical Installations of Buildings. Protection for Safety. Protection against Electric Shock.
- [2] Qiang Guo, Wenzhong Liu. Cascading Electric Leakage Fire Warning System Based on CAN Bus [J]. Computer Engineering and Applications. 2007, 43(12):246-248.
- [3] Giuseppe Parise, Luigi Martirano, and Massimo Mitolo. Electrical Safety of Street Light Systems [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2011, 26(3):1952-1959.
- [4] M. Mitolo, M.Tartaglia, and F. Freschi. To Bond or not to Bond: That is the Question [J]. IEEE Trans. Ind. Appl. 2011, 47(2):989-995.
- [5] Shengxian Wang, Tao Zheng and Lishuang Shen. A Tentative Discussion on Appendix AA in GB 4706.12 [J]. China Standardization. 2012, 1: 66-68.
- [6] IEC Technical Report 479-1:1994 Effects of Current on Human Beings and Livestock.

- [7] S. Czapp. Protection against Electric Shock Using Residual Current Devices in Circuits with Electronic Equipment [J]. Electronics and Electrical Engineering, 2007, 4(76):51-54.

### 【作者简介】



王伟能（1983-），男，汉族，博士，工程师，主要从事电能计量器具检测与开发。 Email: wangwn@126.com

王志强（1979-），男，汉族，研究生，工程师，主要从事节能技术研究。 Email: wangzq@126.com

彭潇（1979-），男，汉族，主要从事电能计量器具检测与开发。 Email: pengx@126.com