

文章编号:1007-2985(2011)04-0071-04

# 住宅 PE 线故障电压监视系统设计\*

余悦兰

(国立华侨大学建筑设计院,福建泉州 362021)

**摘要:**探讨了住宅楼内某处发生单相接地故障而保护装置不能有效切断故障电路时,故障电压将沿相互连通的 PE 线传递到各住宅用户中,并导致各家用电器的金属外壳带电从而引发人身电击事故的问题.通过对各种常见接地系统在发生单相接地故障后的电路特点的分析,结果表明:不论住宅楼采用哪种接地系统,在接地故障持续的时间内各用户配电箱中的 L 与 PE 间的电压有明显降低,甚至接近于零.利用这个特点,可以采用在各用户配电箱中的 L 与 PE 间装设欠压脱扣器的方法来制作 PE 线故障电压监视装置.

**关键词:**PE 线;住宅;故障电压;监视

**中图分类号:**TM930

**文献标志码:**A

随着科学技术的进步,住宅内的家用电器越来越多,给人们的生活带来了极大的便利.但同时由此而引发的安全事故也时有发生,如电气火灾事故,人身电击伤亡事故以及由于过欠电压而引发的电器设备损坏等.因此,住宅做为非专业人员使用和维的场所,其用电安全性尤其值得关注.

目前,有关设计规范<sup>[1-3]</sup>对于住宅用电安全的保护措施日益完善,要求住宅用户配电箱内应设置短路保护、过载保护、接地故障保护、过欠电压保护,建筑物电源进线或分支干线处设置剩余电流动作报警器.这些保护措施为住宅的用电安全提供了强有力的保障,但它们对于沿 PE 线传递进住宅的故障电压的危害却无能为力.

## 1 PE 线传递故障电压的成因

在住宅用户中许多家用电器都是 I 类设备,如洗衣机、微波炉、电视机、电冰箱、电热水器等,大都是人们在日常生活会频繁接触到的电器设备.这些设备都具有金属外壳,属于用电设备的外露可导电部分,它们都通过插座的 PE 孔与引进住宅的 PE 线连接,进而连接到整个大楼的 PE 干线上,以保证在这些 I 类设备本身发生接地故障时,故障电流能有电气通路,从而引起相关保护电器动作,及时切断故障电路.事实上,一栋建筑物内的所有 I 类设备的金属外壳最终都通过 PE 线连接在一起.

正常情况下,PE 线是不带故障电压的,但是当—个设备的金属外壳因某种原因带上故障电压时,故障电压将沿着相互连通的 PE 线传递至其他用电设备的金属外壳上.图 1 中的配电系统及其电缆规格、长度、计算结果均参照文献[4],图中 F 点发生接地故障时,该故障点首端的断路器的瞬时脱扣器由于灵敏度不足,不能有效切断故障电路<sup>[2]</sup>.另一方面,如果建筑物电源进线或分支干线设置剩余电流动作断路器(动作电流 500 mA,延时型),F 点的接地故障会导致该剩余电流动作断路器动作于跳闸,切断整个大楼的供电,当然也切断了故障电路.但为提高供电可靠性,建筑物电源进线或分支干线设置的剩余电流动作保护器采用报警型后,发生接地故障时只报警而不立即切断电路<sup>[5]</sup>.因此,在剩余电流动作报警器报警后却未及时检修线路并排除接地故障的时间内,F 点的接地故障可能发生 3 种情况<sup>[6]</sup>:一是故障点相接触的两金属部分因大电流而熔化成团并脱离接触,故障消失;二是可能形成电弧性接地故障而引起火灾;三是故障点相接触的两金属部分熔化后互相焊牢使接地故障继续存在.当发生第 3 种情况时,根据文献[4]的计算结

\* 收稿日期:2011-03-20

作者简介:余悦兰(1971-),女,福建龙海人,国立华侨大学建筑设计院高级工程师,设备所所长兼副总工程师,注册电气工程师,主要从事建筑电气研究.

果, F 点的接地故障将使该处的设备和 PE 线对地产生 146.4 V 的预期接触电压。

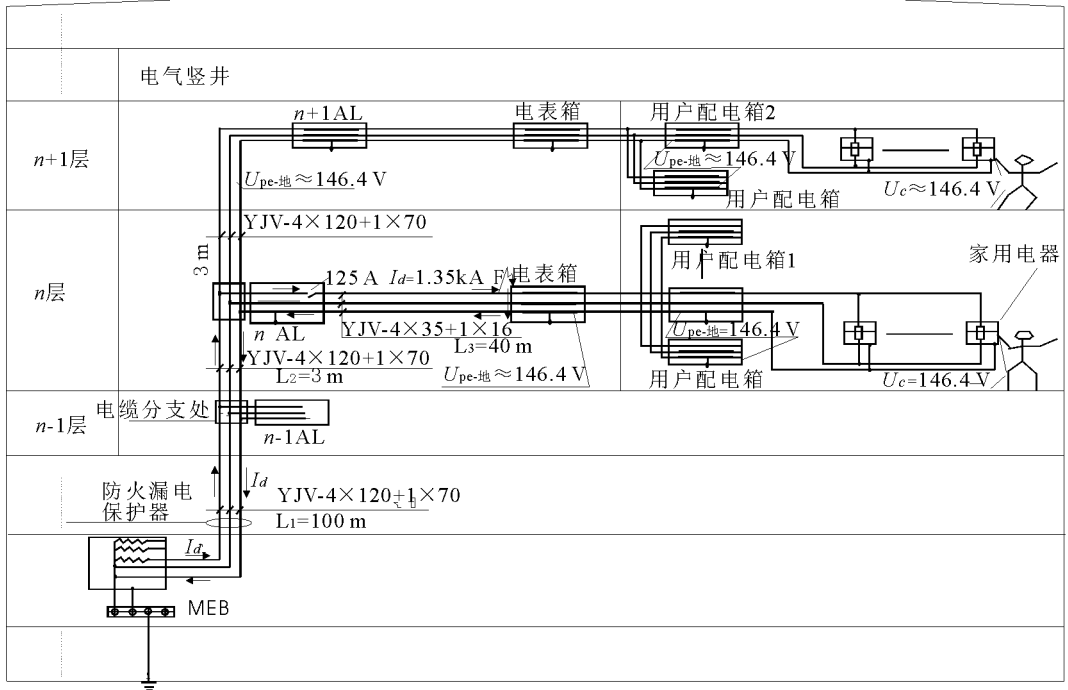


图 1 F 点发生接地故障时的故障电压沿共用的 PE 线传递示意图

从图 1 可以看出, 由于 PE 线的连接作用, F 点处接地故障产生的故障电压将沿着 PE 线传递, 导致各住宅用户配电箱的 PE 排也带上故障电压, 继而使得所有连接在 PE 线上的家用电器的金属外壳都带上故障电压. 图 1 中的住宅用户配电箱 1 的家用电器金属外壳上的预期接触电压基本上同 F 点; 住宅用户配电箱 2 的家用电器金属外壳上的预期接触电压由于减小了 A 点至 F 点间的一段 PE 线上的电压降, 其值会略小一些. 正常环境中人体在 150 V 的预期接触电压下的最长切断时间为 0.28 s<sup>[7]</sup>, 否则可能出现肌肉收缩、呼吸困难及短暂的心脏停跳等现象; 超过 0.5 s 就会超过生命线的范围, 可能出现死亡、呼吸停止、严重烧伤等现象<sup>[6]</sup>. 而从剩余电流动作报警器报警到电工查找出故障点并排除故障的时间不可能只有几百毫秒; 另一方面, 由于该故障点不发生在用户内, 用户配电箱内装设的各种保护措施都不起作用. 总之, F 点的接地故障将使住宅内的家用电器的外壳都带上故障电压, 而住宅内的人们却一无所知, 继续使用这些外壳带电的电器设备, 比如照常开冰箱拿食物, 使用电热水器、洗衣机等, 于是发生电击事故的危险就很大, 特别是赤脚的情况下就会更加严重.

图 1 中 F 点的设备(自身不带剩余电流保护装置的固定式设备)的接地故障所引发的故障电压向住宅户内传递的问题并不是特例. 事实上, 对于设置有剩余电流保护器的设备(如某住宅用户内的 1 个电器发生接地故障), 可能由于剩余电流保护器本身的质量问题或使用若干年后可靠性降低等因素, 导致剩余电流保护器拒动; 同时接地故障电流较小, 不足以使过流保护脱扣器切断故障电路, 这些情况都会导致该住户的 PE 线带上故障电压并向其他住户传递.

因此, 笔者认为在住宅用户配电箱应装设 PE 线故障电压监视装置, 用于防范沿 PE 线传递的故障电压引发的电击事故.

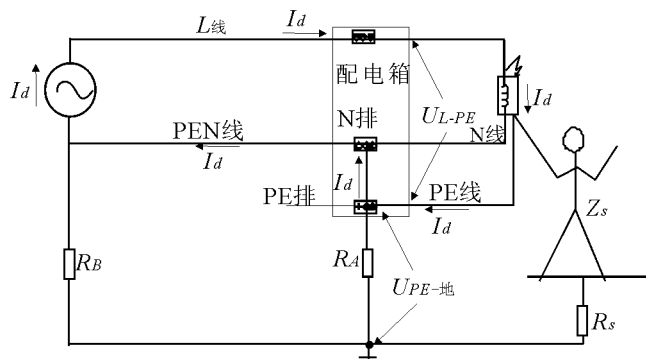
## 2 PE 干线带故障电压时的电路参数变化

要检测 PE 线是否带有故障电压, 首先要选定参考电位. 由于配电箱的金属外壳与 PE 排连通, 二者电位相等, 因此不能做为参考电位点.

在用户配电箱(指单相)中, 共有 3 种不同电压的线路, 它们分别是 L, N, PE 线. 正常情况下, L 与 PE 间的电位差接近 220 V(不考虑 L 线电压偏差的情况下,  $U_0 = U_e = 220$  V); PE 线对地基本为零电位; N 与 PE 间的电位与接地系统的型式有关, 也与 N 线上不平衡电流的大小和谐波电流的情况有关, 情况较为

复杂.

按接地系统的型式不同,分析设备接地故障时,配电箱内 L 与 PE,PE 与地间电压变化的情况.图 2-a,b,c 分别为 TN-C-S,TN-S,TT 系统中的 1 个用电设备发生接地故障的等效电路,在图 2-a 中, $U_{L-PE} = (Z_L + Z_{PE}) / (Z_L + Z_{PE} + Z_{PEN}) \times U_0$ ,由于  $(Z_L + Z_{PE}) / (Z_L + Z_{PE} + Z_{PEN}) < 1$ ,所以  $U_{L-PE} < U_0$ ;在图 2-b 中, $U_{L-PE} = (Z_L + Z_{PE1}) / (Z_L + Z_{PE1} + Z_{PE2}) \times U_0$ ,同理, $U_{L-PE} < U_0$ ;在图 2-c 中,由于  $R_A + R_B \gg Z_L + Z_{PE}$ , $U_0 = I_d \times (R_A + R_B + Z_L + Z_{PE}) \approx I_d \times (R_A + R_B)$ ,所以  $U_{L-PE} = U_0 - I_d \times (R_A + R_B) \approx 0$ .



2-a TN-C-S 系统发生接地故障时的等值电路图

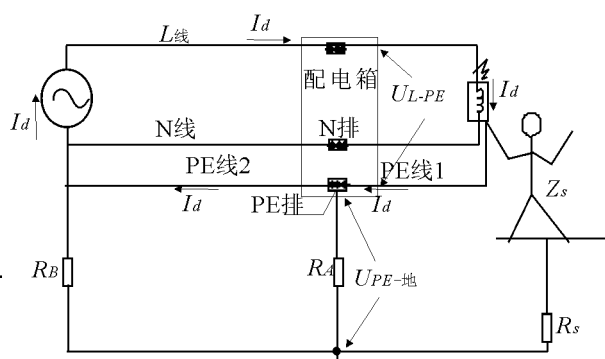


图 2-b TN-S 系统发生接地故障时的等值电路图

从 2-a,b 可以看出,对于 TN-C-S 及 TN-S 系统,接地故障后,故障点的 L 与 PE 间的电压将降低,不再是正常情况下的 220 V 左右.该电压降低值为接地故障电流在 PEN(PE1)线上的电压降,与 L,PEN,PE 各段线路的长度及阻抗有关,随着具体情况的不同而不同.

以图 1 为例,F 点发生接地故障时,故障点处 PE 线对地电压  $U_{PE-地} = 146.5 \text{ V}$ ,L 与 PE 间的电压为  $U_{L-PE} = U_0 - U_{PE-地} = 220 - 146.5 = 73.5 \text{ V}$ .可见,发生接地故障时, $U_{L-PE}$  变小了.

建筑物内的电气线路在电路未被切断的情况下,各家各户的 L,N,PE 分别是连通的,除了电流通过线路产生的电压降之外,各用户配电箱中的 L,N,PE 的电位基本一致,因此可以认为各用户配电箱中 L 与 PE 间的电压与故障点的基本一致,由此可以得出结论:接地故障后,PE 线故障电压传递到的所有用户配电箱的 L 与 PE 间的电压都会比正常情况下低.

以潮湿环境人体的安全电压限值为 36 V 来考量(住宅内有些家用电器的使用环境较为潮湿,如电热水器、洗衣机等),要求家用电器的金属外壳对地电压( $U_{PE-地}$ )不允许超过 36 V,即  $U_{PE-地} > 36 \text{ V}$  时应发出报警信号.此时,L 与 PE 间的电压  $U_{L-PE} = 220 - U_{PE-地} \leq 220 - 36 = 184 \text{ V}$ .这说明在 TN-C-S 系统及 TN-S 系统中,可以采取监视 L 与 PE 间的电位差做为报警方式,当  $U_{L-PE}$  小于 184 V 就说明住宅内用电设备的金属外壳上带有超过安全电压限值的故障电压.比如,在 L 与 PE 间设置欠压继电器,欠压继电器的动作电压设定为 184 V,利用欠压继电器的动作信号来驱动声光报警器发出报警信号.

从图 2-c 可以看到,TT 系统发生接地故障后 L 与 PE 间的电压接近 0 V.如图 1 中,当  $R_B = R_A = 1 \Omega$  时,PE 对地电压为  $U_{PE-地} = R_A / (R_A + R_B) \times 220 = 110 \text{ V}$ ,但 L 与 PE 的电压由原来的接近 220 V 降为 0 V.因此 TT 系统仍可采用通过监视 L 与 PE 间电压变化的方法来监视 PE 线是否带有故障电压.

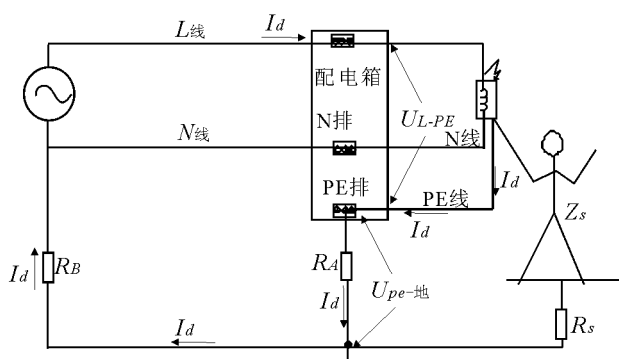


图 2-c TT 系统发生接地故障时的等值电路图

### 3 PE 线故障电压监视装置的设计注意事项

(1) 工作原理要简单,可靠性好,应有测试电路;

(2) 故障报警方式应同时具有声报警及光报警.这是由于住宅配电箱一般安装得较高,且在较隐蔽

处,不在正常的视线范围内,如果报警信号不显著,就不能起到效果;

(3) 应采用一体式设计,不宜采用分立元件在现场安装或由成套厂组装,以提高可靠性. 结构应紧凑轻巧,最好能与断路器并排安装在导轨上,以减小配电箱体积,满足用户的装修要求;

(4) 当检测到 PE 线有故障电压时,只需报警,不需切断用户的电源. 这是由于装设该装置的目的是用于监视从用户外沿 PE 线传递来的故障电压,接地故障不发生在用户内,因此不必切断用户的电源. 如果是用户内部本身发生接地故障,由该用户配电箱中的剩余电流保护器切断该用户的电源. 如果剩余电流保护器失灵,那么该用户及其他用户配电箱中的 PE 线故障电压监视装置也会报警. 可见装设 PE 线故障电压监视装置尚可以做为用户剩余电流保护器失灵的后备保护.

(5) PE 线故障电压监视装置作为产品推出时,应附带必要的使用说明,用户接到报警信号后,应该把家庭中所有带 PE 线的电器设备(I 类设备)的插头从插座中拔出,停止使用这些设备,并切除它们与电源 PE 线的联系. 而对于一些不带金属外壳的用电设备,比如一些照明灯具、电磁炉等,则可以继续使用,一定程度上保证供电可靠性. 产品说明书尚应告知用户以下做法是不妥当的:用户接到报警信号后,拉掉本用户的总开关,以为电源已经切断,不可能发生电击事故. 实际上虽然用户配电箱电源总开关(双极开关)被切断了,但只是切断了 N 线和 L 线,PE 线并没有切断(PE 线不经过开关). 因此,虽然用户内部已经切断电源,但只要设备的插头还插在插座上,设备的金属外壳仍然与 PE 线连接在一起,也就仍然带着危险电位.

## 4 结语

综上所述,住宅楼内沿着共用的 PE 线传递的故障电压所带来的安全隐患不容忽视,设置 PE 线故障电压监视装置可以有效地提高住宅的用电安全水平.

### 参考文献:

- [1] 国家质量技术监督局中华人民共和国建设部. GB 50096—1999 住宅设计规范 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [2] 中华人民共和国建设部. 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局联合发布 GB 50368—2005 住宅建筑规范 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.
- [3] 中国建筑东北设计研究院. JGJ 16—2008 民用建筑电气设计规范 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [4] 余悦兰. 谈超高层建筑中 PE 干线的辅助等电位联结 [J]. 建筑电气,2010,29(S):77.
- [5] 中国建筑学会建筑电气分会. 民用建筑电气设计规范实施指南 [M]. 北京:中国电力出版社,2008.
- [6] 王厚余. 低压电气装置的设计安装和检验 [M]. 第 2 版. 北京:中国电力出版社,2007:32—45.
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB16895. 21—2004 建筑物电气装置安全防护电击防护 [S]. 北京:中国计划出版社,2005.

## Monitoring System of Residential PE-Conductor Fault-Voltage

YU YUE-lan

(Architecture Design Institute, National Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

**Abstract:** When there are single-phase grounding faults happening somewhere in the apartment buildings and the protection devices can not effectively cut the fault circuit, the fault voltage will pass along the mutual PE conductor and then transfer to all apartments, making the metal shell of electric appliances a-live and causing electric shock accidents. Through the analysis of the feature of the circuit of various common protective grounding system with single-phase grounding faults, the author finds no matter what kind of grounding system is employed, the voltage between L and PE conductors will turn significantly low or close to zero in each family distribution box after the grounding faults happen. Therefore, an effective way to solve the problem is to stall undervoltage tripping device between L and PE conductor in each family distribution box as a monitoring device to find fault voltage on PE conductor. Finally, the paper introduces the design principle and application of the PE-conductor fault voltage monitoring devices.

**Key words:** PE-conductor; residence; fault-voltage; monitoring

(责任编辑 陈炳权)