

用高新技术 (AFCI) 可防范 75% 电气线路火灾

罗雷(1) 刘晖(2) 施强(2)

1) 瑞萨科技(北京)有限公司, 北京 100080;

2) 绵阳和瑞电子科技有限公司 四川 绵阳 621000;

摘要: 本文详细介绍了新的技术电弧故障断路器 (AFCI) 的作用, 阐述了 AFCI 的相关知识, 以及 AFCI 技术衍生出来的其他产品, 具体对电弧分类, AFCI 的工作模式, 工作原理等进行了说明。经过使用证明, AFCI 技术可应用于电气防火领域。

关键字: 电气火灾, 故障电弧, AFCI, 微处理器, UL1699 标准, Zigbee 网络

By new technology of AFCI is able to prepared against electric fire about 75%

Luo Lei(1)

Liu Hui(2)

1) Renesas Technology (Beijing) Co., Ltd., Beijing 10080;

2) MianYang Herui Electronic Co., Ltd., MianYang 621000;

Abstract: New technology of AFCI's function was introduced. The relative knowledge about AFCI products and also its related products were expounded. The classification of arc, work mode and work principle of AFCI were introduced. The practical use indicated that AFCI could be applied in electric fire fighting field.

Key words: electric fire; arc fault; AFCI; MCU; UL1699 standard; Zigbee net

一, 引言

据中国公安部沈阳所 2009 年的统计, 重特大电气火灾中, 58.44% 是电气线路的故障引发的, 并逐年在增加, 随着社会的不断发展, 电气化程度越来越高, 电路保护也越来越重要。电气中的故障电弧能量大, 温度高, 危害是极大的, 非常容易引起火灾。但是, 传统的断路器是只可以保护漏电, 过流和短路, 而许多严重的火灾事故却是由低于额定电流的故障电弧引起的, 传统的断路器是绝对不能检知或防止这种故障。随着电弧故障引起的事故越来越凸显, 我们需要用 AFCI 技术来防范和监控电气线路的火灾隐患。

二, 有关 AFCI 的一般介绍

● AFCI 是什么

AFCI 是英文 Arc Fault Circuit Interrupt 的缩写, 可翻译成“电弧故障断路器”, 大家知道, 传统的断路器只对短路和过流有保护作用, 普通的漏电保护开关 RCD (GFCI) 只对“相/地”或“零/地”有保护作用, 不能对“相/零”间的故障电弧起保护作用。

AFCI 技术是一项最新的电路保护技术, 可在传统断路器的基础上, 能对“相/零”和“相/地”间的故障电弧起保护作用, 这些危险的电弧可能发生在电气的布线上、插头和插座连接点、以及家用电器内部的线束上或电器的电源线上等, 当有故障电弧发生时, 电弧可以在瞬间产生大约 4000 度的高温, 极易点燃附近的易燃物, 引发电气火灾。

● 美国电气火灾和 AFCI 情况

在美国, 根据 CPSC (Consumer Product Safety Commission 美国消费品安全委员会) 1998 年的统计, 每年由于配电线路老化引起电弧造成的火灾有超过 40000 起, 造成直接经济损失 \$16.8 亿美圆。

美国州消防署署长全国协会（简称 NASFM）在后来的电气火灾原因调查研究报告也是指向《故障电弧》，占电气火灾的 83%。

所以，为了有效减少电气火灾，美国电气规范（NEC2002）210-12(A)(B)要求在新建建筑和老建筑的卧室安装这种 AFCI 断路器和 AFCI 墙插座，所有的空调要安装 AFCI 插座。因为安装后作用明显，所以 NEC2008 增加 AFCI 的使用范围，(210 - 12 (B)) 几乎分支电路都要求安装故障电弧断路器 AFCI。

美国国家消防协会（NFPA）在 2003 年对安装 AFCI 的经济情况做出了结论：AFCI 可以防范大约 75% - 80% 的电气线路火灾，NFPA 估算全美住家装设 AFCI 包含 20 年的老房子（每住家平均用 175 美元成本），所花费的成本与未装设时预估会发生火灾的伤亡和财产损失相比较，总计整个社会（全美 1.9 百万住家）在 AFCI 寿命期（20 - 30 年）内可以节省几乎双倍投入成本的好处，也就是可以给国家节省双倍的资金，并带来巨大的社会效益。

● 我国电气火灾情况

据中国公安部沈阳所 2009 年的统计，2003 - 2007 五年中，各年度电气火灾数占火灾总数的比例分别为：23%，20.7% 21.9% 23.1% 和 28.3%，重特大电气火灾中，58.44% 是电气线路的故障引发的，并逐年在增加，形式相当严峻。

据我有关部门统计，我国电气火灾是美国的 3 倍之多，电路老化造成的火灾在所有火灾事故中占有最高的比例，在我国电气线路分布不合理，伪劣电器很多，容易发生电气火灾，而且我国的电压是 220V，美国的电压是 110V，电压高更容易发生故障电弧，这是均为电气火灾的隐患，

三， 电气电弧知识

● 电弧：

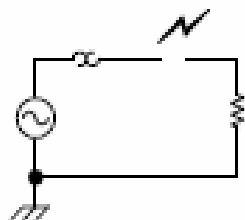
当电气线路绝缘老化，破损，接插件虚接，线路虚接，短路都会发生故障电弧，（弧光放电）即使在额定电流范围内也会有电弧发生，发生电弧的同时会产生热，（大于 3000 度）足以点燃附近的可燃物。

线路上的电弧可分为两种，一种是正常的操作弧，也称《好弧》，另一种是故障电弧，称《坏弧》。

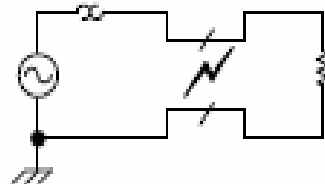
1，《好弧》是指当电机旋转产生的弧，如电钻，吸尘器等。另外当人们开关电器，插拔电器时产生的弧也是《好弧》。

2，《坏弧》是故障电弧，故障电弧的类型基本上可分三类。A 类 B 类和 C 类。A 类称串型电弧，B 类称并型电弧，图示如下：

A 类：

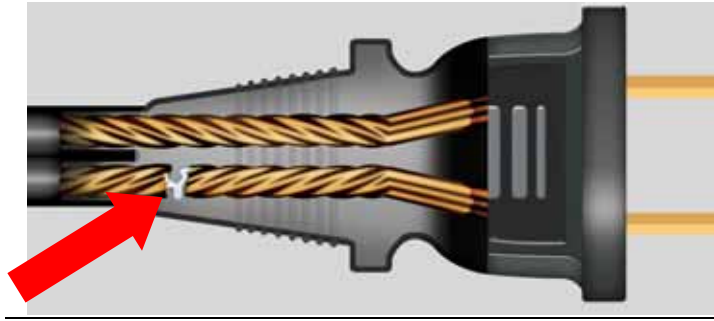


B 类：

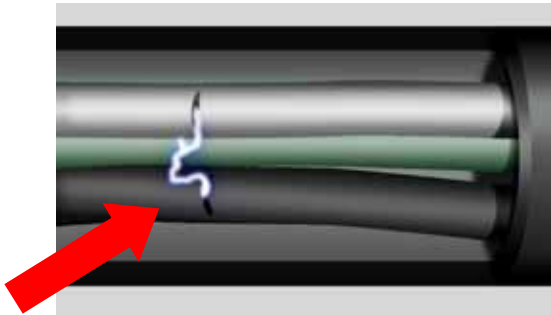


C 类是火线和零线对地的故障电弧（漏电），由于我们的电气保护一般均带漏电保护器，所以 C 类电弧可以有效防范。（在接地完好的情况）

- 插头内部线损产生的串弧：(A 类)



- 线路破损产生的并弧：(B 类)



- 故障电弧引发的线路着火实例：(5 安培串行弧)

1, 电线发热(0-0.3s)



2, 电线冒烟(0.3-0.5s)



3, 电线着火(0.5-1s)



- 美国的 UL1699 标准介绍

UL1699 是规范 AFCI 的美国标准，UL 1699 发展于上世纪 90 年代初，用以识别过电流和短路产生的电弧造成的家庭火灾。但研究发现在没有过电流发生的情况下由小电流引起的故障电弧也有足够的能量引发打火从而引起火灾。

UL1699 的规范可分成三种电弧测试方式：电弧检验测试，误动作测试，和负载起动测试。最初 UL1699 起草时，重点是防止普通负载（如电机、灯、电子控制系统等）在非错误电弧发生时的误动作。如今随着 AFCI 技术强制在家用空调电源插头上的应用，使得 AFCI 技术既要能符合 UL1699 的安全规范，同时又要能满足空调运行条件的要求（我们称之为品适用性），然而目前 UL1699 对于产品适用性这一点并无要求，但在产品实际使用中这点却非常重要。

根据 UL1699 的标准，在 AC 线路上，AFCI 要识别《好弧》和《坏弧》，当 AFCI 在 0.5 秒内察觉到 8 个半周的故障电弧《坏弧》信号时，断路器执行脱扣，及时切断 AC 线路。另外在发生《好弧》时，如，电钻，电机启动，不可误动作，现 UL1699 的 2008 版已经出版。

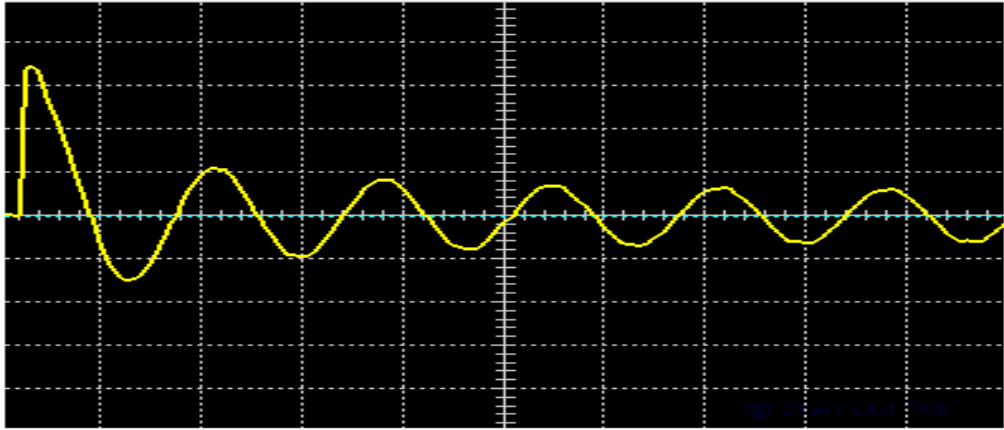
四， AFCI 系统基本原理和开发

- 基本原理：

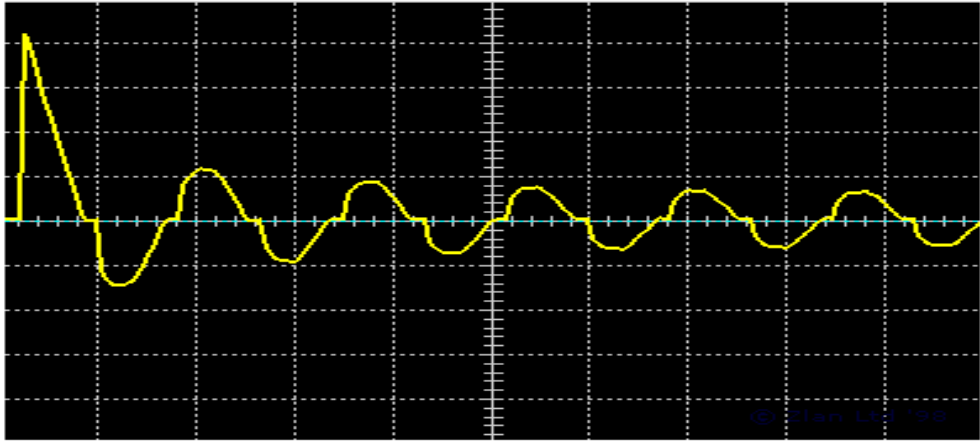
AFCI 最早被用在航空领域，以避免航空器由于故障电弧发生火灾，它的基本原理是使用微处理器对负载电流半周进行采样，采样速度约为 6800 次/秒，再对采样的数据进行分析比对，如果符合电弧的特性，就被认定为一个故障电弧，当 0.5 秒内发现了 8 个以上的故障电弧就及时断电，以避免电气火灾的发生。

很多的负载电流与故障电弧电流的样式非常接近，所以要识别故障电弧就需要知道其他负载的电流轨迹，才能做到准确判断故障电弧。下面是一些特殊负载的样式：

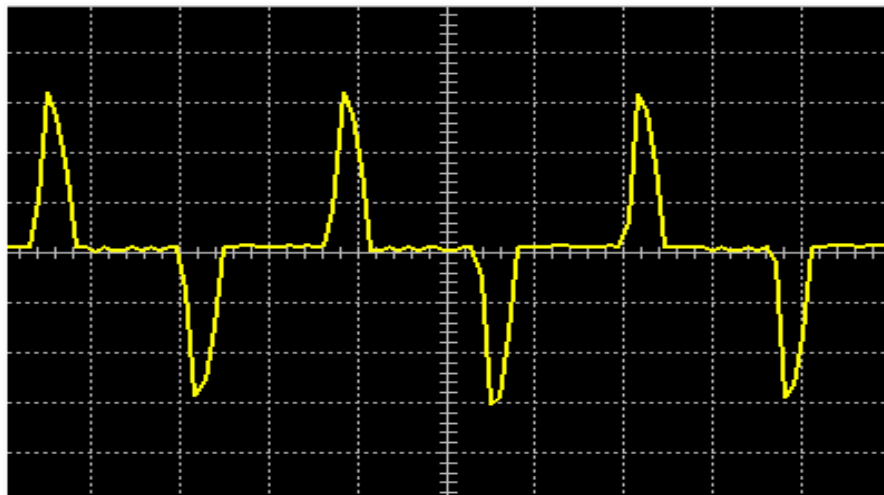
1，1KW 白炽灯启动波形：（启动相角 30 度）



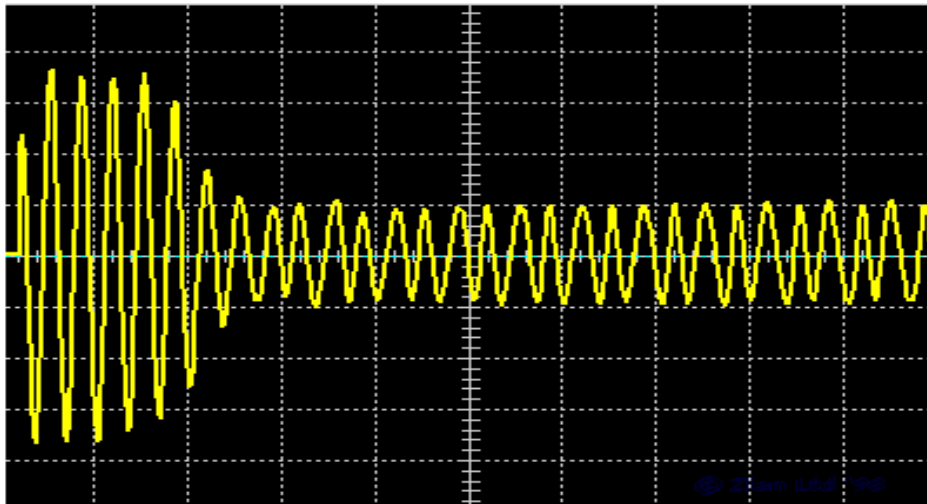
2, 1KW 调光灯启动波形：（导通角 100%）



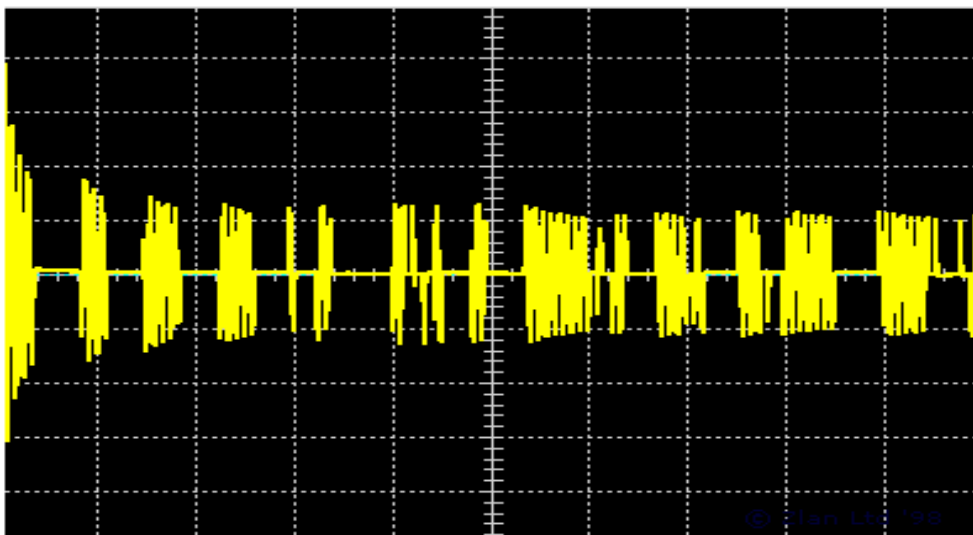
3, 计算机电源波形：



4, 1HP 空调的启动波形：



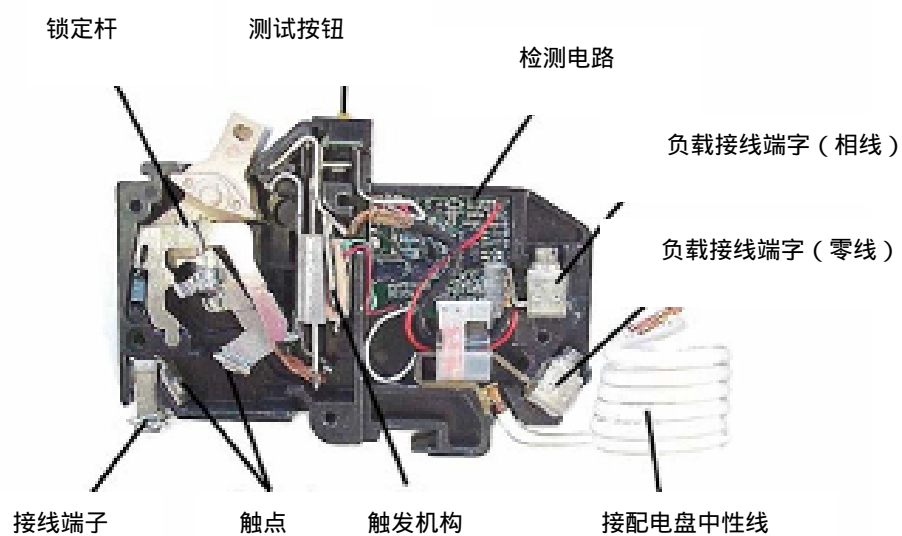
5, 断续串行电弧：



上述波形中有些波形和故障电弧很相似，所以 AFCI 要能够识别这些波形。

- AFCI 硬件：

1. 下图是个 AFCI 的内部构造



- AFCI 软件：

作为一个全功能智能断路器，其软件应具备以下几项基本功能：

1. 准确的电弧检测

此项功能要求 AFCI 能够根据对负载电流 A/D 采样，在短时间内检测出电弧的产生，这种检测包括对负载运转所产生的正常电弧检测以及负载在非正常状态所产生的电弧检测。

2. 快速的电弧特性分析

此项功能要求断路器在检测到电弧产生后，首先根据当时电压和电流的关系，运用高效而准确的算法（现多采用傅立叶 Fourier 变换法则），得到负载的相位角（phase angle）状态，判断出负载的类型，从而得出电弧的产生属于正常或异常的判断，进一步作出是否切断的动作。可见，这部分软件设计将决定断路器能否在发生故障电弧时及时做出切断动作，同时，它还将决定断路器能否在发生正常电弧时不会产生误动作。当然，这种判断还要依靠下面一项功能作为基础。

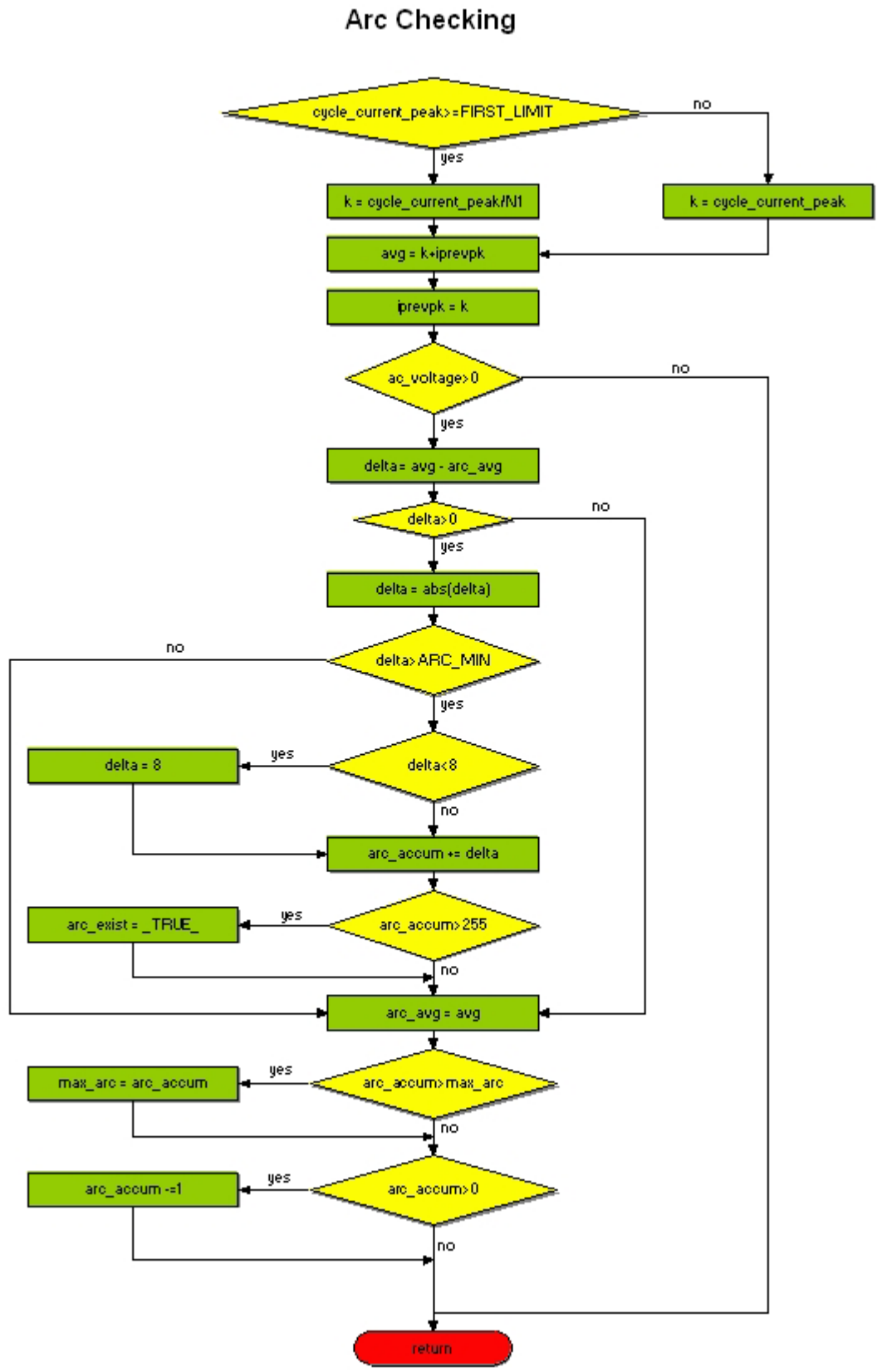
3. 丰富的负载电弧特征曲线(profile)储备

AFCI 应包括尽可能多的负载电弧特征，这需要大量的实验基础，对绝大多数的负载电弧特征进行分析，并将其存储在单片机中。还可以采用自学习方式，断路器可以在运行状态对产生的电弧进行实时的更新。

4. 电弧检测部分软件流程

当然，对于以上功能，还有其他的软件实现思路，仁者见仁，智者见智。如，根据电弧的分类判断串行电弧（series arc）和并行电弧(parallel arc)，再分别加以处理。下图仅供参考。

5, 故障电弧的软件流程图



五， AFCI 系统的应用领域

- 利用 ZigBee 无线网络的火灾监控系统



因为每个 AFCI 包含 1 个高性能的微处理器 (MCU),所以可以组成网络,将火灾隐患的数据通过低成本的 Zigbee 无线网络直接传送到监控中心进行分析和处理。

它可以将电流,电压,漏电,电流相位,电弧信号等数据及时传送到终端计算机。如发现了故障电弧,可以及时报警。

Zigbee 是一个低成本、低耗能、双向无线通信网络系统,由可多到 65000 个无线数传模块组成的一个无线数传网络平台,可以连接现有的移动通信的 CDMA 网或 GSM 网,而且还可以与现有的其它的各种网络连接。

上图是一个电气火灾报警系统的示意图,

分别是 7 组 AFCI 断路器 (带 Zigbee 或 RF 功能),当某个 AFCI 的下游负载线路出现了故障电弧或漏电,这个火灾隐患的信息将通过 Zigbee 网络在第一时间发送到终端计算机。由于 Zigbee 网络是一个双向的网络,所以终端计算机也可以随时查询每个 AFCI 断路器的监控数据。相当方便!

- 支路 AFCI 产品(Branch/Feeder AFCI)



这类产品大多安装在支电/配电线路,如在配电箱内安装的 AFCI 断路器,用来防止在支电线路或配电线路上发生的电弧故障。支路 AFCI 管理集中,且便于扩展其他功能,

- **组合 AFCI 产品(Combination AFCI)**



一个组合型 AFCI 产品，可以对过流，短路，漏电和电弧全方位的保护。带 AFCI 测试键。

- **墙插座式 AFCI 产品(Outlet Circuit AFCI)**



这类产品被设计在插座上，用来保护用插座下面的电气线路和负载，一般带漏电保护。

- **绳索类 AFCI 产品(Cord AFCI)**



此类产品被直接连接电器设备，一般对故障电弧和漏电有保护作用，用来保护特定负载（如空调器）。

● **便携 AFCI 产品(Portable AFCI)**



一种插入式 AFCI 产品，有故障电弧和漏电有保护作用，用来保护连接到扩展线路上的设备以及电气线路。

六， 结语：

随着社会的发展，科技的进步，AFCI 技术将会很快走进电气保护的行列，以取代目前的漏电保护器，这就好比最早使用的防短路的保险丝，已经被目前的漏电断路器取代。AFCI 将为防范电气火灾发挥作用。

参考文献：

- 1， 邱曼，张明，齐梓博，夏大维，《2003 - 2007 国内重特大电气火灾事故的统计分析》
- 2， 任长宁，《降低分支电路电气火灾风险的措施与预防性检测》
- 3， 齐梓博，邱曼，接插件接触发热的火灾危险性。
- 4， 赵长征，《电气火灾防治与调查技术》（辽宁大学出版社）
- 5， 《家用电弧断路器（AFCI）的开发》（建筑电气期刊 2006.2）
- 6， 《防范电气火灾新技术》（Taiwan 台电月刊 2008.9）
- 7， UL1699 Standard. 1999-2008
- 8， 美国 NEC 2008 规范
- 9， AFCI 技术在家用空调电源插头上的应用.
- 10， Arc fault testing arc faule scenarios (2002 Underwriters laboratories inc)
- 11， Microcomputer Based Feeder Protection and Monitoring System-Utility Experience", Martin Narendorf, B. Don Russell, Mike Aucoin, IEEE



罗雷

1997 加入三菱电机半导体，从事 MCU 软硬件开发，专业应用于电器及计量仪表领域；
2003 至 2008 就职于日本瑞萨科技（北京）有限公司，从事 AFCI,GFCI 及家电的硬件软件设计。
现就职于绵阳和瑞电子科技有限公司
联系：LUOLEI666@126.COM;



刘晖

2001 加入三菱电机半导体，从事 MCU 软件开发，专业应用于家电及计量仪表领域；
2003 至 2008 就职于日本瑞萨科技（北京）有限公司，从事数字电视，AFCI,GFCI 软件设计，现就职于绵阳和瑞电子科技有限公司

联系：LIUHUI.V666@GMAIL.COM;