

新型

家用电弧故障断路器 (AFCI) 的开发

□ 罗 雷 刘 晖(瑞萨科技 100080)

摘 要 本文介绍电弧故障断路器 (AFCI) 的电路部分的技术开发, 包括它的硬件和软件的基本实现方法及相关内容。通过电流互感器感应AC (交流) 电流的大小和 di/dt , 然后用OP (运放) 进行处理后, 将信号再输入MCU (微控制器单元) 进行A/D (模数转换) 处理, MCU将采样数值进行分析, 如果符合故障电弧的特性, MCU将发出断路器脱扣信号, 使断路器断开。当然传统的过流、短路和漏电保护功能可方便地被集成, 只要再增加一个电流互感器。

关键词 断路器 M37544 电流互感器 运算放大器

传统的断路器只对过流、短路起保护作用, 本文介绍的家用电弧故障断路器 (AFCI) 是在传统的断路器的基础上添加了崭新的功能——对故障电弧起保护作用, 以防范电弧引发的火灾。目前美国CPSC (美国消费品安全委员会) 已要求所有住宅的卧室必须安装这种断路器。

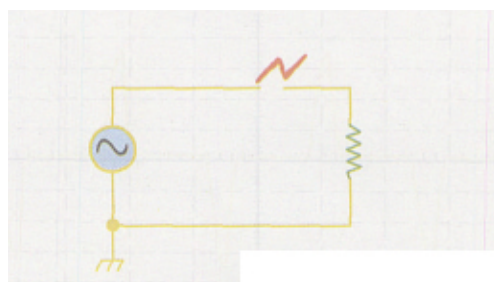
1 基本概念

1.1 电弧

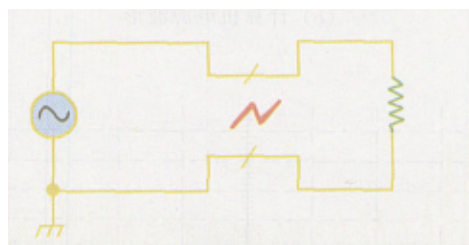
线路上的电弧可分为两种, 一种是正常的操作弧, 称“好弧”, 另一种是故障电弧, 称“坏弧”。

“好弧”是指电机旋转 (如电钻、吸尘器等) 产生的弧。另外当人们开关电器, 插拔电器时产生的弧也属于“好弧”。

“坏弧”是故障电弧, 故障电弧的类型基本上可分两类, A类和B类。A类称串型电弧, B类称并型电弧, 如图1所示。



(a) A类



(b) B类

图1 故障电弧的类型

1.2 UL1699标准

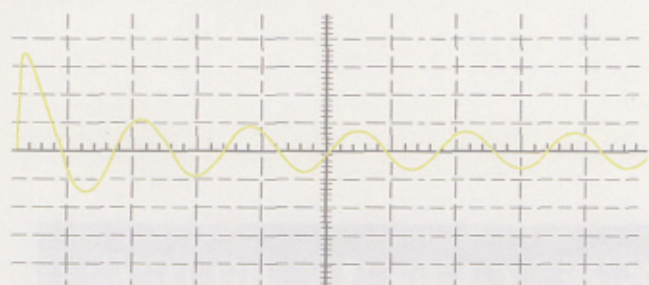
UL1699标准是规范AFCI的, UL1699发展于上世纪90年代, 用以识别由过电流产生的电弧而造成的家庭火灾。传统的断路器可以对过电流提供保护, 然而研究发现在没有过电流发生的情况下, 由小电流引起的故障电弧也有足够的能量引发打火从而引起火灾。现在UL1699可用于规范AFCI技术在家用断路器、墙式安装插座, 以及便携式AFCI插座的应用。

1.3 AFCI如何工作

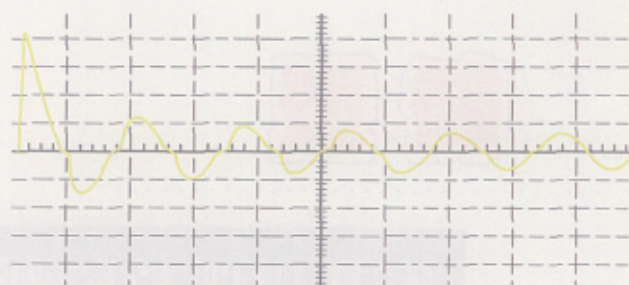
根据UL1699的标准, 在AC线路上, 当AFCI在0.5s内察觉到8个半周的故障电弧, 断路器执行脱扣, 切断AC线路。

1.4 电弧和负载启动的电流波形

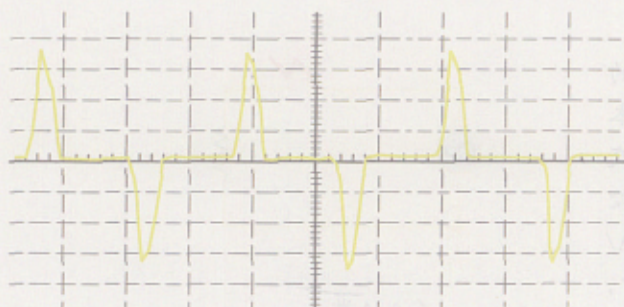
电弧和负载启动的电流波形见图2。



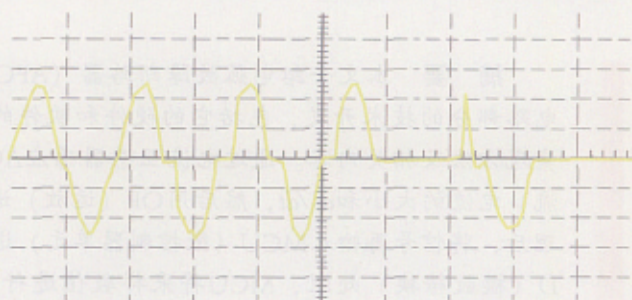
(a) 1kW白炽灯启动波形 (相角30°)



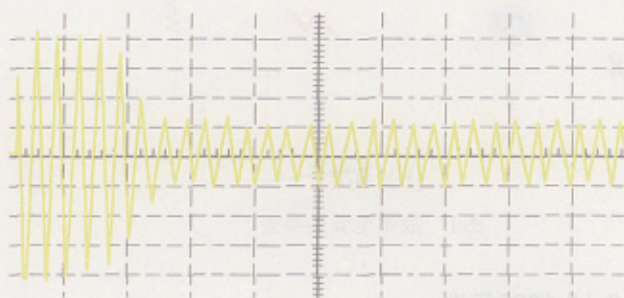
(b) 1kW调光灯启动波形 (100%导通)



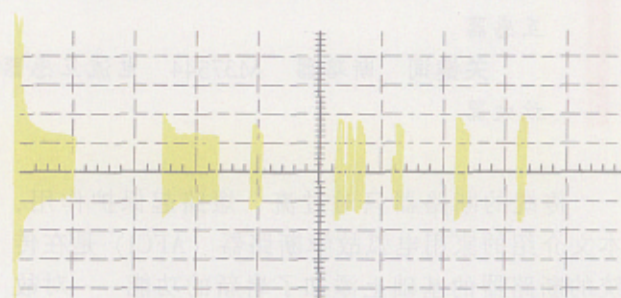
(c) 计算机电源波形



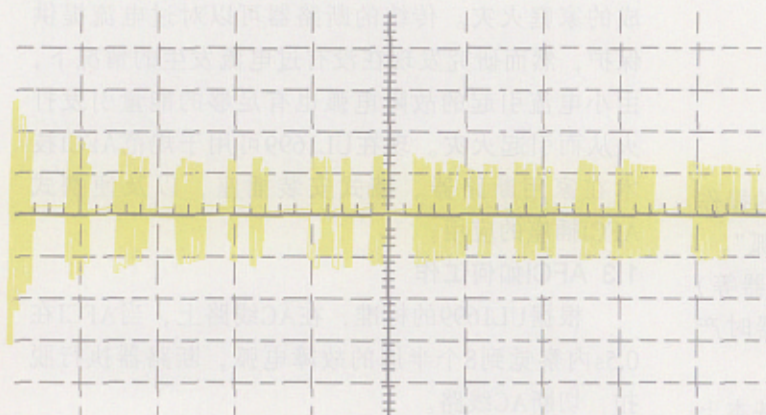
(d) 一个100A点接触电弧波形 (并行电弧)



(e) 1HP空调的启动波形



(f) 安装1kW灯泡时, 灯口瞬时虚接产生的波形



(g) 串行电弧

图2 电弧和负载启动的电流波形

2 电弧断路器硬件介绍 (原理见图3)

图3中, 电流互感器201采用气芯的电流互感器, 它的特点是无磁滞和磁饱和现象, 并有非常好的线性和暂态特性。201将感应信号送入一个电压跟随器 (300), 以使输出信号强化。301是一个50-60Hz低通滤波器, 302是个双路非反向运放, 负载电流的信号被放大后送入800 (M37544) 处理。

断为产生了一个电弧。需要指出的是，并不是只根据某一个周期的差距作出判断，而是将若干周期的差距累加，如果这个累加值超过了一个预先定义的累积门限，才作出最后的判断。当然，这个累积值会在一定的时间后复位。电弧检测功能的软件编程如下：

```
unsigned char check_arc (void)
{
    static unsigned char iprevpk=0;
    unsigned char arc_exist=_FALSE_;
    unsigned char k = (cycle_current_peak>= FIRST_LIMIT)?
    cycle_current_peak/N1:cycle_current_peak; //如果电流峰值超
    过门限值，需要通过比例因子调整
    unsigned char avg=k+iprevpk;
    int delta=0;
    iprevpk=k;
    if (ac_voltage>0) { //只针对正半周期计算
        delta=avg-arc_avg;
        if (delta>0) { //如果峰值大于平均值，需要计算累计
            值
            delta=abs (delta) ;//取绝对值
            if (delta>ARC_MIN) {
                if (delta<8) delta=8;
                arc_accum+=delta;
                if (arc_accum>255) {
                    //累计值超过范围，有可能有电弧产生
                    arc_exist=_TRUE_;
                }
            }
        }
        arc_avg=avg;
        if (arc_accum>max_arc) max_arc=arc_accum; //更新累
        计峰值
        if (arc_accum>0) arc_accum=1; //对累计值削减
    }
    return arc_exist;
}
```

3.2.2 电弧特性分析的基本软件原理

电弧特性分析是通过电压和电流的模拟同步检测实现的。当电压过零时，其极性将发生变化，同时，其采样值呈周期变化，电流的特性也是如此，而根据傅立叶变换的基本原理，一个周期函数可以展开成无数个正弦或余弦函数之和，函数的周期越短，其（级数）收敛

越快，周期越长收敛就越慢。具体的实现方法如下。

以电压波形两次正向过零为一个整周期，每半个周期N次采样。首先，当电压在正半周期并且N为0时将正弦累积值和预先累积值复位，以此作为一次计算相位的起始。对于余弦累积值的计算，在电压经历正半周期时，电流的余弦累积值与前一次的余弦值相加，电压在负半周期时，电流的余弦累积值与前一次的余弦值相减。对于正弦累积值的计算，以N/2为界，前N/2次采样中，电流的正弦累积值与前一次的正弦值相加，后N/2次采样中，电流的正弦累积值与前一次的正弦值相减。最后，当电压在负半周期并且N达到最大采样数时作为一次计算相位的结束。

至此，线电压和电流之间的相位差已经被模拟为正弦函数和与余弦函数和之间的比率，即正切值。由于正切曲线是圆滑的单调递增函数，由此，负载运行时产生的相位差应该满足这条曲线，负载的类型也就可以被判断出来。电弧特性分析原理框图见图4。

电弧特性分析软件编程如下：

```
void check_phase (void)
{
    static unsigned char sin_var,cos_var;
    signed char sign=0;
    /*
    在每周周期起始复位累加器
    */
    if (! sample_cnt&&ac_voltage>0) {
        sin_var=0;
        cos_var=0;
    }
    /*
    计算余弦值:
    当VAC为高，ADC与前次余弦值相加
    当VAC为低，ADC与前次余弦值相减
    */
}
```

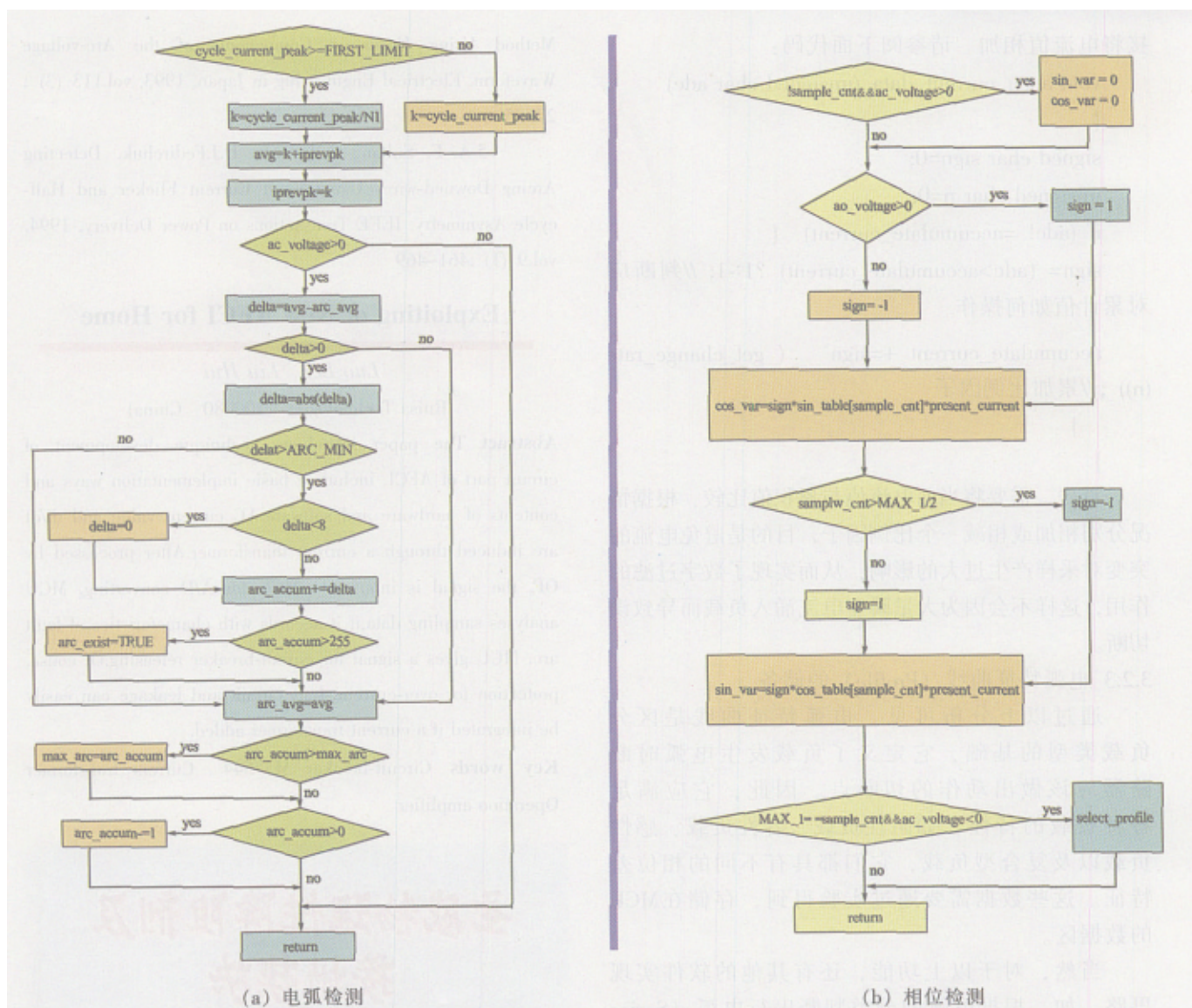



图4 电弧特性分析原理框图

```

sign=ac_voltage>0? 1:-1;
cos_var+=sign*sin_table[sample_cnt]*present_current;
/
计算正弦值:
在前8次采样中, ADC与前次正弦值相加
在后8次采样中, ADC与前次正弦值相减
/
sign=(sample_cnt>MAX_I/2)?-1:1;
sin_var+=sign*cos_table[sample_cnt]*present_current;
if (MAX_I!=sample_cnt&&ac_voltage<0) {

```

结合上述电弧检测的算法, 对于每种负载, 都可以对应一系列切断点 (Trip point), 也就构成了不同的电弧特性曲线 (Profile), 以便随时判断出产生的电弧是否已超越了电弧特性曲线上的点, 从而达到及时切断和避免误切断的目的。

另外, 为了增加稳定性和可靠性, 还可以引进其他的参数, 如周期电流累积值和全局电流峰值。对于周期电流累积值, 并非直

接将电流值相加。请参阅下面代码:

```
void accu_current_data (unsigned char adc)
{
    signed char sign=0;
    unsigned char n=0;
    if (adc!=accumulate_current) {
        sign= (adc>accumulate_current) ?1 :1; //判断应
```

对累计值如何操作

```
        accumulate_current +=sign* ( get_change_rate
(n)) ;//累加比例因子
    }
}
```

首先, 需要将当前电流值与累积值比较, 根据情况分别相加或相减一个比例因子, 目的是避免电流的突变对采样产生过大的影响, 从而实现了数字过滤的作用, 这样不会因为大量瞬变电流涌入负载而导致误切断。

3.2.3 电弧特征曲线 (Profile) 的储备

通过以上分析可见, 电弧特征曲线是区分负载类型的基础, 它定义了负载发生电弧时断路器应该做出动作的切断点。因此, 它应满足各种负载的特性, 如阻性负载、容性负载、感性负载以及复合型负载, 它们都具有不同的相位差特征。这些数据需要通过实验得到, 存储在MCU的数据区。

当然, 对于以上功能, 还有其他的软件实现思路, 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。

参考文献

1 James E. Timperley. Incipient Fault Identification Through Neutral RF Monitoring of Large Rotating Machines. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1983, vol. PAS-102 (3) : 693~698

2 B. M. Aucoin, B. D. Russell. Distribution High Impedance Fault Detection Utilizing High Frequency Current Components. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1982, vol. PAS-101 (6) : 1596~1606

3 Mike Aucoin. Status of High Impedance Fault Detection. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1985, vol. PAS-104 (3) : 638~644

4 Masayuki Okazaki, Tsuginori Inaba. Fault-Locating

Method Using Harmonic Components of the Arc-voltage Waveform Electrical Engineering in Japan, 1993, vol. 113 (3) : 27~35

5 A. F. Sultan, G.W. Swift, D.J. Fedirchuk. Detecting Arcing Downed-wires Using Fault Current Flicker and Half-cycle Asymmetry. IEEE Transactions on Power Delivery, 1994, vol. 9 (1) : 461~469

Exploiting of New AFCI for Home

Luo Lei Liu Hui

(Ruisa Technologies 100080 China)

Abstract The paper introduces technique development of circuit part of AFCI, including basic implementation ways and contents of hardware and software. AC current value and di/dt are induced through a current transformer. After processed by OP, the signal is input into MCU for A/D converting. MCU analyses sampling data, if it accords with characteristics of fault arc, MCU gives a signal for circuit-breaker releasing. Of course, protection for over-current, short circuit and leakage can easily be integrated if a current transformer added.

Key words Circuit-breaker M37544 Current transformer Operation amplifier

圣威物理性降阻剂及 接地模块

我公司生产的圣威牌物理性长效降阻剂及物理性接地模块, 是为降低各种接地装置的接地电阻而开发的专用产品。其广阔的适用范围、显著的降阻效果、长效稳定的性能深受广大用户的信赖。本产品已通过ISO9001-2000国际质量体系及环保认证。

本公司可承接接地工程设计、施工改造、技术咨询等业务。

成都圣威电气有限公司

地址: 成都市犀浦镇国宁路59号

电话: (028)87950622

传真: (028)87952277

网址: <http://www.shengw.com>

邮箱: cdshengwei@163.com