

航空电弧断路器的研究及应用

Research and Application of the Arc-Fault Circuit Breaker in Airplane

中国商飞上海飞机设计研究院 金 勇 马光辉

[摘要] 介绍了一种检测航空交流故障电弧的方法,通过频域中的滤波后,在时域中进行检测,在软件中加入甄别判据。最后,从民机的安全性出发,总结了电弧检测断路器在民机上的应用。

关键词: 交流故障电弧 电弧检测 断路器

[ABSTRACT] A method of arc fault detection in airplane is introduced. The method is based on the filtration in the frequency domain and then the detection in the time domain, and the criterion for preventing mistake is added in the software. At last, the application of the arc fault circuit breaker is summarized on the safety of the airplane.

Keywords: AC arc fault Arc-fault detection Circuit breaker

随着飞机的用电设备越来越多,飞机上的配电系统也日益复杂,因此航空电缆也随之增多。为保持飞机的轻便,航空电缆一般要求比普通电缆细很多,绝缘层也要求更薄。然而航空线缆长期工作在高温、严寒、辐射、振动等环境下,很容易逐渐老化产生细小裂纹,电缆绝缘材料分解老化甚至绝缘损坏。在航空电缆绝缘老化损坏的部位出现击穿,产生断续的电弧,进而引发飞行故障或空难。有研究显示,在低压领域,由于线路老化或连接故障引起的故障电弧有引发火灾的危险。仅2~10A的电弧电流就可以产生2000~4000℃的局部高温,0.5A的电弧电流就足以引起火灾。在这种情况下,故障电弧的检测就显得尤为重要。

故障电弧根据电弧产生的位置可分为串型电弧和并型电弧2类,并型电弧又可分为对地电弧以及线线电弧,其中,对地电弧又可以称为短路电弧。

由于在电弧发生时,弧光区域等于一个不稳定的电阻,所以,当串型电弧发生时,等于在回路中电弧发生部位串入一个电阻;当并行电弧发生时,等于在回路中,对地之间或线线之间并联一个电阻。所以,可以得出:

(1) 当串型电弧发生时,回路中的电流小于正常工作时候的电流;

(2) 当并行电弧发生时,特别对地电弧,由于弧光

间的等位电阻,使得电流小于短路电流而远大于正常额定电流,瞬间会有很高的短路能量,且伴随着电弧的燃烧,相当危险。

飞机配电中一般使用TCB(Thermal Circuit Breaker)和ECB(Electrical Circuit Breaker)来进行对线路的保护。传统的TCB和ECB一般采用热保护或模拟热量累计的反延时算法进行过载和短路保护。故而,由故障电弧的特点可以看出,当串型电弧发生时,回路中的电流小于正常电流,如图1下侧矩形部分,传统断路器不能有效地进行保护;而当并型电弧发生时,发生区域为图1左侧矩形部分,传统断路器不能及时地进行保护。这就势必需要研究带有电弧检测的断路器。

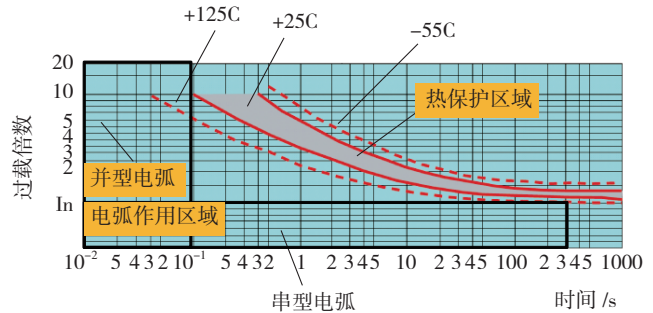


图1 热保护曲线区间与电弧区间
Fig.1 Range of TCB protection and arc-fault

1 交流故障电弧的特点及检测

鉴于传统的TCB与ECB检测不出故障电弧,需要研究专门的电弧保护的断路器来对故障电弧进行检测。

而在飞机上,线缆一般都较长,且密度高,故障电弧很难定位去检测。所以,一般利用敏感电阻或者电流传感器对回路中的电流信号进行采集来进行分析。

故障电弧在时域和频域方面都有显著特点,对于航空交流电弧,时域方面表现在:

- (1) 沿电弧有电压降;
- (2) 电弧通常是散布于正常电流之间零星闪波;
- (3) 对交流电弧电流的每一个半周波都在正常电流的过零点前熄灭,在过零点后复燃,在每个半周波形成一段几乎是平的零电流区域,把它命名为“平肩部”;

交流电弧电压波形接近于矩形^[1]。

频域方面,国内外也做了较多的研究,可以得出,在故障电弧发生时,在一定的频率范围内产生大量谐波信号,但是由于试验环境不同和用电环境不同,产生的试验结果有差异。

文献[2]将分别得到的3组电弧电流数据进行了分析,得出在10kHz~100kHz的频率范围内,电流的谐波含量明显增多。

文献[3]~[4]中,针对航空交流电弧进行了试验测试,发现:

(1)一定周期内,500~2000Hz内电流分量较之正常情况下偏大的次数多;

(2)2、3、5、7次谐波的幅值明显增加。

针对实际试验的情况,可以发现,专门针对航空低压故障电弧试验,与上面数值比较接近。故在设计检测电路时,在频域方面,可以此作为参考。

2 交流故障电弧检测器的研究

在对故障电弧进行检测时,一般较简单的方法是判断其时域变化,一般利用电平比较法检测突变阶跃信号。这样,势必会引起误判断,对于类似电弧特征的阶跃信号,也会加入判断行列。这就引出采用频率中滤波然后再进行时域判断检测的方法。

2.1 检测原理

在交流电弧的检测中,运用交流电弧的显著特征,其中,以时域中的过零点的“平肩部”最为显著。这里,介绍一种运用检测“平肩部”来检测电弧的方法。

交流电弧采集电路中,由于电压信号一般都在整个电网端,所以,一般采用传感器或者敏感电阻对回路的电流信号采集后进行分析。检测方案如图2所示。

电弧产生时,电路中有很多杂波。在前面的频域分析中可以得出,一般的故障电弧集中在500~2000Hz中

间,所以,通过带通滤波器,可以有效地提取过零点平肩部的阶跃电压。通过信号放大后,再与电压参考阈值进行比较。其中,电压参考阈值可以根据不同断路器的额定电流来进行调配,这个值可以根据不同的断路器,在试验中得出。

试验中,经过带通滤波后采集出的波形如图3所示,上方波形为纯阻性负载下的电弧波形,可以看出过零点的平肩部,下方为带通滤波后的脉冲。在每次过零点平肩部时,都会产生脉冲电压,CPU可以捕捉这个脉冲信号。

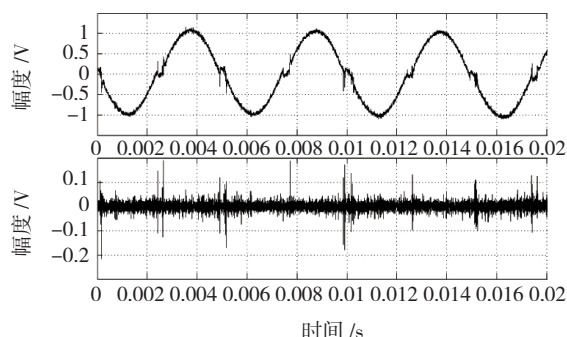


图3 经过带通滤波后形成的脉冲电平

Fig.3 Pulse level through bandpass filter

故障电弧发生的一定时间内,当CPU捕捉到一定阈值的脉冲时,即会判断出故障电弧,进而发出保护信号,带动外部驱动电路,实现断路器的保护关断。

2.2 软件判据

目前认为,在100ms之内发生8次电弧的故障,即判断为故障电弧,需要作出保护^[5]。

由于在飞机电路中,电流发生跳变的情况很多,比如由于接触器的机械开合引起的电弧、外部的干扰、电网电能品质的突变、周期性负载的变动等。

由接触器开关引起的电弧不属于故障电弧,一般称为“好弧”。由接触器引起的电弧,熄灭后不会持续,一定时间内电弧冲击次数达不到阈值。

对于各种恶劣情况下干扰和电源品质的突变,调理电路中的带通滤波器能很好地解决这个问题。一般干扰信号的纹波在频率和幅值方面经放大后达不到比较电平的阈值。

对于周期性的负载,如机上的各种闪烁的指示灯,其在肉眼能分辨闪烁的范围内,变化周期远大于100ms。

各种甄别与排除条件见表1。

3 航空电弧检测断路器的应用

在SWISSAIR 111和TWA800灾难

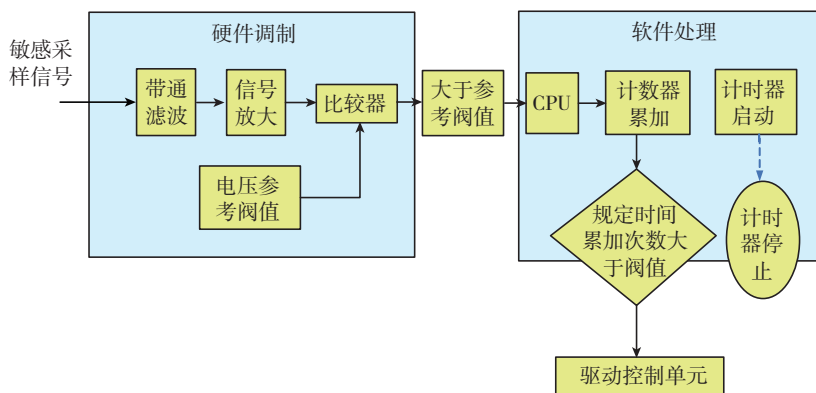


图2 交流故障电弧检测原理

Fig.2 AC arc-fault detection principle

表1 与故障电弧相似情况下的判据排除

相似条件的干扰	排除判据
接触器,开关开合	100ms 内达不到 8 次
外部干扰	硬件滤波即可排除
电源品质的突变	硬件滤波即可排除
周期负载	周期远大于 100ms

以后, FAA 和 EASA 在适航里面加入了电气线路互联系统,并且加强了对于线路电弧的检测。

在飞机的配电系统的应用中,电气负载可分为一般负载、重要负载和关键飞行任务负载。一般负载,多是增加乘客舒适、便携和提供娱乐的负载,失去这些负载对飞行任务及安全性无影响。一般负载中,特别是连接有大功率设备的电路(如厨房和机载娱乐设施),工作时电流大,一旦发生电弧,将产生很大的能量,进而引起线路燃烧。此类电路需要电弧保护,且一旦发生电弧,可以立即切断电路,并且通过通信总线把状态返回到驾驶舱显示面板。

重要负载及一些关键飞行任务负载非常重要,这些负载和飞机起降、飞行的安全性有直接的关系,所以,这些负载将优先确保供电。比如,起落架装置、过燃油箱的一些负载的线缆,此类负载的线路中如果产生电弧,首先将会把电弧故障的告警信号传到驾驶舱,按照当前的情况,由飞行员综合考虑是否切断负载的电源。

飞机上故障电弧发生后危险区域,一般可以归结为:

- (1) 飞行过程中的娱乐系统及厨房设备;
- (2) 货舱和行李舱;
- (3) 燃油箱;

(4) 比较潮湿的区域,比如:起落架装置的线缆、驾驶舱窗口加热器和机翼防冰加热器的线缆;

(5) 一些平常震动较平常的区域,可能由于年代问题而线路老化的区域,如图 4 所示。

一般的负载,采用固态配电后,都可以采用带有电弧检测功能的 SSPC(即电子断路器)进行配电。飞机配电中引入电弧检测保护,将会给飞机带来更高的安全性。

4 结束语

目前,对于故障交流电弧的检测方法,国外已经成熟,并且电弧检测的断路器已经通过适航并且用于民用飞机中。国内,这方面的检测刚刚起步。此方案后续试验中,对于故障电弧还是能很好地进行判断及检测。在故障电弧的检测中,最需要的是要准确,后续将着力于减少误判次数、禁止误判,所以必须在软件中对判据进

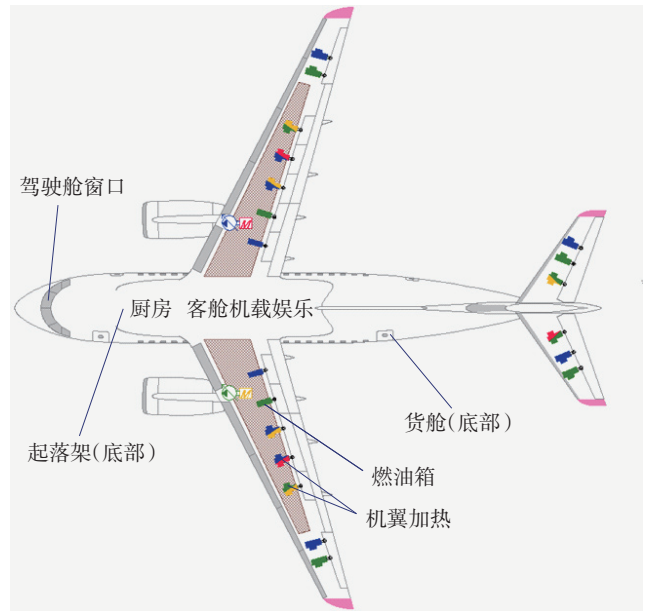


图4 机上特别需要电弧保护的区域
Fig.4 Zones needing arc-fault protection in aircraft

行更加准确的计算,如可以在信号采集调理后进行傅里叶变换等计算,在频域中放大故障数据,再者,增加新的甄别逻辑,从而能更准确地进行检测判断。

参考文献

[1] 石海平. 飞机配电固态功率控制器组研究 [D]. 西安: 西北工业大学, 2010.
 [2] George D G, Kon W, Robert F D. More about arc-fault circuit interrupters. IEEE Transactions on Industry Application, 2004: 1006-1011.
 [3] 吴卓奇. 具有电弧检测功能的直流固态功率控制器的研究 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2008.
 [4] 王莉. 航空交流故障电弧特性的研究. 低压电器, 2011(2): 19-23.
 [5] UL 1699. Arc-fault circuit-interrupters. UL Stand for Safety for Arc-Fault Circuit-Interrupters, 2002:31.

(责编 亿霖)

(上接第 91 页)

[2] King A, Evans A D. The effect of fatigue on residual peening stresses in aerospace components. Materials Science Forum, 2005, 490-491: 340-345.
 [3] Sano Y, Adachi T. Enhancement of surface property by low-energy laser peening without protective coating. Key Engineering Material, 2007, 345-346: 1589-1592.
 [4] 邹世坤, 王健, 王华明. 激光冲击处理对焊接接头力学性能的影响 (I). 焊接学报, 2001, 3: 79-81.
 [5] 邹世坤, 王健, 王华明. 激光冲击处理对焊接接头力学性能的影响 (II). 焊接学报, 2001, 4: 66-68.
 [6] 彭薇薇. 喷丸对不锈钢焊接接头应力腐蚀开裂影响的研究 [D]. 南京: 南京工业大学, 2006.

(责编 志一)