

故障字典技术在机载电源系统故障诊断中的应用

李莉, 于沛, 吴志川, 刘绚
(中航工业西安航空计算技术研究所, 西安 710068)

摘要: 以机载电源系统为背景, 针对发电机控制器(GCU)的功能特点和组成, 建立了GCU的故障诊断字典。利用故障树分析结果和故障诊断字典规范了GCU故障判定的工作模型, 以确定其故障检测点, 降低诊断的复杂性, 提高故障诊断效率。

关键词: 机载电源系统; 发电机控制器; 故障诊断字典; 故障树分析

中图分类号: O213.2; V271.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2015)11-0072-04

Application of Fault Dictionary Technology in Fault Diagnosis of Airborne Power Supply System

LI Li, YU Pei, WU Zhi-chuan, LIU Xuan
(Xi'an Aeronautics Computing Technique Research Institute, AVIC, Xi'an 710068, China)

Abstract: Taking the airborne power supply system as the background, and considering the function characteristics and composition of Generator Control Unit (GCU), we established the fault diagnosis dictionary of GCU. The result of Fault Tree Analysis (FTA) and fault diagnosis dictionary are used to determine the fault diagnosis model, thus can determine the fault detection points, reduce the complexity of diagnosis, and improve the efficiency of fault diagnosis.

Key words: airborne power supply system; Generator Control Unit (GCU); fault diagnosis dictionary; Fault Tree Analysis (FTA)

0 引言

随着现代航空工业的发展和国防对飞机性能需求的不断提高, 大量先进的机载设备不断更新装备到飞机上, 使飞机向多电、全电方向发展。机载电源系统作为飞机重要的功能系统, 故障时会大量机载设备处于断电或应急工作状态, 可能导致控制系统失控, 有时甚至会危及飞行安全。但是系统故障是不可避免的, 如何又快又好地分析判断故障, 对于机载电源系统的维修和保证飞机的飞行安全具有十分重要的意义^[1]。

因此, 从系统理论出发, 结合当前飞机的现状, 采用故障树分析法, 建立飞机电源系统的故障树模型, 再利用故障字典技术实现对机载电源系统的故障诊断, 为空地一体化的飞机健康诊断和维护提供数据和信息的支援。

1 故障字典技术

1.1 故障树与故障字典

故障树是表示故障发生和故障传播的一种逻辑模型, 其建立的基础是故障树分析法。故障树分析法(Fault Tree Analysis, FTA)是一种将系统故障形成的原因由总体至部分按树枝状逐级细化的方法。通过对可能造成故障的硬件、软件、环境或人为等因素进行分析, 表示为系统(或设备)的特定事件(即顶事件)与其各子系统或各部件故障事件(即底事件)之间的逻辑结构, 从而确定系统故障原因各种可能的组合方式及其发生的概率, 并确定合理的故障检测点^[2]。

故障字典其实就是一个数据库, 该数据库将被用来对待检测的系统(或设备)进行故障诊断^[3]。故障字典法诊断故障的基本思想是: 首先提取系统或设备在各种故障状态下的系统特征, 如系统内各部件的工作状态、测试点的状态信息等, 然后将特征与故障一一对应关系列成一个字典。在实际诊断时, 只要获得系统或设备的实际特征, 就可从故障字典中查出此时对应的故障^[4]。

收稿日期: 2015-02-02

修回日期: 2015-03-13

基金项目: 航空基金(2014ZD31006)

作者简介: 李莉(1976—), 女, 陕西西安人, 硕士, 高工, 研究方向为机载计算机技术。

1.2 故障字典技术的工作模型

从上文的表述可知:故障树反映了基本事件——底事件与特定事件——顶事件的关系,而故障字典则反映了故障想象与故障原因之间的经验,将故障树与故障字典相结合进行故障诊断的方法统称为“故障字典技术”。故障字典技术的使用,有利于区分故障的等级、锁定故障的范围和描述故障的影响,以便确定故障的检测点、及时定位故障部件、实现系统的快速恢复^[5]。

利用故障字典技术完成系统故障判定的工作模型如图 1 所示。

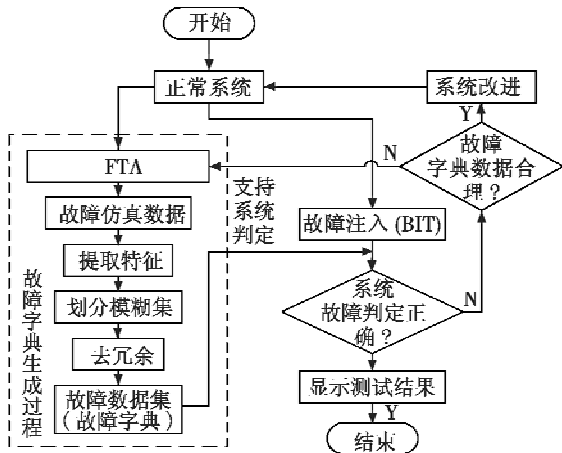


图 1 系统故障判定工作模型

Fig. 1 System fault determinant working model

在图 1 中,可将系统故障判定的过程分为 3 个阶段:第一个阶段是故障字典的建立;第二个阶段是结合故障字典实现系统故障的判别;第三个阶段是对判定结果的逻辑推理。具体步骤如下。

1) 建立故障字典。主要包括系统的 FTA、故障仿真数据收集、提取特征、划分故障模糊集、去冗余、生成故障字典等 6 个步骤。通过 FTA 锁定系统通常遇到的故障行为,即作为系统故障诊断的范围;对已确定的故障现象进行仿真,以获得各类故障现象的原始数据;然后从原始数据中提取故障相应的特征,比如检测点电压、信号幅值等,实际系统由于各种因素的影响,系统响应会与仿真的响应值有一定的偏差,所以通过仿真获取的相应系统特征并不能直接使用,需要给这些特征一个容差范围,对这些特征进行模糊化处理并划分模糊集,然后对多余的数据进行去冗余处理,最终生成故障字典。

2) 系统故障判别。以故障字典为依据,结合系统 BIT 的信息,对当前系统的工作状态进行分析,以确定系统的故障原因,并显示和上报判定结果。

3) 判定结果逻辑推理。若系统故障的原因与故障字典一致并符合实际,则进入系统维修的流程;否则,需对故障字典的正确性、合理性进行校核,或重新

进行系统故障分析,或开展系统改进工作,直至获得正确的故障原因为止^[6-7]。

2 故障字典技术在机载电源系统故障诊断中的应用

2.1 机载电源系统的故障树分析

目前,在高空、高速和大型飞机上,普遍装备的是 200/115 V、三相、400 Hz 恒速恒频 (CSCF) 交流电源系统。如图 2 所示,该系统由组合传动发电机 (IDG)、交流发电机控制器 (GCU)、主线路接触器 (MIL)、线路电流互感器 (CTA) 和发电机控制开关 (GCS) 等部件组成。

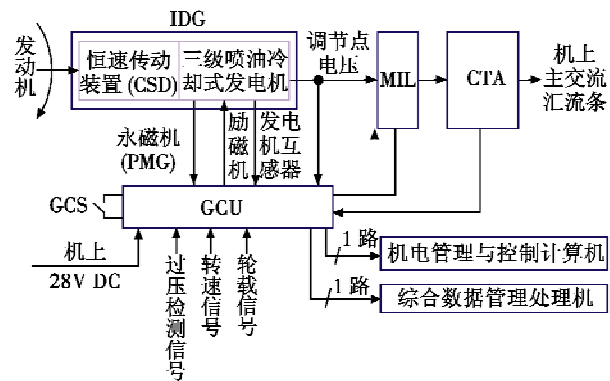


图 2 飞机主交流电源系统组成

Fig. 2 Aircraft AC power supply system

该交流电源系统的工作状态有正常和故障 2 种。根据系统的结构和特点,将“飞机电源系统故障”作为顶事件,各部件的失效或故障称为底事件,如图 3 所示。

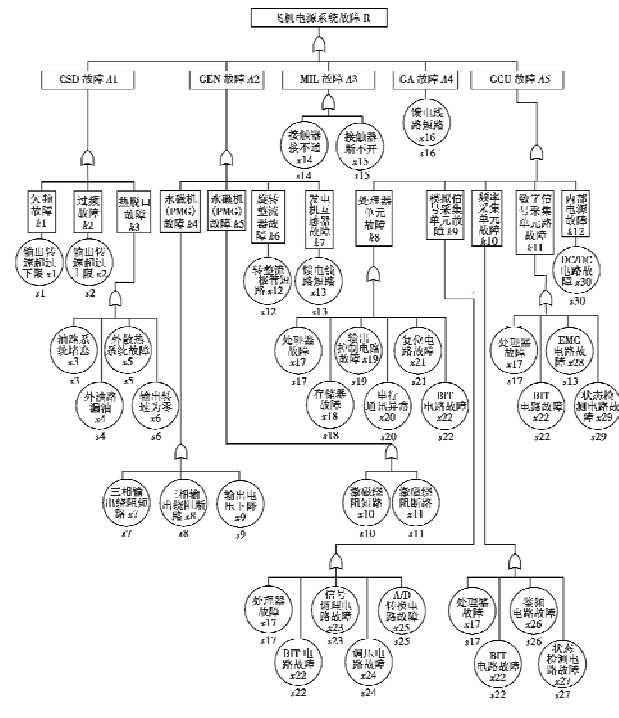


图 3 机载电源系统的故障树

Fig. 3 Airborne power supply system fault tree

2.2 机载电源系统故障字典的建立

机载电源系统的故障字典实际上应该称为一个故障数据集,它是根据系统 FTA 分析的结果将故障数据集按层级进行了数据的划分。以机载电源系统中的 GCU 为例,对故障字典的建立过程进行说明。

根据图 3 中“GCU 故障”部分的 FTA 分析结果,参考图 1 中故障字典的建立过程,可得到中间事件 k_i 与底事件 x_i 之间的关系,即

$$\begin{cases} k8 = x17 + x18 + x19 + x20 + x21 + x22 \\ k9 = x17 + x22 + x23 + x24 + x25 \\ k10 = x17 + x22 + x26 + x27 \\ k11 = x17 + x22 + x28 + x29 \\ k12 = x30 \end{cases} \quad (1)$$

假设只能发生单次故障,而且发生某种故障的产品对应一个模式,将式(1)中的初始事件 x_i 用相应的模式类 s_i 替代,于是可得

$$\begin{cases} k8 = s17 + s18 + s19 + s20 + s21 + s22 \\ k9 = s17 + s22 + s23 + s24 + s25 \\ k10 = s17 + s22 + s26 + s27 \\ k11 = s17 + s22 + s28 + s29 \\ k12 = s30 \end{cases} \quad (2)$$

对被测产品 GCU 进行故障诊断,就要从可测量的特征 $m_1 \sim m_5$ 来判别故障的原因,故应把模式类 s_i 表示成 $m_1 \sim m_5$ 函数,即求式(2)的逆。其实,并不需要做求逆运算,直接利用式(2)就可得到与之相对应的故障字典,如表 1 所示。

表 1 故障字典
Table 1 Fault dictionary

模式	特 征				
	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
$s1 \sim s16$	—	—	—	—	—
$s17$	1	1	1	1	0
$s18$	1	0	0	0	0
$s19$	1	0	0	0	0
$s20$	1	0	0	0	0
$s21$	1	0	0	0	0
$s22$	1	1	1	1	0
$s23$	0	1	0	0	0
$s24$	0	1	0	0	0
$s25$	0	1	0	0	0
$s26$	0	0	1	0	0
$s27$	0	0	1	0	0
$s28$	0	0	0	1	0
$s29$	0	0	0	1	0
$s30$	0	0	0	0	1

表中的每一行,相当于 GCU 处于某种状态 s_i 时,特征 $m_1 \sim m_5$ 的值,即当 s_i 为 1,而 s_l 为 0 ($l=1,2,\dots,n, l \neq i$) 时,根据式(2)求得 $m_1 \sim m_5$ 的值。第 i 行第 j 列的元素为 0,表示 GCU 出现第 i 个故障时,对第 j 个

特征没有影响,第 j 个特征参数的数值仍在正常范围内;反之,第 i 行第 j 列的元素为 1,表示 GCU 出现第 i 个故障时,对第 j 个特征有影响,第 j 个特征参数超出了正常范围。

3 机载电源系统故障判定实例

仍以 GCU 为例,说明系统利用故障字典技术实现故障判定的过程。GCU 作为机载电源系统的核心部件,由电压调节器和控制保护装置组成,完成对飞机主交流电源系统的电压调节、电路控制、输入和输出信号保护,以及对飞机主交流电源系统的检测和诊断等功能,并将故障部件的信息通过综合数据管理处理机 (IDMP) 进行监控和记录,可供飞行员和维护人员查看和使用。

在机载交流电源系统中,过压故障对用电负载和电源系统本身的危害最大,因此在 GCU 中对过压故障的处理采用软、硬件双重保护的方案,两套电路同时工作,以确保过压故障处理的可靠性。若 IDMP 上出现“调节点电压过压”,GCU 会输出励磁机的控制信号对调节点的电压进行控制,若超出了励磁机的调节范围,则 GCU 会发出断开 MIL 的命令,则机载电源系统会处于断电状态。硬件调节点电压 (POR) 过压保护及 BIT 激励控制电路如图 4 所示,主要包括:半桥整流电路、缓冲器、反延时保护、隔离驱动器,以及 BIT 激励控制电路。

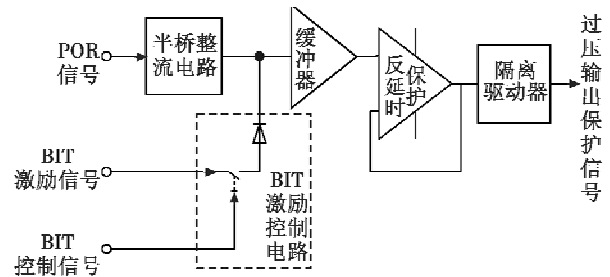


图 4 调节点电压过压保护及 BIT 激励控制电路

Fig. 4 POR overvoltage safeguard and BIT circuit

在图 4 中,利用运算放大器构成积分电路以实现 POR 的反延时保护功能。当 POR 的电压值在调压范围内,则反延时保护电路的反向端电压值低于同向端,其输出为高电平;若 POR 处的电压值超过过压保护点电压时,反延时保护电路的反向端电压值高于同向端,则输出为低电平,该低电平将直接作用于后级保护控制继电器。

其故障诊断的步骤如下。

1) 调节点电压属模拟信号,利用故障字典技术(即故障树和故障字典法相结合的模式)进行分析和判断,先假定故障不是由系统其他局部故障引起的,仅是 GCU 内部的信号调理电路或调压电路故障引起的。

2) 首先断开外部信号源,通过 BIT 激励的注入和电路的输出结果来区分到底是信号输入的调理电路故障还是信号输出的调压电路故障。

3) 经诊断,故障为输入信号的调理电路出现了问题。连接前级输入信号、断开后级受控对象,对信号调理电路进行测试,直到故障确定为止。

4) 如调理电路一切正常,则根据系统内部其他设备与 GCU 的交联关系,根据信号的走向逐一排查,直至系统故障排除。

4 结束语

同以往的探笔诊断相比,故障字典技术诊断速度快、工作量小,能够准确区分全局故障和局部故障,缩小了故障范围。在机载电源系统中使用故障字典技术,有效地降低了系统故障分析和定位的难度,便于确定可能的故障检测点,使系统故障诊断变得简单和易于实现,在提高机载电源系统故障综合诊断能力的同时,为支持空地一体化的系统外场故障快速定位和隔离提供了数据保障,对于目前高可靠和易保障机载系统故障诊断和维护具有重要意义。

参考文献

- [1] 冯培德. 发展中国大型飞机机载设备的思考[J]. 航空学报,2008,29(3):681-685. (FENG P D. Ideas for developing airborne equipments of China's large aircraft[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2008, 29(3):681-685.)
- [2] 中国人民解放军总装备部. GJB/Z 768A-1998 故障树

分析指南[S]. 北京:总装备部军标出版发行部,1998. (General Armament Department of PLA. GJB/Z 768A-1998 Guide to fault tree analysis [S]. Beijing: Military Standardd Publication Dep of GAD, 1998.)

- [3] 宋斌,方葛丰. 数字测试中的故障字典技术[J]. 电子测量与仪器学报,2004(s1):935-939. (SONG B, FANG G F. Application of fault dictionary technology in digital test [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2004(s1):935-939.)
- [4] 刘伯鸿. 故障树与故障字典法结合的计算机连锁系统故障诊断[J]. 铁道通信信号,2008(12):14-16. (LIU B H. Fault diagnosis of computer interlocking system based on fault tree and fault dictionary method[J]. Railway Signalling & Communication, 2008(12):14-16.)
- [5] 曲博. 基于故障字典法的模拟电路故障诊断系统的研究[D]. 武汉:华中科技大学,2009. (QU B. Study on analog circuit diagnosis system based on fault dictionary[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2009.)
- [6] 石山. 飞机机电 BIT 技术[M]. 北京:国防工业出版社,2010:14-63. (SHI S. Electromechanical BIT technology for aircraft[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2010:14-63.)
- [7] 周东华,叶银忠. 现代故障诊断与容错控制[M]. 北京:清华大学出版社,2000:46-190. (ZHOU D H, YE Y Z. Modern fault diagnosis and fault tolerant control[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2000:46-190.)

(上接第 51 页)

- targets image [J]. Journal of PLA University of Science and Technology, 2011, 12(6):588-592.)
- [4] 吴伟,周金鹏,王省书,等. 云层背景目标识别的匹配滤波器设计[J]. 强激光与粒子束,2010,22(1):53-57. (WU W, ZHOU J P, WANG X S, et al. Design of matched filter for target recognition in cloud background[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2010, 22(1):53-57.)
- [5] 李欣. 复杂背景下红外弱小目标检测算法研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2010. (LI X. Research on infrared dim target detection under complex background[D].

Xi'an: Xidian University, 2010.)

- [6] 温航宇. 基于马尔科夫随机场的图像分割算法及其在变化检测中的应用研究[D]. 南京:南京理工大学,2013. (WEN H Y. The image segmentation algorithm based on Markov random field and it's application research on change detection[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2013.)
- [7] 胡阳涟. 基于马尔科夫随机场的图像分割研究[D]. 西安:西安理工大学,2008. (HU Y L. Study on image segmentation based on Markov random field[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2008.)

欢迎投稿 网址: <http://www.dgykz.com>