

电路板维修测试与诊断技术综述

Maintenance, Testing and Diagnosis Technology of Circuit Board

北京航天测控技术开发公司 史慧



史慧

北京航天测控技术开发公司副总工程师, 研究员。主要从事综合测试与故障诊断方面的研究, “九五”以来承担了多项电路板级测试与诊断、系统级专家系统等相关的预先研究课题。

根据板级电路的类型可将故障诊断分为 2 类: 数字系统的故障诊断和模拟系统的故障诊断。数字系统故障诊断的基本思想是在输入端加载激励信号, 在输出端得到响应, 根据激励和响应的组合关系以及电路的拓扑关系确定故障点。其关键是测试向量的生成, 即在输入端加载什么样的激励信号, 才能使电路内部的故障点反应出来。模拟系统由于模

拟信号量是连续的, 任何一个元件的参数超过其容差时就属故障, 因此模拟电路的故障状态是无限的。在实际应用中, 大多数电路是模数混合系统。

自从 60 年代美国开始系统地开展故障诊断技术的研究以来, 这一技术在世界各国正越来越受到重视。随着系统可靠性、维修性理论和技术的发展, 故障诊断已发展成为一门边缘学科, 它涉及系统论、控制论、信息论、检测与估计理论、计算机科学等多方面的内容。

自从 60 年代美国开始系统地开展故障诊断技术的研究以来, 这一技术在世界各国正越来越受到重视。随着系统可靠性、维修性理论和技术的发展, 故障诊断已发展成为一门边缘学科, 它涉及系统论、控制论、信息论、检测与估计理论、计算机科学等多方面的内容。

数字系统故障诊断技术

目前, 获取数字系统测试集的方法主要有非确定性测试生成算法和确定性测试生成算法 2 种。非确定性生成算法是指人工测试生成, 由测试人员根据对被测系统功能的了解, 结合实际测试经验, 产生检测被测系统故障的测试集。其中包括随机测试生成, 即用软件方法产生伪随机数, 通过故障仿真对伪随机码进行

筛选, 以产生故障覆盖率较高的测试集。确定性测试生成采用测试生成算法自动推导数字电路的测试矢量。D 算法和布尔差分法是广泛使用的确定性算法, 经过多年的使用和改进, 已被分别发展为九值算法和主通路敏化法。

布尔差分法通过处理电路方程来生成测试。对多固定型故障, 可采用多阶布尔差分法求解。至于用更高阶布尔差分来对更多重故障进行测试, 可由二阶布尔差分推广得出。布尔差分法结构严谨, 有很高的理论研究价值。但是将其用于大型电路时, 占用内存空间较大, 速度较慢。主通路敏化法从布尔差分法发展而来, 吸收了布尔差分法和 D 算法的优点, 计算速度较快, 适合于以功能块为基本单元的组合电路和时序电路。

其他测试方法大多以 D 算法和布尔差分法为基础发展而来。PODEM 算法以 D 算法为基础, 将 D 算法和求解 NP 问题常用的分支界

限法相结合,减少回溯次数,避免了许多盲目的测试。

FAN 算法是在 PODEM 算法的基础上产生的,FAN 算法将 PODEM 算法沿单路径反向跟踪,扩展为多路径进行反向跟踪,缩短了回溯之间的处理时间,其速度比 PODEM 算法要快。

模拟电路故障诊断技术

模拟电路故障诊断依据电路仿真在实际测试前后,分为测前模拟诊断和测后模拟诊断,模拟诊断的主要计算工作集中在对电路的仿真。以人工智能新理论的出现为界线,可分为常规的诊断方法与现代模拟电路故障诊断 2 类。

1 常规的诊断方法

常规方法主要包括:故障字典法、元件参数辨识法和故障验证法。其中元件参数辨识法和故障验证法属于测后模拟诊断法。元件参数辨识法要求提供较多的诊断信息,总的计算量非常大。故障验证法在获取“不完整”的有限故障信息的基础上作诊断,实施比较方便。根据预测故障的范围,可分为 K 故障诊断法、故障界定位法和网络撕裂法等。

测前模拟诊断的典型方法是故障字典法,它是目前模拟电路故障诊断中最具实用价值的方法。根据激励源的性质和所取故障特征的差异,故障字典法可分为直流故障字典和交流(频域)故障字典。

2 现代模拟电路故障诊断

神经网络故障字典法把模拟电路的故障诊断看成是一个分类问题,利用神经网络的分类功能来诊断故障。在测前把神经网络训练成一部故障字典,字典的信息蕴含在网络的连接权值,只要输入电路的测量特征,就可以从其输出查出故障。目前神经网络故障字典法中用到的神经网络主要有 SOM (Self-Organizing Feature Map) 和 BP 两种。SOM

网络适用于交流电路,能更有效地克服容差因素对故障定位的影响。

智能计算在神经网络故障字典法中有着很好的应用前景,如采用遗传算法对 BP 神经网络的结构(隐层结点数)和具体参数进行优选,避免靠经验确定这些参数的弊端,保证得到用于故障诊断的最优神经网络;将小波分解和主元分析等方法应用于数据预处理技术和训练样本集的筛选过程中,可改善训练速度和诊断精度。模糊集理论与神经网络相结合而形成的模糊神经网络充分吸收各自的优点,更加符合实际电路模型,可提高故障诊断的对判几率。

专家系统在模拟电路故障诊断中的典型应用是基于产生式规则的系统,其基本的工作原理是:首先把

网络结合起来使用。

混合电路故障诊断技术

(1) 离散事件系统(DES)。

数模混合电路一般运用离散事件系统 DES (Discrete Event System) 进行诊断。应用 DES 理论进行数模混合电路的故障诊断时,可以对电路系统的可测试性进行判断,在测试要求给定时,可以求取电路的最小测试集和电路测试的故障覆盖率。

这一方法的优点在于将数字/模拟信号的测试统一在同一个数学模型下,不必因为电路中信号模型的不同而将被测电路按信号类型分开处理,尤其是当数字和模拟部分相互融合不能分块时,在统一的框架下进



电子设备电路板维修测试与诊断系统

专家知识及其诊断经验用规则表示出来,形成故障诊断专家的知识库,进而根据报警信息对知识库进行推理,诊断出故障元件。其主要问题是知识的获取的瓶颈问题、知识难以维护以及不能有效解决故障诊断中许多不确定因素等。一般应用中均将其与本身具有信息处理特点的神经

行计算、判断和处理就显得更加重要。

(2) 粗糙集理论。

粗糙集理论是一种处理不完整性和不确定性问题的新型数学工具,不需提供问题所需处理的数据集合之外的任何先验信息,因此对问题的不确定描述和处理比较客观。将粗

糙集理论应用于故障诊断研究领域,为在不完备征兆信息下的故障诊断提供了新思路。

(3) 信息融合故障诊断方法。

多传感器信息融合技术利用独特的多维信息处理方式,为解决复杂系统故障诊断的不确定性问题提供了一条新的途径。特别适合解决模拟电路故障诊断中常规的网络撕裂法面临电路前后元器件相互影响以至不能测准元器件的故障以及由于容差、非线性及元件参数相互影响而出现的诊断不确定性问题。主要的信息融合故障诊断方法有: Bayes 概率推导法、模糊信息融合法、D-S (Dempster-Shafer) 证据推理法及神经网络信息融合法。

板级电路故障诊断 技术发展趋势

板级电路的故障诊断是目前比较活跃的科研领域,它对于保证电子系统工作的可靠性、长期稳定性具有十分重要的意义。目前,板级电路故障诊断技术的发展有以下几个重要方向:

(1) 以网络为基础的并行与分布式仿真技术是研究大规模复杂系统的有效方法,近年来已成为故障仿真研究中的热点问题。如基于分支的仿真运行方法,各个分支共享决策点之前的计算量,避免或减少了仿真中的重复计算,增加仿真的并行度,提高了仿真的执行效率和速度。电路仿真方程的求解容易出现不收敛或收敛于局部最优的情况,由于蚁群算法具有正反馈、分布式计算、易于与某种启发式算法相结合的特点,引入蚁群算法求解可以减少计算时间,发现最优解。

(2) 针对大型数模混合电路的故障诊断还是一个新的研究方向。随着电子技术的迅猛发展,电路系统的复杂度急剧增加,目前约有 60% 的芯片同时含有数字和模拟 2 种信

号,因此,研究新型的数模电路测试信息处理技术和故障诊断方法,引入新的诊断模型,提高数模混合电路故障诊断的精度,提高诊断模型的自动化程度,已成为板级电路故障诊断领域一个非常重要的课题。

尽管对于板级电路故障诊断在理论研究方面还有很长的路要走,但目前市场上已经出现了很多诊断板级电路故障的测试仪器,这些仪器系统大都综合运用了故障字典、参数判别、D 算法、DES 理论、模糊理论、神经网络等技术,如北京航天测控技术开发公司的 HTEDS8000、科奇仪器公司的 TCT3000VXI 等产品。



北京航天测控技术开发公司开发的
HTEDS8000 电路板维修测试与诊断系统

(3) 目前,在板级电路故障诊断时,施加或获取信号的主要方法是使用针床或人工使用探针,探测电路内部节点的电信号,然后根据这些信息进行故障定位。随着电路板逐渐向小型化、密集化、多层化的方向发展,接触式诊断的弱点越发明显,对电路板的非介入式诊断技术的研究受到了高度重视。

红外热像诊断利用红外热像仪测得的电路板表面温度信息来进行故障诊断,是典型的非接触式诊断技术之一。其基本思想为:红外热像仪通过检测器件的红外辐射,间接获取电路板的热模式。当电路板上 1

个或几个元件发生故障时,会导致电路板热模式的变化。红外热像诊断仪即可根据被测电路板热模式和已知正常状态下电路板的热模式之间的差异来对电路板故障状态做出诊断。但是由于存在电路板表面辐射率差异、测试环境影响等因素,易导致采集到的特征向量出现变形的现象。复杂电路板元件数量多,最终构成的特征向量十分庞大,也对后续的分类、定位等产生一系列问题。因此如何对特征向量进行提取与选择,如何降低其维数,将成为今后的研究方向。

此外,噪声也是导致大多数电子器件失效的各种潜在缺陷的敏感反映。利用噪声检测技术进行故障诊断,具有灵敏、快速和非破坏性的优点,但由于准确率和噪声来源多样化造成的精确度差的问题还有待进一步深入地研究。另外,将磁场映像技术应用到故障诊断中,即根据电路板附近磁场分布变化对电路板进行故障诊断的技术(称为基于磁场映像的 PCB 故障诊断技术)也将是非接触式测试诊断技术的发展方向之一。

(4) 神经网络技术已广泛用于板级电路故障诊断。一个值得重视的现象是将神经网络与专家系统、模糊控制、遗传算法、小波分析、经验模式分解等技术相结合应用于电路板的故障诊断研究。如模糊神经网络用于板级电路的故障诊断,经验模式分解方法和神经网络理论结合,以经验模式分解为预处理器提取特征参数作为神经网络训练数据,可提高故障识别率。小波分析与神经网络结合形成“小波神经网络”或“小波网络”,小波神经网络由于把神经网络的自学习特性和小波的局部特性结合起来,具有自适应分辨性和良好的容错性,将其应用于板级电路故障诊断是一个很有前途的研究方向。

(责编 魏凉)