

DOI:10.19651/j.cnki.emt.1802299

# 基于测试系统的测试向量工具设计研究\*

赵霞 高剑 李杰

(北京自动测试技术研究所 集成电路测试技术北京市重点实验室 北京 100088)

**摘要:** 测试向量工具作为集成电路测试系统软件的重要组成部分,其性能直接影响整个自动测试系统的工作效率。通过分析确定了测试向量工具的功能结构,研究了开发测试向量工具的关键技术,并重点对比了使用 Table 和 ReportX 控件设计向量工具的方法。经过分析,利用 ReportX 组件完成了测试向量工具的开发,并将其嵌入到国产测试系统 BC3192。最后在实际环境中进行了测试,并验证了测试向量工具的良好性能。通过对 ActiveX Control 技术的应用,可以使虚拟仪器开发变得更为完善和强大。

**关键词:** 测试向量工具; 测试向量; LabWindows/CVI; 表格; Table; ActiveX

中图分类号: TN302 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 510.30

## The research of pattern tools design based on test system

Zhao Xia Gao Jian Li Jie

(Beijing Key Laboratory of Integrated Circuit Testing Technology, Beijing Institute of Automatic Test Technology, Beijing 100088, China)

**Abstract:** Pattern tools as an important part of the software of integrated circuits(IC) test system. Its performance has direct influence on efficiency of automatic test system (ATS). Defined the function structure of pattern tools by analyzing. The key technique for developing pattern tools was researched, and focused on the contrast between the Table Control and the ReportX Control to design pattern tools. After analysis, pattern tools are accomplished through ReportX Control, and embedded in the domestic BC3192 ATE. Finally, in a real environment pattern tools in performance was validated though testing. Flexible application of ActiveX Control technology makes virtual instrument development more complete and powerful.

**Keywords:** pattern tools; test vector; LabWindows/CVI; form; Table; ActiveX

## 0 引言

随着SOC技术的快速发展,多个IP核被集成到同一颗芯片中,使得芯片结构日益复杂,一颗芯片测试码中需要完成多个模块的功能测试,从而导致了测试向量深度不断增加。许多芯片测试要求的向量深度已经超过几十兆,有些甚至达到上百兆<sup>[1]</sup>。同时,由于芯片管脚数量的增多,芯片功能也随之增多,造成芯片测试所需的测试向量深度和宽度也明显增大<sup>[2]</sup>。

大部分测试是通过输入一组激励信号,验证响应信号是否与预测的输出一致来完成的,也有直接使用IC设计阶段的功能验证测试向量进行转换来实现的<sup>[3]</sup>。不论测试向量是手动生成,还是利用IC设计阶段的测试向量进行转换自动生成,都会因芯片集成度和复杂度的提高,导致测试向

量庞大<sup>[4]</sup>。

测试向量的不断增加,对自动测试设备的硬件和软件要求越来越高。测试人员在开发、调试测试程序的过程中,需要对测试向量进行反复地修改、加载、格式转换、语法检查、数据提取和存储等操作,这就要求测试系统提供高效的测试向量开发工具,从而实现快速、准确地将用户的测试向量描述转换为测试机能够识别的数据。因此,测试向量工具(pattern tools)作为用户测试程序开发的重要工具,其性能的好坏直接决定了开发的效率和整个自动测试系统软件的性能,特别是对具备较大测试向量的程序更是如此<sup>[5]</sup>。

目前自动测试系统的测试向量工具大多利用开发工具自带的列表控件进行测试向量工具的设计,如采用Microsoft Visual Studio 2008 中的 DataTable 控件来进行测试向量界面设计<sup>[6]</sup>;在 Visual C++ 6.0 开发环境中利

用 MFC 中的列表控件进行测试向量的编辑和显示<sup>[7]</sup>等。一方面这种用开发环境自带的列表控件受所提供接口的限制,无法方便地实现测试向量处理需要的诸多功能,且效率也受控件自身效率的影响。另一方面,VB、VC 等软件虽然都可用来开发可视化的测试软件,但其专业性不强<sup>[8]</sup>,现阶段,基于 LabWindows/CVI 环境开发自动测试环境、数据采集系统等应用软件已非常普遍<sup>[9]</sup>,因此本文采用基于 LabWindows/CVI 开发环境研究测试向量工具的设计。首先介绍测试向量工具的基本功能结构;其次,介绍对比了测试向量工具关键技术的实现方法;最后,兼顾效率和功能,选择了基于 ReportX 控件来实现测试向量工具的设计,并在国产测试系统 BC3192 进行了验证,结果表明,该测试向量工具不仅功能丰富,而且效率高。

## 1 测试向量工具的设计

### 1.1 测试向量的结构分析

测试向量文件包含被测器件运行一系列功能的真值表,包括必须施加到被测器件输入端的逻辑状态和期望在输出端出现的逻辑状态。向量文件还可能包含测试系统的一些运作指令。如时序信息等,因为时序或者波形格式等可能需要在周期之间实时切换。输入驱动器可能需要被打开或者关闭,输出比较器也可能需要选择性地在周期之间开关。还支持像跳转,循环,向量重复,子程序等微操作指令<sup>[10-11]</sup>。

虽然不同测试设备厂商所支持的测试向量格式会有所不同,但其测试向量包含的信息基本相同,一般测试向量的文件结构包含外部引用信息(一般为本文件中使用到的时序信息)、测试向量表头信息(为向量数据部分提供一个映射),以及真正有效的向量数据行。一般测试向量文件的结构如图 1 所示。

```
外部引用信息行;
测试向量表头信息
{
    向量数据行;
    向量数据行;
    ...
    向量数据行;
}
```

图 1 测试向量文件的结构

一条有效的向量数据行必须包含向量数据开始符、向量数据结束符以及之间的向量数据,而 label、操作指令均可以缺省,操作指令在缺省情况下为 INC。如图 2 所示为一条向量所可能包含的全部信息。

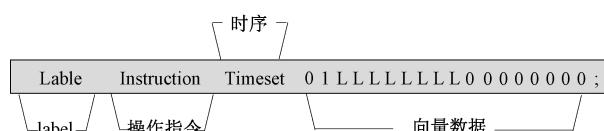


图 2 一条向量的完整信息示意图

### 1.2 测试向量工具的功能分析

目前,随着芯片集成度和复杂度的提高,测试向量开发工具已不是单纯的编辑测试向量的工具,一个完善的测试向量工具需要成为一个集格式转换、编辑、显示、调试、编译和存储测试向量的中心平台。

测试向量工具应必须实现一些基本的功能:1)显示测试向量数据的功能,包括测试向量文本显示和测试向量波形图显示,测试向量波形图采用图形化的显示方式,更直观地显示测试向量数据的波动情况,能够在调试过程中给予直观地描述。2)测试向量的编辑功能,对于编辑功能,要提供与用户交互的接口,方便用户输入一些相对固定的信息。3)存取数据功能。

除了实现上述基本功能外,还需要提供不同格式、不同数据之间的转换,以满足测试机的格式要求,提高测试机的兼容性;为节省测试开发时间,防止因测试向量描述性错误导致测试失败,在保存测试向量之前,可以先进行测试向量语法检查;还需要提供编译测试向量和测试结果显示等功能接口。具体测试向量工具功能结构如图 3 所示。

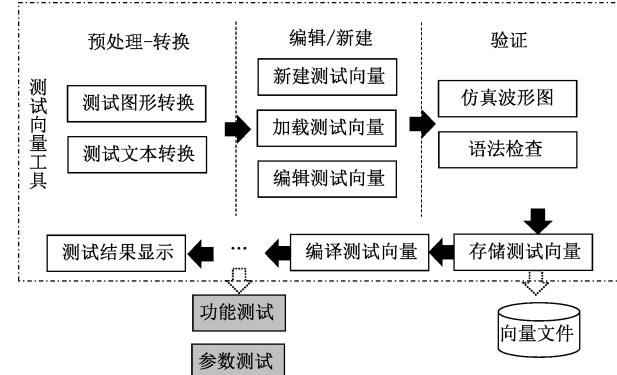


图 3 测试向量工具功能结构

## 2 测试向量工具设计中的关键技术

无论是实现显示数据、编辑数据、存储数据等基本功能,还是语法检查、测试结果显示等功能的实现,采取表格均是最理想的选择。表格设计是开发测试向量工具的关键技术,其是所有功能得以良好实现的基础。本节将介绍在 LabWindows/CVI 环境中,表格设计的方法。

### 2.1 基于 LabWindows/CVI 表格设计方法介绍

在 LabWindows/CVI 平台下,有两种常用的设计表格的方法,接下来将介绍并对比这两种方法,最终根据应用需求选择了一种表格设计方法。

#### 2.1.1 Table 控件

Table 控件是 LabWindows/CVI 平台提供的一个用于输入和显示的表格控件<sup>[12]</sup>,支持插入、删除等简单的行列操作,其支持数值、文本、图片、下拉列表和按钮等类型单元格,支持单元格属性设置、单元格值的获取与设置等简单单元格操作,且提供了一些事件响应,供用户操作 Table 控件。

Table 控件作为 LabWindows/CVI 平台下的普通控件, 使用 Table 控件生成表格操作便捷, 只需要在 LabWindows/CVI 用户界面面板上直接调用 Table 控件, 即可生成一个表格。

总之, 使用 Table 控件设计表格, 操作相对简单, 但其缺点是提供的接口比较简单, 对单元格的合并和拆分等复杂操作实现困难。

### 2.1.2 ReportX 组件

ReportX 是一个网络报表组件(OCX), 可用于各种开发工具中进行二次开发, 支持输入输出 RPXE 专用文件、XML 文本、Excel 文件、PDF 文件、Base64 文本、HTML 文件、TEXT 文件, 支持报表打印预览、打印设置、打印, 支持各种行列操作, 支持文本、下拉列表、按钮、复选、单选、日期、时间、链接、图片、条码、富文本、图表类型单元格及各种单元格操作, 支持图表目标操作, 支持树状列表显示, 支持公式(包括各种统计函数), 支持 VBScript、JavaScript 脚本, 支持直接读取数据库形成报表。ReportX 组件除脚本功能需要微软 MsScript.ocx 支持外, 其他功能(包括公式)均由组件自身代码实现。

ReportX 组件本质上是 ActiveX 组件, 在 LabWindows/CVI 环境中使用 ReportX 组件设计表格, 实际上就是利用 ActiveX Control 技术, 在 LabWindows/CVI 面板上嵌入 ReportX 组件。具体使用方法如下:

- 1) 注册 ReportX 控件。
- 2) 在用户界面面板生成 ReportX 表格。

在 LabWindows/CVI 用户界面面板选择 ActiveX 菜单项, 弹出 Select ActiveX Object 对话框, 选择 ReportX Control 项, 即可生成 ReportX 表格。

- 3) 生成 FP 文件和相关驱动。

在 ReportX 表格上选择 Generate ActiveX Control Driver 项, 产生 FP 文件和相关驱动代码, 即完成了使用 ReportX 组件生成表格<sup>[13]</sup>。生成 FP 文件和相关驱动后的目录, 如图 4 所示。

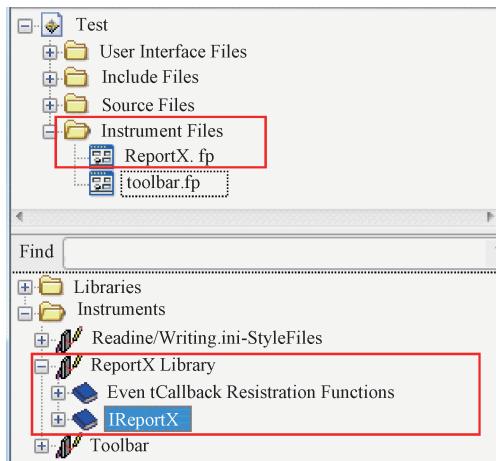


图 4 生成 FP 文件和相关驱动后的目录

使用 ReportX 组件设计的表格, 功能强大, 对其调用和操作类似于 LabWindows/CVI 的其他普通控件, 容易使用和控制, 应用中仅需要在使用之前在计算机中注册组件, 并生成 FP 文件和相关驱动<sup>[7]</sup>, 或者直接将已经存在的.fp 驱动文件加载到工程中<sup>[14]</sup>。

综上所述, 使用 Table 和 ReportX 控件设计表格, 均能实现人机交互, 且调用和操作均比较便捷。但从提供的事件回调函数和接口函数来说, ReportX 控件提供的接口远远多于 Table 控件提供的, 因此 ReportX 组件设计的表格功能较强大。

表格控件作为输入显示数据的重要控件, 其加载和保存数据的效率尤其重要, 直接决定测试向量工具性能是否高效<sup>[15]</sup>, 进而影响到测试开发的进程。因此, 下面重点介绍使用 Table 控件和 ReportX 组件设计向量表格, 其加载和保存数据的效率为最终确定测试向量工具的设计手段提供依据。

## 2.2 效率对比

下文以测试向量为例, 检验采用 Table 和 ReportX 设计表格方法的效率。

### 1) 加载效率对比

在 2.1 中介绍了测试向量的构成, 将此结构的向量文件加载到 Table 控件或者 ReportX 控件, 首先从向量文件的开头开始扫描, 直到遇到测试向量表头信息行, 并且根据测试向量表头信息进行初始化表格的列标题, 并判断当前行有无“{”, 如果没有, 继续读取向量文件, 直到找到“{”, 则开始将向量数据行的各个字段写入到表格对应的列中, 直到遇到“}”, 加载数据完成。加载数据的程序流程如图 5 所示。

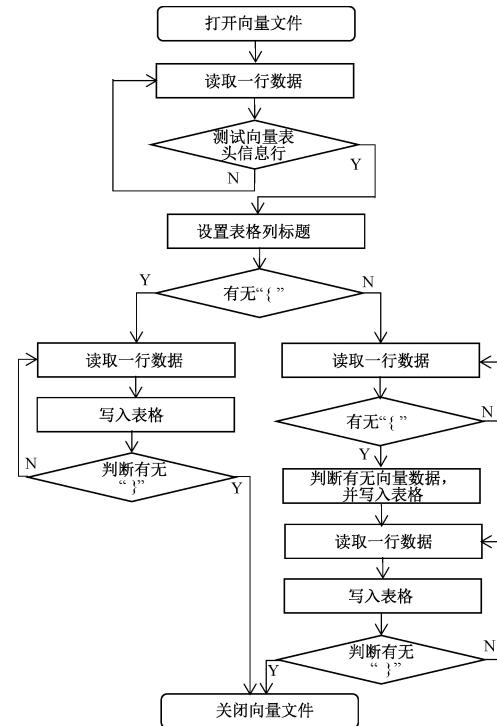


图 5 加载数据的程序流程

在将向量文件导入 Table 控件时, 使用了效率最好的 SetTableCellAttribute() 函数设置单元格的值。为了提高导入的效率, 最根本的就是减少表格更新的次数, 首先需要将 Table 控件隐藏, 在将全部数据导入后, 再显示 Table 控件。其次是选择合适的设置单元格值的函数。有两个函数均能设置单个单元格的值, 一个是 SetTableCellVal(), 一个是调用 SetTableCellAttribute(), 但因二者行为上的一些差异, 后者较前者设置单元格的效率更快; 还有另一个函数 SetTableCellRangeVals() 能够批量设置单元格的值, 如果设置同样大小范围的单元格, SetTableCellRangeVals() 与 SetTableCellVal() 相比, 减少了 Table 控件更新的次数, 导致 SetTableCellRangeVals() 效率更高; 于是, 特意比较了函数 SetTableCellRangeVals() 与函数 SetTableCellAttribute() 的效率, 结果表明 SetTableCellAttribute() 效率更高。最终在导入时选择 SetTableCellAttribute() 函数。

而在使用 ReportX 控件导入向量时, 也有两个函数可以设置单元格的值, 分别为 ImportText() 和 SetCellValue(), ImportText() 函数较 SetCellValue() 函数额外多了一个对导入文本根据分隔符预处理的功能, 需要多传一个参数, 而对向量文件的导入, 并不需要此功能, 因此考虑到效率问题, 选择使用 SetCellValue() 函数设置单元格的值。

为了验证 Table 控件或者 ReportX 控件加载文件的效率, 选取了管脚个数为 25 个, 向量行数分别为 5 000 行、1 万行、1.5 万行、2 万行、2.5 万行、3 万行、3.5 万行、4 万行、4.5 万行以及 5 万行的数据进行测试。对不同的数据重复测试 10 次。求取平均值作为不同规模的数据加载的效率, 测试结果对比如图 6 所示。

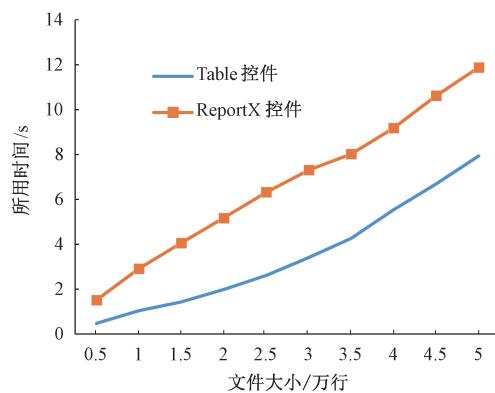


图 6 Table 控件和 ReportX 控件加载效率对比图

从图 6 中 Table 控件和 ReportX 控件加载效率对比可以看出, 不论是 Table 控件还是 ReportX 控件均是随着文件的不断增大, 加载所用的时间在不断增大, 但是 Table 控件所用的时间均比 ReportX 控件所用的时间少, 因此, 仅从加载效率来说, Table 控件要优于 ReportX 控件。

## 2) 保存效率对比

将 Table 控件和 ReportX 控件中的数据保存到文件

中, 重点就是从表格中获取数据, 并将其按文件要求的格式进行保存。在 Table 控件中, 为了减少与 Table 控件交互的次数, 提高效率, 可调用 GetTableCellRangeVals() 函数来获取数据, 然后根据格式要求进行保存; 而在 ReportX 控件中, 则是通过调用 ExcelText() 函数获取数据。

为了验证从 Table 控件或者 ReportX 控件保存文件的效率, 同样选取了管脚个数为 25 个, 向量行数分别为 5 000 行、1 万行、1.5 万行、2 万行、2.5 万行、3 万行、3.5 万行、4 万行、4.5 万行以及 5 万行的数据进行测试。首先将数据加载到表格中, 然后将其保存到文件中, 对不同的数据重复测试 10 次。求取平均值作为不同规模的数据保存的效率, 测试结果对比如图 7 所示。

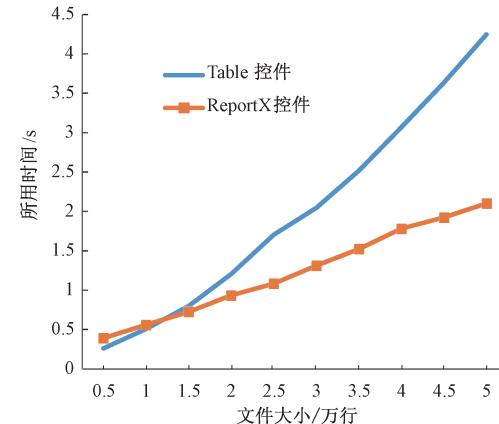


图 7 Table 控件和 ReportX 控件保存效率对比图

从图 7 中 Table 控件和 ReportX 控件保存效率对比可以看出, 在文件较小时, 将 Table 控件中的数据保存到文件中的效率较高, 但随着文件逐渐增大的时候, 其劣势将凸显, 保存所需要的时间随着文件的增大而大幅度增加。

综上所述, 从文件的加载角度考虑, Table 控件较 ReportX 控件加载的效率要快; 从文件的保存角度考虑, ReportX 控件较好。但从控件提供给用户的接口来说, Table 控件提供给用户的接口能够实现简单的表格操作, 当遇到复杂的需求时, 比如单元格的合并和拆分, Table 控件实现起来就比较困难; 而 ReportX 控件提供了大量用户可操作的接口, 用户可以灵活应用实现复杂的功能。

## 3 实验验证

综合 Table 控件和 ReportX 控件的特点, 针对应用中, 在调试时需要频繁的对导入的测试向量进行改动、保存, 但可能仅对原向量文件导入一次; 而为了方便调试, 需要不定时的对管脚组进行拆分, 或者对管脚进行合并, 即需要单元格合并和拆分操作, 因此, 在该测试向量工具中采用 ReportX 控件进行设计表格。

将设计好的测试向量工具嵌入到国产 BC3192 测试系统中, 并选用了一款视频编解码芯片进行了测试分析, 该芯

片具备 I<sup>2</sup>C、GPIO、看门狗、锁相环等十多个测试模块,测试向量达到将近 10 万行。将测试向量文件导入测试向量工具,同时记录了导入导出数据的时间,充分证实了测试向量工具的良好性能。图 8 所示为加载数据后的界面,具体导入导出所需时间如图 9 所示。

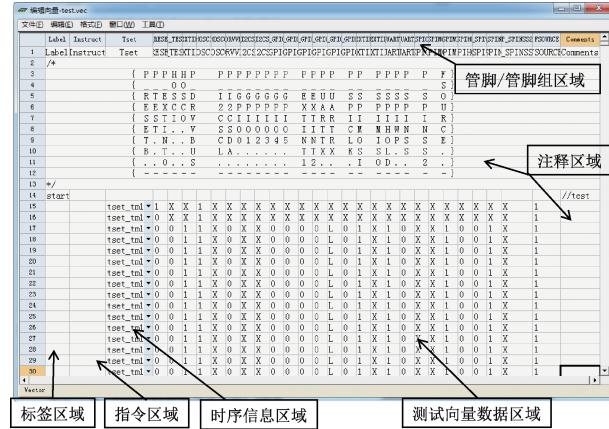


图 8 ReportX 控件加载数据后的界面



图 9 导入导出所需时间

该向量工具有除了提供编辑、导入、导出等上述提到的功能,还提供将单个管脚折叠、管脚组拆分、数据各种进制之间的转换和打印等功能。图 10 所示为将所有单个管脚折叠为管脚组的示例,其他功能均已验证,这里不一一列举。

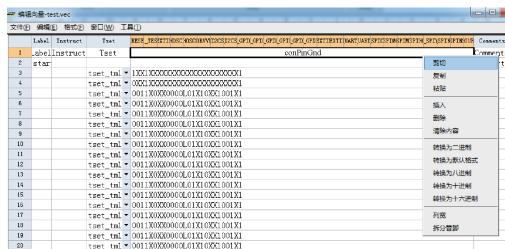


图 10 向量工具折叠管脚为管脚组功能示例

## 4 结 论

本文简单分析了测试向量工具的功能结构,介绍了基于 LabWindows/CVI 环境的向量工具开发关键技术,并对采用 Table 和 ReportX 控件设计方法进行对比,最终根据需求选择了 ReportX 进行了测试向量工具软件的开发。最后将该工具嵌入到 BC3192 测试系统,验证了测试向量工具的功能和高效性。

值得一提的是,利用 ReportX 控件进行表格设计,为虚

拟仪器系统提供了一种很好的思路。利用 ActiveX Control 技术,在 LabWindows/CVI 面板上嵌入其他组件,使得在 LabWindows/CVI 环境中能够开发的功能更加强大。目前 ActiveX 组件多种多样,功能强大,并且随着 ActiveX 技术的发展,将会出现更多的 ActiveX 组件,利用这些组件为用户在 LabWindows/CVI 开发环境中实现更多功能开辟了广阔的空间。因此,运用 ActiveX 组件可以使设计的系统更加强大和完善。

## 参 考 文 献

- [1] 陈辉.ATE 测试向量转换方法研究[D].广州:华南理工大学,2010.
- [2] 杨兆瀚.MCU 芯片测试系统研究与实现[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2015.
- [3] 宋尚升.集成电路测试原理和向量生成方法分析[J].现代电子技术,2014,37(6):122-124,128.
- [4] 吴昊明行.芯片的测试向量转换技术研究与系统实现[D].北京:中国科学院研究生院(计算技术研究所),2006.
- [5] 欧东宇.测试系统中向量工具系统设计[D].上海:复旦大学,2010.
- [6] 路嘉川.数字集成电路测试仪软件设计[D].成都:电子科技大学,2010.
- [7] 朱龙飞.混合集成电路测试系统上位机软件设计[D].成都:电子科技大学,2013.
- [8] 刘娅,李孝辉,张慧君.基于 LabWindows/CVI 的仪器测试软件设计[J].微计算机应用,2007,28(8):854-858.
- [9] 刘娜,吉洁阳.基于 LabWindows/CVI 环境下 Word 报表的操作方法[J].西安文理学院学报(自然科学版),2016,19(6):26-29.
- [10] 王鑫.测试向量的自动生成及其功能验证环境[D].上海:上海交通大学,2007.
- [11] 戴春翟,李晓静,张侃渝.集成电路测试系统通用测试软件的研究与设计[J].电子测量技术,2010,33(1):133-135.
- [12] 孙晓云.基于 LabWindows/CVI 的虚拟仪器设计与应用[M].北京:电子工业出版社,2010.
- [13] 王建新,隋美丽.LabWindows/CVI 虚拟仪器测试技术及工程应用[M].北京:化学工业出版社,2011.
- [14] 杨政,刘瑜,张燕红.ActiveX 技术在 LabWindows/CVI 中的应用[J].电脑编程技巧与维护,2012(24):29-30,40.
- [15] 窦艳杰.数字集成电路测试矢量输入方法研究和软件实现[D].成都:电子科技大学,2012.

## 作者简介

赵霞,硕士、研究实习员,主要研究方向为集成电路测试系统开发、测试系统优化等。

E-mail:zhaoxia0835@163.com