

基于 ST2500 平台的《集成电路测试技术》课程内容设置研究

——以“数字芯片的开短路测试”的教学为例

张淞柚 司鹏雪

(苏州市职业大学 电子信息工程学院, 江苏 苏州 215104)

摘要:《集成电路测试技术》作为集成电路专业核心课程,其教学内容需紧密结合产业需求以培养高素质测试人才。本文以数字芯片开短路测试为例,对比通用仪器与自动测试设备(ATE)的测试流程,探讨高职院校课程实践内容设置。通用仪器测试效率较低,但适用于基础教学,可用于分立器件等基础器件测试;ATE 测试机通过自动化编程显著提升测试速度与精度,适合数字、模拟及混合芯片的进阶实践。

关键词: 集成电路测试技术; 自动测试设备; 实训设备

一、引言

集成电路是电子信息产业的核心,是支撑经济社会发展和保障国家安全的战略性、基础性和先导性产业,是引领新一轮科技革命和产业变革的关键力量。2023 年全国集成电路产业销售收入为 12276.9 亿元,其中封装测试业销售额 2932.2 亿元,占比 23.9%。根据《2023 年中国集成电路产业人才供需报告(雨前顾问智库)》,封装环节本科以下的从业人员占比为 80.16%。而目前高职院校《集成电路测试技术》课程内容以理论教学为主,不能满足集成电路产业发展要求与相关企业测试岗位人才需求,因此有必要对课程内容设置,尤其是实验实训内容,进行深入讨论。

二、《集成电路测试技术》课程定位

集成电路测试是通过测量集成电路的实际输出,将实际输出结果和预期输出结果进行比较,以评估集成电路功能和性能的过程,是开展设计验证、生产监控、失效分析和芯片应用的重要手段。

作为集成电路专业的核心课程之一,《集成电路测试技术》课程需要以企业测试生产环节岗位需求为出发点,对标《集成电路工程技术人员国家职业技术技能标准》中测试技术人员职业能力要求,培养学生测试方案设计、测试过程实施、检验等仪器设备使用、测试结果筛选和数据统计分析等能力^[1-2]。

三、常用实验实训仪器

1. 通用测试设备

在集成电路测试中,常用的通用仪器有万用表、信号发生器和示波器。万用表可测量电压、电流、电阻等基本电学参数。信号发生器能产生正弦波、方波等各种波形与频率的信号,为测试过程提供所需的输入信号。示波器用于观察信号的波形、幅度、频率、相位等参数。

2. 自动测试设备

集成电路测试产业中,绝大多数的测试完全依赖于自动测试设备(Automatic Test Equipment, ATE)。对于测试工程师而言,主要的任务是根据被测器件(Device Under Test, DUT)的产品规范要求,利用 ATE 对 DUT 施加激励信号、收集响应信号,最后将

输出响应信号与预期要得到的信号进行对比,得出芯片产品详细性能测试报告^[3]。

工业用 ATE 设备测试过程高度自动化、测试速度极快。但设备价格极其昂贵;操作界面和测试程序涉及大量的专业术语、复杂的参数设置和自动化控制逻辑,需要专业的技术人员经过长时间的培训才能熟练掌握。因此在学校中很难使用这些设备展开教学。一些测试机厂家也设计了用于教学的 ATE 测试机,例如杭州加速科技公司生产的 ST2500 系列测试机。ST2500 系列测试系统采用数字混合架构,集成数字、模拟混合信号测试功能。学生通过测试机编写 C# 的测试程序,并搭建测试电路,完成手动测试。

四、《集成电路测试技术》课程实践教学内容——以数字芯片的开短路测试过程为例

根据常见芯片种类,《集成电路测试技术》课程围绕测试对象和测试仪表设备,安排了分立器件测试、数字芯片测试、模拟芯片测试、数模混合芯片测试等 4 类实践项目。

下面以数字集成电路 74LS161(4 位二进制计数器,适用于高速计数设计)的开短路测试为例对比通用仪器测试和 ATE 测试机测试^[4-5]。

开短路测试(Open-Short Test)几乎是所有类型芯片测试的第一步,是利用开尔文测试原理,通过在芯片管脚加入适当方向的小电流(100 μ A—500 μ A),测试管脚的电压,对于硅基器件来讲,当电流流过二极管时会引起约 0.65V 的压降,检查二极管上的压降即可得知引脚是否存在开短路现象。集成电路的开短路测试可以确认在集成电路测试时所有的信号引脚都与测试系统相应的信道在电性能上完成了连接;也能快速检测出集成电路是否存在电性物理缺陷,如引脚短路、断路、静电损坏等。

1. 通用仪器测试方法

测量对电源开短路电压时,将电源 VCC 接 GND;将直流电源正极一端接可调电阻,另一端负极接 GND,将数字万用表 1 正极一端接电阻,另一端负极接芯片被测引脚串进电路中,用于测量电路电流大小;开通电源,调节可调电阻,使得数字万用表 1 的

示数为 100 μ A；将数字万用表 2 正极接被测引脚，负极接 GND，测量保护二极管导通压降。

对地开短路测试过程与对电源开短路测试过程类似，只是需要调节输入的电流为 -100 μ A，便可以测得被测引脚对地开短路的电压值。

对芯片引脚重复测试三次后取平均值，测试结果整理如下：

表 1 通用仪器测试结果

被测引脚	测得的电压值 (V)		测试结果
	对电源	对地	
Clear	0.651	-0.632	Pass
Clock	0.634	-0.571	Pass
A	0.622	-0.565	Pass
B	0.615	-0.572	Pass
C	0.652	-0.574	Pass
D	0.651	-0.633	Pass
Enable P	0.630	-0.570	Pass
Load	0.628	-0.566	Pass
Enable T	0.639	-0.670	Pass
QD	0.622	-0.671	Pass
QC	0.650	-0.572	Pass
QB	0.629	-0.580	Pass
QA	0.633	-0.622	Pass
RCO	0.615	-0.565	Pass

2. ATE 测试机测试

采用 ATE 测试机进行测试需要根据集成电路的设计规格和测试要求，使用专门的测试开发软件编写测试程序，定义测试项目、测试向量、测试条件和预期结果等。尽管教学所用的测试机功能相对简单，但是其基本流程与集成电路测试产业界基本相同：

- (1) 启动 ST-IDE 测试软件，新建工程。
- (2) 新建测试信号 (Signal)，按照资源定义分配信号并分组。
- (3) 新建测试项定义 OSG (对地)、OSP (对电源)。
- (4) 编写测试程序、编译并运行测试程序，并检查测试程序运行结果。
- (5) 测试电路连接与调试：

芯片 GND 端的与测试机 AGND 连接，芯片的电源端 VCC 连接测试机 DPS:0 端，芯片的输入端 1~7，9~15 引脚分别于测试机的 DIO:0~6，DIO:7~13 连接。

(6) 测试结果

硬件电路连接好后，测试参数配置后，进行代码的编译、运行。加载工程 (Load)，打开测试结果记录日志 (Log)，运行 (Run) 程序，查看测试结果，发现均处在正常范围内。

Table Log		Text Log						
Device: 2								
Number	Site	Result	Signal	Channel	ParamName	Low	Measured	High
(OSN)								
1	0	Pass	CLR	1:1:0	OS_CLR_N	-1.5V	-0.618959V	-0.2V
2	0	Pass	CLK	1:1:1	OS_CLK_N	-1.5V	-0.618668V	-0.2V
3	0	Pass	A	1:1:2	OS_A_N	-1.5V	-0.619017V	-0.2V
4	0	Pass	B	1:1:3	OS_B_N	-1.5V	-0.619184V	-0.2V
5	0	Pass	C	1:1:4	OS_C_N	-1.5V	-0.619065V	-0.2V
6	0	Pass	D	1:1:5	OS_D_N	-1.5V	-0.618731V	-0.2V
7	0	Pass	ENP	1:1:6	OS_ENP_N	-1.5V	-0.620163V	-0.2V
8	0	Pass	LOAD	1:1:7	OS_LOAD_N	-1.5V	-0.619092V	-0.2V
9	0	Pass	ENT	1:1:8	OS_ENT_N	-1.5V	-0.619337V	-0.2V
10	0	Pass	QD	1:1:9	OS_QD_N	-1.5V	-0.414319V	-0.2V
11	0	Pass	QC	1:1:10	OS_QC_N	-1.5V	-0.413843V	-0.2V
12	0	Pass	QB	1:1:11	OS_QB_N	-1.5V	-0.413582V	-0.2V
13	0	Pass	QA	1:1:12	OS_QA_N	-1.5V	-0.417332V	-0.2V
14	0	Pass	RCO	1:1:13	OS_RCO_N	-1.5V	-0.431541V	-0.2V
(OSP)								
15	0	Pass	RCO	1:1:13	OS_RCO_P	0.2V	0.598167V	1.5V
16	0	Pass	QA	1:1:12	OS_QA_P	0.2V	0.602303V	1.5V
17	0	Pass	QB	1:1:11	OS_QB_P	0.2V	0.602071V	1.5V
18	0	Pass	QC	1:1:10	OS_QC_P	0.2V	0.602113V	1.5V
19	0	Pass	QD	1:1:9	OS_QD_P	0.2V	0.601661V	1.5V

图 1 ATE 测试结果

五、课程内容比较与建议

本文采用通用测试仪器与 ATE 测试机对同一芯片的开短路进行测试，现进行教学内容的比对，并对课程的实践教学内容设置进行建议。

通用仪器测试，需要手动更换引脚连接，且需要手动记录每次的测试数据，测试速度较慢。在复杂的芯片测试上，需要花费较多的时间。此外，测试过程中需要操作人员多次操作仪器和记录数据，容易出现人为错误。其测量精度可能会受到外部环境的影响；对于一些微小的电阻变化或微弱的短路电流，可能难以准确检测到，从而影响测试的准确性。但是通用仪器是电子信息类专业学生必须掌握的基本仪器，有必要进行教学。针对某些引脚较少的分离元器件，例如二极管、三极管等，在教学中可以采用通用仪器测试的方法。

ATE 测试机可以通过编程实现自动化测试，能够快速地对芯片的所有引脚进行开短路测试，大大提高了测试速度。测试机内部的测试电路和测量模块经过专门的设计和校准，可以在各种环境条件下提供准确的测试结果。自动化测试流程减少了人为干预，提高了测试的一致性和可靠性，同时可以方便地进行批量测试，更接近于实际企业生产环境。在《集成电路测试技术》课程教学中，针对数字芯片、模拟芯片、数模混合芯片等复杂芯片，建议采用 ATE 测试机测试来进行教学。

参考文献：

- [1] 戴志坚, 韩熙利. 集成电路测试实验课程建设与人才培养[J]. 实验科学与技术, 2022, 20(05): 56-60.
- [2] 潘成亮, 夏豪杰, 黄亮, 等. 集成电路测试新工科人才培养融合培养模式探索与实践[J]. 高教学刊, 2024, 10(20): 51-54. DOI:10.19980/j.cn.23-1593/G4.2024.20.013.
- [3] 罗宏伟, 刘竞升, 余永涛, 等. 超大规模集成电路测试现状及关键技术[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2021, 39(S2): 16-20.
- [4] 林颜章. 一种简易的集成电路开短路测试方案及教学实践——以技师学院电子专业教学为例[J]. 中国培训, 2021, (12): 54-55. DOI:10.14149/j.cnki.ct.2021.12.021.
- [5] 蔡晓峰, 余凯, 陆逸敏, 等. 自动化测试机开短路测试系统搭建和应用[J]. 中国集成电路, 2024, 33(12): 86-89.

基金支持：苏州市职业大学研究性课程项目（项目编号：SZDYKC-240705，主持人张淞袖）；

苏州市职业大学教学改革研究项目（项目编号：SZDJG-24024，主持人：张淞袖）