

# 模拟集成电路自动测试系统\*

康 赐 荣

(华侨大学电子工程系, 泉州 362011)

**摘要** 测试系统硬件部分由通用PC机和测试仪两大部分组成. 它们在测试软件包的配合下, 可对常用的模拟IC的直流参数和功能进行自动测试.

**关键词** 计算机辅助测试, 模拟集成电路, 自动测试系统, Turbo C语言, 测试函数

**分类号** TN 407

为满足模拟集成电路多参数、快速、准确和自动测试的要求, 本系统采用计算机辅助测试(CAT), 整个测试过程, 如测试电路连接、量程选择、数据采集、处理和结果显示、记录等均由测试系统自动完成, 不需要或极少需要人工参与. 本测试系统配上相应的适配器可对运算放大器、电压比较器、电压调整器、D/A和A/D转换器等直流参数和功能进行自动测试.

## 1 测试系统组成及主要单元电路介绍

测试系统由控制机和测试仪两大部分组成. 控制机为通用PC机组成的微机系统, 在其扩展槽插入一块与PC扩展箱通信的I/O接口板. 测试仪的所有插板均装在PC扩展箱(经改装)内, 扩展箱与控制机通过一多芯电缆连接. 测试系统组成如图1所示. 它由PC机、接口及控制电路、程控电源、继电器矩阵、精密测量单元(PMU)、适配器、多路开关、测量放大器及A/D转换器等部分组成. 下面仅对其中部分电路做些介绍.

### 1.1 程控电源

它由 $V_{REF}$ 、 $V_{PMUREF}$ 、 $V_{s1}$ 、 $V_{s2}$ 、 $V_{sp}$ 和 $V_{sn}$ 六路组成.  $V_{REF}$ 、 $V_{PMUREF}$ 分别为系统和精密测量单元的基准电压源,  $V_{s1}$ 、 $V_{s2}$ 为双极性测量信号源,  $V_{sp}$ 、 $V_{sn}$ 分别为正、负极性的器件电源, 其最大输出电流可达325 mA. 以 $V_{s1}$ 为例(图略), CPU把要求的直流电压值所对应的数字量经锁存器(为了消除高4位和低8位先后送D/A转换器而产生的毛刺现象, 高4位采用双锁存器)、D/A转换器转换成模拟电压, 再经运算放大器扩展输出电压范围和带负载能力后输出.

对 $\pm 10V$ 双极性输出, D/A转换器的模拟输出电压 $V_o$ 与输入数字量 $d$ 的关系是:  $V_o = 10.0000 - \frac{20.0000}{2^{12}}(d+1)$  和  $0 \sim 10V$ 单极性输出,  $V_o = 10.0000 - \frac{10.0000}{2^{12}}(d+1)$ .

### 1.2 精密测量单元

它是计算机控制的程控恒压源或恒流源与测流或测压电路的结合. 其功能: (1) 加压测

\* 本文1994-09-01收到

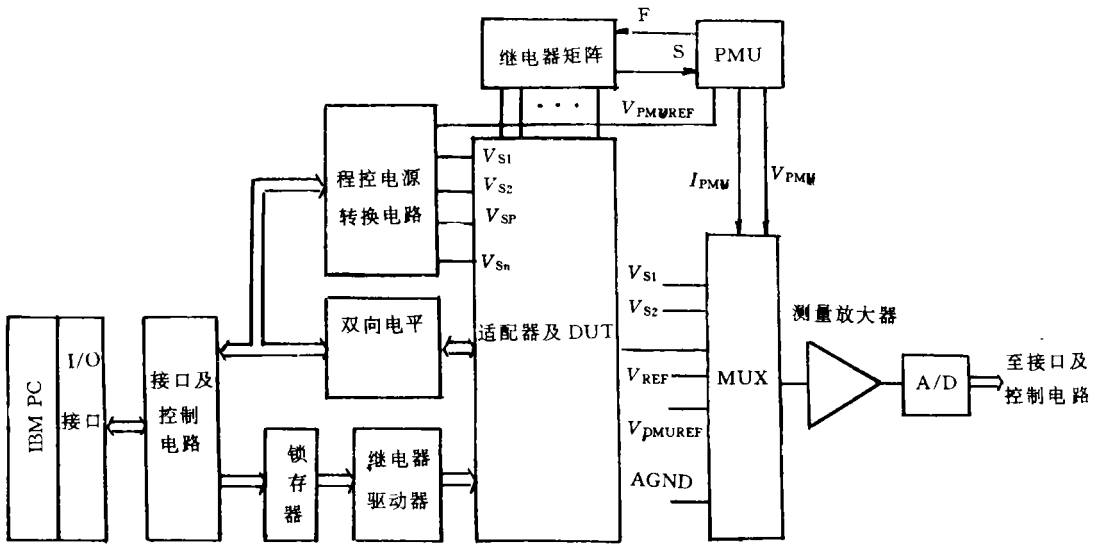
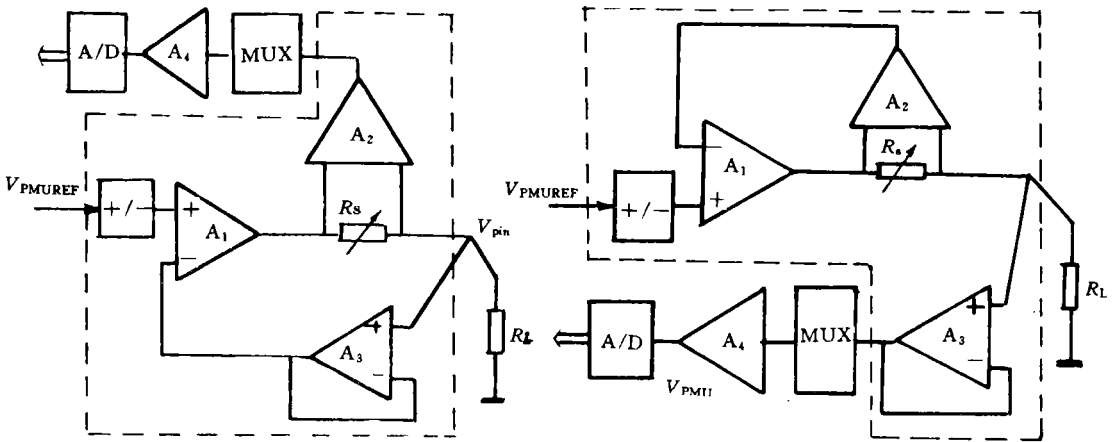


图 1 测试系统组成框图

流(fvmi):加于器件管脚—根据测试条件要求的电压,测量流经器件该管脚的电流;(2) 加流测压(fimv):施加于器件管脚—根据测试条件要求的电流,测量器件该管脚电压;(3) 测压:这时其功能如同高精度数字电压表,可测量指定点电压。

1.2.1 加压测流环节 它由极性转换电路、电流扩展器  $A_1$ 、采样电阻  $R_s$ 、电压放大器  $A_2$  和电压跟随器  $A_3$  等组成(图 2(a)虚线框内)。  $A_1$  采用功率型运算放大器 UA759,其最大输出电流



(a) 加压测流

(b) 加流测压

图 2 精密测量单元 PMU 电原理图

为 325 mA,它既用于组成电压负反馈回路,又作为电流扩展器用。对运放  $A_1$  有  $V_{pin} = \pm V_{PMUREF}$  为恒压源。计算机程控  $R_s$  来选择所需的电流量程。量程选择可为自动量程,亦可由用户设定。

根据测试条件要求,计算机把对应于  $V_{pin}$  的数字量加于程控电源中 12 位 D/A 转换器,产

生要求的电压输出,经极性转换电路选择要求的极性,再经电流扩展器、采样电阻加在被测器件管脚上,通过电压闭环负反馈,使  $V_{pin}$  保持为给定值。负载电流  $I_L$  流过  $R_s$  产生压降,经放大器  $A_2$ 、多路开关 MUX、测量放大器  $A_4$ ,由 14 位 A/D 转换器转换成数字量,经计算机处理,可得  $I_L$  值,  $I_L = V'_{pin} / (A_{V2} \cdot R_s)$  式中  $A_{V2}$  为仪器放大器  $A_2$  的电压增益(在图 1 中  $V'_{pin}$  用  $I_{PMU}$  表示)。

$A_2$  采用仪器放大器 AD524,它具有共模抑制比高,能承受的共模电压亦高等特点。电压跟随器  $A_3$  采用高输入电阻的运放,且又接成电压跟随器形式,故其分流作用可忽略不计。

1.2.2 加流测压环节 它由极性转换电路、电流扩展器、采样电阻、电压放大器和电压跟随器等组成(图 2(b)虚线框内)。  $A_1$ 、 $R_s$  和  $A_2$  组成电流负反馈,形成恒流源,恒流值为  $I_L = \pm V_{PMUREF} / (A_{V2} \cdot R_s)$ 。它仅取决于  $V_{PMUREF}$  及  $R_s$  值,与器件管脚的输入电阻  $R_L$  无关,为一恒流。根据测试条件要求的  $I_L$  值,先选好量程(对应于某一  $R_s$  值),然后根据上式算出  $V_{PMUREF}$  值,计算机把相应的数字量送 D/A, PMU 即输出给定电流值  $I_L$ 。管脚电压  $V_{pin}$  经电压跟随器、多路开关和测量放大器,加于 A/D 转换器,经计算机处理后,给出被测 IC 合格或不合格的信息,并点燃表示合格的绿灯,或表示不合格的红灯,并可显示或打印参数的实测值。

## 2 软件设计

本软件采用 Turbo C 语言编程<sup>[1]</sup>,它是结构化程序设计语言,C 语言程序以函数集合构成。本软件由通用 C 语句、函数和作者所研制的面向测试的软件包 tester.c 和各模拟 IC 的测试程序库等组成,能有效地对模拟集成电路测试系统进行控制和数据处理。软件包 tester.c 由专用测试函数组成。现择一些主要的测试函数介绍如下:

int on\_AR(int number, ...), int on\_DR(int number, ...) 用于接通继电器的函数;AR 为继电器矩阵中的继电器;DR 为用于设置电路状态和电路控制的数字继电器;形参 number 为继电器号;int off\_AR(int number, ...), int off\_DR(int number, ...) 用于断开继电器

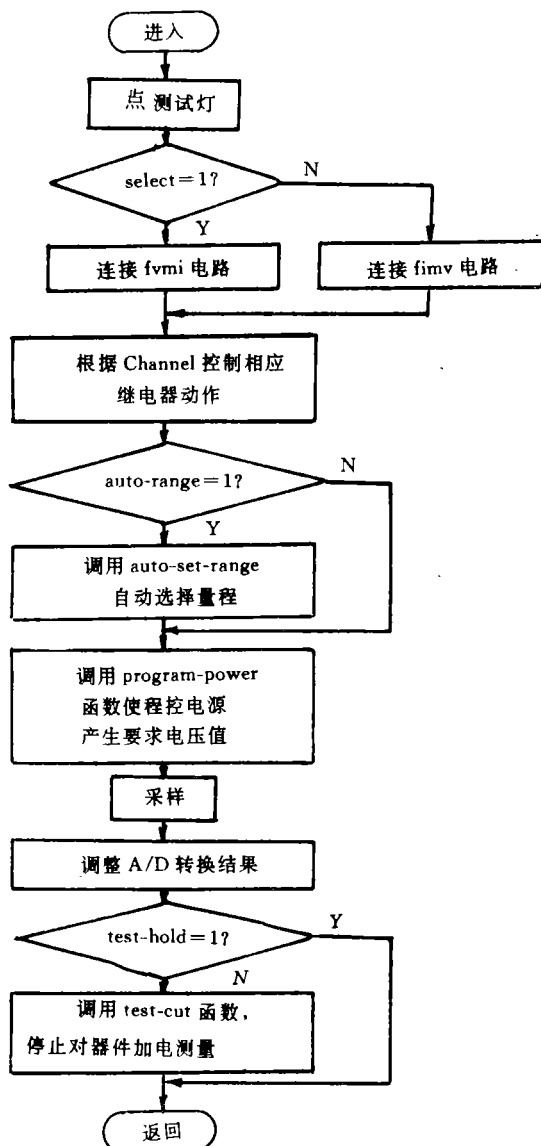


图 3 measurement 函数流程图

的函数. 调用上述函数可组成所需的测试电路. `int program _ power (CHANNEL power, float analog _ voltage)` 为设置程控电压值的函数; CHANNEL 是在头文件 `tester. h` 中定义的枚举函数; 形参 `power` 是  $V_{s1}, V_{s2}, V_{sp}, V_{sn}, V_{PMUREF}, V_{REF}$  之一, `analog _ voltage` 为所要求的程控电源电压值; `int auto _ set _ range (CHANNEL power, float value, MODE select)` 量程自动选择函数; MODE 是在 `tester. h` 中定义的枚举函数, `select=1` 表示对电流量程进行操作, `select=0` 对电压量程进行操作; 形参 `value` 为 `fvmi` 所加的电压值, 或 `fimv` 所加的电流值; `float measurement (CHANNEL power, float value, MOED select)` 用于测量器件电源电流、加压测流或加流测压的函数. 图 3 为其程序流程图.

为了给用户和系统之间一个友好的界面, 开发了一个窗口和菜单系统.

### 3 适配器

本测试系统配上相应的适配器可测运算放大器、电压比较器、D/A 转换器、A/D 转换器和电压调整器的直流参数及功能. 限于篇幅, 下面仅介绍运算放大器适配器.

根据国标 GB3442-86 半导体集成电路运算(电压)放大器测试方法的基本原理<sup>(2)</sup>, 采用辅助放大器与被测运放(DUT)构成闭合环路的方法进行测试(图 4).

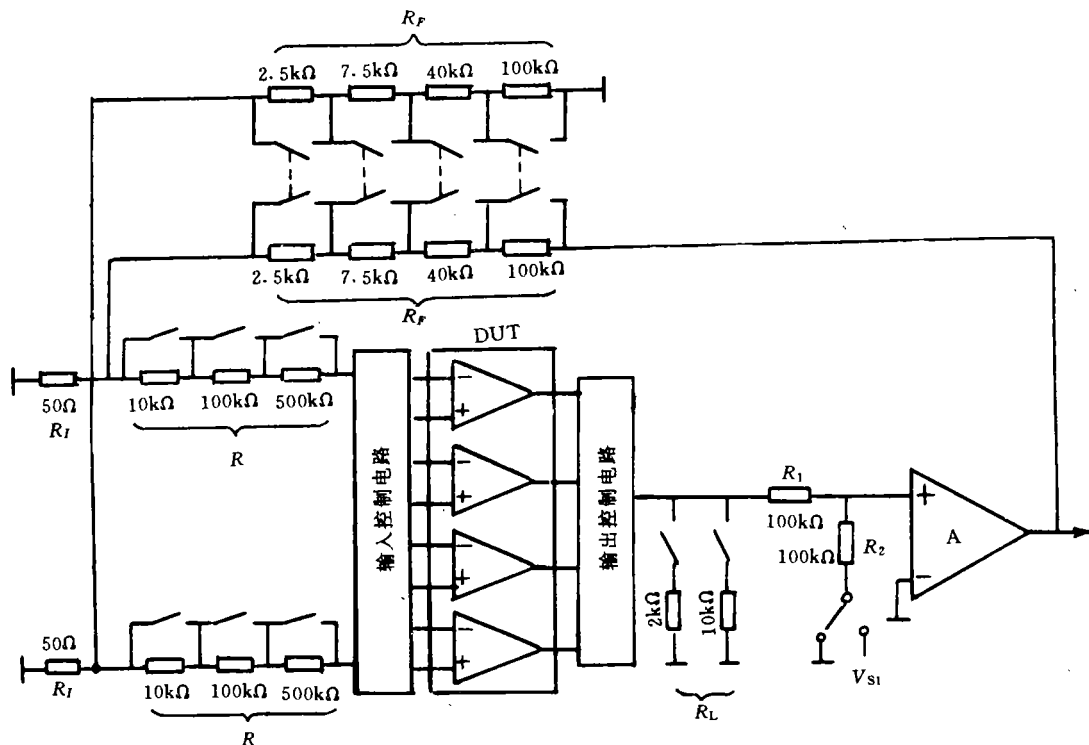


图 4 运算放大器的适配器电路图

它可测单、双、四运放的输入失调电压、输入失调电流、输入偏置电流、开环增益、共模抑制比、电源抑制比、输出电压摆幅、功耗和平衡管脚测试等.

•  $R_F$  的计算及选择.  $R_F$  可根据  $V_{10}$  各档满量程值按下式计算确定  $V_{10} = V_{L0} \cdot R_I / (R_I +$

$R_F$ ), 即  $R_F=R_1(V_{L0}/V_{I0}-1)$ , 令  $V_{I0}$  为各档满量程值, 辅助放大器输出  $V_{L0}=9.99V$  得  $R_F$  与  $V_{I0}$  关系如附表的第 1, 3 列所示. 对运放的实际  $V_{I0}$  值, 测试系统会用搜索法选择最合适的量程及  $R_F$  值.

附表  $R_F$  和  $R$  选择表

$R_F/k\Omega$	闭环增益	最大可测量 失调电压 $V_{I0}/mV$	最大可测失调电压及偏置电流 ( $\mu A$ )		
			$R=10\ k\Omega$	$R=100\ k\Omega$	$R=500\ k\Omega$
2.5	51	196	1 960 0	1 960	3.92
7.5	151	66.2	6 620	662	132
10	201	49.8	4 980	498	99.5
40	801	12.5	1 250	125	250
50	1 001	9.99	999	99.9	20.0
100	2 001	5.00	500	50	10.0
150	3 001	3.33	333	33.3	6.66

确定  $R_F$  后,  $R$  值可由  $V_{I0}$  计算确定,  $I_{I0}=R_1(V_{L1}-V_{L0})/[(R_1+R_F) \cdot R]$ . 即  $R=R_1(V_{L1}-V_{L0})/[(R_1+R_F) \cdot I_{I0}]$  令  $I_{I0}$  为各档满量程值,  $V_{L1}-V_{L0}=9.99\ V$ , 得  $R, R_F$  与  $I_{I0}$  关系如附表的第 1, 4, 5, 6 列所示, 对运放的实际  $I_{I0}$  值, 测试系统用搜索法选择最合适的量程及  $R$  和  $R_F$  值.

参加本测试系统研制工作的还有孙良钟、陈芳、劳远鸿、庄东伟、陈文标和李强等同志.

参 考 文 献

1 李桂青, 罗持久. 微机 C 语言及其应用. 北京: 气象出版社, 1989. 50~120  
2 《中国集成电路大全》编委会编. 中国集成电路大全——集成运算放大器. 北京: 国防工业出版社, 1985. 8~18

An Analogue Integrated Circuit Autotest System

Kang Cirong

(Dept. of Electron. Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

**Abstract** An analogue integrated circuit autotest system is presented. The hardware consists of a universal personal computer and a tester. With the coordination of specific software package, the system will test the D.C. parameters and the functions of universal analogue integrated circuit automatically.

**Keywords** computer-aided -test, analogue integrated circuit, automatic test system, Turbo C language, test function