



# 普赛斯教育和教学实验室集成工作台 解决方案

---

**武汉普赛斯仪表有限公司**

WuHan Precise Instrument Co., Ltd.

# 普赛斯教育和教学实验室集成工作台 解决方案

## 行业背景

集成电路产业是信息技术产业的核心，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。集成电路设备研发技术难度大、投入高、周期长，具备极高的门槛和壁垒。

2018年至2022年7月，国家多部门陆续印发了规范、引导、鼓励、规划集成电路行业的发展政策，内容涉及集成电路技术规范、集成电路集群发展支持、集成电路人才培养支持等内容。国家发改委、教育部按照“面向产业集聚科学规划布局、面向一流学科突出扶优扶强、面向协同创新深化产教融合、面向区域需求促进共建共享”四个原则，瞄准集成电路关键核心技术，组建产学研联合体和新型研发机构，推动知识产权共享、通用基础设施共建共享，强化关键工艺环节与核心技术联合攻关。

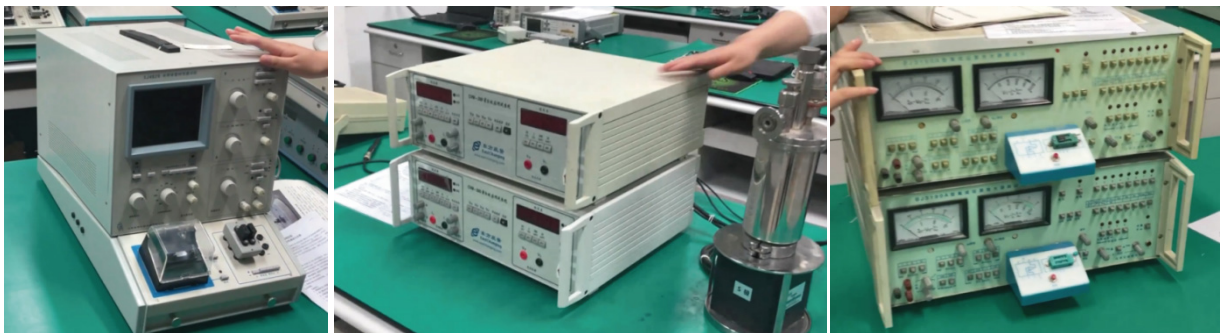
集成电路教学实训平台是以工程教育专业认证为引领，参与高校专业建设，以信息化引领构建学习者为中心的教育生态。集成电路教学实训平台为学生提供丰富的教学资源以及贴近现实的产业环境，支撑集成电路相关课程的教学与实训。在人才培养方面，培养能满足产业需求、兼具工程实践和创新能力的复合型和技能型集成电路人才。在学科建设方面，通过交叉融

合，推进“集成电路科学与工程”一级学科建设，促进关联学科的“双一流”建设。在科技创新方面，继续坚持在化合物半导体、数模混合集成电路系统芯片、EDA软件基础工具等方向上的前沿探索，服务国家战略和重大需求。

## 高校集成电路实验教学现状

高校本科阶段的实验教学体系主要由理论课程以及实验教学课程组成，目前在各高校微电子、集成电路、电子信息工程、物理与电子信息工程等专业的实验教学存在的问题较多，主要包括以下几个方面：

- 实验仪表台数少，实验课程周期长，与理论课的时间兼容性差；
- 教育型专用仪表功能单一，复用率低，教育支出成本高；
- 教学仪表老旧，测量精度低，可重复性差；
- 仪表操作傻瓜，实验过程不透明，欠缺对学生动手操作能力的培养；
- 实验课程内容老旧，无法满足现阶段集成电路人才培养的需求。



## 普赛斯芯片及功率器件测试实验室建设方案

普赛斯芯片及功率器件测试解决方案利用工业级高精度的仪器仪表，配套相应的芯片级半导体功率器件实验实训模组，匹配高校教学实验实训需求，提供芯片级半导体功率器件测试方案指南。通过对半导体功率器件、芯片模组进行测试实验，让学生掌握最新的测试方法，充分了解各种半导体功率器件特性，支撑集成电路、微电子等专业相关课程的教学与实训，且能进行项目开发和师资培训，打造芯片及功率器件测试实践实训中心。



### 芯片及功率器件测试平台规格参数

芯片及功率器件测试平台主要由高精度源表、信号发生器、数字电桥、数字示波器等组成，基本能够涵盖集成电路、微电子等相关的电性能测试方面的实验教学课程。

名称	规格
高精度源表	5寸触摸显示屏，图形化操作，支持IV扫描，电压300 $\mu$ V~300V，电流100pA~1A，电流分辨率10pA，精度0.1%，最大功率30W，支持四象限工作、支持前后面板输出、支持USB、RS232、LAN、GPIB等接口。
数字示波器	高分辨率TFT LCD显示，带宽100MHz、4通道、每通道采样率1GS/s，支持鼠标，USB、LAN等。
信号发生器	TFT 彩色显示，输出频率 $\geq$ 10MHz，双通道，采样率 $\geq$ 125MSa/S，支持USB、LAN等。
数字电桥	LCD显示屏，带宽10Hz ~ 200kHz，频率连续可调，精度0.05%，支持RS-232、USB等。
直流电源	LCD 显示，三路独立输出，输出电压 $\geq$ 30V，电流0~3A，标配 RS-232、USB。
万用表	TFT LCD，最大电压1000V，最大电阻100M $\Omega$ ，最大电流10A，DC精度0.0035%以上，支持USB，RS-232，LAN等接口。

### 方案特色优势

采用与工业测试相同的高精度仪表，打造通用化高校实验实训教学平台，可完成芯片功能及半导体功率器件测试实验、实训、竞赛、科研等多种需求。

- 国产替代：所有测试仪表和测试模组均采用国产化方案；
- 产业同步：测试仪表和测试方案均与产业领域保持一致；
- 贴合教学：实验内容贴合集成电路相关课程资源和理论教学；
- 实验多样：支持多种半导体器件、材料以及芯片的测试；
- 定制服务：针对科研、本科及高职教学提供定制化解决方案。

## 普赛斯教育和教学实验室集成工作台方案

支撑课程	实验案例		培养方向
集成电路测试与验证 集成电路原理与应用 半导体器件物理 半导体集成电路 模拟电子技术基础实验 电路基础实验	分立器件	MOSFET/BJT静态特性参数测试实验	半导体测试工程师 集成电路应用工程师 芯片失效分析工程师
		MOSFET/BJT动态参数测试实验	
		MOSFET开关特性测试实验	
		MOSFET电容特性测试实验	
		整流二极管性能测试实验	
		光耦特性测试实验	
		材料电阻率测试实验	
		激光器LIV特性测试实验	
	IC类	三极管放大特性测试实验	
		集成基准电压源性能测试实验	
		压控振荡器测试实验	
		逻辑IC功能和参数测试实验	
		集成运放特性参数实验	
		逻辑芯片I/O口特性测试实验	

备注:可联合定制集成电路实验实训测试方案

### 附录一: MOSFET/BJT静态特性测试实验

#### 实验目的

1、理解三极管的电路结构和工作原理;2、掌握仪表的使用及半导体器件的静态参数测试方法;3、熟悉数字源表的使用。

#### 实验测试参数

输入特性曲线、输出特性曲线、集电极-基极反向电流 $I_{CBO}$ 、发射极-基极反向电流 $I_{EBO}$ 、反向击穿电压 $V_{EBO}$ 、反向击穿电压 $V_{CBO}$ 、反向击穿电压 $V_{CEO}$ 。

#### 实验简介

三极管,全称应为半导体三极管,也称双极型晶体管、晶体三极管,是一种电流控制型的半导体器件,主要有三种状态:截止状态、放大状态、饱和状态。

当三极管的发射结反偏,集电结反偏时,三极管就会进入截止状态,截止状态下,三极管各电极的电流几乎为0,集电极和发射极互不相通。

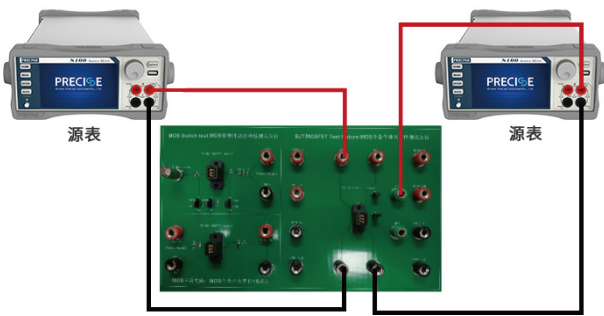
当三极管发射结正偏,集电结反偏,三极管就会进入放大状态。放大状态下,集电极电流 $I_C$ 与基极电流 $I_B$ 近似于线性关系,即 $I_C = \beta * I_B$ ,其中 $\beta$ 为放大系数。

当三极管发射结正偏,集电结正偏时,三极管工作在饱和状态。在饱和状态下,三极管集电极电流 $I_C$ 的大

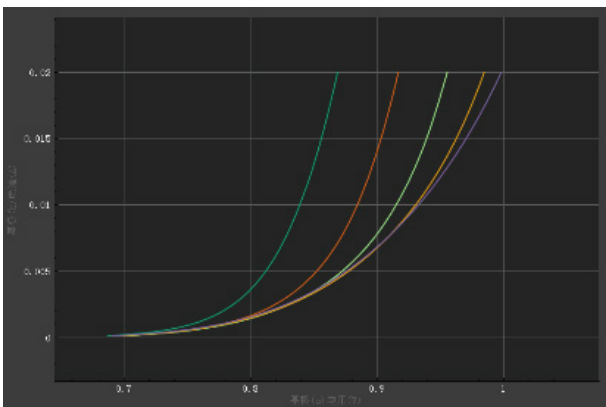
小不受基极电流 $I_B$ 的控制， $I_C$ 与 $I_B$ 不再成比例关系。饱和状态下的三极管基极电流 $I_B$ 变大时，集电极电流 $I_C$ 也不会变大。

本实验主要以S9013 NPN三极管为测试器件，用到两台数字源表、MOSFET/BJT静态特性测试实验板以及上位机软件。

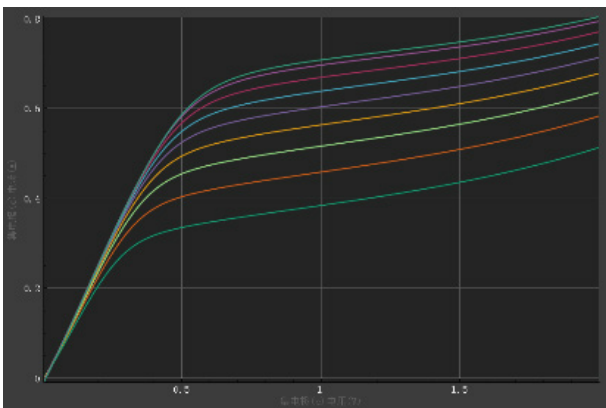
### 实验设备及实验结果



实验接线示意图



输入特性曲线



输出特性曲线

## 附录二：MOSFET/BJT动态参数测试实验

### 实验目的

- 1、理解MOS的电路结构和工作原理；2掌握MOS开关特性，熟悉导通、截止过程；3、熟悉信号源、数字源表及示波器的使用。

### 实验测试参数

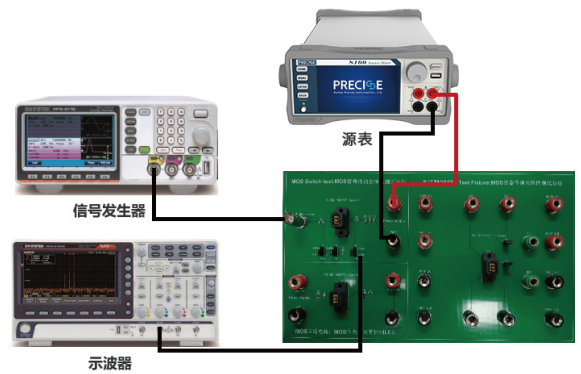
MOS开通时间、MOS关断时间。

### 实验简介

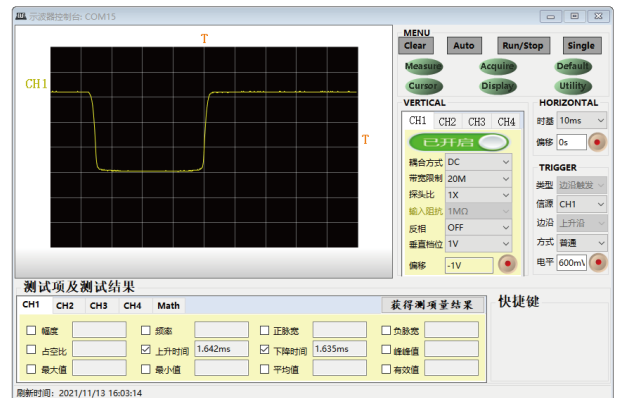
MOS管作为开关元件，是工作在截止或导通两种状态，MOS管在导通与截止两种状态发生转换时同样存在过渡过程，其动态特性主要取决于与电路有关的杂散电容充、放电所需的时间，而管子本身导通和截止时电荷积累和消散的时间是很小的。

本实验主要是测量晶体管的开通和关断时间，从而了解该器件的开关性能。实验过程中使用到3台仪表：信号发生器、数字源表、示波器。

### 实验设备及实验结果



实验接线示意图



MOS管导通截止过程测试曲线

## 附录三：MOSFET/BJT电容特性测试实验

### 实验目的

1、掌握MOS管寄生电容的定义及输入电容(Ciss)、输出电容(Coss)、反向传输电容(Crss)的测量方法；2、进一步熟悉数字源表及LCR表的使用。

### 实验测试参数

输入电容(Ciss)、输出电容(Coss)、反向传输电容(Crss)。

### 实验简介

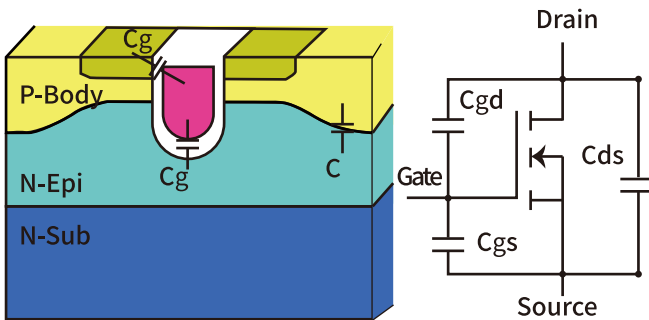
寄生电容是器件的重要动态参数,直接影响到开关性能,MOSFET的栅极电荷也是基于其电容特性衍生出的重要参数,功率MOSFET的寄生电容的结构如图1所示,可以看到,其具有三个内在的寄生电容:G和S之间的电容Cgs.G和D之间的电容Cgd,也称为反向传输电容、米勒电容或反向传输电容Crss。D和S之间的电容Cds。

本实验主要以IRF610 Power MOSFET为测试器件,测试仪表使用到数字源表以及LCR,数字源表为器件提供25V直流偏置电压,LCR表测试S/D/G三个端口相互之间的电容值。实验电路板上通过切换SW0/SW1跳线开关来切换不同的电容测试电路。

### 实验设备及实验结果



实验接线示意图



结构原理示意图

记号	算式	含义
Ciss	$C_{gs}+C_{gd}$	输入电容
Coss	$C_{ds}+C_{gd}$	输出电容
Crss	$C_{gd}$	反向传输电容

MOSFET的容量特性

## 附录四：MOS管开关特性测试实验

### 实验目的

1、掌握MOS管开启与断开的过程,掌握其测试方法；2、熟悉源表、信号发生器、示波器等测试仪器的使用。

### 实验测试参数

MOS管开通、关断过程。

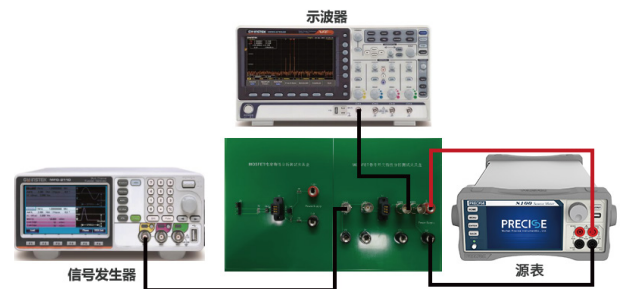
### 实验简介

MOS在导通和截止的时候,一定不是在瞬间完成的。MOS两端的电压有一个下降的过程,流过的电流有一个上升的过程,在这段时间内,MOS管的损失是电压和电流的乘积,叫做开关损失。通常开关损失比导通损失大得多,而且开关频率越快,损失也越大。

导通瞬间电压和电流的乘积很大,造成的损失也就很大。缩短开关时间,可以减小每次导通时的损失;降低开关频率,可以减小单位时间内的开关次数。

本开关特性分析测试使用功率MOSFET型号为2SK1296,测试仪表使用一台数字源表、一台示波器、一台信号发生器。

### 实验设备及实验结果

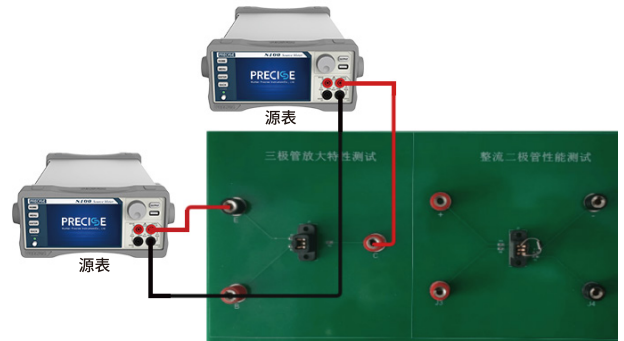


实验接线示意图



MOS管开通及关断测试曲线

## 实验设备及实验结果



实验接线示意图

## 附录五：三极管放大特性测试实验

### 实验目的

1、了解三极管的结构及放大特性原理；2、掌握三极管放大特性测试方法；3、熟悉数字源表的使用。

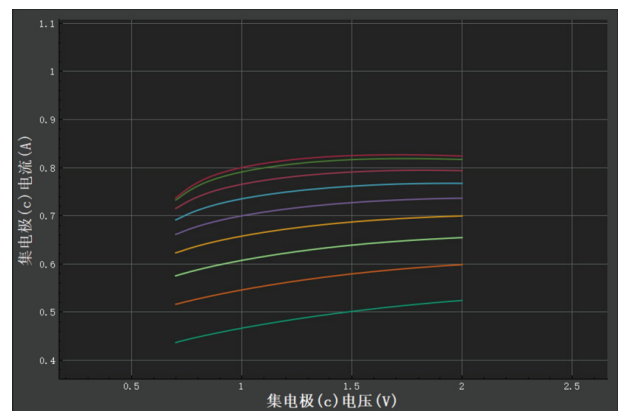
### 实验测试参数

三激光放大系数测量。

### 实验简介

半导体三极管是组成放大电路的核心器件，是集成电路的组成元件，在电路中主要用于电流放大、开关控制或与其他元器件组成特殊电路等；根据三极管的工作状态不同，输出特性分为三个区域：截止区、饱和区及放大区，在放大区内，特性曲线近似一簇平行等距的水平线， $I_c$ 的变化量与 $I_B$ 的变化量保持线性关系，此时三极管的发射结处于正向偏置，集电结处于反向偏置状态。

本实验以S9013三极管为测试器件，测试仪表使用两台数字源表，一台源表连接到器件基极，提供工作电流，右侧源表连接到器件集电极，提供工作电压的同时测量输出电流大小，并通过输出电流与输入电流比值计算器件放大系数。



三极管放大特性曲线

## 附录六：整流二极管性能测试实验

### 实验目的

1、了解整流二极管的结构及工作原理；2、掌握整流二极管伏安特性曲线测试方法；3、熟悉数字源表的使用。

### 实验测试参数

正向特性曲线、反向特性曲线。

### 实验简介

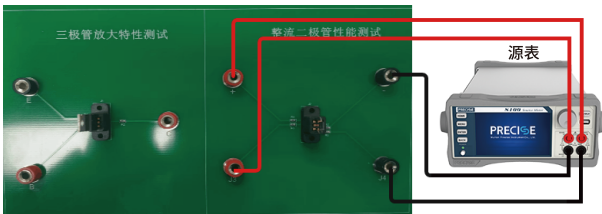
整流二极管是一种半导体器件，用于将交流电转换为直流电。二极管最重要的特性是其单向导电性。在电路中，电流只能从二极管的正极流入，而从负极流出。

**正向特性测试:**当外加正向电压较小时,正向电流很小,二极管呈现出较大的电阻;正向电压超过某一数值,电流随着电压增加得很快,但增加的电流不能超过二极管允许电流,否则二极管会被烧坏。

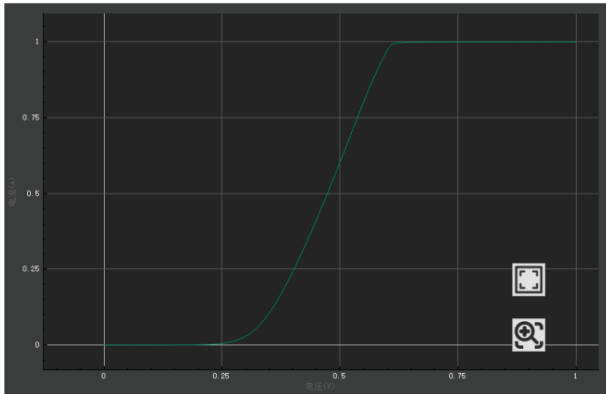
**反向特性测试:**加上反方向电压时,只有很小的反向电流,并且它基本上不随电压变化,这种电流称为反向饱和电流。反向饱和电流随着温度升高而增长很快。

本实验以1N5819型号二极管为测试器件,测试仪表使用一台数字源表,测试正向特性时考虑到二极管正向导通电阻较小,避免测试线路影响,使用四线制模式测量。

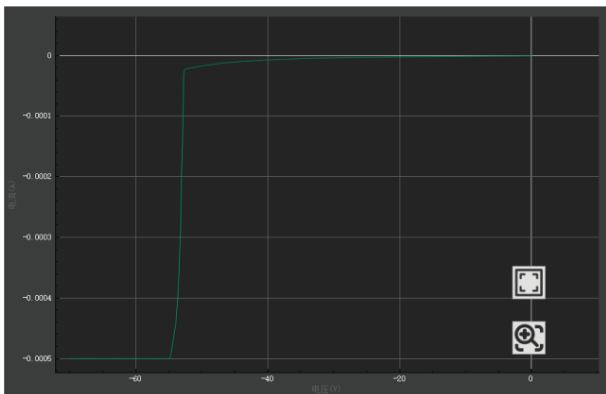
### 实验设备及实验结果



实验接线示意图



正向特性测试曲线



反向特性测试曲线

## 附录七:激光二极管LIV特性测试实验

### 实验目的

1、了解激光器的结构及工作原理;2、掌握激光器技术参数定义及LIV测试方法;3、熟悉数字源表的使用。

### 实验测试参数

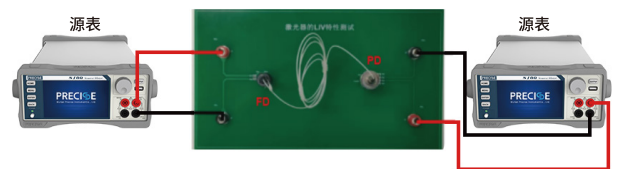
激光器LIV曲线测试、PD暗电流测试。

### 实验简介

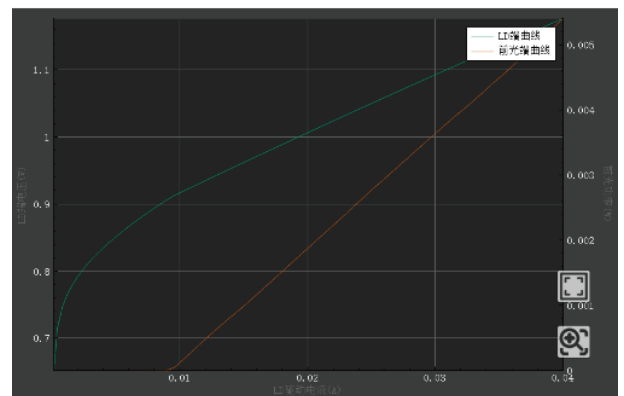
LIV即光电特性,是验证激光二极管、探测器性能的普遍的方法。通常要用到电流源来驱动 LD 工作,产生光的同时用光功率计测量光功率来完成LIV特性测试。

本实验以1310nm激光二极管为测试器件,测试仪表使用两台数字源表。输入端通过数字源表提供电流源来驱动激光二极管工作,在输出端,通过光纤串接一个Pin管,将激光二极管发送的光转换成电流信号,右侧源表反接在Pin管的PD+及PD-两端,测量输出电压和电流。

### 实验设备及实验结果



实验接线示意图



激光器LIV测试曲线

## 附录八：光耦特性测试实验

### 实验目的

1、了解光耦器件的基本结构及工作原理；2、掌握光耦器件的常规参数定义及其测试方法；3、熟悉数字源表的使用。

### 实验测试参数

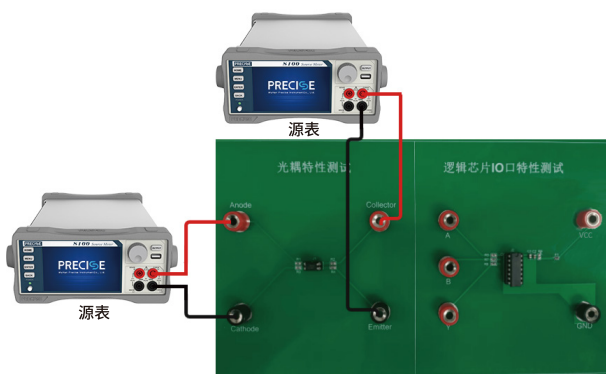
正向电压 $V_F$ 、反向电流(漏电流) $I_R$ 、C极—E极间电压 $V_{CE0}$ 、电流转换比(CTR)。

### 实验简介

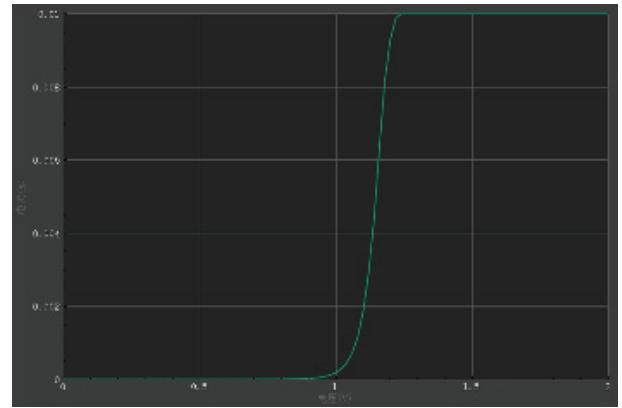
光耦器件主要由两部分组成：光的发射(输入端)及光的接收(输出端)。输入端主要由发光器件构成，一般都是发光二极管，发光二极管加上正向电压时，能将电能转化为光能而发光，发光二极管可以用直流、交流、脉冲等电源驱动。输出端主要由光敏器件构成，一般都是光敏晶体管，光敏晶体管是利用PN结在施加反向电压时，在光线照射下反向电阻由大变小的原理来工作的。

本实验以TPL521为测试器件，测试仪表中用到2台源表，左边源表给输入端提供正向工作电压，并测量输入电流，右端源表给输出端提供工作偏压，并测量输出电流。

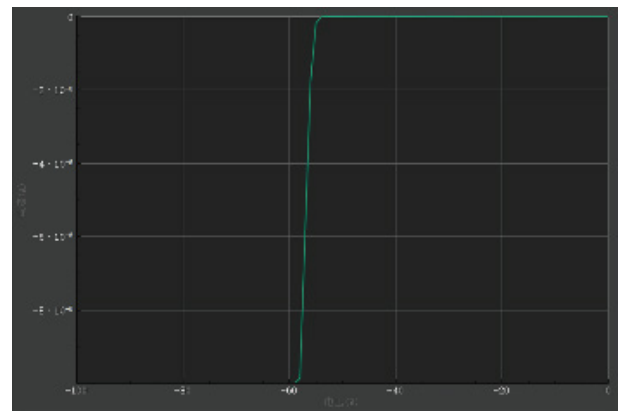
### 实验设备及实验结果



实验接线示意图



正向电压 $V_F$ 测试曲线



反向电流(漏电流) $I_R$ 测试曲线

## 附录九：材料电阻率测试实验

### 实验目的

1、掌握四探针法测量半导体电阻率的原理及方法；2、熟悉数字源表四线制测量的连线方式。

### 实验测试参数

四探针法测量材料电阻率。

### 实验简介

电阻率是用来表示各种物质电阻特性的物理量，某种材料制成的长为1米，横截面积为1平方米的导体的电阻，在数值上等于这种材料的电阻率。它反映物质对电流阻碍作用的属性，它与物质的种类有关，还受温度、湿度等因素的影响。在实际中我们可能需要测试一

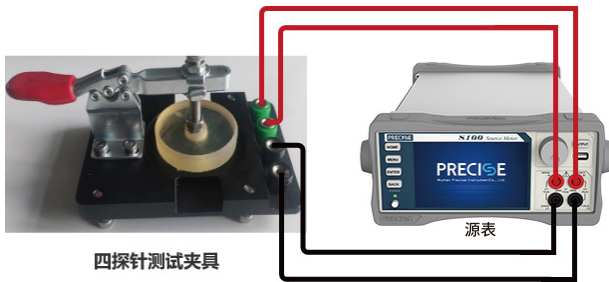
些薄而平的材料电阻率或是涂层的电阻率,这时我们需要使用四探针测试的方法来测试。四探针测试法简单的来讲是将四个探针等距放置样品上,外侧两个探针提供电流,内部两个探针测试电压,然后通过测得的数据算出电阻率。

本实验以硅晶圆片为测试材料,测试仪表中用到1台源表以及简易版探针台治具,治具底部伸出四个等间距的探针与硅片接触,源表前面板提供四探针测试接口,测试时采用开尔文四探针测试法进行电阻率测量。

### 实验设备及实验结果

电阻率的计算公式为:

$$\rho = \frac{\pi}{\ln 2} \frac{V}{I} wk = 4.532 \frac{V}{I} wk$$



实验接线示意图

## 附录十:逻辑 IC 功能和参数测试实验

### 实验目的

1、熟悉DE10-Lite开发板的基本结构;2、熟悉QUARTUS II开发环境,掌握设计流程;3、掌握程序烧录器使用及FPGA程序烧录操作流程。

### 实验测试参数

利用QUARTUS II设计软件开发FPGA驱动程序,并通过烧录工具,将驱动程序下载到DE10-Lite开发板中。

### 实验简介

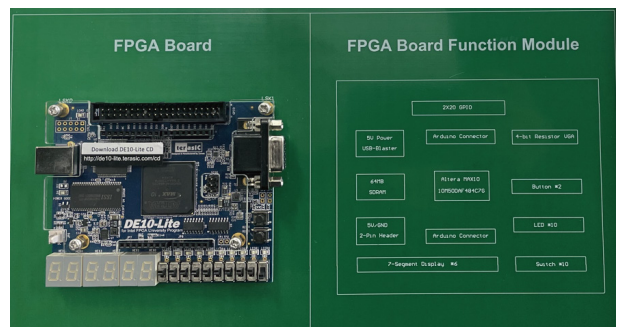
逻辑IC功能和参数测试夹具盒可用于常见IC功能模块的设计和测试。在最原始的测试过程中,对集成电路(Integrated Circuit,IC)的测试是依靠有经验的测试人员使用信号发生器、万用表和示波器等仪器来进行测试的。这种测试方法测试效率低,无法实现大规模大批量的测试。随着集成电路的集成度和引脚数的不断增加,工业生产上必须要使用新的适合大规模电路测试的测试方法。在这种情况下,集成电路的自动测试仪开始不断发展。本产品是基于FPGA设计逻辑芯片的功能故障测试板,可对被测芯片进行种类扩展和功能测试。

FPGA是可编程芯片,FPGA的设计方法包括硬件设计和软件设计两部分。硬件包括FPGA芯片电路、存储器、输入输出接口电路以及其他设备,软件即是相应的HDL程序以及嵌入式C程序。

利用EDA开发软件(QuartusII)对FPGA芯片进行开发的过程。包括功能定义/器件选型、设计输入、功能仿真、综合优化、综合后仿真、实现、布线后仿真、板级仿真以及芯片编程与调试等主要步骤;

本实验用到FPGA开发板、电源、程序烧录器以及EDA开发软件;EDA编译好系统软件后通过烧录器将程序下载到FPGA开发板中运行。

### 实验设备及实验结果



实验接线示意图

## 附录十一：集成基准电压源性能测试实验

### 实验目的

1、了解LM358稳压器的的工作原理；2、掌握LM358性能测试方法；3、熟悉源表及示波器的使用方法。

### 实验测试参数

分别测量3V、6V、9V输入电压条件下的输出稳压值。

### 实验简介

电压源是集成电路的一个非常重要的组成单元，在数模转换器和模数转换器以及各种无线通信产品中，基准电压源是一个必不可少的组成部分，它对整个电路的性能和精度起到了至关重要的作用，可以说基准电压源的性能好坏就是整个电路性能的好坏。

本实验使用的芯片为LM385-2.5，配备3台仪表，一台数字源表设置为9V恒压输出，给电路供电，示波器和另一台数字源表测量集成基准电压源的输出波形及电压。当配备有高低温试验箱时，可改变高低温试验箱的温度，可以进行一定温度下的时间稳定性测试和测量温度系数。

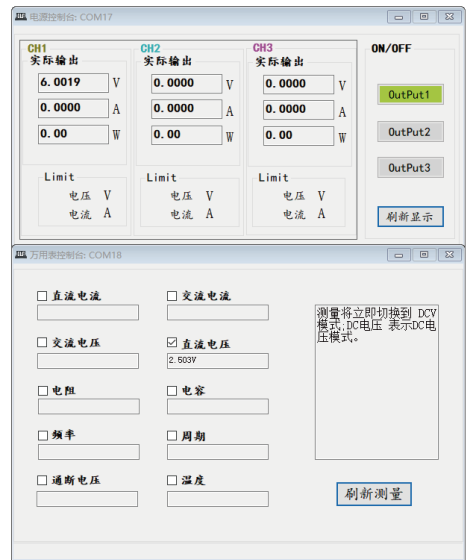
### 实验设备及实验结果



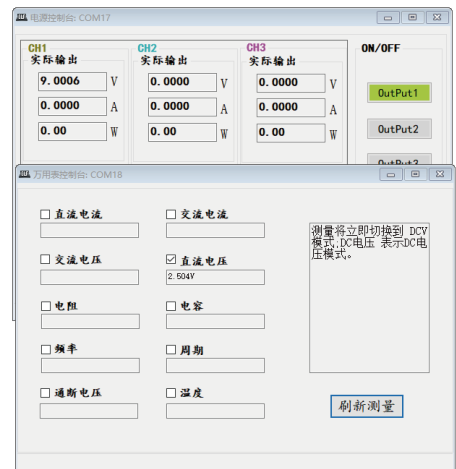
实验接线示意图



电源设置3V/1A时软件界面



电源设置6V/1A时软件界面



电源设置9V/1A时软件界面

## 附录十二:集成运放特性参数测试实验

### 实验目的

1、学习集成运放主要参数的测试原理,掌握测试方法;2、熟悉数字源表、信号发生器、示波器等仪表的使用。

### 实验测试参数

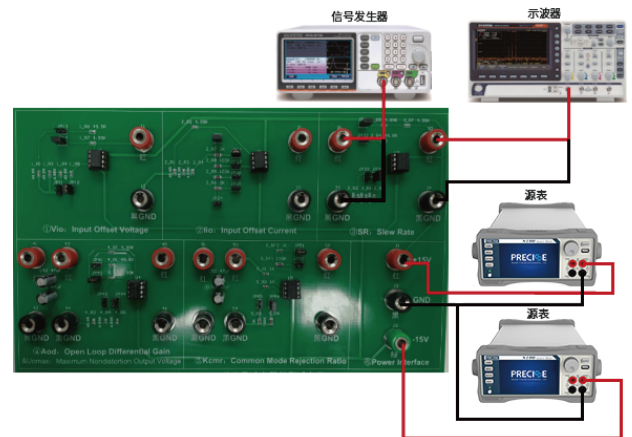
输入失调电压测试、输入失调电流测试、转移速率测试、开环差模电压增益和最大不失真输出电压测试、共模抑制比测试。

### 实验简介

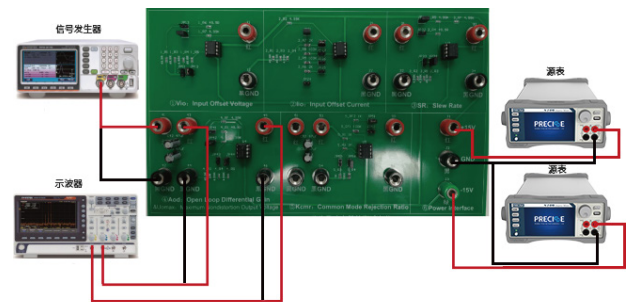
集成运放特性参数实验夹具盒总共包含了 6 个部分:①输入失调电压测试区;②输入失调电流测试区;③转移速率测试区;④开环差模电压增益和最大不失真输出电压测试区;⑤共模抑制比测试区;⑥供电区。

本夹具盒使用 LM358 集成运放,运放芯片使用  $\pm 15V$  电压供电,两台数字源表分别设置在电压输出模式下源表 1 输出  $+15V$ ,源表 2 输出  $-15V$  电压,连接到供电区。

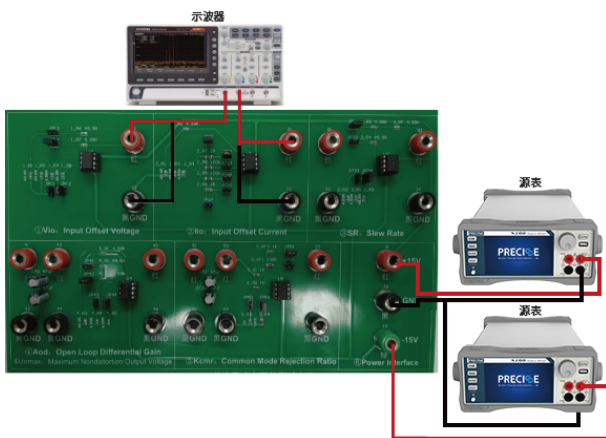
### 实验设备及实验结果



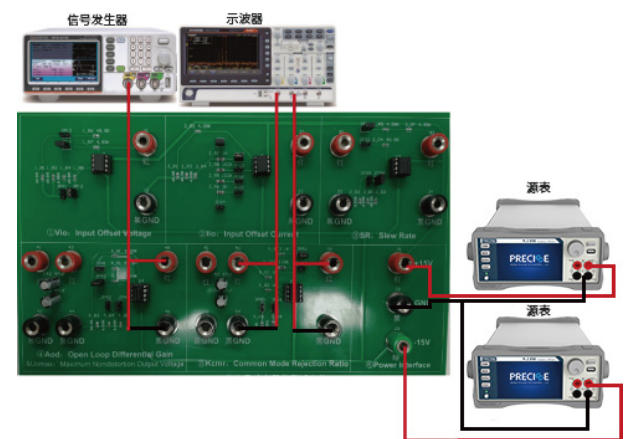
电路2: 转移速率测试



电路3: 开环差模电压增益和最大不失真输出电压测试



电路1: 输入失调电压/电流测试电路



电路4: 共模抑制比测试

## 附录十三:VCO 压控振荡器测试实验

### 实验目的

1、了解压控振荡器VCO结构及工作原理;2、掌握压控振荡器VCO常规参数测量方法;3、熟悉数字源表、示波器等仪表的使用。

### 实验测试参数

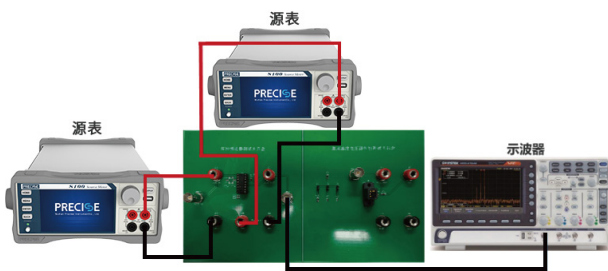
分别测量压控振荡器在1V、3V、5.5V输入电压下输出波形频率。

### 实验简介

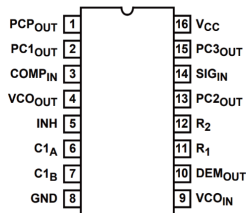
压控振荡器 (VCO) 是许多可调通信、无线电、雷达、传感和测量系统的关键元件。VCO本质上是由输入电压 (通常为模拟电压) 控制的振荡器。因此,在整个可调范围内调节调谐电压可以成比例地改变VCO的输出射频信号。VCO是锁相环路、函数发生器、频率合成器、雷达、本地振荡器 (LO) 中的关键元件,同时也是频率可调频率发生器测试和测量设备中的关键元件。

本次实验测试的器件CD74HC4046A是锁相环电路,主要由相位比较器 (PC),压控振荡器 (VCO)、低通滤波器三部分组成,本次实验只使用到VCO功能部分;实验中主要用到2台数字源表以及一台示波器。

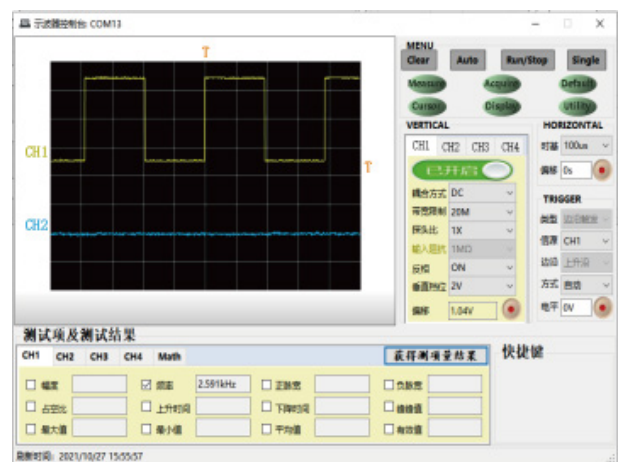
### 实验设备及实验结果



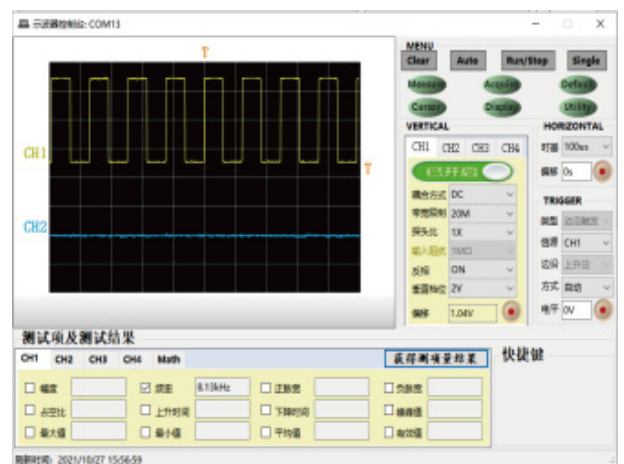
实验接线示意图



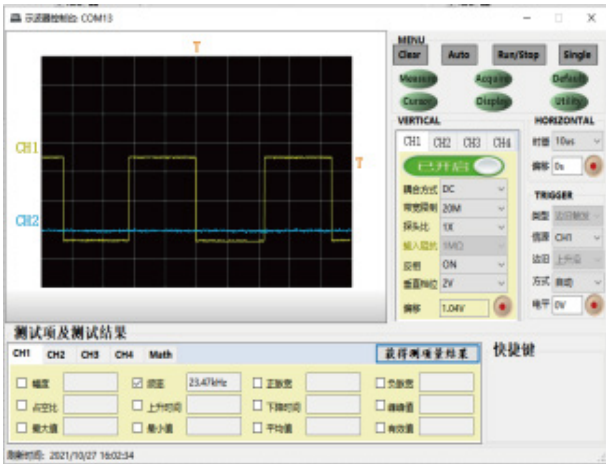
PCPOUT	相位比较器脉冲输出	VCC	供电电压
PC1OUT	相位比较器1输出	PC3OUT	相位比较器3输出
COMPIN	比较器输入	SIGIN	信号输入
VCOOUT	VCO输出	PC2OUT	相位比较器3输出
INH	禁止输出	R2	电阻R2连接
C1A	电容C1连接A	R1	电阻R1连接
C1B	电容C2连接B	DEMOUT	调节器输出
GND	接地	VCOIN	VCO输入



1V输入电压



3V输入电压



5.5V输入电压

## 附录十四：逻辑芯片IO口特性测试实验

### 实验目的

1、了解TTL门电路和参数的意义及测试方法；2、通过对门电路特性的测试，更好的了解TTL门电路的电气性能和特点；3、进一步熟悉数字源表及电源表的使用方法。

### 实验测试参数

VOL、VOH测试、IOH、IOL测试、IIL、IIH测试。

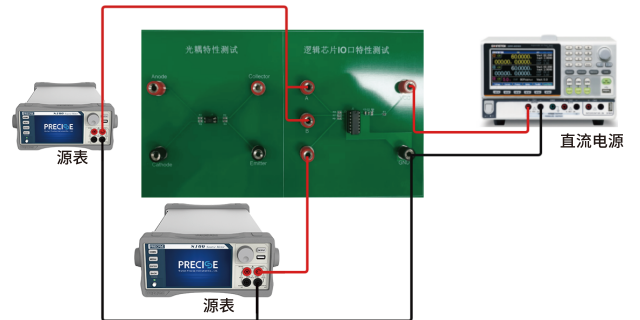
### 实验简介

本实验使用74LS00逻辑芯片为测量器件；74LS00为四组2输入端与非门(正逻辑),非运算输入

要求有两个,如果输入都用0和1表示的话,那么与运算的结果就是这两个数的乘积。如1和1(两端都有信号),则输出为0;1和0,则输出为1;0和0,则输出为1。

本实验配备3台仪表,一台数字源表接入到两输入端引脚,通过调节输入电压大小来控制输出电平;另外一台数字源表接入到器件输出端,测量输出电平信号;电压源为芯片提供工作电压。

### 实验设备及实验结果



实验接线示意图

INPUTS		OUTPUT
A	B	Y
H	H	L
L	X	H
X	L	H

74LS00真值表

## 武汉普赛斯仪表有限公司

WuHan Precise Instrument Co., Ltd.

地址：武汉东湖新技术开发区308号光谷动力绿色环保产业园10栋

邮箱：pssins@whprecise.com

网址：www.whpssins.com

电话：027-87993690

©内容版权归普赛斯仪表所有，如有改动，恕不另行通知。

PF-JXSY-C001 CH-202211-PDF



微信公众号



官方网站