

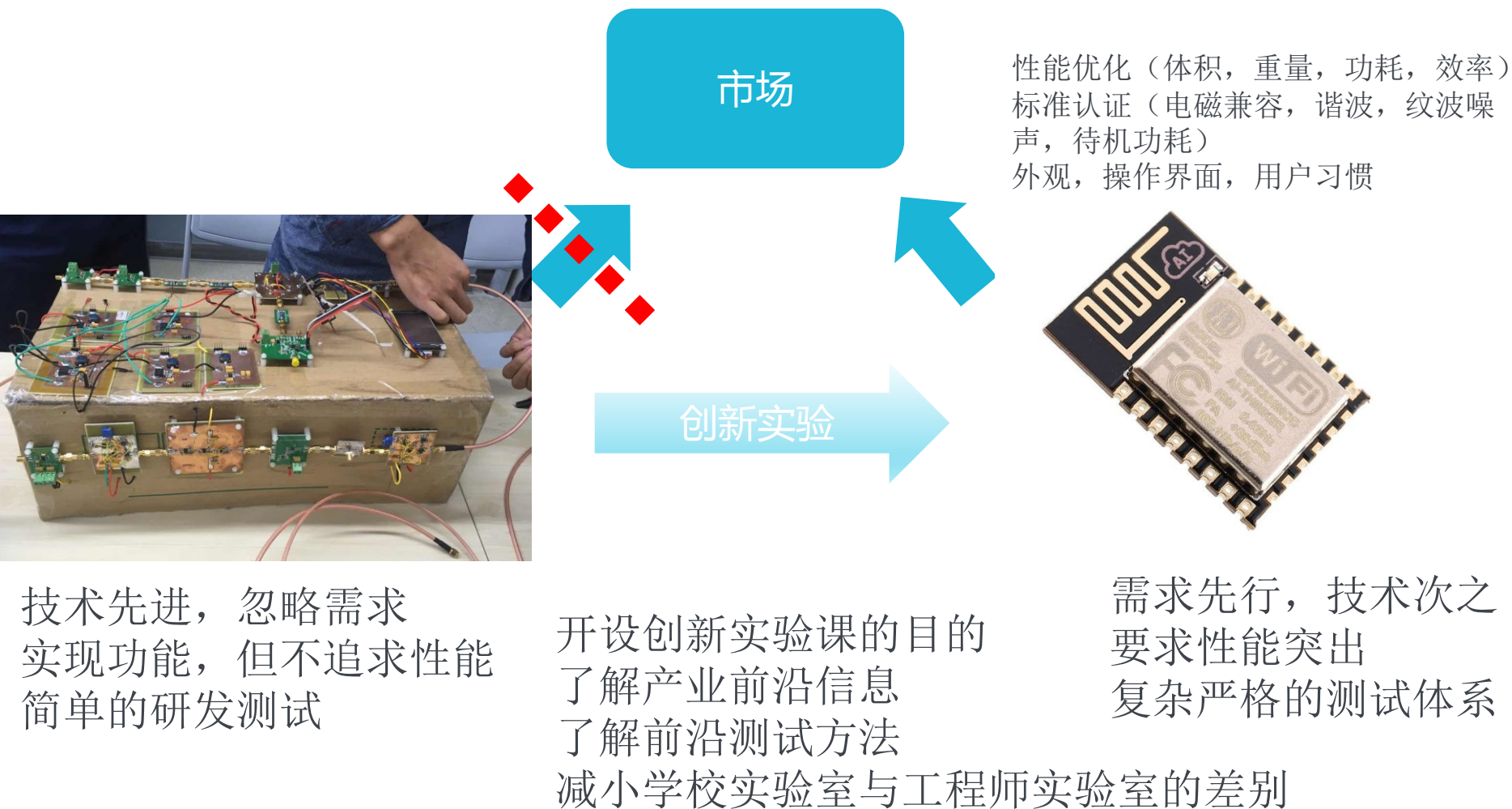


泰克教育行业实验室 解决方案

30 MARCH 2018

教学改革的目的：产学研结合

开设创新实验课，探索新工科教育改革的方向



拉近学生实验室与工程师实验室之间的距离



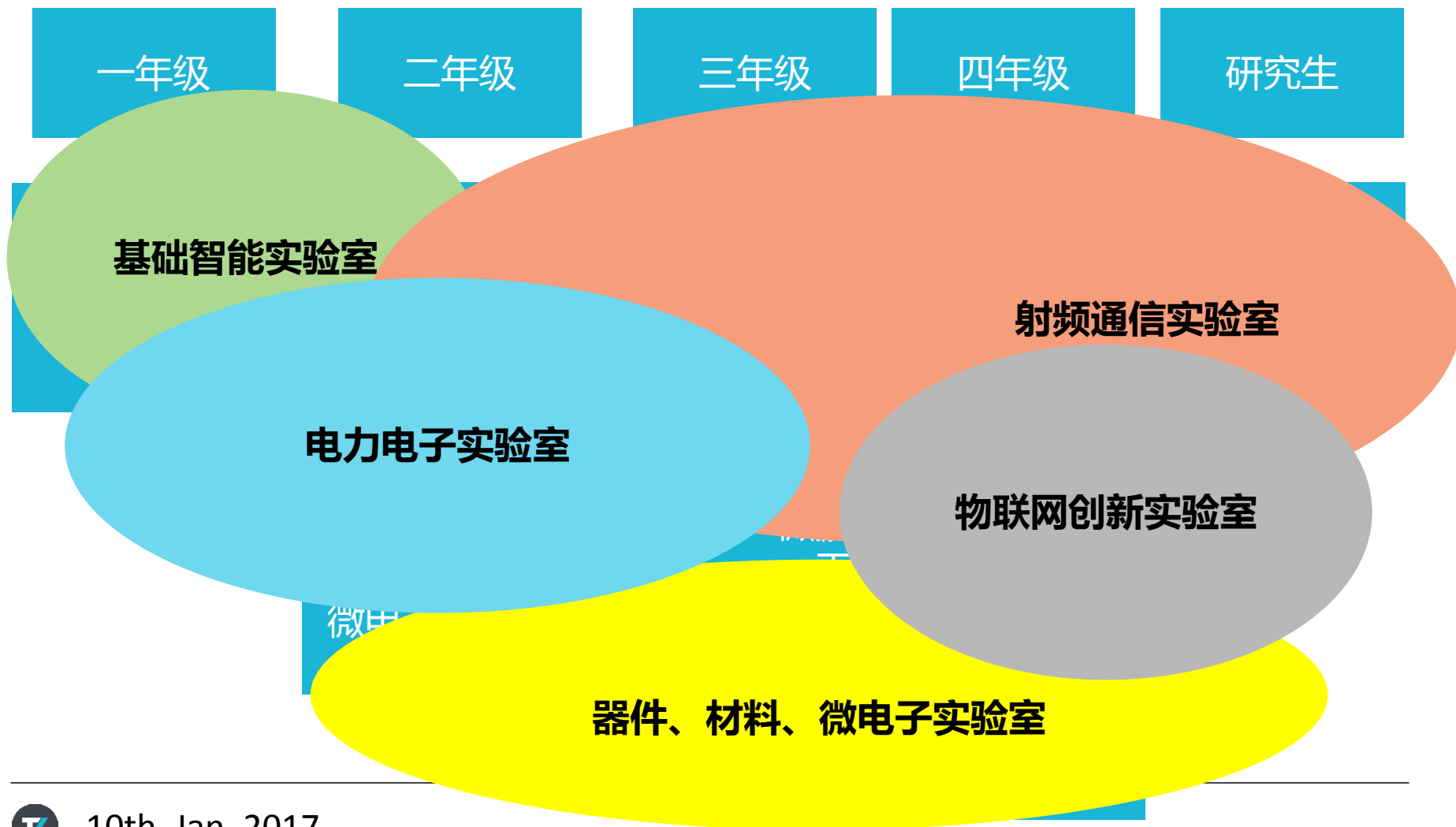
对这些学生来说，不光是电子工程，所有学生都一样，他们现在用到的设备就是他们将来在工作岗位上见到的 - Jim Fisher

学校实验室的要求：

1. 设备性价比高，适合学校使用
2. 课程设计贴近真实产业应用，培养解决复杂工程问题的能力

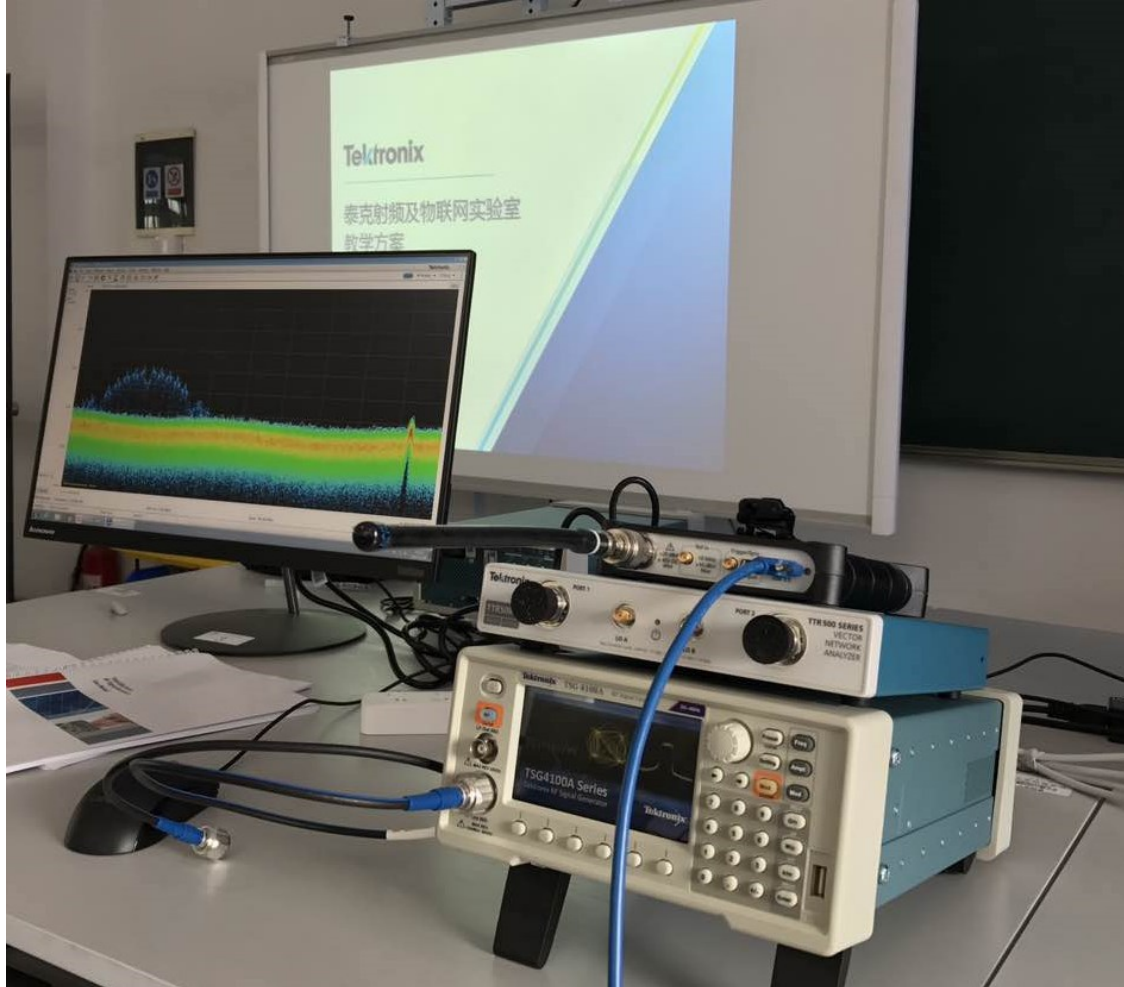
泰克将相关产业经验融入实验教学

覆盖低年级到高年级的实验课程设计方案



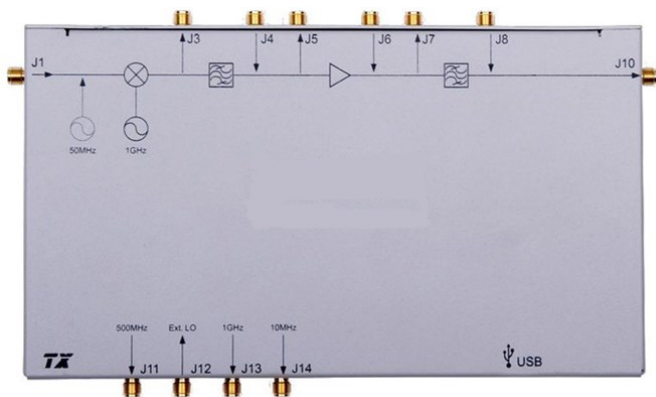
泰克射频微波实验室：Tek RF Lab

将现代射频通信技术和软件无线电概念带入教学实验室



传统的射频通信实验室实验方法

验证性实验为主，缺乏动手设计能力，功能简单，技术落后



传统实验箱功能简单，工作频率低，支持的调制方式单一

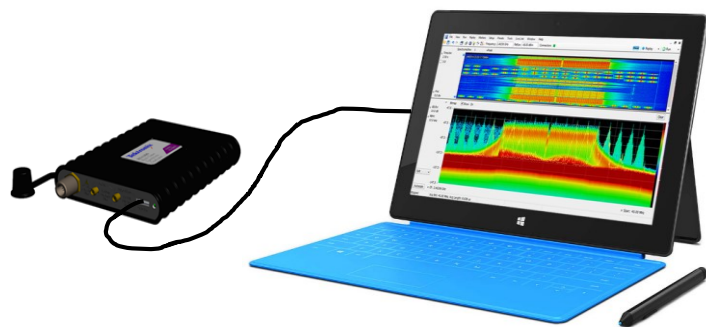


高端实验室价格昂贵，学校教学难以承担



泰克高性价比射频仪器满足射频实验室需求

矢量信号源，矢量信号分析仪，矢量网络分析仪



无可比拟的性能价格比

频率范围：9 kHz – 6.2GHz

9KHz – 3/7.5GHz（带跟踪源）

40M 带宽 IQ Streaming

DPX实时频谱分析功能



DC – 2/4/6G Hz

内置6M，外置400M 矢量调制

支持多种商用标准

性能不低于同档次产品

价格低于同类产品30%



100KHz – 3/ 6GHz

全双端口S参数矢量网络分析

内置直流偏置

多种校准套件

价格低于同类产品50%



通信/射频/微波实验室- RSA306+TSG4000

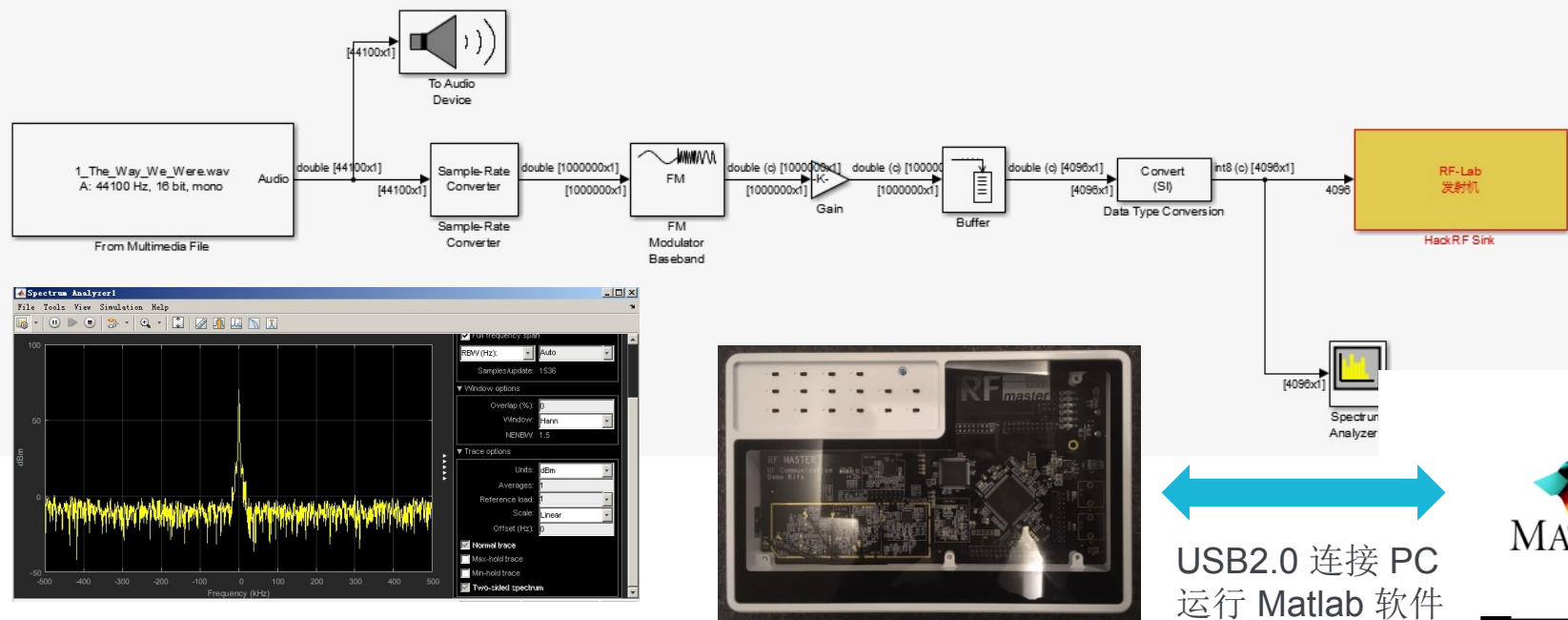
- 射频通信实验课的困扰
 - 传统通信类实验课频率低，调制方式简单，不涉及数字调制内容
 - 射频仪器价格昂贵，不能开放给本科学生使用
 - 没有高性能的实验板及可借鉴的实验教材
- 我们的方案 - RSA306 + TSG4000 + RF Lab 射频实验板



实验板控制软件使用 Matlab Simulink

提供上位机与 MATLAB 软件接口

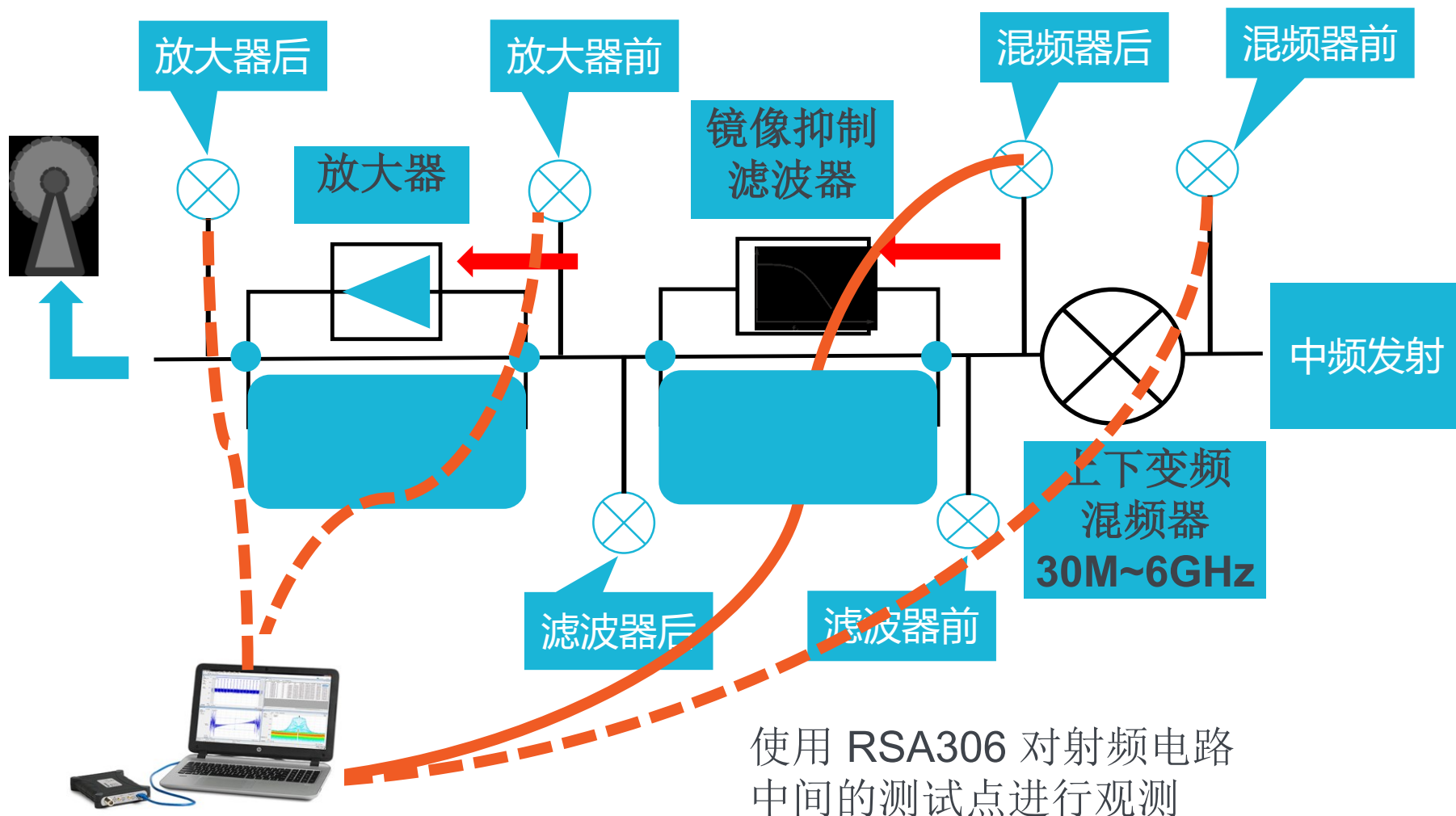
- Matlab Simulink 仿真工具箱提供了丰富的通信功能模块，被广泛的使用在通信原理教学实验中。软件用于处理基带信号，负责完成信号调制，解调和显示



Matlab里面观察到的基带信号频谱

对发射机在射频电路部分进行测试

在整个频段观察混频后输出的信号和噪声干扰

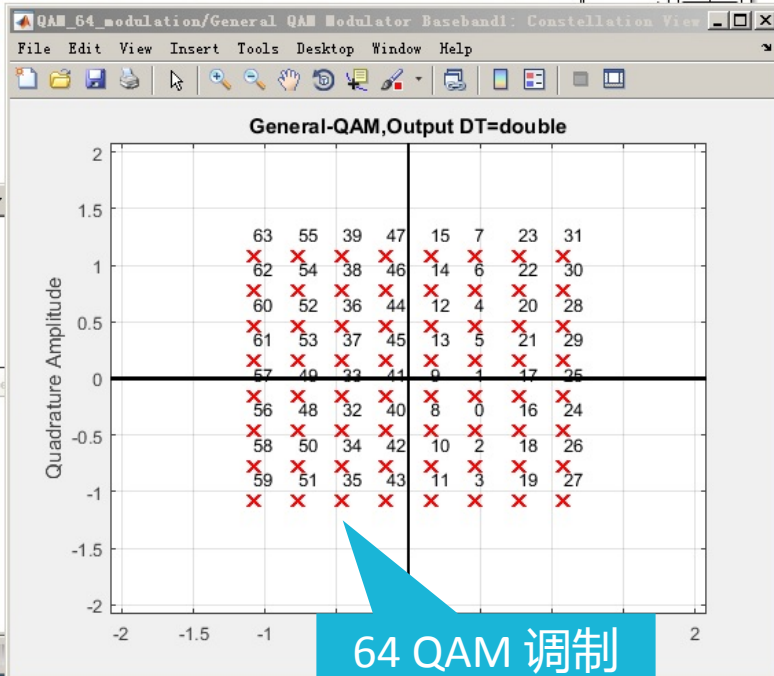
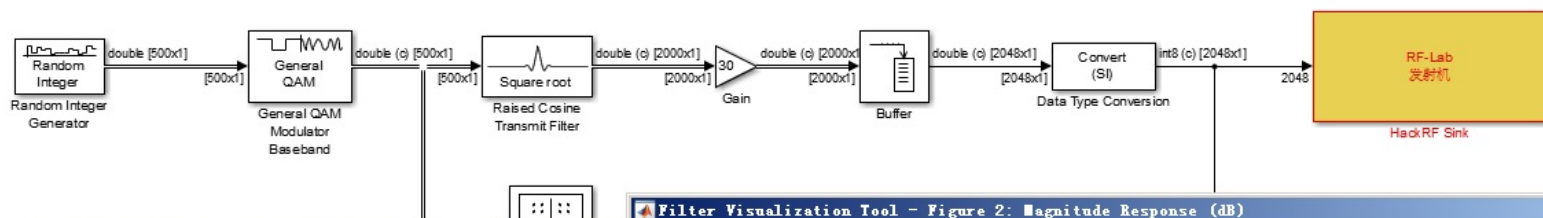


使用 RSA306 对射频电路中间的测试点进行观测

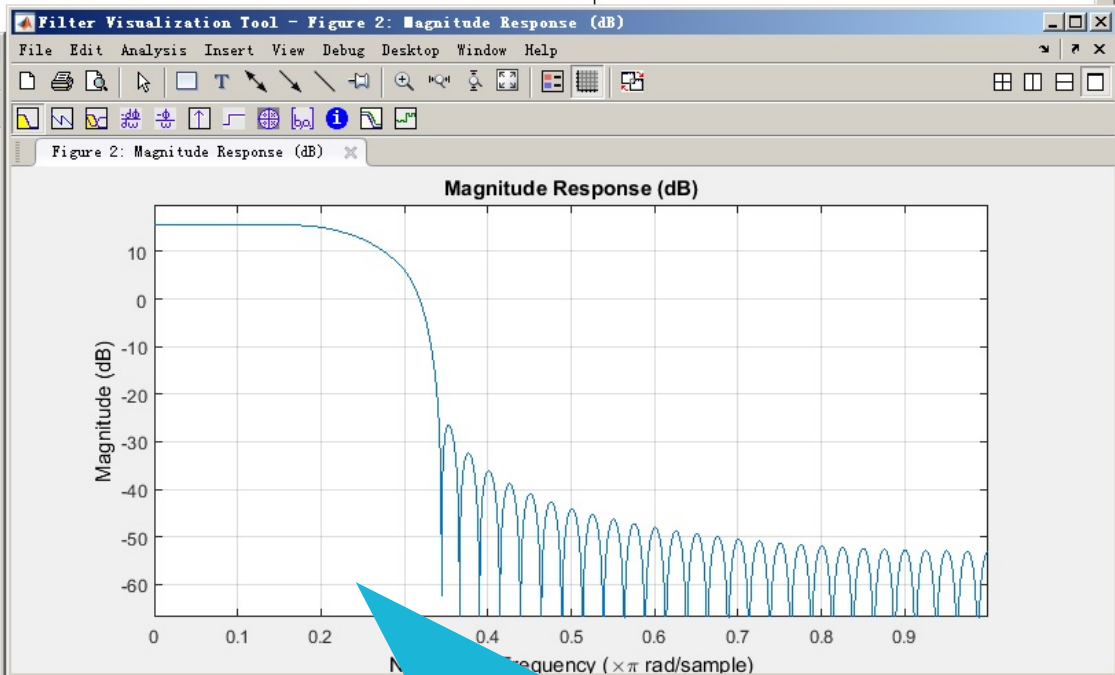
数字调制实验（产生复杂数字调制信号）

使用 RF LAB 实验板产生 64QAM 调制信号，使用频谱仪进行测试

64 QAM modulation



64 QAM 调制
星座图示意图

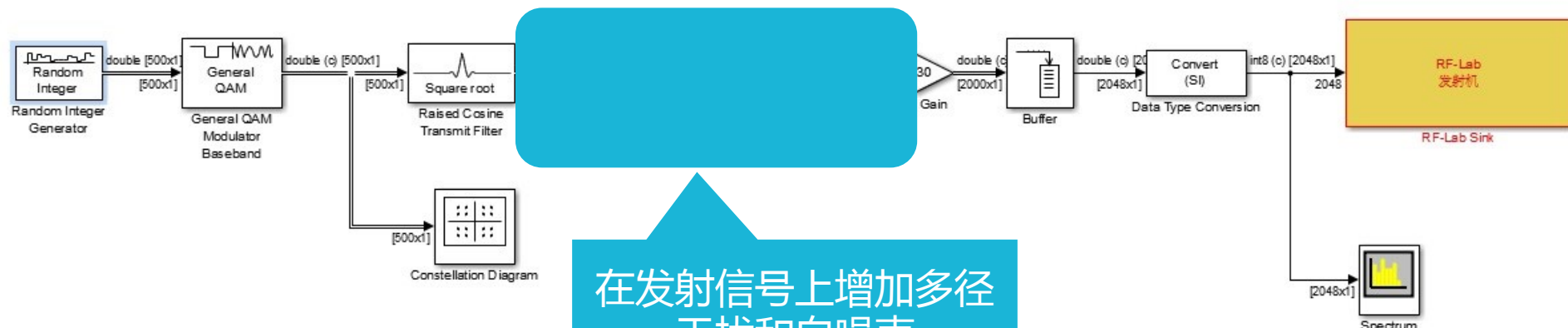


滚降系数为0.35的升余
弦滚降滤波器

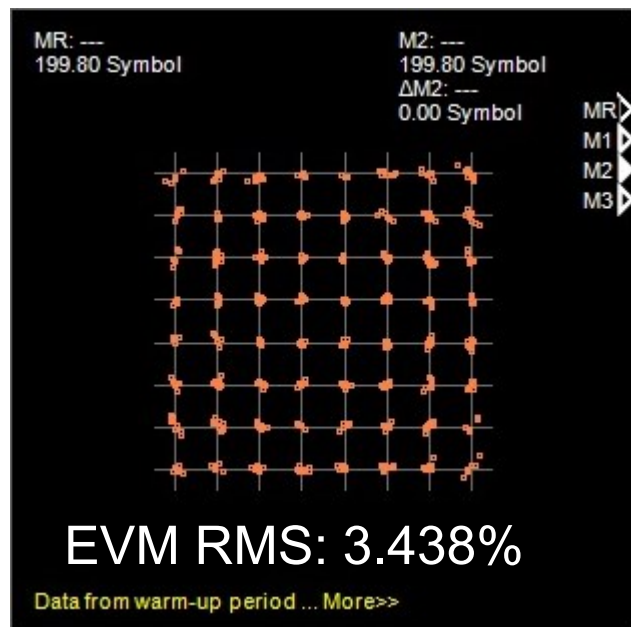
数字调制解调实验

为发射信号增加信道干扰和噪声

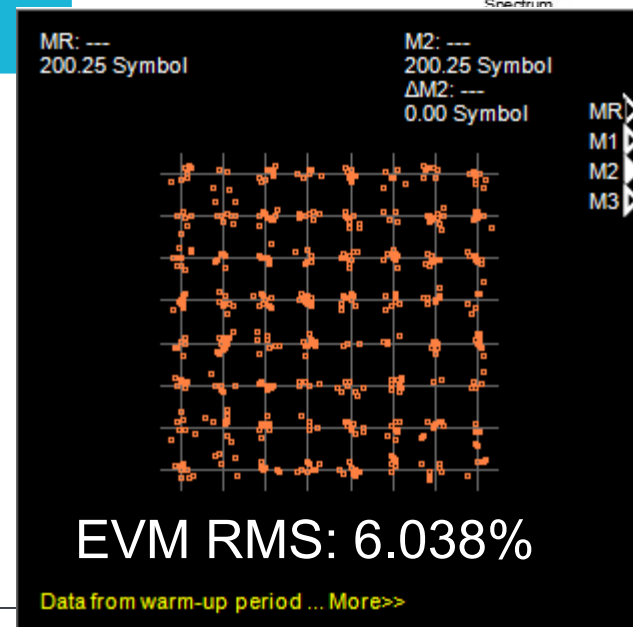
64 QAM modulation



在发射信号上增加多径干扰和白噪声

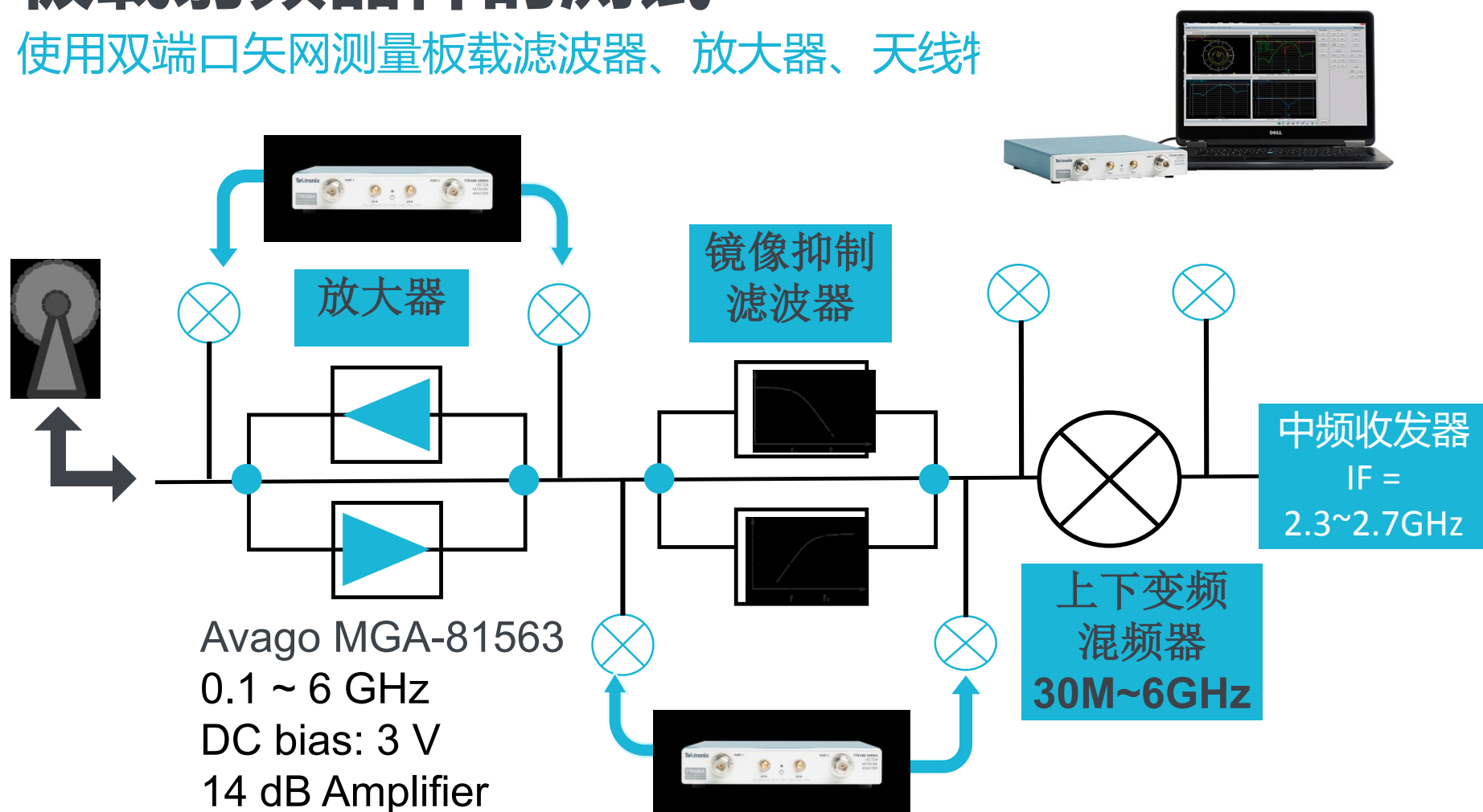


增加干扰后，
RSA 306 解调得到的星座图变差，
EVM值变大



板载射频器件的测试

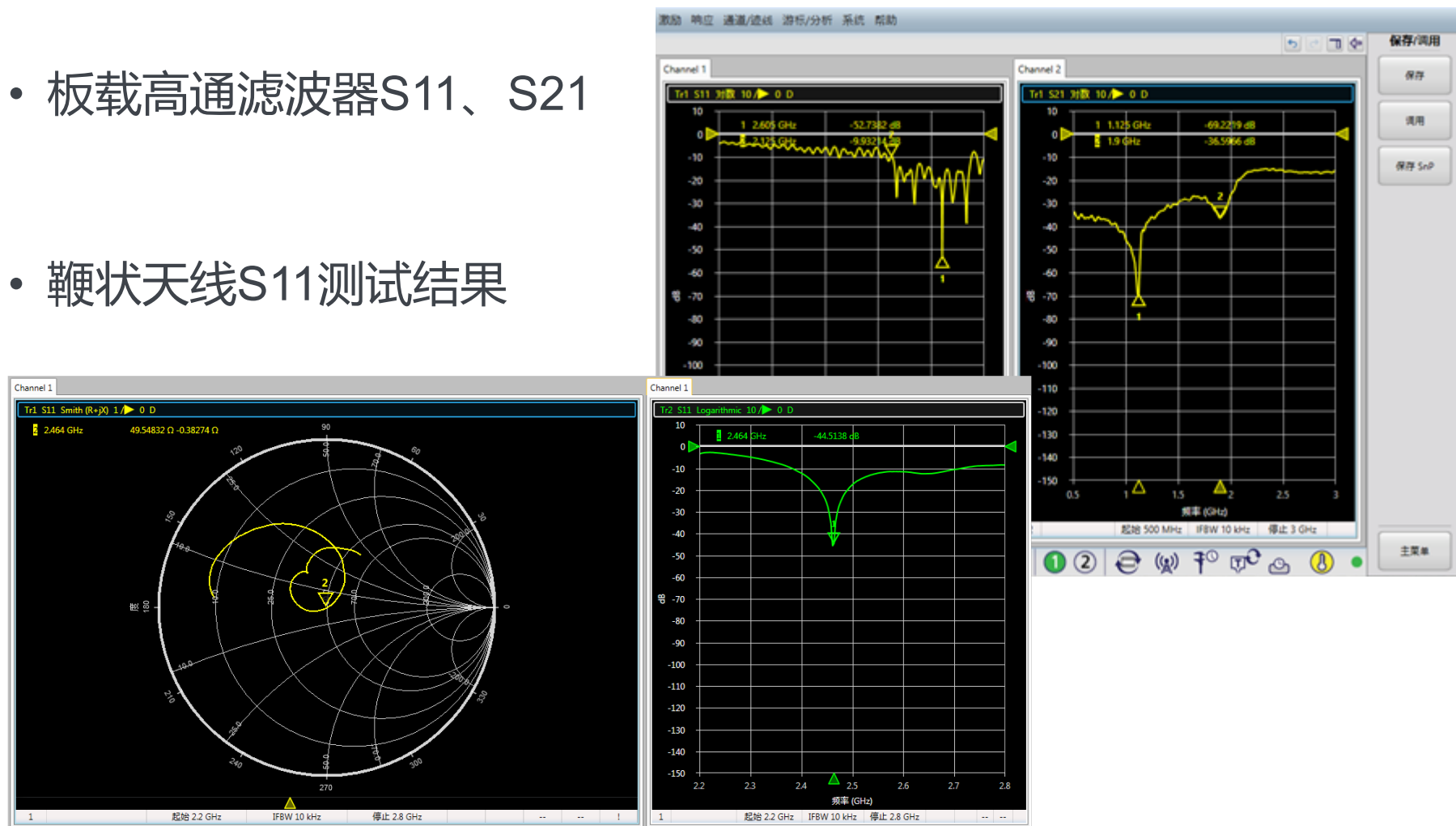
使用双端口矢量网测量板载滤波器、放大器、天线



板载射频器件的测试

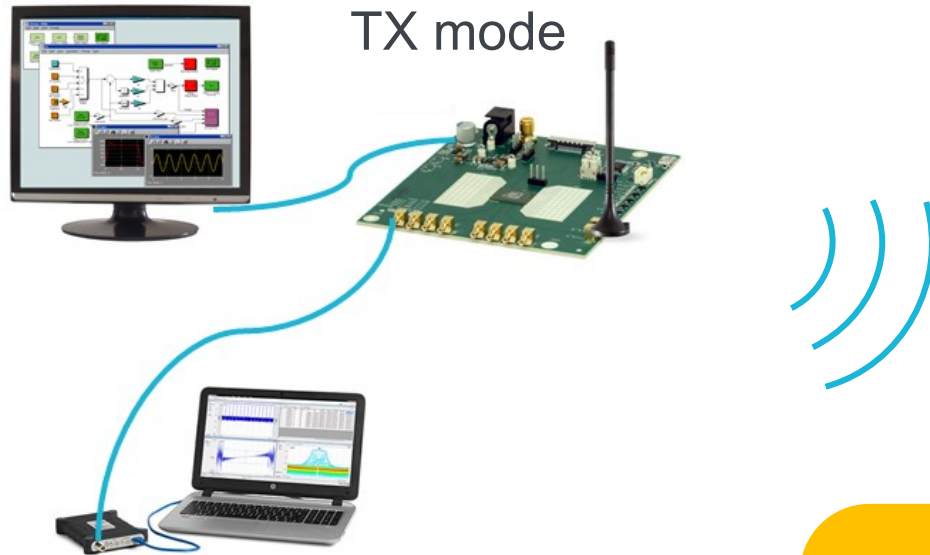
使用双端口矢量网测量板载滤波器、放大器、天线特性

- 板载高通滤波器S11、S21
- 鞭状天线S11测试结果



教学实验的开展方式

利用软件无线电概念，搭建发射、接受机，在课堂上实现无线通信功能

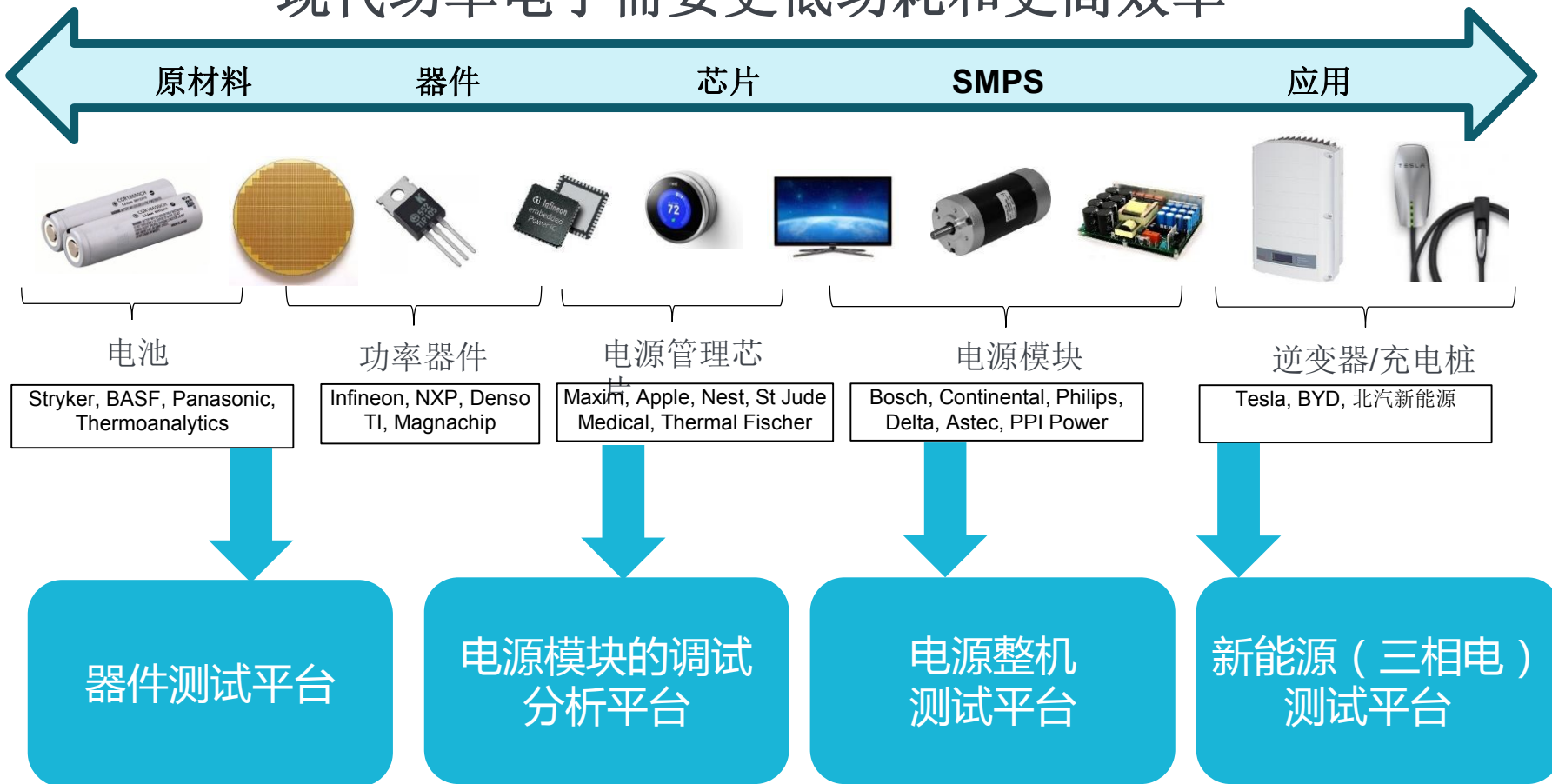


半双工工作模式，带有数字调制模式，**20MHz** 带宽，**30MHz~6GHz** 工作频率
可以使用多种调制解调方式实现声音，文字，图像的传输

电力电子创新实验课程

梳理产业结构，将现代测试案例和测试手段带入学校实验室

现代功率电子需要更低功耗和更高效率



实验平台一：器件测试平台

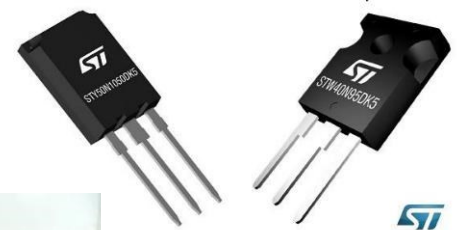
了解电池和功率器件的前沿技术和发展方向，掌握直流特性的测试技术

- 实验内容：

- 实验A：锂离子电池的特性测试
- 实验B：功率器件的特性测试

- 产业发展方向：

- 三元聚合物锂离子电池
 - 更高的能量密度
 - 更长的循环寿命
- 功率器件
 - 新材料的发展：GaN, SiC, 宽禁带半导体材料
 - 更快的开关频率，更高的能量密度
 - 新型功率器件：IGBT
 - 更高电压电流工作条件
 - 更节能更高效



实验平台二：电源模块的调试分析平台

了解不同拓扑结构电源模块的特性，掌握电源模块的调试与分析方法

• 实验内容：

- 实验A：开关电源效率提升的方法
- 实验B：电源抑制比和环路响应测试
- 实验C：电源纹波噪声的测试方法
- 实验D：电源开关损耗测试
- 实验E：APFC 的电路分析和性能研究



• 产业发展方向：

- 电源产品更高功率，更快速度，更高密度
 - 要求电源完整性测试：开关损耗，纹波噪声，环路响应
- 电源芯片追求更高的效率和更小的静态功耗
- 主动PFC 技术提高功率因数，降低功耗



实验平台三：电源整机测试平台

了解在产业热点行业中，电源整机的应用方向和关键测试指标

- 实验内容：

- 实验一：LED 驱动电源的测试
- 实验二：无线充电电源的测试

- 产业发展方向：

- LED驱动电源
 - 国家环保节能要求更多使用LED照明
 - 更严格的行业标准（六级能耗，谐波测试）
 - 更高的效率更长寿命，更低的待机功耗
- 无线充电电源
 - 家用无线充电大面积普及，新能源汽车无线充电标准尚未统一
 - 更高效率，更低待机功耗，更少的电磁辐射
 - 关心效率与空间相对位置之间的关系
 - 更大功率，更远的传输距离，一对多充电



LED驱动电路的测试平台搭建

测试连接框图

交流电源

- 负责LED驱动器的供电
- 提高自动化程度
- 降低电源纹波对测试结果的影响
- 兼容ITech IT7321

功率分析仪

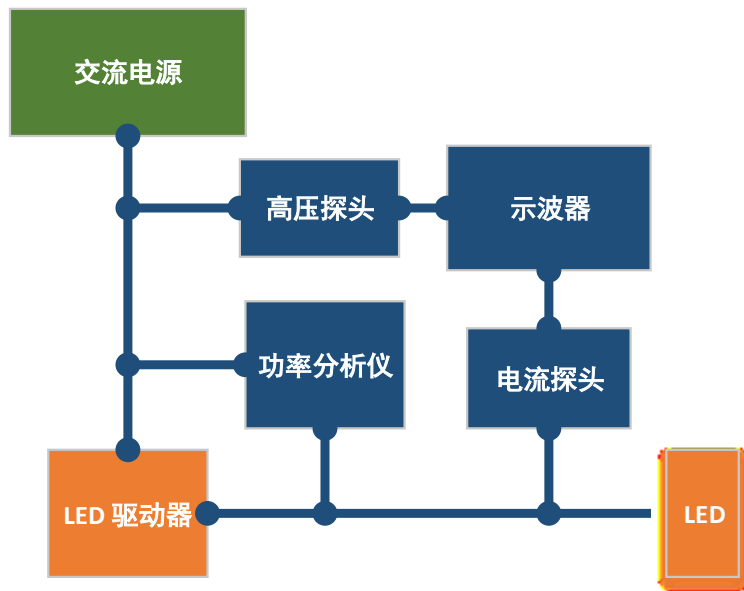
- 主要负责功耗测试、谐波测试和输入输出测试
- 兼容PA3000和PA1000（两台）

示波器及探头

- 主要负责瞬态测试、调光测试和纹波测试
- 示波器兼容MDO3000和MDO4000，探头为TCP0030A和THDP0200

LED驱动器

- 电流型LED驱动器
- 功率不超过500W
- 市电输入
- 输出电流不超过2A
- 输出电压不超过500V
- 调光模式为PWM调光



LED驱动电路测试项目总览

时序及瞬态测试

- 开机时间测试
- 关机时间测试
- 上升时间测试
- 下降时间测试
- 开机过冲测试

输出特性测试

- 输出电流测试
- 输出电压测试
- 纹波峰峰值测试
- 纹波有效值测试
- 效率测试

输入特性测试

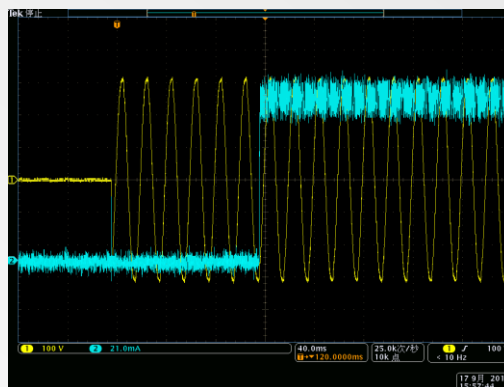
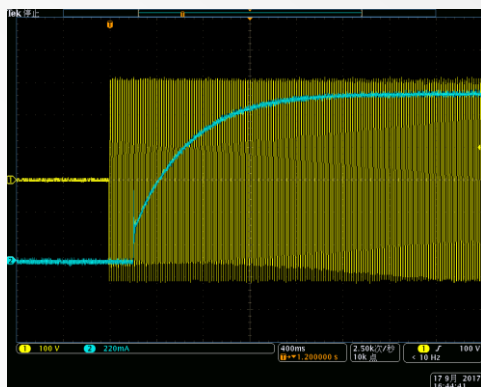
- 浪涌电流测试
- 电流有效值测试
- 电流峰峰值测试
- 输入功率测试
- 功率因数测试
- 谐波测试

调光特性测试

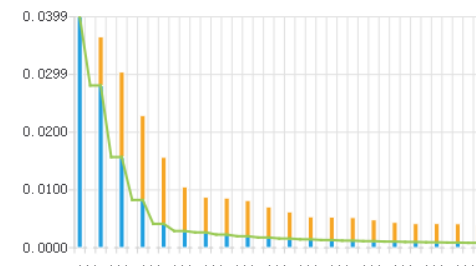
- 调光电流测试
- 调光频率测试
- 调光占空比测试

稳定性测试

- 输出电流监控
- 开关管电压测试



谐波测试结果



实验平台四：新能源（三相电）测试平台

通过新能源行业的热点应用，了解三相电的连接和使用方法

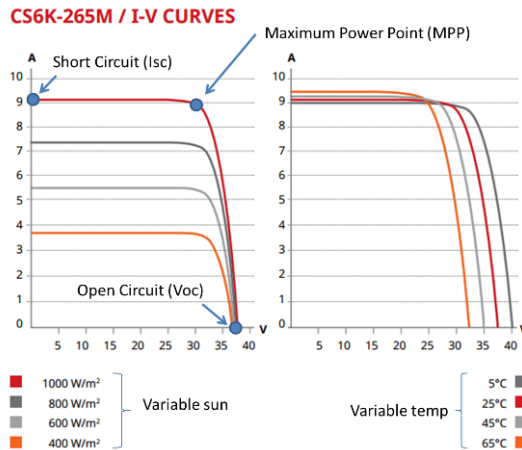
- 实验内容：
 - 实验一：光伏电池的 I-V 特性曲线测试
 - 实验二：MPPT 峰值功率追踪算法的动态实现
 - 实验三：光伏逆变器的设计和测试
- 产业发展方向：
 - 高效率光伏材料的研发
 - 集中式大功率 逆变器功率提升，效率提高
 - 分布式中小功率逆变器进一步普及
 - 并网发电需求增强，谐波降低，逆变器对电网适应能力提高



实验一：光伏电池单元的输出特性测试

验证光伏电池单元的输出伏安特性曲线，观察环境因素对输出的影响

- 测试项目：
 - I-V 特性曲线，开路电压点，短路电流点，最大功率点，填充因数等
 - 改变光照条件和环境温度测试 I-V 曲线的变化

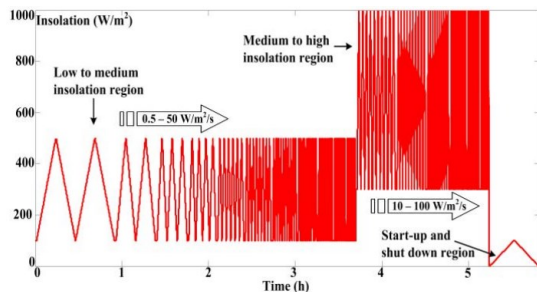


实验二：MPPT 算法的验证测试

测试连接和主要测量内容



光伏模拟器



根据EN50530生成的动态光照变化曲线



MPPT开发板



功率分析仪

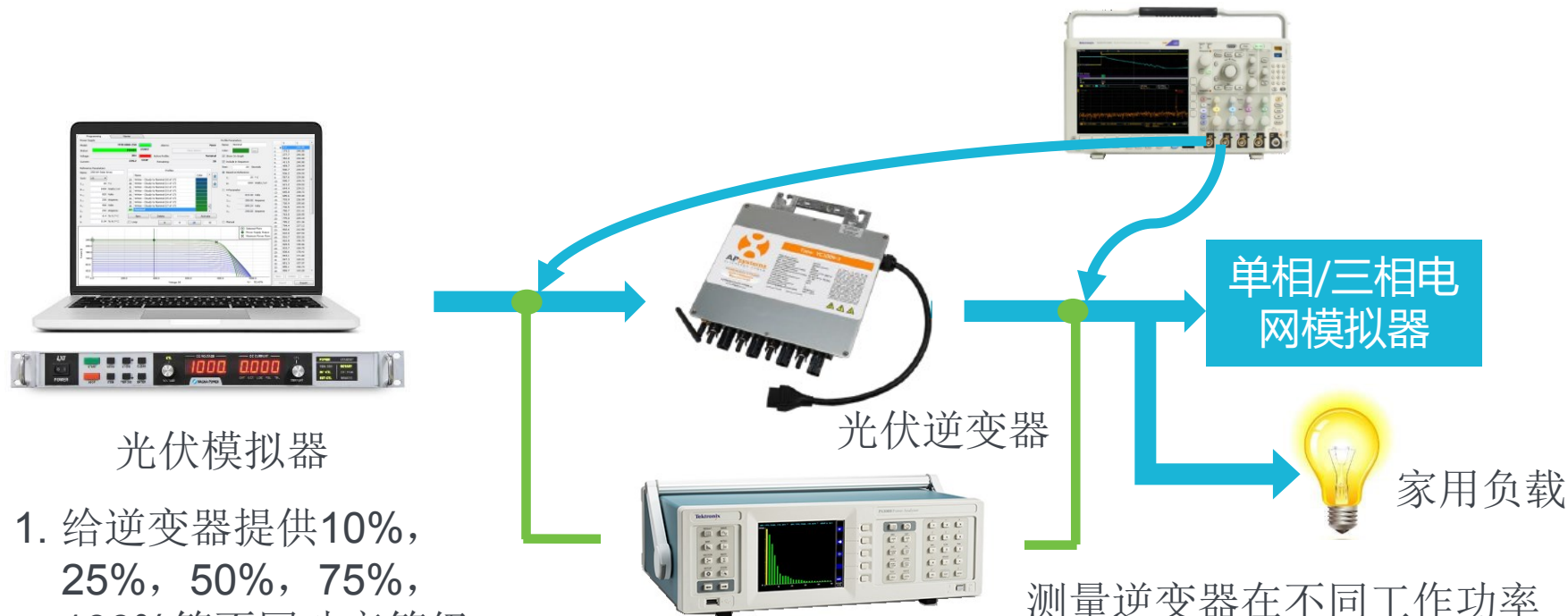


测量MPPT DC-DC转换电路的：

1. 转换效率
2. 扫描范围，扫描速度

实验三：三相光伏逆变器的测试

测试连接和主要测量内容



1. 给逆变器提供10%，25%，50%，75%，100%等不同功率等级的直流输入，测试逆变器的MPPT效率
2. 动态调整 I-V 特性曲线观察 MPPT 工作状态，测试稳定时间

测量逆变器在不同工作功率下的：

1. 转换效率
2. 注入电网电流的总谐波失真及各阶次谐波分量
3. 功率因数
4. 三相电压及电流不平衡度

物联网创新测试实验内容

从直流到射频的完整测试训练

物联网设备的组成:

- 能源模块
- 电源管理单元
- 无线射频单元
- 传感器单元

能源模块

- Li-Lion
- 3A 电池
- 纽扣电池

电源管理模块

- AC-DC
- DC-DC/LDO
- Charger
- PMU
- 能源收集



无线射频模块

- MCU
- Zigbe
- Wifi
- Lora
- BT

传感器模块

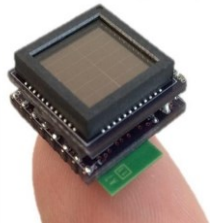
- 距离传感器
- 烟雾传感器
- 光传感器
- 心律传感器
- 温度传感器
- 角速度传感器

IOT 测试平台的搭建

核心六合一实验系统，组成从直流到射频的完整物联网实验平台



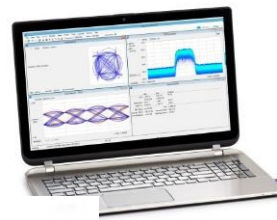
高精度源表



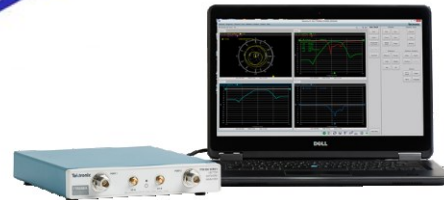
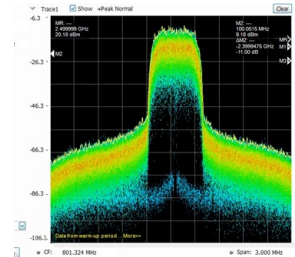
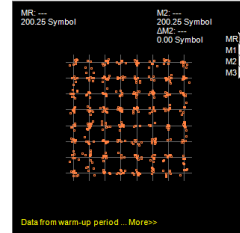
数字万用表



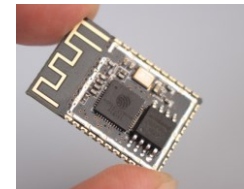
示波器



频谱分析仪
矢量信号源



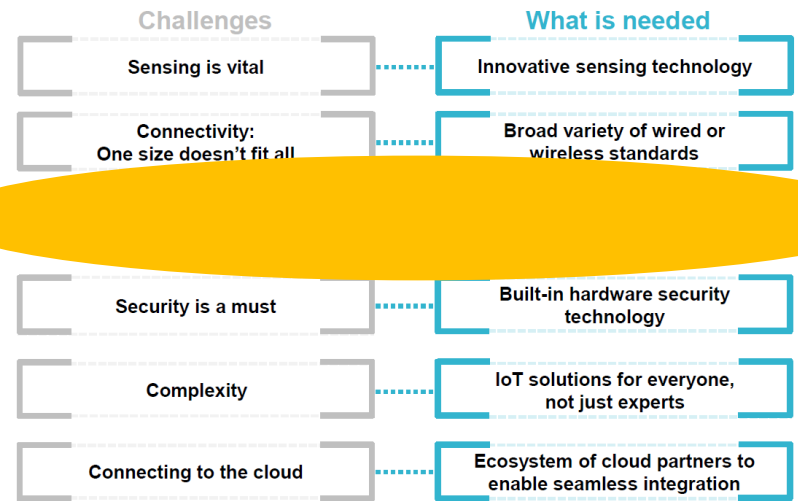
矢量网络分析仪



IoT 能源模块的测试

电池单元、能源采集单元、整机功耗的测试

- 能源模块用于为整个IoT设备提供电能
 - 物联网设备大量使用电池进行供电
 - 需要了解电池性能
 - 工业、农业IoT设备使用Energy Harvest技术
 - 使用能源采集技术提高设备的运行时间，需要测试能源采集回收的性能，可能涉及到光伏电池测试，压电材料测试等
 - 整机功耗测试是IoT设备的关键测试
 - 测量和优化功耗可以延长IoT设备的运行时间



TI公司关于 IoT 产品测试难点和需求的分析

低功耗测试在物联网行业

功耗测试是物联网产品测试中最重要的组成部分

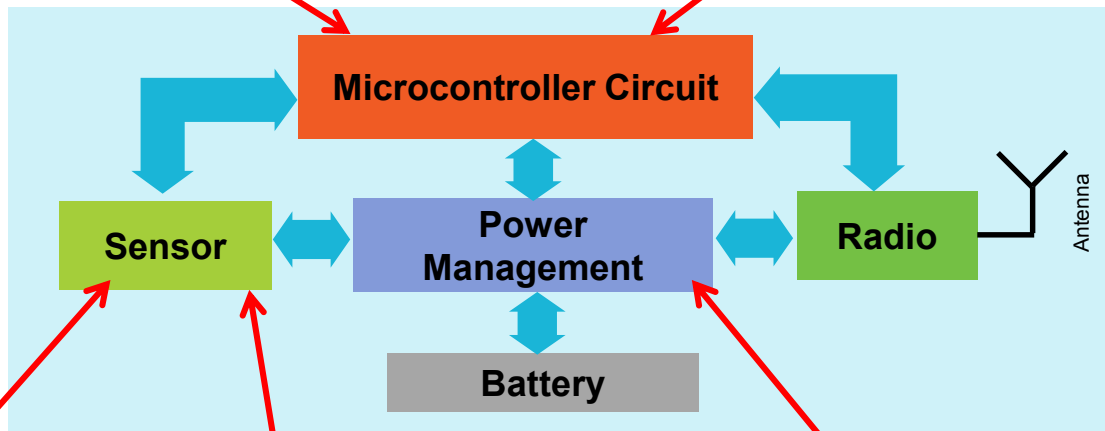
低功耗微处理器

- 深度睡眠模式: **100nA**
- 待机模式: **1 μ A**
- 工作模式: **35 μ A/MHz**

时钟芯片消耗电流: **240nA**

低功耗蓝牙芯片

待机模式下电流: **<100nA**
工作模式下电流: **<8mA**



传感器工作模式: **360nA**

放大器工作模式: **<1 μ A**

DC-DC转换器静态耗电: **680nA**

IoT 功耗分析测试

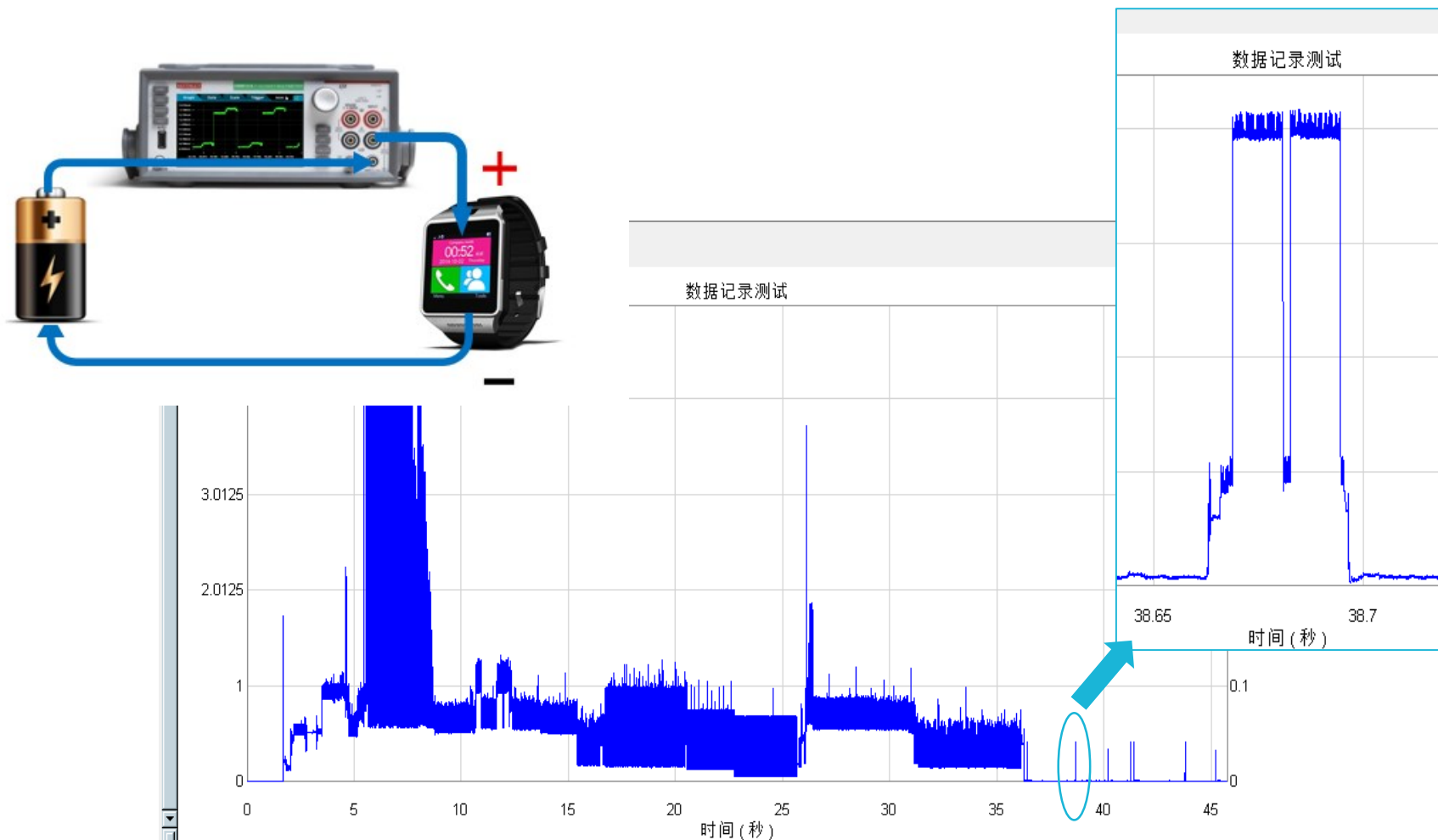
是用高精度万用表测试IoT设备的直流功耗特性

测试难点	测试方法
直流功耗极低，工作状态下mA级电流，待机状态下uA级电流，深度睡眠可能下降到1uA以内，芯片和元器件的待机功耗测试可能低至nA级	DMM7510 提供最高 100pA 测试精度
因为IoT设备工作状态负载，电流变化速度快，可能产生瞬间的电流脉冲，电流脉冲变化速率在几十 KHz，脉冲宽度在ms级以下	DMM7510提供最高1MSa/s采样率，进行直流电流采样，可以快速捕捉到高速变化的电流脉冲，帮助查找故障电流
辅助数据计算分析功能，需要提供平均电流值，最大/最小电流值，电流计算，CCDF分析功能	DMM7510 提供USB/GPIB/LAN编程接口，可以方便电脑端的数据获取和编程控制



典型的IoT功耗测试方案

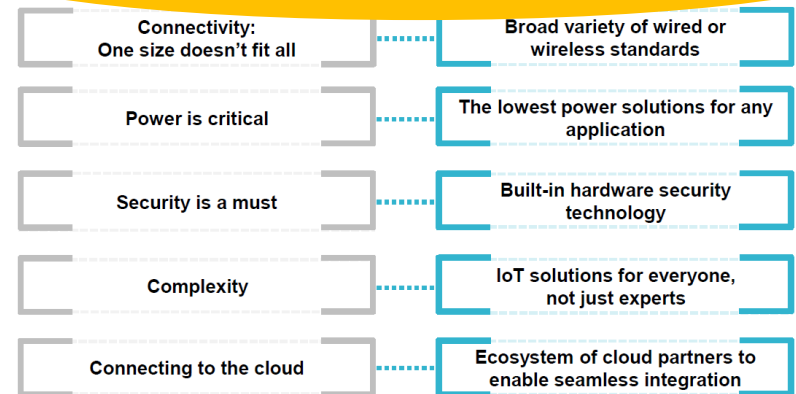
从纳安到安培级电流的快速采集和测量



IoT 传感器单元的测试

力、光、振动、流体传感器的测试

- 传感器可以将物理信号转化为电信号进行测试
 - 光电传感器
 - 将光学信号转化为电学信号，可以传输数据，测试距离，手势识别，3D成像
 - 霍尔传感器
 - 根据霍尔效应，测试位移，速度，转速，转数等信息



VCSEL 3D 传感器测试

代表产业热点和未来发展方向

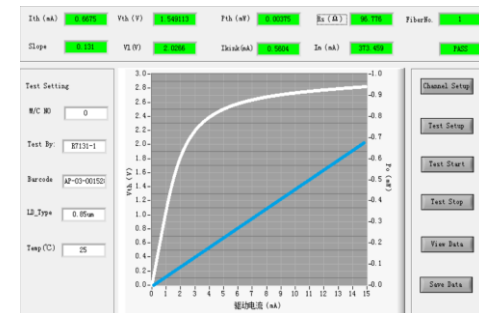
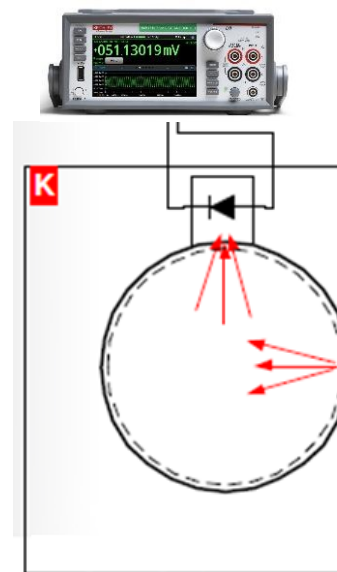


IoT 传感器单元的测试

光电传感器的测试

- 光电传感器被广泛应用于新一代的手机和物联网设备中，用于进行距离测试测，手势识别和3D成像
- 光电传感器测试平台：
 - 源表，光积分球，高精度电流表，上位机和软件
- 需要测试的主要参数：
 - 驱动电流 I ,正向压降 V_f
 - 光功率 P_o
 - 阈值电流 I_{th}
 - 拐点 I_{kink} ,背光电流 I_{dark}

高精度万用表



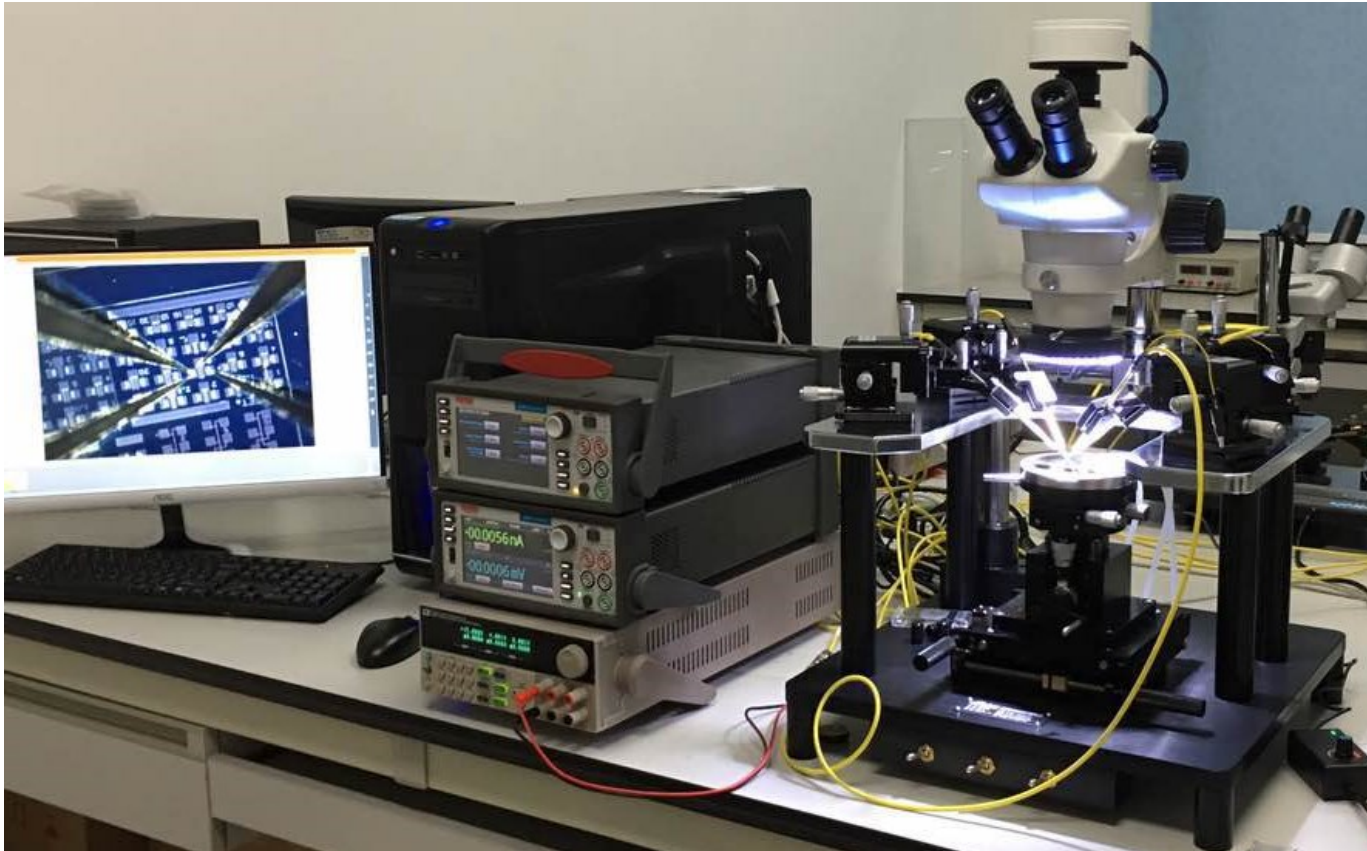
Fiber



高精度源表

半导体器件\材料\微电子实验室

丰富的课程实验解决方案，将先进的微电子测试测量技术带入教学实验室



本科生微电子器件及材料实验室建设

□ 本科生微电子器件及材料实验主要专业课程设置

- 《半导体物理》，《半导体器件物理》，《集成电路工艺原理》等。《微电子器件及材料测试实验》配合《半导体器件物理》和《集成电路工艺原理》，使学生掌握必要的半导体器件和工艺测量的测试原理和方法。

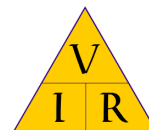
□ 本科生微电子器件及材料实验目的

- 通过实验动手操作，加深对半导体物理理论知识的理解，掌握半导体材料和不同器件性能的表征方法及基本实验技能，培养分析问题和解决问题的能力。

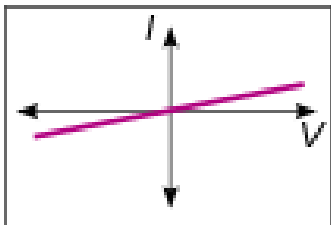
□ 本科生微电子器件及材料实验目录

- 实验一：金属-氧化物-半导体场效应晶体管特性IV特性测试实验
- 实验二：四探针法测量半导体电阻率测试实验
- 实验三：MOS电容的准静态CV特性测试实验
- 实验四：半导体霍尔效应测试实验实验
- 实验五：激光二极管LD的LIV特性测试实验
- 实验六：太阳能电池的特性表征实验

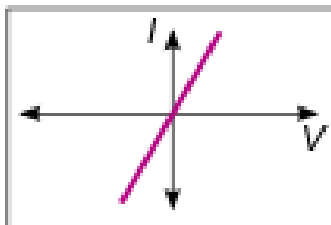
源表SMU的功能：



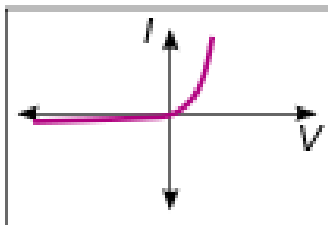
Large resistance



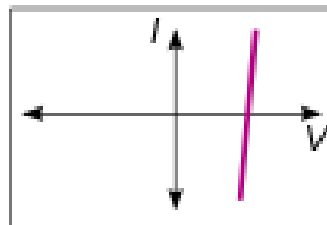
Small resistance



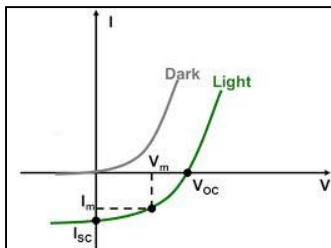
Diode



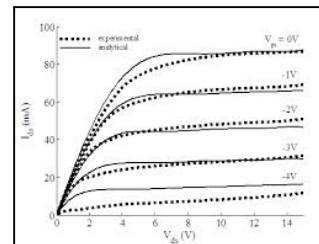
Battery



Solar Cell



Transistor



Keithley 提供了丰富的源表产品，覆盖不同功率范围，可用于研发、生产

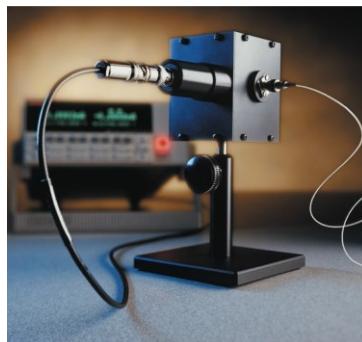
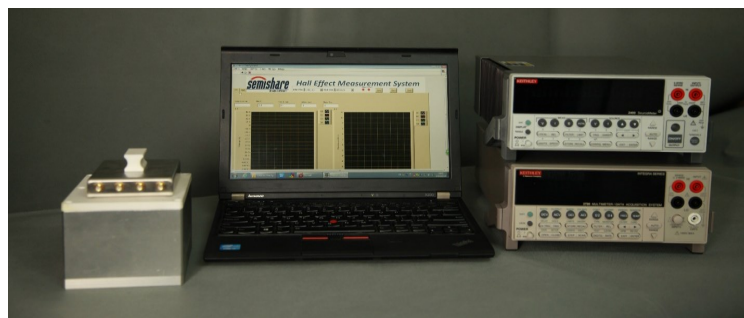


本科生微电子器件及材料实验室测试平台

□ 本科生微电子器件及材料实验测试基础平台和升级选件



微电子器件及材料实验室基础平台：
手动探针台，软件，线缆，夹具盒



微电子器件及材料实验室升级选件：
电源，LCR表，高低温箱，真空泵，
光源，积分球

附录一：金属-氧化物-半导体场效应晶体管特性IV特性测试实验

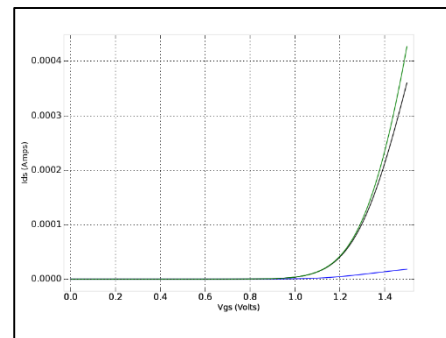
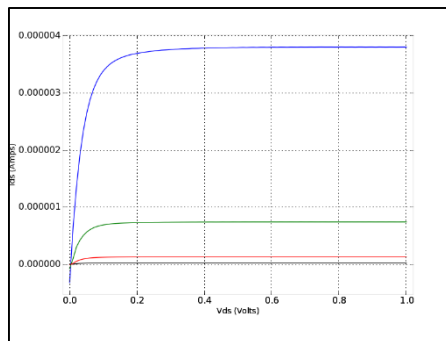
□ 实验目的

- 掌握MOSFET的输入特性测试及分析方法
- 掌握MOSFET的输出特性测试及分析方法
- 学习利用MOSFET的电学特性曲线求解各种参数

□ 实验原理

- 金属-氧化物-半导体场效应晶体管(MOSFET)是集成电路中特别重要的元器件。通过对MOSFET的直流输入特性、输出特性等电学特性测试，可以推算出器件的阈值电压、导通电阻、击穿电压、跨导等重要参数。

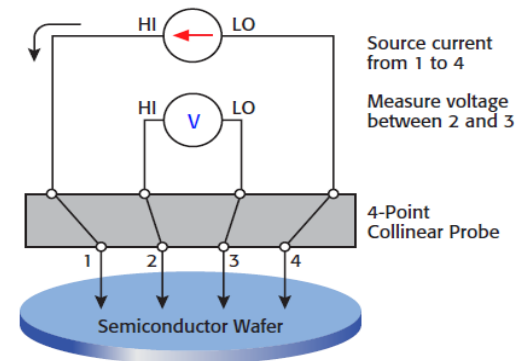
□ 实验设备和测试结果



附录二：四探针法测量半导体电阻率测试实验

□ 实验目的

- 掌握四探针法测量电阻率和薄层电阻的原理
- 掌握四探针法测量电阻率和薄层电阻的测量方法



□ 实验原理

- 电流密度 $j = \frac{I}{2\pi r^2}$
- 电场强度 $E = j\rho = \frac{I\rho}{2\pi r^2}$
- 电阻率 $\rho = 2\pi S \frac{V_{23}}{I}$



□ 实验设备和测试结果



附录三：MOS电容的CV特性测试实验

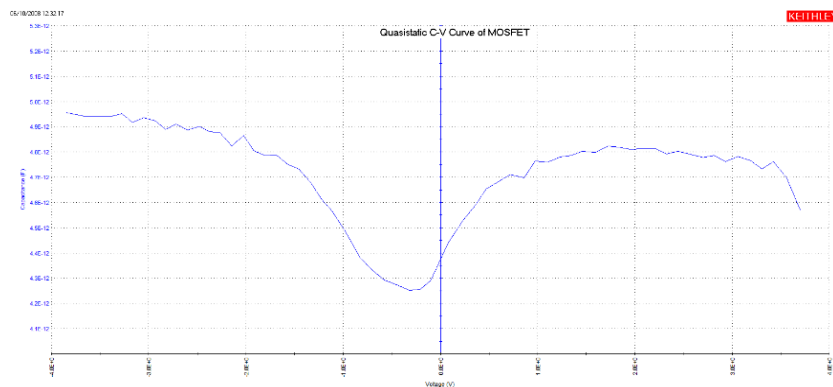
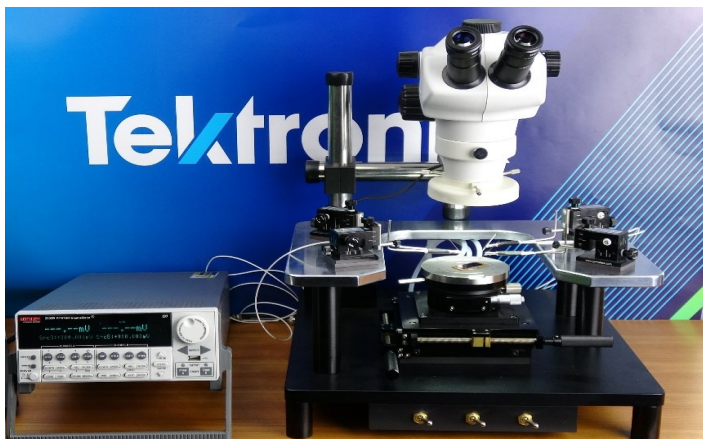
□ 实验目的

- 掌握准静态法测量界面态密度分布的原理
- 熟练掌握准静态C-V测量系统的使用方法
- 掌握源表+LCR表进行高频CV特性测试方法

□ 实验原理

- 通过测试MOS电容的高频和低频C-V特性曲线可以得到栅氧化层厚度、掺杂浓度、界面态密度、平带电容、平带电压等参数。

□ 实验设备和测试结果



附录四：半导体霍尔效应测试实验

□ 实验目的

- 理解和掌握霍尔效应的原理
- 掌握霍尔效应的测量方法
- 掌握霍尔效应的分析方法

□ 实验原理

- 霍尔系数的符号来判断半导体材料的导电类型，是N型还是P型；根据霍尔系数及其与温度的关系可以计算载流子的浓度，以及载流子浓度同温度的关系，由此可以确定材料的禁带宽度和杂质电离能；通过霍尔系数和电阻率的联合测量能够确定载流子的迁移率，用微分霍尔效应法可测纵向载流子浓度分布；测量低温霍尔效应可以确定杂质补偿度。

□ 实验设备和测试结果



附录五：激光二极管LD的LIV特性测试实验

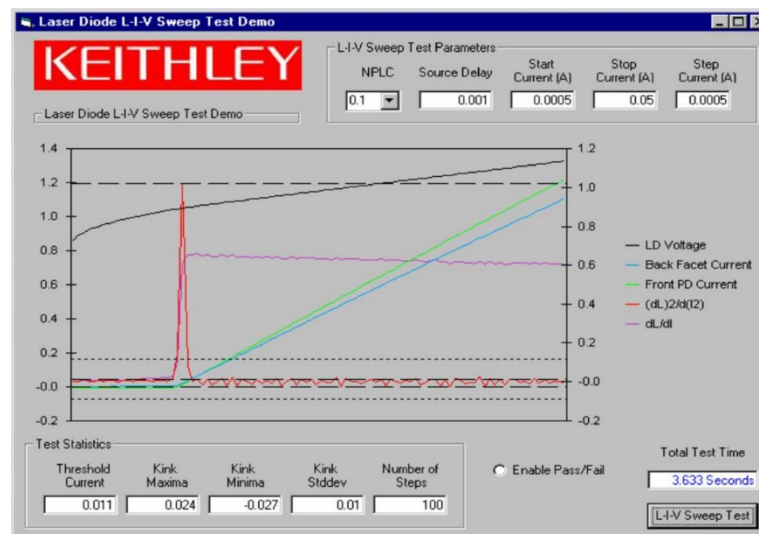
□ 实验目的

- 掌握激光二极管LD的基本原理
- 掌握激光二极管LD的测量方法
- 学习利用激光二极管LD的LIV特性曲线求解各种参数

□ 实验原理

- 半导体激光二极管（LD）或简称半导体激光器，它通过受激辐射发光，是一种阈值器件，适合于作高速长距离光纤通信系统的光源。一般用注入电流值来标定阈值条件，也即阈值电流。LIV特性是选择半导体激光器的重要依据。

□ 实验设备和测试结果



附录六：太阳能电池的特性表征

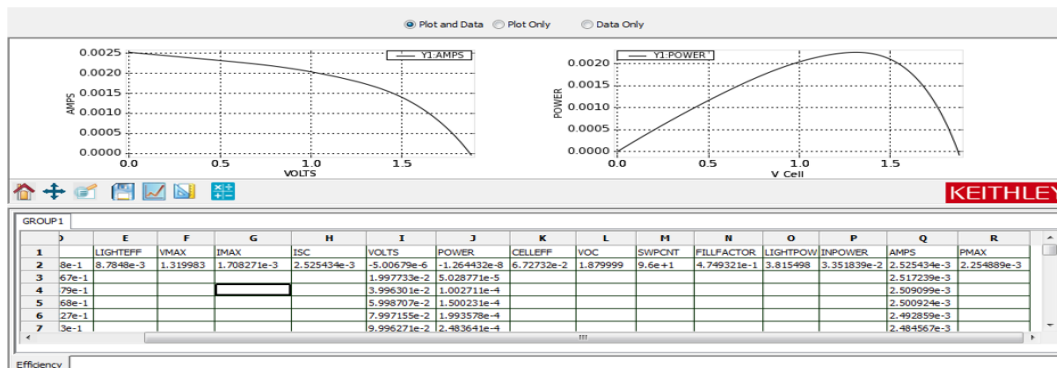
□ 实验目的

- 掌握太阳能电池的基本原理
- 掌握太阳能电池的特性测试及分析方法
- 学习利用太阳能电池的电学特性曲线求解各种参数

□ 实验原理

- 光能就以产生电子-空穴对的形式转变为电能。如果半导体内存在P-N结，则在P型和N型交界面两边形成势垒电场，能将电子驱向N区，空穴驱向P区，在P-N结附近形成与势垒电场相反的光生电场。若分别在P型层和N型层焊上金属引线，接通负载，则外电路便有电流通过。如此形成的一个个电池原件，把它们串联、并联起来，就能产生一定的电压和电流，输出功率。

□ 实验设备和测试结果



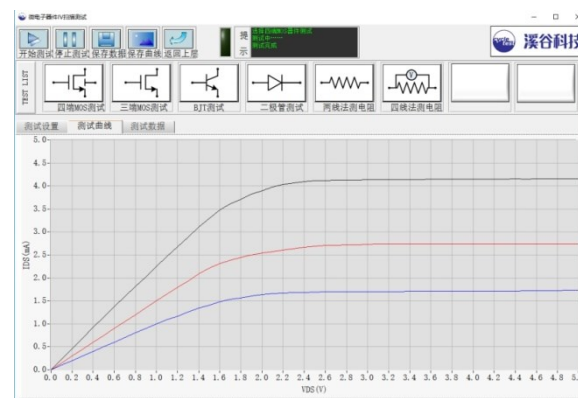
器件\材料\微电子实验室

丰富的测试软件和夹具附件



专门为本科微电子教学和科研开发的实验软件，支持多种类型的实验内容，配合吉时利测试仪表和丰富的测试夹具，使学生在学校就可以熟悉和掌握先进的测试手段

I-V/ C-V 测试是表征微电子器件、工艺及材料特性的基石。



泰克在产业和教育领域的积累

连接产业与高校教学科研，更好的为学校服务



