

# 克服大功率高亮度LED电学测量挑战



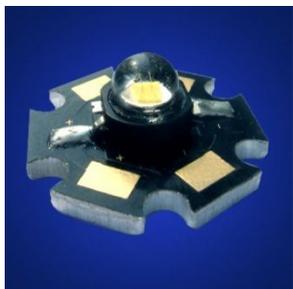
A GREATER MEASURE OF CONFIDENCE

**KEITHLEY**  
A Tektronix Company

# 议程

- 高亮度LED V. S. 大功率LED
- 测试挑战
  - 器件的自热效应
  - 最大化投入产出比
  - 系统噪声
  - 结温测试

# 高亮度LED



- 高亮度LED通常定义为：工作功率在1W或1W以上的LED
- 通常照明应用需要将多个高亮度LED合并在一起使用

# 高功率LED模块



- 尺寸越来越小，所需光强越来越高，因此产生了高功率LED模块
- 高功率LED模块通常包含一个较大的LED die或由多个LED die封装在一起
  - 多个LED通常串联或并联在一起

# 测试挑战

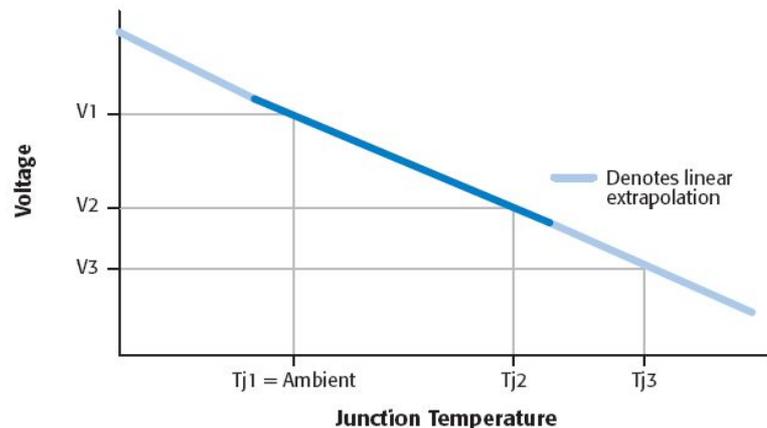
- 器件的自热效应
- 最大化投入产出比
- 系统噪声
- 结温测试

# 测试挑战

- 器件的自热效应
- 最大化投入产出比
- 系统噪声
- 结温测试

# 器件的自热效应

- 当有电流流过时，LED的PN结温度会升高
- LED的正向导通电压随着PN结温度的升高而下降
- 晶圆级测试中自热效应会带来严重影响

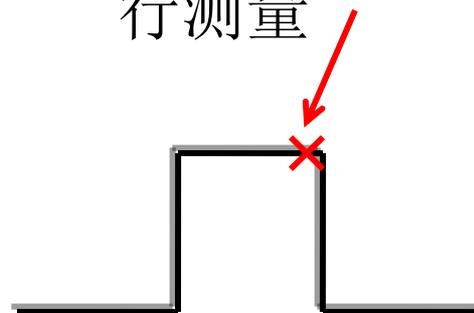


Temp ↑ V<sub>f</sub> ↓

# 脉冲测试

- 脉冲法测试LED可以最小化自热效应的影响
- 脉宽小于等于1ms可以大大减小器件的自热效应
  - 需要一个可以连续输出脉冲波形的电流源
  - 测量需要精确定时
- 晶圆级测量时脉宽则要求更小

在脉冲结束时进行测量



# 测试挑战

- 器件的自热效应
- 最大化投入产出比
- 系统噪声
- 结温测试

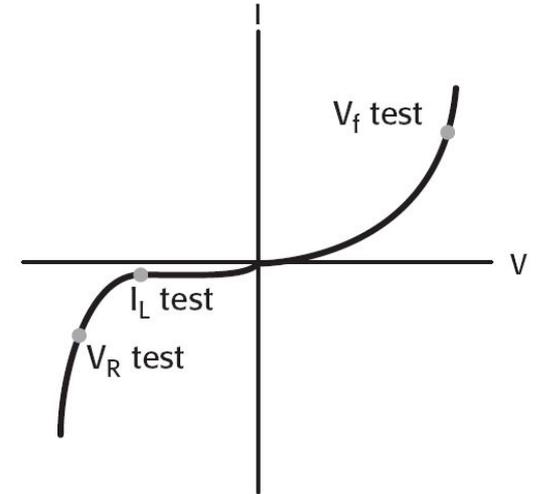
# 最大化投入产出比

1. 提高测试速度
2. 花费更少的时间与资源开发测试系统
3. 更低的投资成本

# LED IV测试的系统吞吐量

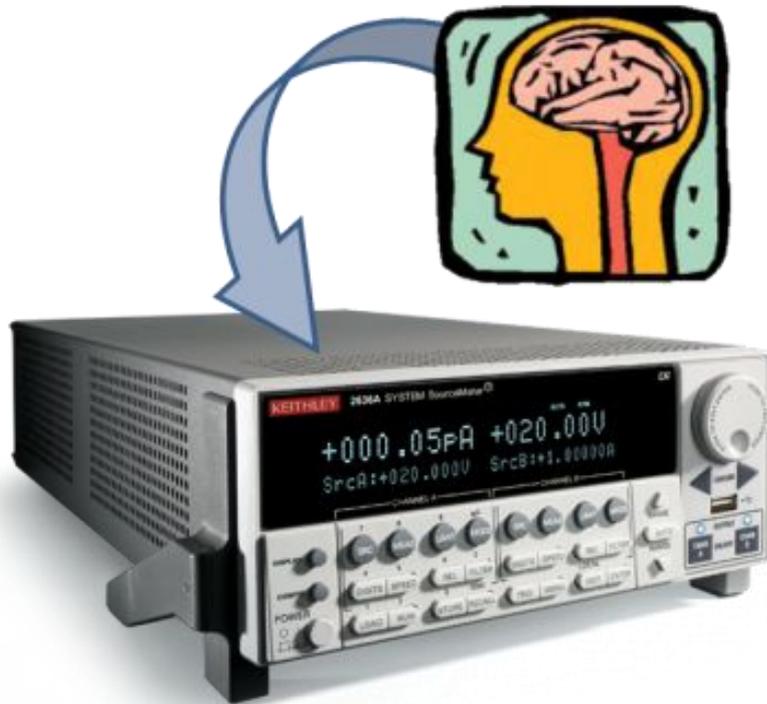
- 必须考虑和优化所有影响速度的因素

- 程序执行时间
- 主机通讯时间
- 触发输入时间
- 量程改变时间
- 测试功能改变时间
- 源稳定时间
- A/D转换时间 (NPLC)
- 测试速度
- 放电时间
- 数据传输与存储
- 高低阈值判断
- 触发输出时间

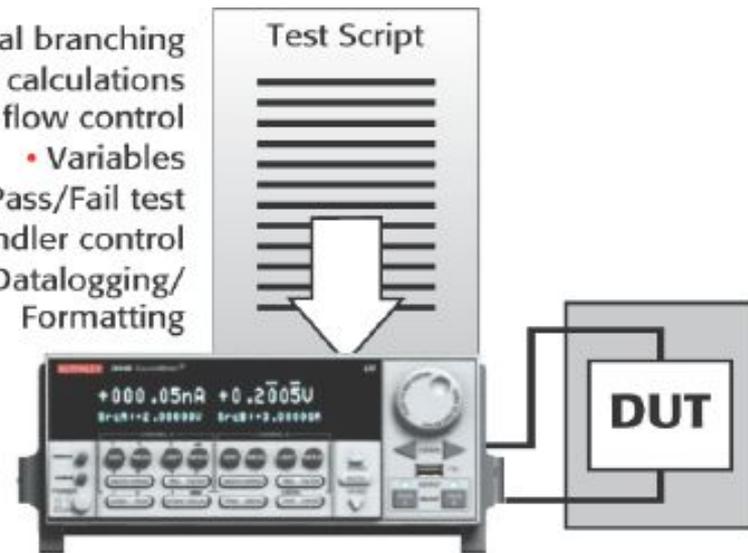


# 测试脚本处理器 (TSP, Test Script Processing )

- TSP是仪器的大脑
- 利用嵌入式测试脚本TSP允许仪器执行一些高级测试而无需与PC进行交互

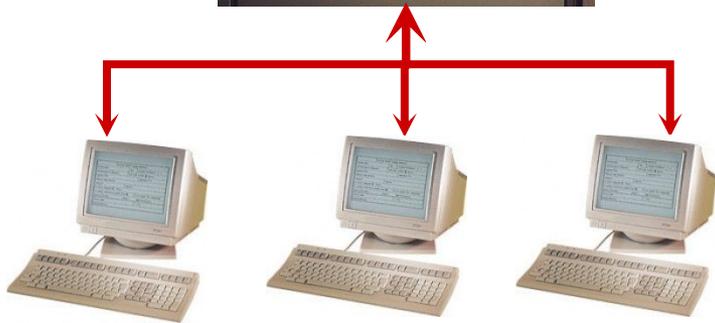
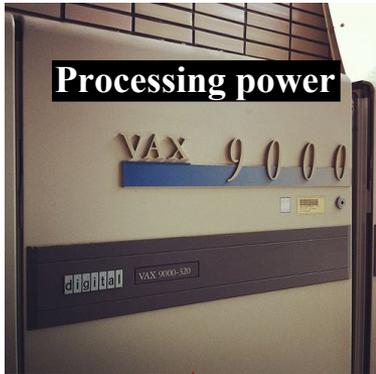


- Conditional branching
- Advanced calculations and flow control
  - Variables
  - Pass/Fail test
- Prober/Handler control
- Datalogging/Formatting



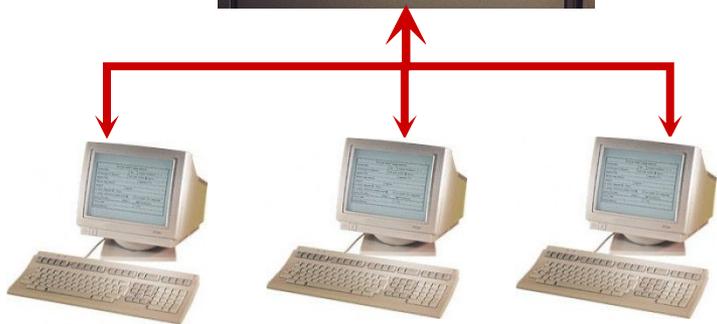
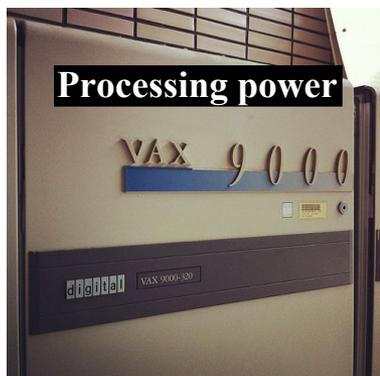
# 硬件结构 - 集中式处理

- 旧式计算 -  
除了 I/O，所有功能集中处理

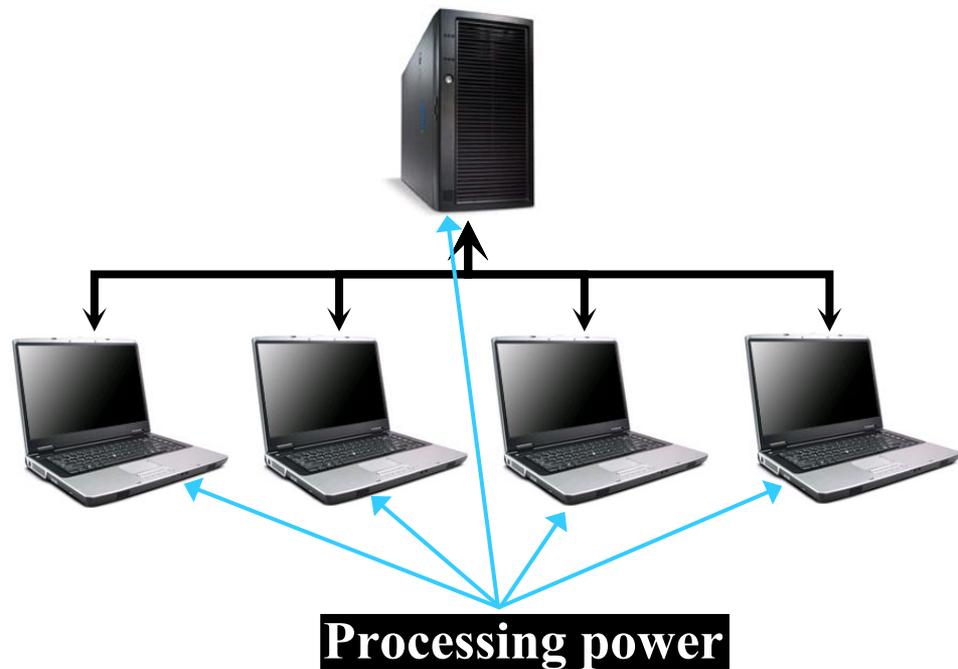


# 硬件结构 - 分布式处理

- 旧式计算 -  
除了 I/O, 所有功能集中处理

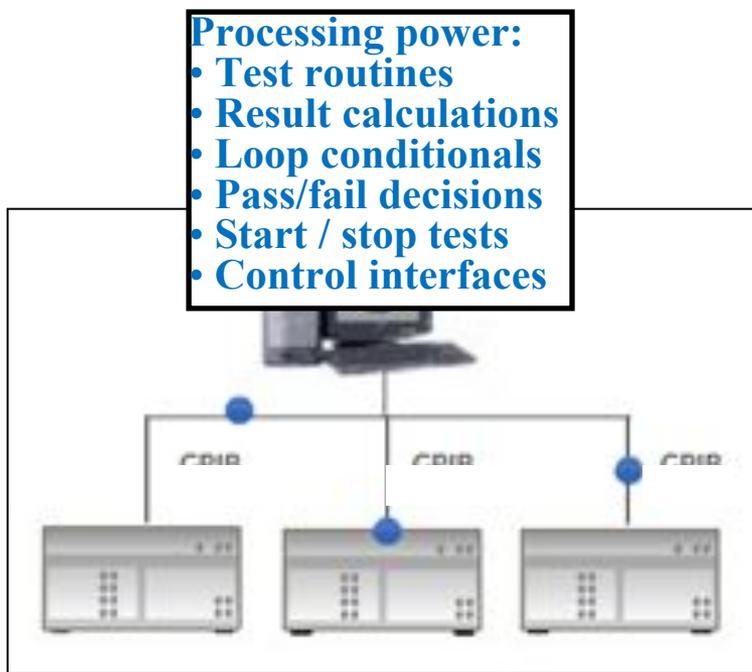


- 现代计算 -  
分布式处理和I/O, 数据集中处理

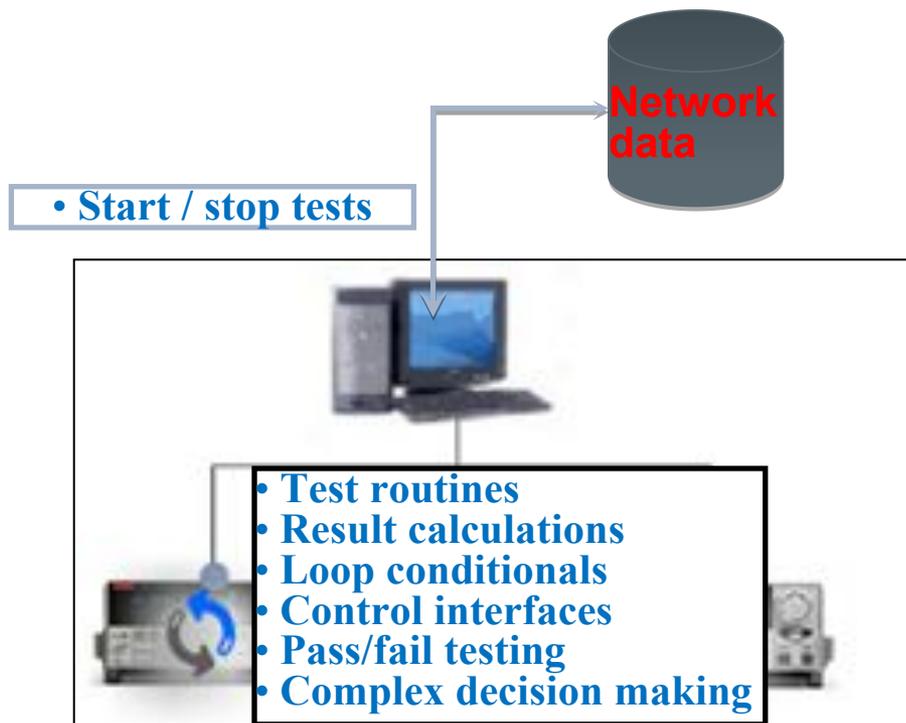


# 吉时利的测试技术是仿照计算机工业结构而产生的

- 旧式测试结构 -  
除了 I/O, 所有功能集中处理



- 现代测试结构 -  
分布式处理和I/O, 数据集中处理



“Smart instruments”

# 缩短测试时间：

## Test Script Processor (TSP) 技术实现高速自动化应用

- 仪器中的处理器运行嵌入式测试脚本  
创建用户自定义的源测量函数，PC仅通过一条指令调用即可  
创建测试脚本程序，可以脱离PC在仪器中自动运行
- 增加吞吐量  
减少仪器与PC间的GPIB通讯交互  
与PC控制的测试方式相比，TSP的全自动测试方式将速度提高10倍

```
startscript

-- Declare variables
OutputOn = 1
OutputOff = 0
Current = 0
Voltage = 0

-- Send SMU control commands
smua.reset()
smua.measure.nplc = 1.0
smua.source.rangev = 1.0
smua.measure.rangei = 1.0

-- Run simple sweep
smua.source.output = OutputOn
for Voltage = 1,10 do
    smua.source.levelv = Voltage
    Current = smua.measure.i()
    Resistance = Voltage / Current
    print ("Resistance=" .. Resistance)
end
smua.source.output = OutputOff

endscript
```

## TSP-Link®: 无缝集成, 易于扩展

- 无需主机最多可级联32台设备 (64个SMU通道)

无传统主机扩展结构的功率或通道限制

100 Mbit/sec 串行链路

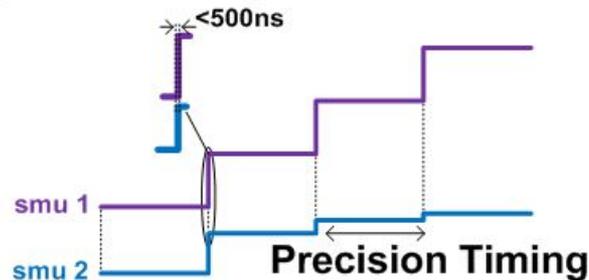
- 通过以太网交叉电缆创建系统网络

- 内置硬件触发保证仪器之间500ns 触发同步

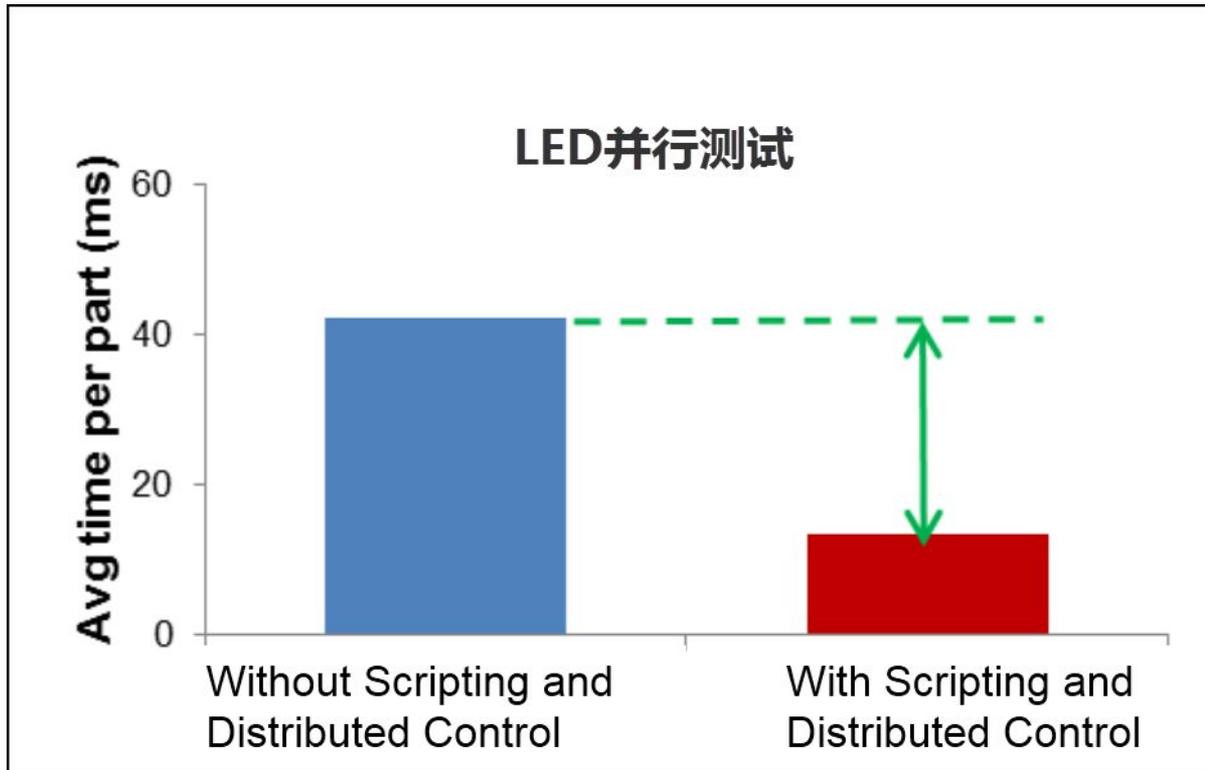
### Parallel Test



### Tight Channel Synchronization



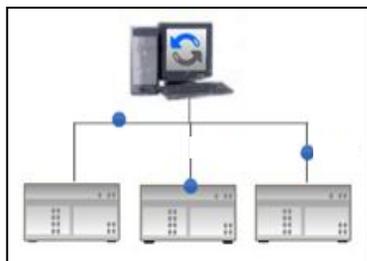
# TSP + TSP-Link vs. 市场同类产品



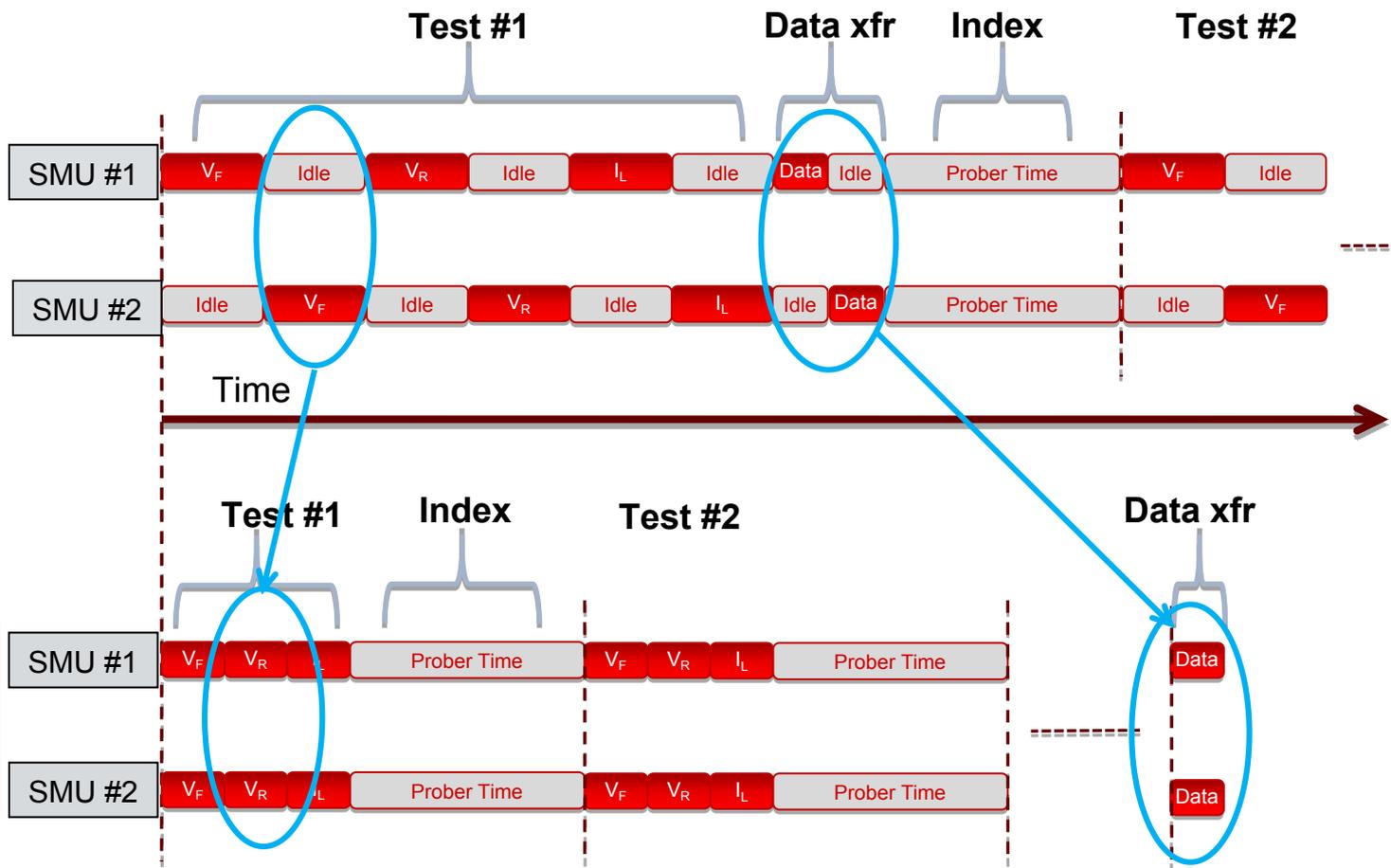
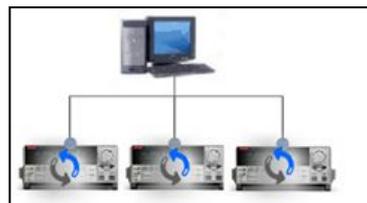
# 它是如何实现的...

## LED 生产测试 - 并行测试

传统测试系统



CPU分布式系统



# SMU + 开关



使用TSP和TSP-Link实现高速自动化测试

# 最大化投入产出比

1. 提高测试速度
2. 花费更少的时间与资源开发测试系统
3. 更低的投资成本

# 花费更少的时间与资源开发测试系统

- 与其他测试程序相比更加简单易用
  - 直观的脚本语言 vs. 隐晦的指令
  - Test Script Builder 软件开发环境可以帮助用户快速创建，修改以及调试测试脚本程序
- 免费的LED测试TSP例程
- 16MB非易失性存储器
- 基于浏览器的用户界面 (GUI)

# TSP例程

- `function LEDTest()`
- `--configure LED Test Sequence.`
- `--Performs VF, IL, and VR tests`
- `smua.source.levelv = 0 --Set source value`
- `smua.source.output = smua.OUTPUT_ON --Enable source`
- `--1.) Forward Voltage Test VF at 10 mA`
- `smua.measure.rangev = 6 --Set measurement range`
- `smua.source.limiti = 0.001 --Set source current compliance`
- `smua.source.rangei = 0.1 --Set source range`
- `smua.source.leveli = 0.01 --Set source level`
- `--Select output function`
- `smua.source.func = smua.OUTPUT_DCAMPS`
- `smua.source.limitv = 6 --Set source voltage compliance`
- `delay (0.001) --Delay`
- `Reading[1] = smua.measure.v() --Perform Vf measurement`

## TSP例程一(续)

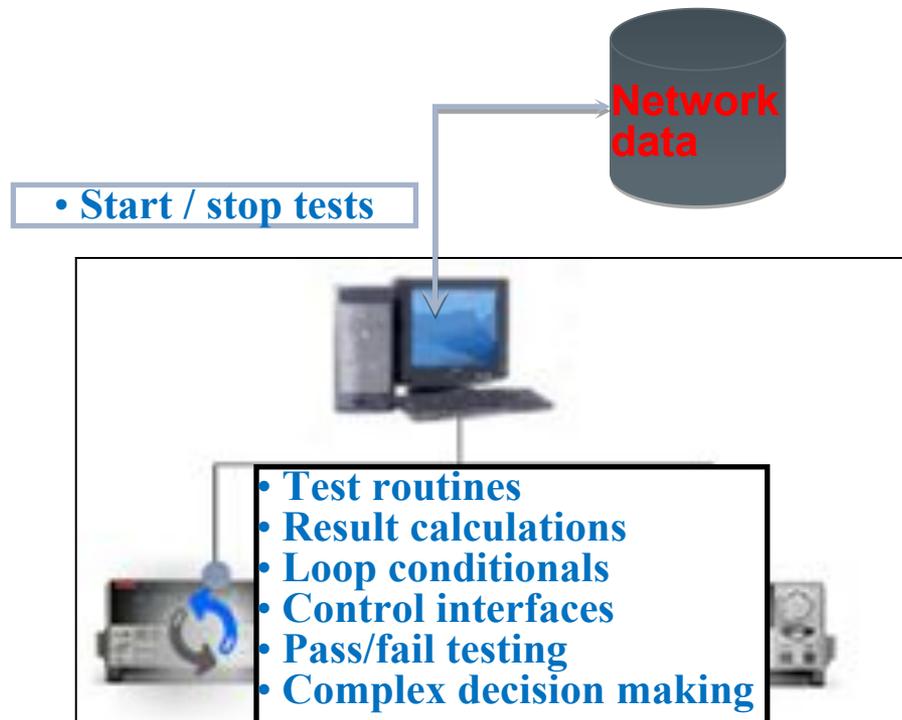
- --2.) Leakage Current Test IL at -10 V
- --Select current measurement range
- `smua.measure.rangei = 1E-5``smua.source.rangev = 40` --Select voltage source range
- `smua.source.levelv = -10` --Select voltage source value
- --Set source function
- `smua.source.func = smua.OUTPUT_DCVOLTS` `smua.source.limiti = 0.1` --Set source current compliance
- `delay (0.005)` --Delay
- `Reading[2] = smua.measure.i()` --Perform IL measurement

## TSP例程—(续)

- `--3.) Reverse Breakdown Voltage Test VR at  $-5E-6$  A`
- `smua.measure.rangev = 40 --Set voltage measurement range`
- `smua.source.rangei = 1E-5 --Set current source range`
- `smua.source.leveli =  $-5E-6$  --Set current source level`
- `smua.source.limitv = 40 --Set source voltage compliance`
- `smua.source.func = smua.OUTPUT_DCAMPS --Set source function`
- `delay (0.005) --Delay`
- `Reading[3] = smua.measure.v() --Perform VR measurement`
- `smua.source.leveli = 0 --Set source level`
- `smua.source.output = smua.OUTPUT_OFF --Disable output`
- `end--function LEDTest()`

## 16MB非易失性存储器

- TSP脚本程序可以下载并存储在非易失性存储器里
- 当SMU上电开机时，TSP脚本程序可以自动运行
- PC上位机仅需开始或结束程序或调用函数并赋值



“Smart instruments”

# 即插即用，基于浏览器的用户界面 (GUI)

- a. 仅需使用附带交叉网线将2600B系列源表连接至网络
- b. 打开浏览器
- c. 敲入2600B的IP地址
- d. 开始测试



# TSP Express

The screenshot shows the LXI Web Interface - Welcome Page for a Keithley 2612A System SourceMeter. The page includes a navigation menu on the left and a main configuration table. A red callout box highlights the 'TSP Express' option in the menu and provides instructions for installing Java Runtime (JRE) or WebStart.

**KEITHLEY**  
A GREATER MEASURE OF CONFIDENCE

**LXI**  
www.keithley.com

### LXI Web Interface - Welcome Page

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Instrument Model:          | 2612A System SourceMeter®                |
| Manufacturer:              | Keithley Instruments                     |
| Firmware Revision:         |  |
| Serial Number:             | A727944                                  |
| Description:               | Keithley Instruments SMU 2612A - A727944 |
| LXI Class:                 | C  |
| LXI Version:               | 1.2                                      |
| MAC Address:               | 00:60:1A:00:15:E2                        |
| TCP/IP Address:            | 10.80.64.191                             |
| Gateway:                   | 10.80.64.1                               |
| Subnetmask:                | 255.255.255.0                            |
| Lan Connection:            | 100Mbs, Full Duplex                      |
| Host Name (FQDN):          |  |
| DNS Servers:               |  |
| Ports:                     |  |
| Instrument Address String: |  |
| Smu A Calibration Date:    |  |
| Smu B Calibration Date:    |  |

**TSP<sup>®</sup> Express**  
*Quick & Easy I-V Test*

Script Advocate requires an update of Java Runtime (JRE) or WebStart. Click the *Install JRE* button to install the JRE/WebStart (which may take awhile) and launch the application

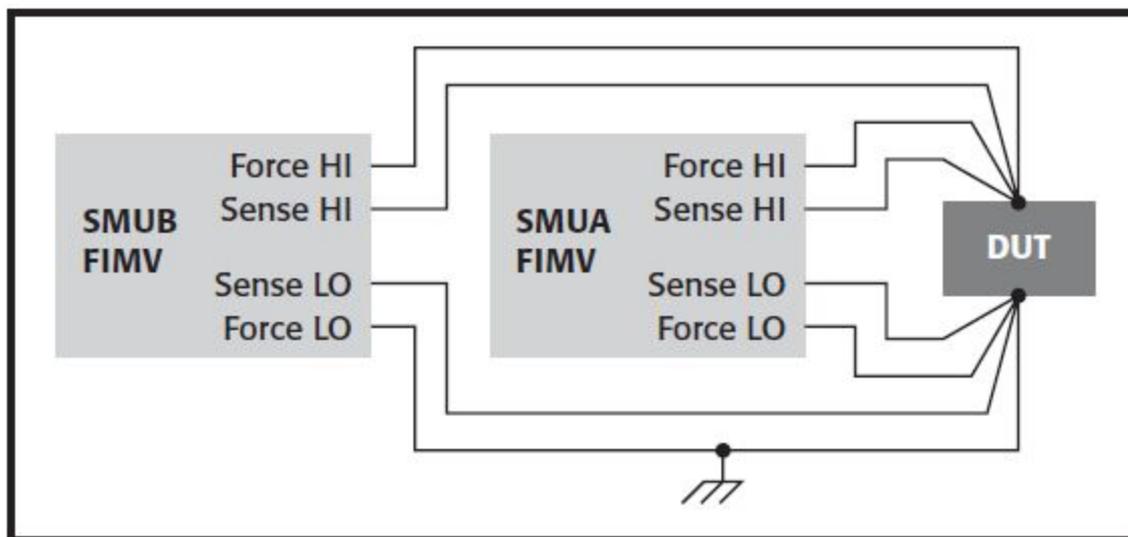
**Install JRE**

# 最大化投入产出比

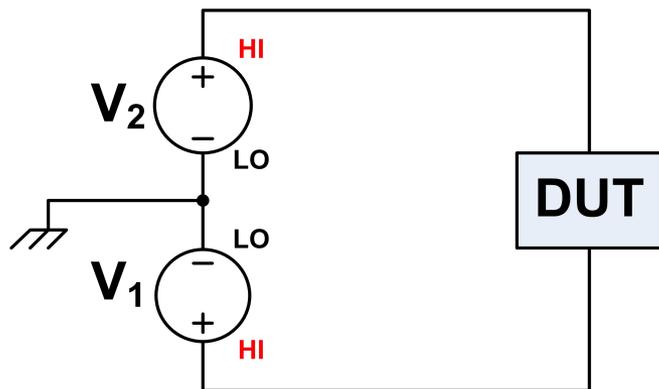
1. 提高测试速度
2. 花费更少的时间与资源开发测试系统
3. 更低的投资成本

## 更低的投资成本

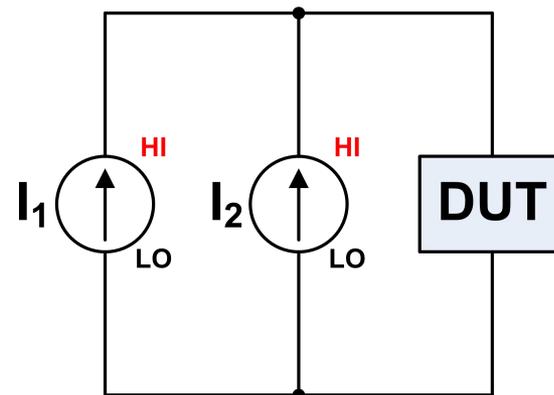
- 使用单台仪器可以完成多种测试
- 可扩展
  - 每通道的成本最低
  - 测试需求发生变化时，在现有系统配置基础上进行升级扩展即可
- 通道串并联即可扩展功率范围以满足更大功率测试需求



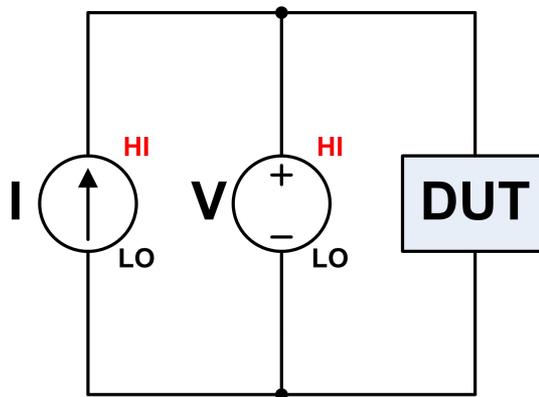
# 以2651A为例 ( $\pm 40V$ , $\pm 20A$ DC, $\pm 50A$ Pulse) 通过串并联两台2651A实现功率扩展



**串联电压源**  
理由: 输出更大电压  
最大输出: 80 V at 45A



**并联电流源**  
理由: 输出更多电流  
最大输出: 100A at 36V

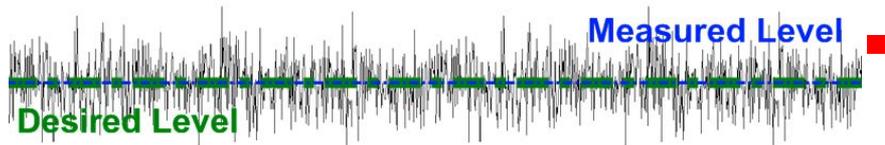


**并联电压源和电流源**  
理由: 增大电压源的限流值  
最大输出: 36V at 95A

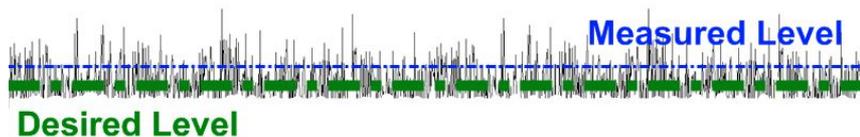
# 测试挑战

- 器件的自热效应
- 最大化投入产出比
- 系统噪声
- 结温测试

# 电源噪声



没有经过整流的噪声



整流后的噪声

■ 电源的噪声信号经过LED时可能会被整流

电压测试时可能会有偏移误差  
 $V_f$  和  $V_R$  测试带来误差

■ 选择低噪声高精度的电源以最小化噪声整流的影响

# 测量噪声

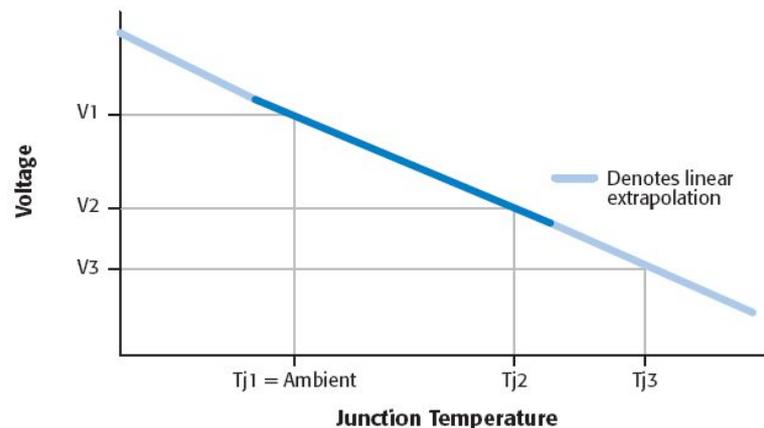
- 测试中的微小抖动  
通常为毫伏或几十毫伏级别
- 产线分选测试中，几毫伏的变化就会导致器件分选失效，  
从一个级别误判到另一级别
- 选择最佳的测量仪器抑制噪声  
高精度万用表  
高精度源测量单元SMU

# 测试挑战

- 器件的自热效应
- 最大化投入产出比
- 系统噪声
- 结温测试

# 结温测试

- 热电偶无法放置在LED的PN结上直接测温
- 热电偶测试速度慢  
热量从PN结传递到热电偶需要时间
- 测试 $V_f$  计算 $T_j$   
 $V_f$  与  $T_j$  呈线性关系



$$T_j \uparrow \quad V_f \downarrow$$

## 通过 $V_f$ 计算 $T_j$

- 二极管的结温可以通过测试 $V_f$  来计算 $T_j$

$$T_j = m * V_f + T_0$$

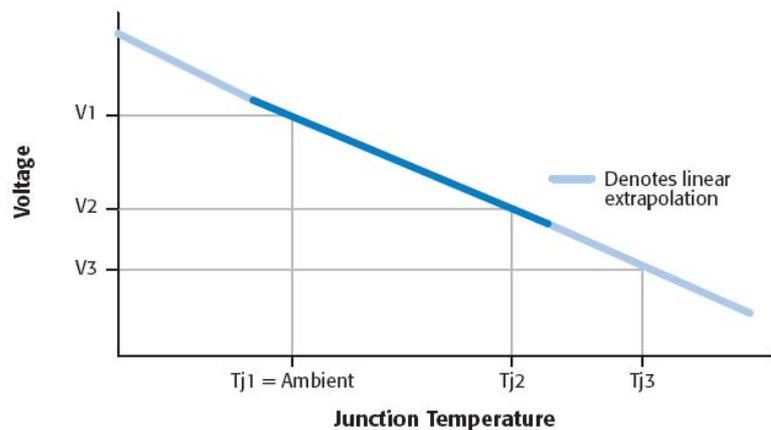
$T_j$  = 结温, 单位 ° C

\* $m$  = 斜率, 单位 ° C/Volt

$V_f$  = 正向压降, 单位 Volt

\* $T_0$  = 截距, 单位 ° C

# 寻找 $m$ 和 $T_0$

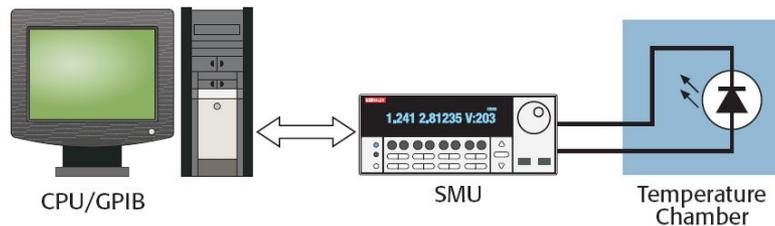


为了得到 $m$ 和 $T_0$ 必须首先收集一些已知点的信息在 $T_j$  vs  $V_f$ 曲线上

$T_{j1}$ ,  $V_{f1}$  和  $T_{j2}$ ,  $V_{f2}$

## 所需仪器

- 被测LED器件
- 高精度源表
- 温控设备
- 电脑



## 寻找 $m$ 和 $T_0$ 续...

1. 设置温控仪器温度为  $T_{j1}$  并等待温度稳定下来
2. 输出电流为  $I_f$  测试  $V_{f1}$
3. 设置温控仪器温度为  $T_{j2}$  并等待温度稳定下来
4. 再次输出电流为  $I_f$  测试  $V_{f2}$

### ■ 注：

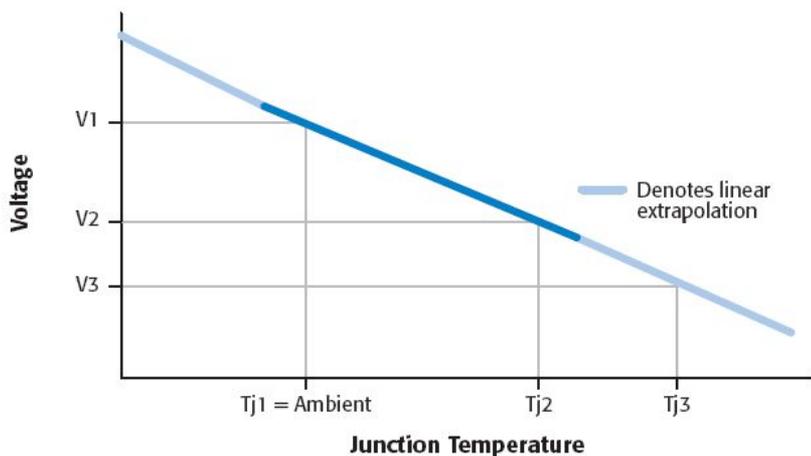
等待足够的时间让温度稳定下来，保证结温温度与温控仪设定温度一致  
施加脉冲电流至器件可以避免器件的自热效应引入的测量误差

## 计算斜率 $m$

$$m = \frac{(T_{j2} - T_{j1})}{(V_{f2} - V_{f1})}$$

- 斜率  $m$   
 $m = \text{结温变化量} / \text{正向电压变化量}$

# 计算 $T_0$



- $T_0$  可以通过直线与结温轴的交点推算出来.

公式1

$$T_j = m * V_f + T_0$$

公式1的点斜式表达式

$$T_{j2} - T_{j1} = m(V_{f2} - V_{f1})$$

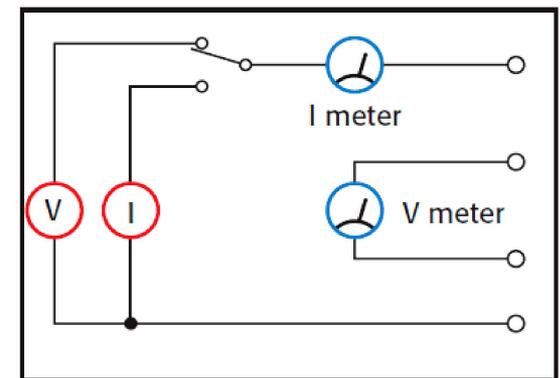
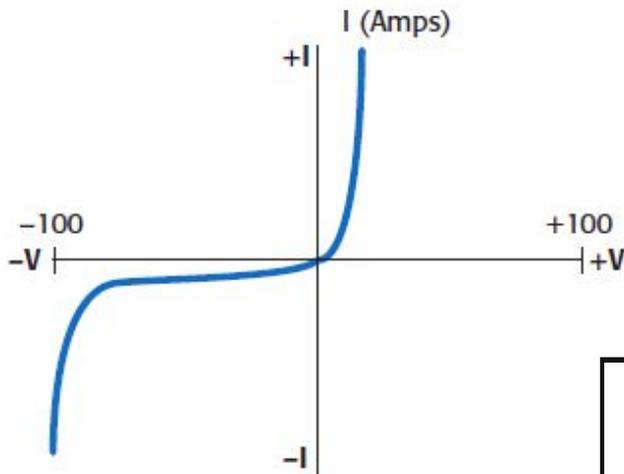
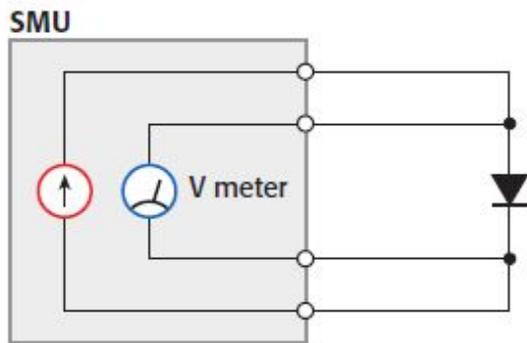
$V_{f2}$  为 0 时, 公式1变成

$$T_{j2} = T_{j1} - mV_{f1}$$

$T_{j2}$  此时与截距相等, 即 $T_0$

$$T_0 = T_{j2} = T_{j1} - mV_{f1}$$

# 使用吉时利源表SMU进行LED测试



# 2600B系列源表

## 最高测试速度与系统扩展无缝连接

- 最新一代源表产品，集电压源，电流源，电流表和电流表于一体，包括脉冲和任意波形发生器功能
- 单通道和双通道不同型号可选，4款主要型号其动态范围是LED测试的最佳选择：
  - 型号 2601B/2602B: 40V, 3A DC, 10A pulse
  - 型号 2611B/2612B: 200V, 1.5A DC, 10A pulse
- 20,000读数/秒采样率确保更快的测试，同时还可以分析器件的瞬态特性
- 嵌入式测试脚本处理器加强了系统自动化控制能力，保证测试的吞吐量
- 2600B系列的任意波形发生器功能可以产生交流波形，使用一台2600B系列源表就可以完成LED交流和直流测试



# 2400系列源表

## 最宽的I-V动态范围，针对台式应用和自动化测试

- 输出电压源或电流源的同时进行电压电流同步测试
- 6种单通道型号可选，3款主要型号其动态范围是LED测试的最佳选择：
  - 型号 2400：200V, 1A, 20W
  - 型号 2420：60V, 3A, 60W
  - 型号 2440：40V, 5A, 50W
- 2,000 读数/秒
- 内置测试序列包括通过/失效测试功能，包含数字I/O接口加快器件分拣



# 2651A 大电流/高功率源表

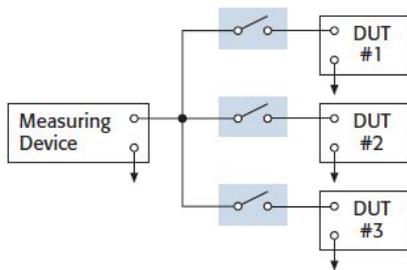
- 2000W 脉冲功率 ( $\pm 50\text{A}$  @  $\pm 40\text{V}$ )
- 200W 直流功率
- 通过TSP-Link串联或并联2台2651A后，最大输出可达100A或80V
- 1us/点采样率，18-bit采样A/D分辨率
- 高精度，22-bit积分A/D分辨率
- 1pA，1uV分辨率



# 其他吉时利LED测试解决方案

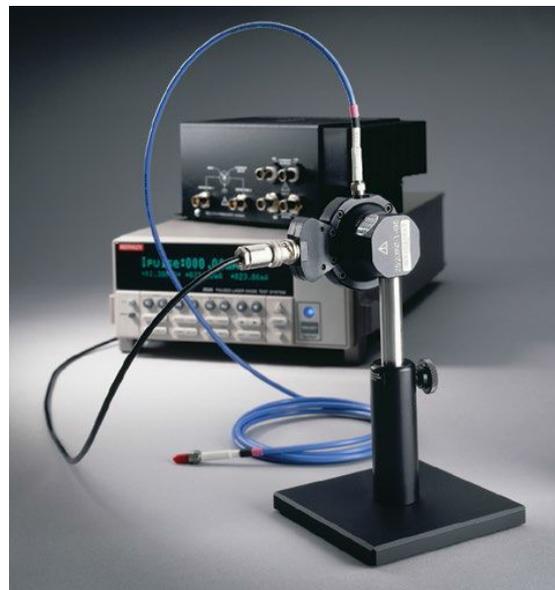
## 3700系列开关/万用表

- 加速并简化多通道测试应用，如LED并行测试，生产测试等



## 2520 脉冲激光二极管测试系统

- 用于研究与开发新型高亮度LED
- 脉宽低至500ns防止器件的自热效应



# 回顾

- 高亮度LED V. S. 大功率LED
- 测试挑战
  - 器件的自热效应
  - 最大化投入产出比
    - 提高测试速度
    - 花费更少的时间与资源开发测试系统
    - 更低的投资成本
  - 系统噪声
  - 结温测试

