



PRIMARIUS

FS-Pro™
系统操作手册

产品版本: 2021.1

2021 年 5 月

版权：©2018-2021 上海概伦电子股份有限公司版权所有。

本出版物受版权保护，未经授权使用本出版物可能侵犯版权、商标和其他法律。本文件包含专有信息并受版权保护。未经概伦电子事先书面许可，不得以任何方式或形式复制、抄袭或翻译本文件的任何部分。此声明授权您仅限于内部业务目的打印本出版物的一（1）份硬拷贝，前提是所有副本中均显示完整的本声明。在复制本文件的任何部分时，接收方同意尽一切合理努力防止未经授权使用和散布该专有信息。

免责声明：本文档中的信息如有更改，恕不另行通知。本文件中包含的全部商标和/或注册商标是其各自所有者的财产。概伦电子对其产品对于任何特定用途的适用性不作任何担保、表示或保证，并明确声明不承担任何适销性保证以及任何非侵权保证。概伦电子不承担因应用或使用任何产品而产生的任何责任，并明确声明不承担任何及所有责任，包括但不限于：特殊、附带或衍生的损害赔偿。

目录

1. 安全预防措施.....	- 1 -
2. 系统简介.....	- 2 -
2.1 PX500 系统.....	- 2 -
2.2 PX600 系统.....	- 5 -
3. 硬件安装.....	- 7 -
3.1 PX500 系统.....	- 7 -
3.2 PX600 系统.....	- 11 -
3.3 FS336 外置 CV 模块.....	- 12 -
3.4 FS338/FS339 外置 CV 模块.....	- 15 -
4. 测量准备.....	- 18 -

1. 安全预防措施

任何操作此测试系统的用户**必须首先**阅读此安全预防措施。尽管本产品通常用于无害环境，用户应注意本产品**确实具有**高压输入和输出的能力。为了避免电击伤害和产品损坏，操作人员应接受有关一般电气安全规则的培训，并遵循产品说明。

操作此测试系统时，**请务必**戴上手套或使用其他绝缘方法以防止电击伤害。当电源开启时**请勿**移动系统。在没有完成常规系统关机流程前**请勿**断开电源，意外断电可能会导致严重的仪器损坏。当运行测量时**请勿**切换电缆连接。当运行测量时**请勿**强制断开电源或关闭系统。当运行测量时，**请勿**触摸电缆连接或其他电流通路。

操作后面板、共地板和产品外壳时，请注意锋利的边缘和管脚。在坚实的平面上安装放置此系统，在移动产品部件时当心掉落的风险。当运行繁重的测量任务后，测试系统会产生大量的热量并传导至产品外壳，因此**请务必**将系统置于良好的空调环境，并**请勿**用任何物品覆盖系统。繁重测量后当心外壳高温。在触摸或移动系统前，请确保足够的冷却时间。

如果您在使用本产品时对安全相关事项有任何疑问，请联系您的产品供应商或者我们公司的售后服务。

2. 系统简介

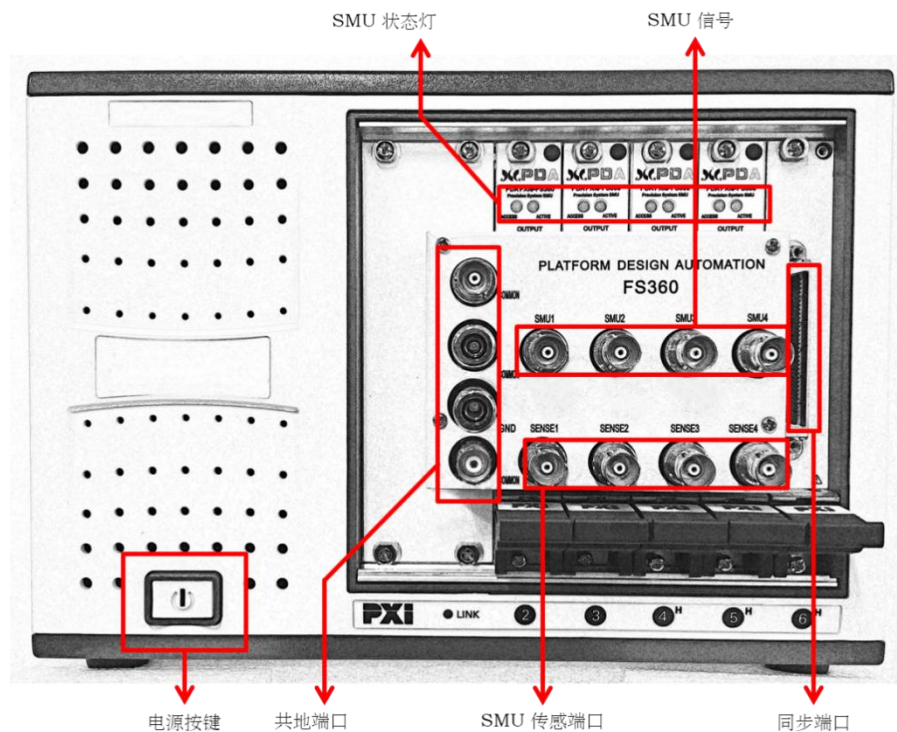
FS-Pro 系统为 DC 测量/CV 测量/低频噪声(1/f Noise)在单台仪器上提供一套完整解决方案，并具有灵活的扩展能力，可轻松适应不同的工作负载。

2.1 PX500 系统

一台标准 FS-Pro 系统包括一台控制器和含有四个 SMU 的机箱。该系统最多能够支持 20 个 SMU（5 个机箱，可能需要一台特殊的大型控制器）。

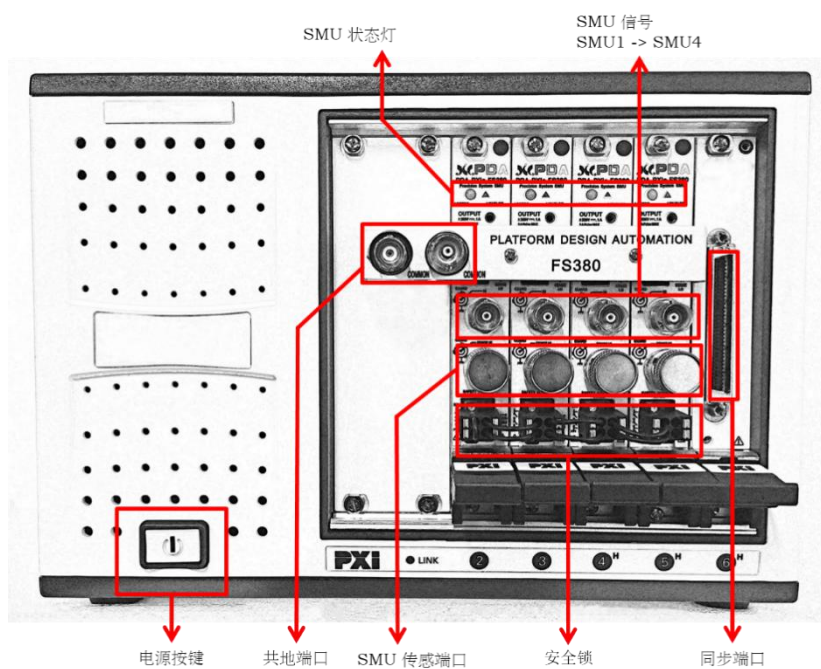
FS360 机箱前面板

*此为标准配置，产品可能因购置而异

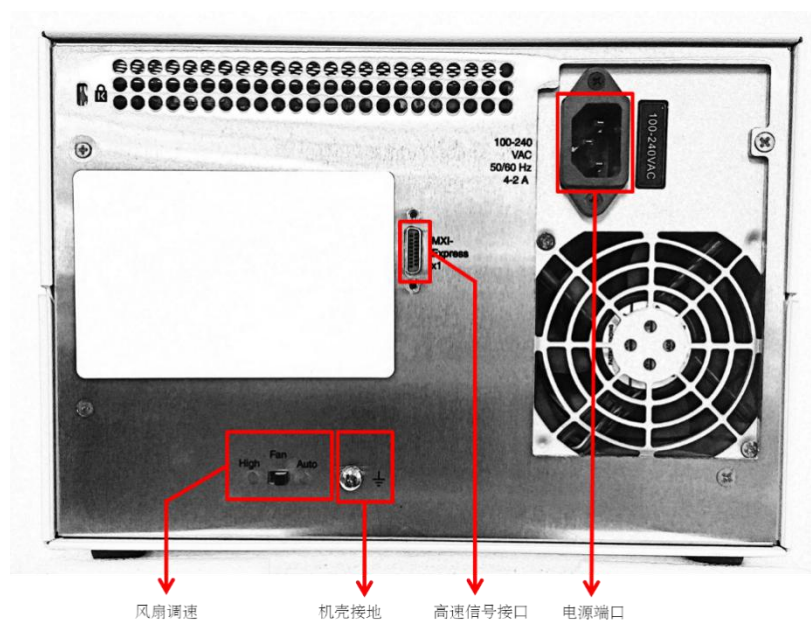


FS380 机箱前面板

*此为标准配置，产品可能因购置而异

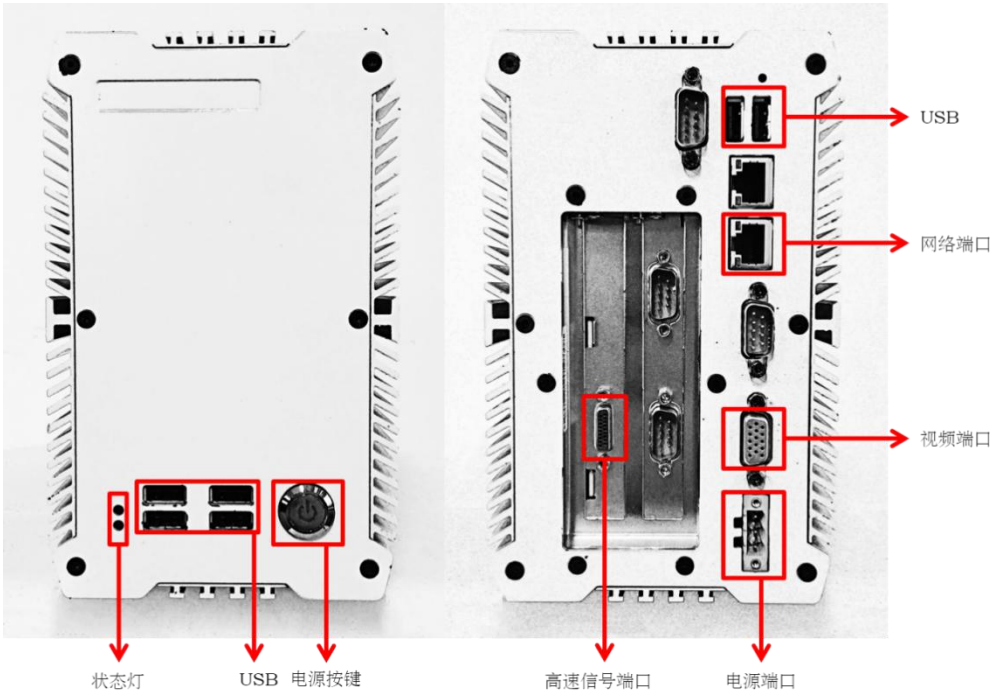


机箱后面板



PX500 控制器前后面板

*此为标准配置，产品可能因购置而异



物理尺寸

	高度	宽度	深度
主机箱	177mm+12.7mm (橡胶脚)	257.1mm	217.4mm
PX500 控制器	188mm	115mm	215mm

SMU 状态灯

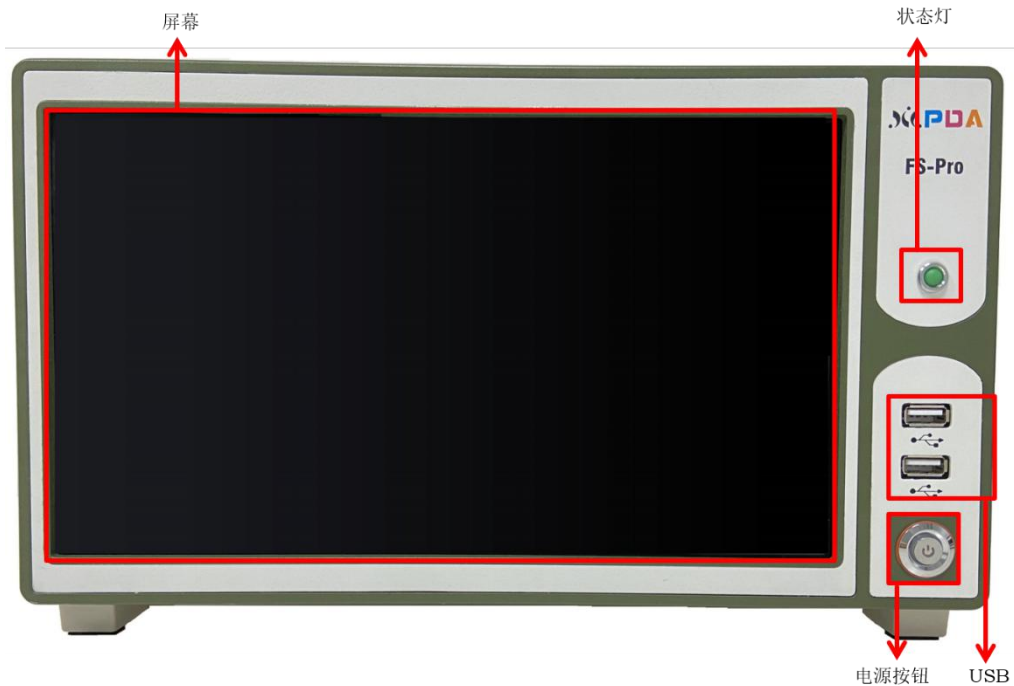
颜色	状态
绿色	系统就绪，待机
橙色	运行中
红色	停止或错误

2.2 PX600 系统

一台标准 PX600 FS-Pro 系统内置一台控制器和四个 SMU。

PX600 前面板

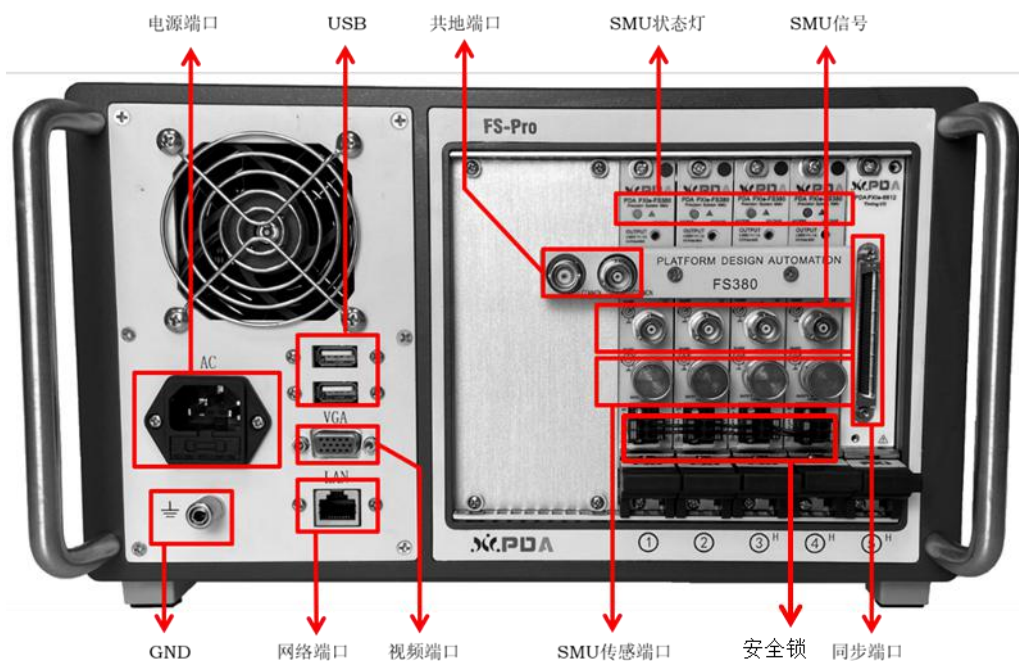
*此为标准配置，产品可能因购置而异



PX600 后面板（以 FS380 SMU 为例）

*此为标准配置，产品可能因购置而异

*不同批次的机箱其视频端口可能为 VGA 或 HDMI+VGA 适配器



物理尺寸

	高度	宽度	深度
PX600 系统	240mm	330mm	430mm

SMU 状态灯

颜色	状态
绿色	系统就绪，待机
橙色	运行中
红色	停止或错误

3. 硬件安装

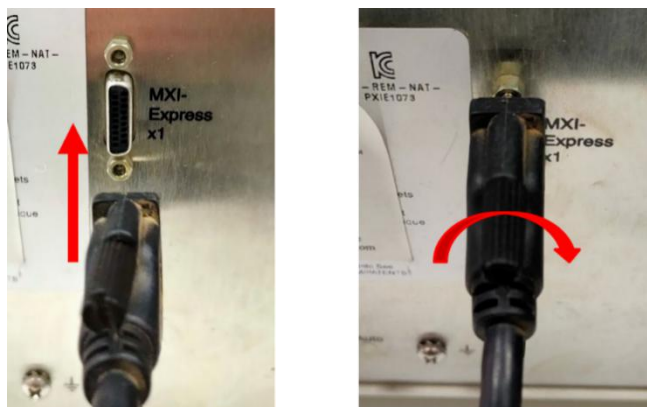
以下安装步骤基于标准配置，您的产品可能因购置而异。如果您安装系统存在困难，请联系您的产品供应商或公司售后服务。

3.1 PX500 系统

- 1) 将机箱和控制器放在一个稳定的平台上。
- 2) 通过高速信号端口连接机箱与控制器。
高速信号线缆是非对称设计，具有宽边和窄边，确保不会插入错误方向。

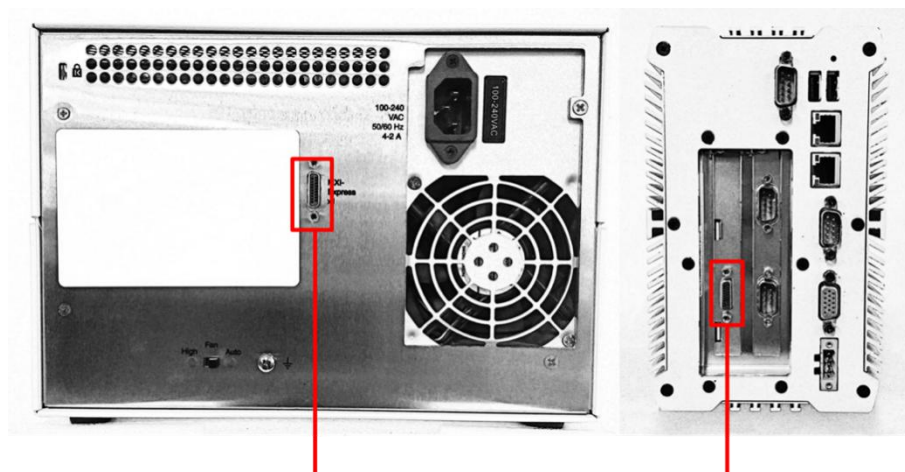


将高速信号线缆的一端插入主机箱的高速信号端口，顺时针旋转锁定扭锁住线缆。

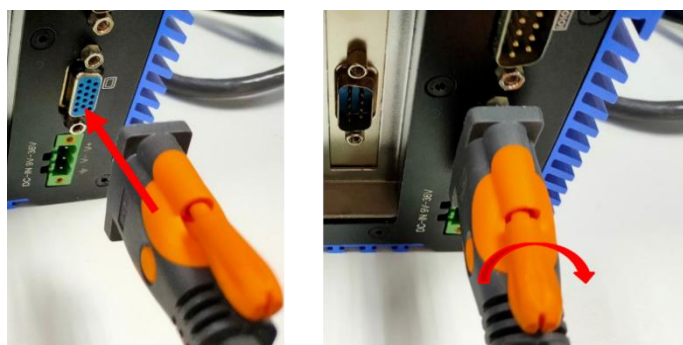


同样方式，将高速信号线缆的另一端插入控制器的高速信号端口。

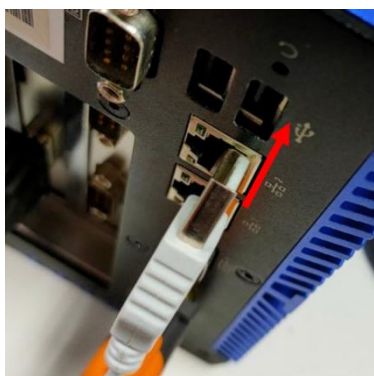




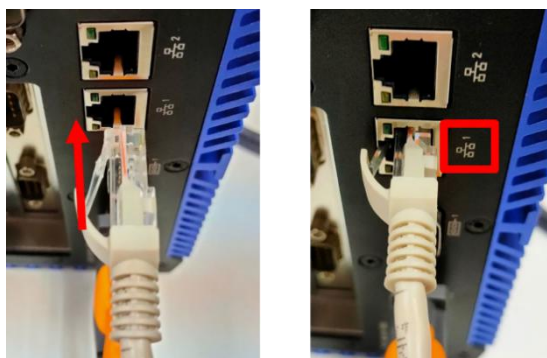
- 3) 将控制器视频端口连接到显示器。视频端口是非对称设计，具有宽边和窄边，确保不会插入错误方向。顺时针旋转锁定扭锁住线缆。



将键盘鼠标连接到 USB。

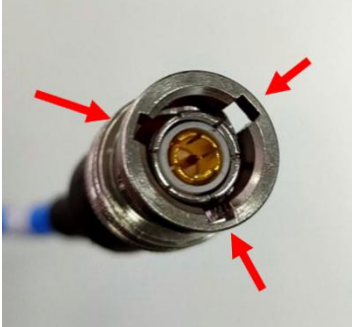


如果需要应用网络连接，请将网线插入 LAN 口。



- 4) 将电缆连接到 SMU 信号端口。

三轴电缆具有三个缺口，将缺口对准 SMU 的测试端口，插入后顺时针旋转锁定三轴线缆。（对于 FS380 型号，如果发现连接电缆很困难，可以先拔出其地板）。



- 5) 将电缆的另一端连接到器件夹具。
- 6) 机壳接地端建议连接至地或大金属防止电击。逆时针方向松开机壳接地端螺丝或旋钮，将导线一端缠绕或紧贴机壳接地端，然后顺时针方向拧紧螺丝或旋钮，将导线另一端连接至大地或大金属。如果操作电压大于 40V 时必须安装安全锁。
- 7) 将电源线连接到机箱和控制器，然后将电源线插入电源插座。



- 8) 先按下机箱的电源按钮启动机箱，再按下控制器电源按钮启动控制器。



- 9) 当所有 SMU 状态指示灯变为绿色时，系统启动完成。在所有 SMU 灯变绿之前请勿操作机器。

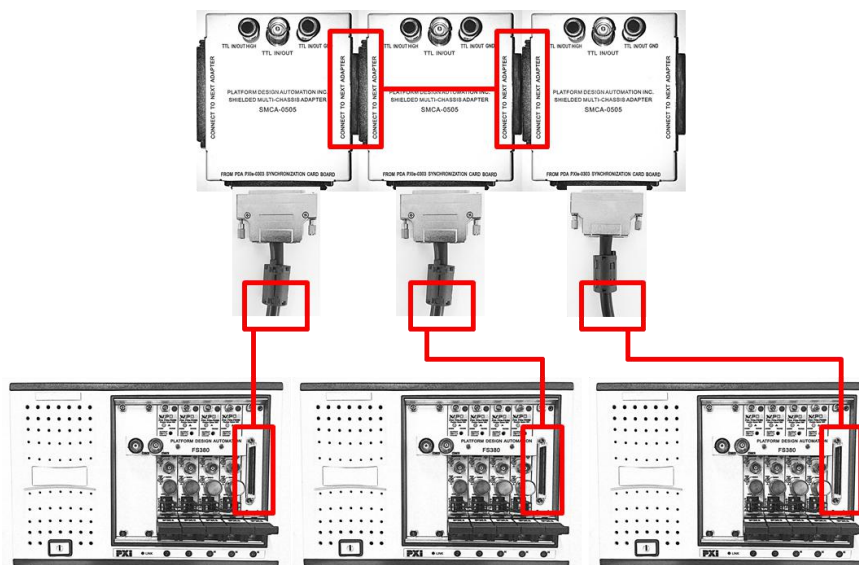


关闭系统时：

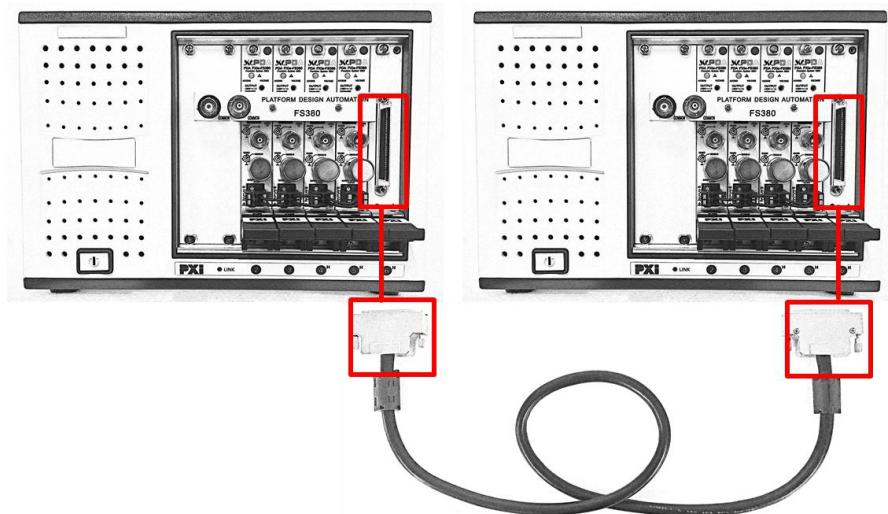
- 1) 像普通 PC 一样通过操作系统的电源关闭按钮来关闭控制器。
- 2) 等待控制器完全断电且所有 SMU 状态指示灯变为红色，然后按下机箱的电源按钮将其关闭。
- 3) 每当您想再次启动系统时，重复步骤 8。

如果您有多台机箱，则需要连接所有机箱来同步时序：

- 4) 将每个机箱的同步端口连接至 SMCA-0505 适配器输入端，然后将所有适配器连接在一起。



- 5) 如果您只有两台机箱，则可以直接使用电缆连接两个同步端口。

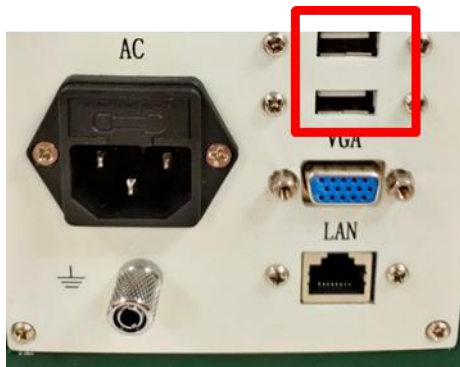


- 6) 您不用连接 SMU 远程传感端口，除非您确实需要使用这个功能。在这种情况下，使用电缆将远程传感端口与传感焊盘连接，并在 LabExpress 软件中将工作模式从 Local 切换至 Remote。

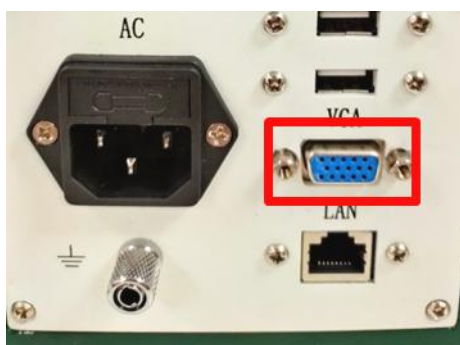
3.2 PX600 系统

PX600 系统是一台集成化一体式机箱。

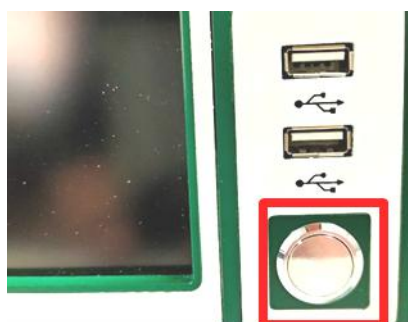
- 1) 将机箱放置在稳定的平台上。
- 2) 将键盘鼠标连接到 USB（参考 3.1 步骤 3）。



- 3) 存在嵌入式显示屏用于操作显示，如需外接显示屏，可以通过机箱背面的视频端口连接到外置显示器（参考 3.1 步骤 3）。如果视频端口是 HDMI 型，您可以选择通过附带的 VGA 适配器来连接只有 VGA 接口的显示屏，或者直接选用带有 HDMI 接口的显示屏。



- 4) 将电缆连接到机箱背面 SMU 信号端口（对于 FS380 型号，如果发现连接电缆很困难，可以先拔出共地板）。（参考 3.1 步骤 4）
- 5) 将电缆的另一端连接到器件夹具。
- 6) 机壳接地端建议连接至地或大金属防止电击。逆时针方向松开机壳接地端螺丝或旋钮，将导线一端缠绕或紧贴机壳接地端，然后顺时针方向拧紧螺丝或旋钮，将导线另一端连接至大地或大金属。如果操作电压大于 40V 时必须安装安全锁。
- 7) 将电源线连接到机箱背面电源接口然后将电源线插入电源插座。
- 8) 按下机箱前面板的电源按钮启动。



- 9) 当所有 SMU 状态指示灯变为绿色时，系统启动完成。在所有 SMU 灯变绿之前请勿操

作机器。

关闭系统时：

- 1) 像普通 PC 一样通过操作系统的电源关闭按钮来关闭机箱。
- 2) 等待系统完全断电且所有 SMU 状态指示灯变为红色，然后按下机箱的电源按钮可以将 SMU 完全断电。
- 3) 每当您想再次启动系统时，只需按下机箱的电源按钮。

PX600 系统不支持多机箱同步操作。

3.3 FS336 外置 CV 模块

- 1) 将模块放置在稳定的平台上。
- 2) 逆时针方向旋转松开 Guard 旋钮，将 FS336 的 U 型头共地线紧贴 Guard 端，然后顺时针方向拧紧。



- 3) 将 U 型头共地线的同轴接口端连接在 SMU 共地端上。



- 4) 将 9268 偏压盒的四个输入端以及缺口对准 FS336 的 4 个输出口，插入后顺时针旋转白色锁定杆锁住偏压盒。



- 5) 在偏压输入端上连接三轴转同轴转接器。



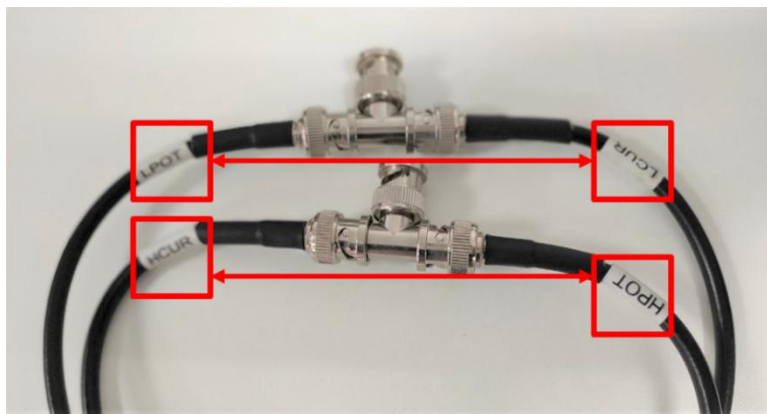
- 6) 将标为 SMU1 线缆一端连接到 SMU1 (必须为 SMU1) 的测试端口, 另一端连接到偏压盒的偏压输入端。



- 7) 将同轴线缆按照标签对应插到偏压盒上, 顺时针旋转锁住同轴线。



- 8) 将同轴线缆的另一端按照 HCUR+HPOT 和 LCUR+LPOT 的分组方式分别与 T 型连接头连在一起。



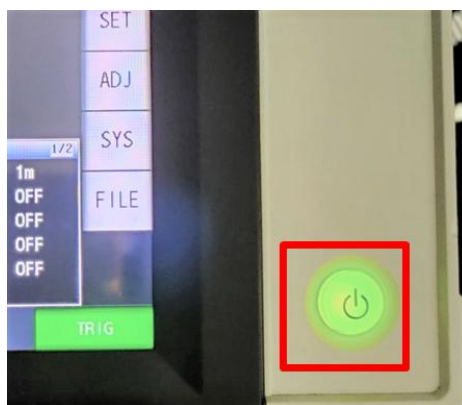
9) 将 GPIB-USB 线缆的 GPIB 端连接到 FS336 的 GPIB 端口。



将 GPIB-USB 线缆的 USB 端连接到控制器的 USB 口。



10) 按下 FS336 前面板右下角的电源按钮开机。



3.4 FS338/FS339 外置 CV 模块

- 1) 将模块放置在稳定的平台上。
- 2) 逆时针方向旋转松开 Guard 旋钮，将 FS338/FS339 的 U 型头共地线紧贴 Guard 端，然后顺时针方向拧紧。

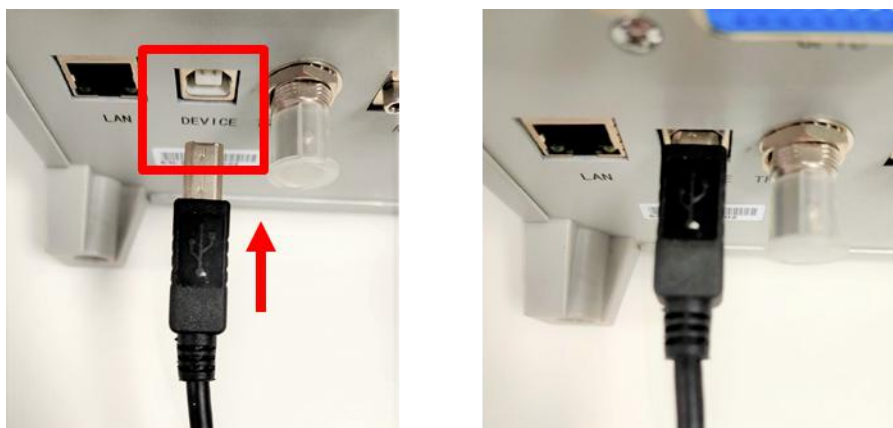


- 3) 将 U 型头共地线的同轴接口端连接在 SMU 共地端上（参考 3.3 步骤 3）。
- 4) 将同轴线缆按照标签对应插到 FS338/FS339 上，顺时针旋转锁住同轴线。



- 5) 将同轴线缆的另一端按照 HCUR+HPOT 和 LCUR+LPOT 的分组方式分别与 T 型接头连在一起（参考 3.3 步骤 8）。
- 6) FS338/FS339 通过 USB 线缆连接。将 USB 线缆方形的一端插入仪器后面板的

DEVICE 插槽。



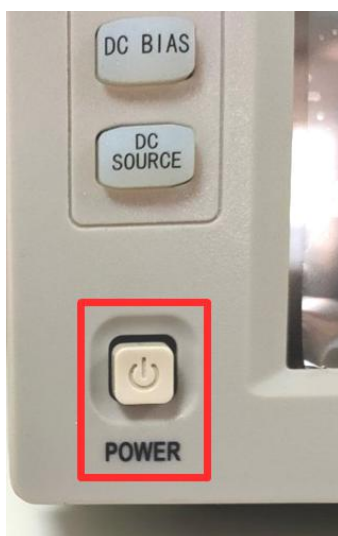
将 USB 线缆的另一端插入控制器的 USB 接口



- 7) 检查电源插座的保险丝型号。在 220V 和 110V 两种不同的工作电压下, FS338/FS339 使用的保险丝型号需要与工作电压对应。在保险丝电压不匹配的情况下请勿开机加电!



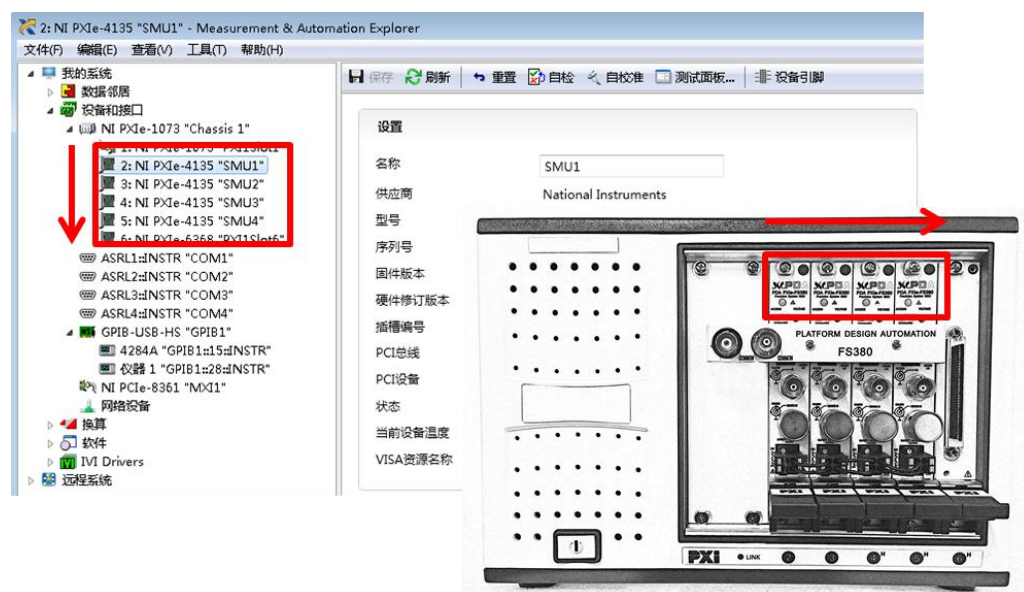
- 8) 按下 FS338/FS339 前面板左下角的电源按钮开机, 会听到明亮的提示音。



4. 测量准备

FS-Pro 系统预装了美国国家仪器软件“Ni-Max”作为基础硬件配置工具。在执行测量前，您应当完成全部 SMU 配置。

- 1) 启动 Ni-Max 工具，该工具将自动刷新列表中的全部 SMU，列表中的 SMU 顺序将与机箱中的 SMU 顺序匹配。



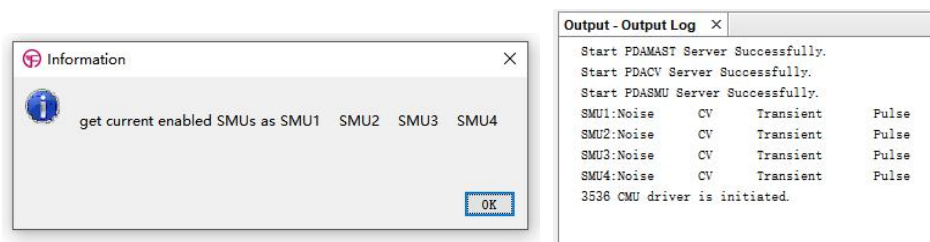
- 2) 检查仪器名称: SMU 名称必须遵循带有数字的“SMU”格式, 例如 SMU1, SMU2, SMU3 等, 同步卡必须命名为 6612_c2_*, 没有其他字符。所有名称设置都将在默认出厂配置中完成, 因此您无需更改任何名称。



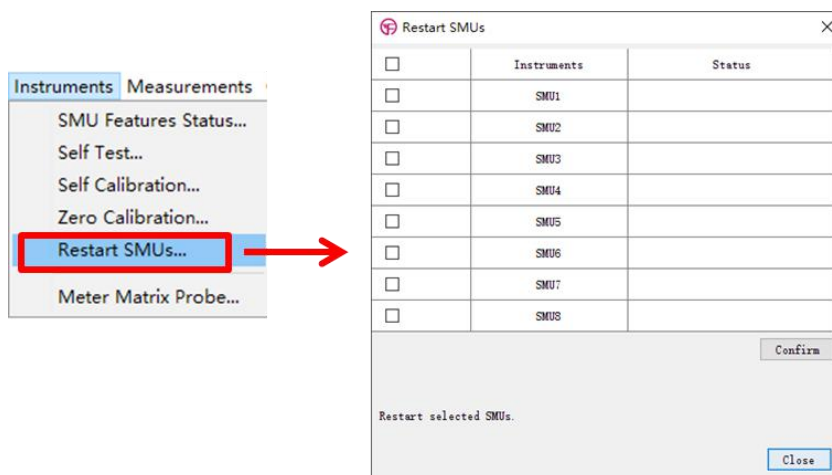
- 3) 运行“自校准”以检查 SMU 工作状态是否良好。请注意在校准过程中，SMU 状态指示灯将以橙色闪烁。请勿在此步骤连接 DUT。



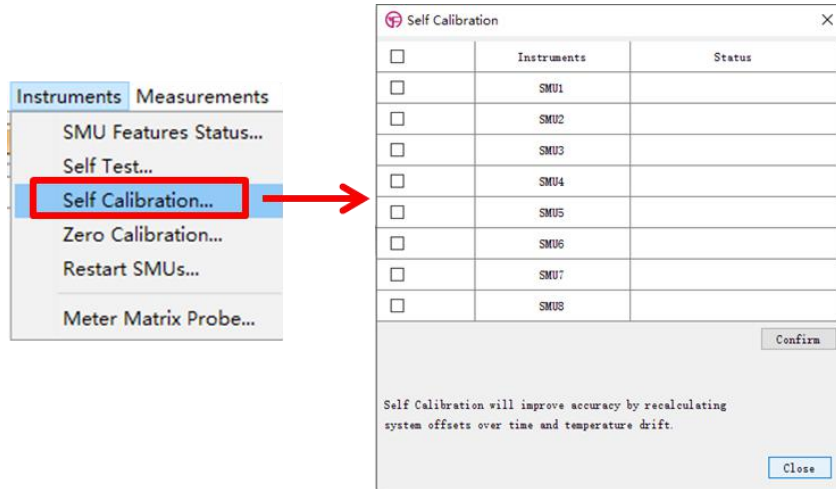
- 4) 启动 LabExpress 工具，然后它将报告所有有效的 SMU。如果测量服务正常工作，输出窗口将显示以下消息（LabExpress 专业版需要工作在 Server 模式，请参照 *LabExpress 用户手册* 的内容以 Server 模式启动软件）。



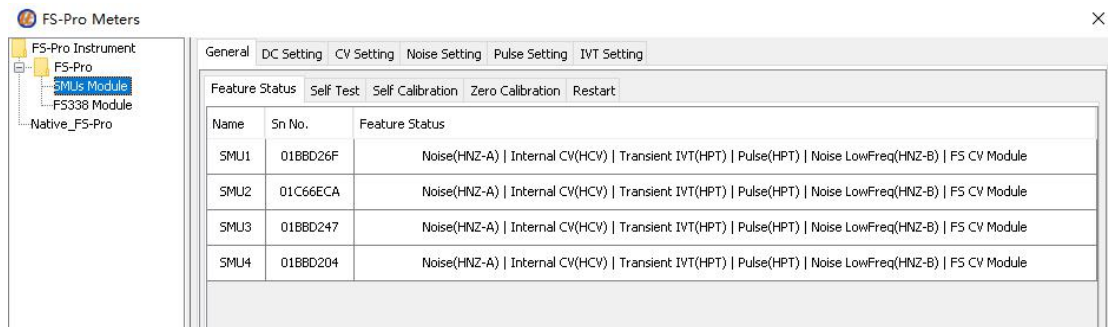
如果无法获得有效的 SMU 或启动测量服务，请尝试重新启动 SMU，或重新启动 LabExpress 工具，或重新启动控制器。



- 5) 运行“仪器”菜单下的“自校准”操作。这与 Ni-Max 工具中的操作相同。有了 LabExpress 工具后，您不再需要通过 Ni-Max 工具来校准 SMU，除非您需要更改硬件设置或进行故障排除。**请勿**在此步骤连接 DUT。



如果是 LabExpress 专业版，FS-Pro 设备管理功能位于 SMU 模块下的“General”页面。请参照 *LabExpress 用户手册* 的内容添加 FS-Pro 设备后再做管理。



- 6) 现在您的 FS-Pro 系统已准备就绪，请按照 *LabExpress 用户手册* 开始测量工作。

➤ 备注

- 1) 刚刚启动控制器时，操作系统需要几分钟的时间加载 Ni-Max 驱动程序。在这个后台进程运行期间，LabExpress 将无法找到 SMU 并且报告硬件错误。您可以稍后重启 LabExpress 来解决这个问题。
- 2) 什么是“自校准”？何时进行自校准？
时间和温度漂移可能会导致测量不准确。自校准功能可重新计算某些内部参考值，增益和偏移，从而显著提升在整个工作温度范围内的精度。

为获得最佳性能，请在满足以下条件时使用自校准：

- ✧ 在新环境中架设 FS-Pro 系统时
- ✧ 此前的自校准温度变化超过 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 或 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 时
- ✧ 当此前的自校准已超过建议间隔（24 小时）
- ✧ 重新启动 FS-Pro 系统后

- 3) 什么是“零校准”？何时进行零校准？

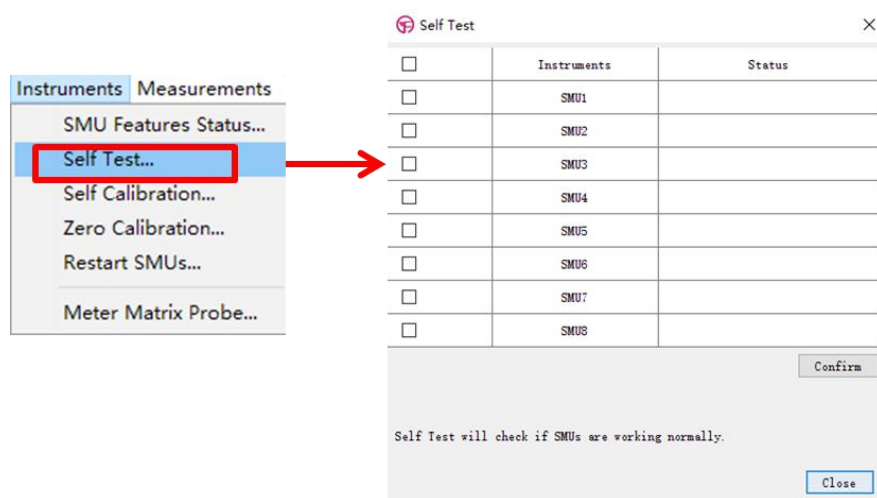
零校准是指电流/电压零位调整：SMU 将设置 0V/A 并获取一定时间（250PLC）电流/电压。实际情况下，SMU 将扣除零位调整记录的平均电流/电压。

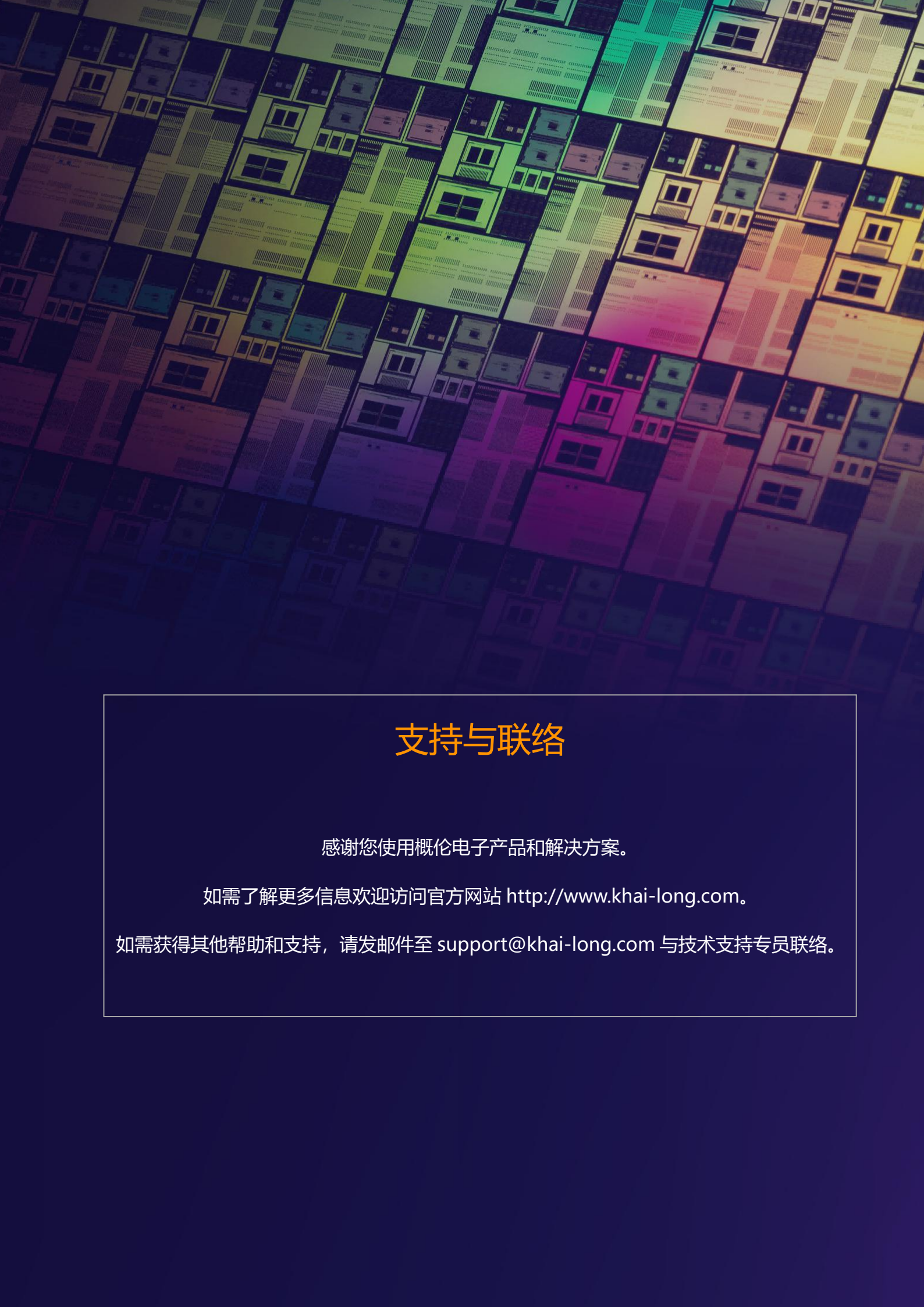
当可能发生潜在的漏电或偏置偏移时，使用零校准：

- ✧ 测量环境被改变，例如仪器更换，电缆切换，新的 DUT 夹具等等，尤其是在新架设系统之后。
- ✧ 当输入 0 电压/电流时，观察到输出电流/电压的恒定偏移，并且偏移量与分辨率相比足够大。

4) 由于 SMU 故障导致测量失败

有时您可能会发现 SMU 状态指示灯在某些测试条件下变为红色，或者所有指示灯都是绿色而测量报告“niDC***”错误，或有时为未知错误。在这种情况下，请首先尝试自检测。如果 SMU 测试失败，则应重新启动故障的 SMU。



An aerial, top-down view of a city grid. The streets and blocks are represented by various colored rectangles and squares in shades of blue, green, yellow, orange, and red. The pattern is dense and covers the entire upper portion of the image.

支持与联络

感谢您使用概伦电子产品和解决方案。

如需了解更多信息欢迎访问官方网站 <http://www.khai-long.com>。

如需获得其他帮助和支持，请发邮件至 support@khai-long.com 与技术支持专员联络。



PRIMARIUS

LabExpress™

用户使用手册

产品版本: 2021.1

2021 年 6 月

版权：©2018-2021 上海概伦电子股份有限公司版权所有。

本出版物受版权保护，未经授权使用本出版物可能侵犯版权、商标和其他法律。本文件包含专有信息并受版权保护。未经概伦电子事先书面许可，不得以任何方式或形式复制、抄袭或翻译本文件的任何部分。此声明授权您仅限于内部业务目的打印本出版物的一（1）份硬拷贝，前提是所有副本中均显示完整的本声明。在复制本文件的任何部分时，接收方同意尽一切合理努力防止未经授权使用和散布该专有信息。

免责声明：本文档中的信息如有更改，恕不另行通知。本文件中包含的全部商标和/或注册商标是其各自所有者的财产。概伦电子对其产品对于任何特定用途的适用性不作任何担保、表示或保证，并明确声明不承担任何适销性保证以及任何非侵权保证。概伦电子不承担因应用或使用任何产品而产生的任何责任，并明确声明不承担任何及所有责任，包括但不限于：特殊、附带或衍生的损害赔偿。

目录

1. 简介.....	- 1 -
1.1. 篇章结构.....	- 1 -
1.2. 术语.....	- 2 -
1.3. 图形用户界面.....	- 3 -
1.4. 了解工程结构.....	- 4 -
2. 快速开始.....	- 6 -
3. 操作流程.....	- 9 -
创建 DUT.....	- 9 -
测试设置.....	- 9 -
执行测试.....	- 9 -
显示结果和管理数据.....	- 9 -
使用自定义数据.....	- 9 -
使用设定库.....	- 9 -
3.1. 创建 DUT.....	- 10 -
3.2. 测试设置.....	- 11 -
3.3. 执行测试.....	- 18 -
3.4. 显示结果和管理数据.....	- 19 -
3.5. 使用自定义数据.....	- 24 -
3.6. 库管理.....	- 25 -
4. 一般器件特性测试.....	- 33 -
4.1. 基础介绍.....	- 33 -
4.2. 如何进行直流测试.....	- 35 -
4.3. 如何进行瞬态时域测试.....	- 38 -
4.4. 如何进行脉冲测试.....	- 40 -
4.5. 如何进行 CV/CF 测试.....	- 41 -
4.6. 如何进行噪声测试.....	- 45 -
4.7. 如何进行 Kelvin 测试.....	- 50 -
5. 高级功能.....	- 51 -
5.1. 管理 FS-Pro 设备.....	- 51 -
5.2. 管理探针台, 矩阵开关和其他仪表.....	- 53 -
5.3. 晶圆映射工程.....	- 53 -
5.4. 并行测试.....	- 60 -
5.5. Stress 测试.....	- 62 -
6. 选项与设置.....	- 65 -
6.1. 选项.....	- 65 -
6.2. 设置.....	- 68 -
7. 已知问题与解决方案.....	- 70 -
7.1. 命名.....	- 70 -
7.2. 保证数据安全.....	- 70 -
7.3. 重度负载下的性能退化.....	- 70 -
7.4. 意外软件故障.....	- 70 -
7.5. SMU 错误.....	- 71 -

7.6. 系统问题.....	- 71 -
8. 附录 A: 函数与算法.....	- 72 -
8.1. Sweep 函数.....	- 72 -
8.2. 数据发生器函数.....	- 75 -
8.3. Target 语法.....	- 75 -
9. 附录 B: 频率网格.....	- 80 -
支持与联络.....	错误! 未定义书签。

1. 简介

LabExpress 是 FS-Pro 系统的主要应用程序，用于管理仪器和执行各类测量，同时为大规模任务提供便利的功能。

软件功能主要包括：

- 高速直流/噪声测量
- 集成内置 CV 测量，无需换线
- 支持外置 CV 模块 FS336, FS338 和 FS339
- 支持 HP4284 和 E4980 用于第三方 CV 测量设备
- 支持典型矩阵开关设备 (K707, B2200, E5250A)
- 支持典型探针台设备 (Cascade PA300/S300, MPI)
- 集成的 SMU/CMU/设备管理
- 用户自定义器件类型
- 灵活的测试配置
- Spec 测试
- 用于大型晶圆级任务的高级功能

1.1. 篇章结构

LabExpress 用户指南的章节概览如下：

快速开始

本章为您提供有关配置和完成测试的入门操作步骤。

一般器件特性测试

本章介绍基本器件测试的信息与操作。

高级功能

本章介绍用于批量测试任务的扩展功能。

选项与设置

本章补充有关选项与设置的信息。

已知问题与解决方案

本章提供一些相关注意事项。

1.2. 术语

在准备执行一个快速测试前，请熟悉以下术语：

Page: 一个 page 定义了一条扫描测量曲线的配置，并存储对应图表数据。

Spec: 一个 spec 定义了一个器件 spec 特征值测量的配置。

Routine: 一组用于测量的 page 和 spec。

连接 (Connection): 定义器件管脚如何连接到 SMU。

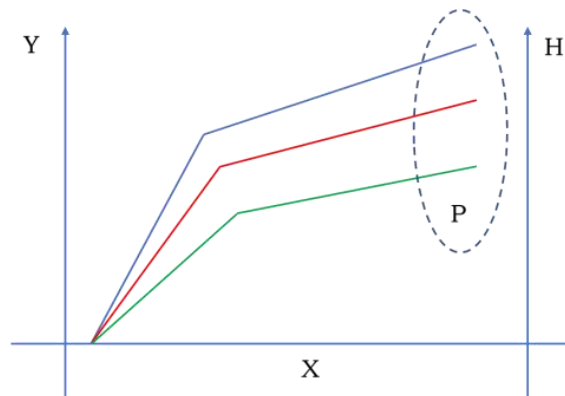
DUT: 被测器件。

内置器件类型 (Core Device Type): LabExpress 内置了常见器件类型，例如 mosfet, bjt, 二极管等等。对于这些器件类型，其物理模型已被充分研究过，这些既有知识可以辅助测量任务。目前已植入的内置器件类型有：

- Mosfet: 3T/4T/5T/6T
- BJT: 3T/4T/5T
- 二极管: 2T/3T/4T
- 电容: 2T
- 电阻: 2T/3T/4T/5T/Kelvin
- 自定义数据（通过 excel 表格直接发送任意 SMU 数据）

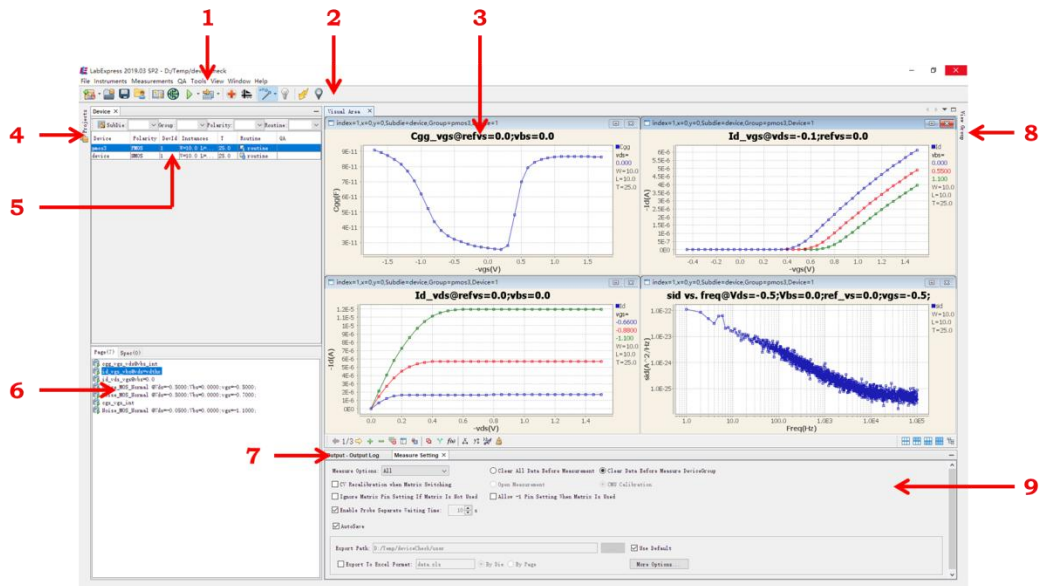
用户自定义器件类型: LabExpress 还支持用户自定义新的器件类型以满足特殊器件参数和管脚需求。用户自定义类型既可以从已知的器件模型中派生以分享既有知识带来的好处，也可以从自定义数据类型构建全新的模型以此匹配新颖实现。

图像: 一个图像描绘了若干曲线，通常包含 X 轴和 Y 轴，有些图像可能会有不同 P 轴的曲线，有些图像会给其他输出显示在 H 轴上。



1.3. 图形用户界面

下图展示了 GUI（图形用户界面）的概览。GUI 的各个部分功能总结如下：



GUI 组成描述

- (1) 菜单区：提供多种设置，选项与操作。
- (2) 工具栏：提供 LabExpress 的主要功能。
- (3) 结果检视区：可视化测试结果以供查看和分析。
- (4) 工程导航：管理和操作若干工程。
- (5) 器件面板：展示所有器件和 routine。
- (6) Page 和 Spec：高亮 routine 包含的 page 和 spec 配置。
- (7) 提示信息：提供操作和测量的详细信息。
- (8) 显示组：将不同子视窗的图像编组以便快速查看。
- (9) 测量设置：一些特殊的测量功能设置。

1.4. 了解工程结构

LabExpress 既能对单个器件同时也能对整个半导体晶圆进行特性测试。测试设置和数据都存储在工程当中。



1.4.1. 快速工程（Quick Project）

对于一般器件特性表征，快速工程提供了器件级的数据组织结构以及直观的器件连接设定，让用户能快速开始一个器件测试，工程的主要结构按如下逻辑层次构成：

- 器件

在工程根节点下添加不同器件类型的器件，每个器件可包含不同的测量 routine。

在快速工程中，你可以直接从主界面上添加 DUT 和测试内容，编辑测试设定时可直接指定每个器件管脚的 SMU 连接和扫描条件。然而你无法使用高级设定功能，例如通过管脚间的相对关系设定偏压和跟踪扫描，使用变量和 spec 值作为带参扫描条件，不同扫描尺度的分段测试等等。你也无法使用自定义器件类型以及基于 Excel 表的自定义数据测试。

1.4.2. 器件工程（Device Project）

对于一般器件特性表征，器件工程提供了器件组级的数据结构并支持灵活的器件偏压设定，让用户能完成更多复杂的测试方法，工程的主要结构按如下逻辑层次构成：

- 器件组

你可以在工程根节点下添加具有不同器件类型的多个器件组。

- 器件（器件 1，器件 2，...）

你可以为一个器件组添加多个器件。你可以添加或删除不同的器件参数。同一个器件组的所有器件将共享相同的测量 routine。

在器件工程中，你需要通过 DUT 设定窗口来添加 DUT 和测试内容，通过定义连接来设定 SMU。但是你可以使用快速工程中无法使用的全部高级功能，同时当相同测试内容的器件很多时，器件工程可以节省重复设定的时间。

1.4.3. 晶圆工程 (Wafer Project)

对于晶圆级任务，晶圆工程可以支持整个晶圆的管理，层次结构也更复杂：

- **Die**

一个 die 是一个晶圆上包含完整测试结构的最小块区域。一个 die 可以包含多种器件类型。一个晶圆工程可以包含待测晶圆上所有的 die。

- **SubDie**

SubDie 又被称作“Subsite”，“Testkey”，“Spine”等名称。它是整个测试结构中一部分器件类型构成的测试子集。

- **器件组**

一个 Subdie 可以包括具有不同器件类型的多个器件组。

- **器件 (器件 1, 器件 2, ...)**

你可以为一个器件组添加多个器件。你可以添加或删除不同的器件参数。同一个器件组的所有器件将共享相同的测量 routine。

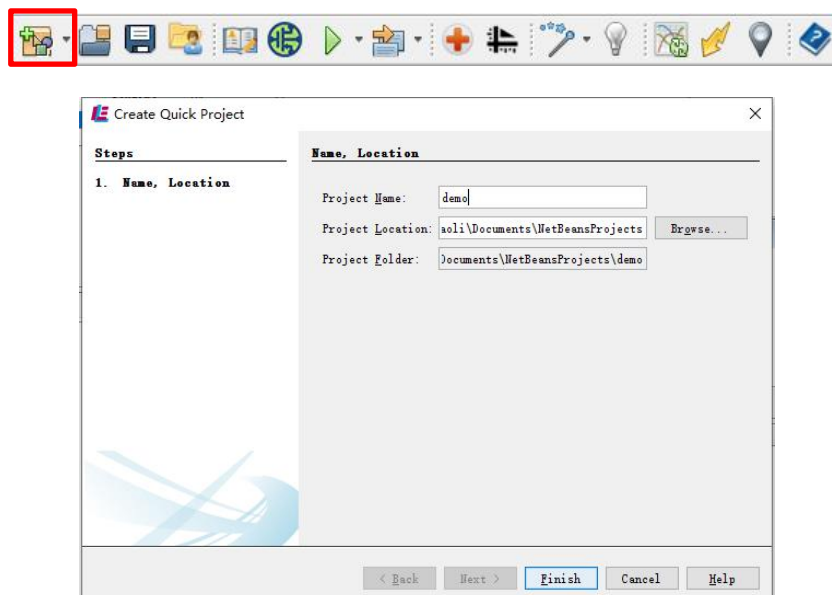
晶圆工程在器件工程的基础上增加了晶圆级数据管理的能力和半自动探针台支持,并且可以通过 Excel 表格的方式进行快速的大批量设定。

2. 快速开始

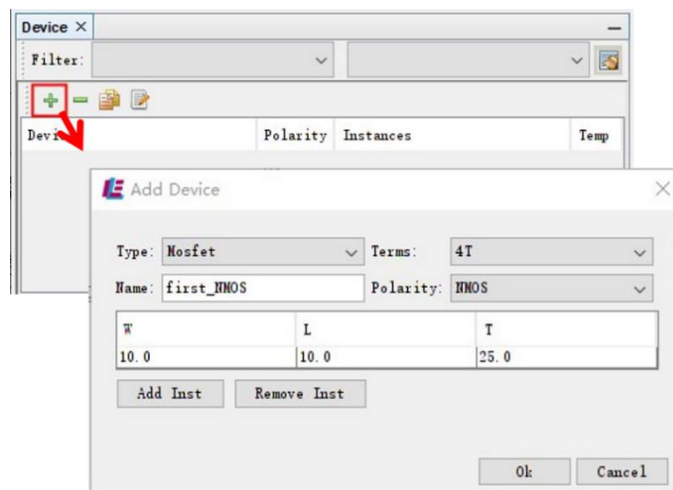
我们以快速工程为例示范如何快速开始一个测试。不同类型的工程操作方式会略有不同，我们会在之后的章节分别介绍。在开始新的测量前，首先请检查你的系统状况：

- (1) 启动 LabExpress 工具，它将报告所有有效的 SMU。
- (2) 单击菜单区中的“仪器（Instruments）”，运行“自校准（Self-Calibration）”以消除系统偏差。（在 LabExpress 专业版本中，此功能位于每台 FS-Pro 设备的 SMU 模块设置中，请先参考第五章中[管理 FS-Pro 设备](#)一节管理 FS-Pro 的设备）
请查看“FS-Pro 测试系统操作手册”以获得更多信息。

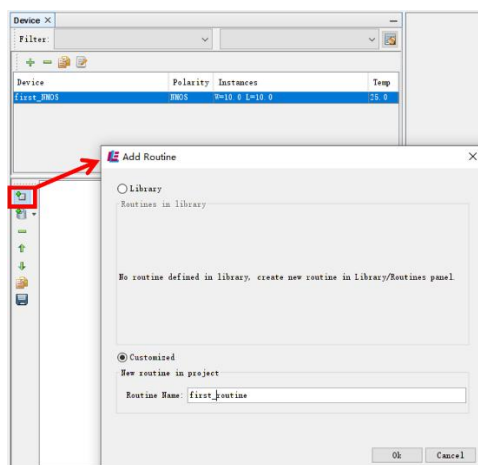
- (3) 单击“创建快速工程（Create Quick Project）”创建一个新的 QuickMeaProject，命名为“demo”，然后单击“完成（Finish）”。



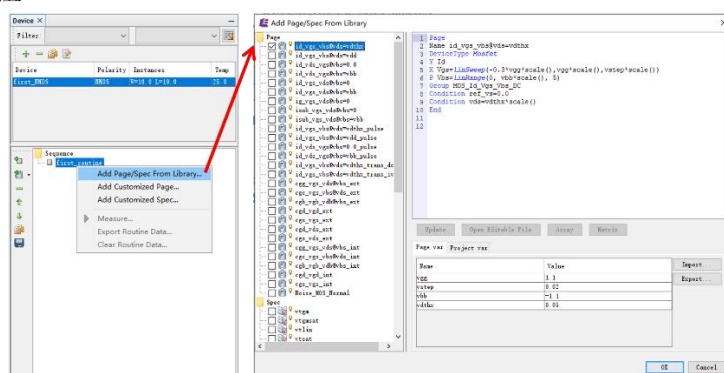
- (4) 单击“+”（Add Device）按钮，在 Add Device 界面选择器件的类型 Mosfet，管脚个数 4T 以及极性 NMOS，并为 device 命名为“first_NMOS”，点击 OK 完成创建器件。



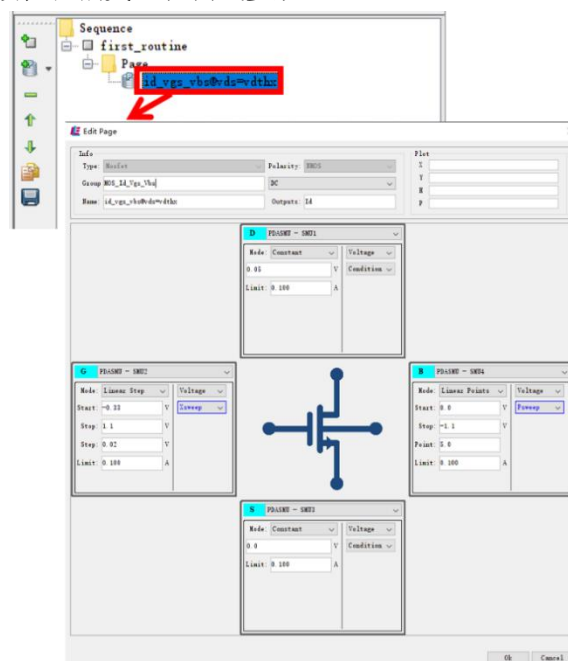
(5) 选中这个器件,然后单击“+”(Add Routine)按钮添加 routine。选择“自定义(Customized)”并将其命名为“first_routine”。



(6) 选中刚添加的 routine 并点击鼠标右键,选择“从库中添加 Page/Spec”。你会看到在我们的库中有许多 Page 和 Spec 的预定义测试配置。选择名为“id_vgs_vbs@vds=vdtbx”的 page,然后按“OK”按钮。

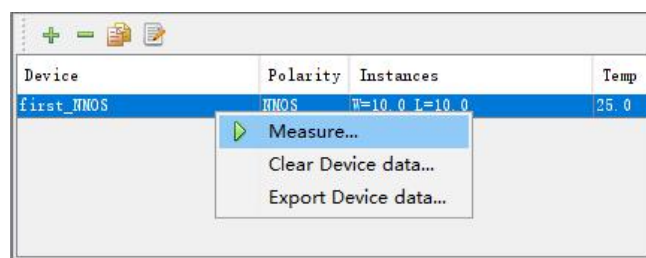


(7) 在 page 区可以看到新添加的 page, 双击此 page, 然后将显示编辑窗口。可以在“界面”中编辑每个管脚的连接, 扫描类型和测试参数。

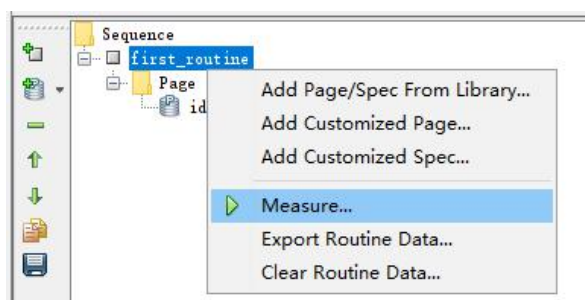


(8) 单击“OK”确认后可以关闭 page 编辑窗口。

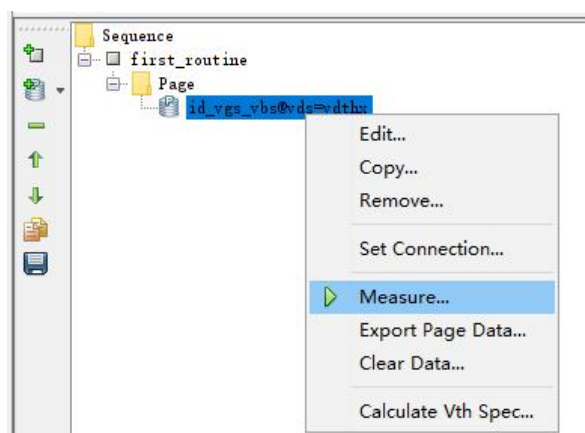
(9) 在 device 管理区域，选中任意一个 device，右键菜单栏中“Measure”可以对选中器件执行测试。



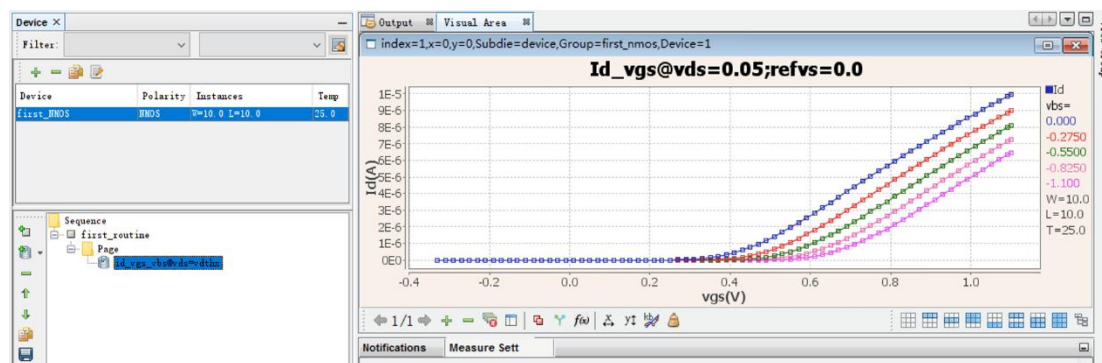
选中任意 routine，右键菜单栏中“Measure”可以对选中的 routine 执行测试。



选中任意 page/spec，右键菜单栏中“Measure”可以对选中的 page/spec 执行测试。



(10) 测试结束后，可以在结果检视区查看测量结果。



(11) 测试结果都会存储在数据库中，右键菜单中的“Export”可以将选中的数据导出到文件。

3. 操作流程

在这一节，我们将讨论测试过程中大多数用户都会关注的热点问题，同时浏览日常工作中的整个工作流程。这部分将包括如下的内容：

创建 DUT

- [添加新器件](#)

测试设置

- [添加 Routine](#)
- [添加 Page/Spec](#)
- [编辑 Page/Spec](#)
- [设置连接](#)

执行测试

- [运行测试](#)

显示结果和管理数据

- [查看结果并分析数据](#)
- [导出数据](#)

使用自定义数据

- [Excel 方式的自定义数据](#)

使用设定库

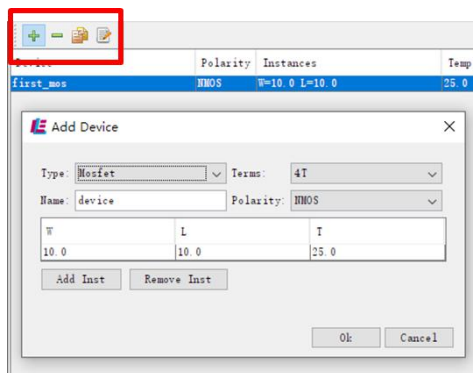
- [库管理](#)

3.1. 创建 DUT

在创建 DUT 之前，你必须先创建一个工程。不同工程类型在创建器件的时候会稍有不同。要创建一个新工程，你可以单击工具栏中的创建工程按钮或是“文件”菜单下的“新建工程”选项。对于器件工程，你可以直接在根节点下创建器件组。对于晶圆工程，它包含很多 die 和 subdie，你可以认为是很多个根节点，但他们的操作方式是一样的。在这部分，我们集中在一般器件创建方法。针对海量器件数据管理，请查看[高级功能](#) 章节中的[晶圆映射工程](#)部分。

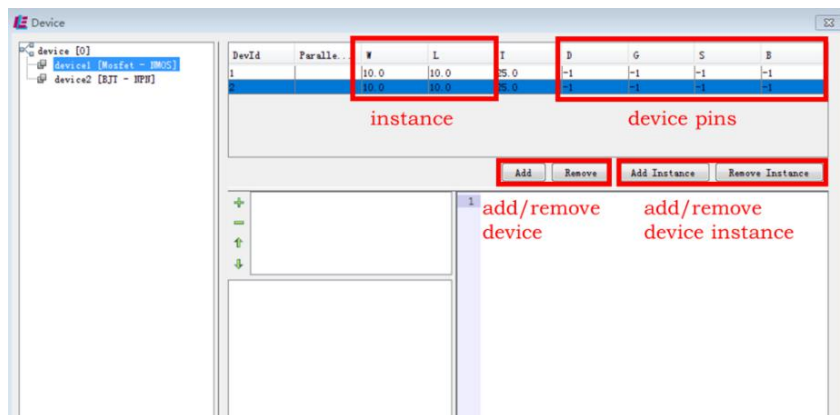
3.1.1. 在快速工程中添加新器件

在快速工程中，你可以直接从主界面工具栏上进行器件的增加，删除，复制和编辑操作。一个器件的基本属性包括：器件名称，器件类型，管脚数量，极性，以及相应的器件特征参数。

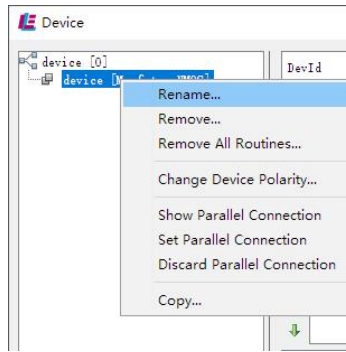


3.1.2. 在器件工程中添加新器件

器件被创建到器件组中。每个器件组有它的器件类型，可以是内置类型或用户定义的类型（对于用户定义器件类型，请查看[自定义器件类型](#) 部分以获取详细信息）。你可以在每个根节点下添加任意数量的器件组。在每个组中，可能有多个器件。你可以通过“add”/“remove”按钮来修改器件数量。每个器件具有它的器件特征参数，温度和器件脚位。你可以通过“add instance”/“remove instance”按钮来修改器件特征参数。器件脚位部分定义了器件管脚和矩阵开关脚位之间的映射关系（查看[高级功能](#) 中的[矩阵使用](#) 章节）。你双击一个单元格来修改表格中的值。这些 DUT 可以分为不同的并行组进行并行测试（请查看[高级功能](#) 章节中的[并行测量](#)）。



器件组建立完成后，你可以通过鼠标右键菜单来操作它。



Rename...: 对选中的器件组进行重命名操作。

Remove...: 对选中的器件组进行删除操作。

Remove All Routines...: 删除选中的器件组中所有 routine。

Change Device Polarity...: 对选中的器件组进行极性修改操作。

Copy...: 对选中的器件组进行复制操作。

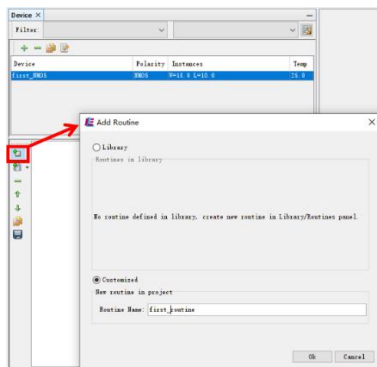
3.2. 测试设置

在快速工程中，你可以直接在主界面上添加测试设置。在器件工程和晶圆工程中，你需要通过 DUT 设定窗口来编辑测试设置。无论通过哪种工程入口，设定方法是一致的。有两种方式给器件组设定测试设置：直接添加一个本地的自定义配置以及添加一个库中已有的配置。在本节我们将集中介绍如何自定义测试设置的操作。模板库操作将在[库管理](#)一章中介绍。

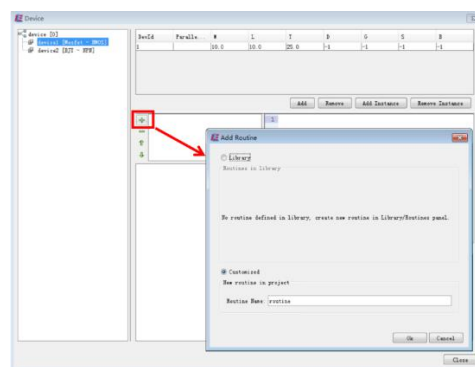
3.2.1. 添加 Routine

3.2.1.1. 添加自定义 Routine

对于第一次测试或者一些快速工作，你可以只添加一个本地的自定义 routine。在“Add Routine”对话框，选择“Customized”并给一个 routine 名称。初始状态下一个本地自定义 routine 是空的。你可以参考 3.2.2 节的说明添加 page 和 spec。



快速工程



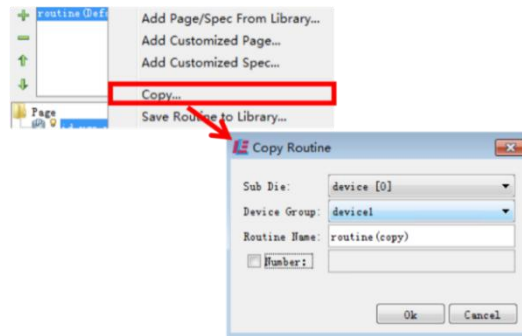
器件工程

3.2.1.2. 从库中添加 Routine

如果你在库中已有预设的 routine，你可以从模板库中直接将其添加并快速完成部署。有关模板库操作详细信息，请查看[库管理](#)部分。

3.2.1.3. Routine 操作

对于某个器件组,你可以通过“+”/“-”按钮添加或删除 routine, 或通过“↑”/“↓”按钮调整 routine 序列。你可以按照 3.2.2 节的说明继续添加或删除 routine 中的 page 和 spec。你也可以通过鼠标右键将 routine 复制到其他具有相同类型的器件组。

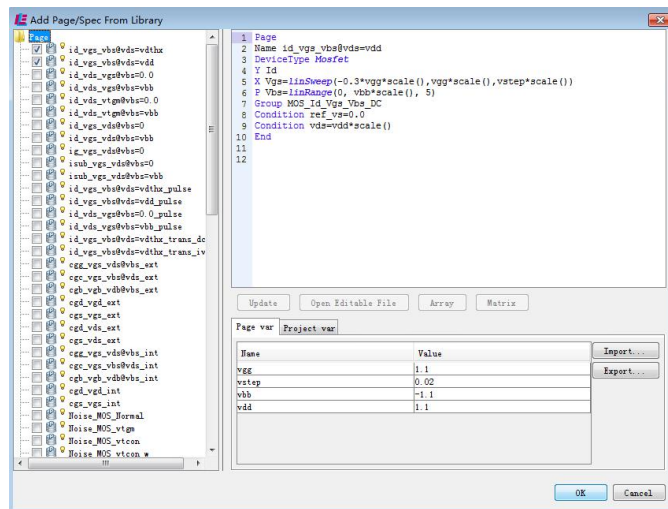


在完成大量编辑（包括添加 page 或 routine）后，你可以通过给出的组名称和 routine 名称将编辑好的 routine 保存到库中，以便重复利用（否则这些设定都是在此工程内部的）。请查看 [Routine 管理](#) 部分了解详情。

3.2.2. 添加 Page/Spec

3.2.2.1. 从库中添加 Page/Spec

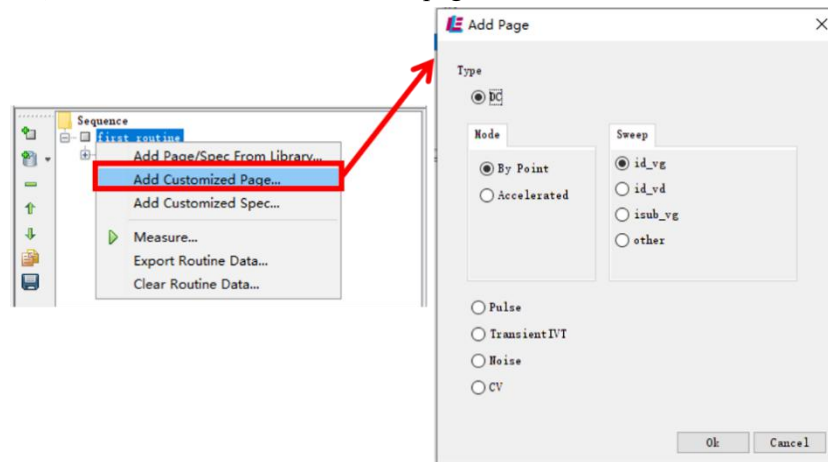
模板库中对于每种内置器件类型都提供了丰富的预设，因此你可以直接添加到 routine 中。选择一个 routine，从右键菜单中单击“Add Page/Spec from Library”选项，你可以看到模板库中的已有 page 和 spec。按你的需要选择一个或一系列项目，将他们勾选后按“OK”。这些 page 和 spec 就会被添加到 routine 中。



3.2.2.2. 添加自定义 Page/Spec

如果你想设定一些特殊的配置，你可以做完全的自定义操作。右键单击你所选择的 routine，单击“添加自定义 page”或“添加自定义 spec”。

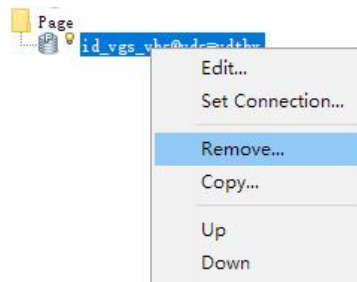
- 快速工程中，添加自定义 Page 界面上会引导你选择测试类型，点击 OK 后，会生成默认的测试设定，修改 node 端的偏压即可完成 page。



- 器件工程将显示内容空白的 page 编辑对话框。你可以根据 3.2.3 节介绍的一般编辑方法设置。

3.2.2.3. 其他操作

你可以通过右键菜单完成删除/复制操作，并用“Up”/“Down”按钮调整 routine 中的项目顺序。



3.2.3. 编辑 Page/Spec

双击某个 page/spec，你将看到“Edit Page”/“Edit Spec”对话框。对话框包含 Page/Spec 基本信息，Sweep 信息，Target 信息和 Strategy 信息四部分。

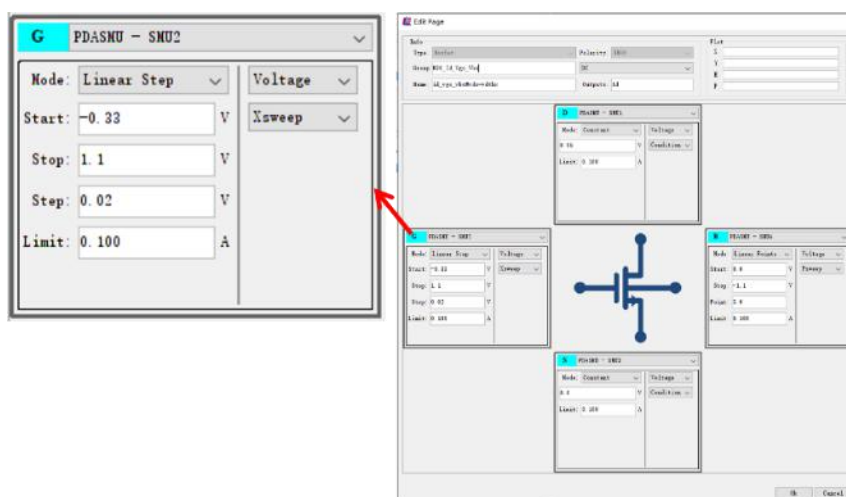
Page/Spec 基本信息

显示了关于这个测试的一些基本信息。Type 和 Polarity 是器件的属性。填写 page 名称和 group 名称来区分这个配置。根据测试目的选择 [测量类型](#)。声明测试输出信号。请注意，对于不同的测量类型，此编辑对话框可能会略有不同，只有类型匹配的输出可以使用。这点将在后面每种测试章节加以讨论。

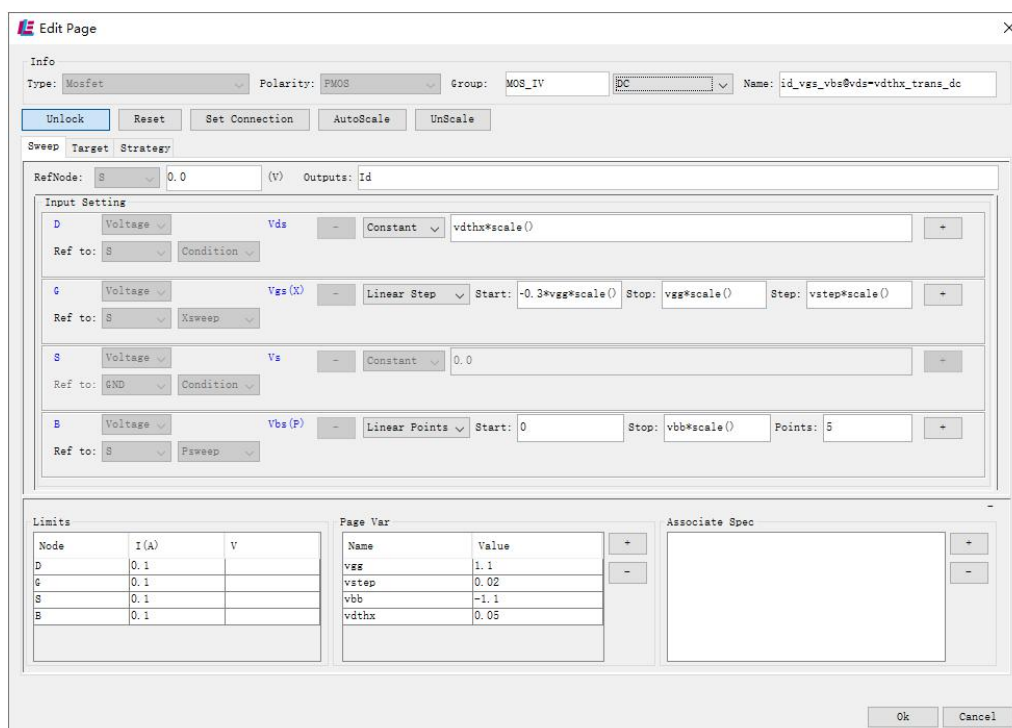
Sweep 信息

定义器件各端的扫描方式，信号限值以及输出。

快速工程中，在“Edit Page”/“Edit Spec”对话框中，在不同的 node 端，可以定义连接关系，扫描方式以及信号限值。在逐点模式直流测试中，你可以设定双向扫描。



在器件工程和晶圆工程的对话框中，你可以配置测试类型，SMU 连接，偏压拓扑结构，扫描方式，输出信号。



Lock/Unlock: 锁定或者解锁偏置拓扑与扫描配置部分的编辑窗口。预置模板可以满足大多数测试需求。一般情况下你可以只关注具体偏压的值而不会弄乱这些重要的配置信息。

Reset: 将输入设置重置为先前保存的设置。

Set Connection: 定义器件管脚如何连接到 SMU。有关详细信息，请查看 [设置连接](#) 部分。

AutoScale/UnScale: MOS 和 BJT 器件类型具有正极性和负极性。他们的偏置条件会有不同的正负号。在 page 设置中，你可以使用 `scale()` 函数来定义极性相关的符号以避免因为极性不同而创建冗余的 routine。“AutoScale”和“UnScale”按钮将帮助检测可能需要的 `scale()` 函数

并自动添加或删除它（请注意，用户仍需要进行再次检查，因为该工具无法保证完全理解用户的意图）。

Input Setting: 填写每个器件管脚的输入。对于一个器件管脚，有两部分内容需要设置：偏压设定和信号产生。偏压设定部分定义了一个信号是电压还是电流以及它的参考关系。信号产生部分定义了扫描方式和设定值。在所有管脚当中，必须有一个且只能有一个“Xsweep”。可以有一个“Psweep”或者没有。所有其他输入应为“Condition”。你可以通过“+”/“-”按钮使用多个不同的扫描分段。请查看[信号产生](#)部分获取更多信息。这个部分在不同测试类型下可能有些微的不同。这点将在后面每种测试章节加以讨论。

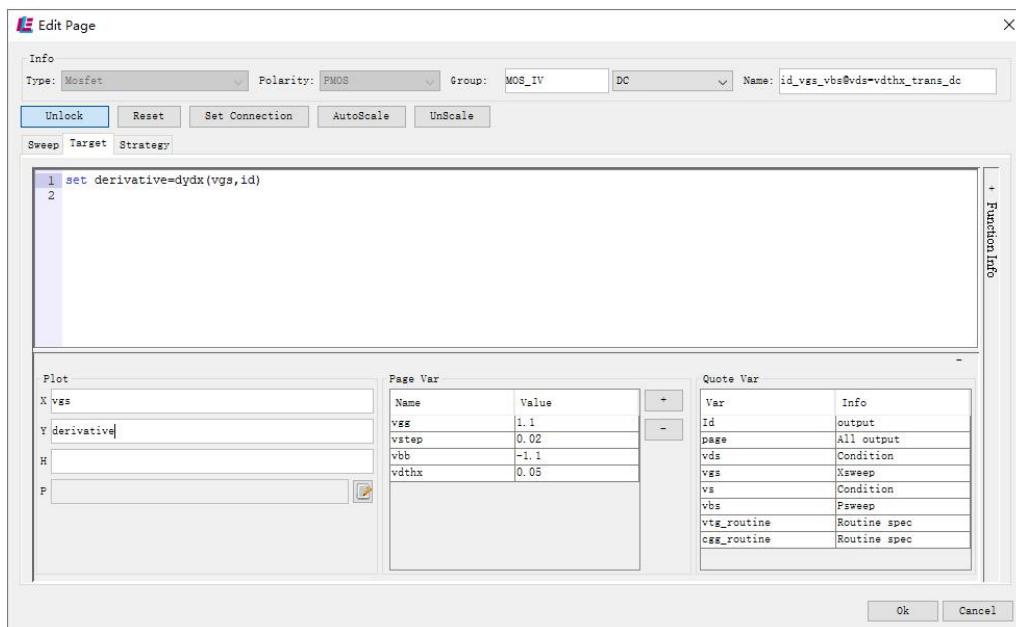
Limits: 这部分定义了每个管脚的信号限值。每个器件管脚可以使用电压模式或电流模式来工作。如果使用电压模式，那么输出会被限流。如果使用电流模式，那么输出会被限压。

Page Var: 除实数外，扫描设置中也可以使用变量和简单的公式（查看[附录 A](#) 中的支持函数）。Page 变量定义了在本 page 中使用的局部变量。

Associate Spec: 你可以在扫描设置中添加 spec。在 page 中使用 spec 前，此 spec 必须已经在模板库中定义过。如果一个 page 中包含了 spec，那么添加 page 时该 spec 也会被一同添加到 routine 中。仅存在 Page 中，且仅支持 DC 和 Noise 类型。

Target 信息

定义根据 Sweep 结果进行数学公式变换。在 Page 中公式变换的结果可以作为绘图的结果，用于显示和导出数据；在 Spec 中公式的变换结果作为 Spec 的最终结果进行输出。



Function Info: 列举支持的数学公式，包括公式名称，公式详情和例子，所支持的公式类型包括常数，三角函数，代数函数，差分函数等，点击“+”查看详情。

Plot: 管脚偏置和输出定义了原始捕获的信号。但是，对于测试结果 QA 和建模需求，你可能希望以不同的视角查看结果。通过使用重定义绘图功能，你可以轻松地重新绘制结果用于

显示和导出而无需更改原始数据。仅存在 Edit Page 中。

重定义绘图功能支持：

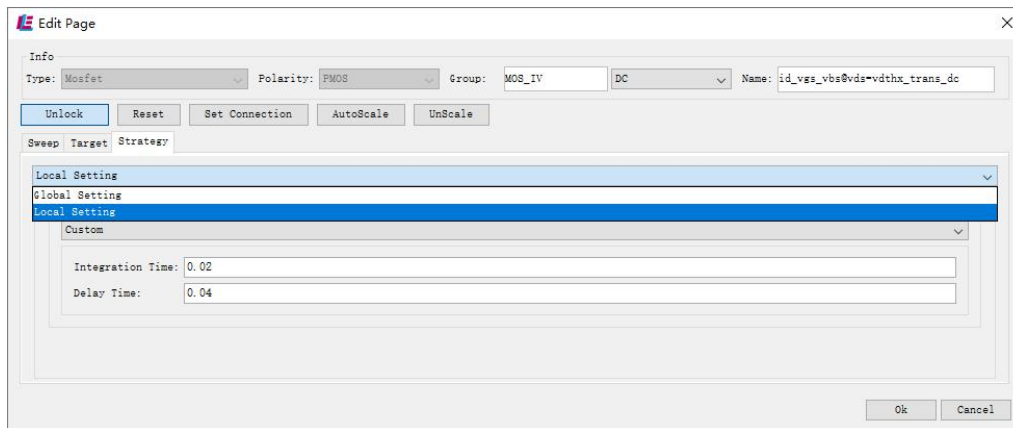
- (1) 通过当前 X 轴偏置和捕获的输出信号定义新的 X/Y 轴,可以应用函数(请查看[附录 A](#)) ;
- (2) 定义第二个输出轴 H;
- (3) 过滤 P 值;
- (4) 用“:”定义别名,例如 Beta: Ic/Ib, 然后 Beta 将代替 Ic/Ib 用于图表和数据。

Page Var: 与 Sweep 中 Page Var 一致

Quote Var: 列举在 Target 中可以支持的 Sweep 的引用。

Strategy 信息

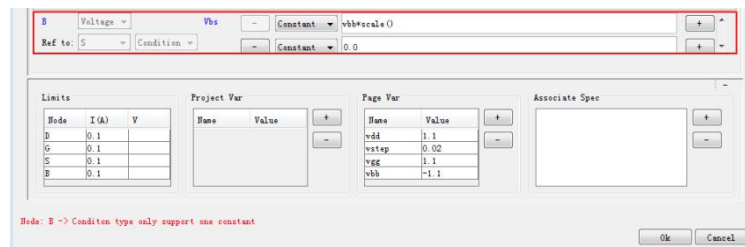
定义当前 Sweep 测试时采用的策略,分为 Global Setting 和 Local Setting 两种模式



Global Setting: 使用软件全局的测试策略,即 Measurement 菜单下制定的策略。

Local Setting: 局部策略,设定的内容仅应用于当前 sweep 的测量,目前只支持 IV 测试(DC, DC(Point By Point), IVT 和 Pulse IV)。

任何输入错误都会被检查出来,并通过红色警告标签通知。



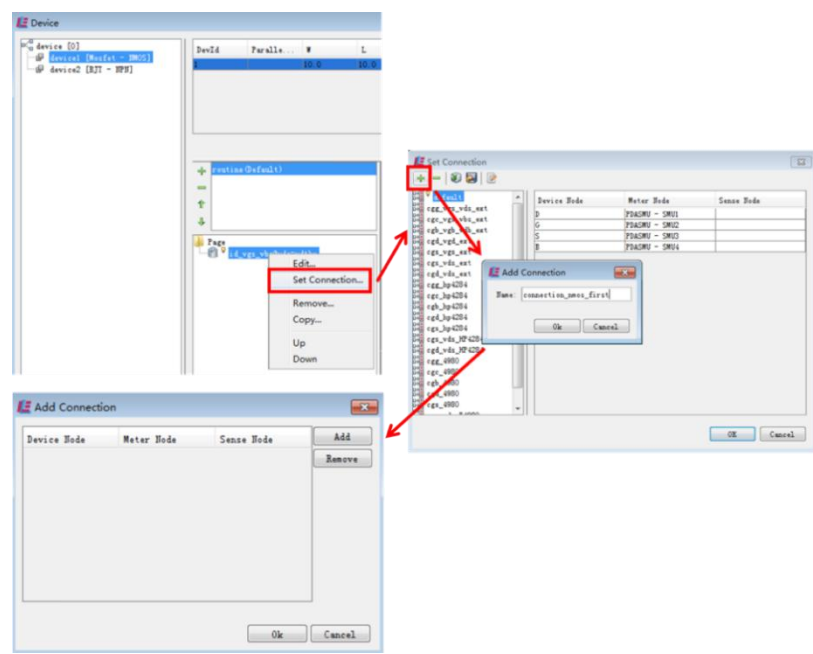
3.2.4. 设置连接

如果一个 page/spec 从未显式设定过连接,它将使用默认连接。你可以通过“Set Connection”功能给 page/spec 显式设定连接。在“Set Connection”对话框中,所有可用的连接都会在左侧列出。这些连接都是存储在模板库中的。你可以选择一个使用,也可以编辑当前的连接或者

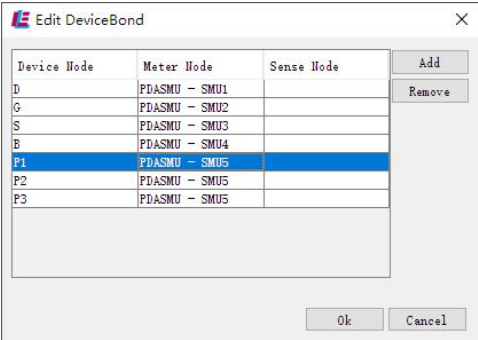
新建一个连接。

注意:

不同于 **routine** 和 **page** 设置，所有连接都是存储在模板库中并被所有设置和工程使用的。所以你的修改会影响到所有使用此连接的其他设定，尤其要注意默认连接。请查看[库管理](#)一章中的[连接](#)一节来了解详细信息。



对于一些特殊类型的测试，不同的器件管脚会连接到相同的 SMU，尤其是像 CV 连接或是可寻址测试方案。这种情况下，如果一个 **page** 使用这种类型的连接，那么“Edit Page”对话框中只有第一个管脚的输入可以修改，其他使用相同 SMU 的管脚会自动跟着一起变化。



3.3. 执行测试

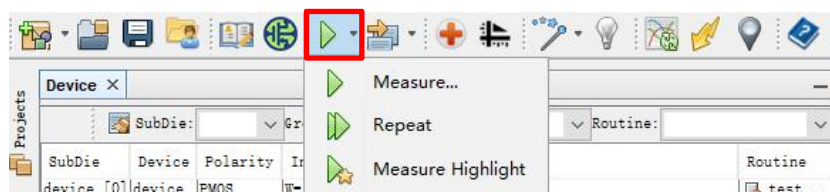
有两种途径来执行测试：通过工具栏上的按钮以及鼠标右键。

注意：

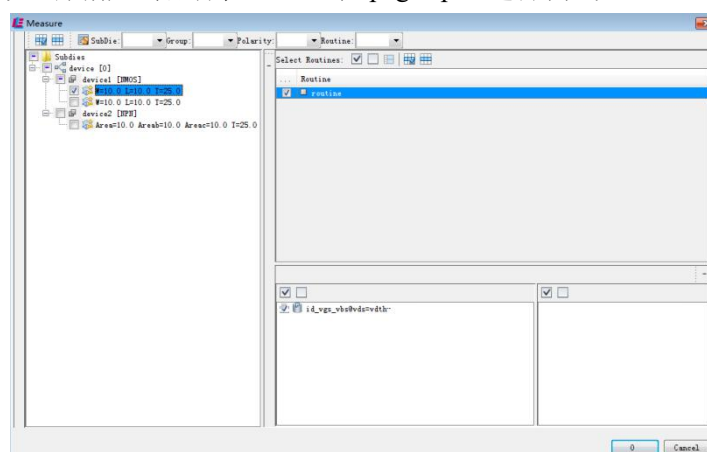
在运行 CV 测试之前，请记住进行 CV 校准。请参阅[如何进行 CV/CF 测试](#) 章节了解详细信息。

3.3.1. 运行测试

单击工具栏的“测量”按钮，你会看到三个选项：*Measure*，*Repeat*，和 *Measure Highlight*。



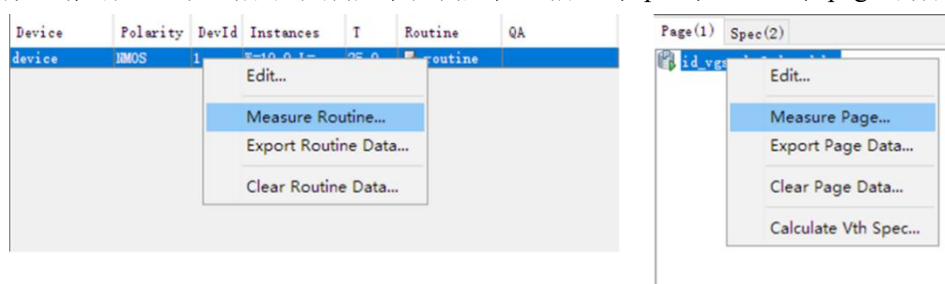
Measure: 你能够选择指定的器件，routine 和 page/spec 进行测试。



Repeat: LabExpress 将自动重复你的上一次测试。

Measure Highlight: 测试当前高亮的 die, plan, routine, page 或者 spec。

另一种方式，你可以从鼠标右键触发单次测量，包括 die, plan, routine, page 或者 spec。



所有测试方式均由测量设置控制。请查看[测量设置](#) 了解详情。

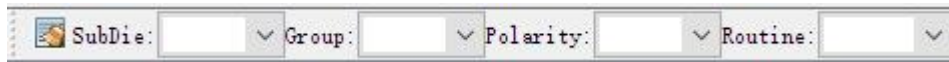
3.4. 显示结果和管理数据

LabExpress 提供许多工具帮助你查看，分析，以及导出数据。

3.4.1. 查看结果并分析数据

3.4.1.1. 过滤器

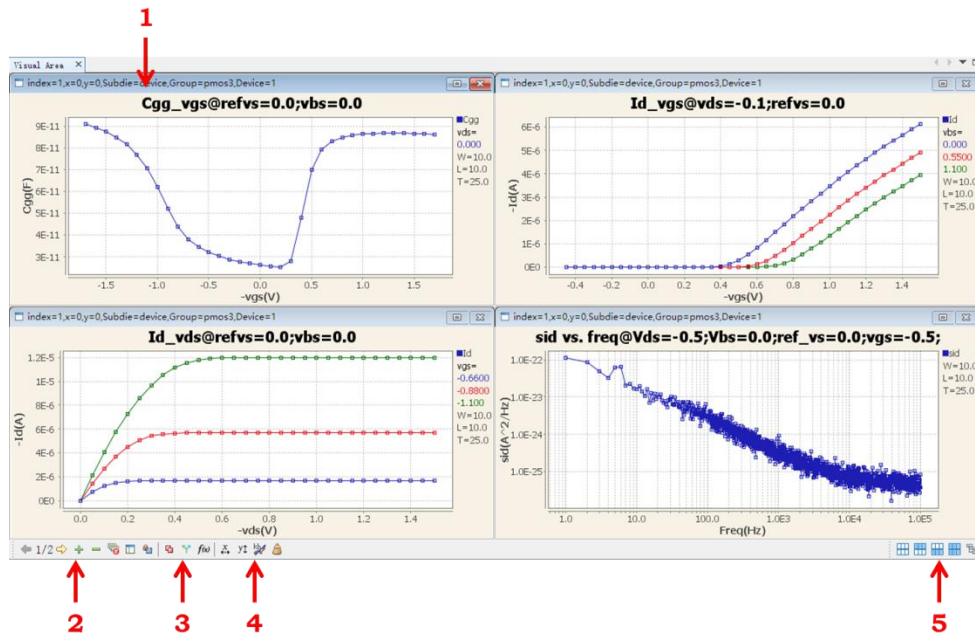
在器件面板，测量和导出对话框中，都有一个用于过滤的工具栏。你可以使用过滤器来筛选查看特定的 Subdie，器件组，极性或 routine 并隐藏不需要的项目。请记住，只有显示出来的项目才会被操作。



3.4.1.2. 结果检视区 (Visual Area)

Page 测量完成后，曲线将自动显示在结果检视区。对于某些类型的测试，你可以选择实时逐点查看结果。请参考[选项](#)中的 Sequential 模式。你可以选择一个 page，然后图像将自动显示在当前激活的子视图中。

结果检视区提供了查看和分析数据的主要功能。它具有一个屏幕区和一个工具栏区。详细功能描述如下。



(1) **子视图 (Frame):** 一个子视图显示一个图像。一个图像可以是一个单独测量图也可以是一个曲线叠图。一个屏幕内可以包含很多个子视图,因此你可以放置很多图像来比较结果。测量过程当中,当前激活的子视图会被锁定来显示当前测量的结果,你可以同时在其他子视图中浏览之前测过的结果。

(2) **屏幕与子视图工具 (Screen & Frame tools):** 这些工具帮助你设置屏幕和子视图。你可以添加或删减一个屏幕,检查前一个或后一个屏幕,删除所有屏幕,通过行列值改变子视图布局,以及立刻回到当前锁定的视图。

(3) **叠图与变换 (Overlap & Conversion):** 这些工具可将多个子视图的图像叠加到一起,

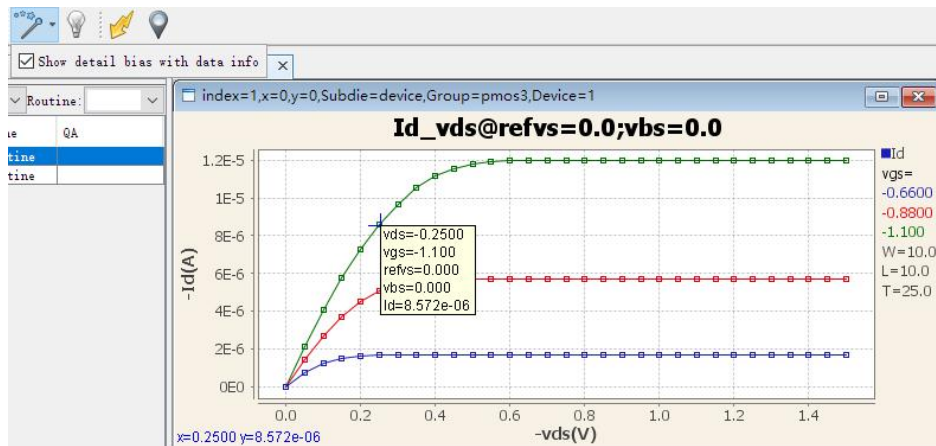
将一个图像中的多个输出分别显示在不同的子视图中，以及在所有屏幕上应用算法变换。

(4) **距离与拟合 (Distance & Fitting)**: 这几个工具可以快速计算两点间的水平距离和垂直距离，以及用所选区间内的点拟合一条直线，求取某一点的斜率，或者是计算某段区间数据的相关系数。

(5) **快速排图 (Quick Graph Placement)**: 你可以通过快速排图按钮一次将不同器件和 routine 的多张图像同时显示出来。一个排图按钮由一些蓝色点和白色点组成。蓝色点阵表示这部分要看的是高亮的项目，白色点阵表示要看的是所有项目。最后一个按钮可以用树形结构组件选择指定的项目。

3.4.1.3. 在图像中查看结果

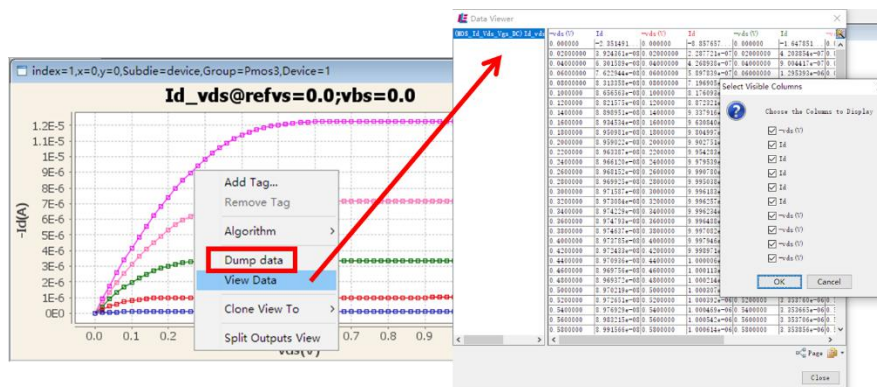
当激活数据信息模式时，你可从左下角处读到位于光标处的 X/Y 值。你还可以通过勾选“Show detail bias with data info”选项来读取每个点的详细偏置信息。



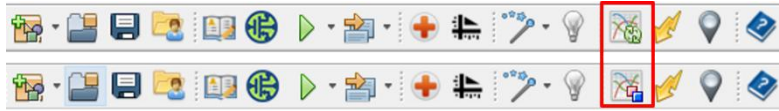
双击子视图面板右侧的 P 轴取值，你可以隐藏特定曲线。

3.4.1.4. 在表格中查看结果

你可以通过右键菜单中的“View Data”功能来浏览一个图像的所有数据。你将看到“Data Viewer”对话框中的表格，你可以选择并复制想要的数。所有这些数都可以通过“Dump Data”功能导出为 CSV 格式文件。



3.4.1.5. 重复测量结果显示模式



单击图标可以实现两种模式的切换

Refresh Mode: 刷新模式（默认模式），在测量过程中，每次完成一次 sweep 的测量，都会将当前窗口的结果进行刷新显示。

Overlay Mode: 重复叠加模式，测量开始前提示输入重复测量的次数，测量过程中会将重复测试的结果叠加在同一窗口中。此模式仅对 Measure Page 有效。

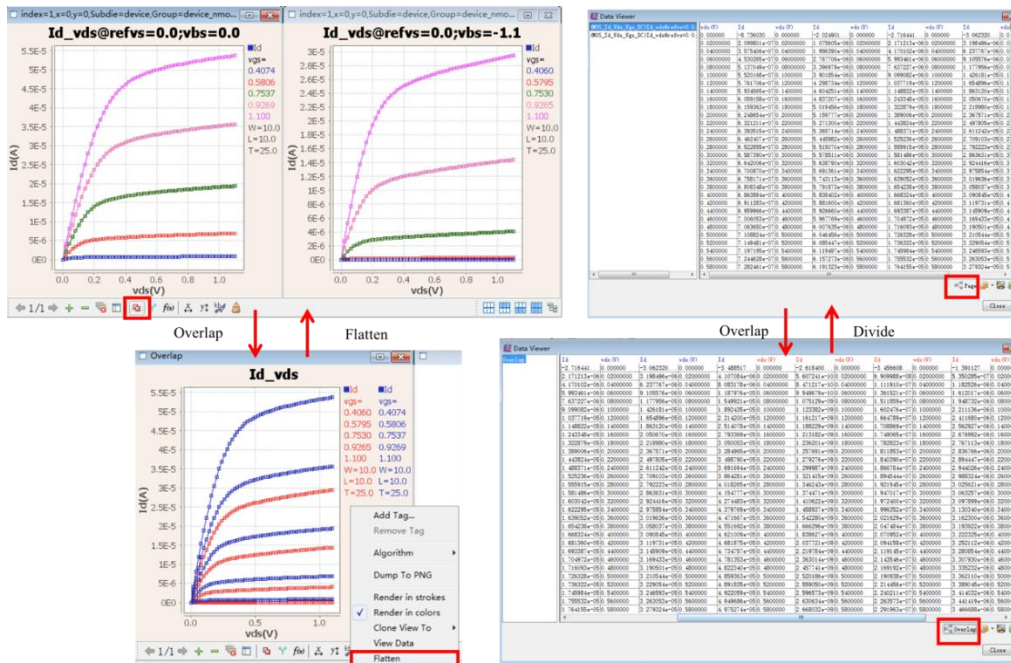


3.4.1.6. 分析数据

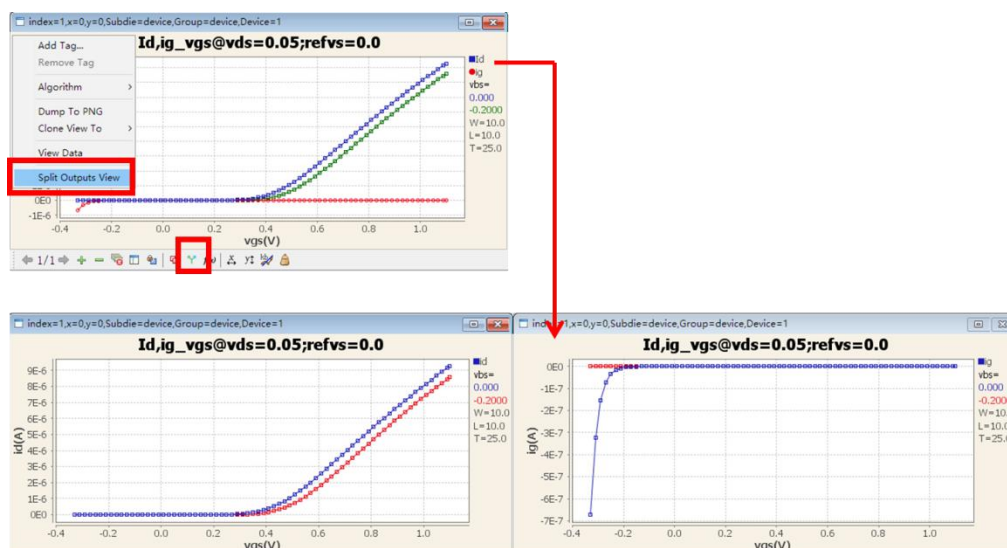


坐标轴属性: 你可以双击 Y/H/X 轴切换到 log10 对数刻度。这个操作只能改变坐标轴比例，并不会真正改变值。如果你希望查看 log10 对数值，请使用算法变换。

叠加: 叠加功能可将当前屏幕内所有图像叠加到一个图像中，你可以通过右键菜单将已叠加的图像重新分开。你可以查看一个叠图的数据。这时候在“Data Viewer”窗口中有两种模式：叠加模式可以用来比较结果，page 模式可以检查每一个单独图像。



在所有屏幕上分离输出: 这个功能将一个具有多个输出的图像展开成带有一个输出的若干个图像。它同样可以通过右键菜单来只对当前激活图像使用。



算法：LabExpress 提供多种图表转换算法以用于数据分析。你可以从右键菜单中使用它们，也可以单击“Add Algorithm for All Screens”按钮。算法会重新计算每个图像中的值。

距离测量：这两个工具会计算图像上两点之间的水平距离和两点之间的垂直距离。

线性拟合：这个工具根据选择的起点和终点之间的数据进行一次线性拟合并给出直线表达式。

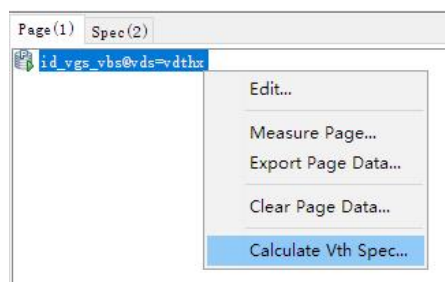
单点斜率：这个工具会计算出曲线在所选择的点处的斜率。

相关系数：这个工具根据选择的起点和终点之间的数据计算相关系数。

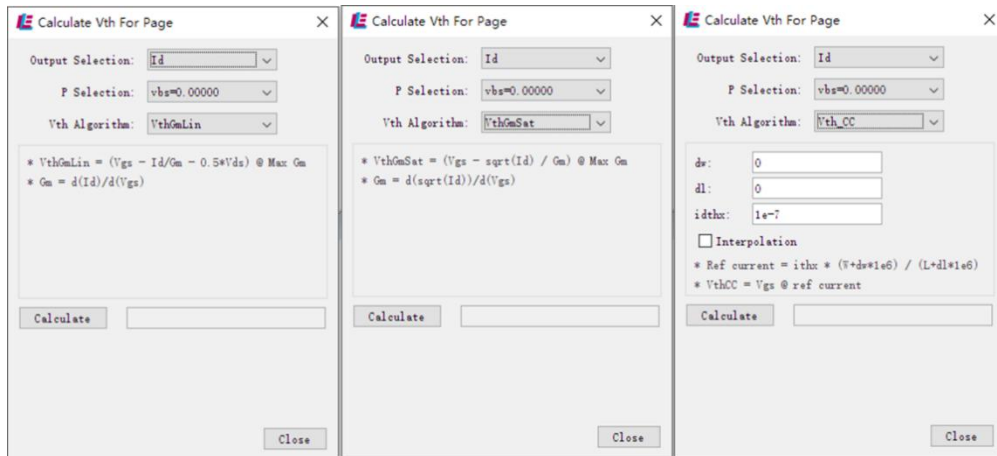
标记清除：清除所有距离量测，线性拟合，单点斜率和相关系数的标记。

3.4.1.7. 计算 V_{th}

针对 I_d - V_{gs} 这种类型的图像，右键菜单中有一个快捷工具可以计算 V_{th} 的值。

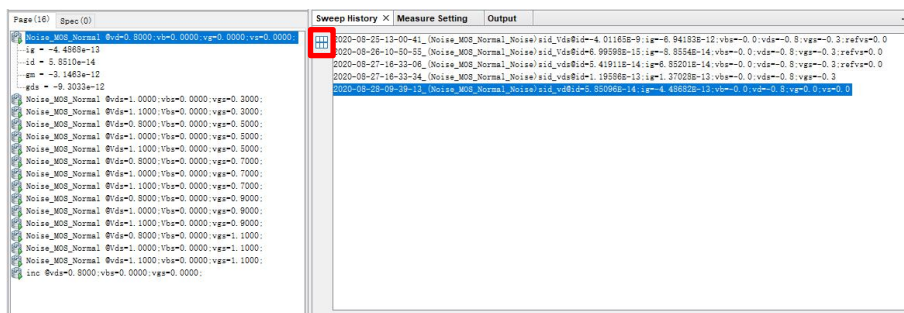


一共有三种计算方法： $V_{thGmLin}$ ， $V_{thGmSat}$ 以及 V_{thCC} 。每种方法的公式会在对话框中显示。



3.4.2. 查看历史数据

从菜单栏 Window->Sweep History 可以调出查看历史数据界面。在历史数据界面上可以查看选中 page/spec 的历史测试数据，历史测试数据按照时间进行排序。Ctrl+鼠标左键可以实现历史数据多选，多选的结果会自动进行合图显示。

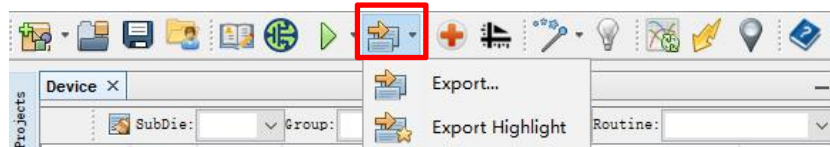


- **View All History Data:** 将当前历史测试数据在 Visual Area 进行排图查看

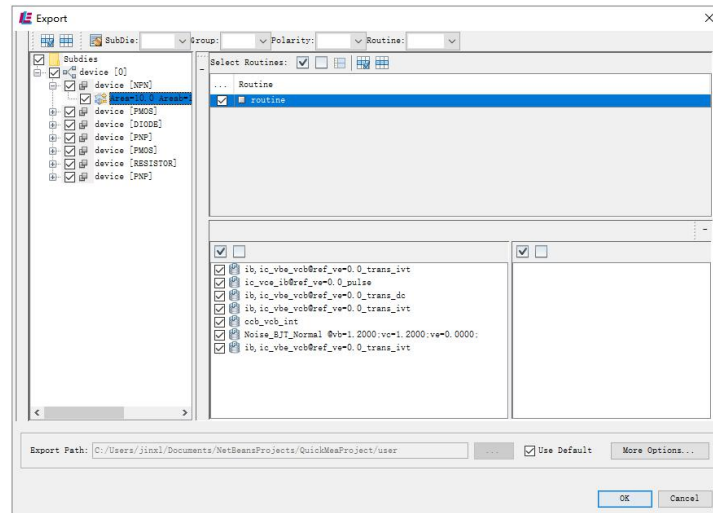
3.4.3. 导出数据

测试数据会存储在工程的数据库内。默认设置中自动保存功能是开启的，因此测量数据将自动保存到工程文件夹中。你可以设置你喜欢的自动保存路径，请查看[测量设置](#)部分了解详细信息。

有两种方式可以手动导出数据：通过工具栏上的按钮以及鼠标右键。点击工具栏的“导出”按钮，你会看到两个选项：*Export* 和 *Export Highlight*。



Export: 你可以选择指定的器件，routine 以及 page/spec 来导出。



Export Highlight: 导出高亮的 die, plan, routine 以及 page/spec。

另一种方法是通过鼠标右键触发一次单独的数据导出操作，包括 die, plan, routine 以及 page/spec。

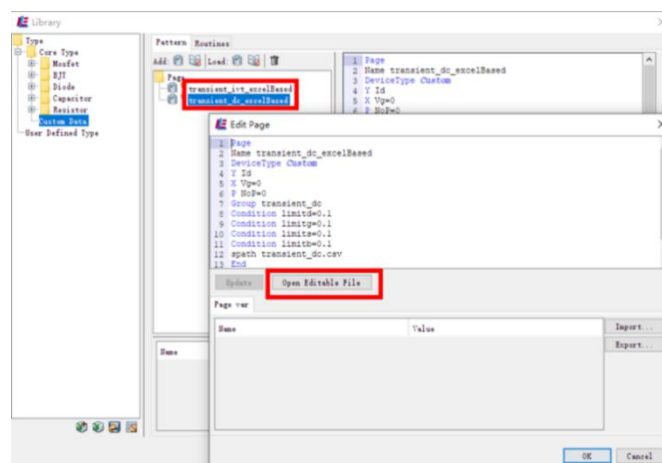
导出数据格式由“Export”选项控制，请查看[选项与设置](#) 以获取详细信息。

3.5. 使用自定义数据

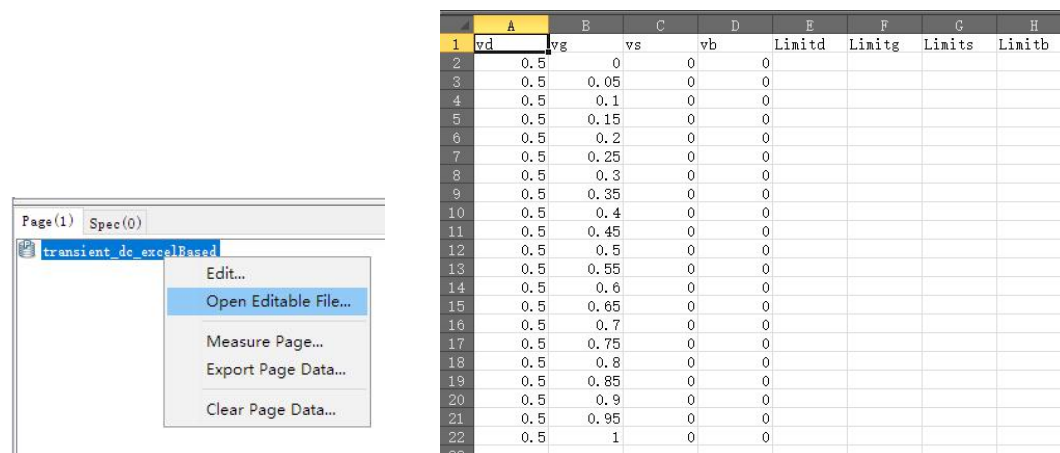
除了使用大家熟知的器件类型外，你可以使用自定义数据直接向 SMU 发送信号。自定义数据测量可以向之前介绍的方式一样通过增加自定义 page 来执行。但是大多数时候我们都是通过 excel 数据表格来发送任意的数据。

3.5.1. Excel 方式的自定义数据

在模板库中，自定义数据类型有两个预定义的 excel 方式设置。对于这种 page，所有的数据都通过点击“Open Editable File”，在 excel 表格里完成。你只需要指定合适的 X 和 Y 信号名称。



你还可以在 DUT 窗口和器件面板上通过鼠标右键编辑 excel 文件。在 excel 文件中，你可以给出任何信号值和限值。但是注意管脚名称应该和连接关系相符。Excel 输入的自定义数据使用瞬态测试方法。



The screenshot shows a context menu for a file named 'transient_dc_excelBased'. The menu options are: Edit..., Open Editable File... (highlighted), Measure Page..., Export Page Data..., and Clear Page Data....

Next to the menu is an Excel spreadsheet with the following data:

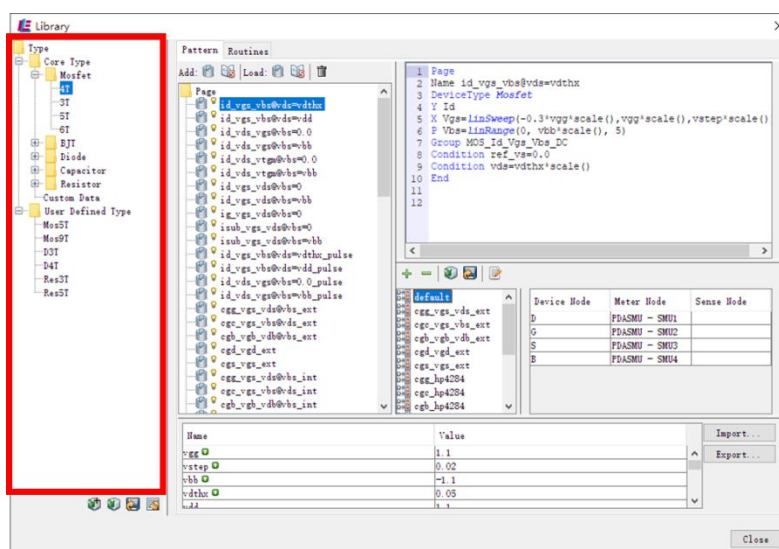
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	vd	vg	vs	vb	Limitd	Limitg	Limits	Limitb
2	0.5	0	0	0				
3	0.5	0.05	0	0				
4	0.5	0.1	0	0				
5	0.5	0.15	0	0				
6	0.5	0.2	0	0				
7	0.5	0.25	0	0				
8	0.5	0.3	0	0				
9	0.5	0.35	0	0				
10	0.5	0.4	0	0				
11	0.5	0.45	0	0				
12	0.5	0.5	0	0				
13	0.5	0.55	0	0				
14	0.5	0.6	0	0				
15	0.5	0.65	0	0				
16	0.5	0.7	0	0				
17	0.5	0.75	0	0				
18	0.5	0.8	0	0				
19	0.5	0.85	0	0				
20	0.5	0.9	0	0				
21	0.5	0.95	0	0				
22	0.5	1	0	0				
23								

3.6. 库管理

模板库保存了所有测量预设以及用户的自定义设置。在模板库中，你可以建立自定义的器件类型，创建测试模板，以及管理常用的测试 routine。一旦你将定义好的测试设定存入模板库，你就可以在以后的测试中直接调用这些设定，无需重复的操作。

3.6.1. 用户定义器件类型

LabExpress 定义了许多常见的内置器件类型。这些内置类型可以为大多数测试情况提供快速应用。但是使用内置类型可能会遇到某些限制，因为管脚名称和器件参数名称是在软件中预定义的，无法修改。某些用户可能想尝试一些新颖的东西，并希望定义一个具有自定义器件参数，管脚和偏置的新类型。有时候甚至可以是一个小型电路单元，例如反相器或是 SRAM 单元。



3.6.1.1. 定义一个新器件类型

- (1) 打开模板库窗口，右键单击“User Defined Type”项目，你将看到“添加用户定义器件类型 (Add User Defined Device Type)”按钮。
- (2) 单击“添加用户定义器件类型”，将显示器件类型定义对话框。

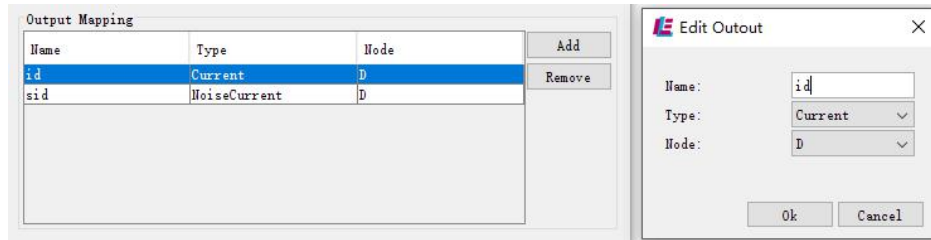
- (3) “Base Info”区定义器件名称和管脚信息。“Instance”区定义器件参数信息。你可以从内置类型派生出你的类型。在这种情况下，新类型将继承内置类型的管脚和参数。你还可以从“Custom”类型派生你的器件类型，这时所有管脚和参数都是可以自由设置的。“Core Nodes”和“Nodes”一起构成了可用于偏置和输出的所有可用管脚。使用“Up”和“Down”调整器件参数顺序。其他面板也将默认使用此顺序。

- (4) “Bias Mapping”区域定义了不同的偏置。对于每个偏置，你应该定义偏置名称，偏置类型和偏置使用的管脚。你可以定义任何你想要的名称。偏置类型可以是“电压”或“电流”。对于“电压”偏置，应定义发出管脚和参考管脚。对于“电流”偏置，你只需定义发出管脚。可用管脚会列在组合框中。每个管脚至少应有一个作为发出管脚的偏置。

Name	Type	From	To
vds	Voltage	D	S
vgs	Voltage	G	S
vbs	Voltage	B	S
vms	Voltage	M	S
vs	Voltage	S	GND

- (5) “Output Mapping”区域定义了不同的输出。对于每个输出，你应该定义输出名称，输出

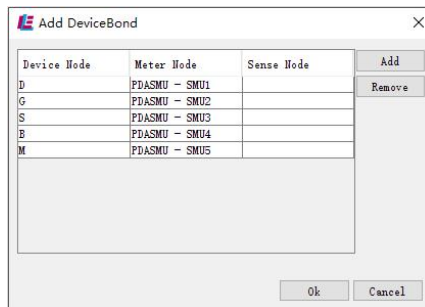
类型和输出管脚。你可以定义任何你想要的名称。输出类型可以是“电压”，“电流”，“电容”和“噪声”。



注意：

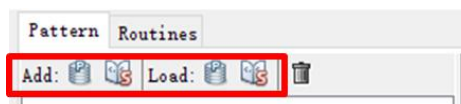
灵活的偏置/输出命名可能会在导出数据时带来问题，因为某些数据格式不支持灵活的器件定义并且具有名称限制。有关详细信息，请查看[已知问题与解决方案](#)部分。

(6) 单击“OK”按钮，然后你至少应该创建一个默认连接来映射器件管脚与 SMU。我们将在[连接](#)部分详细讨论连接。



3.6.1.2. 添加自定义配置

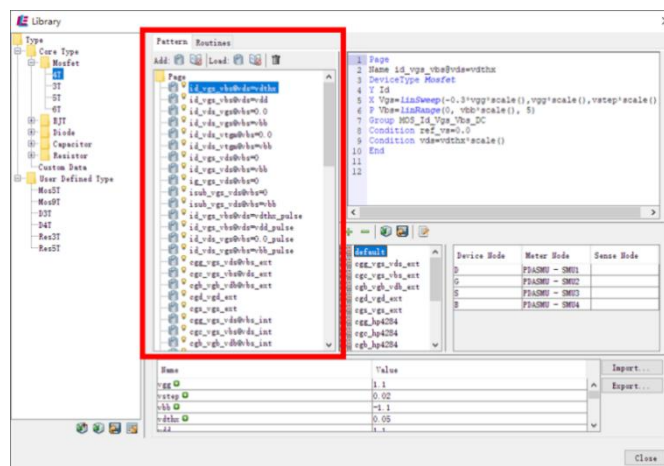
在新定义的器件类型中没有 page 或 spec。你可以通过两种方式添加自定义配置：使用“Add”并在 GUI 窗口中来编辑新 page/spec，或使用“Load”来加载一个配置文件。除非你明确知道如何编写配置文件，否则强烈建议使用我们的 GUI 窗口。



对于添加或编辑新 page/spec，请查看[添加 page/spec](#)了解详情。对于用户定义器件类型，唯一的区别是你只能使用已经定义好的输入和输出。

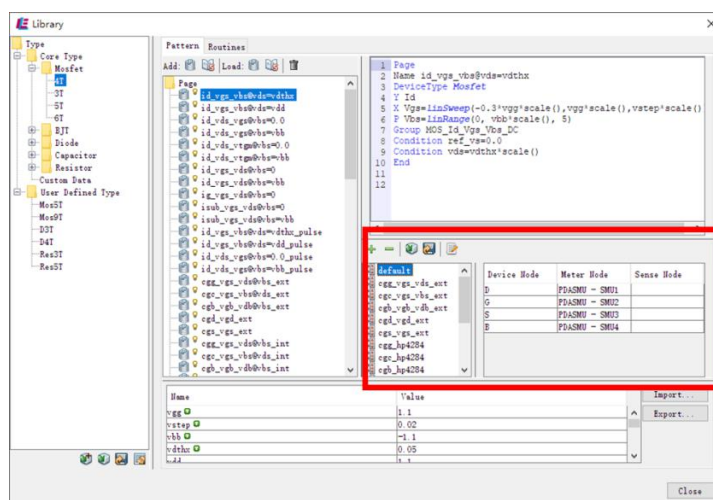
3.6.2. 模板管理

LabExpress 提供数百种测试配置预设，可满足工业和科研用户的大部分需求。你可以在“Pattern”页面中浏览这些 page 和 spec。你可以像在工程中一样通过双击某个 page 或 spec 对它们进行编辑。然而我们推荐的做法是通过新增或者复制已有的项目来进行自定义，不要修改系统预设。

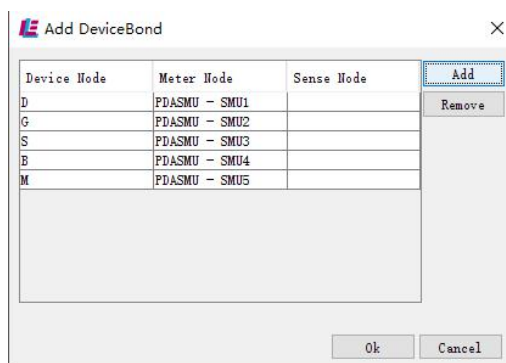


3.6.3. 连接

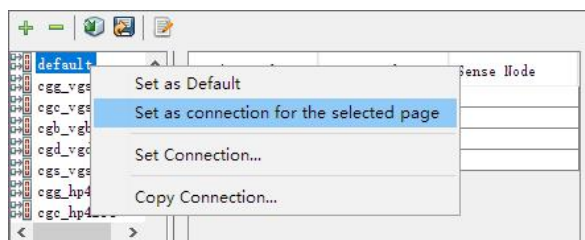
模板库包含所有的连接设置，并且他是唯一的连接资源。你在“Set Connection”中做的改变都会同步到模板库中。你在“Set Connection”中新建的连接也会保存到模板库中。你可以在模板库中创建，删除，修改一个连接，但是这些操作会影响到所有使用这个连接的 page 和 spec。对于快速工程，你可以在设定界面上直接设定 SMU 连接，无需通过“Set Connection”来操作。



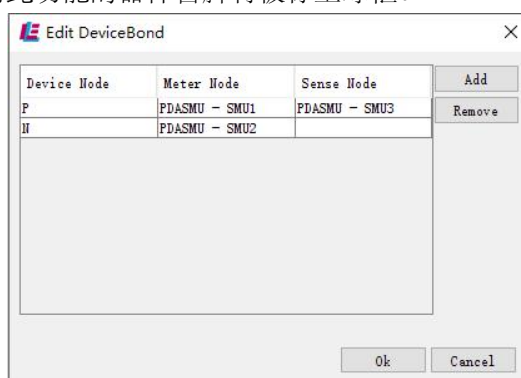
- (1) 在模板页面中，单击“+”来添加新连接，命名为“new_connection”，然后按“OK”。
- (2) 使用“Add”和“Remove”来修改 SMU 映射，然后按“OK”。



(3) 新建连接将会显示在列表中，你可以随时通过“Edit”按钮对其进行修改。你可以显式的给模板 page 指定一个连接。这样做之后，每次向 routine 中（无论模板库还是工程）加入这个 page 时，实例化的 page 都将继续使用这个连接，除非经过“Set Connection”操作。



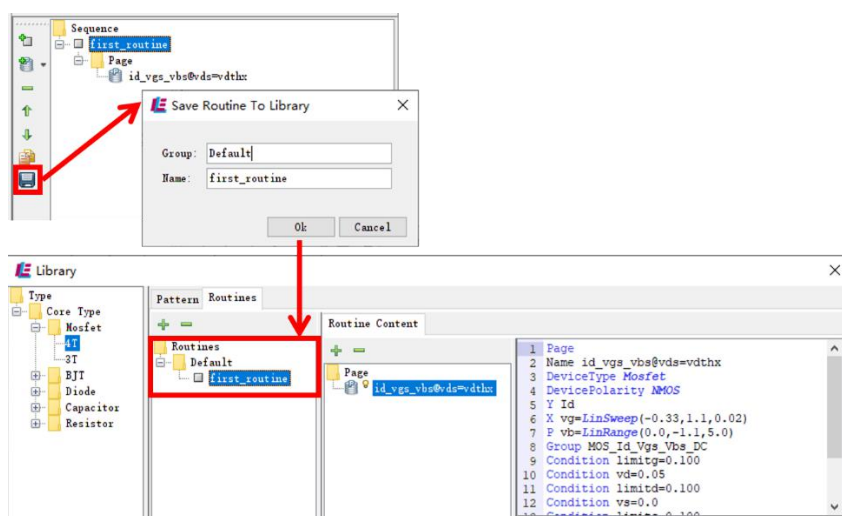
(4) 在连接定义中，通常只需要分配仪表节点。但是“Macro SMU”功能允许你分配一个感应节点并使用两个 SMU 作为远程传感结构。利用此功能，传感节点 SMU 将监控并反馈电流，因此你可以得到更准确的信号。请注意，此功能仅适用于电压输入，并且只允许一个传感节点。编辑 page 时，使用此功能的器件管脚将被标上绿框。



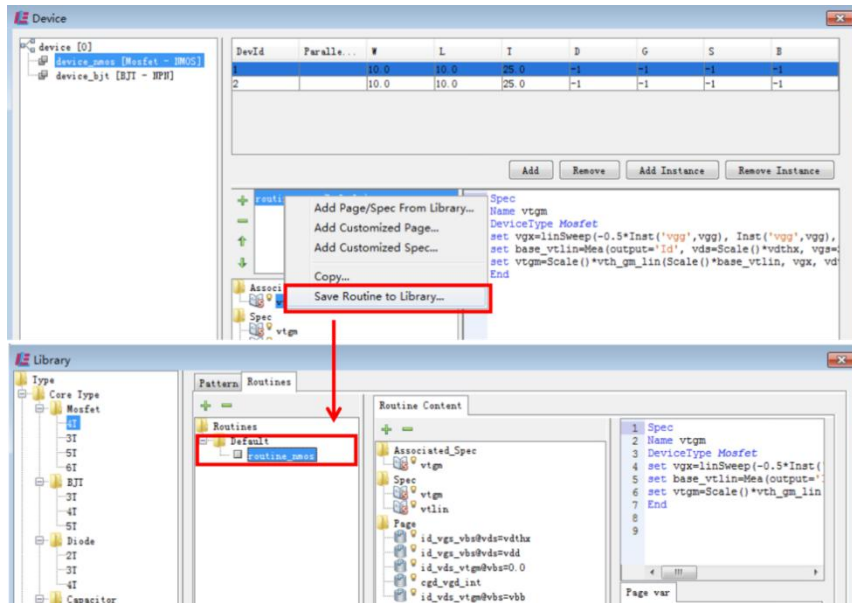
3.6.4. Routine 管理

3.6.4.1. 将 Routine 保存到模板库

- 在快速工程中，可以将编辑好的 routine 保存到模板库中。

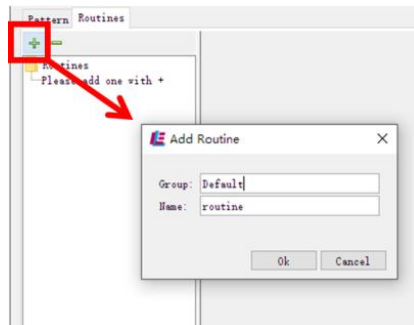


- 在器件工程和晶圆工程的 DUT 窗口中，你可以将编辑好的 routine 保存到模板库中以备将来使用。此 routine 将按照指定的分组名称和 routine 名称存储在相应器件类型下。

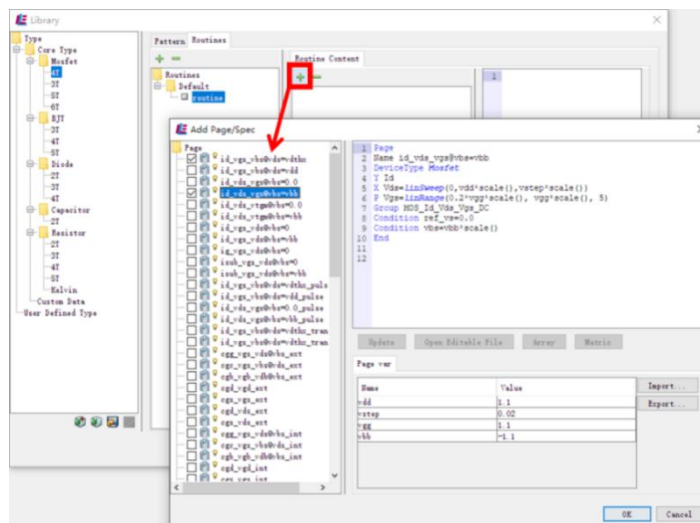


3.6.4.2. 在模板库中创建 Routine

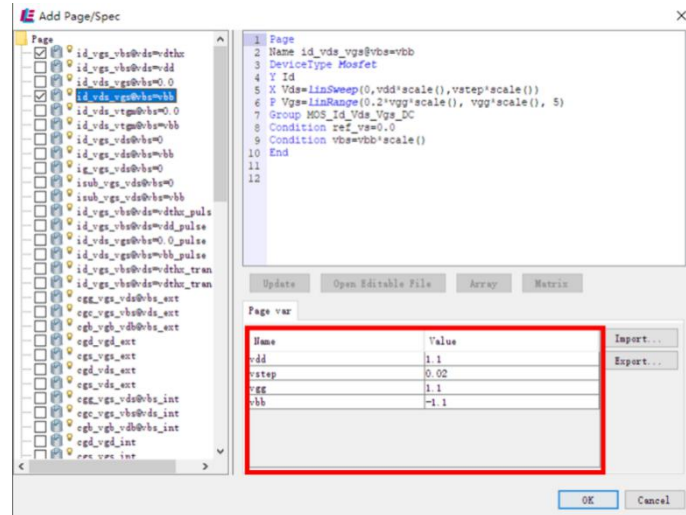
(1) 单击“Routines”选项卡的“+”按钮，然后给出 routine 分组名称和 routine 名称。



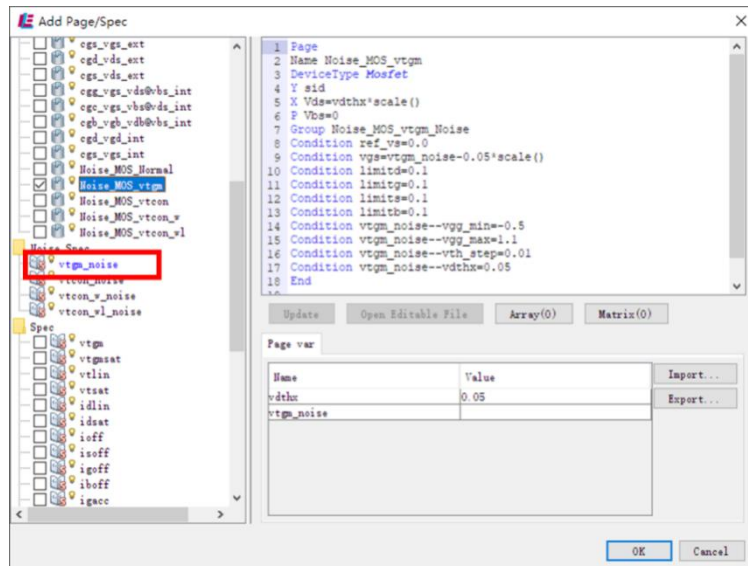
(2) 单击“Routine Content”选项卡的“+”按钮，在模板中定义过的 page 和 spec 将被列出以供选择。勾选想要的 page 和 spec，他们会被添加到这个 routine 中。



(3) 添加 page 时，你可以指定变量值来更改测试条件。这些值不会保存到源模板中。



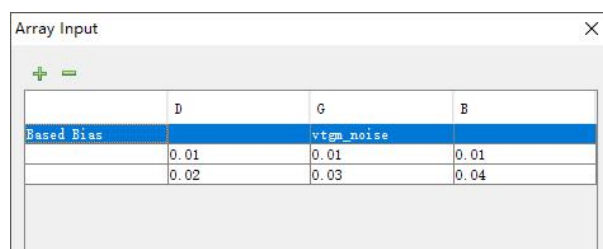
(4) 当彩色提示一个在量测条件中使用过 spec 的 page 时, 使用的 spec 将标记为蓝色。如果选择添加该 page, 则使用的 spec 将被自动添加到 routine 中作为「Associate Spec」。你可以在添加 page 时指定关联 spec 的变量值, 这些变量值不会保存到源样式中。



(5) 对于噪声类型的 page, 你可以使用数组模式或矩阵模式将不同偏置条件的多个 page 一次添加到 routine 中。

• 数组模式

在数组模式下, 你将添加若干输入行, 每行中定义不同的偏置条件。一个管脚的输入值将是基础偏置上的一个增量。因此, 一个管脚上的总输入等于“基准偏置”+“增量输入”。如果基准偏置项为空, 则基础值为 0。如果在此噪声 page 中使用了任何 spec, 则基准偏置能够选择 spec, 基础值将是 spec 值。例如, 在以下情况中, 将有 2 个偏置输入: {D:0.01, G:vtgm + 0.01, B:0.01} 和 {D:0.02, G:vtgm + 0.03, B:0.04} (S 已被忽略, 因为它是参考节点)。

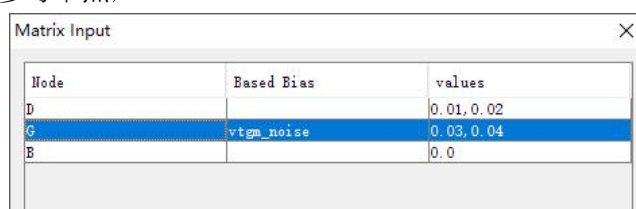


Array Input dialog box showing a table with columns D, G, and B. The first row is highlighted in blue and contains the text 'Based Bias', 'vtgm_noise', and '0.01'. The second row contains '0.01', '0.01', and '0.01'. The third row contains '0.02', '0.03', and '0.04'.

	D	G	B
Based Bias		vtgm_noise	
	0.01	0.01	0.01
	0.02	0.03	0.04

· 矩阵模式

在矩阵模式下，你将在每个管脚上给出几个不同的偏置点，以逗号分隔，然后将自动生成所有偏置组合。例如，在以下情况中，将有 4 个偏置输入：{D:0.01, G:vtgm+0.03, B:0.0}，{D:0.01, G:vtgm+0.04, B:0.0}，{D:0.02, G:vtgm+0.03, B:0.0} 以及 {D:0.02, G:vtgm+0.04, B:0.0}（S 已被忽略，因为它是参考节点）。



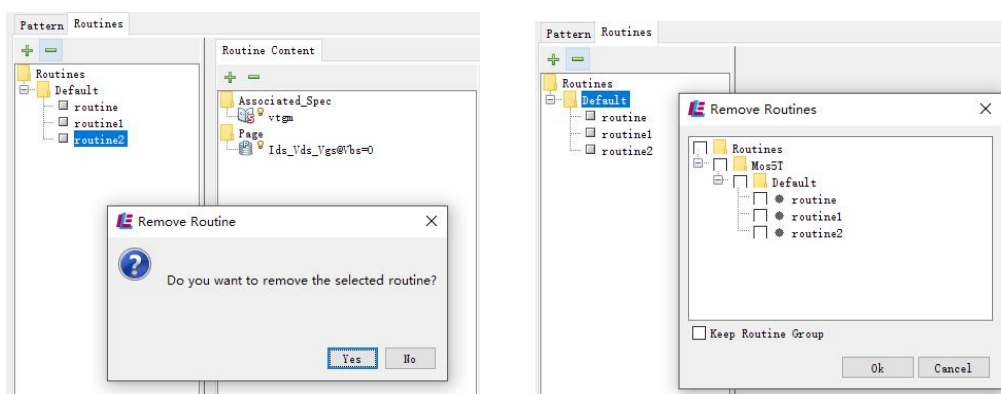
Matrix Input dialog box showing a table with columns Node, Based Bias, and values. The first row is highlighted in blue and contains 'D', 'Based Bias', and '0.01, 0.02'. The second row contains 'G', 'vtgm_noise', and '0.03, 0.04'. The third row contains 'B', '0.0'.

Node	Based Bias	values
D		0.01, 0.02
G	vtgm_noise	0.03, 0.04
B		0.0

将 page 添加到 routine 后，你可以通过双击来编辑这些 page 以更改测试条件。你还可以编辑关联 spec 的公式或者变量。这一更改将应用于此 routine 中使用该 spec 的所有 page。

3.6.4.3. 从模板库中删除 Routine

单击“Routine”选项卡的“-”按钮。如果高亮的是单个 routine，工具会确认此删除操作。如果高亮的是某个 routine 组或根目录，则会有一个用于多选的路径选择器。你可以一次移除多个 routine。



你可以通过“Routine Content”选项卡的“-”按钮删除某些高亮的 page 或者所有 page。

注意：

模板库包含不同的测量模板，而 routine 库将这些模板实例化为实际的测试条件。但是，当你将 routine 应用于 DUT 时，你仍有机会改变测试条件。所以，即使是拥有相同的名称和内容，模板库中的 page，routine 库中的 page 和实际应用于 DUT 的 page 也是三个不同的实体。因此，在一个地方的修改不会更新到其他两个地方。

4. 一般器件特性测试

- [基础介绍](#)
 - [如何进行直流测试](#)
 - [如何进行瞬态直流/时域测试](#)
 - [如何进行脉冲测试](#)
 - [如何进行 CV/CF 测试](#)
 - [如何进行噪声测试](#)
 - [如何进行 Kelvin 测试](#)
-

4.1. 基础介绍

LabExpress 支持典型的器件特性测试类型，包括直流，瞬态，脉冲，CV/CF，以及噪声。在配置库的出厂设置当中，我们为每种器件类型都建立了一套典型测试配置模板，同时你还可以以最大灵活性的建立你的自定义测试模板。

4.1.1. 测量类型

优化加速直流 (DC Optimized Timing): LabExpress 可以通过独特的加速技术优化测试时序，进行高速直流测试，同时保持精度不会下降。在直流测试中，每个偏置都将被给予一个持续一段时间的稳定直流电平，积分时间会根据信号档位动态调整。在优化加速直流测试中偏压施加顺序可能因为加速过程而被改变，因此直流测试非常适合静态 IV 测试。

逐点瞬态直流 (DC Point By Point): LabExpress 也支持逐点瞬态直流测试。在逐点瞬态直流测试中，偏压严格按照扫描定义一个个的测试。当偏压顺序对于器件状态至关重要时，通常使用瞬态直流测试来刻画动态 IV 特性，如电子印记效应。

瞬态时域采样 (Transient IVT): LabExpress 还支持另一种瞬态测试，时域采样 IVT。在这种测试中偏压将依照时间顺序给出。IVT 测试允许用户定义精确的偏压时序和采样步长以便观察实时 IV 响应。

脉冲 (Pulse IV): 在脉冲测试中，每个偏压将被给予一个脉冲激励。通常脉冲测试用于高功率测试或是为避免长时间高压测试造成器件特性衰退。和直流测试一样，脉冲测试也会根据信号档位自动调整延迟时间和测试时间。

CV/CF: CV 测试包括内置 CV 和外置 CV 两种模式。内置 CV 将使用动态变化的直流信号作为交流源来测量电容，因此可以与直流测试一同进行而无需换线。你也可以在外置 CV 中使用 CMU 设备来弥补内置 CV 频率带宽上的不足。请查看[外置 CV 测试](#) 获取更多信息。对于电容器件类型，LabExpress 支持电容-频率测试。CF 测试只能应用于外置 CV 模块 FS336，

FS338 和 FS339 上。

1/f 噪声 (Noise): LabExpress 可以使用独特的加速技术进行高速 1/f 噪声测试。不同于传统的信号分析仪，FS-Pro 直接测试时域信号并通过 FFT 变换方法分析频谱。精确的直流测试和较少的交流干扰使噪声测试的质量得到保证。

不同器件类型支持的测量：

	DC	CV (内置)	CV (外置)	CF	脉冲	噪声	瞬态时域
MOSFET	●	●	●		●	●	●
BJT	●	●	●		●	●	●
二极管	●	●	●		●	●	●
电容		●	●	●			
电阻	●				●	●	●
自定义数据							●
用户定义类型	●		●		●	●	●

*1: CF 只适用于 FS336, FS338 和 FS339。

*2: 用户定义类型的噪声只能应用于内置类型的派生类型。

4.1.2. 信号产生

有 6 种信号产生方式：**线性步长**，**线性点数**，**对数点数**，**数据列表**，**常数** 和 **数据发生器**。这些方法可以用来产生偏压信号，时间频率扫描或者其他创建数值过程。**线性步长/线性点数/对数点数**是产生规则扫描值的常规方法。**数据列表**允许你输入任意值。**常数**使用一个固定值。**数据发生器**是一种可以自动产生特殊数据的函数化发生器。不同测试类型可能支持的信号发生方式也有不同。你会在之后的章节中了解到详细信息。几种信号发生类型之间的差异总结如下：

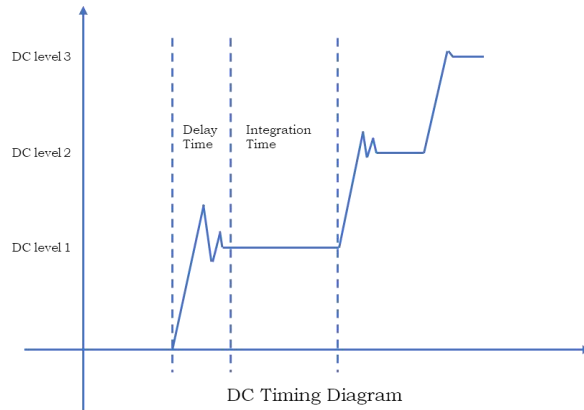
线性步长 (Linear Step)	从起点到终点，依步长生成扫描点，最后一个点永远和终点对齐。
线性点数 (Linear Points)	从起点到终点，依点数生成扫描点。
对数点数 (Log Points)	在对数刻度下依点数生成扫描点
数据列表 (List)	依列表顺序生成点。
常数 (Constant)	一个固定值。
数据发生器 (Generator)	依特定函数生成信号。

4.2. 如何进行直流测试

4.2.1. 特殊设置

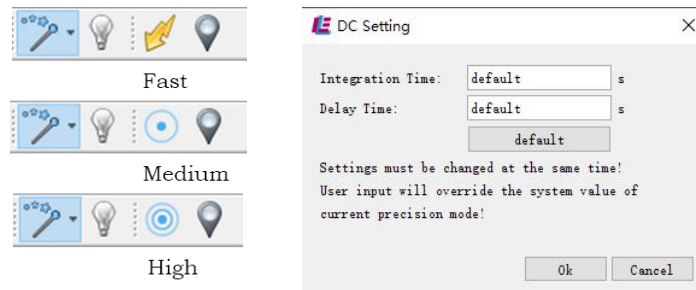
4.2.1.1. 直流设置

测量直流信号时, 通常需要等待一小段延迟时间来跳过信号过冲, 之后在积分时间段内收集信号。



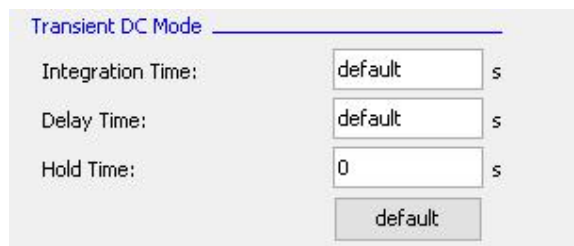
直流设置 (DC Setting)

直流设置用于配置优化加速直流测试的延迟时间和积分时间。默认设置下这两个值都是“default”，意味着延迟时间和积分时间都是由测试策略自动决定的。切换精度模式可以调整策略。如果默认策略无法满足你的需求，你可以将这两个值都设成你想要的实际值。



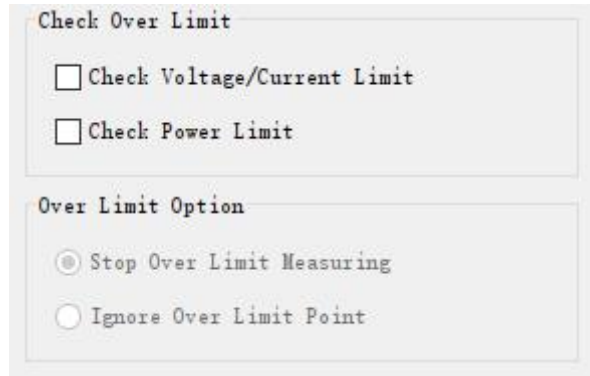
瞬态直流设置 (Transient DC Setting)

瞬态直流设置用于配置逐点瞬态直流测试的延迟时间和积分时间。默认设置下这两个值都是“default”，意味着延迟时间和积分时间都是由测试策略自动决定的。切换精度模式可以调整策略。如果默认策略无法满足你的需求，你可以将这两个值都设成你想要的实际值。保持时间的作用是在第一个测试偏压点上先保持一定时间使信号建立完成再开始测试, 消除系统的初始状态影响。



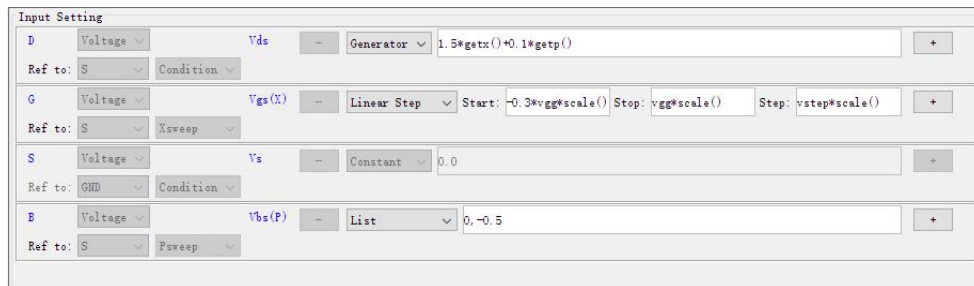
在逐点瞬态直流模式下, 你可以选择检查测试是否超过电流/电压/功率的限制值, 并设定超

过限制值时的处理方法：停止这个 page 的测试，或者是忽略掉限制值的点。

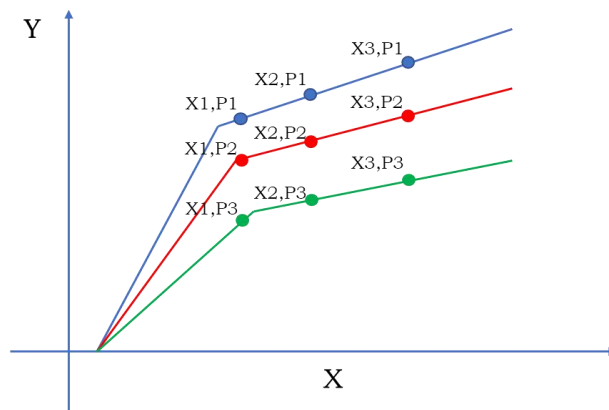


4.2.1.2. Page 设置

一般情况下，你可以通过调整参考点来设计合适的偏压拓扑结构，从而实现将其他管脚的偏置同步到 X 轴或 P 轴的扫描。然而有时候你可能需要更加复杂的同步表达式。这时候你可以为这些 condition 使用数据发生器（Generator）功能。



将 condition 的扫描方法选择为 generator，之后可以使用 getx()和 getp()函数来获取每条曲线上 X 和 P 的扫描值。对于一个带有多个 P 轴扫描值的图像来说，产生的偏压使用的偏置如下所示：



请参考[附录 A](#) 了解更多关于数据发生器的信息。

对于逐点瞬态直流测试，每个扫描段将会有有一个额外的量程输入。默认情况下，所有量程字段均为 Auto，这意味着测试驱动服务将自动为捕获信号选择量程（对于电压输入，捕获信号为电流，反之亦然）。如果所有量程字段都设定为固定量程值，那么测试驱动服务将为每个捕获信号使用这些指定量程。当 DUT 具有很复杂的电气特性，自动量程有可能无法检测到正确的量程时，这一特定设置将非常有用。

Input Setting

D

Voltage

Vds

-

Constant

vdrhx*scale()

Range: Auto

+

Ref to: S

Condition

G

Voltage

Vgs(X)

-

Linear Step

Start: -0.3*vgg*scale()

Stop: vgg*scale()

Step: vstep*scale()

Range: Auto

+

Ref to: S

%sweep

S

Voltage

Vs

-

Constant

0.0

Range: Auto

+

Ref to: GND

Condition

B

Voltage

Vbs(P)

-

Linear Points

Start: 0

Stop: vbb*scale()

Points: 5

Range: Auto

+

Ref to: S

%sweep

4.2.2. 速度与精度

默认情况下，直流测试将所有的时间和量程设置策略交给底层测试服务决定。因此，速度和精度将通过精度模式进行自动平衡。如果将积分时间和延迟时间修改为指定值，那么测试服务仅在检测量程时才会考虑精度模式，否则为固定时间。如下是为每种精度模式的一个速度精度参考表。

模式	速度(低于 1e-11A)	速度(高于 1e-11A)	精度
快	20ms/pt	1ms/pt	5e-13A
中	1s/pt	1ms/pt	1e-13A
高	5s/pt	1ms/pt	3e-14A

注意：

由于自动量程切换和数据处理过程，总测量时间可能为根据上述估计计算的 2~3 倍。

4.2.3. 测试适用条件

工作点应当保持稳定，给定偏压下器件不产生自发谐振或随时间演化。

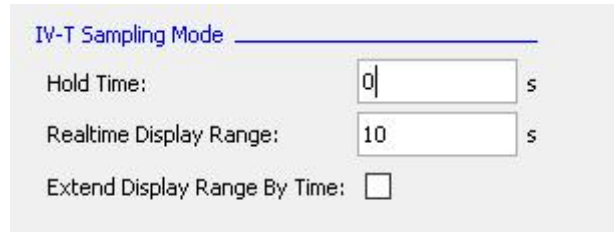
出现问题时：

- 对单个偏置点进行 IVT 测试。检查信号是否稳定以及信号建立需要多长时间。如果信号太弱，请增加积分时间。如果信号太慢，请增加延迟时间。
- 使用相同的扫描条件进行瞬态直流测试。当自动量程不起作用时,使用手动量程设置(必须在所有管脚上设置手动量程)。

4.3. 如何进行瞬态时域测试

4.3.1. 特殊设置

4.3.1.1. 瞬态时域采样设置



IV-T Sampling Mode

Hold Time: s

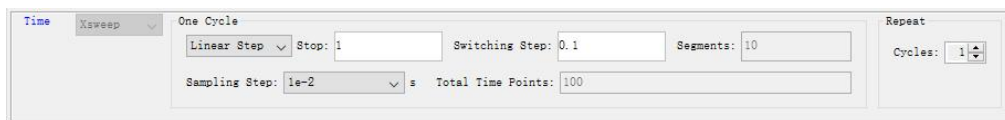
Realtime Display Range: s

Extend Display Range By Time: ☐

对于时域测试，如果你发现初始状态不稳定，可以增加保持时间（Hold Time）。保持时间只对测量的第一个点有效。Realtime Display Range 表示测量过程中实时图像显示的最大时间长度。Extend Display Range By Time 用于设定当达到最大显示时间长度后，如何继续显示：如果不勾选，则显示窗口保持最大显示时间长度随时间推进向前移动；如果勾选，则显示窗口随时间逐渐扩大显示窗口。

4.3.1.2. Page 设置

对于时域测试，Xsweep 只能为时间，所有的扫描电压都会对齐到时间步长（Switching Step），总数据点数受终止时间（Stop）和采样率（Sampling Step）控制。在时间的设定中包含单周期（One Cycle）的设定以及重复次数（Repeat）设定。



Time Xsweep

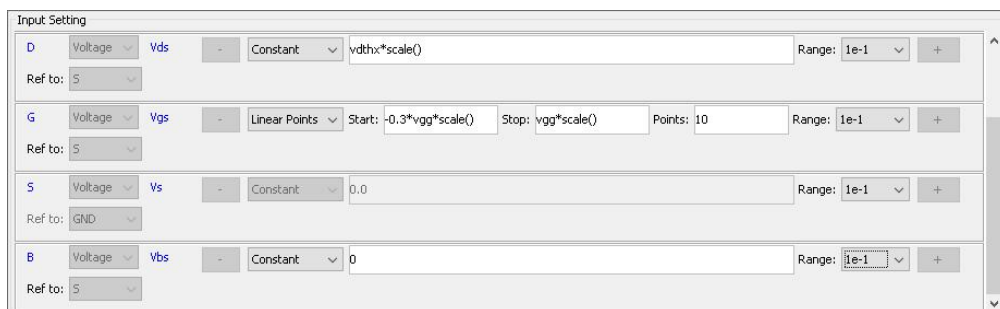
One Cycle

Linear Step: Stop: Switching Step: Segments: s

Sampling Step: Total Time Points: Cycles:

你可以使用数据发生器来定义一个基于时间的函数，在每个时间步长上产生一个偏置数据。请参考[附录 A](#) 了解更多关于数据发生器的信息。

对于瞬态时域采样测试，每个扫描段将会有有一个额外的量程输入。默认情况下，所有量程字为 100mA，你可以根据实际需要修改量程值，但是不能使用自动量程。



Input Setting

D Voltage V_{ds} Constant $v_{dthx} \cdot \text{scale}()$ Range:

Ref to: S

G Voltage V_{gs} Linear Points Start: $-0.3 \cdot v_{gg} \cdot \text{scale}()$ Stop: $v_{gg} \cdot \text{scale}()$ Points: 10 Range:

Ref to: S

S Voltage V_s Constant 0.0 Range:

Ref to: GND

B Voltage V_{bs} Constant 0 Range:

Ref to: S

4.3.1.3. 时域扫描测试 cycle 设置

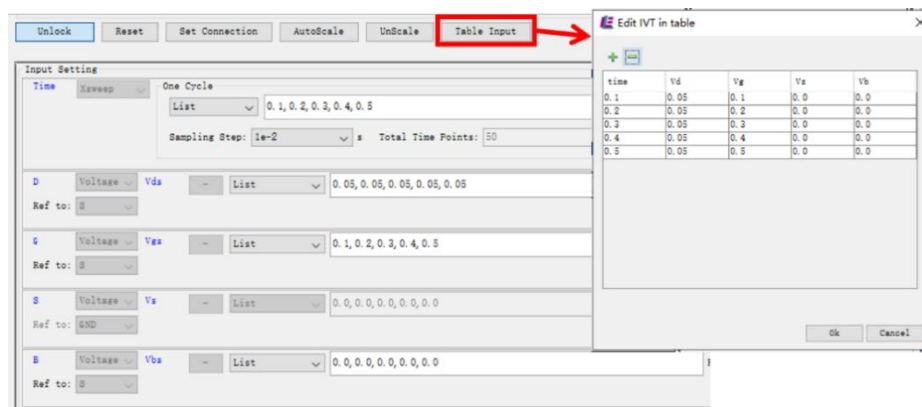
在使用时域扫描测试时，可以使用 cycle 数来重复执行测试，重复过程会在时间轴上累加。默认 cycles 为 1；当 cycles 为 N（N 为正整数）时，当前设置会在时间轴上重复 N 次。以下图为例，如果设定终止时间为 1 秒，循环 3 次，则总时间为 3 秒，其中每 1 秒内执行一次设定的测试过程。

Time	0.1	0.2	...	1.0	1.1	1.2	...	2.0	2.1	2.2	...	3.0
Vds	1.1	1.1	...	1.1	1.1	1.1	...	1.1	1.1	1.1	...	1.1
Vgs	0	0.1	...	0.9	0	0.1	...	0.9	0	0.1	...	0.9
Vs	0	0	...	0	0	0	...	0	0	0	...	0
Vbs	0	0	...	0	0	0	...	0	0	0	...	0

4.3.1.4. 时域扫描表格输入模式

时域扫描测试还可以使用表格输入模式。在时域扫描测试的 page 编辑界面，点击“Table Input”，在 Edit IVT in table 界面，编辑每个时间点下各个端的偏压输入。表格输入模式支持从 excel 复制数据并且粘贴到 table 的操作。

快速工程



器件工程

4.3.2. 速度与精度

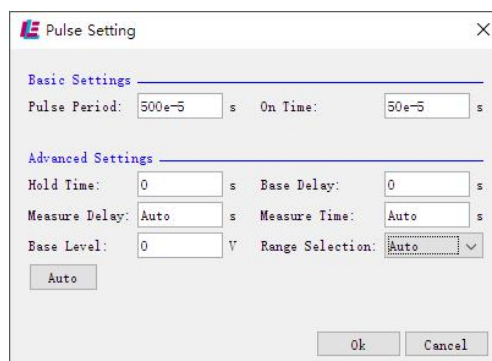
瞬态时域测试按设定采样率和总时间进行实时信号采集，不进行数据平均处理。

4.4. 如何进行脉冲测试

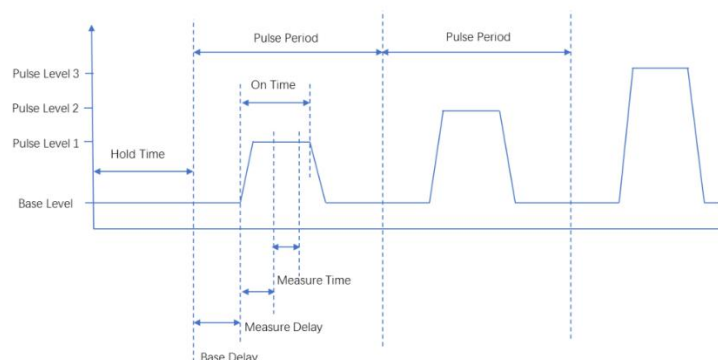
4.4.1. 特殊设置

4.4.1.1. 脉冲设置

脉冲设置用于为脉冲测试配置脉冲信号。请查看时序示意图中每一项的意义。



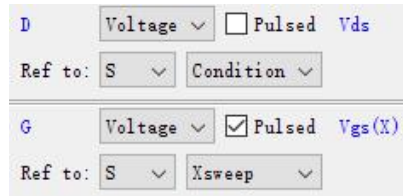
PDA Pulse Timing Diagram



不同的功率区间内，脉冲周期和导通时间会有一些限制。请参考 *FS-Pro 测试系统操作手册* 的脉冲测试指标来了解这些限制条件。当测试时间和测试延迟都设为“Auto”时，这些值都将由测试策略决定。当量程设定为“Manual”时，测试量程将参考 page 设定中的限值。

4.4.1.2. Page 设置

对于脉冲测试，在“Edit Page”窗口中会出现额外的勾选框用于标记脉冲输入。注意如果你的器件工作在高功率区间的时候，你可能需要将一条电流通路上两个管脚都设为脉冲信号以防超过限值。



4.4.2. 速度与精度

脉冲测试的精度取决于“测试时间”和限值设置。如果自动设定值不够的话，设定更长的“测试时间”可以提供更好的准确性，但它可能增加开启时间并破坏占空比限制。默认情况下，脉冲设置将使用自动量程，这意味着该工具将为当前 page 设置最佳量程，以达到最佳精度。但是如果将其设置为手动量程，则 page 中的限值将用于设置量程。请注意，如果限值与 DUT 的电气状况不匹配，则此手动量程可能会带来误差。

4.4.3. 测试适用条件

工作点应当保持稳定，给定偏压下器件不产生自发谐振或随时间演化，不产生元件印记效应。

出现问题时：

- 查阅 *FS-Pro 测试系统操作手册* 中的系统技术指标，保证所有偏置设置均在四象限图限制内，且所有时序设定满足开启时间和占空比的要求。
- 对单个偏置点进行 IVT 测试。检查信号是否稳定以及信号建立需要多长时间。如果信号太弱，请增加测量时间。如果信号太慢，请增加测量延迟时间。
- 在脉冲设置里切换到手动量程，并给出适当的限值作为量程参考。

4.5. 如何进行 CV/CF 测试

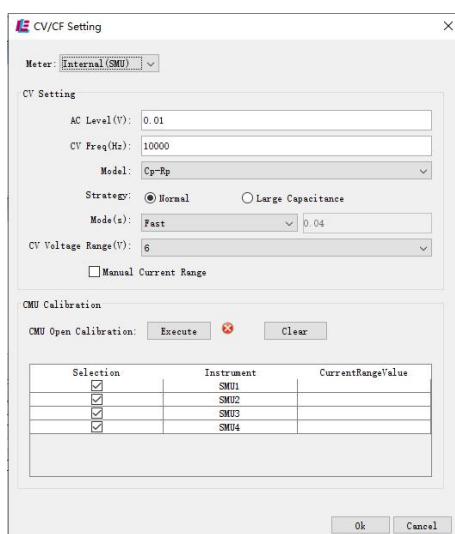
4.5.1. 特殊设置

4.5.1.1. CV/CF 设置

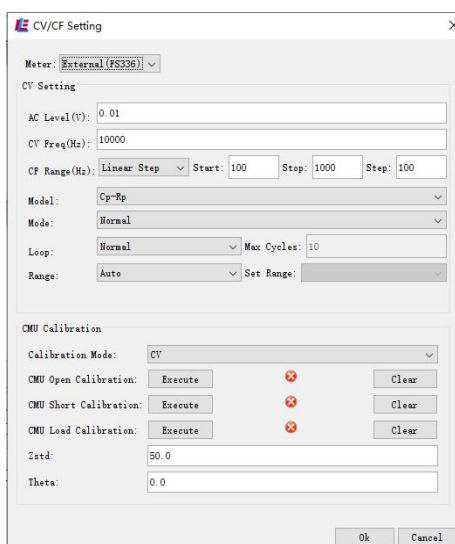
CV/CF 设置是配置内置 CV 测试以及使用 FS336/FS338/FS339 模块的外置 CV/CF 测试。你也可以在此对话框中进行 CV/CF 校准，所有 CV/CF 测试前都必须校准。

对于内置 CV 测试，校准只能在一个电压量程下进行。因此对于一个扫描来说，你必须用最大电压量程校准。一般来说内置 CV 为了加快速度会使用自动电流量程捕获信号。然而你可

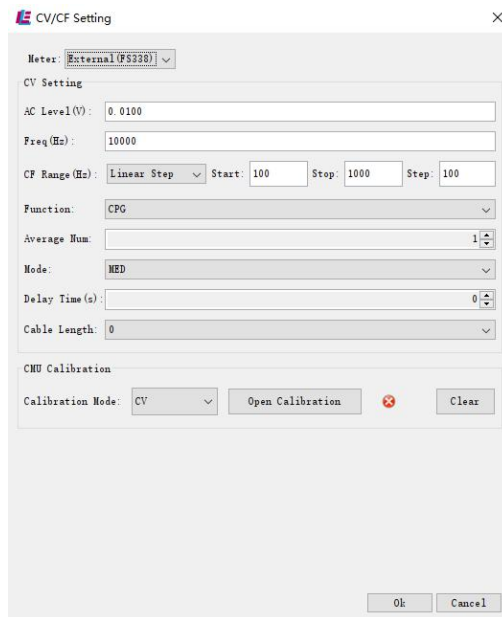
以使用手动电流量程来给每一个 SMU 都指定详细的量程值。这有可能会改善精度。注意改变任何量程设置后都需要重新校准。



对于通过 FS336 执行的外置 CV 测试, 你可以设定档位为自动或者保持。在进行 CF 测试时, 你需要定义频率范围并对所有频率进行校准。



对于通过 FS338/FS339 执行的外置 CV 测试, 需要选定一种测量模式, page 保存的结果为测量模式的首个参数, 默认模式为 CPG, 测量结果为 Cp; 如果选定测量模式为 CSD, 则测量结果为 Cs。



通过第三方 CMU 设备执行的外置 CV 测试需要在“Meter Matrix Probe”窗口中配置。

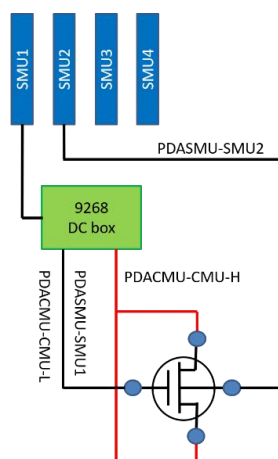
4.5.1.2. Page 设置

- (1) 内置 CV：使用和直流测试相同的连接，因此你在两种测试间切换时无需换线。
- (2) 外置 CV：尽管 FS-Pro 通过 SMU 实现了内置 CV 测试功能，在它无法满足你的需求时你还可以选择使用外置 CMU 仪表来进行测试。支持的外置 CMU 仪表包括 FS336 模块, FS338 模块, FS339 模块以及主流的 HP4284/E4980 设备。

· FS336 CV 模块

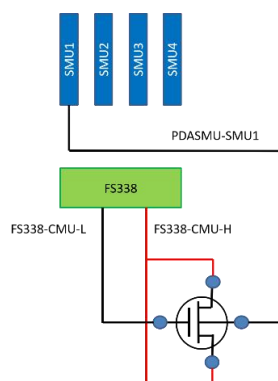


使用 FS336 时，EXT DC 偏置输入必须连接到 SMU1，L 端口连接为 PDACMU-CMU-L，H 端口连接为 PDACMU-CMU-H。对于 page 的连接，必须将扫描管脚同时设置为 PDACMU-CMU-L 和 SMU1，以提供足够的扫描偏置。其他管脚如果是针对电容进行测量，那么它们需要设置为 PDACMU-CMU-H；如果它们仅提供直流偏置，那么它们需要设置为其他 SMU 和 PDACMU-CMU-Open。以 Cgc 连接为例：



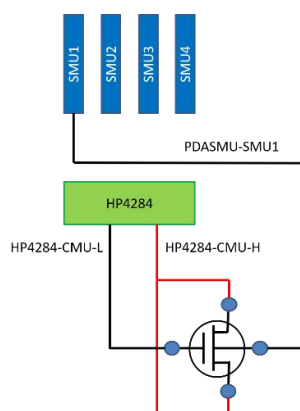
• FS338/FS339CV 模块

FS338/FS339 模块通过 USB 电缆与 LabExpress 主机连接。根据仪表类型将测试管脚设置为 FS338-CMU-L/CMU-H（或 FS339-CMU-L/CMU-H），并将其他节点设置为加载偏置使用的 SMU。以 Cgc 连接为例：



• HP4284/E4980 CMU

LabExpress 支持主流的 HP4284 和 E4980 CMU 设备作为外置 CV 模块。这些仪器通过通用的 GPIB 电缆连接。使用 HP4284 / E4980 时，根据仪表类型将测试管脚设置为 HP4284 / E4980-CMU-L / CMU-H，并将其他节点设置为 HP4284 / E4980-CMU-Open 和加载偏置用的 SMU。以 Cgc 连接为例：



(3) 对于 CF 测试，Xsweep 固定为频率。频率扫描范围应该在校准范围内。

4.5.2. 速度与精度

更改 CV“模式”选项以平衡速度和精度。对于内置 CV，你可以使用手动量程来改善精度。

4.5.3. 测试适用条件

出现问题时：

- 检查 θ 是否在 -90 度附近。偏离较大的话有可能是某些管脚上有漏电。
- 检查 CV 测量量程表，选择与阻抗合适的频率来测试。

4.6. 如何进行噪声测试

4.6.1. 特殊设置

4.6.1.1. 连接设置

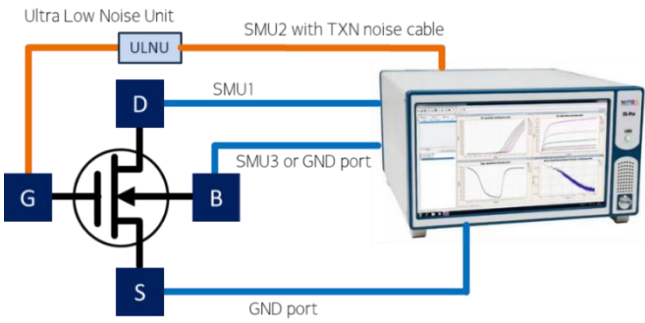
在噪声测试中，有三种不同的信号类型，定义分类如下：

- 栅控制信号，比如 MOSFET 器件的 Gate 端
- 测试和逻辑信号，比如 MOSFET 器件的 Drain 端或二极管的正极
- 地信号，提供零电位，比如 MOSFET 器件的 Source 端或二极管的负极

常见器件类型的信号类型定义如下表所示：

器件类型	连接管脚	信号类型	备注
MOSFET	Drain	测试与逻辑	
	Gate	栅控制	
	Source	地	接共地端
	Bulk	测试与逻辑	如果 $V_{bs}=0$ ，推荐也接共地端
BJT	Collect	测试与逻辑	
	Base	测试与逻辑	
	Emit	地	接共地端
	Substrate	地	如果有衬底端的话，接共地端
Diode	Positive	测试与逻辑	
	Negative	地	接共地端
Resistor	Positive	测试与逻辑	
	Negative	地	接共地端

FS-Pro 的噪声测试无需引入额外的测试设备，只需要将所有器件管脚接上 SMU 或共地端即可。对于不同的信号类型，相应器件管脚需要使用不同的电缆类型连接。如下图所示，栅控制信号需要通过 TXN 噪声专用线缆和低噪声测试模块连接到 SMU。测试与逻辑信号需要通过通用线缆连接到 SMU。地信号需要通过通用线缆连接到共地端。通用线缆尤其是测试信号的线缆应尽可能短，推荐不超过 60cm。



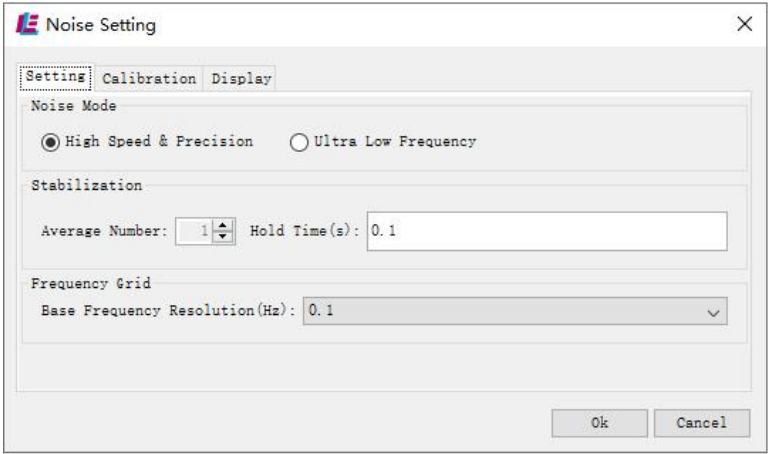
在软件的连接设定里，栅控制管脚和测试逻辑管脚设定至相应的 PDASMU-SMUx 上，地信号需要设定到 PDASMU-GND 上。

Device Node	Meter Node	Sense Node
D	PDASMU - SMU1	
G	PDASMU - SMU2	
S	PDASMU - GND	
B	PDASMU - SMU3	

4.6.1.2. 噪声设置

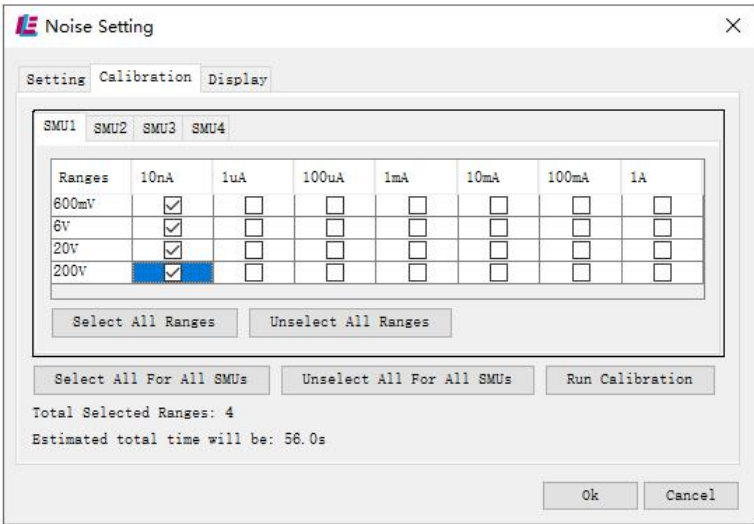
噪声设置中有三个页面，Setting，Calibration 和 Display。

Setting 页面



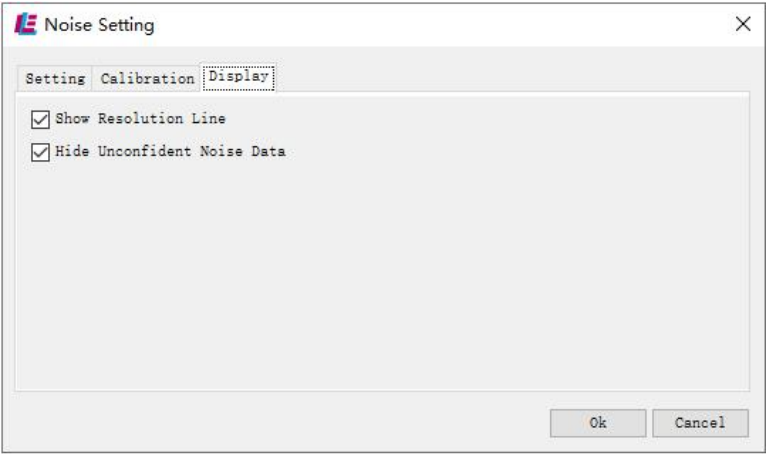
- **Noise Mode**: 选择噪声测试的模式，100kHz 带宽的高速高精度模式或者是 40Hz 带宽最低 1mHz 的超低频模式。
- **Frequency Grid**: 选择噪声测试的基础频率分辨率。不同噪声模式下的取值范围有所不同。
- **Average Number**: 依照这个数字测量若干次噪声，取平均值。
- **Hold Time**: 测试之前保持一段时间的信号以等待稳定。

Calibration 页面



- 这个页面可以选择相应的 SMU 档位进行噪声测试模型校准。

Display 页面



- **Show Resolution Line**: 显示噪声测试分辨率基准线。
- **Hide Unconfident Noise Data**: 不显示低于噪声测试分辨率基准线的不可信数据。

4.6.1.3. Page 设置

对于噪声测试，所有输入都限定为常值输入。你可以使用 [数组模式](#) 或 [矩阵模式](#) 将多个 page 一次添加到 routine 中。有关详细信息，请查看 [Routine 管理](#) 部分。

支持的测试功能和可输出的噪声参数参见如下列表：

噪声测试功能

器件类型	可输出参数	测试功能
MOSFET	Sid, Svg, Svd, Sidn*, INC**	指定电压偏置下的噪声测试 在器件 V_t 下的噪声测试
BJT	Sic, Sib, Sie	指定电压偏置下的噪声测试 通过给出参考电流来指定电压的噪声测试
Diode	Sip, Svp, INC**	指定电压偏置下的噪声测试

		通过给出参考电流来指定电压的噪声测试
Resistor	Sip, Svp, INC**	指定电压偏置下的噪声测试
		通过给出参考电流来指定电压的噪声测试

* Sidn 是归一化 Sid，等价于 Sid/Id^2

** INC 是积分噪声电流，可用于 NEP 测试，参见 4.6.1.4

4.6.1.4. NEP 测试

噪声等效功率 (NEP) 测试广泛用于广电探测科研领域。NEP 的测试包括光和电两方面。光学方面需要测试指定带宽 BW 下的光响应率 R(BW)，这需要专用的光电测试仪器完成；电学方面需要测试等效电流噪声 I_{in}。NEP 的计算公式为：

$$NEP = \frac{I_{in}(BW)}{R(BW)\sqrt{BW}}$$

以上公式可以等效为

$$NEP = \frac{\int_0^{BW} sid(f)df}{R(BW)\sqrt{BW}}$$

我们定义 INC 为

$$INC = \frac{\int_0^{BW} sid(f)df}{\sqrt{BW}}$$

则噪声等效功率的计算优化为

$$NEP = \frac{INC}{R(BW)}$$

噪声测试支持将 INC 作为输出项直接显示，你只需要在 Output 栏填写 inc 即可。

4.6.2. 速度与精度

FS-Pro 通过直流耦合技术实现低频噪声测试，利用 SMU 测量器件时域电流特性，通过基于 Welch 频谱估计方法的 FFT 分析直接对器件噪声做量化。在进行 FFT 分析时，频谱的频率网格密度受基础频率分辨率影响，选择的基础频率分辨率越小，频率网格越密，数据采集时间也就越长，同时在 Welch 频谱估计方法的影响下，曲线波动也越小。改善曲线波动幅度的另一个方法是增加平均次数 (Average Number)。当平均次数增加时，测试时间会线性增加，曲线波动随之变小，但是不会影响频率网格的密度。如果不考虑频率网格密度大小，增加平均次数对曲线波动的改善会更明显。例如比较基础频率分辨率为 0.34Hz，平均 3 次以及基础频率分辨率为 1Hz，平均 9 次，总的数据采集时间均大约为 9s，前者频率网格更细，后者平滑性更好。Welch 频谱估计方法会一直启用，不能关闭。

不同基础分辨率下的数据采集时间估计如下表（平均次数为 1）

基础频率分辨率（精确值）	时域数据采集时间	频域点数	频率范围	适用平均次数范围
高速高精度 1Hz (1.017)	0.98s	637	1Hz~100kHz	1~100
0.34Hz (0.339)	2.95s	989	0.34Hz~100kHz	1~100
0.1Hz (0.0954)	10.5s	1341	0.1Hz~100kHz	1~100
超低频 0.01Hz (9.766e-3)	102.4s	189	0.01Hz~40Hz	1~10
0.001Hz (9.766e-4)	1024s	573	0.001Hz~40Hz	1~3

具体频率网格结构可参考[附录 B](#)

4.6.3. 测试适用条件

直流信号应当保持稳定。出现问题时，首先检查直流信号。检查时域数据是否稳定正常（[保存原始数据](#)）。

4.7. 如何进行 Kelvin 测试

4.7.1. Kelvin 测试

有三种方法执行 Kelvin 测试。

(1) 使用“Remote Sense”：将 Local 切换为 Remote。将 SMU 的信号端口连接到器件的信号管脚，将 SMU 的传感端口连接到器件的传感端口。在这种方法下你可以得到正确的输出，但是你不知道最后到底加了多大信号。



(2) 使用 Kelvin 电阻或四端电阻器件：你应该使用四个 SMU，两个作为信号，两个作为传感。将两个传感管脚设置为 0 电流并捕获其电压信号。将两个信号管脚设定为你的扫描值。你可以得到所有的施加和传感的信号值但是 SMU 不会根据传感值来调节施加信号，你需要通过计算得到最后结果。

(3) 使用 macro SMU 功能：检查连接 一节来了解 macro SMU，这个功能目前只支持一个管脚。

4.7.2. 在矩阵开关中使用 Kelvin 测试

在使用矩阵开关的环境中，如果你想使用 SMU 的传感端口来执行 Kelvin 测试，请参考[晶圆映射工程](#)一节中介绍的设置方法。

5. 高级功能

在进行晶圆级测试工作时，最具挑战性的问题是数量巨大的 DUT。在创建 DUT，修改测试条件和执行测试时，工作效率便尤为关键。在本章中，你将了解 LabExpress 中可以提高性能的那些功能。

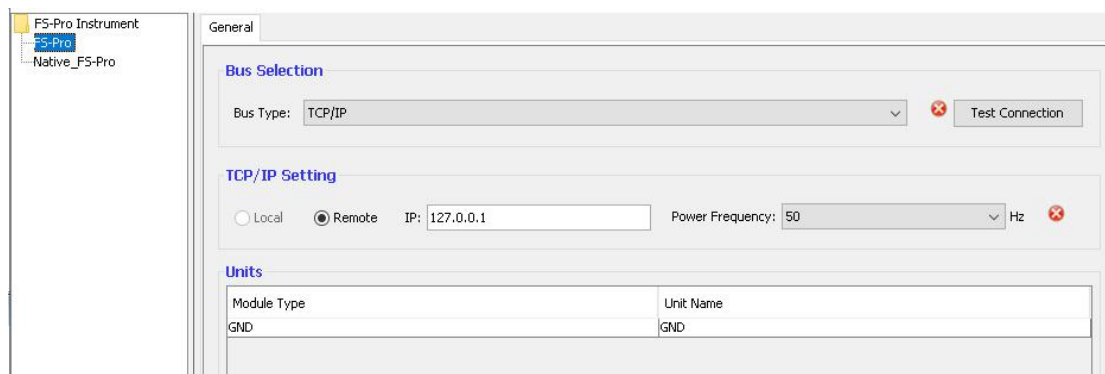
- [管理 FS-Pro 设备](#)
- [管理探针台，矩阵开关和其他仪表](#)
- [晶圆映射工程](#)
- [并行测试](#)
- [Stress 测试](#)

5.1. 管理 FS-Pro 设备

LabExpress 专业版本既可以在控制器内使用，也可以在上位控制 PC 中使用。在控制器内使用时，LabExpress 需要工作在 Server 模式，通过启动参数“--s”来控制。在上位控制 PC 中使用时，LabExpress 需要工作在 Client 模式，此模式是专业版本的默认启动模式。

在使用 LabExpress 专业版时，上位控制 PC 需要用 Client 模式启动软件，控制器需要用 Server 模式启动软件或者是启动独立的硬件驱动服务程序。Client 和 Server 的软件或硬件驱动服务程序版本需要一致。

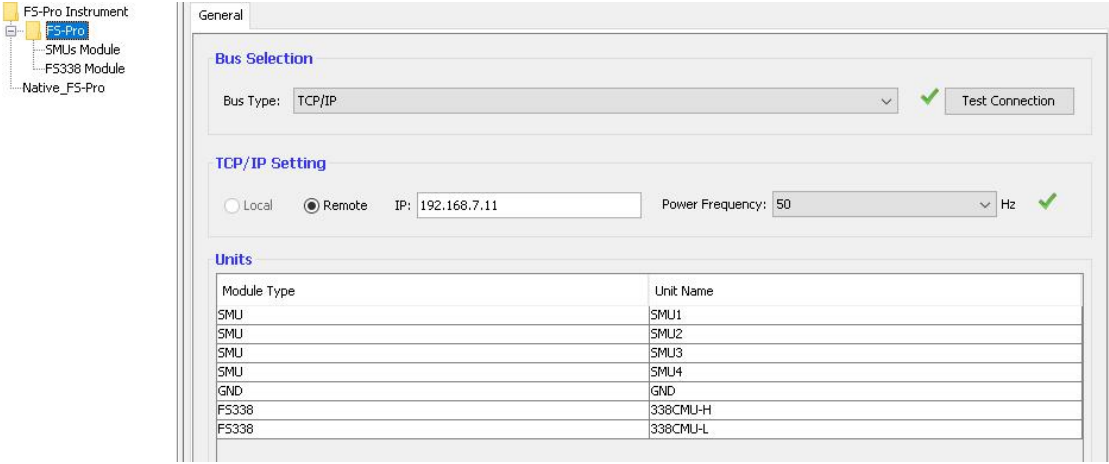
你可以在“仪器 (Instrument)”菜单下的“FS-Pro 系统 (FS-Pro System)”窗口中管理所有 FS-Pro 设备。“Bus Type”用于选择 FS-Pro 设备的连接方式，通过 TCP/IP 服务或是 GPIB 端口。在不同的“Bus Type”下，会显示相应的设定内容。当设定好连接方式后，点击“Test Connection”，软件就会与 FS-Pro 设备连接，并在 Units 中显示可用的测量单元。



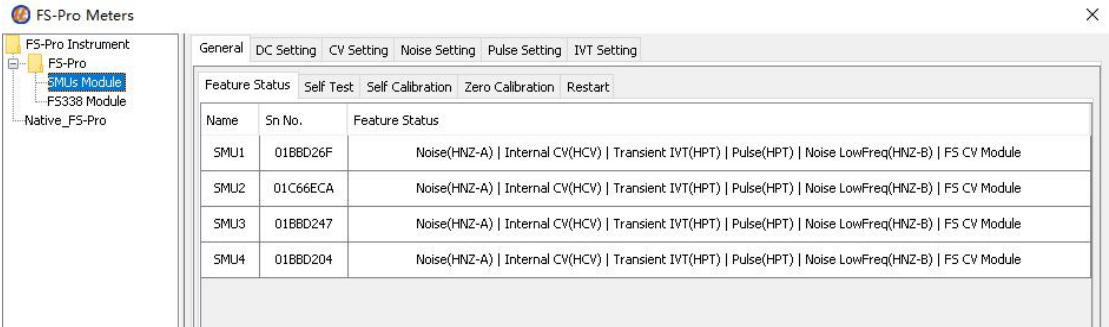
运行在 Server 模式的时候，此窗口会默认添加一台 Native_FS-Pro 作为本地设备，其连接方式只能为 TCP/IP，IP 地址固定为 127.0.0.1。运行在 Client 模式的时候，默认状态没有任何机器，你需要通过鼠标右键添加机器，并指定唯一的名称。此时连接方式可以是 TCP/IP，

也可以是 GPIB。如果是 TCP/IP 方式，IP 地址应该为目标 FS-Pro 设备的实际 IP 地址。如果是 GPIB 方式，目标 FS-Pro 设备应启用 GPIB 驱动。

当 FS-Pro 设备连接成功后，Units 部分会列出可用的测量单元，这些测量单元的名称和机器名称会一起出现在 connection 中。



连接成功的机器下还会展示具体模块选项，选中这个模块，可以进行相应的模块管理和测试设定，例如自检，DC，CV 等。

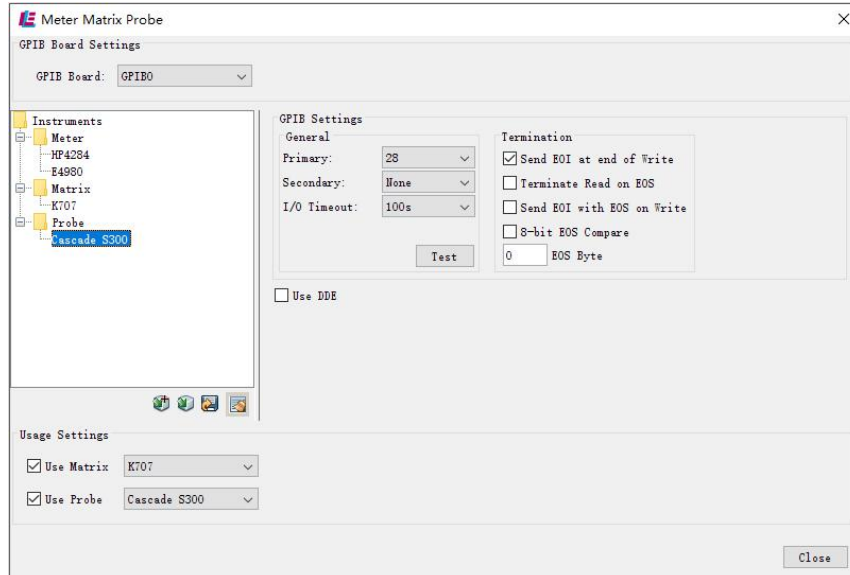


在专业版中，以下设定内容被移动到了 Option/Display 页面下

- Noise 的 Display 选项
- IVT 的 Display 选项

5.2. 管理探针台，矩阵开关和其他仪表

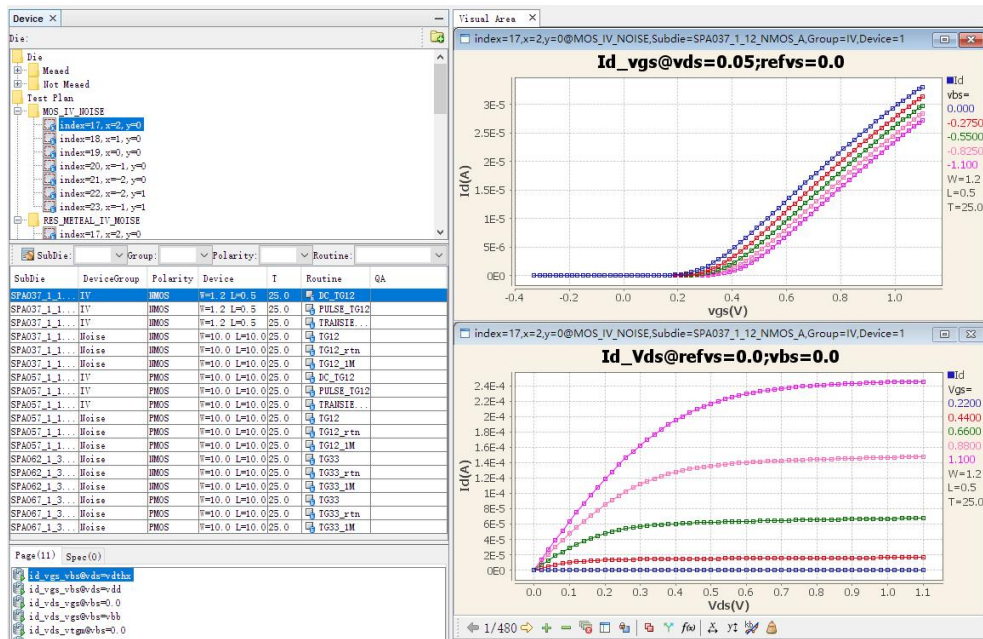
在许多晶圆测试环境中，半自动探针台是执行大量测试的必要设备，有时矩阵开关也有很大帮助。在 LabExpress 中，你可以在“仪器（Instrument）”菜单下的“仪表矩阵与探针台（Meter Matrix Probe）”窗口中管理这些设备。



在此窗口中，你可以分配 GPIB 端口，管理设备，以及设置要使用的探针台和矩阵开关。右键单击矩阵开关或探针台项目，你可以添加设备。右键单击任何现有设备，你可以将其删除（在现有版本中，HP4284 和 E4980 是默认设置，无法添加或删除）。你可以保留多个相同类型的设备，但只能使用一个（是否使用 HP4284 和 E4980 由 CMU 连接中的管脚名称决定）。仪器使用状态将影响测试环境预检和使用方式，稍后将对此进行讨论。

5.3. 晶圆映射工程

要适配晶圆级任务，你首先需要创建晶圆工程。在晶圆工程中，将有一个 die 面板用来管理所有 die 信息。

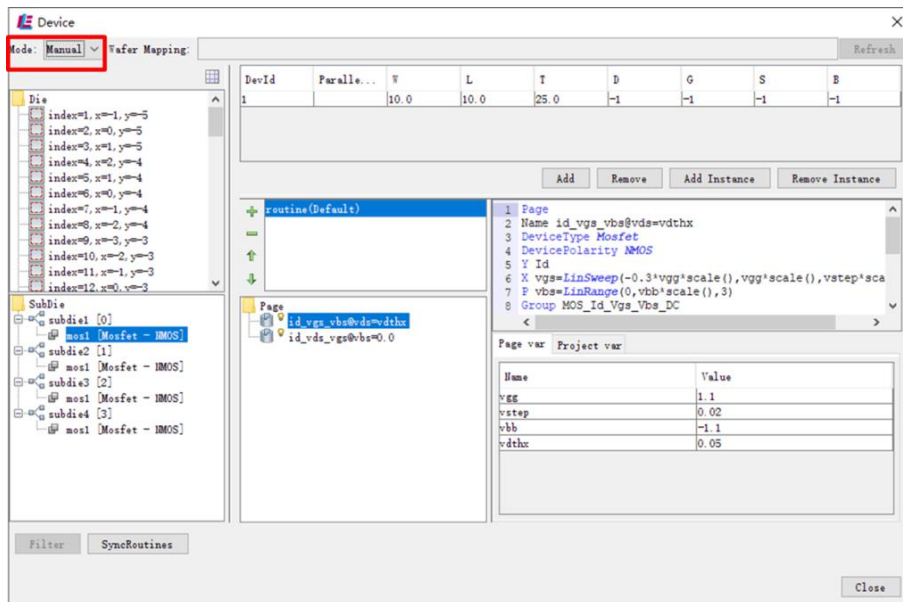


5.3.1. 创建 die 和 subdie

在晶圆工程中，你有两种方法创建 die 和 subdie：手动或从探针台更新。

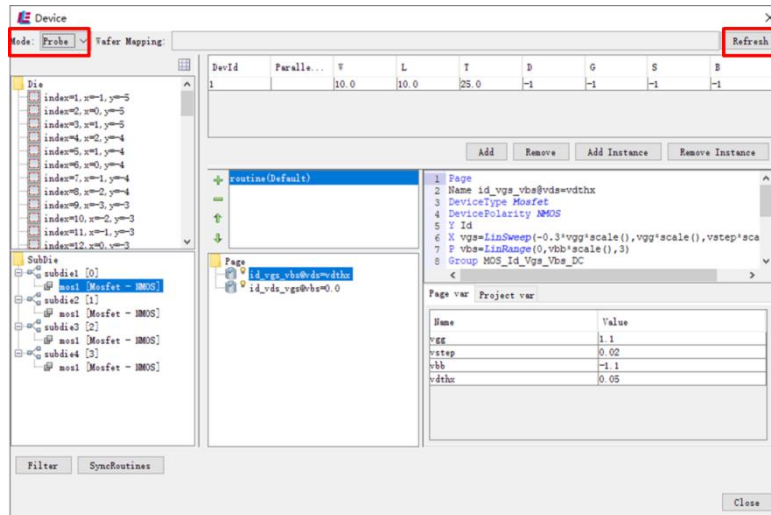
5.3.1.1. 手动创建 die 和 subdie

在 DUT 窗口中更改为手动模式，然后你可以通过右键菜单添加 die 和 subdie。



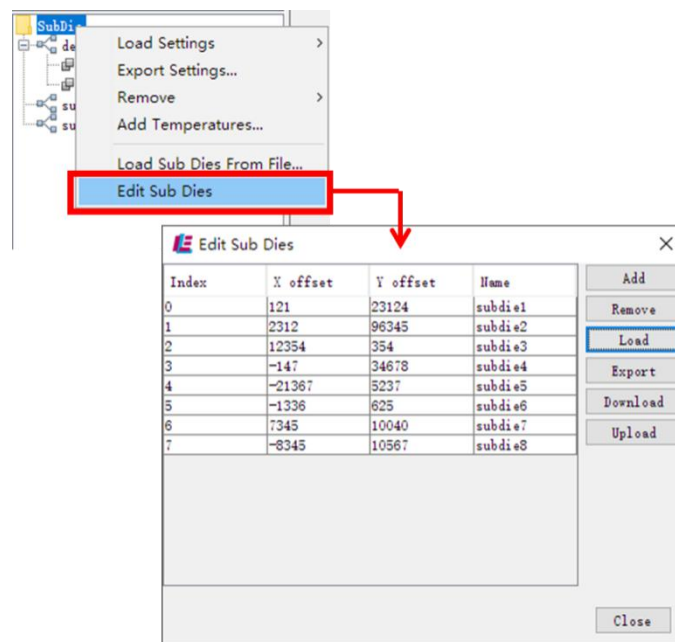
5.3.1.2. 从探针台更新 die 和 subdie

在 DUT 窗口中更改为探针模式，然后你可以从探针台更新得到 die 和 subdie（须注意 subdie 名称不得包含空格或制表符）。



5.3.1.3. 编辑 subdie

你还可以编辑 subdie 后再把他们保存到探针台。在“Edit SubDies”对话框中，你可以手动添加或删除 subdie，也可以从一个配置文件中加载。“Download”意味着你从探针台获取当前所有的 subdie。“Export”会把当前对话框里的所有设置保存为一个 txt 文件。你可以在你的办公桌编辑这个文件然后“Load”回来，最后“Upload”回传给探针台。

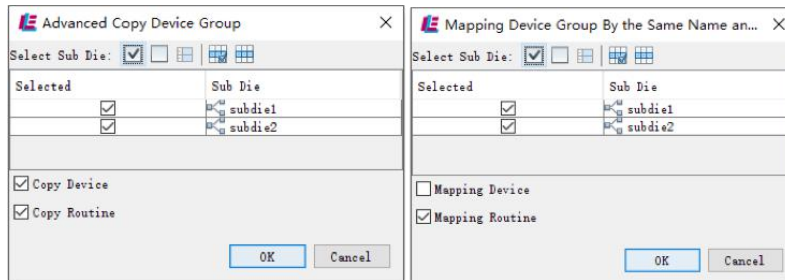


5.3.2. 在晶圆工程中创建 DUT

在晶圆工程中，你有两种方法来创建 DUT：手动创建或者从 excel 设定中加载。

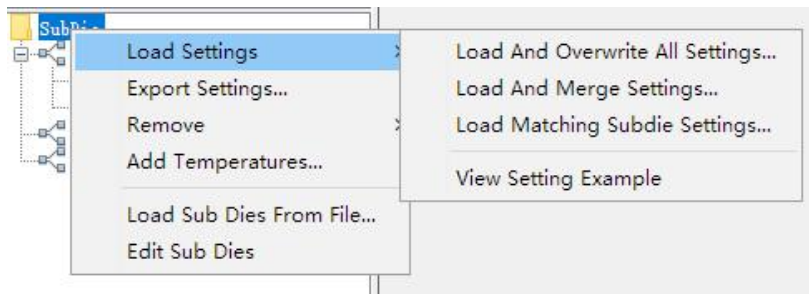
5.3.2.1. 手动创建器件组和 DUT

无论在手动模式还是探针模式下，你都可以在 subdie 上通过右键菜单添加器件组。要快速将 DUT 设置适配到其他 subdie 中，可以使用右键菜单中的“高级复制（Advanced Copy）”和“映射（Mapping）”功能来传送器件和 routine 设置。



5.3.2.2. 从 excel 中加载

Excel 文件可以轻松编辑大量器件。有三种不同的方式加载 excel 设定：覆盖式 (Overwrite)，合并式 (Merging) 和匹配式 (Matching)。你可以通过“View Setting Example”功能来查看 excel 设定文件的格式。



- 覆盖式

Excel 内容将完全覆盖当前的 subdie/DUT 设置。

- 合并式

Excel 内容将合并到当前的 subdie/DUT 设置中。除非 excel 中的内容包含完全相同的 subdie，器件和 routine 名称，否则已有设置都会被保留。

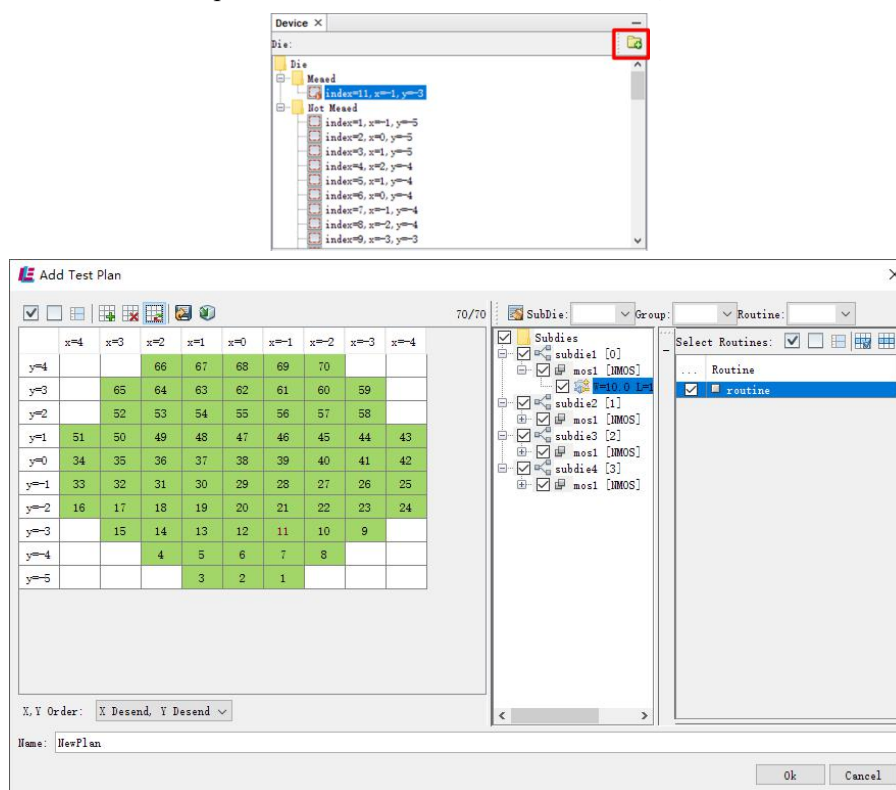
- 匹配式

仅从 excel 中加载和替换匹配的 subdie，器件和 routine 设置。如果 excel 文件中包含当前设置中不存在的子项，则不会加载它们。如果当前设置包含 excel 文件中不存在的任何子项，也不会将其删除。

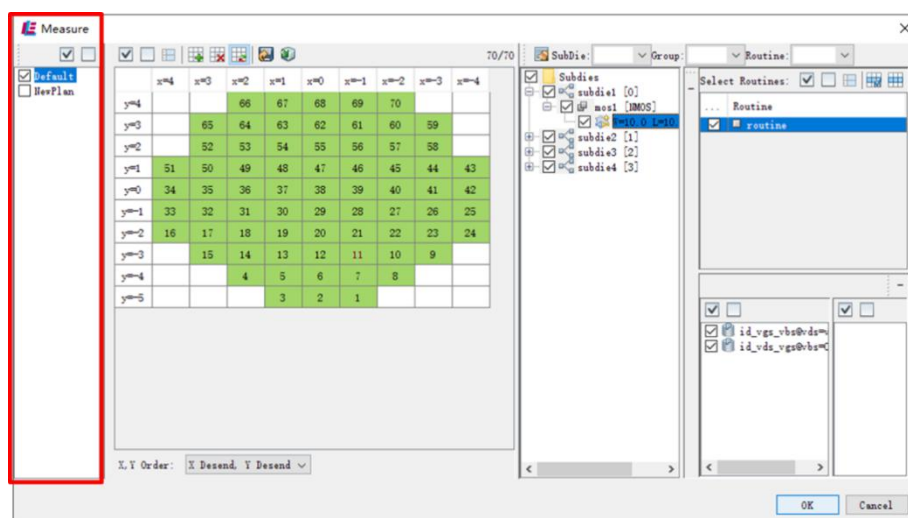
你可以选择在 excel 中定义所有测试条件，也可以只在 excel 中编写 routine 名称，然后从库中同步，或者手动添加 routine。

5.3.3. 制定测试计划

当我们从晶圆中所有 die 和 DUT 中挑选一部分进行测试时，从巨大的表格中反复选择将非常痛苦。制定测试计划（plan）将有助于专注较小范围的器件，以便轻松查看数据。



如果你没创建过任何计划，那么软件中会创建一个包含所有 die 和 DUT 的默认计划。一旦创建过测试计划，将会出现一个包含默认计划在外的所有测试计划的侧边栏供你在测量和导出对话框中选择（在探针模式下）。



5.3.4. 高级矩阵开关接脚设定

5.3.4.1. 多重接脚

一个器件的管脚可以绑定到多个矩阵开关接脚。这种使用方式中，你可以在 DUT 窗口中填写多个接脚值，用“，”分隔开，这种写法同样可以使用在 excel 设定中。接脚输入只接受-1 和正整数。如果有重复输入的接脚，设定格会被标识为黄色，如果有输入错误，则会标识为红色。

D	G	S	B
1	2	3	4
5	6, 7, 8	3	4

D	G	S	B
1	2	3	4
5, 7, 8	6, 7, 8	3	4

D	G	S	B
1	2	3	4
5, 7, 8	6, a	3	4

5.3.4.2. 在矩阵开关中使用远端感应

你可以在矩阵开关设定框中设定 kelvin 模式。一旦一行被设定为 kelvin，它的下一行会自动保留为这行的感应端。

Kelvin Policy: DevicePin Offset: 25

Matrix Row	Meter Node	Kelvin
1	PDASMU - SMU1	☒
2		☐
3	PDASMU - SMU2	☐
4	PDASMU - SMU3	☒
5		☐
6	PDASMU - SMU4	☐
7		☐
8		☐
9		☐
10		☐
11		☐
12		☐
13		☐
14		☐

Reset

选择“DevicePin”策略，然后你可以在 DUT 窗口中通过“/”来标识信号输入和感应端的列值。这个功能可以和多重接脚 功能一起使用。

D	G	S	B
1/9	2	3/10	4
5/6, 7/8	11	3	4

5.3.4.3. 异常设定处理

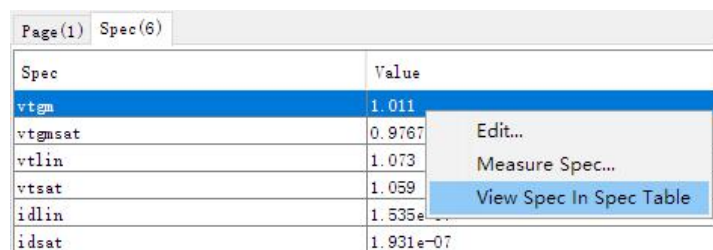
- -1 永远表示没有矩阵接脚，如果有其他合法接脚的话，-1 会被忽略。
- 如果某一行没有被设定为 kelvin 状态，那感应接脚设定就会被忽略。
- 如果一行设定为 kelvin 状态，但是没有设定感应接脚或者感应接脚是-1，那么矩阵开关不会联通感应接脚的通路，但是如果你打开了远端传感模式，SMU 还是会工作在远端模式。
- 如果一行设定为 kelvin 状态，但是信号接脚是-1，那么这一管脚不会被接入矩阵开关，所有感应接脚都会忽略。
- 重复出现的接脚设定会被标黄色来警告，但是它仍然是可接受的设定方式。

当你关闭 DUT 窗口时，它会首先检查所有的红色错误设定。你必须修复所有错误才能继续。

当你修复完所有错误后，它将检查黄色警告，这时你可以选择是检查每一个警告信息并修改，还是直接关闭窗口。

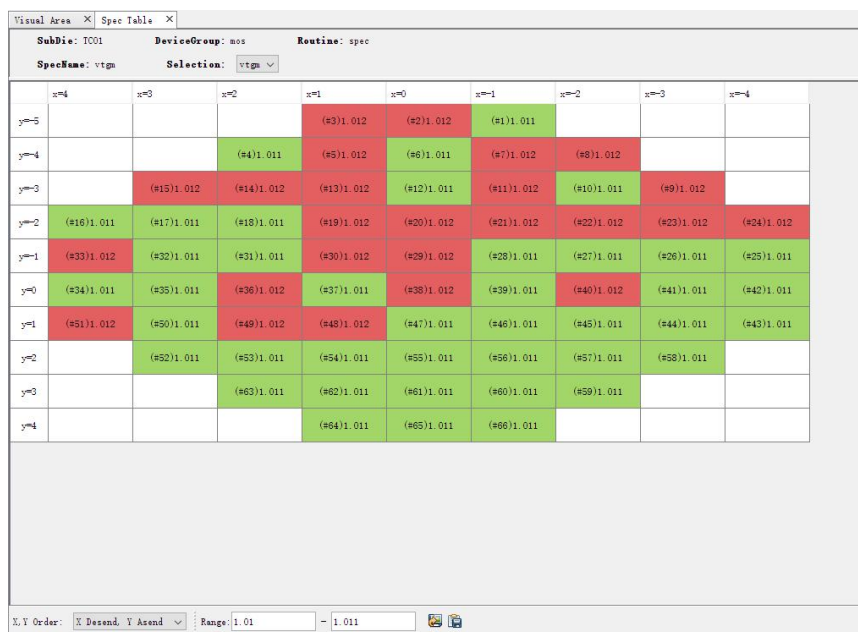
5.3.5. Spec 检视表

对于 spec 测试，你可以通过右键菜单将某一个 spec 在所有 die 上的值显示在一个 spec 检视表上。



Spec	Value
vtgms	1.011
vtgmsat	0.9767
vtlin	1.073
vtstat	1.059
idlin	1.535e-07
idsat	1.931e-07

在 spec 检视表中，你可以浏览整个晶圆上的 spec 值，验证它的分布状态，然后导出成图片或者文件。



	x=-4	x=-3	x=-2	x=-1	x=0	x=1	x=2	x=3	x=4
y=-5				(#3)/1.012	(#2)/1.012	(#1)/1.011			
y=-4			(#4)/1.011	(#5)/1.012	(#6)/1.011	(#7)/1.012	(#8)/1.012		
y=-3		(#15)/1.012	(#14)/1.012	(#13)/1.012	(#12)/1.011	(#11)/1.012	(#10)/1.011	(#9)/1.012	
y=-2	(#16)/1.011	(#17)/1.011	(#18)/1.011	(#19)/1.012	(#20)/1.012	(#21)/1.012	(#22)/1.012	(#23)/1.012	(#24)/1.012
y=-1	(#33)/1.012	(#32)/1.011	(#31)/1.011	(#30)/1.012	(#29)/1.012	(#28)/1.011	(#27)/1.011	(#26)/1.011	(#25)/1.011
y=0	(#34)/1.011	(#35)/1.011	(#36)/1.012	(#37)/1.011	(#38)/1.012	(#39)/1.011	(#40)/1.012	(#41)/1.011	(#42)/1.011
y=1	(#51)/1.012	(#50)/1.011	(#49)/1.012	(#48)/1.012	(#47)/1.011	(#46)/1.011	(#45)/1.011	(#44)/1.011	(#43)/1.011
y=2		(#52)/1.011	(#53)/1.011	(#54)/1.011	(#55)/1.011	(#56)/1.011	(#57)/1.011	(#58)/1.011	
y=3			(#63)/1.011	(#62)/1.011	(#61)/1.011	(#60)/1.011	(#59)/1.011		
y=4				(#64)/1.011	(#65)/1.011	(#66)/1.011			

同样，你可以在 spec 检视表中查看整个晶圆上所有噪声测试的 spec，与 page 关联的 spec，以及通过 Id-Vg 曲线计算得到的 Vth。

5.3.6. 检查设置

在运行测试之前，该工具将首先检查设备设置和器件设置，以确保当前环境可以正确运行。

5.3.6.1. 探针台检查

如果你使用探针模式，该工具将检查是否设定了要使用的探针台并且 GPIB 通信正常。如果使用手动模式，探针台设置将被忽略。

5.3.6.2. 矩阵检查

如果设定了使用矩阵开关，该工具将检查 DUT 以确保所有管脚都正确映射到矩阵接脚上。此外，包括 SMU 和 CMU 的所有连接都应在矩阵开关设置中正确映射。

如果设定不使用矩阵开关，则检查过程取决于选项“[如果未使用矩阵开关，则忽略矩阵接脚设置](#)”。如果勾选该选项，则将忽略所有矩阵接脚设置，该工具将在不调用矩阵开关的情况下运行测试。如果未勾选该选项，该工具将检查 DUT 以确保所有节点都设置为“-1”。

如果设定使用矩阵开关，则检查取决于选项“[使用矩阵时允许-1 引脚设置](#)”。如果勾选该选项，则可以使用-1 引脚设置，这时不会打开这条开关路径。如果未勾选该选项，该工具将检查 DUT 以确保没有节点设置为“-1”。

5.4. 并行测试

为了实现最大的性能提升，在你有足够的 SMU 通道或是多台 FS-Pro 机器的条件时可以应用并行测试。

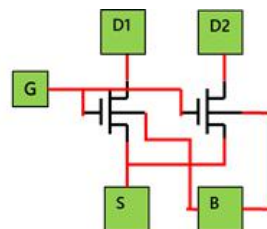
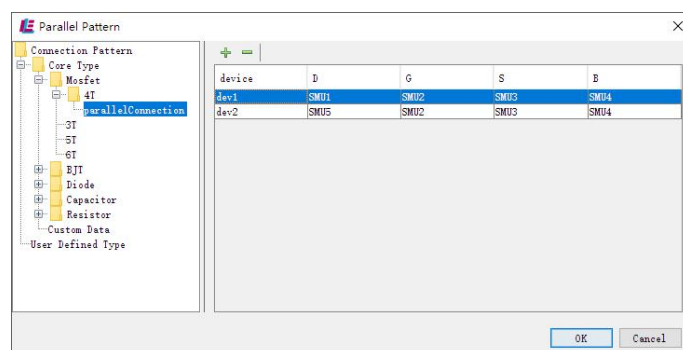
5.4.1. 并行测试模式

并行测试具有两种模式：多通道模式和多机模式。

1. 多通道模式：一台 FS-Pro 机器内具有多条 SMU 通道时，可以将多个 SMU 分成不同组，对多个器件并行测试。
2. 多机模式：利用上位控制 PC 控制多台 FS-Pro 机器，每个机器测量一个器件，实现并行测试。使用多机并行模式时，每台 FS-Pro 需要占用一条独立的物理连接线路。多机模式仅用于并行测试，多台机器不能作为通道扩展测试同一个器件。

5.4.2. 在并行设置中定义并行模板

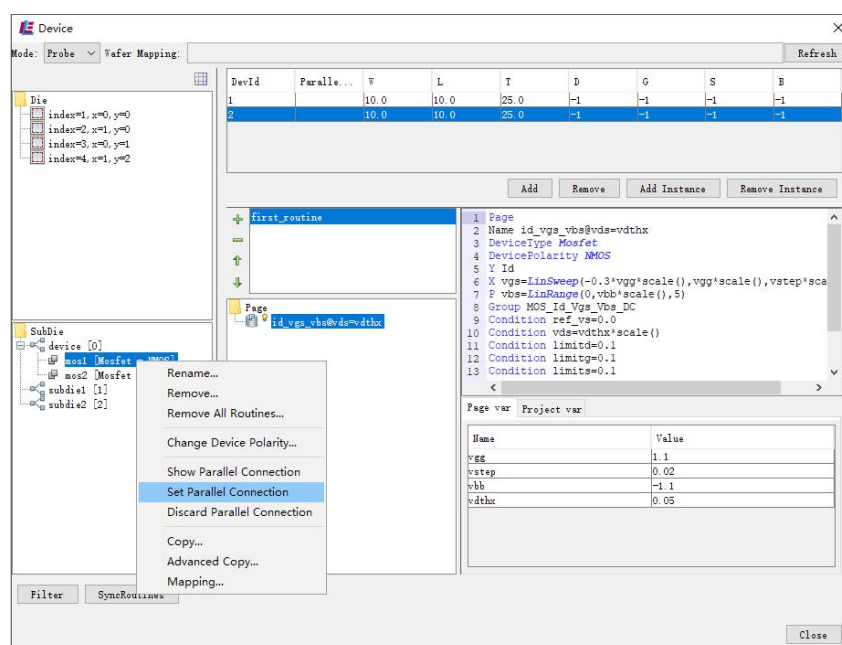
并行模板用于定义并行器件的连接方式。在“Parallel Pattern”窗口中，右键单击器件类型，然后选择“Add Connection”。使用“+”/“-”按钮调整并行器件的数量，然后为每个管脚选择 SMU。如果具有多台 FS-Pro 机器，机器名会体现在 SMU 前。请注意，SMU 设置反映了这些器件物理连接的拓扑关系。



上图连接设置定义了如下结构：G，S，B 是每个器件的共用焊接盘（pad），因此它们连接到 SMU2/3/4，D 管脚不共用，因此将有 D1 和 D2，它们各自连接到 SMU1 和 SMU5。

5.4.3. 将并行连接应用于器件组

在器件组上单击右键，选择“Set Parallel Connection”。弹出对话框将为你列出已定义的模板。选择你设计好的那个。



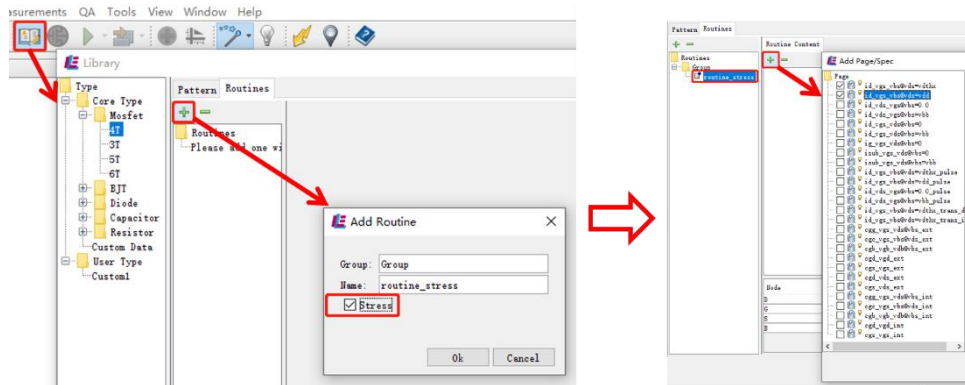
要设置并行连接，器件组必须具有多个器件，并且一组器件的数量必须能被并行模板中的器件数量整除。应用并行连接后，器件组中的器件将根据模板中的器件数量自动划分为几个不同的并行组，“添加”/“删除”器件操作也将遵循此最小操作单元。你可以放弃并行连接设置，这时所有并行组都会被取消。

5.5. Stress 测试

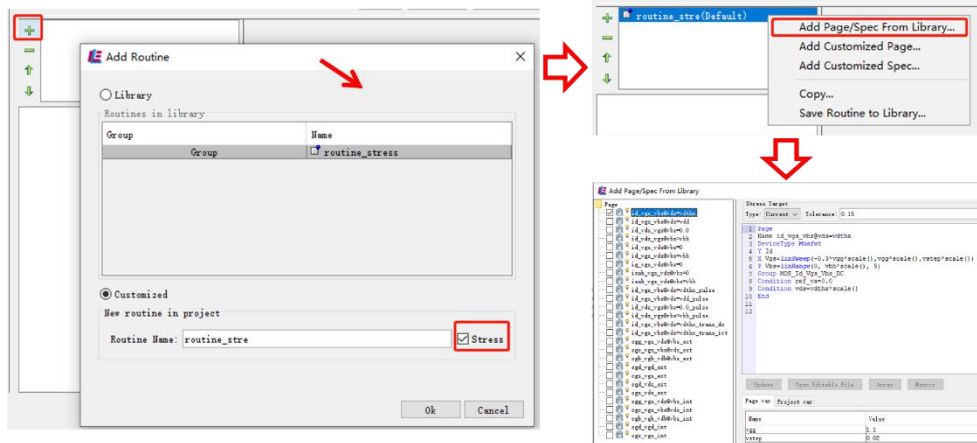
5.5.1. 建立 Stress Routine

新建 routine 时, 勾选 Stress 选项, 即可建立一个空的 stress routine, 之后在 routine 中添加 page, 目前支持 DC 和 CV。

5.5.1.1. 在 Library 里新建 Stress Routine

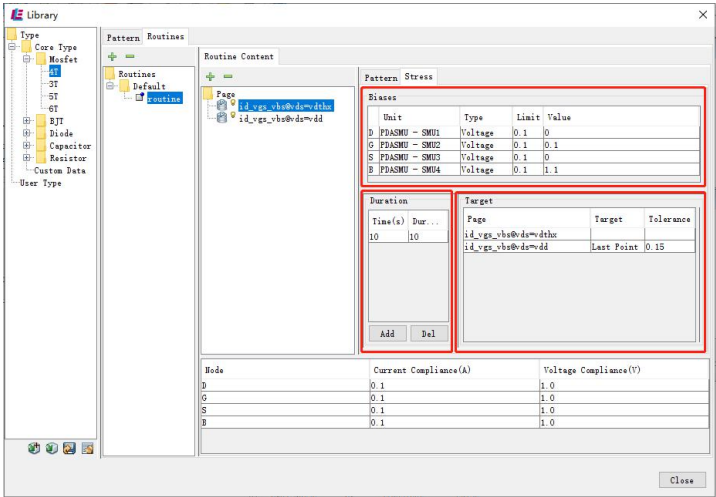


5.5.1.2. 从 DUT 界面新建 Stress Routine



5.5.2. Stress Routine 设置

建立 stress routine 后, 可以对 stress 信息进行设置, 主要包括偏压 (Biases), 持续时间 (Duration) 和终止目标 (Target) 的设置。



5.5.2.1. 偏压

Biases				
Unit	Type	Limit	Value	
D PDASMU - SMU1	Voltage	0.1	0.5	
G PDASMU - SMU2	Voltage	0.1	1	
S PDASMU - SMU3	Voltage	0.1	0	
B PDASMU - SMU4	Voltage	0.1	0	

- Unit: 选择使用的 SMU
- Type: 施加 stress 的方式，目前对于 SMU 只支持电压模式
- Limit: 限流值
- Value: 偏压大小，为固定值

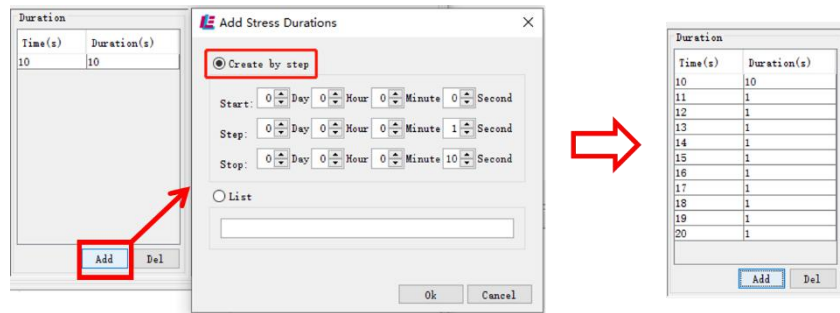
5.5.2.2. 持续时间

Duration	
Time (s)	Duration...
10	10
13	3
18	5
25	7
34	9
Add Del	

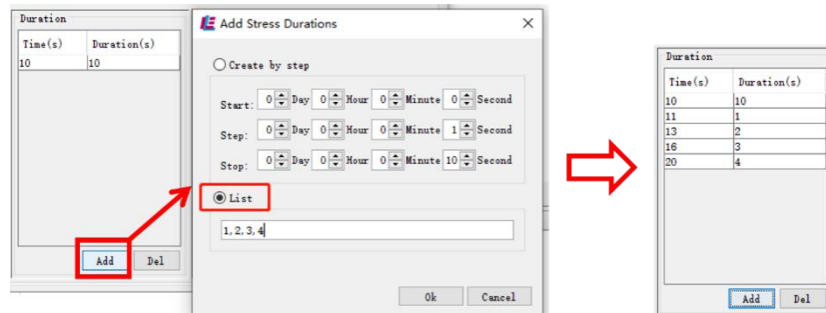
- Time: 当前时间点 stress 总时长
- Duration: 距上一个时间点的 stress 持续时间

你可以通过两种方式指定 stress 的持续时间：

- Add Duration by Step: 通过指定时间间隔和总时长的方式定义



- Add Duration by List: 通过指定时间列表的方式定义



5.5.2.3. 终止目标

在执行 stress 测试的过程中，如果某一个 page 测试的结果符合定义的终止目标，stress 测试就会停止。如果均未达到，就会测试到最后一个时间点停止。

Target		
Page	Target	Tolerance
id_vgs_vbs@vds=vdthx		
id_vgs_vbs@vds=vdd	Last Point	0.15

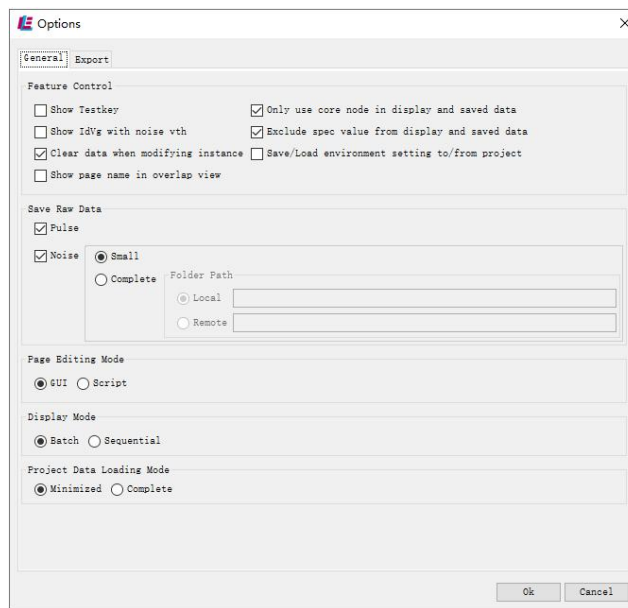
- Page: 当前 Routine 包含的 page 名称。
- Target: 终止目标，目前只支持空和 Last Point。当 Target 为空时，当前 page 只进行测量，并不比较结果，此时 tolerance 也为空；当 Target 为 Last Point 时，每个 duration 结束后，当前 page 测试结果的最后一个点的值与首次测量结果的最后一个点比较，如果在容差范围内，则进行下一个 duration 的测试，否则停止测量。
- Tolerance: 容差 (0.1 即 10%)，定义 stress 测试允许偏离的范围。

6. 选项与设置

6.1. 选项

选项对话框在“工具”菜单下。

6.1.1. 一般选项 (General)



6.1.1.1. 功能控制 (Feature Control)

- 显示 Testkey (*Show Testkey*)

Testkey 字段将被用于 DUT 定义和导出文件中。

- 显示基于 Vth 的噪声测试时同时显示 IdVg 曲线 (*Show IdVg with noise vth*)

在测试完基于 Vth 的噪声 page 后，随着噪声图像一起显示测试 Vth 时使用的 IdVg 曲线。

- 在显示与保存数据中仅使用内置管脚 (*Only use core node in display and saved data*)

对于用户定义类型，其他软件工具可能无法识别外加节点。此选项将在显示与导出数据时忽略这些外加节点。

- 从显示与保存数据中剔除 spec 值 (*Exclude spec value from display and saved data*)

当 page 测试条件中使用了 spec 时，该 spec 值会保留在导出数据中，其他软件工具可能无法识别。此选项将在显示与导出数据时忽略 spec 值。

- 向/从工程中保存/加载环境设置 (*Save/Load environment setting to/from project*)

此选项允许用户在工程中自动保存当前环境设置。打开包含环境设置文件的工程时，工具将提示加载此环境设置以完全恢复测试环境。你也可以通过“文件”菜单下的“保存/加载环境”

功能手动保存和加载环境设置。

- 修改 instance 后清除相应 device 中的数据 (Clear data when modify instance)

当工程中的 device 中的 instance 修改后, 对应的 device 中的数据全部清除。

- 叠图中显示 page 名称 (Show name in overlap view)

查看测试数据时, 对数据进行 [叠图](#) 操作时, 在图像上显示 page 名称。

6.1.1.2. 保存原始数据 (Save Raw Data)

为脉冲和噪声测试保存原始时域数据。

6.1.1.3. Page 编辑模式 (Page Editing Mode)

除了可以使用 page/spec 编辑的交互式 GUI 界面外, 高级用户还可以直接编辑测试配置脚本。此选项将控制编辑模式。

6.1.1.4. 显示模式 (Display Mode)

- 批量显示模式 (Batch)

完成一个 page 测量后显示所有测量结果。

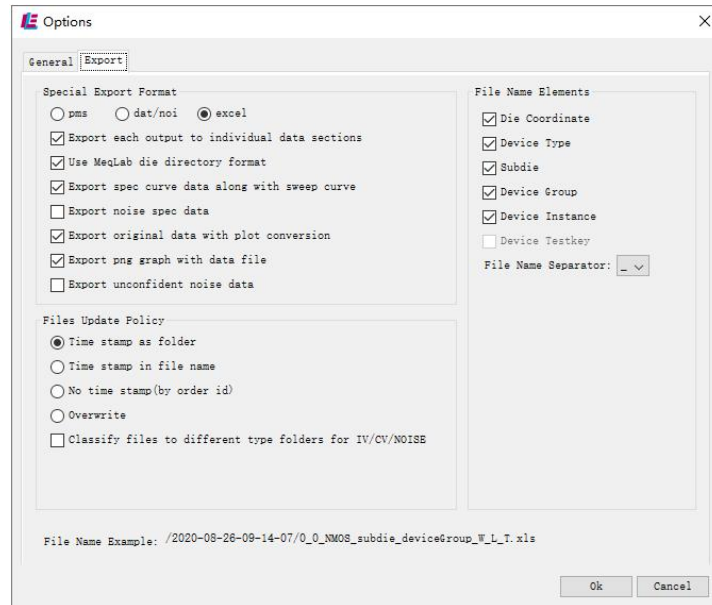
- 顺序显示模式 (Sequential)

完成每一个原子测试后立即显示测量结果。

6.1.1.5. 工程数据加载模式 (Project Data Loading Mode)

使用“Minimized”模式时, 打开工程时只有基本数据会被加载。所有详细的扫描数据只有在数据被用到时才会加载。因此对于大型工程来说, 打开工程的操作可以加速。使用“Complete”模式时, 所有数据都会在打开工程时被加载。使用“Lazy”模式时, 打开工程时不会加载数据, 只有在实际使用到时才会加载。“Lazy”模式相比“Minimized”模式会更加精简, 适用于基本数据也很大的超大工程。

6.1.2. 导出选项 (Export)



6.1.2.1. 特殊导出格式 (Special Export Format)

- 格式

LabExpress 支持 pms 格式，dat/noi 格式和 excel 格式。

- 将每个输出导出至独立的数据段 (Export each output to individual data sections)
对于有多个输出的 page，如果勾选此选项，导出的数据将把每个输出分别保存至一个独立的数据段。
- 使用 MeqLab 的 die 目录格式 (Use MeqLab die directory format) 与 MeqLab 目录格式兼容。
- 导出扫描曲线的同时也导出 spec 的曲线数据 (Export spec curve data along with sweep curve)
对于带 spec 的 page 扫描，控制是否导出 spec 的曲线扫描数据。
- 导出噪声 spec 数据 (Export noise spec data)
将噪声 spec 数据像一般 spec 一样导出至 spec 数据文件中。
- 当定义了 plot 时同时导出原始数据 (Export original data with plot conversion)
如果勾选此项，当 page 中定义了 plot，导出数据除了 plot 变换数据，还会带上原始数据。
- 导出数据文件同时导出 png 格式图片 (Export png graph with data file)
在导出数据文件的同时附带导出一张扫描曲线的 png 格式图片。如果是 excel 格式的数据，该图片会嵌入到 excel 里面。
- 仍然导出 noise 测量的不置信数据 (Export unconfident noise data)
在导出数据时，低于噪声测试分辨率基准线的不可信数据也会随数据一起导出。

6.1.2.2. 文件名组成元素 (File Name Elements)

控制导出文件名称的组成，每个组成部分由定义的分隔符分隔。

6.1.2.3. 文件更新策略 (Files Update Policy)

使用此选项可控制在多次导出数据时如何更新导出的文件。

6.1.2.4. 按 IV/CV/噪声类型将文件分类到不同文件夹中 (Classify files to different type folders for IV/CV/Noise)

如果勾选此选项，导出数据文件会则根据测量类型分类保存至不同文件夹中。直流/脉冲/瞬态测试数据会保存在“IV”子文件夹中，CV 会保存在“CV”子文件夹中，噪声保存在“Noise”子文件夹中。

6.2. 设置

CV/CF：有关详细信息，请查看 [CV/CF 设置](#) 部分。

直流：有关详细信息，请查看 [直流设置](#) 部分。

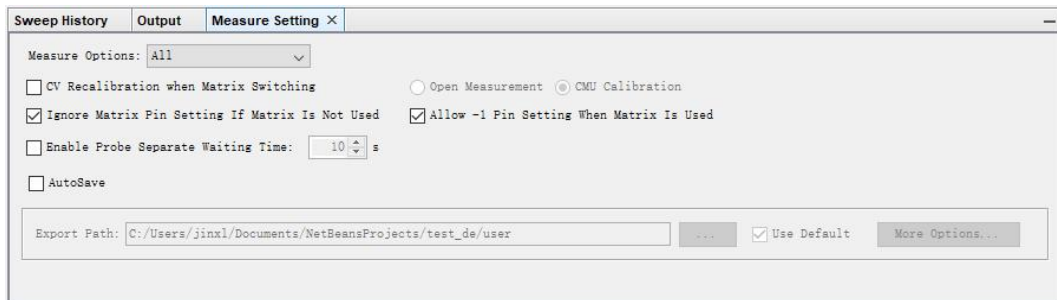
脉冲：有关详细信息，请查看 [脉冲设置](#) 部分。

噪声：有关详细信息，请查看 [噪声设置](#) 部分。

瞬态直流/时域：有关详细信息，请查看 [瞬态设置](#) 部分。

并行模版设置：有关详细信息，请查看 [并行测试](#) 部分。

测量设置：



- 测量选项 (Measure Options)
 - 全部 (All)：测量全部器件、全部 page，你可以选择如何清除（保存）旧数据。
 - 仅未测量 (Only unmeasured)：仅测量未测量过的器件和 page。
 - 仅直流 QA 失败 (Only DC QA failed)：仅测量直流 QA 检查失败的器件和 page。
- 切换矩阵开关时重新做 CV 校准 (CV Recalibration when Matrix Switching)

当切换矩阵开关时，重新校准以扣除不同矩阵路径上的电容。它可以通过 CMU 机器校准或者内置开路测量完成。
- 如果不使用矩阵，则忽略矩阵引脚设置 (Ignore Matrix Pin Setting If Matrix Is Not Used)

有时你可能希望从设备连接中去掉矩阵开关，但又不愿重置 DUT 上矩阵接脚映射的设置。勾选此选项后，你可以在设备界面中简单地设置不使用矩阵开关，之后在测量期间将忽略

所有映射信息。

- 使用矩阵时允许-1 引脚设置 (**Allow -1 Pin Setting When Matrix Is Used**)
有时你可能希望从矩阵开关中断开一些器件管脚，但又不愿重新创建所有 DUT。使用此选项，你可以在某个管脚上设置-1，之后在测量期间便不会开启此路径。
- 启用探针台分离等待时间 (**Enable Probe Separate Waiting Time**)
为探针台执行晶圆分离操作设定一个完成等待时间。
- 自动保存 (**Auto Save**)
如果勾选此选项，那么测量结果将根据导出选项自动保存到目标目录。

7. 已知问题与解决方案

7.1. 命名

使用内置器件类型时，器件管脚是预定义好的，因此偏置和输出名称具有标准命名规则：

- 电压偏置格式应当为 **Vxy** 样式，**x** 是发出管脚名，**y** 是参考管脚名或者空白。
- 电流偏置格式应当为 **Ix** 样式，**x** 是偏置管脚名。
- 输出格式应当为 **Vx** 或 **Ix** 样式，**x** 是输出管脚名。

使用用户定义类型时，偏置名称和输出名称可以任意定义。此名称可以很好地导出到 **pms/dat** 格式。但是，在导出噪声的 **noi** 格式数据时，存在一些固定的格式要求，无法识别的名称无法被导出。因此如果你想要使用 **noi** 数据格式，请注意偏置名称应当包含如下内容并应用于噪声 **page**：

- 对于 **mos** 内置类型，必须有 **vd***和 **vg***输入
- 对于 **bjt** 内置类型，必须有 **vc***和 **vb***输入
- 对于二极管内置类型，必须有 **vp***和 **vn***输入
- 对于电阻内置类型，必须有 **vp***和 **vn***输入

7.2. 保证数据安全

使用“文件”菜单下的“保存环境（Save Environment）”和“加载环境（Load Environment）”来保证你的设置安全。你也可以从模板库窗口中保存/加载一个单独的测试设置。

只有在显式执行过“停用（deactivate）”，“保存（save）”或退出程序时，DUT 设置才会保存到磁盘。因此，如果出现任何紧急问题导致 LabExpress 在没有完成正常关闭程序的情况下就被杀死了，未保存的 DUT 设置将丢失，并且无法从数据库中找到测量数据。为确保数据安全，请务必在完成所有设置后明确“保存”或“停用”工程。



7.3. 重度负载下的性能退化

运行大型测量任务时，长时间运行后测试速度会降低。这是因为系统资源逐步消耗降低，JVM 需要不断恢复系统资源并重新分配内存来存储数据。

7.4. 意外软件故障

- 通过“自检测”或 Ni-488.2 面板检查 SMU 是否运行良好。
- 检查测试条件是否正确，连接设置是否正确，有没有丢失 SMU 绑定。
- 如果程序报告错误或异常并且你无法按照提示消息或本手册的指导解决问题，请使用“工具”菜单下的“转储日志（Dump Log）”功能保存当前工作日志，然后停用并重新加载工程。必要时重新启动软件。

7.5. SMU 错误

SMU 错误可能由于以下几个原因发生：

- 错误偏置设置

有时错误的偏置设置可能会导致 SMU 异常状态工作。在这种情况下，你应该修改测试条件。如果 SMU 状态指示灯变为红色，则应重新启动 SMU 并执行“自校准”。

- 测试服务故障

有时测试服务可能因操作系统故障而无法驱动 SMU。使用“工具”菜单下的“维修服务 (Repair Service)”功能恢复服务。如果它不起作用，请尝试重新启动软件，这样可以重新加载测试服务程序。

- SMU 硬件故障

如果 SMU 状态指示灯变红并且软件无法修复问题，请退出 LabExpress 并通过 Ni-488.2 控制面板重置 SMU。或者重新启动机器。

7.6. 系统问题

- 杀毒软件可能会杀灭我们的工具组件或 Ni 驱动程序。
- 当新启动操作系统时，可能需要一些时间来加载 Ni 驱动程序。在 Ni 驱动程序加载完毕之前，LabExpress 无法成功启动测试服务。如果发现服务故障，请在系统托盘中显示 Ni 图标后重新启动软件。
- 关闭软件时，顶部窗口消失后仍会运行一些后台流程。由于这些流程仍会访问某些数据，因此可能无法立即重启软件。
- 其他一些软件可能会影响 LabExpress 运行。到目前为止，一个确定的问题是，钉钉屏幕快照功能偶尔会导致 LabExpress 崩溃。
- Windows 文件系统有一定的限制，如果包括文件夹路径在内的文件名太长，文件可能无法打开，编辑或传输。因此，在导出数据或自动保存数据时，当总字符数大于 250 时，软件将向你重复确认长文件名问题。有许多第三方软件工具支持长文件名操作。

如果你遇到任何无法解决的问题，请使用“转储日志”保存当前日志消息，并与供应商或公司售后服务部门联系以获取帮助。

8. 附录 A：函数与算法

8.1. Sweep 函数

8.1.1. 三角函数

- $\sin(x)$, $\cos(x)$, $\tan(x)$
- $\text{asin}(x)$, $\text{acos}(x)$, $\text{atan}(x)$
- $\sinh(x)$, $\cosh(x)$, $\tanh(x)$
- $\text{asinh}(x)$, $\text{acosh}(x)$, $\text{atanh}(x)$

计算相应的三角函数的结果，返回结果类型与输入类型一致。

示例： $\sin(\text{time})$

8.1.2. 代数公式

- $\ln(x)$

计算自然对数 $\ln(x)$ 的结果，返回结果类型与输入类型一致。

示例： $\ln(\text{id})$

- $\lg(x)$

计算以十为底的对数 $\lg(x)$ 的结果，返回结果类型与输入类型一致。

示例： $\lg(\text{id})$

- $\text{abs}(x)$

返回 x 的绝对值，返回结果类型与输入类型一致。

示例： $\text{abs}(\text{id})$

- $\text{sqrt}(x)$

计算 x 的绝对值的开方值，返回结果类型与输入类型一致。

示例： $\text{sqrt}(\text{id})$

- $\text{pow}(x, n)$

返回 x 的 n 次方的值，返回结果类型与输入类型一致。

示例： $\text{pow}(\text{id}, 2)$, $\text{pow}(2, \text{vgs})$

- `quot(x,n)`

返回 x/n 的商，返回结果类型与 x 类型一致。

示例: `quot(id,n)`

- `mod(x,n)`

返回 x/n 的余数，返回结果类型与 x 类型一致。

示例: `mod(id,n)`

8.1.3. 常数函数

- `e()`

返回欧拉数(Euler Number)，其值约为 2.718281828459。

- `pi()`

返回常数 PI，其值约为 3.1415926。

- `k()`

返回波尔兹曼常数(Boltzmann Constant)，其值约为 1.380649×10^{-23} 。

- `q()`

返回元电荷(Elementary Charge)的值，其值约为 $1.602176634 \times 10^{-19}$ 。

- `eps0()`

返回真空电容率的值(Vacuum Permittivity)，其值约为 $8.854187817 \times 10^{-12}$ 。

8.1.4. 其他

- `scale()`

器件极性符号，1 代表 N 型和单极性，-1 代表 P 型。

示例: `vg*scale()`

- `Inst('inst_name', inst_default_value)`

通过给定的器件参数名称获取 DUT 的器件参数值。如果在 DUT 上未定义过这个参数，则使用默认值。

示例: `Inst('W', 1.0)`

- `max(...), min(...)`

从向量或几个数值中获取最大值/最小值。

示例: `max(id), min(var1, var2, var3)`

- `sgn(x)`

`x>0`, 返回 1; `x<0`, 返回-1; 否则返回 0。返回类型与 `x` 的类型一致。

示例: `sgn(id)`

- `gt(x1,x2)`

`x1>x2`, 返回 1; 否则返回 0。

示例: `gt(var1,var2)`

- `lt(x1,x2)`

`x1<x2`, 返回 1; 否则返回 0。

示例: `lt(var1,var2)`

- `ge(x1,x2)`

`x1>=x2`, 返回 1; 否则返回 0。

示例: `ge(var1,var2)`

- `le(x1,x2)`

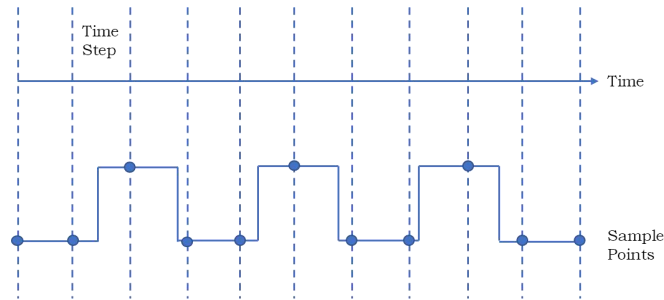
`x1<=x2`, 返回 1; 否则返回 0。

示例: `le(var1,var2)`

8.2. 数据发生器函数

数据发生器支持使用数字，变量和大多数的 `sweep` 函数来产生信号。除此之外还有一些只能用于数据发生器的特殊函数：

- `getx()`, `getp()`：分别用于从当前扫描曲线中同步 X 和 P 的扫描值。
- `pulse()`：在时域测试中，`pulse` 函数定义了一种脉冲波形。一个脉冲波形定义需要 6 个参数：高电平 `vdd`，低电平 `vss`，周期 `period`，开启时间 `on time`，延时 `delay` 以及相位 `phase shift`。数据发生器在每一个时间步长上按照这个定义去采样要发生的数据点。



通过调整时间步长和 `pulse` 定义，你可以得到很精确的脉冲波形数据。我们推荐将脉冲周期和导通时间设置为可被时间步长整除。

示例：

- (1) 用变量产生简单信号

```
a*log(b)+sqrt(c)
```

- (2) 用 X 和 P 的偏压值产生信号

```
a*getx()+b*getp()
```

- (3) 在时域测试（IVT）中产生脉冲信号

```
pulse(1.8, 0, 1, 0.4, 0, 0)
```

- (4) 在时域测试（IVT）中产生三角波信号

```
0.5*a*(mod(getx(),T)*(1+sgn(0.5*T-mod(getx(),T)))-(mod(getx(),T)-T)*(1+sgn(mod(getx(),T)-0.5*T)))
```

8.3. Target 语法

Target 公式由若干“set”语句组成，每个语句遵循基本语法：`set 左侧值=右侧表达式`。

8.3.1. 规则

- 一个左侧值可以是数值或向量。
- 定义过的左侧值可以在之后的右侧表达式中使用。
- 如果右侧表达式中有任何单字无法与任何左侧值匹配，那么它将被认为是一个变量。
- 如果是 Page 测试，当左侧值为向量时，左侧值可以用于 Plot 中。
- 如果是 Spec 测试，最后一个左侧值必须为一个数值，并且该数值的结果将被认定为 spec 的结果值。

8.3.2. Target 函数

Target 函数不仅支持 8.1 节中所介绍的 Sweep 函数，而且支持其他多种函数。

8.3.2.1. 向量生成

- `linsweep(start, stop, step)`

通过给定“起始”/“终止”/“步长”生成一个线性向量。

示例：`linsweep(0, 1.8, 0.1)`

- `linrange(start, stop, point)`

通过给定“起始”/“终止”，全部“点数”生成一个线性向量。

示例：`linrange(0, 1.8, 3)`

- `logswEEP(start, stop, point)`

通过给定“起始”/“终止”，全部“点数”生成一个对数值向量。

示例：`logswEEP(0, 1.8, 3)`

- `range(var1, var2, var3, ...)`

通过给定值来生成一个向量。

示例：`range(0, 0.5, 1.0, 1.5)`

8.3.2.2. 代数方法

- `sum(...)`

计算向量或几个数值的和。

示例：`sum(id), sum(var1, var2, var3)`

8.3.2.3. 差分方法

- `dydx(x, y)`

计算 XY 曲线的一阶导数曲线，返回一个向量。

示例：`dydx(vgs, id)`

- `d2ydx2(x, y)`

计算 XY 曲线的二阶导数曲线，返回一个向量。

示例：`d2ydx2(vgs, id)`

- `d3ydx3(x, y)`

计算 XY 曲线的三阶导数曲线，返回一个向量。

示例: `d3ydx3(vgs, id)`

- `dx dy(x, y)`

计算 x 对 y 的一阶导数，返回一个向量。

示例: `dx dy(vgs, id)`

- `d2x dy2(x, y)`

计算 x 对 y 的二阶导数，返回一个向量。

示例: `d2x dy2(vgs, id)`

- `d3x dy3(x, y)`

计算 x 对 y 的三阶导数，返回一个向量。

示例: `d3x dy3(vgs, id)`

8.3.2.4. 积分方法

- `integ(x, y)`

XY 的积分曲线，返回一个向量。

示例: `integ (vgs, cp)`

8.3.2.5. 计算算法

- `vth_gm_lin(id_values, vg_values, (vdthx), use_interpolation)`

使用 max gm 算法计算线性区中的 vth，选择性给出 vdthx（如果表达式中没有给出 vdthx，那么它必须是一个同名变量。

示例: `vth_gm_lin(id, vgx, vdthx, 1)`

- `vth_gm_sat(id_values, vg_values, use_interpolation)`

使用 max gm 算法计算饱和区的 vth。

示例: `vth_gm_sat(id, vgx, 1)`

- `vth_cc(id_values, vg_values, ref_current, use_interpolation)`

使用恒定电流算法计算 vth。

示例: `vth_cc(id, vgx, iref, 1)`

- `linefit(x, y)`

根据给定的 x , y 进行线性拟合, 给出拟合直线的 k 和 b

示例: `linefit(vgx, id)`, 结果返回直线 $y=kx+b$ 的 (k, b)

8.3.2.6. 数据查询

- `get(vector, index)`

获取 `vector[index]` 的值, 结果可以是较低维度的数值。

示例: `get(id, 1)`

- `get(vector, index1, index2)`

获取 `vector[index1, index2]` 的值, 结果是 `vector` 的一个子集, 注意 `vector` 只能是一维向量。

示例: `get(id, 1, 10)`

- `ybyx(y_values, x_values, ref_x, use_interpolation)`

通过给定的 X 参考值找到 Y 值。

示例: `ybyx(id, vx, ref_vg, 1)`

- `xbyy(y_values, x_values, ref_y, use_interpolation)`

通过给定的 Y 参考值找到 X 值。

示例: `xbyy(id, vx, ref_id, 1)`

- `dybyx(y_values, x_values, ref_x, use_interpolation)`

通过给定的 X 参考值找到 Y 的导数值。

示例: `dybyx(id, vx, ref_vg, 1)`

- `maxd(y_values, x_values, use_interpolation)`

得到导数最大时的导数值。

示例: `maxd(id, vx, 1)`

- `maxdx(y_values, x_values, use_interpolation)`

得到导数最大时的 X 值。

示例: `maxdx(id, vx, 1)`

- `maxdy(y_values, x_values, use_interpolation)`

得到导数最大时的 Y 值。

示例: **maxdy(id, vgx, 1)**

- **maxdyx(y_values, x_values, use_interpolation)**

得到导数最大时的导数, Y 和 X 值。

示例: **maxdyx(id, vgx, 1)**

- **cmax(y, x), cmin(y, x)**

带有插值的计算出一条曲线上的最大值/最小值。

示例: **cmax(id, vg)**

8.3.2.7. 其他

- **smooth(curve, radius)**

根据给出的半径平滑一条曲线。

示例: **smooth(id, 5)**

9. 附录 B：频率网格

基础分辨率 1Hz (1.017)

频率区间	网格步长 (HZ)	网格点数	频域总点数
1.01725~3.05176	1.01725	3	3
4.06901~14.2415	2.03451	6	9
16.276~61.0352	4.06901	12	21
65.1042~252.279	8.13802	24	45
260.417~1025.39	16.276	48	93
1041.67~4134.11	32.5521	96	189
4166.67~16601.6	65.1042	192	381
16666.7~66406.3	260.417	192	573
66666.7~99479.2	520.833	64	637

基础分辨率 0.34Hz (0.339)

频率区间	网格步长 (HZ)	网格点数	频域总点数
0.339084~1.01725	0.339084	3	3
1.35634~4.74718	0.678168	6	9
5.42535~20.3451	1.35634	12	21
21.7014~84.0929	2.71267	24	45
86.8056~341.797	5.42535	48	93
347.222~1378.04	10.8507	96	189
1388.89~5533.85	21.7014	192	381
5555.56~22135.4	86.8056	192	573
22222.2~88715.3	173.611	384	957
88888.9~99652.8	347.222	32	989

基础分辨率 0.1Hz (0.0954)

频率区间	网格步长 (HZ)	网格点数	频域总点数
0.0953674~0.286102	0.0953674	3	3
0.38147~1.33514	0.190735	6	9
1.52588~5.72205	0.38147	12	21
6.10352~23.6511	0.762939	24	45
24.4141~96.1304	1.52588	48	93
97.6563~387.573	3.05176	96	189
390.625~1556.4	6.10352	192	381
1562.5~6225.59	24.4141	192	573
6250~24951.2	48.8281	384	957
25000~99804.7	195.313	384	1341

基础分辨率 0.01Hz (9.766e-3)

频率区间	网格步长 (HZ)	网格点数	频域总点数
0.00976563~0.0292969	0.00976563	3	3
0.0390625~0.136719	0.0195313	6	9
0.15625~0.585938	0.0390625	12	21
0.625~2.42188	0.078125	24	45
2.5~9.84375	0.15625	48	93
10~39.6875	0.3125	96	189

基础分辨率 0.001Hz (9.766e-4)

频率区间	网格步长 (HZ)	网格点数	频域总点数
0.000976563~0.00292969	0.000976563	3	3
0.00390625~0.0136719	0.00195313	6	9
0.015625~0.0585938	0.00390625	12	21
0.0625~0.242188	0.0078125	24	45
0.25~0.984375	0.015625	48	93
1~3.96875	0.03125	96	189
4~15.9375	0.0625	192	381
16~39.875	0.125	192	573



支持与联络

感谢您使用概伦电子产品和解决方案。

如需了解更多信息欢迎访问官方网站 <http://www.khai-long.com>。

如需获得其他帮助和支持，请发邮件至 support@khai-long.com 与技术支持专员联络。