

Px00 需求&方案说明书

武汉普赛斯仪表技术有限公司

声明：本文件所有权和解释权归武汉普赛斯仪表技术有限公司所有，未经武汉普赛斯仪表技术有限公司书面许可，不得复制或向第三方公开。

修订历史记录

版次	发布日期	AMD	修订者	说明
v1.0	2021.03.04	首次发行	彭鹏	
V1.1	2021.03.05	M	彭鹏	修复错误
V1.2	2021.03.29	M	彭鹏	优化触发功能的子板分工
V1.3	2021.03.31	M	刘立/彭鹏	修改最大功率为300w
V1.4	2021.04.01	M	刘立/彭鹏	修改前面板方案框图

(A)

-添加, M-修改, D-删除)

目录

1. 产品参数	5
2. 方案框图	7
2.1 整机方案框图	7
2.2 前面板方案框图	7
2.3 电源板方案框图	8
2.4 模拟板方案框图	8
3. 功能列表	10
3.1 测量模式	10
3.1.1 数字万用表	10
3.1.2 可编程恒压源/电子负载	11
3.1.3 源测量单元(源表/SMU)	11
3.2 源选择	11
3.3 量程选择	11
3.3.1 模式	11
3.3.2 精度	12
3.4 源值设置	12
3.4.1 极性	12
3.4.2 分辨率及范围	12
3.4.3 限值(合规性)设置	12
3.4.4 极性	12
3.4.5 分辨率及范围	12
3.5 输出控制	12
3.6 测量时间	13
3.6.1 孔径时间(PLC)	13
3.6.2 额外时间	13
3.6.3 时序参数	14
3.7 脉冲输出	15
3.8 扫描	16
3.8.1 任意波形生成(AWG)	17
3.9 示波器	17
3.10 输出滤波器	17
3.11 输出关状态	17

3.12	大电容模式	18
3.13	门限和复合门限测试.....	18
3.14	迹线缓冲	18
3.15	SCPI 程序存储及运行	18
3.16	数学运算功能	18
3.16.1	预定义数学表达式.....	18
3.16.2	表达式元素	18
3.17	联锁功能	18
3.18	提醒和保护功能	18
3.19	恢复出厂设置	19
3.20	触发系统	19
3.20.1	触发源	19
3.20.2	触发时序	20
3.20.3	触发输出	20

为明确台式脉冲源表(Px00)系列¹产品需求，特制定本文档。

第 1 章介绍 Px00 参数。

第 2 章介绍 Px00 方案框图。

第 3 章介绍 Px00 功能列表。

从 SCPI 指令集的角度介绍 Px00，请参考《Px00 系列源表编程手册》；

从触屏前面板的角度介绍 Px00，请参考《Px00 系列源表使用手册》；

从 PC 上位机的角度介绍 Px00，请参考《Px00 上位机工具手册》。

1. 产品参数

经沟通调研并参考 Px00 规格书，暂定产品参数如下，**最终指标以规格书为准**：

表 1 一般特性表

一般特性	
源限度	直流最大 30W，脉冲最大 300W，4 象限
过量程	源测 105%量程
稳定负载电容	<22nF
宽带噪声	3mV RMS(典型值)，<20mV Vp-p(典型值)
HI 间最大电压	3V
LO 间最大电压	3V
线缆保护电压	输出阻抗 1k Ω ，输出电压偏移<5mV
最大采样率	100k 采样点/秒(S/s)
触发	IO 触发(输入输出各 1 路)，触发极性可配置
输出接口	后面板接口
通信接口	以太网，RS-232, GPIB
电源	AC 100~240V 50/60Hz
工作环境	25 \pm 10 $^{\circ}$ C
尺寸	长宽高:425mm * 255mm * 106mm
质保期	1 年

¹ 简称 Px00

表 2 电压量程精度表

电压				
量程	源		测	
	分辨率	准确的	分辨率	准确的
300mV	30uV	1‰±300uV	30uV	1‰±300uV
3V	300uV	1‰±500uV	300uV	1‰±500uV
30V	3mV	1‰±3mV	3mV	1‰±3mV
100V	10mV	1‰±10mV	10mV	1‰±10mV
300V	30mV	1‰±30mV	30mV	1‰±30mV

表 3 电流量程精度表

电流				
量程	源		测	
	分辨率	准确度	分辨率	准确度
1nA	100fA	1‰±5pA	100fA	1‰±5pA
10nA	1pA	1‰±50pA	1pA	1‰±50pA
100nA	10pA	1‰±500pA	10pA	1‰±500pA
1uA	100pA	1‰±3nA	100pA	1‰±3nA
10uA	1nA	1‰±5nA	1nA	1‰±5nA
100uA	10nA	1‰±50nA	10nA	1‰±50nA
1mA	100nA	1‰±300nA	100nA	1‰±300nA
10mA	1uA	1‰±5uA	1uA	1‰±5uA
100mA	10uA	1‰±20uA	10uA	1‰±20uA
1A	100uA	1‰±2mA	100uA	1‰±2mA
3A	300uA	1‰±3mA	300uA	1‰±3mA
10A	1mA	1‰±5mA	1mA	1‰±5mA

表 4 脉冲参数表

脉冲参数					
压流峰值	最大脉宽	最大占空比	最小脉宽	脉宽分辨率	脉宽精度
300V, 100mA	无限制	100%	200us	20us	±10us
30V, 1A	无限制	100%	200us	20us	±10us
300V, 1A	7ms	1%	200us	20us	±10us
65V, 3A	1.5ms	1%	200us	20us	±10us
30V, 10A	0.8ms	1.50%	200us	20us	±10us

2. 方案框图

为协调项目组沟通，特绘制产品整机方案框图如下：

2.1 整机方案框图

整机方案框图如图 1：

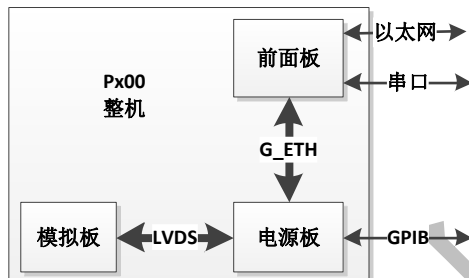


图 1 整机方案框图

2.2 前面板方案框图

前面板方案框图如图 2：

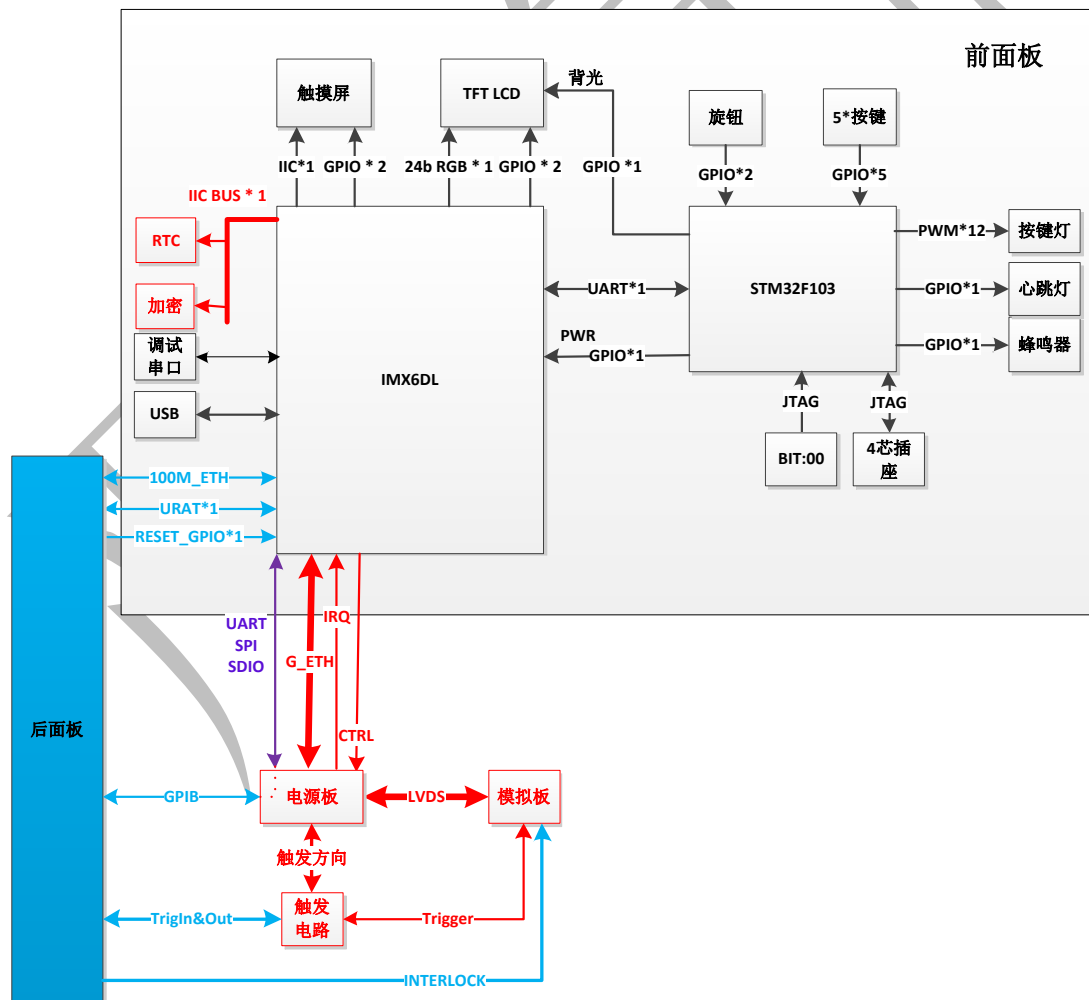


图 2 前面板方案框图

2.3 电源板方案框图

电源板方案框图如图 3:

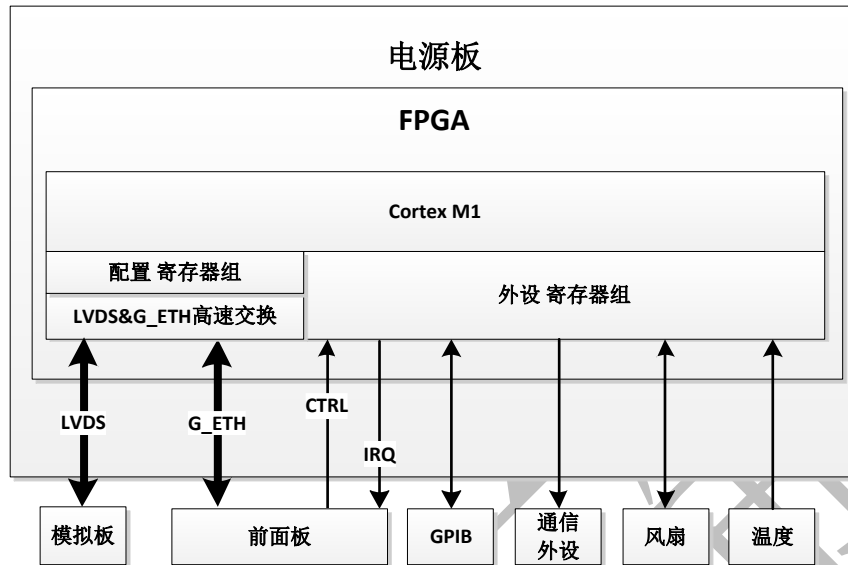


图 3 电源板方案框图

2.4 模拟板方案框图

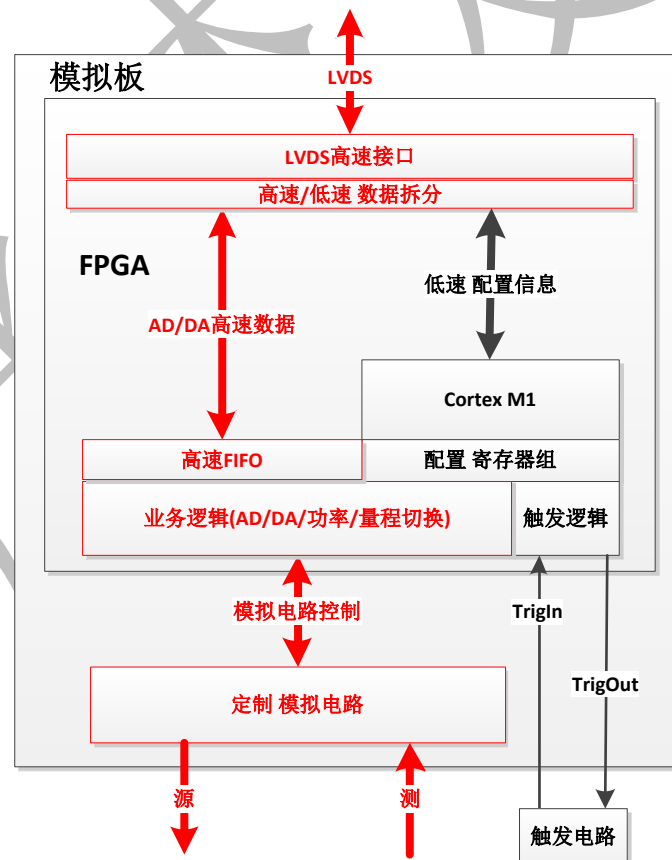


图 4 模拟板方案框图

武汉普赛斯仪表技术有限公司

3. 功能列表

本章将描述 Px00 需具备的功能列表：

3.1 测量模式

Px00 测量模式包括：数字万用表、可编程恒压源/电子负载，源测量单元(源表/SMU)²：

3.1.1 数字万用表

数字万用表有三种子功能：数字电压表，数字电流表，数字欧姆表

● 数字电压表

将 Px00 设置为直流电流源，输出电流为 0，电压量程(设备软件自动)切换为合适³量程并显示电压值。

● 数字电流表

将 Px00 设置为直流电压源，输出电压为 0，电流量程(软件自动)切换为合适量程并显示电流值。

● 数字欧姆表

将 Px00 设置为直流电流源，依据 2400 和 2450 手册中描述算法，设置输出/量程/限制值，测量阻值。

为了提升数字欧姆表模式的测量精度，设备软件需实现两个辅助功能，2/4 线测量、电阻补偿。

2/4 线的接线如图 5：

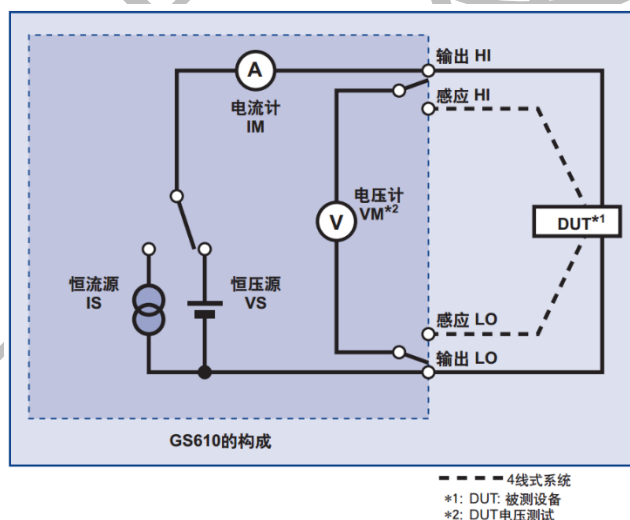


图 5 2/4 线测试接线图

一般情况下，使用 2 线测量足够精确。但若 DUT(被测设备)⁴阻抗较小，与引线阻抗在同一量级，引线阻抗的分压将导致 DUT 测出的电压不准，进而 DUT 测出的阻抗不准。这种情况下如图 5 接线执行 4 线测量，4 线测量将消除引线误差。4 线测量时，电压表的阻抗无穷大，故流过引线的电流为零，电压表测出的电压值为准确 DUT 电压值，电流测试值不变，故测得的 DUT 阻抗精确。

² 简称 SMU

³ 合适量程为：大于待测量的最小(保证精度)量程。

⁴ 后文简称 DUT。

为了减小热 EMF，可以开启电阻补偿。电阻补偿⁵可有效而精确的执行小电阻测量，电阻补偿的原理为：对 DUT 执行两次测量，并由式 1，式 2 算出的补偿值补偿 DUT 的测量结果。

$$R_{Compen} = \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1} \quad \text{式 1}$$

$$R_{DUT} = R_{Test} - R_{Compen} \quad \text{式 2}$$

式 1 中的 V_1 和 I_1 是电流源输出 0A 时的测量值。

3.1.2 可编程恒压源/电子负载

可编程恒压源/电子负载有两种：可编程恒压源/电子负载、可编程恒流源/电子负载⁶。当前工作模式为源还是电子负载，由 DUT 决定，例如测量电池时，Px00 为电子负载，测量电阻时为源。

- 可编程电压源

设置 Px00 到电压源模式，设置合适的输出、量程、限值，模拟可编程电压源/电子负载。

- 可编程电流源

设置 Px00 到电流源模式，设置合适的输出、量程、限值，模拟可编程电流源/电子负载。

3.1.3 源测量单元(源表/SMU)

- 可编程电压源及电流表

设置 Px00 为电压源模式，编程输出电压，电流量程(软件自动)切换为合适量程并显示电流值。

- 可编程电流源及电压表

设置 Px00 为电流源模式，编程输出电流，电压量程(软件自动)切换为合适量程并显示电压值。

Px00 工作在 SMU 模式时，功能最强，后文描述默认 Px00 工作在 SMU 模式。

3.2 源选择

Px00 可设置为电压源或电流源模式。

3.3 量程选择

Px00 的电压、电流量程可独立配置，Px00 不同型号区别在可用量程上，具体区别请参考产品规格说明书。**软件需保证代码的可复用性，不同的产品的量程等信息使用数据结构或配置文件描述，代码逻辑共用一套。**

3.3.1 模式

量程可以选择为手动和自动两种模式：

手动模式下，Px00 固定为客户指定量程，软件不自动切换量程，当待测值超过量程⁷，提示客户。

自动模式下，Px00 设备软件搜索最佳量程，为大于设置值或待测值的最小量程，当设置值或待测值超出 Px00 的测试极限时，提示客户。

⁵ 电阻补偿由设备软件实现，提供用户可以开启和关闭的接口即可。

⁶ 源和负载由 Px00 工作的象限决定，由硬件实现。

⁷ 超过满量程的 105%时

3.3.2 精度

所有量程的测量精度为量程最大值的 0.1%，故小量程的绝对精度更大，例如 100nA 绝对精度为 0.1nA，1A 绝对精度为 1mA。

3.4 源值设置

源值为 Px00 输出路的值，可以为电压或电流。

3.4.1 极性

Px00 的输出方向可通过设置值的正负号指定。

3.4.2 分辨率及范围

源值的设置必须在对应的量程范围内，若客户设置的源值超出量程范围，设置值将不生效，且提示客户。

源值范围如下：

- 最小限制为当前量程的 0.1%，例如 30V 为 3mV、10mA 为 1uA；
- 最大限制为当前量程的 105%，例如 30V 为 31.5V，10mA 为 10.5mA。

3.4.3 限值(合规性)设置

限值功能即合规性功能，用于限制输出功率，可防止由于过流或过压对 DUT 造成损坏。电压合规性用于电流源模式，电流合规性用于电压源模式。当输出达到合规性时，通道将保持输出功率，且不继续上升，并提示客户。

3.4.4 极性

Px00 能够自动判断限值的极性，**用户无需(且不能)**设置限值的极性。

3.4.5 分辨率及范围

同 3.4.2。

3.5 输出控制

输出控制有两种模式，分为单次测量(Trigger)和自动重复(Auto)测量。两种输出控制模式的含义如下：

- Trigger
启动单次测量。若正进行自动(重复)测量，则停止自动测量。
- Auto
启动重复测量，重复测量之间的触发延迟为 0s。若正进行自动(重复)测量，则停止自动测量。

默认情况，前面板的 Output 启动自动测量，若改为单次测量需切换 Px00 模式。

3.6 测量时间

测量时间等于孔径时间与额外时间之和，由式 3 表示：

$$\text{测量时间} = \text{孔径时间} + \text{额外时间} \quad \text{式 3}$$

3.6.1 孔径时间 (PLC)

孔径时间是单次测量所需的时间，包括模拟电路稳定时间，采样保持时间，数据滤波时间。孔径时间是获取测量数据所需的时间，增加孔径时间可以提高测量精度⁸，但降低测量速度。孔径时间的单位为 PLC 或秒，1 PLC 为 1/50Hz，即 20ms。孔径时间可以设置为自动或手动模式。

- 自动模式

自动模式下，电流为 100nA 或更小量程时为 1PLC，其他量程为 0.01PLC，由设备软件自动控制。

- 手动模式

手动模式下，可设置为 4 种模式：

- 快速 0.01 PLC, 200us
- 中速 0.1 PLC, 2ms
- 普通 1 PLC, 20ms
- 高精度 10 PLC, 200ms

3.6.2 额外时间

额外时间包括量程切换的等待时间，测量补偿时间等。

为了能让模拟板量程切换时能消除过冲欠冲，需要加入一定的延迟，这类延迟为量程切换等待时间。

为了能精确的测量，设备软件可能对每个测试值进行多次测量，以修复单次测量中引入的热 EMF 或过零误差等。这类时间为测量补偿时间。测量补偿可以由用户设置，若用户需要更快的速度可以关闭测量补偿，若用户需要更高的精度可以开启测量补偿。

⁸ 可以通过滤波，消除工频干扰。

3.6.3 时序参数

图 6 显示 Px00 工作时的时序图，对单次测试，仅关注单周期时序：

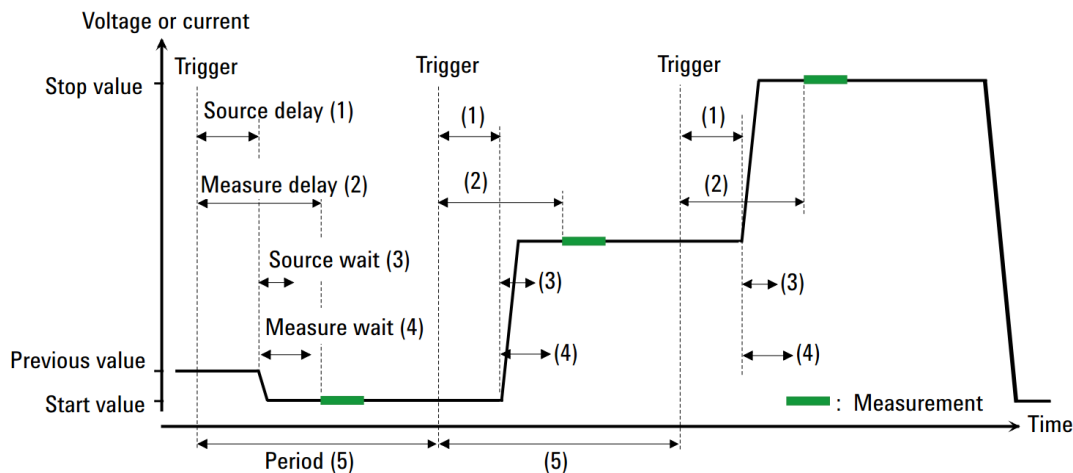


图 6 时序参数

现结合图 6，描述每个时序参数的含义：

1. 源延迟时间 (Source delay)
源延迟时间定义为：触发信号到达至电路启动动作的时间。
2. 测量延迟时间 (Measure delay)
测量延迟时间定义为：触发信号到达至采样开始的时间。
3. 源等待时间 (Source wait)
源等待时间定义为：电路开始动作至电路动作完成的时间。
4. 测量等待时间 (Measure wait)
测量等待时间定义为：电路开始动作至电路启动采样的时间。
5. 周期 (Period)
周期是多次 (重复) 测量之间，触发信号到达的间隔。

以上 5 个参数，需要越小越好，较小的时序参数可以让 Px00 采样率更高。

3.7 脉冲输出

图 7 显示脉冲扫描输出示例。对于单次脉冲测试，仅关注单脉冲。

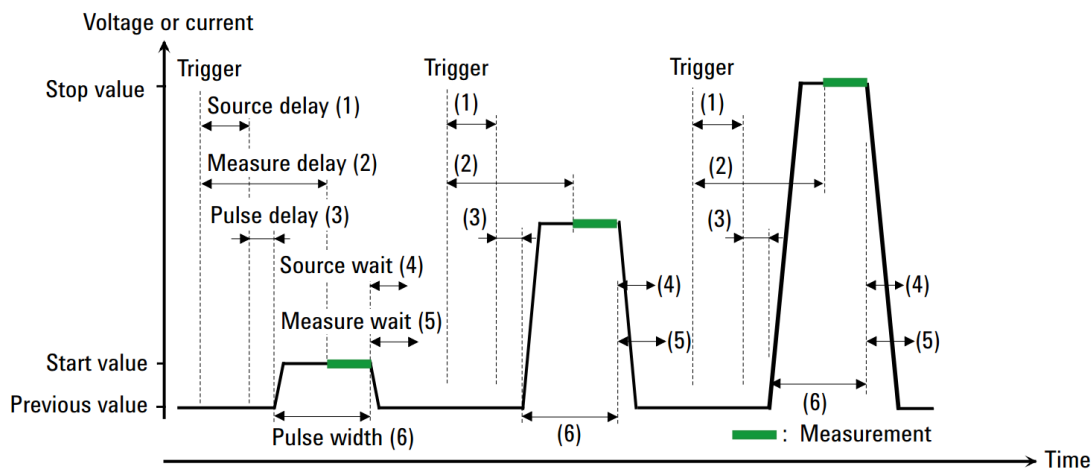


图 7 脉冲参数

现结合 6 和图 7，其中源延迟、测量延迟、源等待、测量等待四个参数含义与图 6 相同。现描述脉冲参数特有的参数含义：

1. 脉冲延迟时间 (Pulse delay)

脉冲延迟时间定义为：电路启动动作至脉冲上升沿启动的时间。

2. 脉冲宽度 (Pulse width)

脉冲宽度定义为：前沿的 10 %峰值电平到后沿的 90%峰值电平的时间。

3.8 扫描

Px00 可执行电压或电流扫描，支持多种扫描模式，直流和脉冲都皆可，如图 8:

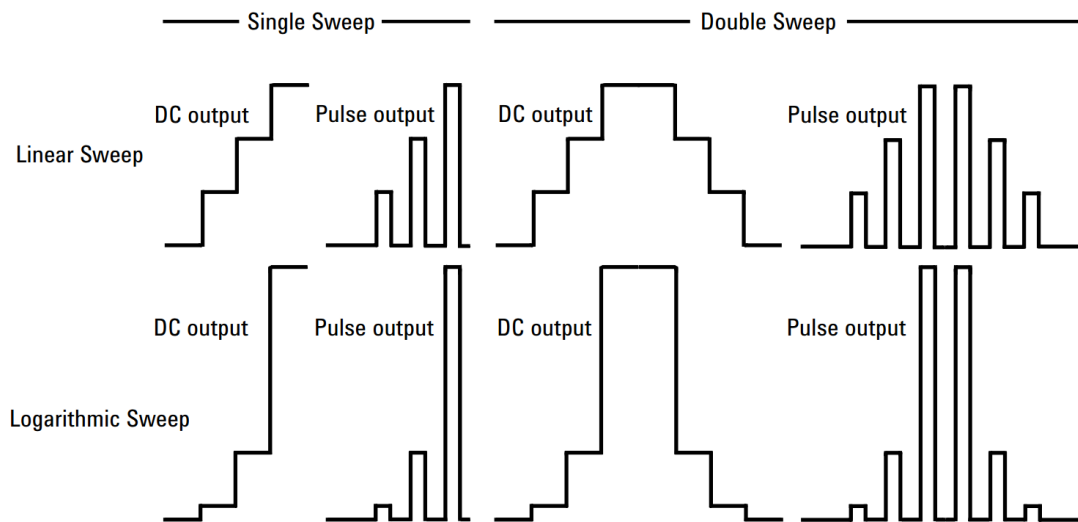


图 8 扫描模式

各扫描模式的定义为:

1. 线性 (Linear)
每个源电压 (或电流) 点之间步长线性相等;
 2. 对数 (Logarithmic)
每个源电压 (或电流) 点之间步长对数关系;
 3. 单向 (Single)
源电压 (或电流) 从起点扫描到终点后结束;
 4. 双向 (double)
源电压 (或电流) 从起点扫描到终点，然后从终点扫描回起点。
- 如果以上四种扫描配置无法满足扫描要求，可以使用 AWG 功能执行列表扫描，完成任意波形生成。

3.8.1 任意波形生成(AWG)

列表扫描功能可生成任意波形的输出，如图 8。

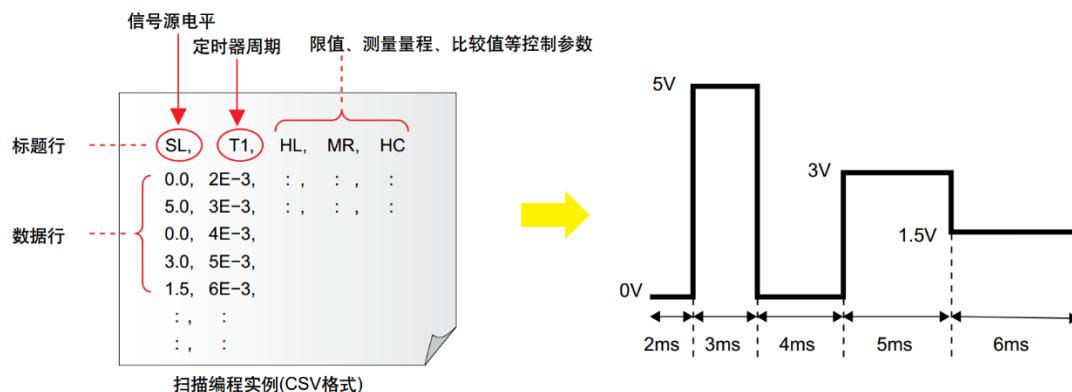


图 8 AWG

图 8 以直流扫描为例，AWG 也能支持脉冲方式。客户指定任意波形时，可使用 CSV 文件(类似 Excel 文)、PC 上位机、SCPI 指令集或触屏前面板。

3.9 示波器

将 Px00 设置为电压表模式，并持续记录测量的电压，将电压描绘成曲线在触屏界面、或 PC 上位机上显示。

3.10 输出滤波器

输出滤波器是一个硬件模块，安装在 Px00 源输出电路之后，软件可控制其开关。若关闭，Px00 输出的稳定时间将更快，但输出可能有尖峰和上下冲；若开启，Px00 输出的稳定时间将更慢，但能消除尖峰和上下过冲。

3.11 输出关状态

输出关闭状态是 Px00 输出关闭之后，硬件将进入的状态。用户必须在启用源输出之前指定该状态，若用户未指定，将使用出厂默认的输出关闭状态(表 5 NORMAL)。是德 B29xx 系列提供了三种输出关闭状态可选，如表 5。

表 5 关闭状态

姓名	输出关闭之后的条件
HIGH Z, 高阻抗	<ul style="list-style-type: none"> 输出中继：关（开路或断路） 电压源和电流源设置不变。 <p>如果当前量程设置 $\geq 1\text{ A}$，则此模式不适用。</p>
NORMAL	<ul style="list-style-type: none"> 源功能：电压源 输出电压：0 V 电流合规性： <ul style="list-style-type: none"> 如果上一个量程设置 $\leq 100\text{ }\mu\text{A}$，则为 100 μA 量程的 100 μA 如果当前量程设置 $\geq 1\text{ mA}$，则为 100 μA，量程不变 输出中继：关（开路或断路）
ZERO	<ul style="list-style-type: none"> 源功能：电压源 输出电压：0 V，量程不变 电流合规性： <ul style="list-style-type: none"> 如果上一个量程设置 $\leq 100\text{ }\mu\text{A}$，则为量程值，量程不变 如果上一个量程设置 $\geq 1\text{ mA}$，则为 100 μA 量程的 100 μA

3.12 大电容模式

大电容模式可有效地测量大于 22nF 的电容负载。此功能 ON 时，Px00 可测量大电容负载。是德 B29xx 此功能 ON 时，可测试 50uF 的容性负载。

3.13 门限和复合门限测试

门限测试是对测量数据(或其经过数学运算的结果)与预设门限值进行比较从而做通过/失败判断。复合门限测试是对多个门限测试结果执行逻辑(与、或、非)运算做通过/失败判断。

3.14 迹线缓冲

迹线缓冲功能收集测试结果数据，直到缓冲区大小到达预设值为止。一个数据块可以包含多个数据，如电压、电流、电阻、源类型、运算结果数据、门限(复合限)测试数据、时间数据等。

除了记录每个测试点的的测量数据外，迹线缓冲还可计算出缓冲区中数据的统计信息，包括：均值、标准差、最小值、最大值、峰峰值等。

3.15 SCPI 程序存储及运行

Px00 可记录并执行 SCPI 指令串。该功能可缓解上位机与 Px00 的频繁交互的开销。如：传输 SCPI 命令、检查 SCPI 命令语法以及解析 SCPI。因此，使用程序存储器可加快测试速度，避免低速接口(如串口导致的扫描性能瓶颈)。

除此以外，可以将常用的 SCPI 指令串存储在程序存储器中，可以实现一键式测量功能，加速测试过程。

3.16 数学运算功能

Px00 提供数学运算功能，使用测量的原始量，例如电压、电流使用数学运算计算一些推到量，甚至可以进一步将其用于门限测试和迹线缓冲统计。

3.16.1 预定义数学表达式

预定义的数学表达式有：功率(Power) = $V * I$ ，电阻(RES) = V / I 。

3.16.2 表达式元素

表达式中可以使用的元素有：

1. 保留变量

保留变量包括：VOLT(电压)、CURR(电流)、TIME(测量时刻)。

2. 运算符

运算符包括：+、-、*、/、LN、LOG、SIN、COS、TAN、EXP。

3.17 联锁功能

联锁功能设计为防止用户在接触测量端子时发生电击。如果 interlock 端子已打开，则最大输出限制为 ± 42 V。要执行超过 ± 42 V 的高电压测量，需将 interlock 端子连接到测试夹具或屏蔽盒的联锁电路。当联锁时，客户设置超过 ± 42 V 电压时，给出警告信息，提醒用户，电压将被联锁限制。

3.18 提醒和保护功能

当源表运行超过安全范围后设备将给出提醒，源表给出提醒的条件为：

- 高压($\pm 42\text{V}$)

当输出电压超过 $\pm 42\text{V}$ 后, OUTPUT 按键背光红色, 提醒用户注意高压输出。

- 限值(电压或电流)

启用该功能后, 当源表电压或电流达到限值(合规性)后, 防止过压、过流对 DUT 导致损坏, 自动关闭输出并提醒用户。禁用该功能后, 源表达到限值, 保持输出并提醒用户。

- 温度保护

Px00 内置风扇, 通常情况下, 风扇会通过温度传感器平衡噪音与温度。在极端情况下, 例如高温天气未开空调, 或者源表长期工作在大电流模式。源表温度升高到 50°C 后, 自动关闭输出, 避免源表设备损坏。

3.19 恢复出厂设置

客户使用 Px00 的过程中, 可能会忘记配置, 干扰自己的正常使用。恢复出厂设置将 Px00 设置为出厂模式, 使 Px00 进出厂配置。

3.20 触发系统

触发系统用于控制源表输出和测量的开关时序。下面按照: 触发源、触发时序、触发输出、同步通道等方面介绍。

3.20.1 触发源

源表可以使用的触发源有以下四种:

1. OUTPUT 按键

参考 3.5 节, 台式设备使用前面板 OUTPUT 按键可启动单次和重复触发。

2. SCPI 触发

通过网口、串口、GPIB 发送 SCPI 触发指令。

3. TrigIn 线

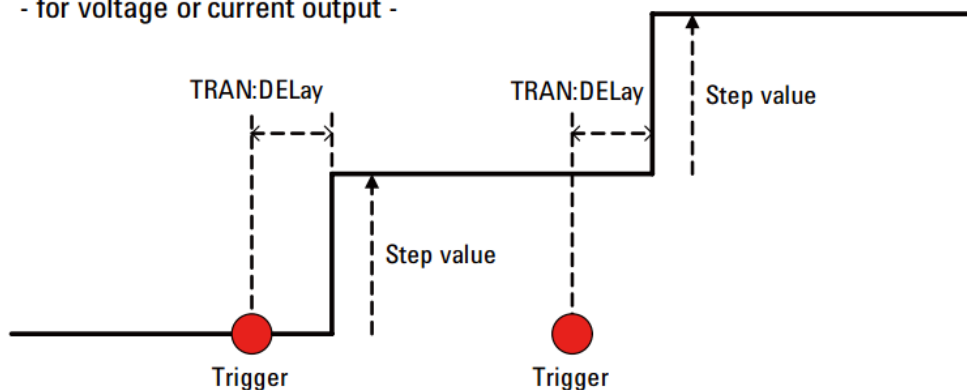
可以与其他设备联动触发, 接收其他设备传到的触发信号, 实现触发。TrigIn 线的极限可配置。

3. 20. 2 触发时序

触发时序包括源时序和测量时序，如图 6：

TRANSient device action

- for voltage or current output -



ACQuire device action

- for voltage or current measurement -

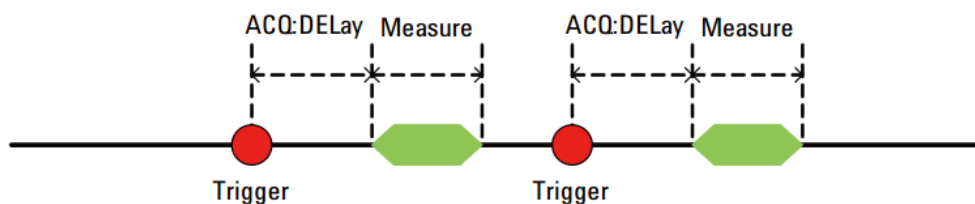


图 6 触发时序

在满足源触发条件后，经过源延迟时间 (TRAN:DElay)，通道将应用新电压或电流值。源延迟时间包括：固定时间和用户设置时间，其中固定时间包括软硬件改变状态所需的时间，是触发的最小源延迟时间。用户设置时间由用户设置，用于同步输出。

在满足测量触发条件后，经过测量延迟时间 (ACQ:DElay)，通道将执行电压或电流测量。测量延迟时间包括：固定时间和用户设置时间，其中固定时间包括软硬件采样滤波所需的时间，是触发的最小测量延迟时间。用户设置时间由用户设置，用于同步测试。

3. 20. 3 触发输出

为提供对其他设备的触发源，Px00 设计了 TrigOut 线。通常情况下前级设备的 TrigOut 连接到后级设备的 TrigIn。前级设备的 TrigOut 线在满足触发输出条件时输出触发有效极性，实现对其他设备的触发。

其中，TrigOut 线的有效极性，和有效条件可以由用户设置。