

高电流脉冲电源 (HCPL100) 需求

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	2021.04.28	首次发行	阮玉龙	
V2.0	2021.05.26	M	彭鹏	公司模板 统一格式

(A-添加, M-修改, D-删除)

目录

1. 概述.....	5
2. 电路模型	5
2.1 软硬件接口.....	5
2.2 量程与校准.....	6
2.3 子板总线	6
3. 时序模型	7
3.1 概念描述	7
3.2 功能.....	8
3.2.1 SDM 模式	8
3.2.2 SDM 参数	8
3.2.3 NPLC 与滤波.....	8
3.2.4 触发.....	9
4. 岗位分工	10
4.1 岗位职责	10
4.2 工作结果输出.....	10
4.3 业务细分	11
5. 基本功能	12
5.1 脉冲功能	12
5.1.1 脉冲输出	12
5.1.2 脉冲参数可调节.....	12
5.2 量程设置	12
5.2.1 量程修改	12
5.2.2 精度.....	12
5.3 电流设置	12
5.4 极性反转	12
5.5 TRIG 控制	12
5.5.1 TRIG 输入	12
5.5.2 TRIG 输出	13
5.6 职责划分	13
6. 辅助功能	14
6.1 提醒与保护.....	14
6.2 职责划分	14
7. 配套功能	14
7.1 生产配套	14
7.1.1 烧录.....	14
7.1.2 校准.....	14
7.2 系统功能	14
7.2.1 通信设置	14

7.2.2	在线升级	14
7.2.3	恢复出厂设置	14
7.2.4	调试诊断	14
7.2.5	定期锁定	15
7.3	职责划分	15

1. 概述

为明确高电流脉冲电源 (HCPL100) 产品¹需求, 帮助研发同事明确工作重点, 特制定本文档。

HCPL100 的规格, 请参考《高电流脉冲电源 (HCPL100) 规格书》;

从 SCPI 指令集的角度介绍 HCPL100, 请参考《高电流脉冲电源 (HCPL100) 编程手册》;

从 PC 上位机的角度介绍 HCPL100, 请参考《普赛斯仪表上位机工具手册》;
HCPL100 无触屏 UI。

2. 电路模型

电路模型是源表模拟电路的简化, 可描述设备的软硬件接口。

2.1 软硬件接口

HCPL100 的电路模型如图 1:

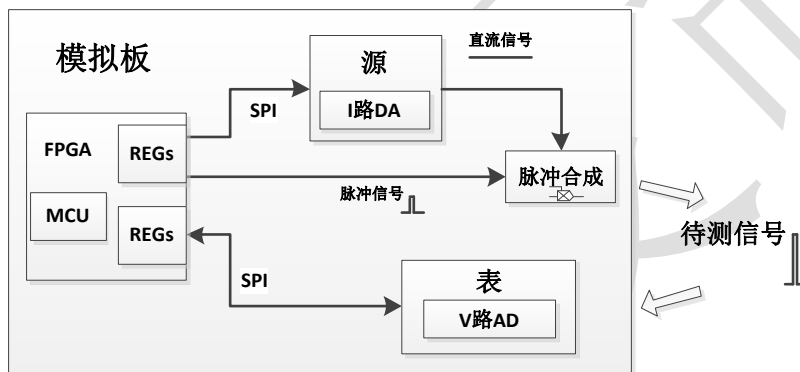


图 1 脉冲电路模型

图 1 是 HCPL100 的电路模型, 源输出的信号为脉冲信号, 包括以下要素:

- 设置值: I 路 DA 芯片控制
- 脉宽: 单 PWM 的脉宽控制

脉冲合成模块将 PWM 信号与设置值做“与”运算, 实现脉冲信号的生成。

表测量功能, 通过 V 路 AD 实现对测量电压数据的回采样。

由图 1 容易得出结论, HCPL100 的软硬件接口由三部分组成:

- DA
- PWM, 单脉冲生成
- AD

¹ 简称 HCPL100

2.2 量程与校准

因为 AD 芯片有位数限制²，所以 HCPL100 的相对精度³固定。而绝对精度等于量程与相对精度之积，所以大量程的绝对精度低，小量程的测量范围小。为了解决测量范围与绝对精度的矛盾，HCPL100 设计 10V、30V 2 个量程，10V 提供高精度，30V 提供大测量范围。

量程的功能模型如图 2：

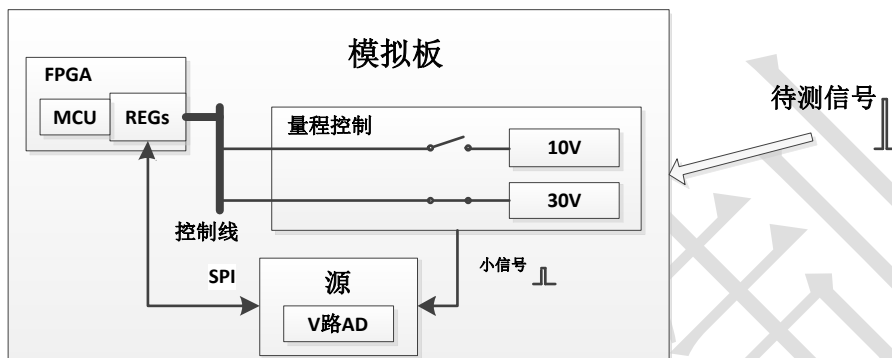


图 2 量程模型

如图 2，MCU 使用控制线控制量程电路，待测信号通过量程电路后输出的小信号，供 AD 测量采样。量程的实现要点有两个：

- 数据转换
AD 能处理的模拟信号为 0 至 2.5V。不同量程的源、表数值有不同的转换关系。
- 采样时序
测量信号为窄脉冲，有效测量时间短。只能使用 FPGA 实现与源的同步采样。
- 滤波
由于待测信号经过电路必然引入噪声，为了修复噪声需要对测量信号做滤波处理。

2.3 子板总线

HCPL100 设备使用前面板+模拟板结构，两个子板间使用串口通信。HCPL100 整机子板连接如图 3：

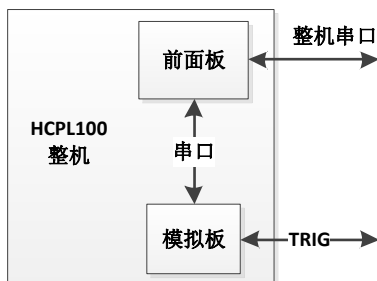


图 3 子板框图

图 3 中模拟板核心业务已在 2.1/2.2 节描述，模拟板除了实现核心业务外还需实现触发功能；前面板实现整机串口和 SCPI 指令集。

² 当前 AD/DA 为 16bit 或以下

³ 分辨率与精度类似，精度由 AD 位数决定，分辨率由 DA 位数决定

3. 时序模型

时序模型包括以下 3 个步骤, 简称 SDM⁴: S(Source 源)、D(Delay 延迟)、M(Measure 测量):

- 源:
给测试电路脉冲供电
- 延迟:
等待测试电路稳定, 保证表(测量电压/电流)的精度
- 表:
测量电压/电流值

3.1 概念描述

HCPL100 时序模型如图 4:

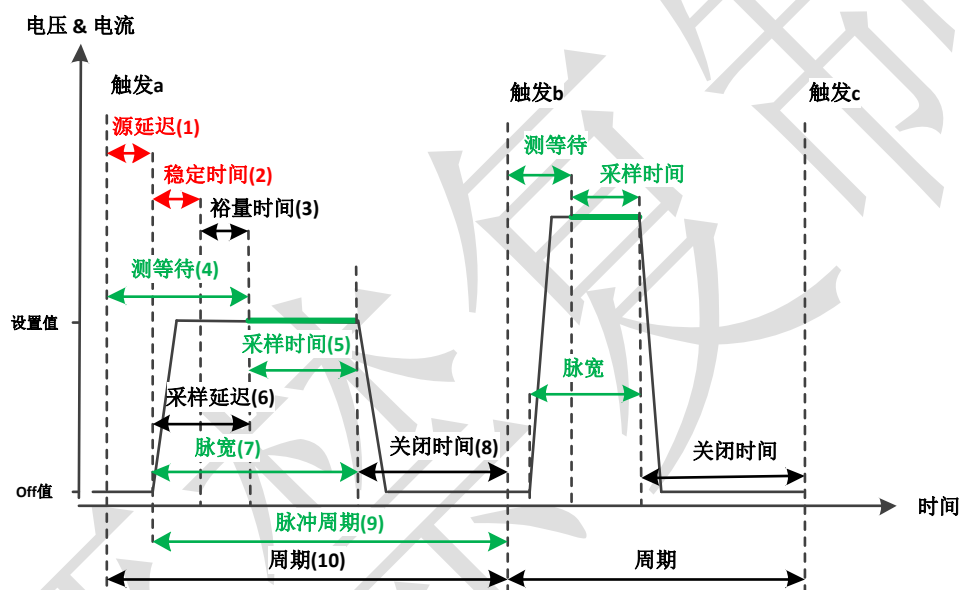


图 4 时序模型

下面先给出图 4 中各参数含义:

1. 源延迟: 触发时刻至模拟电路启动动作时刻间的间隔;
2. 稳定时间: 表示模拟电路开始动作时刻至测试电路稳定时刻间的间隔;
3. 裕量时间: 测试电路电气参数稳定时刻至开始测量采样时刻间的间隔;
4. 测等待: 触发时刻至开始测量采样的时刻。为保证测量准确, 必须大于源延迟与稳定时间之和(保证裕量时间大于 0);
5. 采样时间: AD 芯片的采样保持时间⁵, 即 NPLC;
6. 采样延迟: 电路启动时刻至开始采样时刻间的间隔;
7. 脉宽: 脉冲设置值⁶的持续时间;
8. 关闭时间: 脉冲 Off 态(一般为 0 电平)的持续时间。
9. 脉冲周期: 脉冲高低电平共计的持续时间。
10. 周期: 相邻触发信号间的间隔, 即 SDM 的周期;

⁴ 后文统一使用 SDM 术语

⁵ 即 NPLC, 后文统一称 NPLC

⁶ 设置值可以正可负, 所以未必是高电平

图 4 中源延迟和稳定时间标红，固件不能控制。源延迟与触发方式相关，稳定时间由模拟电路和待测电路共同决定。

用户可以设置测等待、NPLC、脉宽、脉冲周期 6 个参数。测等待用于等待电路进入稳定状态、即 NPLC 用于 AD 芯片采样待测数据、脉冲周期控制 SDM 周期。

SDM 配置信息可来源与客户，也可以使用固件提供的默认值。默认值方便新手用户快速使用，默认值的具体参数值由测出的时序模型参数分析对比后确定。对高级用户，固件提供 SDM 配置接口，让客户有平衡源表的精度和速度的手段。客户设置 SDM 配置时，信息的传递流程为：上位机(或 SCPI 指令集)将 SDM 的参数信息传递给固件、固件将参数信息传递给 FPGA⁷、FPGA 将它们设置到模拟电路实现配置，完成 SDM 配置后，触发信号启动 SDM。图 1 绘制了连续两次 SDM 的时序图。

3.2 功能

HCPL100 时序模型 SDM 是最小功能单元，所有功能都以时序模型为基础，SDM 之间的间隔由用户设置(大于 1s)。

3.2.1 SDM 模式

图 4 是标准的时序模型。为优化性能，SDM 周期中的 S、D、M 过程可以独立使用。SDM 有 SMD、SD：

- SDM 模式：全功能模式，输出和测量功能并存；
- SD 模式：脉冲源模式，仅有脉冲输出和延迟，延迟用于等待电路稳定。

3.2.2 SDM 参数

SDM 参数需要实现默认值和用户接口。结合图 4，脉冲源表中每一个 SDM 周期有一个脉冲，SDM 参数有 8 个：

- 脉冲 I 路设置值：由 DA 芯片控制
- 测等待：用户可配，设备提供默认值简化使用
- NPLC：用户可配，设备提供默认值简化使用
- 脉宽：用户可配，设备提供默认值简化使用
- 脉冲周期：固定为 1

3.2.3 NPLC 与滤波

HCPL100 需给用户设置 NPLC 的接口，权衡精度和速度。设备有两种思路实现 NPLC 功能：

- a. 将 NPLC 设置写入 AD 芯片，使用 AD 芯片内置的滤波算法实现滤波；
- b. 将 AD 芯片的采样率设置为最高，由模拟板软件或者 FPGA 实现滤波算法。

两种方法各有优缺点，样机和调试阶段可以采用方法 a，快速验证业务。实际出货时建议采用方法 b，增加 HCPL100 的灵活性。

⁷ 无 FPGA 的设备直接与模拟电路交互

3.2.4 触发

触发功能的结构如图 5，包括触发输入和触发输出两类：

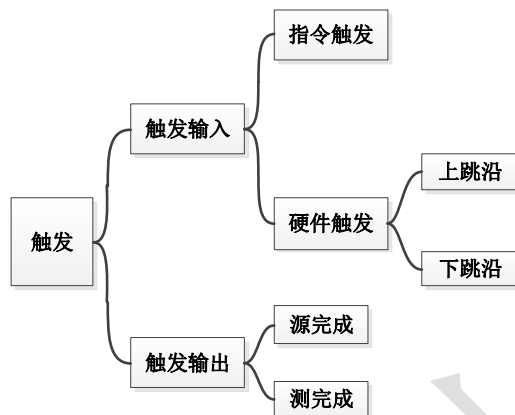


图 5 触发

下面结合图 5 分析触发功能：

- 触发输入

图 4 中的触发是触发输入，用于启动 SDM。触发输入按照触发源分为三种：指令触发、内部触发、硬件触发。

指令触发通过 SCPI 指令启动 SDM，由于指令需经过通信链路(串口、GPIB、网口)传递，所以其源延迟较大且与通信链路相关(不稳定)。但指令触发可编程，灵活性强。

硬件触发由引入的物理线实现。硬件触发方式有能力使源延迟保证在纳秒级别，通常用于多台设备间的精确同步。其他厂家仪表的硬件触发信号不固定。为扩大 Px00 应用场景，能与更多仪表相互触发，需要实现触发方式的设置并提供接口，主要包括上跳沿和下跳沿两种方式可设置。

- 触发输出

触发输出配合下级仪表的硬件触发(触发输入)，可以实现多台仪表(或多通道)之间的精确同步。触发输出的关键是输出触发信号时刻的定义，目前 Px00 使用 2 个触发输出时刻：

源(输出)完成：测试电路供电稳定时刻，通常是 DA 输出后延迟一段时间的时刻；

表(测量)完成：测量采样完成时刻，通常在本次 SDM 的测量完成时刻。

4. 岗位分工

本章分析岗位职责与其对应的工作分工：

4.1 岗位职责

各岗位职责定义如下：

- 控制板软件：、SCPI 指令集、整机串口、内部总线扩展与维护、Linux 平台维护；
- 模拟板软件：实现对硬件和 FPGA 部分的低速控制业务，配合定义寄存器接口、模拟板软件平台维护；
- FPGA：实现硬件(AD/DA/PWM)高速控制业务、负责定义寄存器接口
- 硬件：硬件电路设计与调试
- 测试：依据研发(软件、FPGA、硬件)出具的测试方法，测出相应性能数据；执行出厂测试和滚动测试

4.2 工作结果输出

各岗位输出如下：

- 控制板软件：
 - a. 软件版本(镜像、功能说明)
 - b. 单元自测报告
 - c. 集成联调报告(控制板+模拟板+FPGA+硬件)
- 模拟板软件：
 - a. 软件版本
 - b. 模拟板联调报告(模拟板+FPGA+硬件)
- FPGA：
 - a. FPGA 比特文件版本
 - b. 寄存器接口文档
 - c. 后仿真报告(FPGA+硬件)
- 硬件：
 - a. 原理图、PCB、BOM、研发调试样机
 - b. 硬件性能测试报告
- 测试：
 - a. 出厂终测
 - b. 镜像(软件+FPGA 的版本)的滚动(以周为粒度)测试

4.3 业务细分

控制板软件：

1. 实现 SCPI 指令集：可配 SDM 参数
2. 实现与模拟板交互 SDM 参数

模拟板软件：

1. 设计并实现 SDM 参数测试方案
2. 设计并实现模拟板业务。模拟板软件先实现，因为性能原因无法实现，给出数据和理论分析，组织评审是否划分到 FPGA
3. 实现与 FPGA 和控制板交互

FPGA：

1. 定义并实现软件无法实现的高速业务，包括：SDM 时序参数、NPLC 滤波算法、AD/DA 量程系数转换等。

硬件：

1. 电路设计与调试
2. SDM 中源延迟、稳定时间；

测试：

依据研发的测试方案，执行测试，给出测试数据。

5. 基本功能

本章将描述 HCPL100 需具备的基本功能：

5.1 脉冲功能

HCPL100 支持脉冲模式，能输出 3-1000A 电流峰值的脉冲，脉冲宽度可调节：

5.1.1 脉冲输出

HCPL100 能输出单脉冲，脉冲输出控制方式有上位机指令和设备外部 TRIG 信号：

- 指令控制
设备能接收 SCPI 指令，并输出单脉冲。
- TRIG 控制
设备能接收外部 TRIG 信号，并输出单脉冲。

5.1.2 脉冲参数可调节

HCPL100 支持 SCPI 指令控制调节脉冲参数：

- 脉宽设置
设备能接收 SCPI 指令，并根据指令参数设置和获取当前脉冲宽度，设置范围为 20us-500us 之间。
- 脉冲峰值设置
设备能接收 SCPI 指令，并根据指令参数设置和获取当前脉冲峰值、脉冲输出延时。
- 脉冲延时设置
设备能接收 SCPI 指令，并根据指令参数设置和获取当前脉冲输出延时。

5.2 量程设置

HCPL100 支持电压量程修改。

5.2.1 量程修改

设备能接收 SCPI 指令，并根据指令参数设置和获取设备的电压量程值。

5.2.2 精度

10V 量程时精度为：0.1%FS±3mV；

30V 量程时精度为：0.1%FS±5mV；

5.3 电流设置

HCPL100 支持修改电流值，设备能接收 SCPI 指令，并根据指令参数设置当前输出电流值，设置范围为 3-1000A。

5.4 极性反转

HCPL100 的输出方向可通过设置值的正负号指定。

5.5 TRIG 控制

HCPL100 支持 TRIG 输入和输出控制两种，输入表示接收外部 TRIG 信号，输出表示设备能输出 TRIG 信号用来触发其他设备。

5.5.1 TRIG 输入

- TRIG 类型设置

设备支持接收 SCPI 指令，并根据参数设置 TRIG 输入触发类型为上升沿、下降沿。默认情况下，设备接收上升沿触发。

- TRIG 开关

设备支持接收 SCPI 指令，并根据参数控制设备是否接收 TRIG 输入信号。默认情况，设备将忽略所有外部 TRIG 信号，直到用户设置 TRIG 输入开关为打开才会响应 TRIG 输入信号。

- TRIG 延时设置

设备支持接收 SCPI 指令，并根据参数控制设备响应 TRIG 输入信号的延时时间

5.5.2 TRIG 输出

- TRIG 类型设置

设备支持接收 SCPI 指令，并根据参数设置 TRIG 输出触发类型为上升沿、下降沿、边沿触发。默认情况下，设备接收上升沿触发。

- TRIG 开关

设备支持接收 SCPI 指令，并根据参数控制设备是否输出 TRIG 信号。默认情况，设备不会输出 TRIG 信号，直到用户设置 TRIG 输出开关为打开才会输出 TRIG 信号。

- TRIG 延时设置

设备支持接收 SCPI 指令，并根据参数控制设备响应 TRIG 输出信号的延时时间

5.6 职责划分

控制板实现 SCPI 指令集；并下发给模拟板和 FPGA；模拟板和 FPGA 实现 SDM 参数设置和触发功能。

6. 辅助功能

辅助功能由提醒与保护功能。

6.1 提醒与保护

客户在执行有风险的操作时，SCPI 指令集给出提醒信息，避免客户错误操作。

6.2 职责划分

辅助功能由控制板软件负责实现。

7. 配套功能

配套功能主要用来帮助研发调试、生产、售后维护等职能同事工作开展，包括：生产配套和系统功能两部分。

7.1 生产配套

生产配套功能包括烧录和校准功能。

7.1.1 烧录

当前 HCPL100 的版本烧录由软件提供文档，指导测试组同事烧录初始镜像，然后使用在线升级功能将设备内部软件升级到对应出货版本。上位机软件适时切入，争取能实现自动化烧录和数据库记录功能。

7.1.2 校准

生产烧录完成后，软件同事提供校准程序，实现每台机器的生产校准保证精度。上位机软件适时切入，争取能实现校准数据库记录功能。

7.2 系统功能

系统功能包括通信接口设置，在线升级，恢复出厂设置，调试诊断功能。

7.2.1 通信设置

HCPL100 对外提供 SCPI 接口可使用串口物理链路。通信设置功能为用户提供通信链路参数的设置功能，主要包括：串口波特率。

7.2.2 在线升级

为了减小工程维护开销，HCPL100 需实现在线升级功能，使出货后的设备(在客户处)有新增功能和修复问题的能力。**由于 HCPL100 仅有整机串口，所以上位机需实现串口升级。**

7.2.3 恢复出厂设置

客户使用 HCPL100 的过程中，可能会将 HCPL100 工作模式配乱，而自己也不记得。恢复出厂功能可以将 HCPL100 一键设置回出厂模式，保证客户可以将设备恢复到一个已知状态。

7.2.4 调试诊断

客户的应用行业和场景十分丰富，部分使用方式或隐藏缺陷在研发阶段无法完全预知。调试诊断功能用于帮助处理售后问题时，有一个“黑匣子”可以查阅监控。该功能主要包括时间、日志、版本信息记录等三个子功能。

- 日志：显示异常时，HCPL100 的运行记录
- 版本信息：显示异常的 HCPL100 软硬件版本

7.2.5 定期锁定

部分客户有先发货，后付款的要求。为了避免此类客户由各种原因，出现发货后不付款的情况，HCPL100 实现了定期(60 天)自动禁用的功能。

7.3 职责划分

生产烧录功能由上位机同事负责，系统功能由控制板软件同事负责。