**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 | 2021.05.25 | 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 4

2. 电路模型 4

**2.1 软硬件接口 4**

**2.2 量程与校准 5**

**2.3 子板总线 5**

3. 时序模型 6

**3.1 概念描述 6**

**3.2 功能 7**

**3.2.1 SDM模式 7**

**3.2.2 SDM参数 7**

**3.2.3 NPLC与滤波 7**

**3.2.4 触发 8**

4. 岗位分工 9

**4.1 岗位职责 9**

**4.2 工作结果输出 9**

**4.3 业务细分 10**

5. 基本功能 11

**5.1 脉冲功能 11**

**5.1.1 脉冲输出 11**

**5.1.2 脉冲参数可调节 11**

**5.2 量程设置 11**

**5.2.1 量程修改 11**

**5.2.2 精度 11**

**5.3 电流设置 11**

**5.4 极性反转 11**

**5.5 TRIG控制 11**

**5.5.1 TRIG输入 11**

**5.5.2 TRIG输出 12**

**5.6 职责划分 12**

6. 辅助功能 13

**6.1 提醒与保护 13**

**6.2 职责划分 13**

7. 配套功能 13

**7.1 生产配套 13**

**7.1.1 烧录 13**

**7.1.2 校准 13**

**7.2 系统功能 13**

**7.2.1 通信设置 13**

**7.2.2 在线升级 13**

**7.2.3 恢复出厂设置 13**

**7.2.4 调试诊断 13**

**7.2.5 定期锁定 14**

**7.3 职责划分 14**

1. **概述**

为明确高电流脉冲电源(HCPL100)产品[[1]](#footnote-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。

1. **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。

* 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. **量程与校准**

因为AD芯片有位数限制[[2]](#footnote-2)，所以HCPL100的相对精度[[3]](#footnote-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。

* 1. **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。

1. **时序模型**

时序模型包括以下3个步骤,简称SDM[[4]](#footnote-4)：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

* 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]](#footnote-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]](#footnote-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；

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FPGA[[7]](#footnote-7)、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。

* 1. **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)。

* + 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过程可以独立使能。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。
  + 1. **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
  + 1. **NPLC与滤波**

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

1. 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；
2. 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。

* + 1. **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。

1. **岗位分工**

本章分析岗位职责与其对应的工作分工：

* 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
  1. **工作结果输出**

各岗位输出如下：

* 控制板软件：

1. 软件版本(镜像、功能说明)
2. 单元自测报告
3. 集成联调报告(控制板+模拟板+FPGA+硬件)

* 模拟板软件：

1. 软件版本
2. 模拟板联调报告(模拟板+FPGA+硬件)

* FPGA：

1. FPGA比特文件版本
2. 寄存器接口文档
3. 后仿真报告(FPGA+硬件)

* 硬件：

1. 原理图、PCB、BOM、研发调试样机
2. 硬件性能测试报告

* 测试：

1. 出厂终测
2. 镜像(软件+FPGA的版本)的滚动(以周为粒度)测试
   1. **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。

1. **基本功能**

本章将描述HCPL100需具备的基本功能：

* 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：

* + 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。

* + 1. **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。

* 1. **量程设置**

HCPL100支持电压量程修改。

* + 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。

* + 1. **精度**

10V量程时精度为：0.1%FS±3mV；

30V量程时精度为：0.1%FS±5mV；

* 1. **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。

* 1. **极性反转**

HCPL100的输出方向可通过设置值的正负号指定。

* 1. **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。

* + 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

* + 1. **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输除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

* 1. **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。

1. **辅助功能**

辅助功能由提醒与保护功能。

* 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。

* 1. **职责划分**

辅助功能由控制板软件负责实现。

1. **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。

* 1. **生产配套**

生产配套功能包括烧录和校准功能。

* + 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。

* + 1. **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。

* 1. **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。

* + 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。

* + 1. **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。

* + 1. **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。

* + 1. **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
  + 1. **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。

* 1. **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。

1. 简称HCPL100 [↑](#footnote-ref-1)
2. 当前AD/DA为16bit或以下 [↑](#footnote-ref-2)
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 [↑](#footnote-ref-3)
4. 后文统一使用SDM术语 [↑](#footnote-ref-4)
5. 即NPLC，后文统一称NPLC [↑](#footnote-ref-5)
6. 设置值可以正可负，所以未必是高电平 [↑](#footnote-ref-6)
7. 无FPGA的设备直接与模拟电路交互 [↑](#footnote-ref-7)