

数控电源-BUCK 降压-同步整流-使用说明

深圳国芯人工智能有限公司 2025-7-28

本程序使用 STC32G12K128-LQFP32 做的数控电源，HSPWM 直接驱动 MOSFET 输出接功率电感和电容滤波，通过 PID 控制稳压或恒流，BUCK 拓扑，同步整流输出。

下载程序时选择 IRC 频率 24MHz，PWM 使用 PLL-144MHz，主频使用 $PLL-144MHz/5=28.8MHz$ 。

I2C 接口 OLED12864 显示相关参数。

电路设计的 OLED 是 SPI 接口的，可以使用硬件 SPI DMA 访问。

但本例使用 IO 模拟 I2C 访问 OLED 屏，以后空了再改一个 SPI 版本，使用 DMA 写屏和 ADC DMA 读取 ADC 值，用户也可以自己改一个。

输入电压：12~24V，有输入电压低压停止输出功能，用户设置低压电压，避免使用电池供电时对电池过放。

输出电压：0~输入电压*0.85，分辨率 0.01V。大电流负载的投切瞬间输出电压可能会有微小波动。

输出电流：0~6.000A，分辨率 1mA。

限流设定：0.100A~6.000A，步进 0.100A。PID 计算处理的限流分辨率为 4mA。

效率：输入 24V，输出 12V、2A，效率不低于 90%，如果除去本机静态功耗，则效率 95%以上。

PID 处理频率（周期）：4000Hz（250us）。

通过按键调整输入电压低压保护电压、输出电压、输出电流限流值、清零容量 mAH。

本程序设置的参数不保存，用户自己可以添加 EEPROM 保存程序。

当输入电压低于输入电压低压保护电压时，停止输出，指示灯 1Hz 闪烁(0.5 秒亮 0.5 秒灭)，直至输入电压恢复至高于设定电压 0.5V 后恢复输出。

当输出电流小于设定恒流值的 10%时，指示灯 0.5 秒快闪一次提示。

当输出电流大于设定恒流值的 10%时，指示灯常亮提示。

注意：本电源不建议用于给电池充电，如果使用，则要小心，先设置好输出电压、输出电流，再接电池。

任何时候电池电压比设置的输出电压高、或者停止输出电压，电源驱动的下 NMOS 会连续导通，直接短路电池！用于对电池充电的，请使用“数控电源-SEPIC 升降压-恒压恒流-充电器”。

按键设置：

SEL 第一次短按释放选择调整输出电压，反显设定输出电压值。

第二次短按释放选择调整输出电流限流值，反显设定输出电流限流值。

第三次短按释放选择输入电压低压保护电压值，反显输入电压低压保护电压值。

再短按释放循环前述功能。

5 秒未操作则自动退出设定模式，恢复正常显示。

长按 1 秒会清除充电量 mAH，并将输入、输出电流归 0（用户可以禁止归 0）。

处于调整模式、反显设定项时：

UP 短按一次，设定电压+0.01V 或设定电流+0.100A。长按超过 1 秒则每秒 16 个 repeat key。

DOWN 短按一次，设定电压-0.01V 或设定电流-0.100A。长按超过 1 秒则每秒 16 个 repeat key。

5 秒未操作则自动退出设定模式，恢复正常显示。

非调整模式、正常显示时：

UP、DOWN 短按任意一个键，都会切换输出电压、停止输出电压。

手工校准方法：

程序中默认校准系数，编译、下载程序，从 GND 供电 12V（而不是从输入 DC 插座，设计时没考虑到这点），并且允许输出；

校准输入、输出电压：比如输入电压是 12V，输入电压实际读数为 12.20V，则校准系数=默认系数 $0.73242 * 12 / 12.2 = 0.7204$ 。

输出电压读数为 12V，实测为 12.3V，则校准系数=默认系数 $0.73242 * 12.3 / 12 = 0.75073$ 。

记下此时输入电流、输出电流的读数，即为 0 点，比如读数为 0.056A，则 `#define Iin_ZERO 56`。

长按 SEL 键至电流清 0，从 OUT-和 IN-（DC 输入插座负极）输入校准电流，OUT-接 I+，IN-接 I-。

比如输入 2A，若输入电流读数为 1.9A，则输入电流校准系数=默认系数 $1.0 * 2 / 1.9 = 1.05263$ 。

若输出电流读数为 1.1A，则输出电流校准系数=默认系数 $1.0 * 2 / 1.1 = 1.8182$ 。

重新编译下载即可。

串口调试命令：

串口设置：115200, 8 位数据位，1 位停止位，无校验。

单个 ASCII 字符'0'：串口不打印信息。

单个 ASCII 字符'1'：串口打印绘图曲线，1ms 返回 5 条曲线数据。由于 1ms 只能返回不超过 11 个字节，所以参数都转成一个字节，减少发送时间：

通道 1，黄色：设定输出电压值 0~255 表示 0.0~25.5V

通道 2，绿色：当前输出电压值 0~255 表示 0.0~25.5V

通道 3，红色：设定输出电流值 0~255 表示 0.0~2.55A

通道 4，紫色：当前输出电流值 0~255 表示 0.0~2.55A

通道 5，橙色：当前输出 PWM 值 0~255 表示 0~2550，实际最大为 180 即 PWM=1800

多字符命令：每个数据都以逗号结束，不能有空格，不能有除了数字和逗号之外别的字符。

1260,1000,20,15,0,

1260: 设置输出电压(单位 0.01V)，1260 表示 12.60V。

1000: 设置输出电流限流(单位 1mA)，1000 表示 1.000A。PID 恒流计算分辨率为 4mA。

20: 比例系数(单位 0.01)，20 表示 $K_p=0.20$ 。

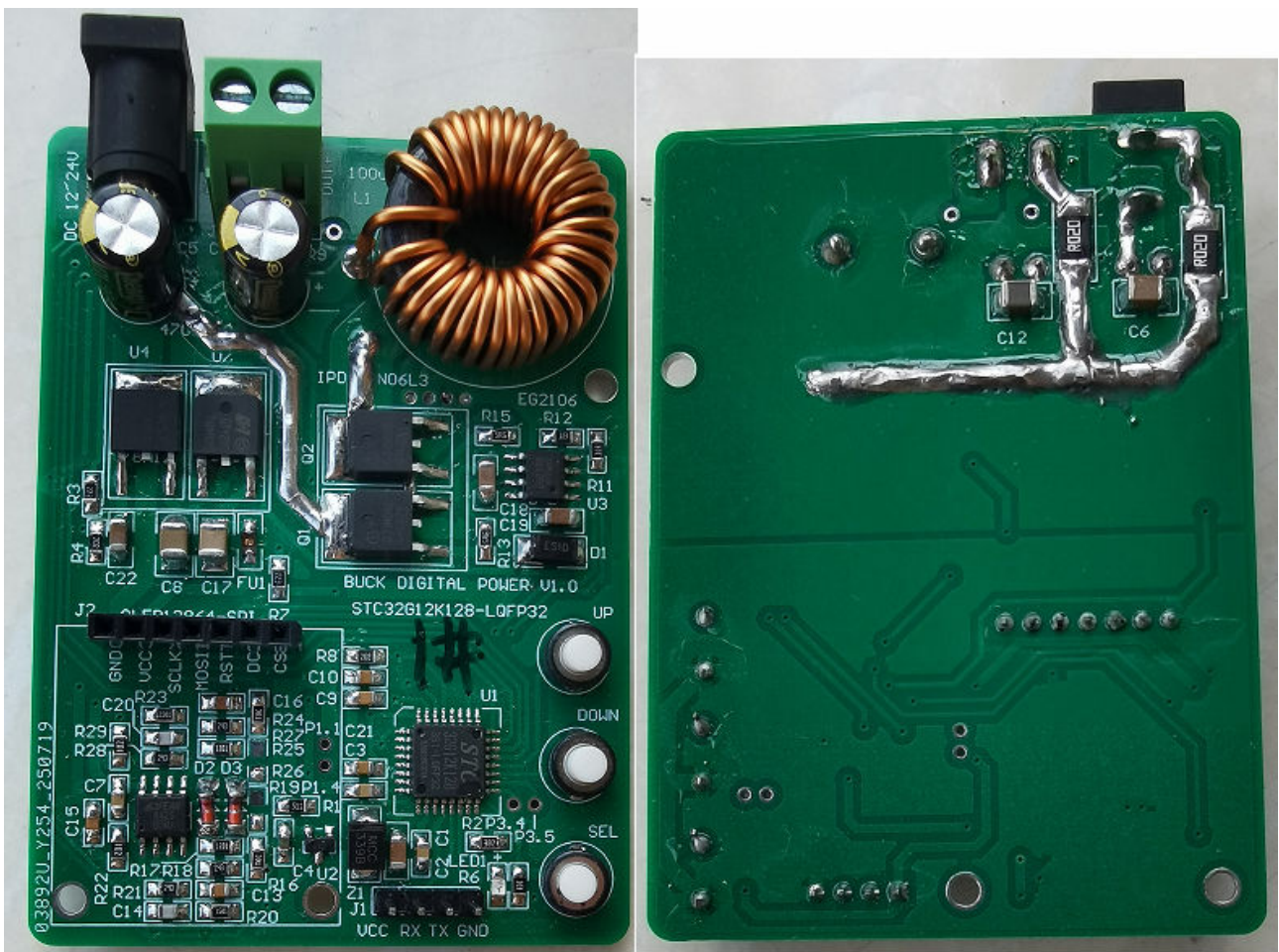
15: 积分系数(单位 0.01), 15 表示 $K_i=0.15$ 。

0: 微分系数(单位 0.01), 0 表示 $K_d=0.00$ 。

发送设置命令时, 最好先禁止输出, 避免系数突然大改变而可能导致失控。

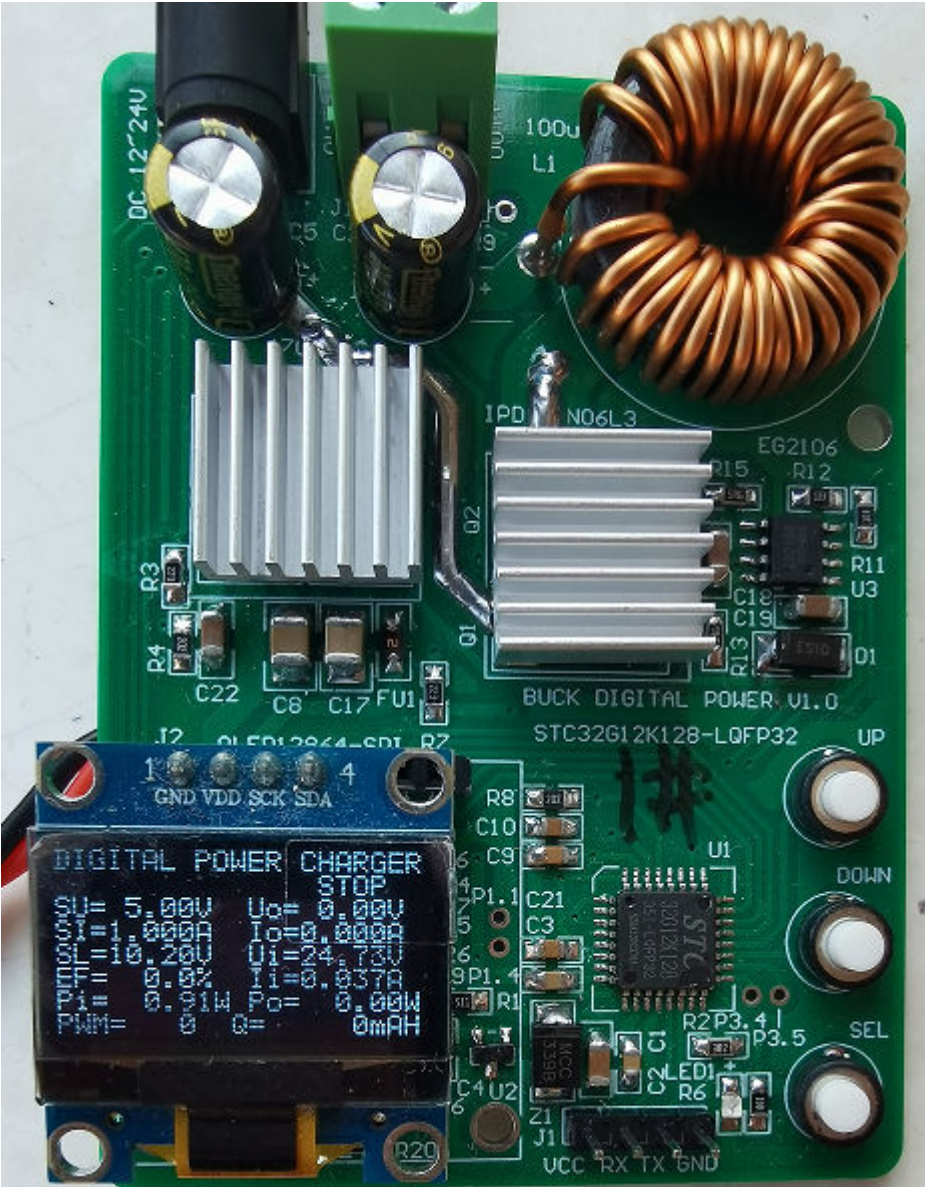
使用 STC32G12K128-LQFP32 的初衷, 是因为其是一颗 32 位内核 MCU, ADC 带参考电压输入端, PID 需要较多计算, 8 位内核处理速度慢不推荐。

下面是焊好的样板照片:

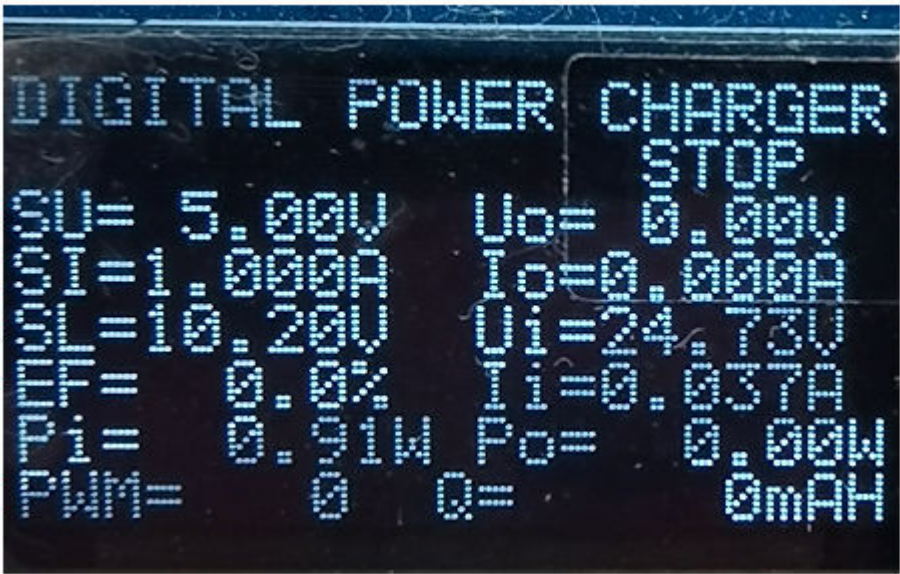


大电流的回路, 开了镀锡层, 减小电阻。

稳压芯片、MOSFET 贴上散热片，插上 OLED 屏，完整版如下：



设置电压
设置电流
设置低压
输出效率
输入功率
输出PWM



输出状态
输出电压
输出电流
输入电压
输入电流
输出功率
输出电量

显示屏的内容我是随便安排的，用户可以根据自己的喜好安排。

设置电压：设置输出电压值，步进 0.1V，输出最高电压为输入电压的 0.85 倍。

设计者电流：设置输出电流限流值，当负载电流到达这个电流后，进入恒流模式。

以下条件任意一个满足，则会退出恒流模式。

1、输出电压比设置电压高 0.05V。

2、输出电流比设置的恒流值低 36mA。

设置低压：设置输入电压低压保护。当输入电压低于这个设置电压，就会关闭输入，对于电池供电时，能避免电池过放。低压保护时，LED 秒闪提示（亮 0.5 秒、0.5 灭）。

输出效率：输出效率 = 输出功率 / 输入功率 * 100.0%

输入功率：输入电源的功率。

输出 PWM：输出的 PWM 值。

输出状态：STOP--停止输出，此时，下面的 NMOS 导通，具有超过 20A 的下拉能力。

Output：输出电压，此时提供稳压、恒流的功率输出。

输出电压：正在输出的电压值。

输出电流：正在输出的电流值。

输入电压：正在输入的电压值。

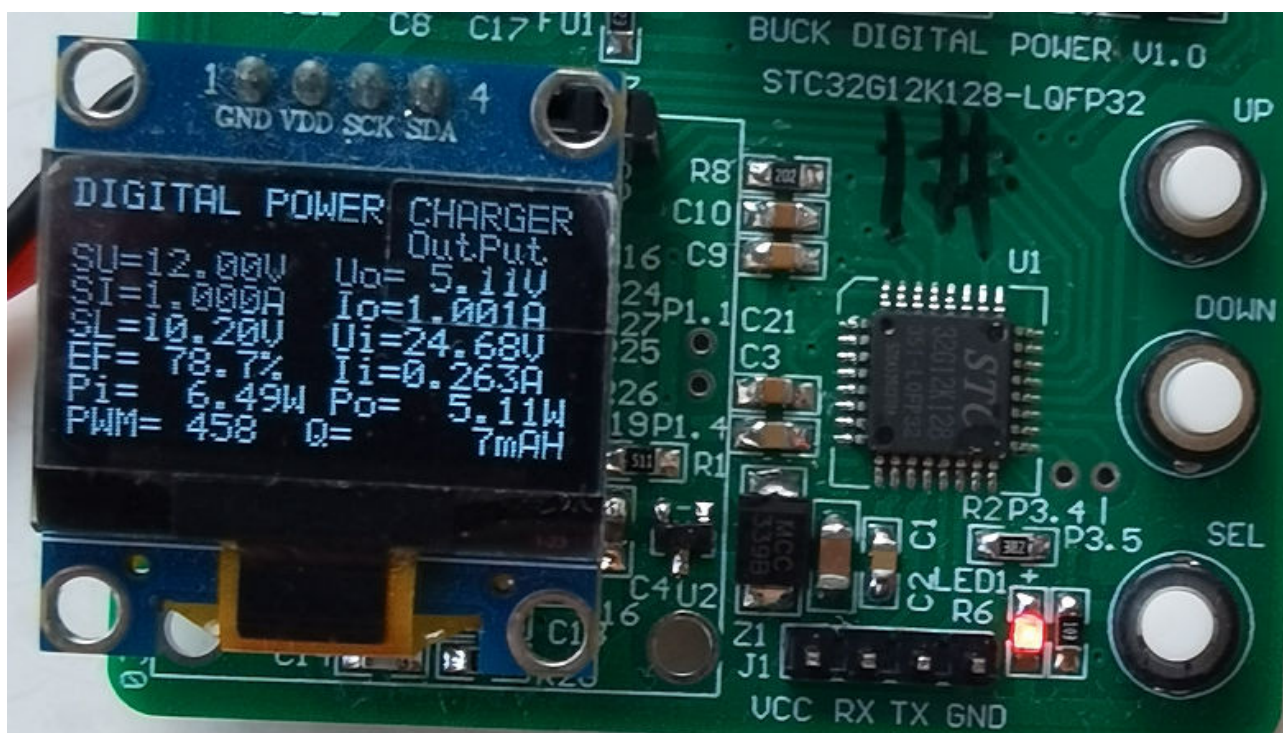
输入电流：正在输入的电流值。

输出功率：输出电源的功率。

输出电量：输出的 mAH 数。

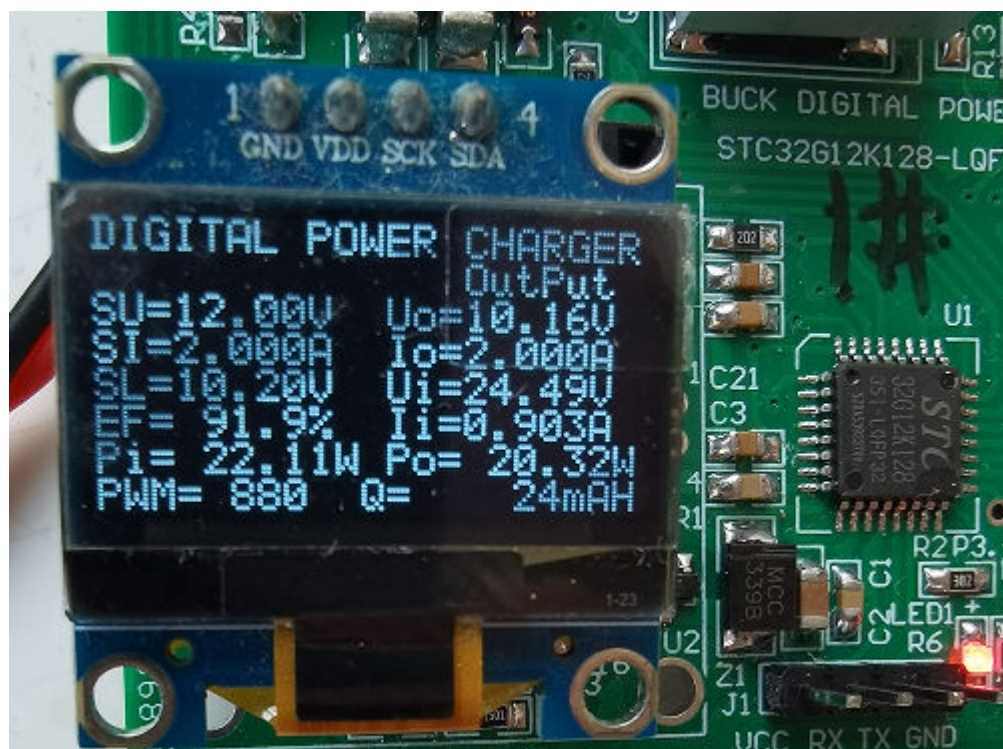
设置输出 12.00V，设置限流 1.000A，接 5 欧姆负载，恒流输出 1.001A，电压 5.11V（线路有内阻）。

由于电路静态损耗有 0.91 瓦（见上图），所以 1A 电流输出时，效率不高，只有 78.7%

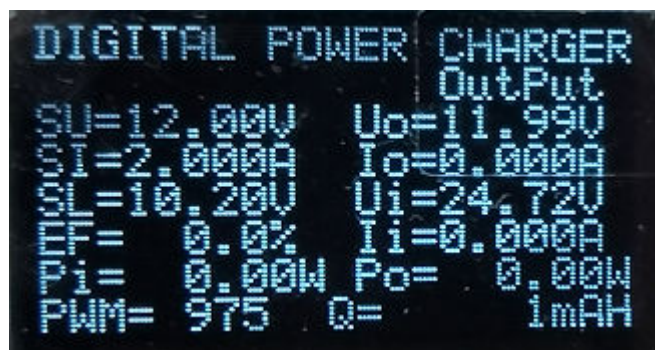


设置输出 12.00V，设置限流 2.000A，接 5 欧姆负载，恒流输出 2.000A，电压 10.16V（线路有内阻）。

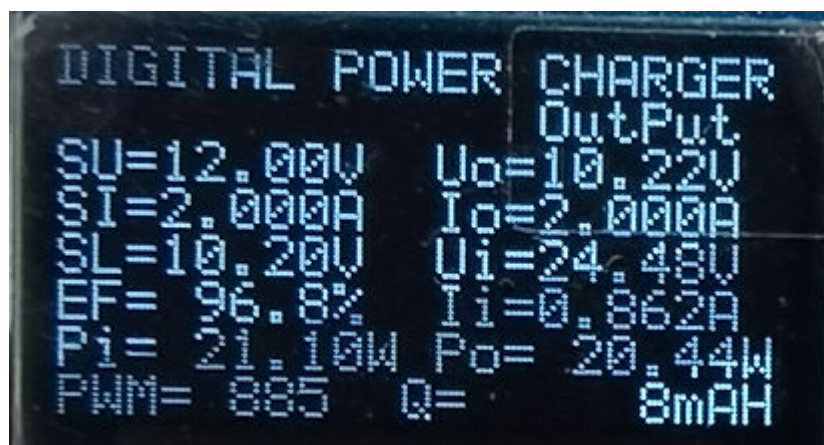
1A 电流输出时，电路静态损耗占比变小，所以效率升高至 91.9%



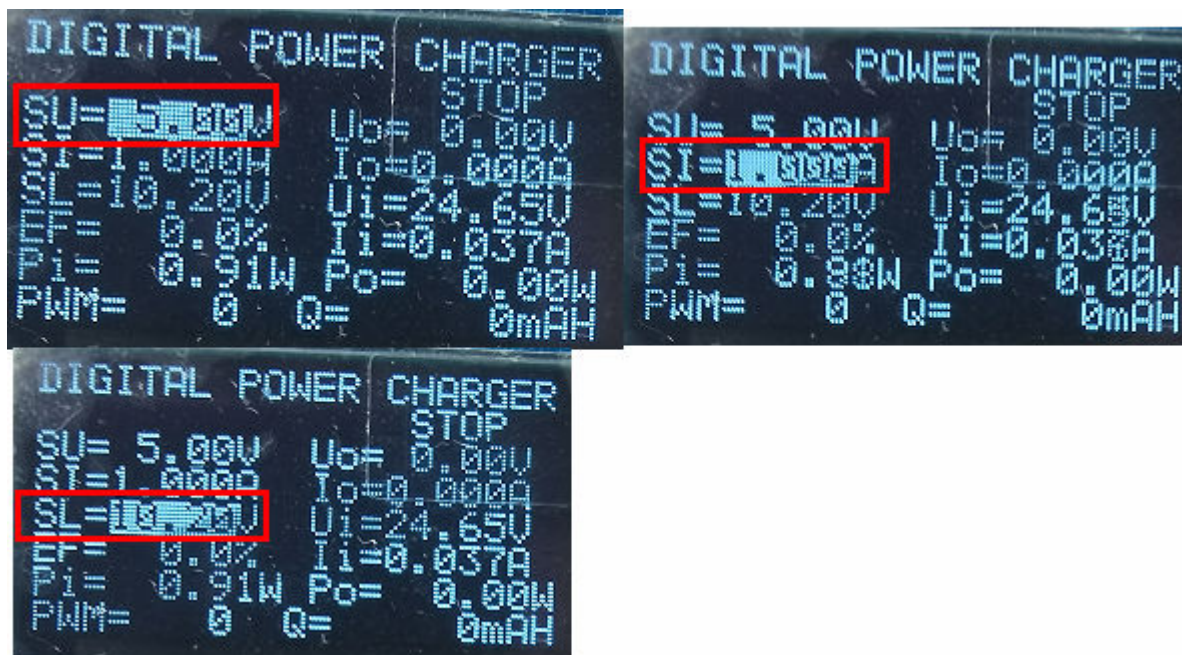
不接负载，长按 SEL 键超过 1 秒，输入、输出电流归 0。



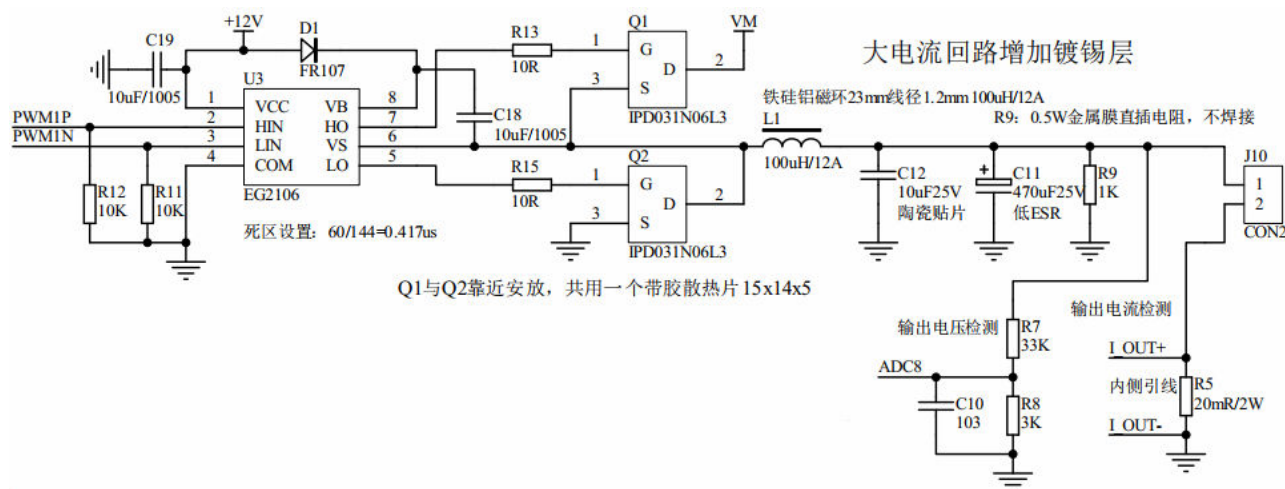
再接上负载，2A 电流输出，此时效率为 96.8%，0.5A 以上电流的效率基本就在 95%以上。



短按 SEL 键，选择调整设置项，此时可以使用 UP 和 DOWN 键调整参数。



具体电路可以参考附件中 PDF 版本，除了 PWM 驱动输出电路和电流采样放大电路，别的都是常规电路。本电路使用同步整流输出的 BUCK 电路（可以认为是一个大电流的推挽输出电路），电路本身可以连续输出超过 10A 的电流（可能要加散热风扇），本电路电流检测最大 7.8A，最大限流 6A，PWM1P、PWM1N 分别驱动上管和下管，由于 MOSFET 和电感的内阻小，电容的 ESR 也小，会得到高效率的转换，这部分电路输出 12V 时的效率能超过 95%。



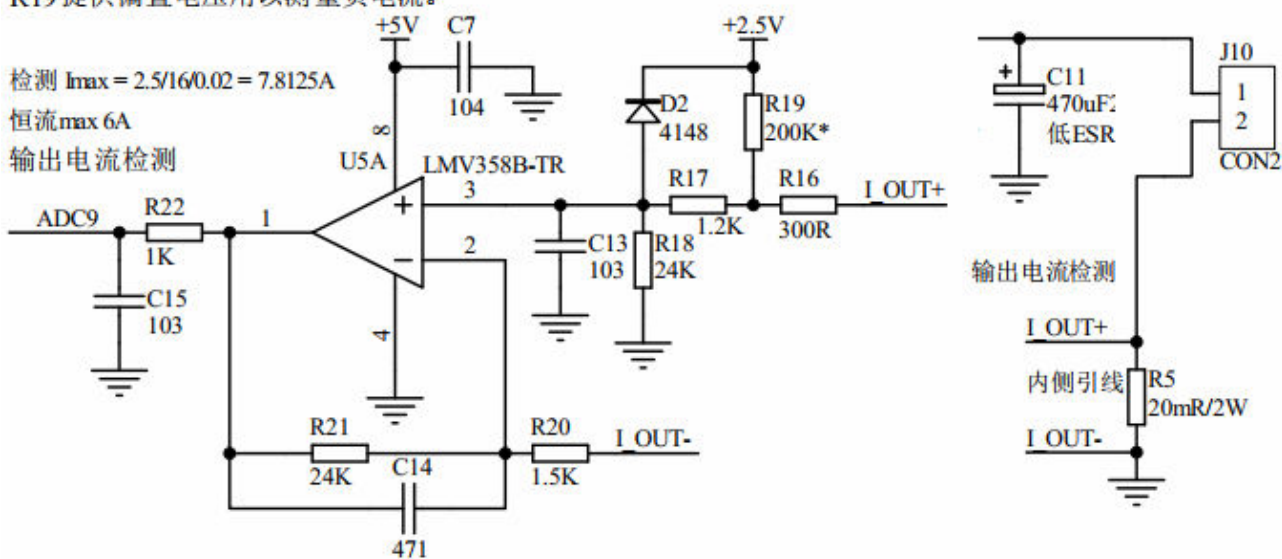
下图为输出电流检测、放大电路，20mR 采样，放大 16 倍，满量程 7.8A，程序设置恒流值为 6A。

R19提供偏置电压用以测量负电流。

检测 $I_{\max} = 2.5/16/0.02 = 7.8125A$

恒流max 6A

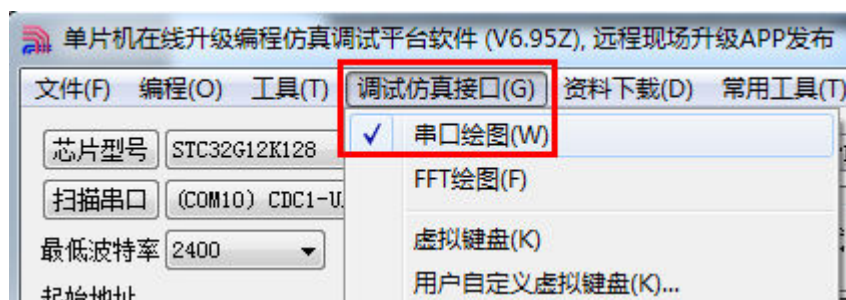
输出电流检测



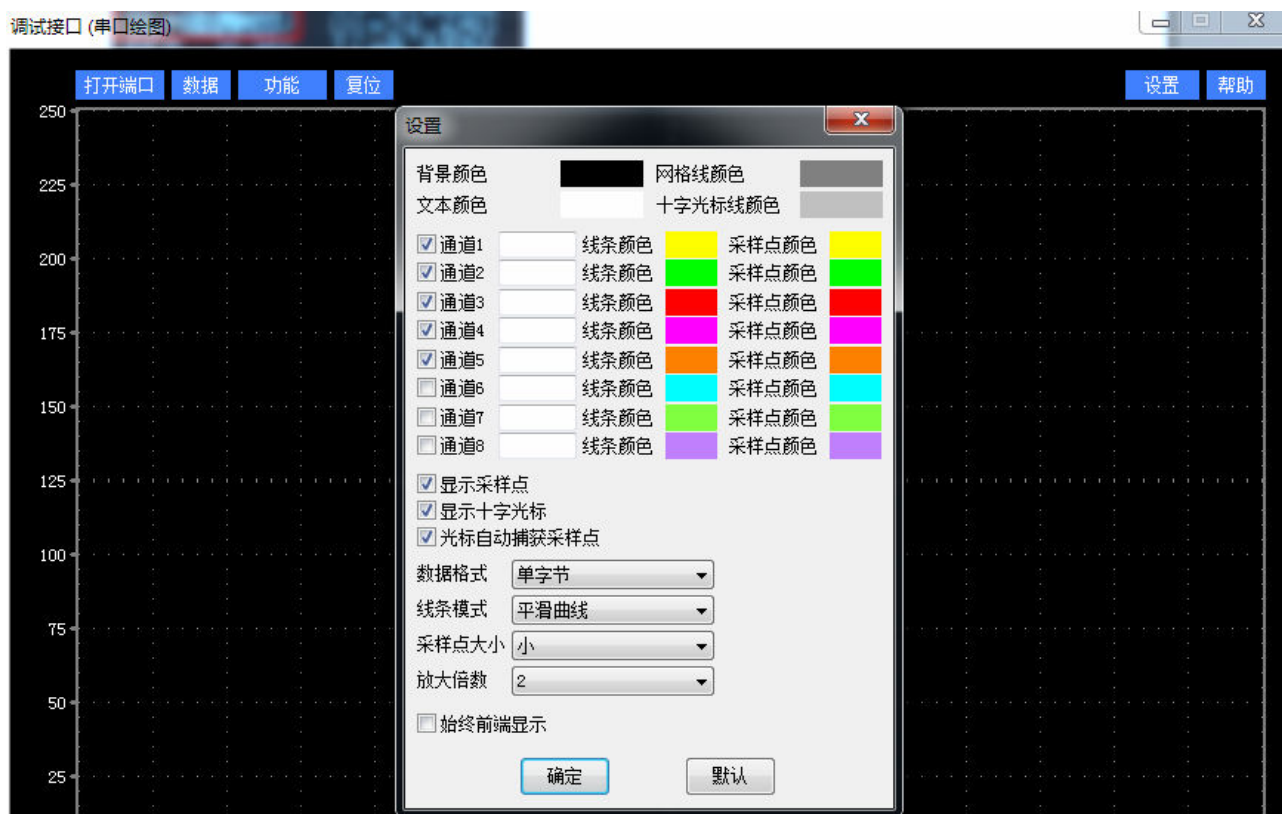
PID 调试:

使用串口绘图来配合 PID 调试，没有这些曲线显示是很难调试 PID 的。

打开 AiCube-ISP-v6.95Z.exe，再打开“串口绘图”：



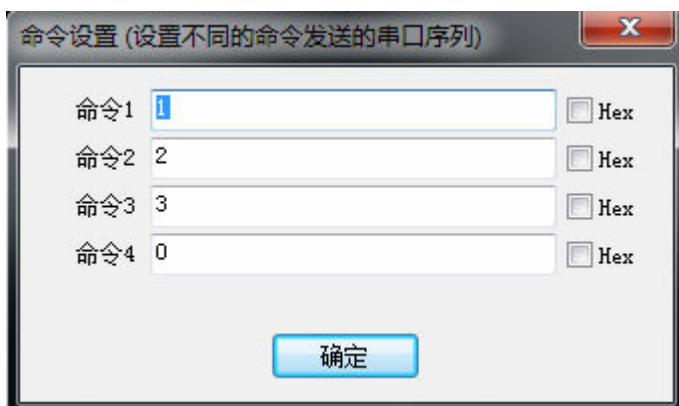
设置曲线参数：点击右上角的“设置”，进入下面的设置界面，勾选 5 条曲线，单字节数据格式。








串口命令设置：点“功能”里的“命令设置”，



命令 1 填入 1，这是请求返回绘图数据的命令，命令 4 填入 0，这是停止返回数据的命令。点确定。



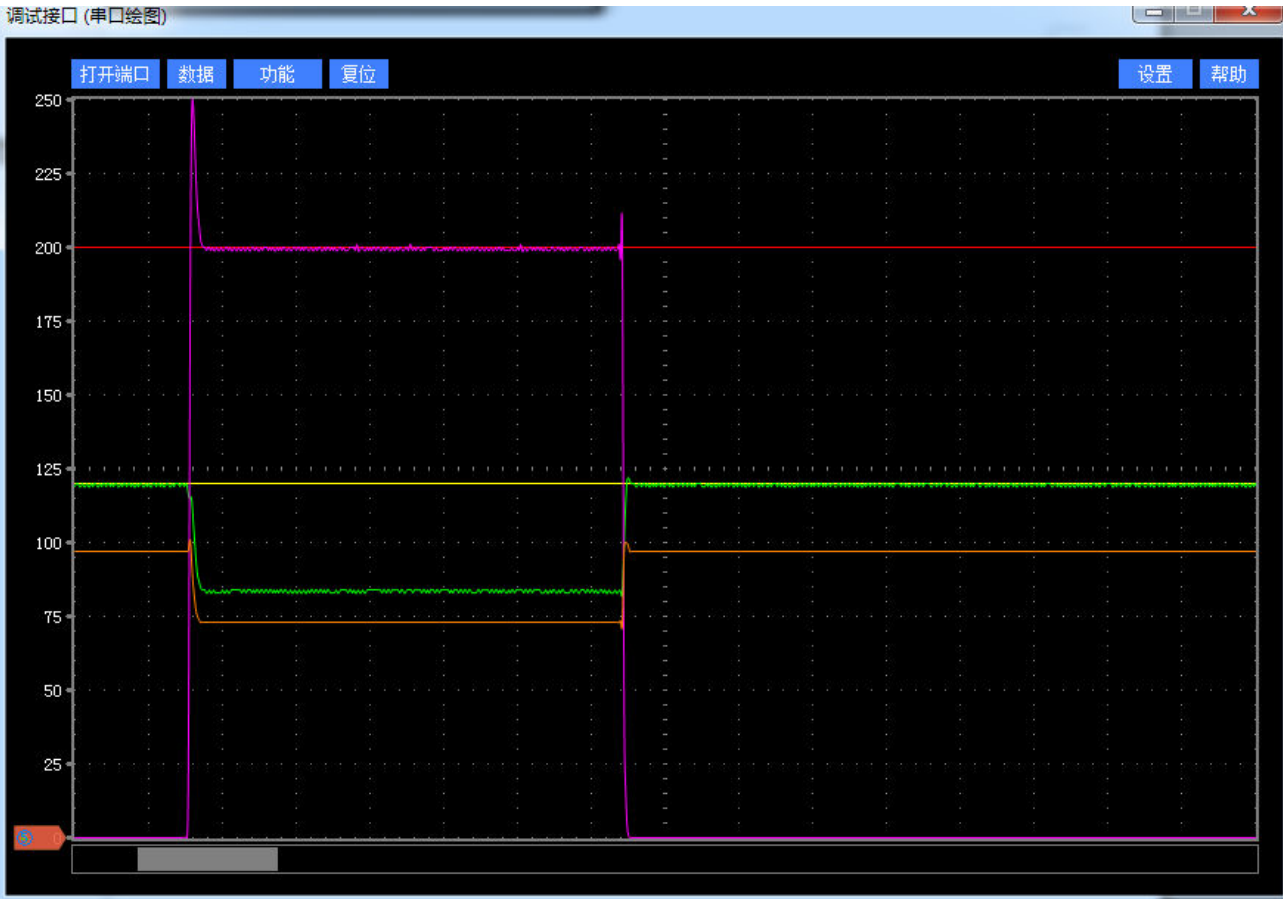
点击上面的“命令 1”或“Ctrl+1”，MCU 开始返回数据，这些数据可以保存起来的。点击“命令 4”或“Ctrl+4”，MCU 停止返回数据。

	PID波形-BUCK-5V-1A-4R.bin	2025/7/26 18:17	BIN 文件
	PID波形-BUCK-5V-1A-10R.bin	2025/7/26 18:19	BIN 文件
	PID波形-BUCK-5V-2A-4R.bin	2025/7/26 18:17	BIN 文件
	PID波形-BUCK-12V-1A-4R.bin	2025/7/26 18:15	BIN 文件
	PID波形-BUCK-12V-2A-4R.bin	2025/7/26 18:16	BIN 文件

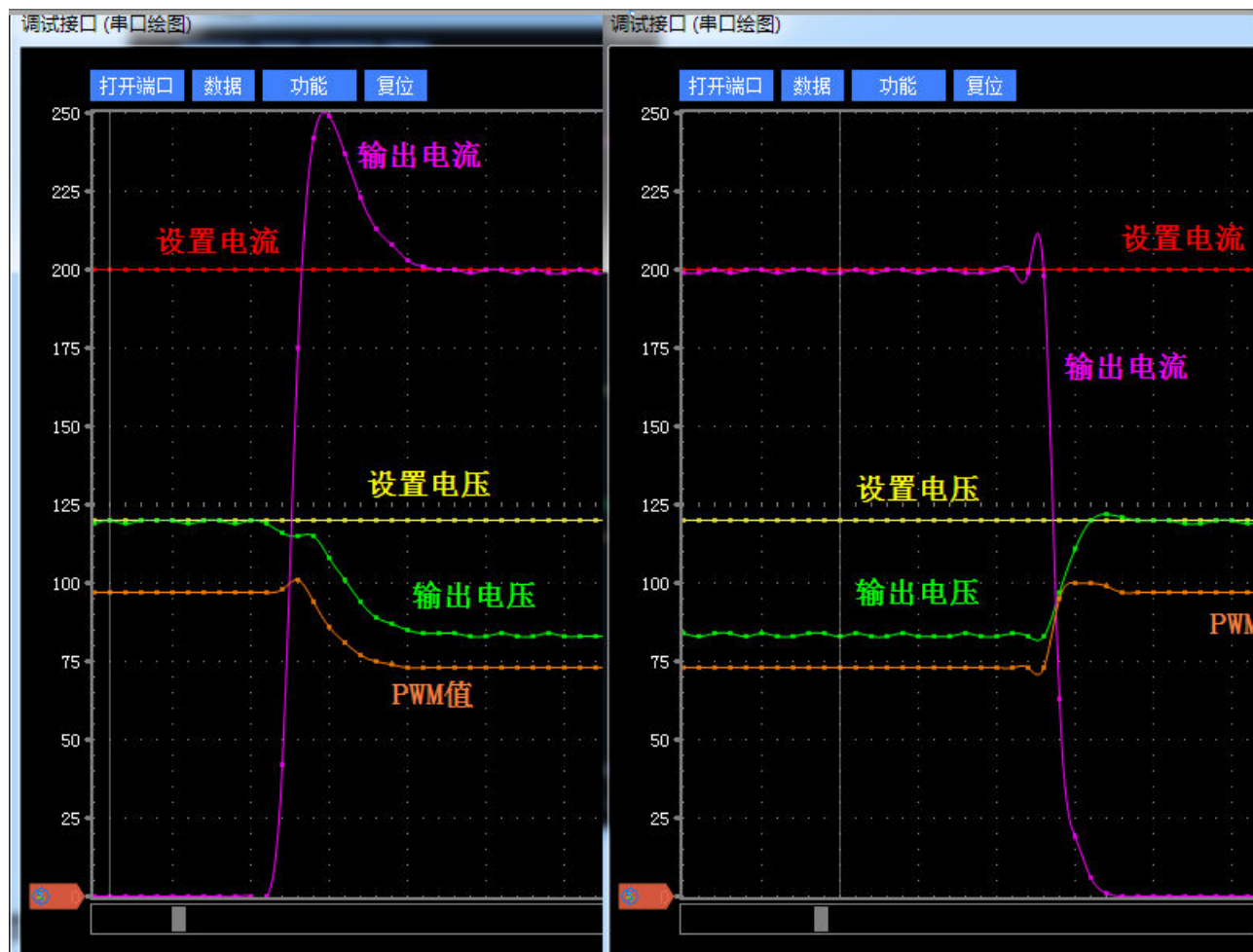
可以在“数据”里“加载数据”，就可以打开保存的数据：



下面是输出 12.00V，恒流 2.000A，负载 5 欧姆，投切负载时的响应曲线，黄色为设定输出电压值（0.1V），绿色为当前输出电压值（0.1V），红色为设定输出电流值（0.01A），紫色为当前输出电流值（0.01A），橙色为当前输出 PWM 值（x10）。



放大至采样点，一个点为 1ms，可见接通负载后，紫色电流曲线先出现较大值（因为输出电容 12V 加载到 5 欧负载上），10ms 后电流降到红色恒流值 2.00A，绿色输出电压曲线跟着下降，稳定在 10V 左右。断开负载后，紫色电流急剧降为 0，几个 ms 后绿色电压上升至设定值并稳定，负载的投切，输出电压没有大的过冲，这算是比较理想的，但是由于 PID 处理速度是 4000Hz，所以需要几个 ms 的响应速度。



串口设置 PID 参数：

下图 “多字符串发送” 栏填上要发送的参数，每个数据都以逗号结束，不能有空格，不能有除了数字和逗号之外别的字符。点击字符串的序号，即可发送出去。也可以鼠标指向序号右键定义此字符串的名字。

比如：1260,1000,20,15,0,

1260: 设置输出电压(单位 0.01V), 1260 表示 12.60V。

1000: 设置输出电流限流(单位 1mA), 1000 表示 1.000A。PID 恒流计算分辨率为 4mA。

20: 比例系数(单位 0.01), 20 表示 $K_p=0.20$ 。

15: 积分系数(单位 0.01), 15 表示 $K_i=0.15$ 。

0: 微分系数(单位 0.01), 0 表示 $K_d=0.00$ 。

发送设置命令时，最好先禁止输出，避免系数突然大改变而可能导致失控。

