

## IP5389 应用说明文档

版本/修订历史

版本	日期	修订内容	拟制/修订人
V1.0	2021-09-30	初版释放	LH

## 一、IP5389 选型说明

### 1、支持 LED 灯/188 数码管 pin 选型号

IP5389 型号	选型参考	功能数目
<b>IP5389_BZ</b>	1、主要用于带 LED 和数码管 2、支持 A+A+C+B+Lightning 接口的方案	1、支持 LED 和 188 自动识别 2、支持 2-6S 电芯串数选择 3、支持 pin 选功率、充满电压、NTC 等功能 4、支持 SCP 协议输入输出
<b>IP5389_BZ_2H</b>	1、主要用于带 LED 和数码管 2、支持 A+A+C+B+Lightning 接口的方案 3、支持“常开”模式，长摁按键 2s 开启，保持放电 2h 不关机。	1、支持 LED 和 188 自动识别 2、支持 2-6S 电芯串数选择 3、支持 pin 选功率、充满电压、NTC 等功能 4、支持 SCP 协议输入输出
<b>IP5389_BZ_AACC</b>	1、主要用于带 LED 和数码管 2、支持支持 A+A+(DRP)+ C(DRP) 双 C 接口的方案	1、支持 LED 和 188 自动识别 2、支持 2-6S 电芯串数选择 3、支持 pin 选功率、充满电压、NTC 等功能 4、支持 SCP 协议输入输出
<b>IP5389_BZ_AACC_2H</b>	1、主要用于带 LED 和数码管 2、支持 A+A+C+B+Lightning 接口的方案 3、支持“常开”模式，长摁按键 2s 开启，保持放电 2h 不关机。	1、支持 LED 和 188 自动识别 2、支持 2-6s 电芯串数选择 3、支持 pin 选功率、充满电压、NTC 等功能 4、支持 SCP 协议输入输出
<b>IP5389_BZ_ABCCO</b>	1、主要用于带 LED 和数码管 2、支持 A+C (DFP) +B+ C(DRP)接口的方案	1、支持 LED 和 188 自动识别 2、支持 2-6S 电芯串数选择 3、支持 pin 选功率、充满电压、NTC 等功能 4、支持 SCP 协议输入输出
<b>IP5389_FPP_AACC</b>	1、支持高压快充边充边放 (C1 口快充输入的同时 C2 口快充输出；C2 口快充输入的同时 C1 口快充输出；C1 或 C2 口快充输入同时 A 口快充输出) 2、支持 C (DRP) + C (DRP) +A+A 双 C (DRP) 接口方案	1、支持 LED 和 188 自动识别 2、支持 2-6S 电芯串数选择 3、支持 pin 选充满电压、NTC 等功能 4、支持 SCP 协议输入输出
<b>IP5389_OCV_AACC</b>	1、主要用于带 LED 和数码管 2、支持支持 A+A+(DRP)+ C(DRP) 双 C 接口的方案 3、支持大功率照明灯 (需外挂 LED 灯	1、支持 LED 和 188 自动识别 2、支持 2-6S 电芯串数选择 3、支持 pin 选功率、充满电压、等功能。暂不支持 NTC 功能 pin 选。

	驱动 IC)，并且支持照明灯电流采样	4、支持 SCP 协议输入输出
--	--------------------	-----------------

以上方案各个口支持的协议如下：

输入输出口	支持的快充协议
USBA 口输出	QC2.0、QC3.0、FCP、AFC、低压 SCP、低压 VOOC
MicroB 口输入	AFC、高压 SCP、FCP
Type-C 口输入	PD、AFC、高压 SCP、FCP
Type-C 口输出	PD、QC2.0、QC3.0、FCP、AFC、高压 SCP、低压 VOOC
Lightning 口输入	PD（最高 12V）

上述方案中，只有 IP5389\_BZ 和 IP5389\_BZ\_2H 的 C 口输出、A 口输出额外支持 QC3+协议。

## 2、支持 I2C 控制的型号

IP5389 型号	选型参考	功能数目
<b>IP5389_I2C_AACC</b>	1、主要用于配合 MCU 使用，可通过 I2C 访问内部的信息； 2、支持支持 A+A+(DRP)+ C(DRP) 双 C 接口的方案	1、支持电量计可读 2、支持 2~6s 电芯串数选择 3、可通过 I2C 自定义各项功能，如输入输出功率、PDO 电流包信息等 4、只支持 SCP 协议输出
<b>IP5389_I2C_BC</b>	1、主要用于配合 MCU 使用，可通过 I2C 访问内部的信息； 2、支持 1 个 C (DRP)口双向输入输出； 3、VIN 口接 DC 电源输入支持太阳能输入、DC 直流适配器输入，支持 MPPT、自适应适配器输出能力等功能	1、支持电量计可读 2、支持 2~6s 电芯串数选择 可通过 I2C 自定义各项功能，如输入输出功率、PDO 电流包信息等 3、只支持 SCP 协议输出
<b>IP5389_I2C_AACD</b>	1、主要用于配合 MCU 使用 通过 I2C 访问内部的信息； 2、支持 A+A+ C(DRP) C 口双向输入输出的方案； 3、VIN 口接 DC 电源输入支持太阳能输入、DC 直流适配器输入，支持 MPPT、自适应适配器输出能力等功能	1、支持电量计可读 2、支持 2~6s 电芯串数选择 可通过 I2C 自定义各项功能，如输入输出功率、PDO 电流包信息等 3、只支持 SCP 协议输出
<b>IP5389_I2C_DC_IP65</b>	1、主要用于配合 MCU 使用 通过 I2C 访问内部的信息； 2、可以外挂 IP6538、IP6525S 等车充 IC 来达到双快充的效果（只支持我司的车充 IC，具体支持的快充协议由使用的车充 IC 决定） 3、支持 Lightning+B+C (DRP) +2A 或者 A+C (DFP) 接口方案	1、支持电量计可读 2、支持 2~6s 电芯串数选择 可通过 I2C 自定义各项功能，如输入输出功率、PDO 电流包信息等 3、只支持 SCP 协议输出

以上方案各个口支持的协议如下：

输入输出口	支持的快充协议
USBA 口输出	QC2.0、QC3.0、FCP、AFC、低压 SCP、低压 VOOC
MicroB 口输入	AFC、FCP
Type-C 口输入	PD、AFC、FCP
Type-C 口输出	PD、QC2.0、QC3.0、FCP、AFC、高压 SCP、低压 VOOC
Lightning 口输入	PD（最高 12V）

## 3、可外加 DC-DC 的型号

IP5389 型号	选型参考	功能数目
<b>IP5389_DC_IP65</b>	1、可以外挂 IP6538、IP6525S 等车充 IC 来达到双快充的效果（只支持我司的车充 IC，具体支持的快充协议由使用的车充 IC 决定） 2、支持 Lightning+B+C（DRP）+A+A 或者 A+C（DFP）接口方案 支持“常开”模式，长摁按键 2s 开启，保持放电 2h 不关机。 3、支持智能功率和高功率模式选择，可通过电阻 pin 选	1、支持双口同时快充输出，互相独立支持 LED 和 188 自动识别 2、支持 2-6S 电芯串数选择 3、支持 pin 选功率、充满电压、NTC 等功能 4、支持 SCP 输入输出

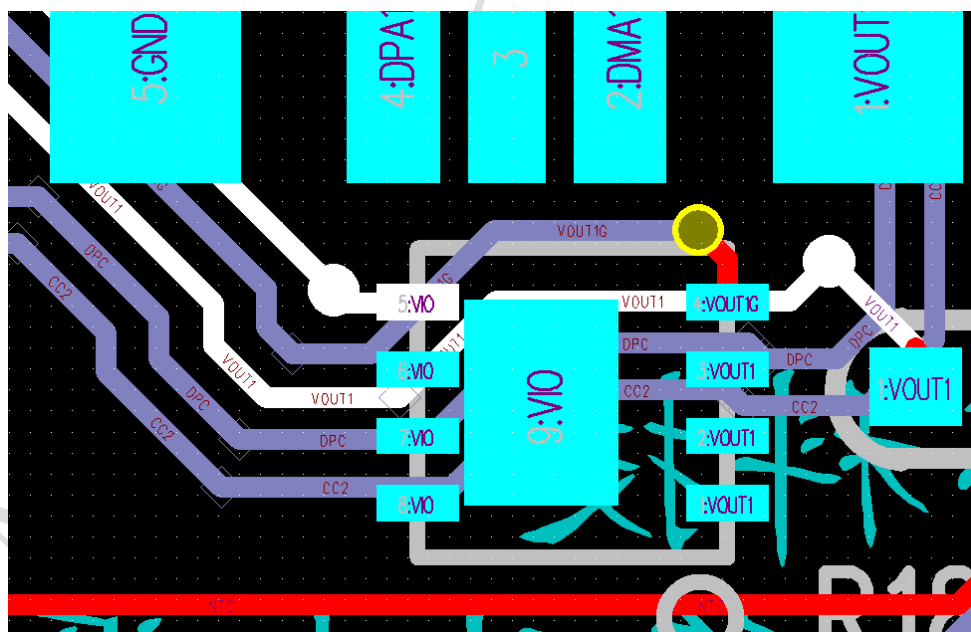
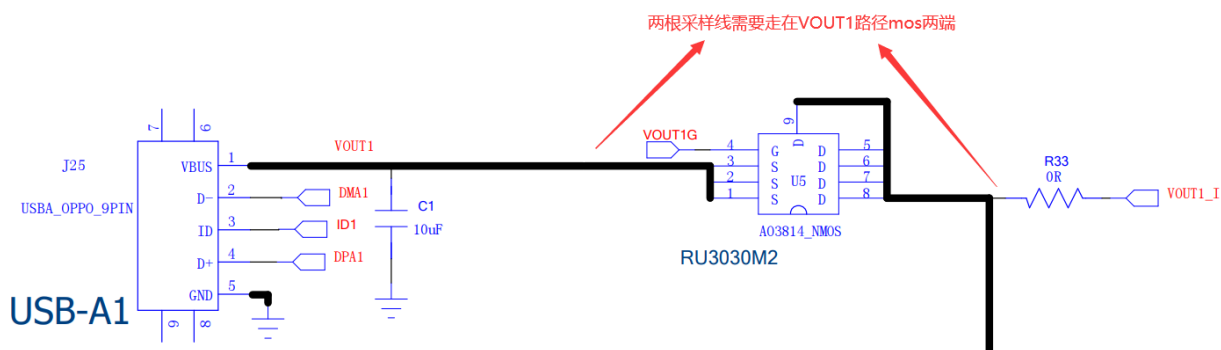
以上方案各个口支持的协议如下：

输入输出口	支持的快充协议
USBA 口输出	QC2.0、QC3.0、FCP、AFC、低压 SCP、低压 VOOC
MicroB 口输入	AFC、高压 SCP、FCP
Type-C 口输入	PD、AFC、高压 SCP、FCP
Type-C 口输出	PD、QC2.0、QC3.0、FCP、AFC、高压 SCP、低压 VOOC
Lightning 口输入	PD（最高 12V）

## 二、IP5389 layout 布局建议

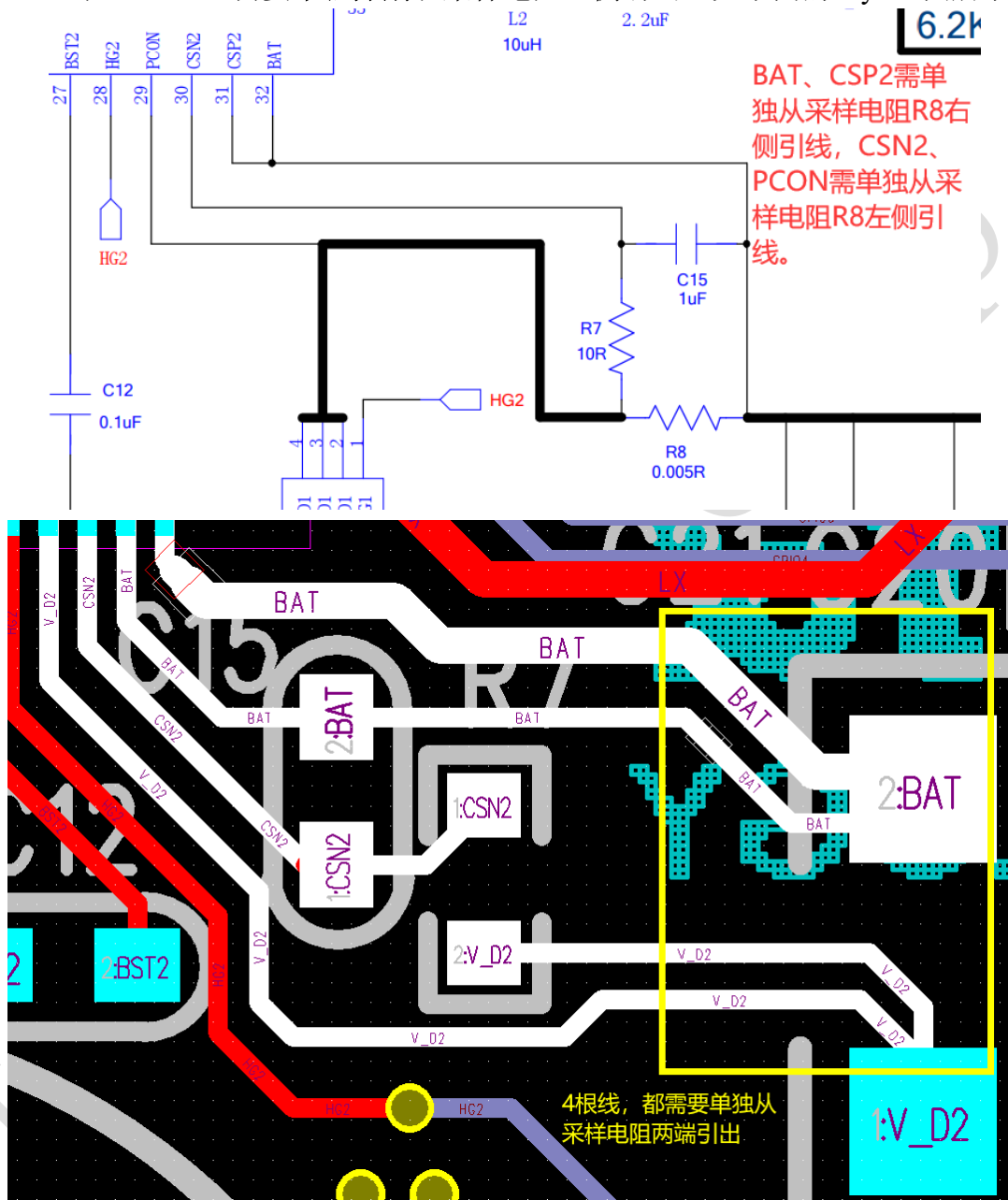
### 1. 各个输出口电流采样走线

在 IP5389 中，每个输出输入口都有两根采样线，以 VOUT1 口为例，这两根采样线名为 VOUT1 与 VOUT1\_I。在走线时，需要将 VOUT1 和 VOUT1\_I 分别单独走到 VOUT1 路径 MOS 两端（如下图）。值得注意的是，VOUT1\_I 与 VIO 属于同一网络，但是绝不可直接将其随意就近连入 VIO 网络中，必须走在指定路径 MOS 边上。

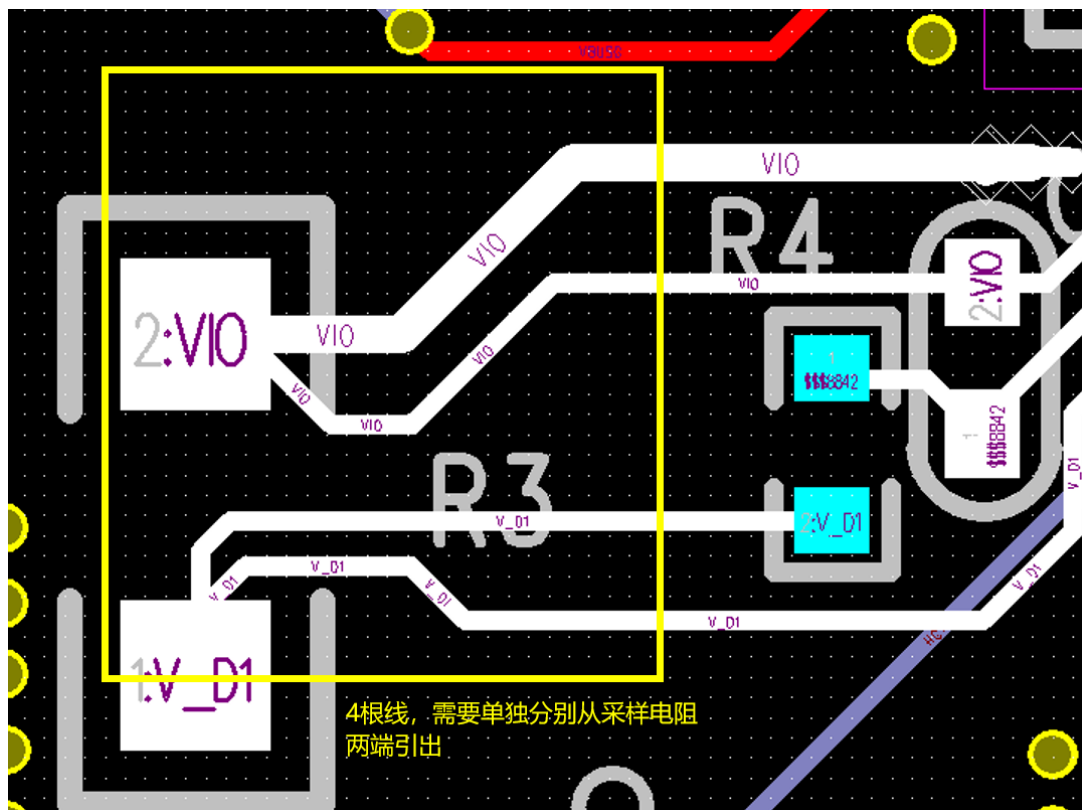


## 2.VIO 端和 BAT 端采样线需要单独从采样电阻两端引出，且越短越好

在原理图中，引脚 BAT、CSP2 属于同一网络，但是走线时必须单独分别从采样电阻右侧引出；CSN2 和 PCON 也需要单独分别从采样电阻左侧引出，如下面的 layout 图所示：



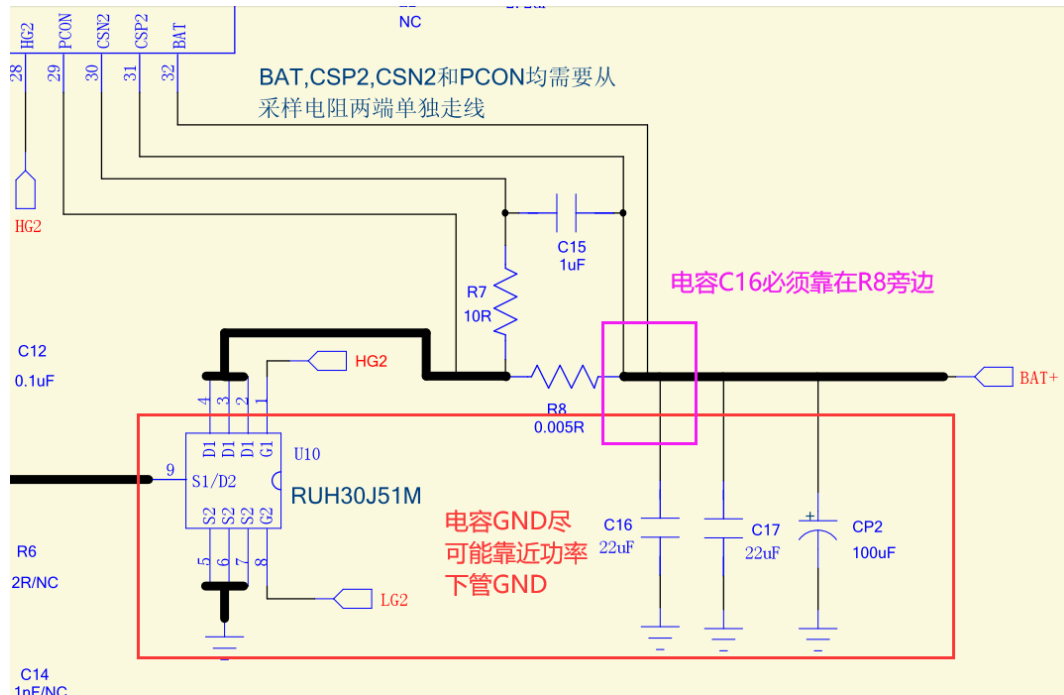
VIO 端的采样电阻走线同理：





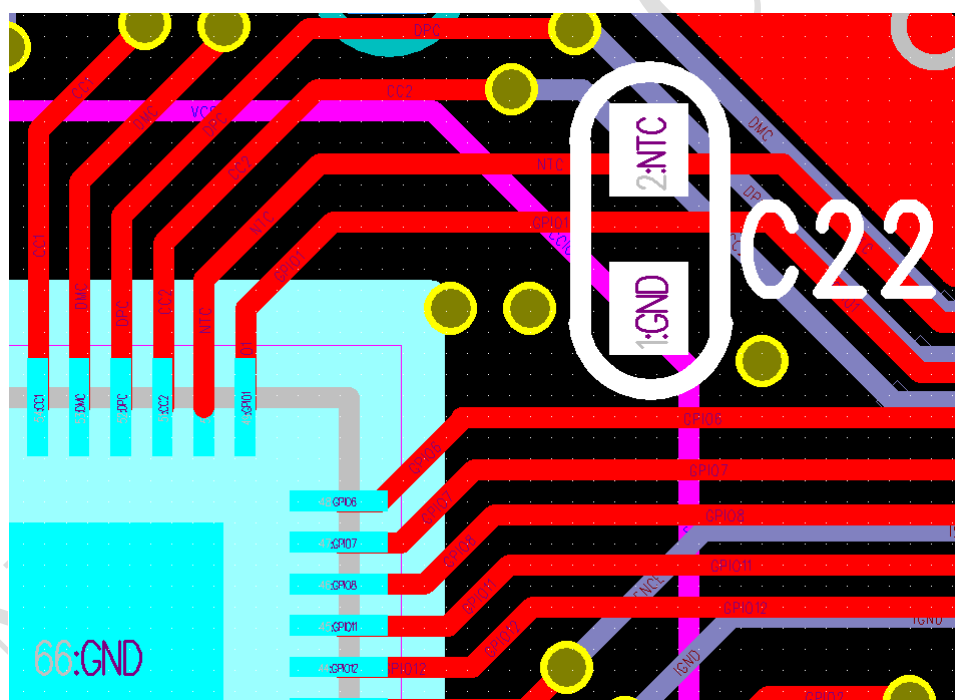
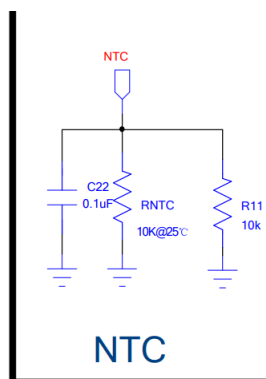
## 3.VIO 和 BAT 端电容需要靠近采样电阻

以 BAT 端为例，该端的采样电阻旁边**必须至少**放置一个 22uF 电容。在这个前提下尽可能使电容的 GND 靠近 BAT 功率回路下管的 GND，另外**地孔越多越好**。否者可能会对电流 ADC 的采样的精确与稳定造成影响。



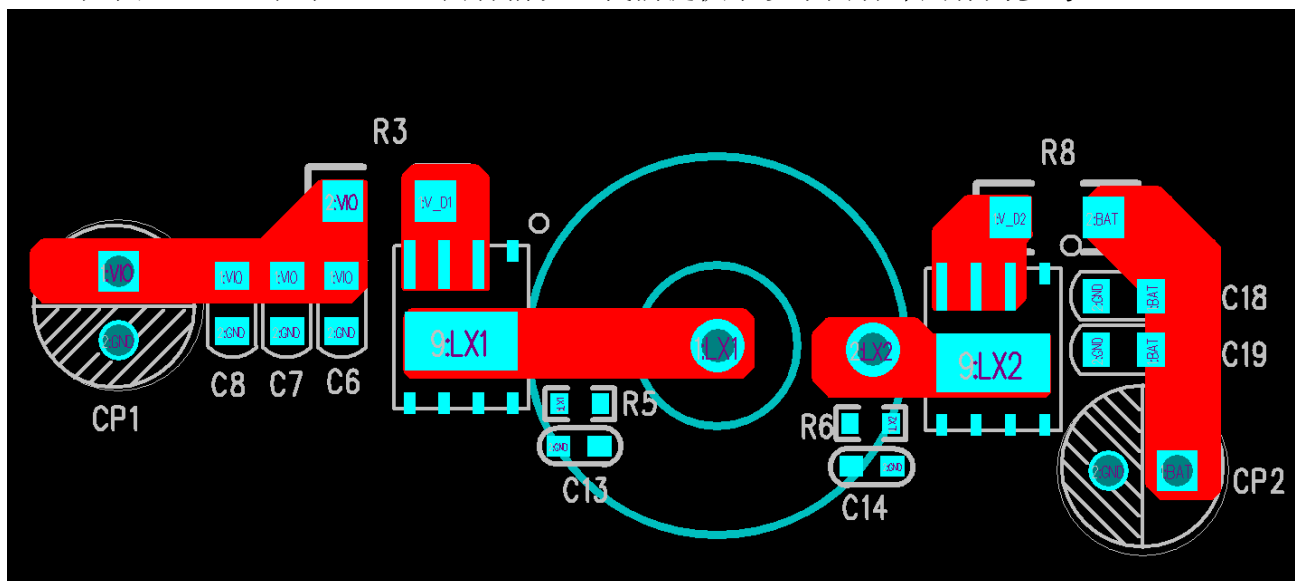
#### 4. NTC 电容需要靠近 NTC pin 脚

实现 NTC 功能所用的 0.1uF 电容需要靠近 IC 的 NTC pin 脚，如下面的 layout 图所示。另外说明，不需要 NTC 功能的时候，直接将 NTC pin 脚接 10k 电阻到地即可，使用 NTC 功能的时候，要将下图中的 10k 电阻 NC.

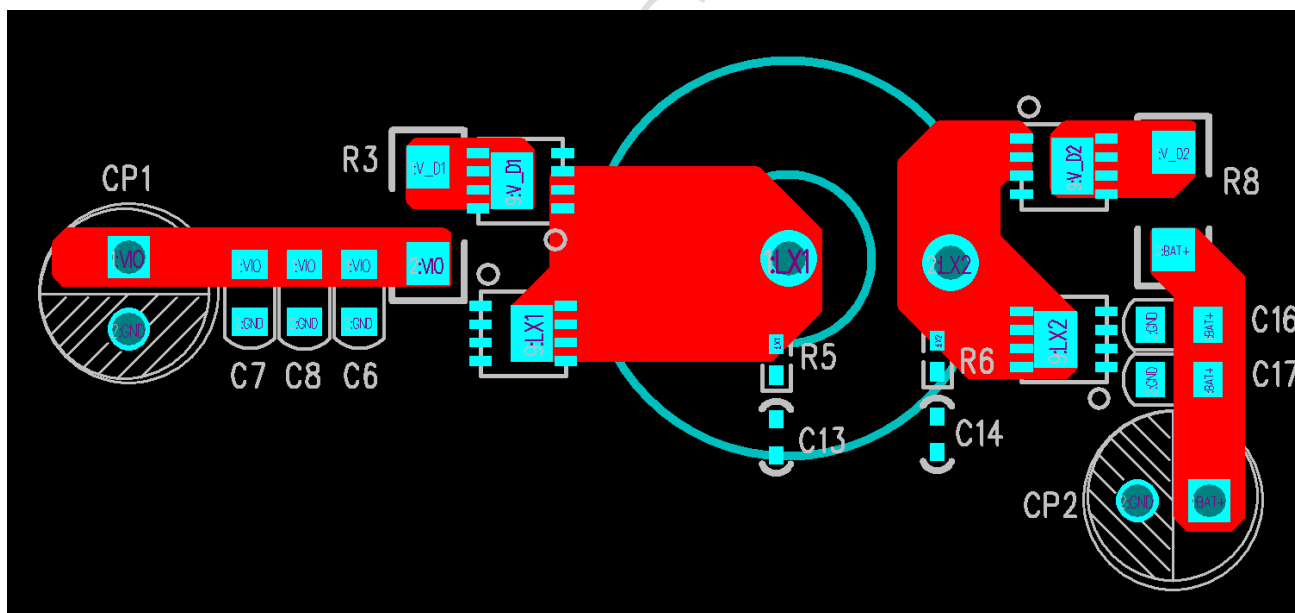


## 5. 功率布局参考

针对双 NMOS 和单 NMOS 两种情况，我们提供了以下两种布局作为参考：



双 NMOS 功率布局参考



单 NMOS 功率布局参考

无论是采用哪种方案，在电容负端和功率下管负端都请打够足够多的地孔。

另外，为了应对开关瞬间的振铃干扰，我们建议加上 RC 吸收回路。RC 的具体取值需要根据实际的器件型号和布局来决定，更大的 C 可以增加尖峰的吸收能力，但随之而来的效率降低也是需要考虑的，根据内部实验，固定 R 为 2R，在满载（100W）放电情况下，改变 C 的取值，其对振铃最大幅值和效率的影响如下表：

R	C	振铃最高幅值	效率	效率比值，以 2R1nF 为基准

2R	10nF	42	0.9539	0.9945
2R	6.8nF	43.4	0.9558	0.9964
2R	3.3nF	44.4	0.9576	0.9983
2R	1nF	52.6	0.9592	1.0000

振铃的幅值与输出电流的大小成正相关，所以需要根据实际的应用场景来选择合适的 RC 取值。我们建议，如果  $P_{MAX} \leq 65W$ ，我们推荐 2R 1nF 的 RC 组合，如果  $P_{MAX} > 65W$ ，我们推荐 2R 3.3nF 的组合。

## 三、IP5389 常见问题汇总

### 器件选型相关问题：

1、IP5389 对 H 桥 MOS 的驱动要求，比如  $C_{iss}$  电容值等等，如何匹配达到最高效率。

一般而言，对于 H 桥的 NMOS，我们推荐的参数如下表：

各项属性	推荐参数
$R_{DS(on)}$	<10mR
$V_{DSS}$	$\geq 30V$
$V_{GSS}$	>8V
$I_S$	>15A
$C_{iss}$	<1000pF
$t_{r(on)}$	<10ns
$t_{r(off)}$	<40ns

H 桥 NMOS 影响效率的主要因素包括  $R_{DS(on)}$ ， $C_{iss}$  和  $C_{oss}$ ，IP5389 的  $V_{gs}$  驱动电压来自 VCC5V，寄生电容对效率的影响比较小，主要考虑  $R_{DS(on)}$  越小越好，在  $R_{DS(on)}$  差别不大的情况下，寄生电容越小越好。对于导通和关闭时间，也都是越短越好。

### 2、各个输入输出口的路径 NMOS 应当如何选型

各个输入输出口的 NMOS 只是作为路径开关，对开关速度的要求并不高。关于导通阻抗  $R_{DS(on)}$ ，我们推荐路径 NMOS 的  $R_{DS(on)} < 10mR$ ，这个值越小，整体的效率越高。 $V_{DS}$  耐压则需要根据实际情况选择，例如，选用的方案最高支持 20V 充放电，则路径 NMOS 的  $V_{DS}$  耐压需要大于 20V（考虑到裕量，建议大于 25V）；如果选用的方案最高支持 15V 充放电，则路径 NMOS 的  $V_{DS}$  耐压需要大于 15V（考虑到裕量，建议大于 20V）。

### 3、电感如何选型，为何推荐使用 10uH 的电感？

我们预设 IP5389 功率回路输出电流为  $I_{out}$ ，开关频率为  $f$ ，输入电压  $V_{in}$ ，输出电压为  $V_{out}$ 。根据项目具体要求，我们按下表设置以上参数：

各项参数	值
$V_{in\_min}$	5V
$V_{in\_max}$	20V
$V_{out\_max}$	5V
$V_{out\_min}$	20V
$f$	250kHz
$I_{out\_max}$	6A

电感纹波电流 $\Delta I_L$ 一般取  $0.2I_{out} \sim 0.4I_{out}$ ，这里取 0.3 倍，则 $\Delta I_L=1.8A$ ，电感电流计算公式如下：

$$I_{L(max)} = I_{out} + 0.5 * \Delta I_L$$

$$I_{L(min)} = I_{out} - 0.5 * \Delta I_L$$

计算得到 $I_{L(max)}=6.9A$ ， $I_{L(min)}=5.1A$ 。

在 BUCK 工作模式下，令 $V_{(in)}=20V$ ， $V_{(out)}=5V$ ， $\Delta I_L=1.8A$ ，忽略 NMOS 导通阻抗，得到下列公式：

$$I_{L(min)} = \frac{V_L * d_t}{d_i} = \frac{(V_{in} - V_{out}) * \frac{V_{out}}{V_{in}} * \frac{1}{f}}{\Delta I_L}$$

计算得到 $I_{L(min)}=5.6uH$ ，

在 BOOST 工作模式下，令 $V_{(in)}=5V$ ， $V_{(out)}=20V$ ， $\Delta I_L=1.8A$ ，同样忽略 NMOS 导通阻抗，得到下列公式：

$$I_{L(min)} = \frac{V_L * d_t}{d_i} = \frac{(V_{out} - V_{in}) * (1 - \frac{V_{out} - V_{in}}{V_{out}}) * \frac{1}{f}}{\Delta I_L}$$

我们得到 $I_{L(min)}=8.3uH$ 。

电感的感值取 10uH 即可，额定电流看具体使用场景而定，一般来说最少需要大于 7A，直流阻抗则越低越好。

## 4、CSP2/CSN2 及 CSP1/CSN1 脚的采样精度值是多少？采样电路上的电阻和电容作用是什么，如何取值？

电流采样的精度受内部修调基准、采样放大倍数匹配误差、以及采样电阻自身精度、PCB 走线和焊接效果的影响。在不考虑采样电阻误差的情况下，采样精度仅能保证<2%，要实现更高的精度，需要再贴片完成之后，在正常工作中测试实际的偏差，通过软件对偏差进行系数修调。

我们抽测了 3 块 IP5389 的 demo 板，平均电流采样精度在 1.3% 左右。

采样电路上的电阻和电容的作用是作为低通滤波器，阻值选择 10R，容值选择 1uF，则该滤波器的截止频率为 16KHz，与开关频率（250kHz）相差 16 倍，主要是对采样电流的开关纹波进行滤波。

## 5、两颗自举电容容值如何选择？

在 IP5389 中，自举电容的供电来源是 VCC5V，为了上管导通时 BST 电容电压的稳定，一般需要符合  $C_{VCC5V} > C_{BST} \gg C_{iss}$ ，大部分情况下， $C_{BST} = 100C_{iss}$ ，在 H 桥 MOS 的  $C_{iss}$  不超过 1nF（1000pF）的情况下，常规取值为 100nF（0.1uF）。

## 6、各个输入输出口的滤波电容一般多少合适？

一般来说，输出口的电容容值建议最大不要超过 22uF，不然可能会影响 EMI 认证的通过，而且过大的输出口电容可能会带来负载检测误触发等问题。所以我们推荐使用 10uF，也可以额外并联一个 0.1uF 电容来减少 EMI 干扰。

## 7、在实际应用中，CC/D+/D-上一般都会增加一些电阻电容，它们的取值有什么公式吗？

大部分情况下，在 CC/D+/D-上增加电阻和电容是为了通过一些认证，具体的取值不太容易靠理论计算出来，影响这些参数的因素有很多，比如 PCB 的布局和走线，很多时候都需要在实际的板子上进行一步步调整，最后才能得到合适的参数。

## 8、VIO 和 BAT 的电容如何选择？为何 VIO 推荐 3 个 22uF 并联 1 个 100uF，而 BAT 推荐 2 个 22uF 并联 1 个 100uF。

根据开关电源的电容计算公式，VIO 和 BAT 的电容容值最小为 100uF，又考虑到在实际的使用过程中，电容容值可能会随着使用时间的增加或者温度上升而减少，我们进行了大量的充放电实验，最后才得出 VIO 使用 3 个 22uF 和 1 个 100uF，BAT 使用 2 个 22uF 和 1 个 100uF 的电容推荐参数。另外，各个输出口的电容只是进行简单的滤波，使用 10uF 即可。

## 系统功能相关问题:

### 1、A 口的负载检测触发逻辑是怎样的，检测电压/拉载电流值是多少？

IP5389 的 A 口是靠检测电压来判断负载的，在 A 口待机时，IC 会通过 VOUT1/VOUT2 放出一个 2.4V 的检测电压到 A1/A2 口，负载能力为 5 $\mu$ A，当负载（等效阻抗 $<400k\Omega$ ）插入时，输出口的 2.4V 会迅速被拉低，当该电压低于触发检测阈值（2.0V）时，判定为有负载插入。

在 IP5389 进行单口快充放电时，如果另外一输出口检测到负载插入，那么此时便会切换到双口 5V 放电状态。当检测到某一输出口的电流小于单口轻载阈值时（目前该值为 80mA，默认路径 NMOS 内阻为 10mR），该输出口会被关闭，随后剩下的一口便可以恢复快充放电状态。

### 2、IP5389 的 FCAP 容量 pin 选具体应当如何使用？

在这里我们详细描述一下 IP5389 的 FCAP 容量 pin 选功能，通过改变 FCAP 到地的电阻阻值来配置不同的容量，这里的容量指的是单节串联电池的容量，举例说明，4 节 5000mah 的电芯串联，那么容量配置为 5000mah，电阻设置为  $5000/0.8=6.2k$  即可；4 节 5000mah 的电芯两两并联后再串联，那么这里节数选 2 节，容量配置为 10000mah，电阻设置为  $10000/0.8=12.4k$ 。

### 3、IP5389 在应用时，功率和节数应当如何匹配设置，2 节可以配置 100W 吗？

由于当前的限流值最大为 8.8A，而目前支持的磷酸铁锂电池关机电压为 2.75V，2 节磷酸铁锂电池在低电输出下的 BAT 端功率最大为  $2.75V \times 2 \times 8.8A = 48.4W$ ，考虑到效率，VIO 端是无法满足 45W 放电的，而且这种情况下，BAT 电流很大，发热会比较严重，所以我们建议 2 节电池时，PMAX 最高配置 30W。同理，3 节电池时，我们建议 PMAX 最高配置 45W。只有当电池节数大于 4 节时，我们才建议  $PMAX \geq 60W$ 。

另外，配置 PMAX 为 65W 和 100W 需要额外的 Emark 电路，具体电路请参考原理图。

### 4、功率 PMAX 指的是什么功率，比如配置为 45W，A 口可以输出 45W 吗？

PMAX 指的是 IP5389 的 VBUS 或者 VIN 支持的最大的输入输出功率，VOUT 口最大只支持输出 24W，目前 IP5389 非 I2C 方案只能设置同样的输入输出功率，如果需要设置不同的输出和输入功率，请使用 I2C 方案。

当 PMAX 配置为 45W 时，VBUS 支持 45W 充放电。在 VIN 作为 DC 口的方案中，VIN 的最大输入功率也为 45W，A 口输出功率仍为 24W。



## 5、VBUS 口和 VIN 口什么时候需要使用对管？

一般情况下 VBUS 口和 VIN 口使用一个 NMOS 作为路径管即可，在使用时注意源极（S）朝向座子端，漏极（D）朝向 VIO 端即可。

一般在以下两种情况下，需要设置对管：

- 1、在通过一些认证的时候，需要在 VBUS 口设置对管，达到双向完全关断的效果，在使用对管时候，我们建议从座子到 VIO 端按照 D1---S1---S2---D2 这个顺序来摆放对管。
- 2、当有一口作为 DC 输入时，需要在该口路径设置对管。假设 VIN 口作为 DC 输入，VBUS 作为 Type-C 口，如果不设置对管，在 VIN 口插入高压时，该高压会通过 NMOS 的寄生二极管直接灌到 IP5389 的 VIO 路径上，如果此时 Type-C 正在给手机 5V 充电，由于无法及时关闭 VBUS 的路径管，这个高压也会灌到 VBUS，这就很可能导致手机损坏。

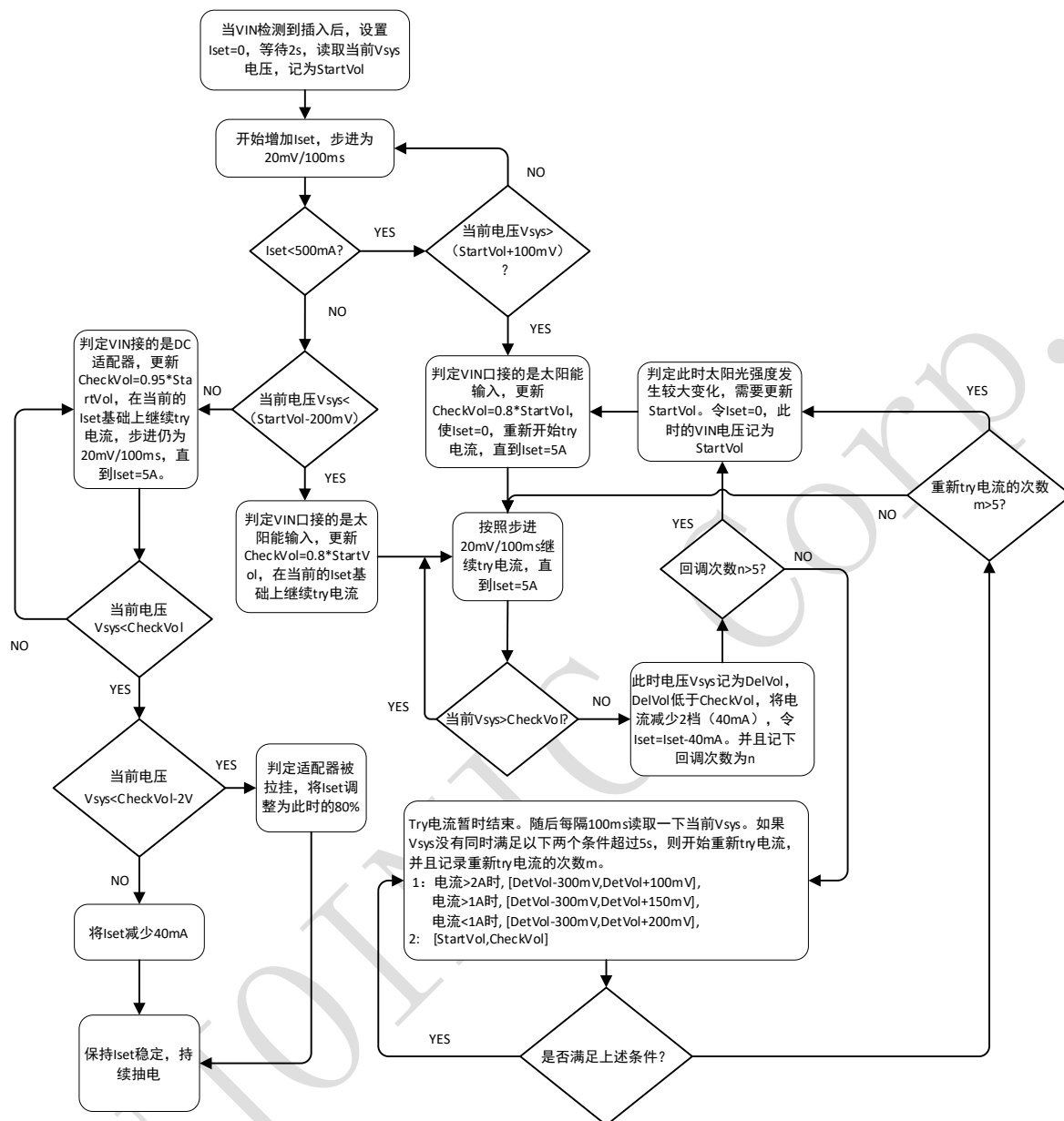
## 6、IP5389 可以自由烧录不同型号的固件吗？

目前是无法跨型号烧录固件的，一个型号的 IP5389 就只能烧录该型号的固件，无法烧录其他型号的固件。在尝试使用我们提供的烧录器进行跨型号烧录时，你会发现无法连接，也可以通过这点来判断拿到的 IP5389 是否与提供的固件为同一型号。

## 7、能否详细描述一下 VIN 作为 DC 输入口时抽取电流的策略？

VIN 作为 DC 输入口时，具备 MPPT 功能，其外接电源一般分两类：1、太阳能板输出；2、DC 输出适配器。IP5389 会通过 try 电流的方式来区分以上两类电源，如果是太阳能电源，IC 会实时根据太阳能电源的输出功率来智能调节抽取的电流大小，以求能量利用最大化。抽取的电流定义为  $I_{set}$ ，范围 0~5A，DC 口正常工作时， $V_{sys}$  需要满足 4.5V~25V。

以下为 VIN 口的 MPPT 流程框图：



IP5389 的充电机制就是如此。检测到 VIN/VBUS 有电后，需要先处理多口状态，判断下其它口的状态，随后才会进入充电状态，这个时间大概为 2s。随后电流的慢慢增加是为了防止适配器过流保护。

## 9、为何我设置电池结束 4 节，电池满电电压 4.2V，设置 VBAT=13V 上电，激活后电量依然为 0？

目前，第一次上电的时候如果  $VBAT < N \times 3.4V$ ，电量都判定为 0。主要是考虑到如果上次大功率放电时，锂保提前低电关闭，那么在随后的充电激活后，电量会突然变成一个非 0 的电量，为了避免这种情况才做了如上修改。

## 10、在实际应用过程中，可以删掉一些输出口吗，如果可以的话，相应输出口的功能 pin 应当如何处理呢？

可以删除。

如果删除的输出口是 USB-A 口，比如在某个应用中，不需要 USB-A2 口，那么与 USB-A2 相关的 VOUT2、DPA2、DMA2、VOU2\_I 也就没有作用了，此时，可以将 IP5389 的 VOUT2、DPA2、DMA2 引脚悬空，而 VOUT2\_I 则需要通过一个 10k 上拉到 VCCIO。

如果删除的是 Type-C 口或者 Micro-B 口，那么相应的引脚直接悬空即可。

## 11、使用 I2C 版本的方案时，为何 IP5389 一直无法关机？

首先对照寄存器文档检查 IP5389 的轻载关机相关的寄存器，看看是否关闭了轻载关机功能；随后再检查是否有将 INT 一直拉高，目前在 IP5389 将要关机的时候，IC 会将 INT 配为输入来检测外部电压，如果为高，则不会关机。

## 12、是否能够加入一个异常 IO 口，在 IP5389 出现异常时及时告知 MCU？

目前 IP5389 的 INT 就有这个功能，参考 IP5389 的寄存器文档，在 0xEA 的 0x0C 的 bit6，可以将其写 1，随后在 IP5389 发生异常时，INT 每间隔 500ms 都会拉低一次，每次 1~2ms。MCU 可以通过检测这个信号来判断 IP5389 是否发生异常。

## 13、为何 C 口输出只支持高压 SCP？

在 IP5389 的 C 口给华为手机充电时，手机优先申请的是 PD 高压协议，随后才会申请 SCP，所以我们会优先选择使用高压 SCP 协议给华为手机充电。

我们调低了 C 口输出时的低压 SCP 优先级，删除了 C 口输出支持低压 SCP 的说明。但并未移除 C 口的低压 SCP 输出功能，所以在使用诱骗器进行测试时，也是可以单独诱骗低压 SCP 的。