

BQ25798+TPS25221 锂电池和超级电容充电方案

Mason Liu

Sales and Marketing/East China

ABSTRACT

近年来，为了方便使用，随着越来越多的工具均采用无线化设计。因此，储能元件的需求也与日俱增。在一些应用比如扫码枪中，会有越来越多的客户考虑采用电池或者超级电容作为储能元件，锂电池和超级电容的储能原理不同，相应的充电放电曲线也不相同，本文基于 TI 的 BQ25798+TPS25221 提出了一种能够既给锂电池充电，又可以给超级电容充电的方案，无需在原理图或者 Layout 做任何修改，简化客户的研发流程。

Contents

1	整体方案	2
1.1	设计需求	2
1.2	方案框图	2
1.3	BQ25798 介绍	3
1.4	TPS25221 介绍	4
2	工作模式介绍	4
2.1	锂电池充电模式	4
2.2	超级电容充电模式	5
2.3	充电模式切换	7
3	测试波形	8
3.1	超级电容充电	9
4	参考文献	10

Figures

Figure 1.	BQ25798+TPS25221 方案框图	3
Figure 2.	锂电池充电方式	4
Figure 3.	BQ25798 充电流程	5
Figure 4.	TPS25221 温度信息	6
Figure 5.	超级电容充电方式	7
Figure 6.	TS 外围电路接法	7
Figure 7.	TPS25221 控制方法	8
Figure 8.	BQ25798+TPS25221 硬件测试平台	9
Figure 9.	BQ25798+TPS25221 测试波形	10

1 整体方案

1.1 设计需求

以扫码枪为例，一般由充电底座和扫码枪本体构成，充电底座提供充电功能，扫码枪用来实现扫描二维码等功能。从供电角度来分析，充电底座中主要包括了充电芯片 **Charger**，扫码枪中主要包括了储能芯片以后后级电路供电所需要的 **DCDC** 变换芯片。

在扫码枪应用中，客户的储能元件主要选择锂电池和超级电容两种类型，两种介质充电均可分成两个阶段：恒流充电和恒压充电，主要的区别在于超级电容可以放电至 **0V** 但是锂电池不能放电很深并且随着放电深度的增加内阻会不断上升，从而导致深度放电时充电的电流也需要进行控制，这也给客户设计同一套充电系统能够既给锂电池充电又给超级电容充电增加了难度，本文提供的设计框图就出色地解决了这个问题，同一套方案 **BQ25798+TPS25221**，无需进行原理图或者 **Layout** 的修改，即可分别给两套储能元件进行充电，客户仅需购买一套充电底座即可给锂电池扫码枪或者超级电容扫码枪进行充电，无需配套使用充电底座和扫码枪。

1.2 方案框图

图一显示的是 **BQ25798+TPS25221** 的整体方案设计框图，如图所示，**BQ25798** 的 **SYS** 管脚连接到 **TPS25221** 的 **IN** 管脚上，**BQ25798** 的 **BAT** 管脚连接到 **TPS25221** 的 **OUT** 管脚上，储能元件锂电池或者超级电容接在 **BAT** 线路上。相应的扫码枪的负载就由 **BAT** 管脚上的线路直接提供，充电底座上的负载接在 **Vsys** 上，由 **Vsys** 来提供电能。

整个系统的供电由接在 **BQ25798** 的 **VBUS** 管脚上的 **adapter** 或者 **USB** 来提供，经过内部的 **BUCK-BOOST** 电路将电能传递到 **SYS** 管脚，此时在 **SYS** 管脚的电能由两条路径可以选择：

1) 内部的 BATFET

2) 外部的 TPS25221

当扫码枪从充电底座上拿起时，整个扫码枪系统的供电完全由储能元件提供，当扫码枪放在底座上充电时，整个扫码枪和充电底座系统的供电完全由 Adapter 或者 USB 提供。

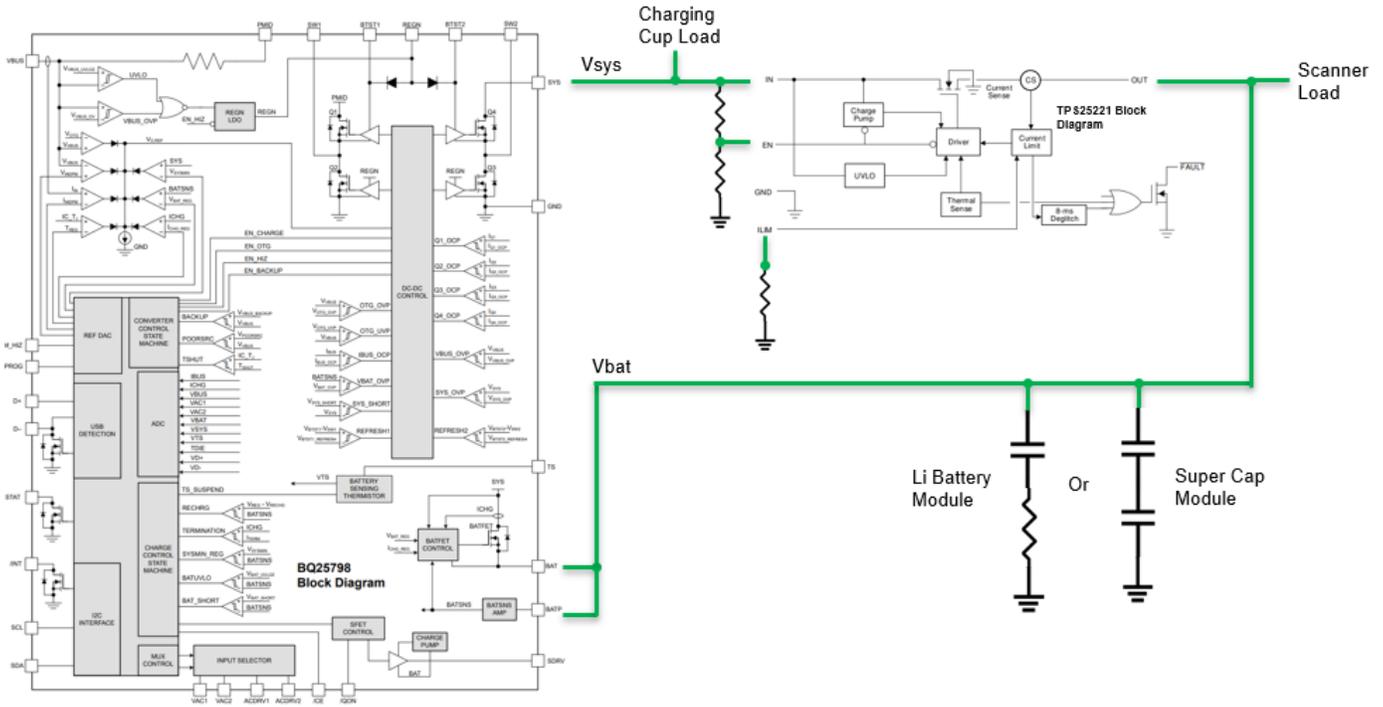


Figure 1. BQ25798+TPS25221 方案框图

下文工作模式介绍中会详细介绍系统是如何工作。

1.3 BQ25798 介绍

BQ25798 是一款完全集成的 BUCK-BOOST 架构的 Charger 芯片，适用于 1-4 节锂离子电池和锂聚合物电池，内部集成了包裹 4 个工作在开关状态的 MOSFET，输入侧和充电电流的感应电路，给电池充电的 MOSFET 以及 BUCK-BOOST 架构所需要的环路补偿电路。该芯片可以为各种输入源（包括传统的 USB 适配器，高压 USB-PD 适配器等）的电池充电，该芯片可以根据输入电压和电池电压在降压，升压和降压-升压模式下无缝切换，无需主机进行控制。该芯片提供了一个可选的双输入源选择器，优先考虑第一个可用的输入源，主机可以使用 I2C 在输入源之间进行手动切换。具体描述可以参照 BQ25798 的 datasheet 获取更多详细信息。

1.4 TPS25221 介绍

TPS25221 是一款 load switch 芯片，使用外部的电阻器，可以设置限制的电流在 275mA 到 2.7A（典型值）之间，在较高的电流限制设置下，ILIMIT 的精度可以达到±6%。芯片会控制电源开关的上升和下降时间，以最大限度的减少开关动作期间的电流波动。当负载尝试消耗超过 ILIMIT 设置的最大电流时，内部 MOSFET 会进入恒流模式，以使 ILOAD 保持在 ILIMIT 或以下。进而可以保护电路以免承受过流风险。

2 工作模式介绍

BQ25798+TPS25221 方案按照储能元件是锂电池或者是超级电容的不同，会有相应的充电模式，下文会做详细介绍。

2.1 锂电池充电模式

如下图 2 所示为锂电池充电的架构，此时 TPS25221 处在 Disable 模式，内部 MOSFET 关断。此时就可以等效为 BQ25798 作为 charger 给锂电池充电，具体细节可以参考 BQ25798 datasheet 来获得更多信息。

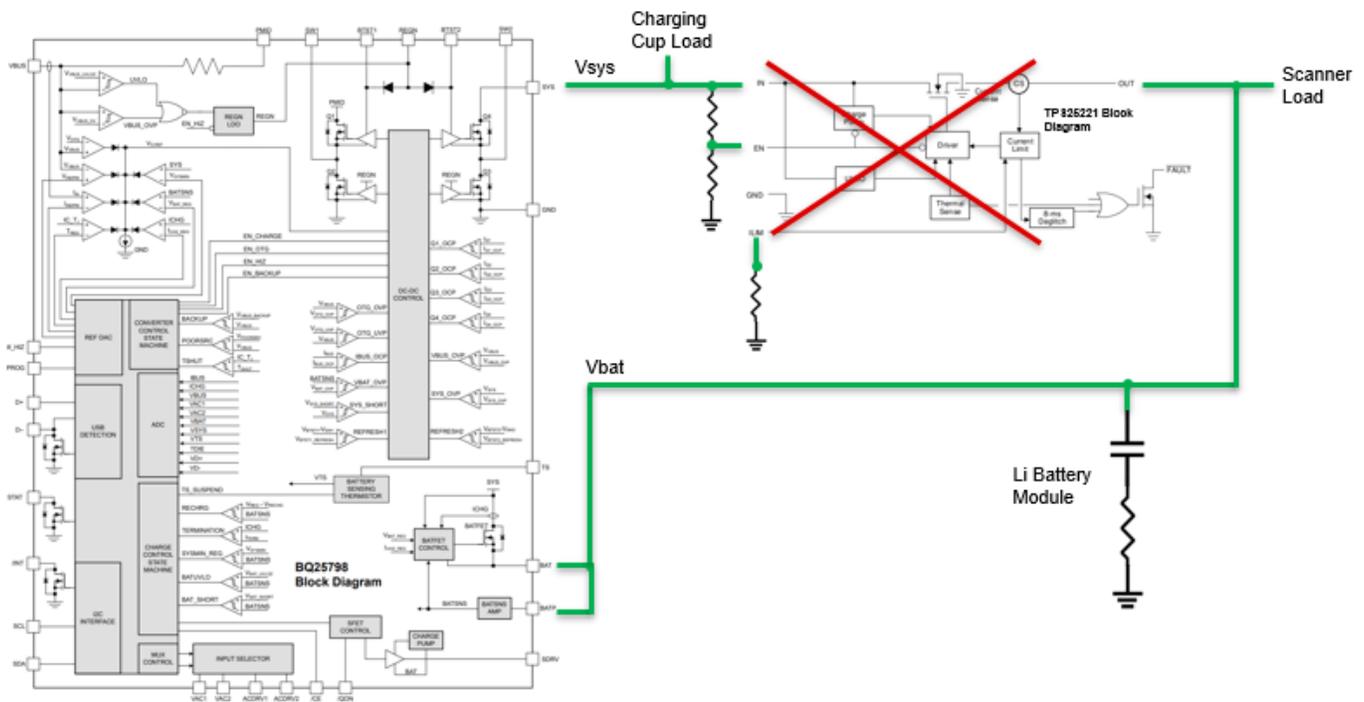


Figure 2. 锂电池充电方式

2.2 超级电容充电模式

BQ25798 本身是一款锂电池充电器，锂电池放电深度很深时，由于锂电池内阻急剧增大，为了保护锂电池，我们的 charger 会有充电电流的限制，以免锂电池温升过快损坏电池。如下图 3 所示，当电池的电压过低时（放电深度过深），开始充电时可能处在涓流充电（trickle charge）或者预充电（pre-charge）阶段，这两种状态下的充电电流都没有办法达到实际设置的 fast-charge 电流。

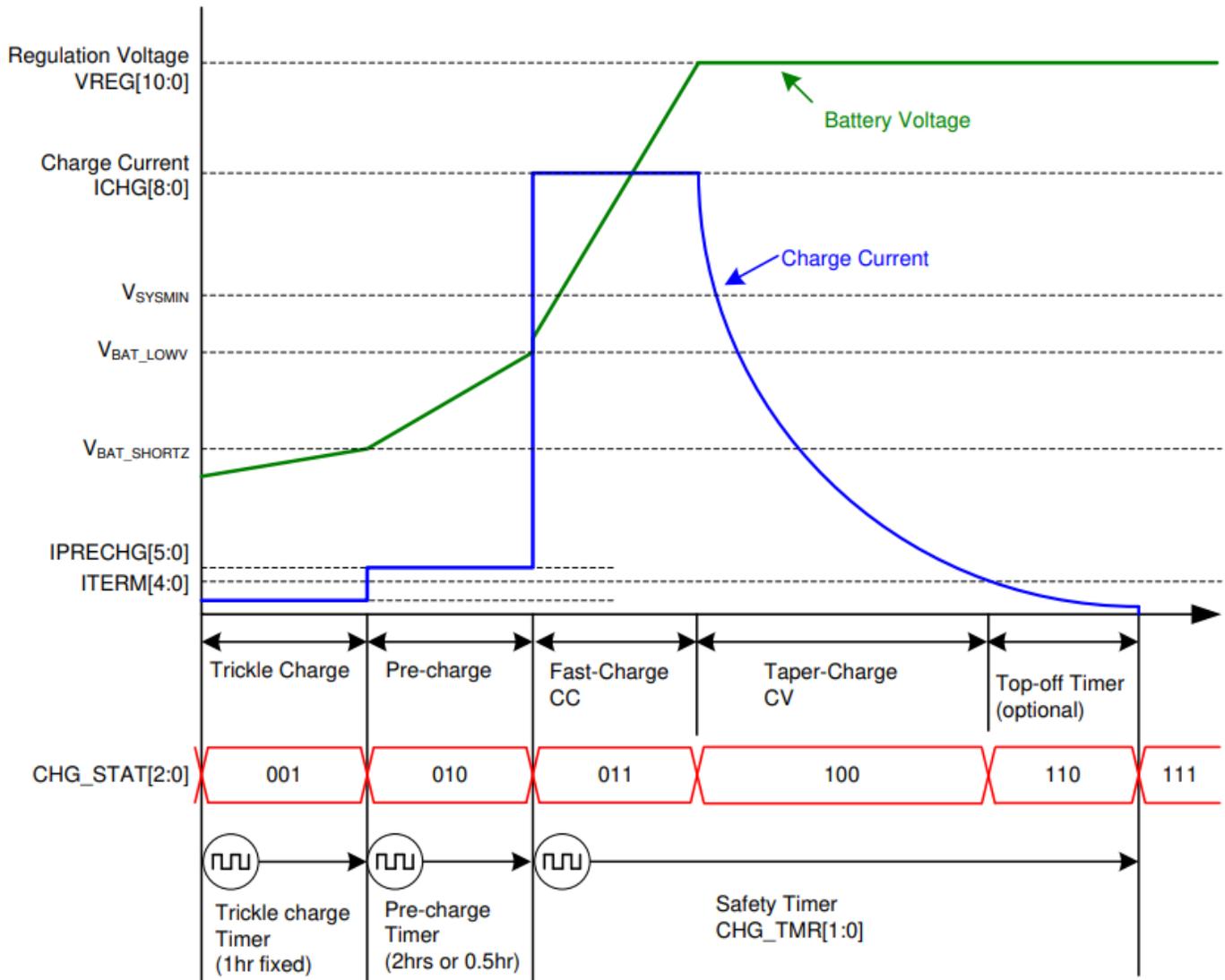


Figure 3. BQ25798 充电流程

但是当储能元件变为超级电容时，由于超级电容和锂电池的物理特性不同，从充放电的角度来说，超级电容可以放电至 0V，并且充电的时候并没有因为放电深度的不同而对充电电流有不同限制。所以如果只用 BQ25798 来给超级电容充电就会遇到两个问题：

- 1) 没有办法给放电至 0V 的超级电容充电。
- 2) 当放电深度较深时，充电时间很长。

针对以上两个问题，结合 BQ25798 内部的控制逻辑，通过增加一个外部充电回路，来使得充电电流在深度放电时不通过 BQ25798 内部的 BATFET，而从 TPS25221 提供的外部 MOSFET 来流向超级电容进行充电。充电过程如下（以 5V 超级电容为例）：

- 1) 超级电容电压 0-2.5V 阶段：此时 TPS25221 开启，充电电流主要经过 TPS25221 流向超级电容。
- 2) 超级电容电压 2.5-5V 阶段：TPS25221 开启，充电电流经过内部的 BATFET 和外部的 TPS25221 流向超级电容。

充电过程 1 和 2 中的分界点 2.5V 主要是来自于 BQ25798 的 V_{sysmin} 最低只能支持到 2.5V，在实际应用中，可以将该值设定的高一些。但是这样会在 1 阶段充电时给 TPS25221 带来更大的温升问题，以 2.5V 为例，如果此时流经 TPS25221 的电流为 800mA, $P=2.5 \times 0.8=2W$, 假设芯片 top 温度为 80C, 此时 junction 温度 $=20+2 \times 8.7=97.4C$. (8.7 为 TPS25221 在 DRV 封装下的温升参数)。当 V_{sysmin} 设的越高，TPS25221 的 junction 温度就会越高，可能会触发 TPS25221 的 thermal shutdown.

7.4 Thermal Information

THERMAL METRIC ⁽¹⁾		TPS25221		UNIT
		DBV (SOT-23)	DRV (WSON)	
		6-PIN	6-PIN	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-ambient thermal resistance	193.2	83	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	Junction-to-case (top) thermal resistance	127.1	100.5	°C/W
$R_{\theta JB}$	Junction-to-board thermal resistance	65.6	46.5	°C/W
Ψ_{JT}	Junction-to-top characterization parameter	49.0	8.7	°C/W
Ψ_{JB}	Junction-to-board characterization parameter	65.3	46.4	°C/W
$R_{\theta JC(bot)}$	Junction-to-case (bottom) thermal resistance	--	24.4	°C/W

Figure 4. TPS25221 温度信息

BQ25798 在给 5V 超级电容充电时，需要将 V_{reg} 配置成 2s 下的 5V 以上，通过配置不同的百分比来配置不同的 V_{bat_lowv} 电压，从而配置从 pre charge 进入到 fast charge 的电压。 V_{bat_lowv} 的值应该低于 V_{sysmin} 这样 2 阶段充电时才能保证在 fast charge 阶段。下图为超级电容充电方式。

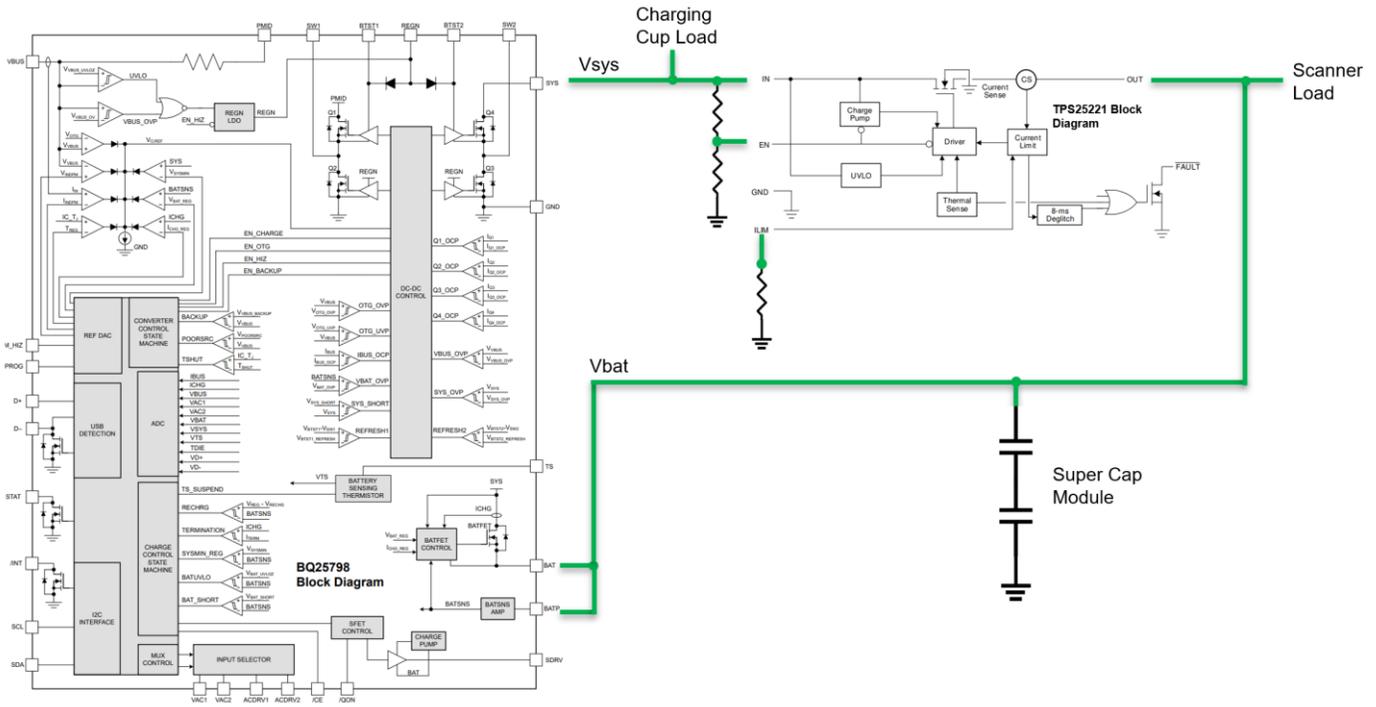


Figure 5. 超级电容充电方式

2.3 充电模式切换

如上文所述，当给锂电池充电时，BQ25798 正常工作，TPS25221 处在关闭状态。当给超级电容充电时，BQ25798 和 TPS25221 均正常工作。当我们需要给不同的储能元件提供相应的充电回路时，首先就需要判断此时接进来的储能元件是锂电池还是超级电容，本文提供一种基于 TS pin 的解决方式：

因为 super cap 不需要热敏电阻而锂电池需要热敏电阻来判断是否工作正常，下图为 datasheet 中有关 TS pin 外围电路的接法。

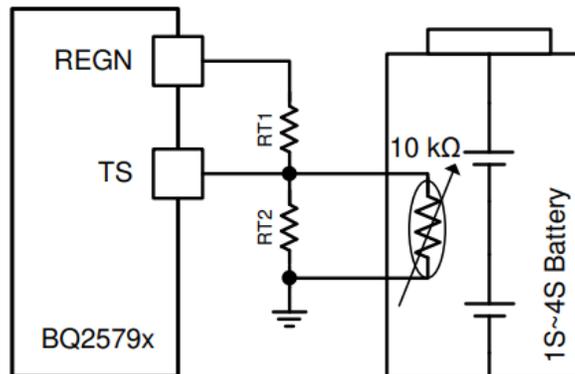


Figure 6. TS 外围电路接法

当锂电池在位时，锂电池内部的热敏电阻和外部的 R1, R2 在 TS pin 处产生一个随温度变化的电压，假设客户目前使用的是 103AT NTC 热敏电阻，根据 JEITA guideline 选取 $T1=0^{\circ}\text{C}$, $T5=60^{\circ}\text{C}$ 通过 datasheet 中的计算公式可以计算出 $RT1=5.24\text{k}\Omega$, $RT2=31.31\text{k}\Omega$ 。当锂电池的温度变化时，通过测量 TS pin 的电压即可知道锂电池的温度，同样也可以依此来判断锂电池是否在位。

当超级电容在位时，由于并没有热敏电阻存在，所以可以近似认为热敏电阻开路，阻值非常大，查阅 103AT NTC 的规格表，可以认为此时温度非常低，低于 $T1=0^{\circ}\text{C}$ 所以此时充电会停止。但是此时实际情况是超级电容在位，通过将这里的温度信息和整机测量的温度信息做对比，如果整机的温度信息正常，就需要 MCU 通过 I2C 配置 REG18 bit 0[TS_IGNORE]=1 来忽略掉 charger 的 TS pin 的信息。从而实现通过 TS pin 的信号来判断是锂电池还是超级电容。

另外，判断出储能元件之后，仍需要对 TPS25221 进行控制，TPS25221 自带 EN pin，所以可以通过在 EN pin 和 GND 之间并联一个 N 沟道 MOSFET，门级信号来自于 MCU，当 MCU 判断出此时是锂电池在位时，GPIO 口输出低电平，MOSFET 关断，EN 电压由 Vsys 分压得到，处在高电平位置。

当 MCU 判断出此时是超级电容在位时，GPIO 口输出高电平，MOSFET 导通，EN 电压经过 MOSFET 直连到地，处在低电平位置，从而控制 TPS25221 的导通。

需要注意的是在超级电容在位情况下，当进入恒压充电时，需要主动关闭 TPS25221，此时可以通过 BQ25798 的 REG3B_VBAT_ADC 来得知此时的电压值，当电压到达 VREG 的配置值之后，就通过 GPIO 输出低电平信号来关断 TPS25221。

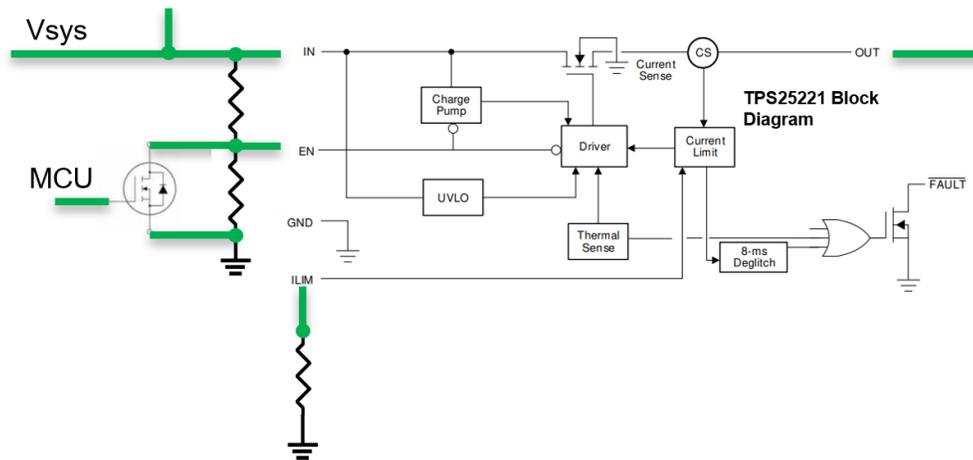


Figure 7. TPS25221 控制方法

3 测试波形

使用 BQ2598EVM 和 TPS25221EVM 搭建硬件测试平台，BQ25798 是专门的锂电池充电 charger 所以波形不再进行分析，主要对 BQ25798+TPS25221 给超级电容充电来进行分析。硬件测试平台如下图所示。

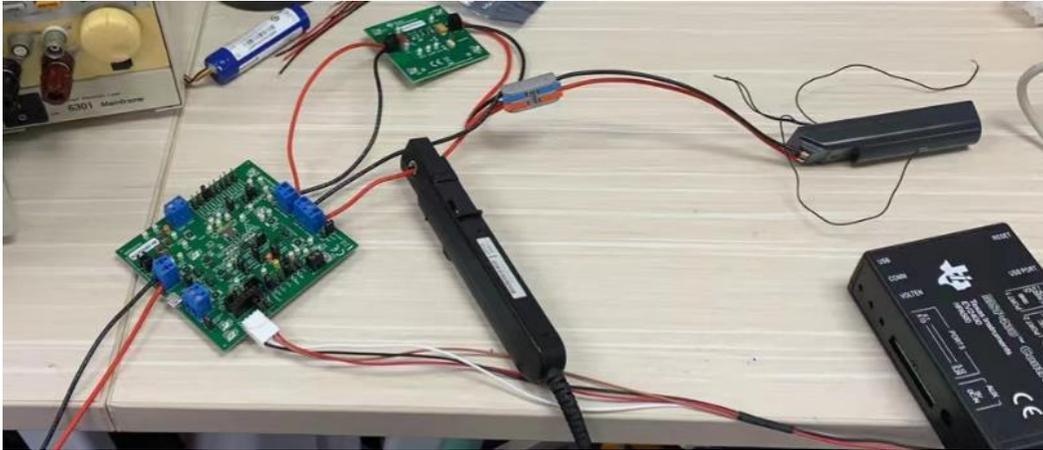


Figure 8. BQ25798+TPS25221 硬件测试平台

3.1 超级电容充电

测试条件 $V_{bus}=5V$ ，负载为两节超级电容串联，满充电电压为 $5V$ 。配置 TPS25221 电流的上限为 $300mA$ ($R_{limit}=190k\Omega$)，BQ25798 的 BAT 管脚充电电流为 $500mA$ ， V_{sysmin} 设置为 $2.5V$ ，VREG 设置为 $5.1V$ ， V_{bat_lowv} 设置为 15% 的 VREG，pre_charge 电流设置为 $400mA$ ，充电中止电流为 $200mA$ 。在上述条件下，BQ25798+TPS25221 的测试波形如下图所示：



Figure 9. BQ25798+TPS25221 测试波形

CH1 黄色表示 V_{sys} 电压，CH2 V_{bat} 表示超级电容的电压，CH4 绿色表示的是最终流入超级电容里的电流，按图中所示，可以分为四个阶段：

- 1) Stage 1: 超级电容现在是 0V 状态，TPS25221 处于关闭状态， V_{sys} 处于配置的最低电压值 2.5V，BQ25798 处于关闭状态，并没有给超级电容充电。
- 2) Stage 2: 开启 BQ25798 和 TPS25221， I_{chg} 检测到充电电流大约为 400mA 左右，和理论值相符。 $(300mA+100mA)$ 。此时超级电容的电压从 0V 开始上升，BQ25798 处在 trickle charge 状态，只能提供 100mA 电流，TPS25221 提供 300mA 电流。需要注意此时 TPS25221 V_{in} 和 V_{out} 两端承受较大压降，可能会出现 thermal shutdown。
- 3) Stage 3: 当超级电容的电压达到 2.5V 时，进入 Stage 3。上文提到 V_{bat_lowv} 配置为 15% 的 VREG 也就是 $5.1V \times 0.15 = 0.765V$ ，证明 BQ25798 认为 2.5V 电压已经进入 fast charge 模式，如图 7 所示此时充电电流大约为 800mA，其中 300mA 仍由 TPS25221 限流提供，500mA 由 BQ25798 的 BAT 管脚提供。此时 V_{sys} 电压会随着 V_{bat} 电压的升高而不断提高。
- 4) Stage 4: 当 V_{bat} 电压达到设置的 VREG 之后，充电状态从恒流模式进入恒压模式，此时关闭 TPS25221，充电电流不断下降，直至降低到 term current 200mA，充电过程结束。

4 参考文献

1. BQ25798 Datasheet (SLUSDV2A)
2. TPS25221 Datasheet (SLVS3T3D)

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司