

多协议移动电源的实现

Your Name Goes Here (Optional)

Your department/group name goes here

概述

随着智能设备的发展，设备本身的电池容量逐渐增大，标准的 USB2.0 充电标准 (5V/0.5A) 早已无法满足需要。USB IF 在 2010 年推出 BC1.2 标准(5V/1.5A)，并在 2015 发布 USB-C 接口，提供了更多充电电压/电流标准。

本文介绍了一款移动电源的实现，该方案被设计为支持这些新的充电标准，以满足不同设备的充电需求。

Document History

Version	Date	Author	Notes
0.2	Jan.4 2017	Nan Jiang, Yingyang Ou	First release
0.2.4	Mar.9 2017	Nan Jiang, Yingyang Ou	

Contents

1	充电标准	4
2	多标准支持的实现	5
2.1	BC1.2 支持的实现	5
2.1.1	获得主设备 BC1.2 信息.....	5
2.1.2	对外提供自身 BC1.2 支持信息	6
2.1.3	输入输出切换	7
2.2	USB-C 及 PD 新特性支持	7
2.2.1	标准 USB-C 支持	7
2.2.2	PD 支持	8
2.3	非标准设备的支持	8
3	硬件系统	8
3.1	系统简介	8
3.1.1	PD 协议控制器	8
3.1.2	电池充/放电控制器	9
3.1.3	主控 MCU	11
3.2	PCBA 组件	11
4	软件系统	12
4.1	软件结构	12
4.2	软件实现	13
4.2.1	传统充电协议与 USB C 充电协议实现软件上兼容	13
4.2.2	标准 USB C 充电协议与 PD 方式在软件上的兼容	13
4.2.3	多协议兼容充电流程.....	14
4.2.4	系统流程图	14
5	设计要求	15
5.1	Type-C 端口放电/充电.....	15
•	PD @5V/9V/15V/12V/20V	15
•	Type-c @5v	15
•	BC 1.2.....	15
•	Legacy USB @5v.....	15
5.2	Type-A 端口放电.....	15
•	BC 1.2.....	15

• Legacy USB @5v	15
6 功能测试.....	16
6.1 20v/2.25A 充电	16
6.2 12v/3A 充电	16
6.3 5v/3A 充电.....	17
参考资料.....	17

Figures

Figure 1 - Bq24392 系统框图	5
Figure 2 - Bq24392 输入检测表.....	6
Figure 3 - TPS2514A 工作模式	6
Figure 4 - BC1.2 输入输出切换电路.....	7
Figure 5 – PD 协议支持	8
Figure 6 - PD 协议控制器原理图.....	9
Figure 7 - BQ257XX 相关电路图	10
Figure 8 – 移动电源系统框图.....	11
Figure 9 – PCBA 组件	12

Tables

Table 1. 常见充电技术规格.....	4
------------------------	---

1 充电标准

拿手机来说，目前主流的智能手机内置电池容量已经接近 4000mAh。相应的，作为手机配件的移动电源的容量也与日俱增，10000mAh—20000mAh 的移动电源已经是市场上的主流产品。针对于这些越来越大的电池容量，市场对于这些移动设备的充电速度提出了新的要求。

2010 年，USB IF 推出了专门针对于移动设备的充电技术规范 BC1.2，将移动设备的允许充电电流提升至 1.5A，并定义了多种充电模式，如 SDP (Standard downstream port)，CDP (Charging downstream port)，DCP (Dedicated charging port) 等。

USB IF 于 2015 年发布了新一代的 USB 接口规范，包括新一代的 USB C 接口以及 PD (Power Delivery) 快充技术。

在 BC1.2 之外，各大移动设备制造商也有定义了各自不同的快速充电模式。比如有通过升高 VBUS 上的充电电压或者大幅增加 VBUS 上的充电电流来达到提升充电功率的目的。

表一给出了各种常见充电技术的规格。

Table 1. 常见充电技术规格

充电协议	VBUS 电压	最大充电电流 (A)
BC1.2	5V	1.5A
Divider Mode	5V	2.4A
USB C non-PD	5V	3A
USB C PD	可调，最大 20V	5A

对于一个 USB C 移动电源来说，既要能支持最新的 USB C 的充电协议，又能兼容传统主流的充电方式的。满足这个设计要求显得尤为重要。

2 多标准支持的实现

2.1 BC1.2 支持的实现

BC1.2 的充电协议是通过 D+/D-信号线来完成，对于移动电源来讲,在作为主设备给外部放电时需要能够通过 D+/D-通报自身的 BC1.2 信息；而作为从设备时，需要能够从 D+/D-上读取到主设备的 BC1.2 信息，从而选择合适的充放电参数。

2.1.1 获得主设备 BC1.2 信息

德州仪器推出的 Bq24392 是一颗独立的用于输入充电协议检测的芯片，它能够通过检测与它相连的 D+/D-上的状态来自动识别出所接设备的类型，从而通过 3 个输出 IO 口通知主控的 MCU。主控的 MCU 不需要与 Bq24392 进行任何的数据通信，只需要读取连接到 MCU 的外部 IO 口的状态，根据图 3 的列表即可以知道主设备的 BC1.2 信息。图 2 是它的系统框图。图 3 列出了它能检测出的输入类型。

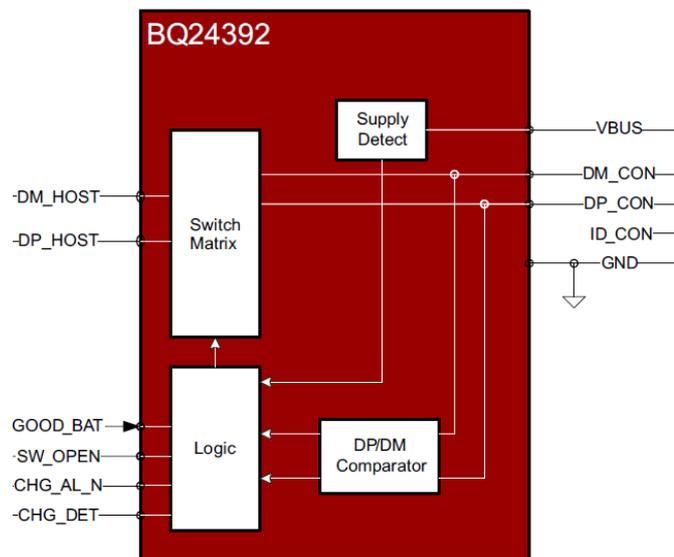


Figure 1 - Bq24392 系统框图

Device Type	V _{BUS}	DP_CON (D+)	DM_CON (D-)	GOOD_BAT (Input)	CHG_AL_N (Output)	CHG_DET (Output)	SW_OPEN (Output)	Switch Status	Charge Current
Standard Downstream Port	> 3.5 V	Pull-down R to GND	Pull-down R to GND	HIGH	LOW	LOW	LOW	Connected	Charge with 100 mA/ Change the input current based on enumeration
				LOW	LOW	LOW	High-Z	Not Connected	Charge with 100 mA
Charging Downstream Port	> 3.5 V	Pull-down R to GND	V _{DM_SRC}	HIGH	LOW	HIGH	LOW	Connected	Charge with full current
				LOW	LOW	HIGH	High-Z	Not Connected	Charge with 100 mA
Dedicated Charging Port	> 3.5 V	Short to D-	Short to D+	X	LOW	HIGH	High-Z	Not Connected	Charge with full current
Apple Charger	> 3.5 V	$2.0 < V_{DP_CON} < 2.8$	$2.0 < V_{DM_CON} < 2.8$	X	LOW	HIGH	High-Z	Not Connected	Charge with full current
TomTom Charger	> 3.5 V	$2.0 < V_{DP_CON} < 3.1$	$2.0 < V_{DM_CON} < 3.1$	X	LOW	HIGH	High-Z	Not Connected	Charge with full current
PS/2 Charger	> 3.5 V	Pull-up R to V _{BUS}	Pull-up R to V _{BUS}	X	LOW	LOW	High-Z	Not Connected	Charge with 100 mA
Non-compliant USB Charger	> 3.5 V	Open	Open	X	LOW	LOW	High-Z	Not Connected	Charge with 100 mA
Any Device	< 3.5 V	Open	Open	X	High-Z	LOW	High-Z	Not Connected	No Charge
Any Device DBP Timer Expired	> 3.5 V	X	X	LOW	High-Z	LOW	High-Z	Not Connected	No Charge

Figure 2 - Bq24392 输入检测表

2.1.2 对外提供自身 BC1.2 支持信息

当移动电源作为主设备用于输出时，同样也需要一个用于输出充电方式广播的芯片。本设计中采用了 TPS2514A。TPS2514A 是一颗 USB 专用充电端口 (DCP) 控制器，用于为大多数常见手机和平板电脑充电，它能自动监控 USB 数据线路电压，并在数据线路上自动提供正确的电气特征，以便对外部的设备广播正确的电流。它支持三种模式：

分压器 3 模式，支持最大 2.4A 的输出电流。

BC1.2 短接模式，支持最大 1.5A 的输出电流。

1.2V 模式，支持最大 2.1A 的输出电流。

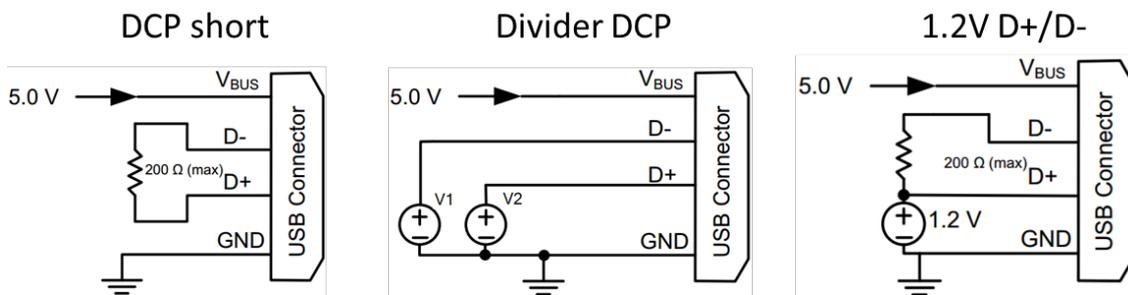


Figure 3 - TPS2514A 工作模式

2.1.3 输入输出切换

鉴于输入检测与输出广播都需要用到 USB C 上的同一对 D+/D-,需要在移动电源作为不同工作模式的时候把不同的器件接到这一对 D+/D-上。移动电源作为主设备时,需要把 TPS2514A 连接到 D+/D-上,相应的移动电源作为从设备时,Bq24392 需要连接到 D+/D-上。图 4 给出具体的实现电路图,模拟开关 TS3USB221 受 MCU 的输出信号 DSG_EN 控制,来实现 D+/D-的选择。

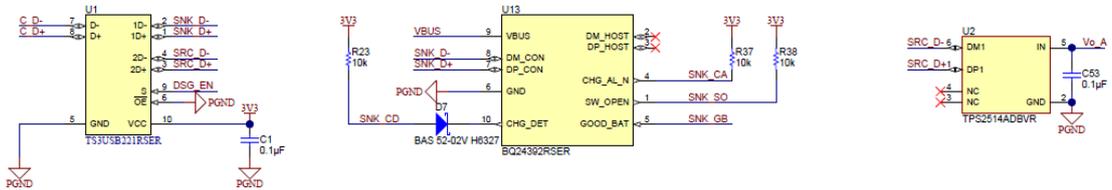


Figure 4 - BC1.2 输入输出切换电路

控制的真值表如下：

DSG_EN	0	1
USB C D+/D- to	Bq24392	TPS2514A

2.2 USB-C 及 PD 新特性支持

2.2.1 标准 USB-C 支持

USB -C 接口相比于传统的 USB -A 与 USB -B 接口,它能处理的电流能力更强,传输的数据速率更快。标准 USB -C 接口采用的充电协议需要利用此接口中新定义的数据线 CC,依据 CC 线上的电压来进行判断。标准的 USB-C 接口,不采用 PD 充电协议,它默认也能支持 5V/1.5A 或 5V/3A 的充电规格,基本上可以媲美市面上常见的快充技术。

2.2.2 PD 支持

为了满足移动设备更大的充电需求，可以在 USB -C 接口上通过对 PD 协议的支持来实现。与上述标准 USB-C 不同，PD 的充电协议则是在 CC 线上传送数据包来完成双方协议通信。配合 PD 技术，USB C 接口可以处理最大达到 20V5A 的充电功率，这样可以满足现有的所有移动设备的充电需求，包括笔记本，智能手机以及其他的移动终端。而要实现 USB-C 对 PD 的支持，一般都会需要有一颗专门的 PD 控制器来实现 PD 协议的通信。

在移动电源的系统内部，专用的 PD 控制器会连接 USB C 接口中的 CC1 和 CC2，通过 CC1/CC2 与外部的 USB C PD 设备进行通信。PD 控制器会将接收到的 PD 数据包识别出来，记录在相应的寄存器上，并通知单片机。当主控单片机通过 I2C 或者 SMBus 访问 PD 控制器时就能读取到与外部 PD 设备的通信结果，再根据 PD 的协议约定进行相应的处理。

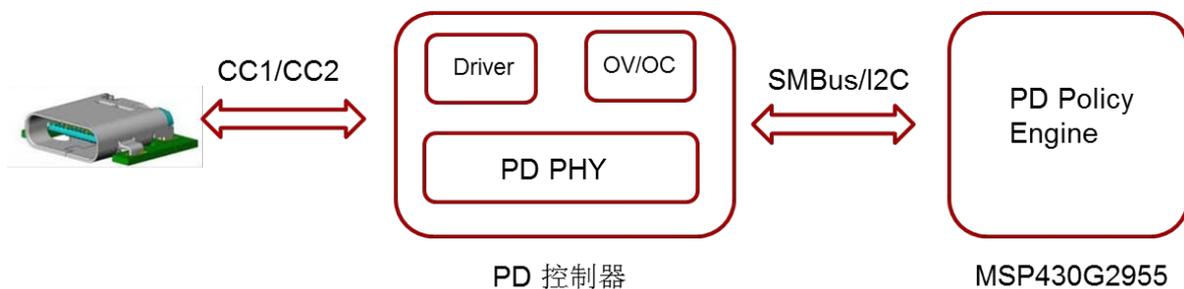


Figure 5 – PD 协议支持

2.3 非标准设备的支持

除了 USB 组织制定的充电标准，其他厂家也推出了一系列充电标准如 APPLE, TOMTOM 等，对于这些充电器的支持需要依靠 BQ24392 来实现。对于其他未能识别的充电器，则固定使用 5v/500mA 的默认参数充电。

3 硬件系统

3.1 系统简介

3.1.1 PD 协议控制器

如下图所示，设计采用德州仪器生产的集成 USB-C PD 控制器(TCPC)TPS2572x,该芯片集成了 USB-C PD 所需要的各种特性：

- 最新的 USB C PD3.0 协议所需的物理层支持

- 多路内置的高压驱动，可以在 VBUS 电压 20V 时直接驱动外置的 MOSFET
- 集成的快速过压，过流，ESD 保护
- <10uA 的超低待机电流

同时，TPS2572x 也集成了对标准 USB C 充电协议的支持。通过 MSP430G2955 单片机能自动处理 PD 协议或者标准的 USB C 协议。下图是该 PD 协议控制器的相关电路图。

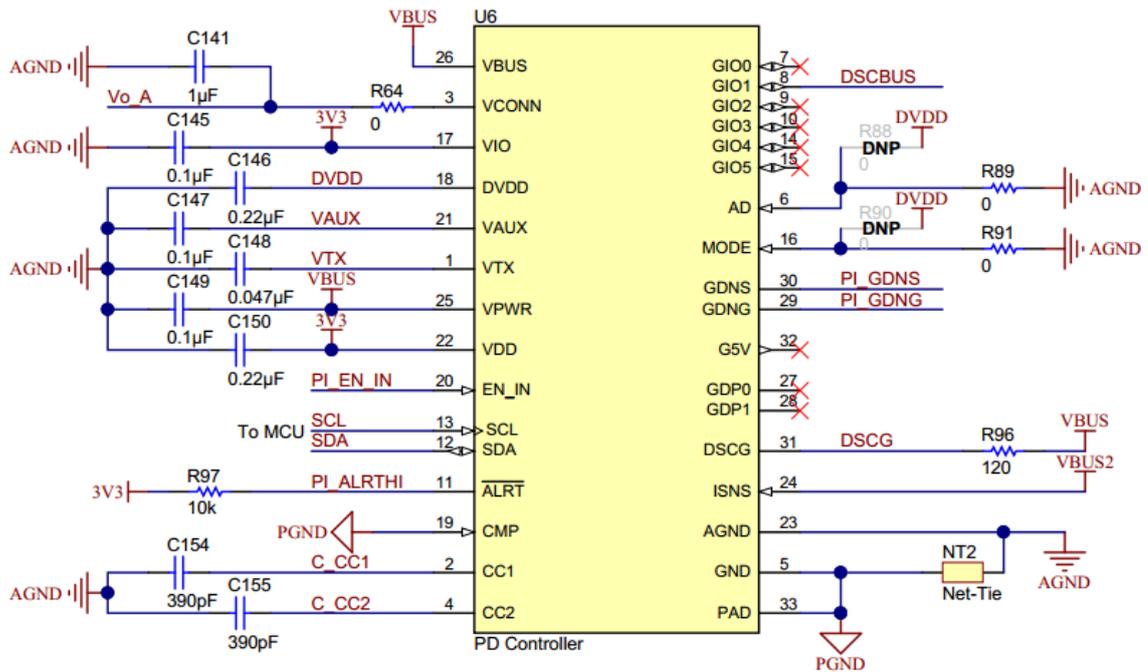


Figure 6 - PD 协议控制器原理图

3.1.2 电池充/放电控制器

因为 USB C PD 有多种输入电压，分别为 5/9/12/15/20V，而本设计中采用的为 3 节电池包结构，为了实现 USB PD 全输入电压范围的支持，功率级采用 buck-boost 的拓扑，采用 BQ2570x 作为控制芯片，如下图所示

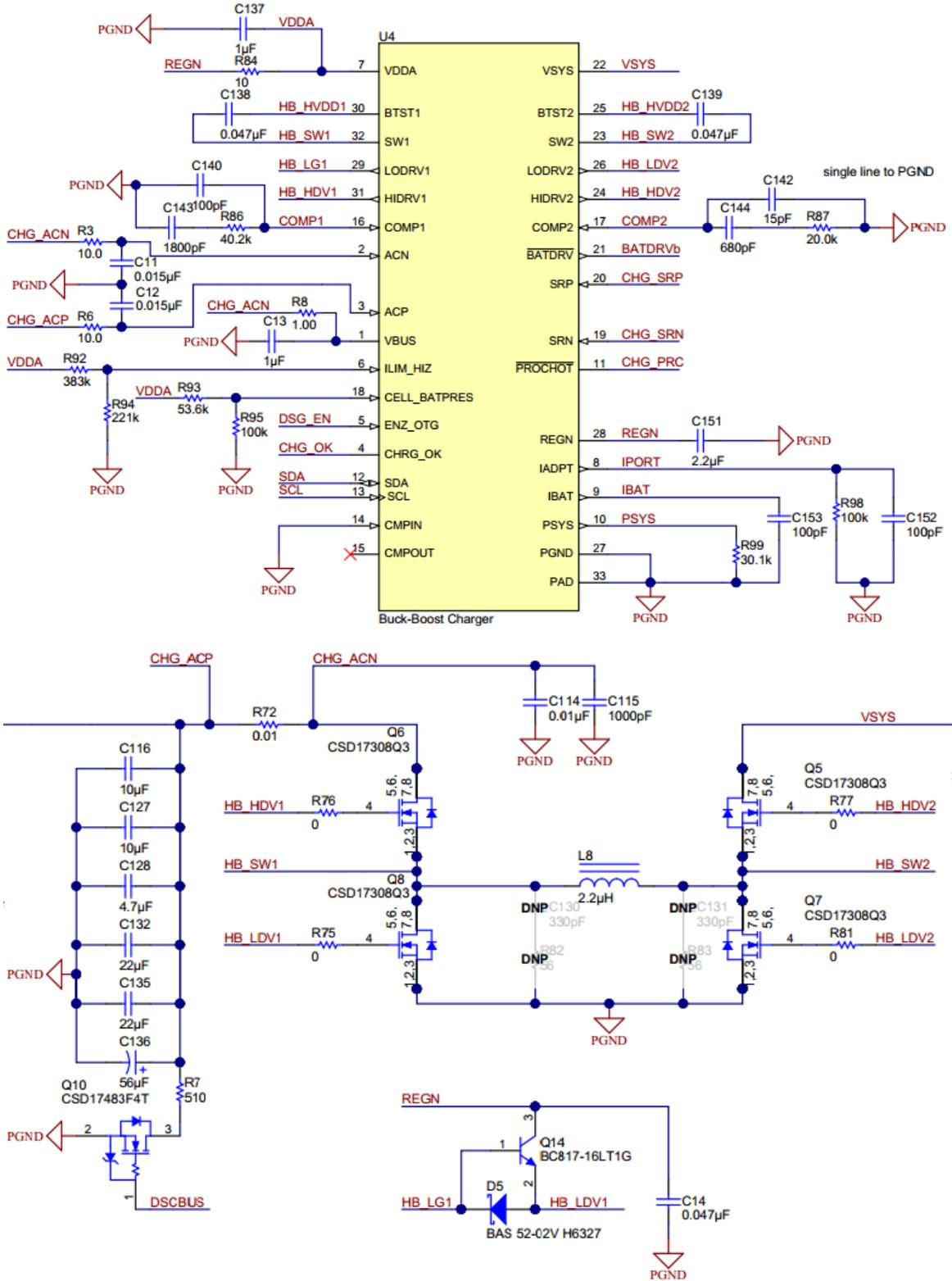


Figure 7 - BQ257XX 相关电路图

BQ2570x 是德州仪器新一代的集成双向锂电池充电管理芯片，特别适用于 USB C PD 的应用，它具有：

- 3.5-24V 的宽输入电压范围覆盖 USB C PD 的所有电压选项
- 支持功率的双向流动，用一套功率器件实现输入或者输出
- 1-4 节电芯支持各种功率应用
- 集成高压驱动与过压过流保护

BQ2570x 同样是受单片机 MSP430G2955 的控制，通过单片机对 BQ2570x 进行配置，实现不同的充放电参数。

3.1.3 主控 MCU

主控单片机能够读取 PD 控制器的接口信息，根据 PD 协议决定系统的工作模式与工作参数，从而进一步来配置双向锂电池充电管理芯片来实现整个系统的功能。

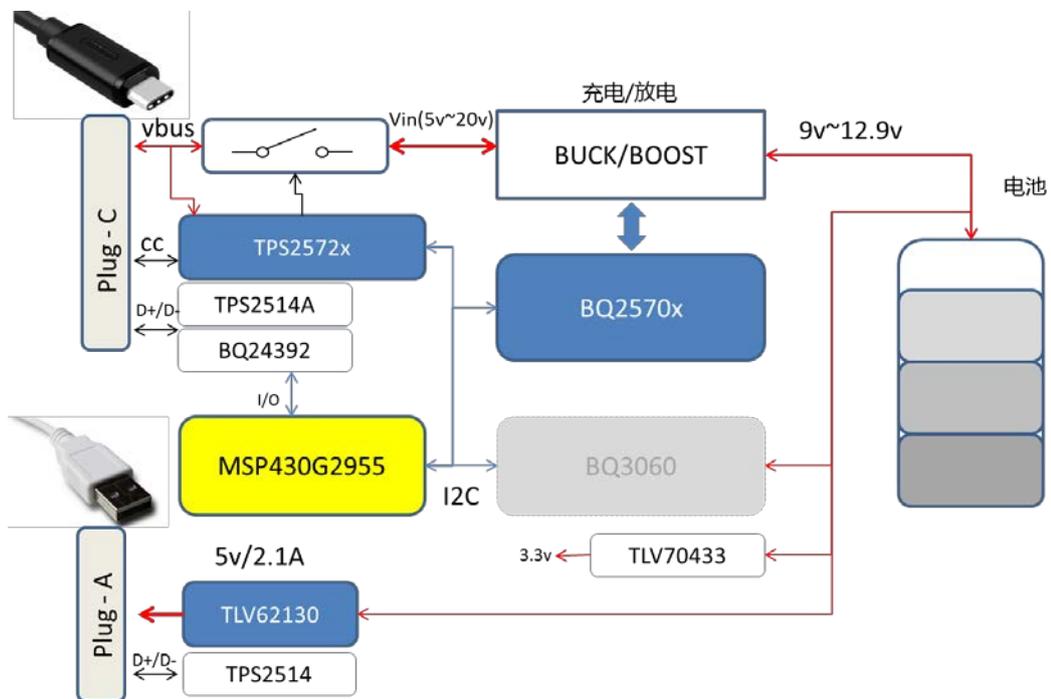


Figure 8 – 移动电源系统框图

3.2 PCBA 组件

如下图,该设计提供了下列接口：

- USB Type-A 仅对外供电

- USB Type-C 双向电源端口
- 调试接口
- 按键 S1，用户开关
- LED0 ~ LED4，电量显示，状态显示

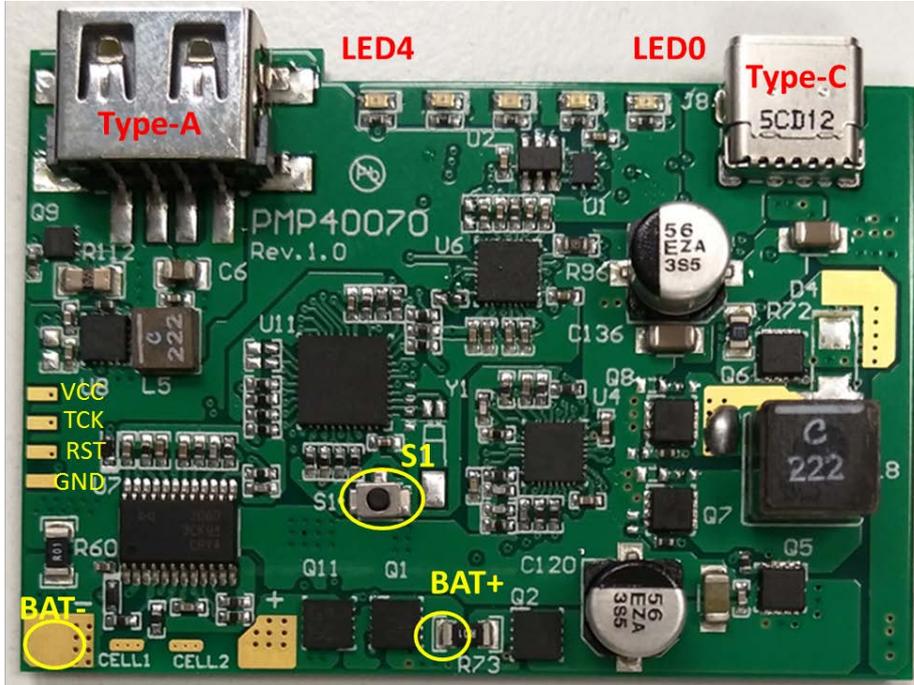


Figure 9 – PCBA 组件

4 软件系统

4.1 软件结构

如下图所示，本方案代码由用户代码，PD 协议栈以及相应的硬件驱动构成。其中 PD 协议栈是此方案中最重要的部分，负责 PD 协议实现，完成诸如握手，沟通电压/电流，电压电流监控保护等任务。用户代码需要配置协议栈，也需要针对应用的特点对 PD 协议栈进行少量调整。同时，用户代码也要实现移动电源的所有功能，如充电，放电，人机界面等。



Figure 10 - 软件结构

4.2 软件实现

用户代码需要实现移动电源的规格要求，在真正的产品中这些规格会有所不同。但为了实现多个充电协议的支持，用户代码部分的实现必须做到以下要求：

- 传统充电协议与 USB C 充电协议实现软件上兼容
- 标准 USB C 充电协议的与 PD 方式在软件上的兼容

4.2.1 传统充电协议与 USB C 充电协议实现软件上兼容

前面已经介绍过，传统充电协议如 BC1.2 主要使用 D+/D-判断充电电流，而 USB-C 协议使用 CC 线判断充电电流。硬件在设计时已经就位，软件实现中需要考虑充电和放电两种情况：对外放电时需要通告自己的电流能力；对自身充电时需要获得供电方的电流能力。这样才能正确配置 BQ2570x 进行放电/充电工作。

4.2.2 标准 USB C 充电协议与 PD 方式在软件上的兼容

USB C 接口既可以通过 CC 线上的上/下拉电阻来确定自身的电流大小及电流方向 (标准 USB C)，也可以通过在 CC 线上的通信来确定电流/电压的大小 (USB-C PD)。这两种方式可能也会同时存在，故在实际移动电源应用中，软件需要去获得 USB C 口的两种充电能力，选择最大功率参数给自己充电，或者以对方需要的最大功率供电。

4.2.3 多协议兼容充电流程

下图给出了简要的充电流程。放电时需要通告自身的供电能力，因为移动电源自身的供电能力在设计时已经确定，处理较简单。若对方支持 PD，则通过 CC 通信告知；若对方仅支持标准 USB C，则通过 CC 电阻告知；若对方只支持 BC1.2 则通过 TPS2514A 告知；若对方什么都不支持，则我们按照默认 5V/500mA 的方式供电以兼容非标准设备。

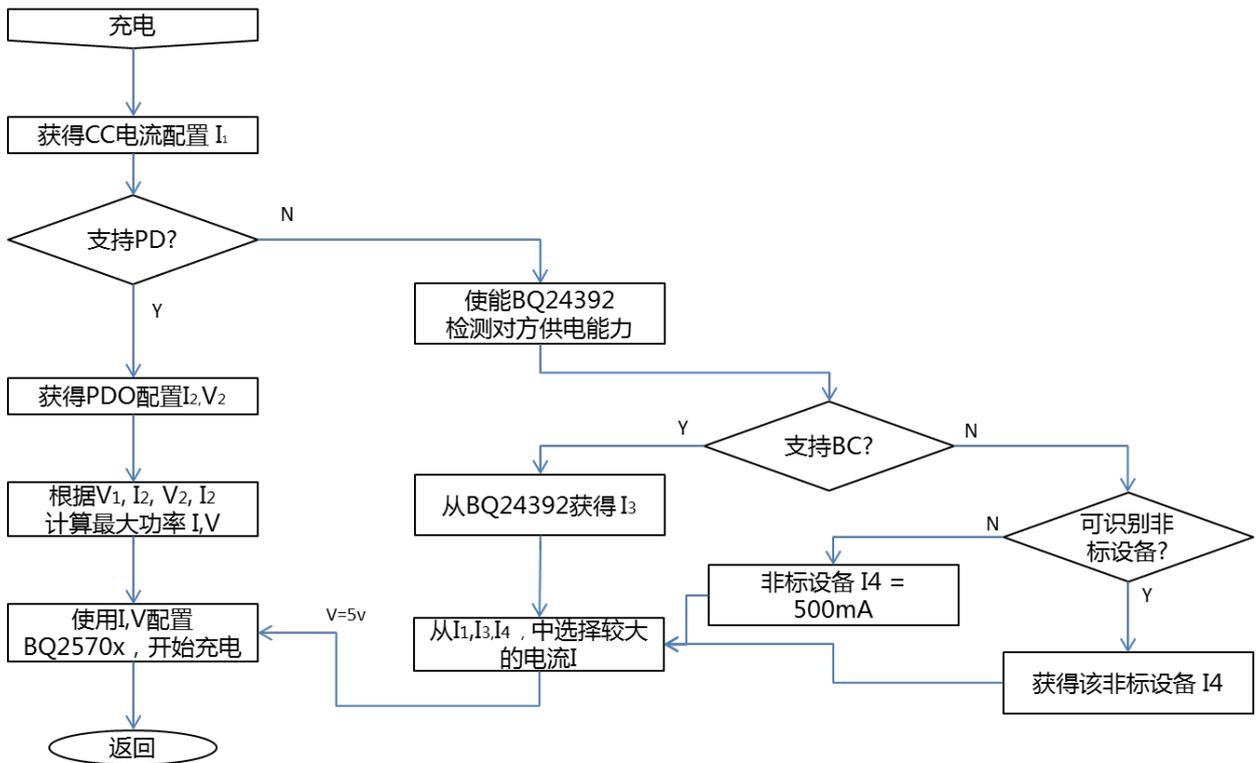


Figure 11 - 充电流程

4.2.4 系统流程图

PD 协议栈部分过于复杂，本文不介绍 PD 协议栈的实现，德州仪器已经推出基于 MSP430 家族单片机的 PD 协议栈，需要了解的可以参考相关使用文档和 USB 的相关协议规范。

下图给出从系统层次给出代码实现的整体流程，供读者参考。在图中，椭圆形图形代表 PD 协议栈中的状态，从两设备开始握手，到主从设备识别，到供电参数确认，再到充电/放电就绪等。应用代码被穿插在这些状态中，以满足自身的功能要求。

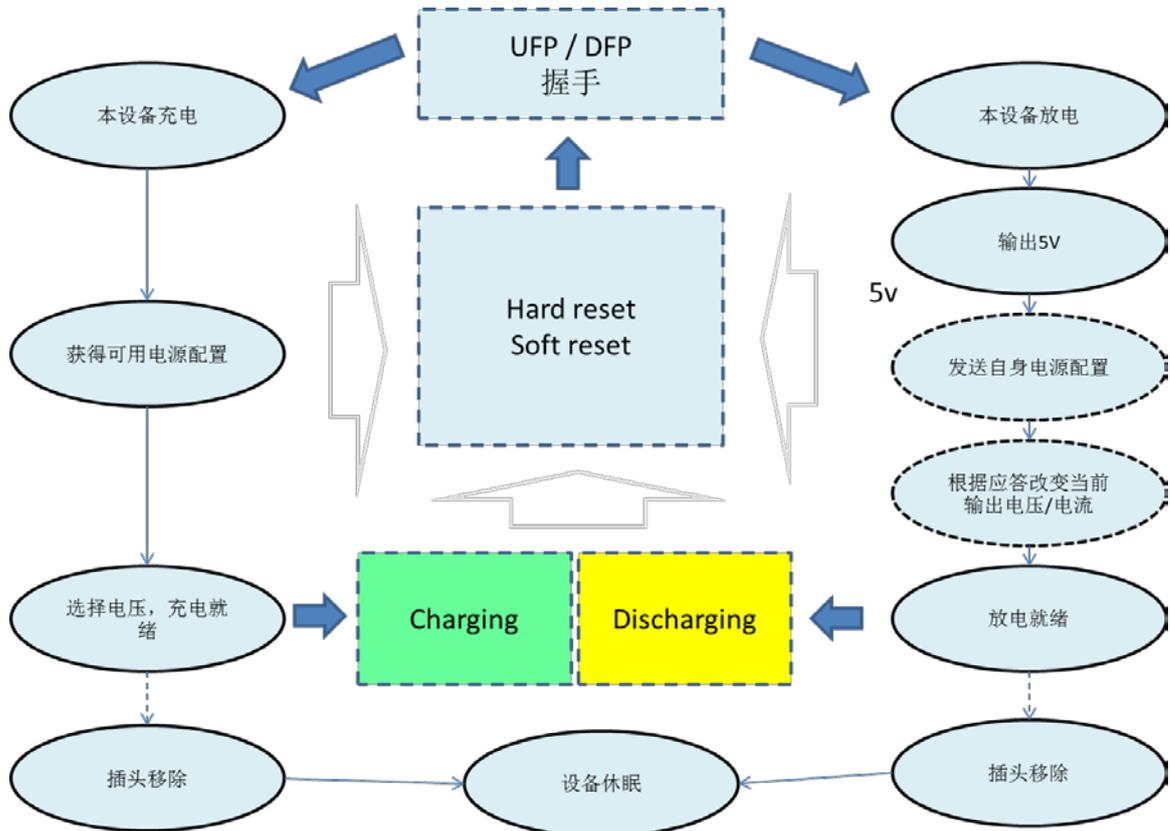


Figure 12 – 系统流程图

5 设计要求

本设计支持 Type-A 及 Type-C 双接口，Type-C 接口支持多种电压/电流充电规格。

5.1 Type-C 端口放电/充电

- *PD @5V/9V/15V/12V/20V*
- *Type-c @5v*
- *BC 1.2*
- *Legacy USB @5v*

5.2 Type-A 端口放电

- *BC 1.2*
- *Legacy USB @5v*

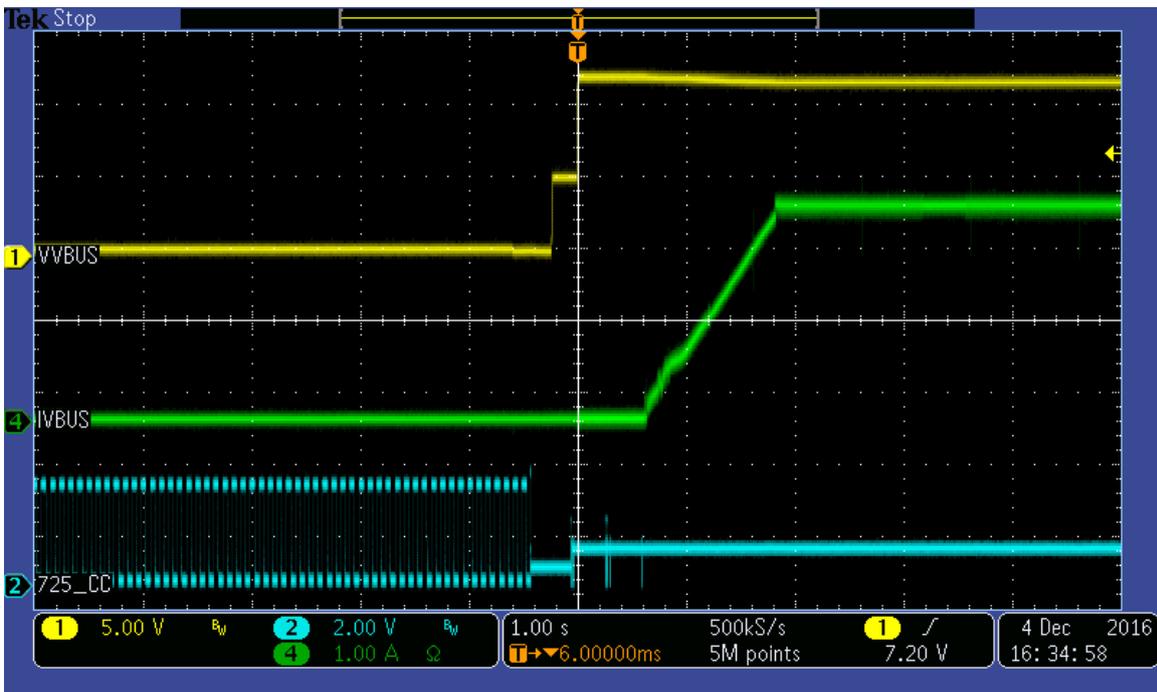
6 功能测试

本设计经过多个充电器测试以及用电设备的测试，能够正确供电及充电。下面给出一些与市面上能见到的充电器测试的测试波形。

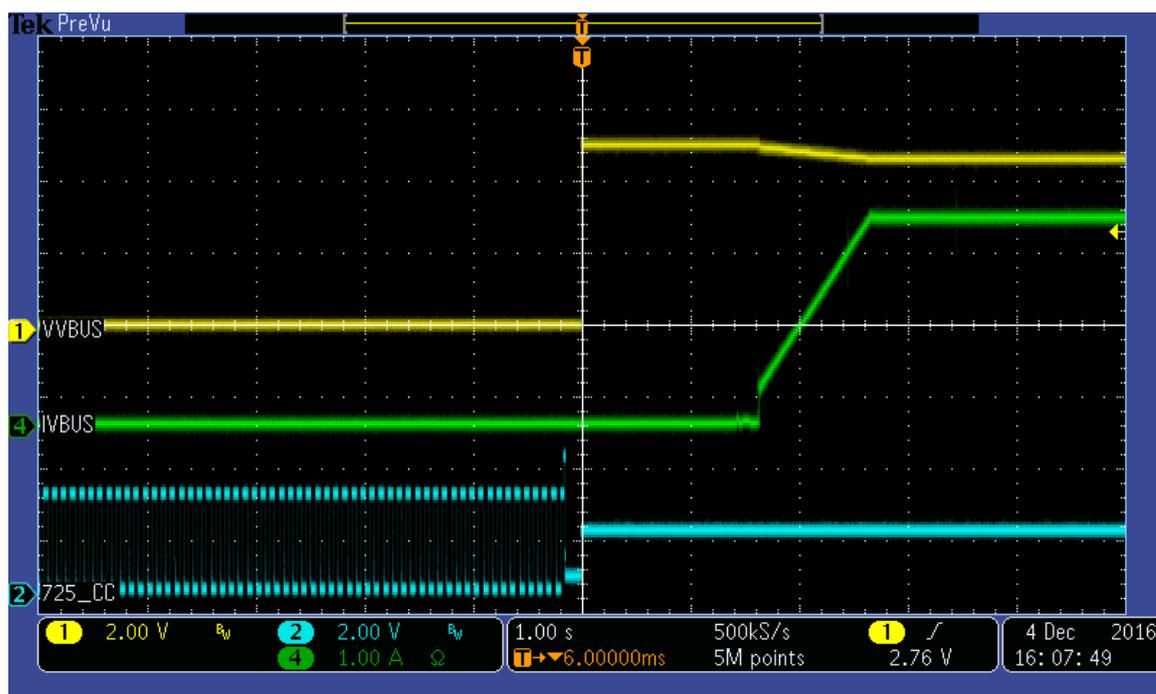
6.1 20v/2.25A 充电



6.2 12v/3A 充电



6.3 5v/3A 充电



参考资料

1. *MSP430x2xx User's Guide (SLAU144J)*
2. *Battery Charging Specification Revision 1.2*
3. *Universal Serial Bus Type-C Cable and Connector Specification Revision 1.1*
4. *USB Power Delivery Library Users Guide*

有关 TI 设计信息和资源的重要通知

德州仪器 (TI) 公司提供的技术、应用或其他设计建议、服务或信息，包括但不限于与评估模块有关的参考设计和材料（总称“TI 资源”），旨在帮助设计人员开发整合了 TI 产品的应用；如果您（个人，或如果是代表贵公司，则为贵公司）以任何方式下载、访问或使用了任何特定的 TI 资源，即表示贵方同意仅为该等目标，按照本通知的条款进行使用。

TI 所提供的 TI 资源，并未扩大或以其他方式修改 TI 对 TI 产品的公开适用的质保及质保免责声明；也未导致 TI 承担任何额外的义务或责任。TI 有权对其 TI 资源进行纠正、增强、改进和其他修改。

您理解并同意，在设计应用时应自行实施独立的分析、评价和判断，且应全权负责并确保应用的安全性，以及您的应用（包括应用中使用的 TI 产品）应符合所有适用的法律法规及其他相关要求。您就您的应用声明，您具备制订和实施下列保障措施所需的一切必要专业知识，能够 (1) 预见故障的危险后果，(2) 监视故障及其后果，以及 (3) 降低可能导致危险的故障几率并采取适当措施。您同意，在使用或分发包含 TI 产品的任何应用前，您将彻底测试该等应用和该等应用所用 TI 产品的功能。除特定 TI 资源的公开文档中明确列出的测试外，TI 未进行任何其他测试。

您只有在为开发包含该等 TI 资源所列 TI 产品的应用时，才被授权使用、复制和修改任何相关单项 TI 资源。但并未依据禁止反言原则或其他法律授予您任何 TI 知识产权的任何其他明示或默示的许可，也未授予您 TI 或第三方的任何技术或知识产权的许可，该等产权包括但不限于任何专利权、版权、屏蔽作品权或与使用 TI 产品或服务的任何整合、机器制作、流程相关的其他知识产权。涉及或参考了第三方产品或服务的信息不构成使用此类产品或服务的许可或与其相关的保证或认可。使用 TI 资源可能需要您向第三方获得对该等第三方专利或其他知识产权的许可。

TI 资源系“按原样”提供。TI 兹免除对 TI 资源及其使用作出所有其他明确或默认的保证或陈述，包括但不限于对准确性或完整性、产权保证、无复发故障保证，以及适销性、适合特定用途和不侵犯任何第三方知识产权的任何默认保证。

TI 不负责任何申索，包括但不限于因组合产品所致或与之有关的申索，也不为您辩护或赔偿，即使该等产品组合已列于 TI 资源或其他地方。对因 TI 资源或其使用引起或与之有关的任何实际的、直接的、特殊的、附带的、间接的、惩罚性的、偶发的、从属或惩戒性损害赔偿，不管 TI 是否获悉可能会产生上述损害赔偿，TI 概不负责。

您同意向 TI 及其代表全额赔偿因您不遵守本通知条款和条件而引起的任何损害、费用、损失和/或责任。

本通知适用于 TI 资源。另有其他条款适用于某些类型的材料、TI 产品和服务的使用和采购。这些条款包括但不限于适用于 TI 的半导体产品 (<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、[评估模块](http://www.ti.com/sc/docs/sampters.htm)和样品 (<http://www.ti.com/sc/docs/sampters.htm>) 的标准条款。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122
Copyright © 2017 德州仪器半导体技术（上海）有限公司