

基于 TPS65988DJ 的 PPS 功能实现以及应用

Marvin Feng

HUAWEI team

ABSTRACT

本文主要介绍了 PC 的供电系统架构以及在实际应用中可能遇到的热的问题。而 PD3.0 的 PPS 对热的改善提供了一些可能的选项。而后详细地介绍了 PPS 的功能以及使用 TPS65988DJ 对 PPS 功能的具体实现方式。

Contents

1.	PD 简介	2
2.	PD 协议沟通机制介绍	Error! Bookmark not defined.
3.	PC 应用中 Charger 的架构介绍	Error! Bookmark not defined.
4.	基于 TPS65988DJ 的 PPS 功能实现	5
5.	结论	9
6.	参考文献	10

Figures

Figure 1. Type C 口的定义	2
Figure 2. PD 供电协议沟通流程	3
Figure 3. BQ25713 典型应用电路	4
Figure 4. BQ24780S 典型应用电路	4
Figure 5. 基于 TPS65988DJ 和 BQ25713 系统框图	5
Figure 6. PPS APDO 在 Source 端的定义	6
Figure 7. Source 端 APDO 实际示例	6
Figure 8. PPS APDO 在 Sink 端的定义	6
Figure 9. PPS 的最大周期时间	6
Figure 10. Request APDO 的格式定义	7
Figure 11. TPS65988DJ 0x33 寄存器定义	7
Figure 12. Offer Priority 参数设置	8
Figure 13. Auto Negotiate Sink Min Required Power 参数设置	8
Figure 14. PPS Sink RDO parameters 参数设置	8
Figure 15. 完整的 PPS 协议沟通流程	9
Figure 16. 新 RDO 的 PPS 协议沟通流程	9

1. PD 简介

传统的 PC 会有诸多端口需求，比如 USB2.0, USB3.0, HDMI, mini DP 等等。虽然 PC 端口的数目越多会给我们的生活带来很多的便利，但是同时不同的数据线也给实际使用带来了诸多不便。所以目前 Type C 口成为了一种趋势，单口同时支持 USB2.0, USB3.0, DP，基本上涵盖了日常生活中的应用。

从 Type C 口的定义^[1]，见图 1，我们可以看到，其包含了 RX/TX 的高速 USB3.0 和 DP 数据线，D+/D- 的 USB2.0 数据线，CC1/CC2 的 PD 协议通讯管脚，以及供电系统相关的 Vbus 和 GND。为了能够得到安全稳定的可调供电电压，PC 需要通过 PD 协议来完成与 Adaptor 的沟通。本文后续着重以供电系统介绍为主，包括 PPS 的功能实现。

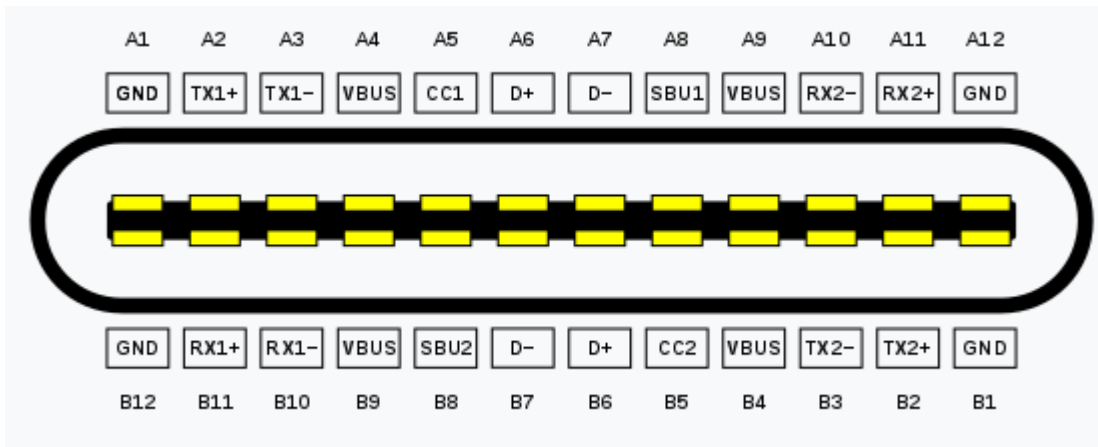


图 1, Type C 口的定义

2. PD 协议沟通机制介绍

PD 协议的供电沟通是通过 CC1/CC2 来完成的，其需要完全按照 PD 协议规定来完成相应的步骤。即首先通过 CC1/CC2 来建立连接，紧接着会有如下的沟通步骤：

- 1) Source 端发送 Source_Capabilities;
- 2) Sink 评估这些 Source_Capabilities 之后，选择一个 power level 去发出 Request Message;
- 3) Source 端评估且接受 Request，然后会发出 Accept message;
- 4) Source 会将 Vbus 转换到新的 Power level 且发出 PS_RDY 以通知 Sink 端;
- 5) Sink 端开始使用新的 Power level。

详细的沟通流程见下图 2^[2]：

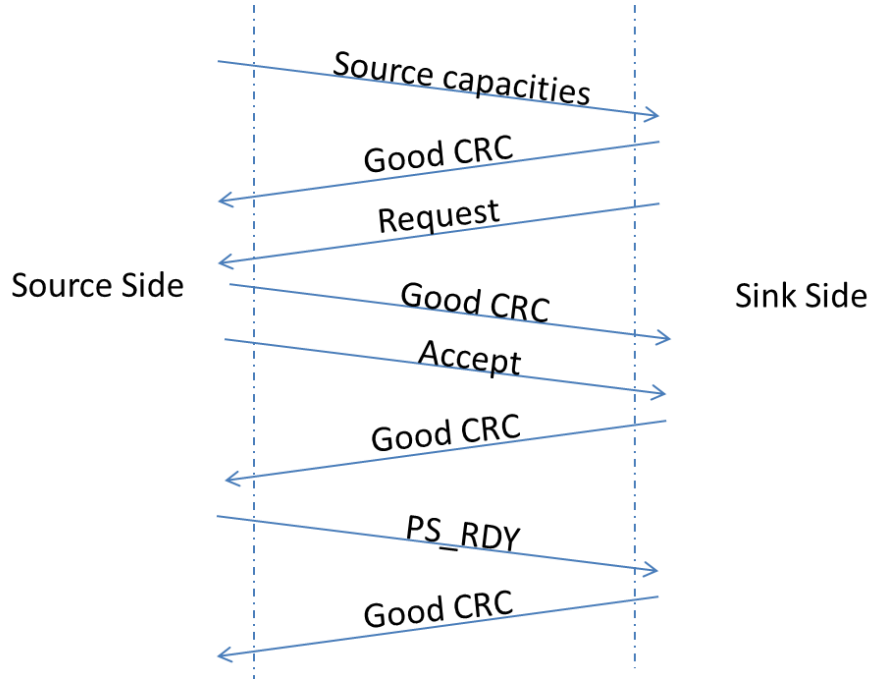


图 2, PD 供电协议沟通流程

通过以上的沟通机制，最终实现从 Source 端获得更高的功率或者供电电压。基于 PD2.0，传统的可供选择的供电电压包括：5V，9V，12V，15V，20V。PD 协议进展到目前的 PD3.0，供电从最开始的固定电压输出逐步放开到 PPS（programmable power supply）。在此过程中，最大功率依然受限于 100W，即最大供电电流不超过 5A。

基于 Type C 的固定电平供电的 PC 应用中，为了获得更高的充电功率，基本上会选择 20V/5A 的供电电源。但是随着超级本的普及，超薄，便携，成为了主流的需求。相较于传统的笔记本，超级本会更薄，超薄风扇甚至无风扇应用成为了趋势。而如果用户一边办公一边充电的话，而风扇散热不及时或者散热量有限，那么都极有可能会造成用户在触碰键盘或者笔记本外壳的时候感觉到过热的不适。所以，超级本基本上会通过增加散热材料来通过侧边或者底部来提高散热能力。但是，这不是一种解决根本问题的方案。

而对于一边办公一边充电的场景，热主要来自于 Charger。

3. PC 应用中 Charger 的架构介绍

PC 的供电系统架构主要包括 NVDC（Narrow Voltage Direct Current）和 HPB(Hybrid Power Boost) 两种架构。NVDC 主要应用在 2s 或者 3s 电池为主的超薄本系列，主要应用在功率需求相对较小的应用场景（比如：65W 以下的需求），Hybrid Power boost 主要用于 4s 电池为主的高性能本或者游戏本的应用场景（比如：一般系统功率大于 100W，甚至到 200W）。

NVDC 的系统架构主要以 buck-boost 结构为主，以 BQ25713 为例进行说明，其典型电路见下图 3^[3]。

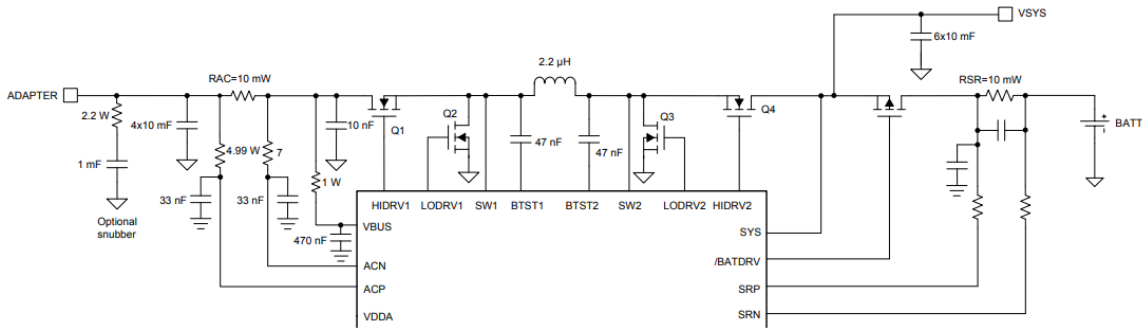


图 3, BQ25713 典型应用电路

由上面的电路，我们可以看到 Q1, Q2 以及电感构成了 Buck 电路，而由 Q3, Q4 以及电感构成了 Boost 电路。当没有 AC 插入的时候， $V_{sys}=V_{bat}$ ；一旦有 AC 插入， $V_{sys}=V_{bat}+160mV$ 。

这种结构的优势在于能够支持 $V_{bus}=5V\sim 20V$ ，而电池电压可以支持 $2s\sim 4s$ 的应用场景。也就是能完整的支持 PD 协议， $5V\sim 20V$ 供电电压，不超过 $5A$ 的最大电流。但是其劣势是在于 Charger 存在较大的系统损耗，即 Charger 器件所在的区域存在较大的热损耗。

HPB(Hybrid Power Boost)的系统架构主要以直通电路以及 Buck 电路架构构成，以 BQ24780S 为例，其典型应用电路见下图 4^[4]。

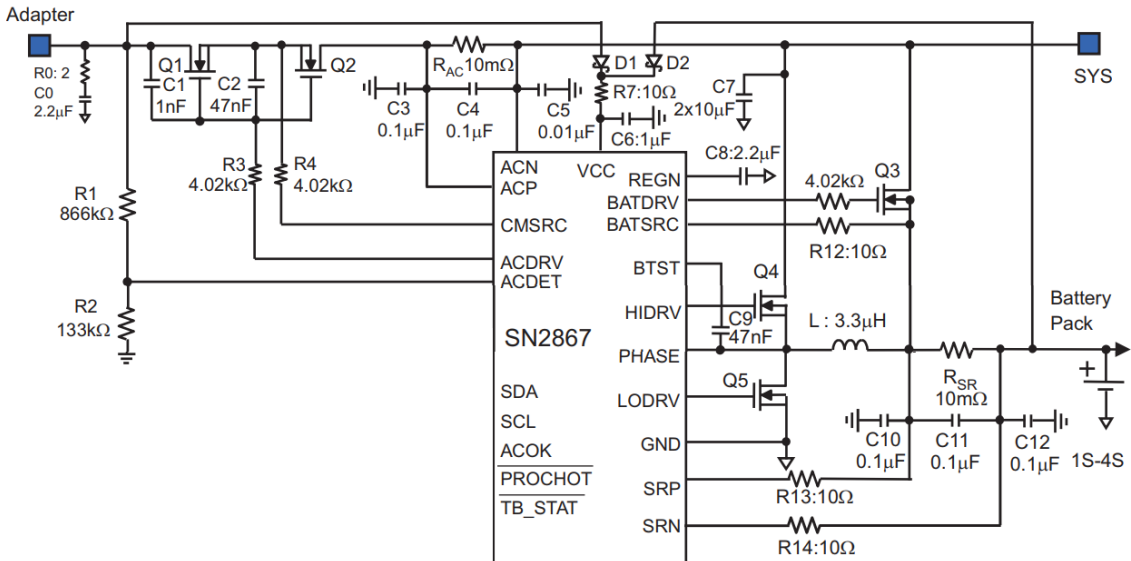


图 4, BQ24780S 典型应用电路

由上面的电路，我们可以看到 Q1, Q2 构成了 Adaptor 到 SYS 的通路，而由 Q4, Q5 和电感构成了 Buck Charger 通路。当没有 AC 插入的时候，Q3 会导通， $V_{sys}=V_{bat}$ ；一旦有 AC 插入，Q3 断开， $V_{sys}=V_{bus}$ 。

这种结构的输入电压一般用于 20V 圆孔充电应用场景，优势是 Charger 到 System 热损耗较小。对于 4s 电池充电应用有优势，而对于 2s/3s 电池应用场景，Buck Charger 热损耗会较大。另外，需要指出由于 PD 协议规定 Vbus 一定要支持 5V，所以 HPB 架构的 Buck Charger 不适用于 Type C 口的应用场景，会有一些的应用限制。

基于 NVDC 架构，以 3s 电池 ($V_{bat} = 6V \sim 13.2V$) 为典型应用场景，见图 5。从此架构图，TPS65988DJ 提供了 Vbus 到 BQ25713 的电源通路，所以这部分损耗较少，主要的热损耗来源于 BQ25713 的 Vin 到 Vsys 之间的转换。基于传统 PD2.0 的固定电压，只能从中选择最接近的 Vbus 电压来减小充电过程中可能存在的热损耗，即 Vbus 从 20V/3A 降低到 15V/3A，以进一步提高充电效率，以减小可能的热损耗。

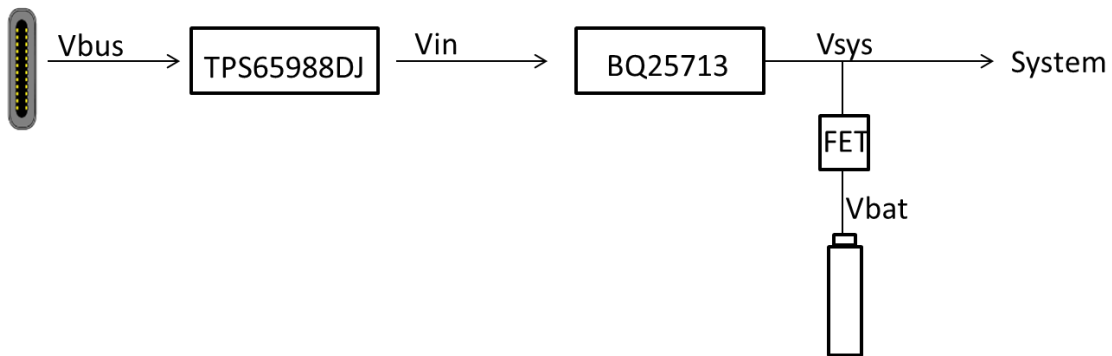


图 5，基于 TPS65988DJ 和 BQ25713 系统框图

而当前的 PPS 功能，也为可能进一步降低 Charger 输入电压或者提高充电效率提供了一种选择。比如，在三节电池的应用场景中，相对于 15V 的固定供电电压 Vbus，我们可以考虑将 Vbus 电压进一步降低到 14V 或者 13.5V 来提高充电效率。同时，也为未来直充提供了可能的选项。

4. 基于 TPS65988DJ 的 PPS 功能实现

随着 PD3.0 的成熟和推广，PC 支持 PD3.0 已经成为了一种趋势。而 PPS 作为 PD3.0 的新的功能，在传统的协议沟通基础上主要有两点变化：1) PPS 在 source 端定义和 Sink 端有了新的定义；2) Sink 端一旦识别到 Source 端支持 PPS APDO，那么需要周期性的发送 PPS APDO Request。

- 1) Source 端的定义见下图 6，bit[31:30]=11b。相对而言，传统的 Fixed Supply PDO 的 bit[31:30]为 00b，Variable Supply PDO 的 bit[31:30]为 10b，Battery Supply PDO 的 bit[31:30]为 01b。同时，还定义了最大支持电压(100mV 步进)，最小支持电压(100mV 步进)以及最大电流(50mA 步进)，详细信息见图 6^[5]：

Table 6-13 Programmable Power Supply APDO - Source

Bit(s)	Description
B31...30	11b - Augmented Power Data Object (APDO)
B29...28	00b - Programmable Power Supply 01b...11b - <i>Reserved, Shall Not</i> be used
B27	PPS Power Limited
B26...25	<i>Reserved - Shall</i> be set to zero
B24...17	Maximum Voltage in 100mV increments
B16	<i>Reserved - Shall</i> be set to zero
B15...8	Minimum Voltage in 100mV increments
B7	<i>Reserved - Shall</i> be set to zero
B6...0	Maximum Current in 50mA increments

图 6, PPS APDO 在 Source 端的定义

实际的 Source_Cap APDO 信息见图 7 的 PD Data 5, (Note: 后续所有的协议沟通记录都是基于 Total phase Data Center v6.73.007)。

[0]Source_Cap	SOP H=0x61A1 0x0801912C 0x0002D12C 0x0003C12C 0x0004B12C 0x0006412C 0xC1A41E...
BMC	0100011 000...
PD Header	MsgId=0 Msg=Source_Cap ObjCounts=6
PD Data 0	Pos=1 Type=Fixed FixedVol=5.00V MaxCur=3.00A
PD Data 1	Pos=2 Type=Fixed FixedVol=9.00V MaxCur=3.00A
PD Data 2	Pos=3 Type=Fixed FixedVol=12.00V MaxCur=3.00A
PD Data 3	Pos=4 Type=Fixed FixedVol=15.00V MaxCur=3.00A
PD Data 4	Pos=5 Type=Fixed FixedVol=20.00V MaxCur=3.00A
PD Data 5	Pos=6 Type=Augmented MinVol=3.00V MaxVol=21.00V MaxCur=3.00A

图 7, Source 端 APDO 实际示例

Sink 端 PPS APDO 的定义与 Source 端的定义是一样的, 详见下图 8^[5]。

Table 6-17 Programmable Power Supply APDO - Sink

Bit(s)	Description
B31...30	11b - Augmented Power Data Object (APDO)
B29...28	00b - Programmable Power Supply
B27...25	<i>Reserved - Shall</i> be set to zero
B24...17	Maximum Voltage in 100mV increments
B16	<i>Reserved - Shall</i> be set to zero
B15...8	Minimum Voltage in 100mV increments
B7	<i>Reserved - Shall</i> be set to zero
B6...0	Maximum Current in 50mA increments

图 8, PPS APDO 在 Sink 端的定义

2) PD3.0 针对 PPS Function 增加了一些新的应用要求, 即作为 Sink 端一旦识别出了 Source 端支持 PPS APDO, 那么 Sink 端需要至少每 10s 以内周期性的重新发出 PPS APDO Request^[6], 见图 9。

Parameter	Value (min)	Value (max)	Units	Reference
<i>TPPSRequest</i>		10	s	Section 6.6.18.1

图 9, PPS 的最大周期时间

根据 PD3.0 协议 Request 的信息见图 10，包括 Object position, Output voltage(20mV/step)和 Operating current(50mA/step);

Table 6-22 Programmable Request Data Object

Bits	Description
B31	<i>Reserved - Shall be set to zero</i>
B30...28	Object position (000b is <i>Reserved</i> and <i>Shall Not</i> be used)
B27	<i>Reserved - Shall be set to zero</i>
B26	Capability Mismatch
B25	USB Communications Capable
B24	No USB Suspend
B23	Unchunked Extended Messages Supported
B22...20	<i>Reserved - Shall be set to zero.</i>
B19...9	Output Voltage in 20mV units
B8...7	<i>Reserved - Shall be set to zero.</i>
B6...0	Operating Current 50mA units

图 10, Request APDO 的格式定义

基于 988DJ Application customization tool(Version 5.10, Patch Version F807.12.A8)中寄存器 0x33 中的 PPS 设置见图 11:

Field	Value
Maximum Current	0.1 A
Minimum Voltage	5 V
Maximum Voltage	20 V
PP Supply Type	Programmable Power Supply
Supply Type	PPS Sink
Maximum Operating Current	2 A
Minimum Operating Current	0.9 A
Ask For Max	<input checked="" type="checkbox"/>

图 11, TPS65988DJ 0x33 寄存器定义

在实际配置中，由于需要对寄存器 0x37(Autonegotiate Sink)进行配置。其中包括：

- 1) “Offser priority” 需要设置成 “Augmented PDO”(Note: It is temporarily defined as unknown(0x3)), 见图 12;

General Settings	
Field	Value
Autonegotiate Sink Enable	<input checked="" type="checkbox"/>
Autonegotiate Variable Sink Enable	<input checked="" type="checkbox"/>
Autonegotiate Battery Sink Enable	<input checked="" type="checkbox"/>
USB Communication Capable	<input checked="" type="checkbox"/>
Offer Priority	Unknown (0x3)
No USB Suspend	<input checked="" type="checkbox"/>
PPS Enable Sink Mode	<input checked="" type="checkbox"/>
PPS Request Time	1s
PPS Source Operating Mode	Constant Voltage mode

图 12, Offer Priority 参数设置

- 2) 对于“Auto Negotiate Sink Min Required Power”这个是依据 Sink PDO6 中的“Maximum Current” (例如 0.1A) and “Maximum Voltage” (例如 20V)来设定的, 见图 13;

Power Settings	
Field	Value
Auto Compute Sink Min Power	<input type="checkbox"/>
Auto Negotiate Sink Min Required Power	2 W

图 13, Auto Negotiate Sink Min Required Power 参数设置

- 3) ‘Request’的 PDO 是由寄存器 0x37 的 PPS Sink RDO parameters 来决定。以 20V/2A 为例, 设置见图 14;

PPS Sink RDO Parameters	
Field	Value
Operating Current	2 A
Output Voltage	20 V

图 14, PPS Sink RDO parameters 参数设置

图 15 是 PPS 的实际的沟通过程, 包括 Source 端发出了 PDO6, 见 1#, 而 Sink 端则相应了发出了 PPS APDO request, 见 2#, 最终建立了相应的 PPS 协议沟通。

6. 参考文献

- (1) https://zh.wikipedia.org/zh/USB_Type-C;
- (2) Page 318, Universal Serial Bus Power Delivery Specification, Revision 3.0, version 1.2;
- (3) Page 36, <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq24780s.pdf>;
- (4) Page 71, <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq25713.pdf>;
- (5) Page 123~126, Universal Serial Bus Power Delivery Specification, Revision 3.0, version 1.2;
- (6) Page 191, Universal Serial Bus Power Delivery Specification, Revision 3.0, version 1.2;

重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性数据（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，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(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安全、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及ti.com.cn上或随附TI产品提供的其他可适用条款的约束。TI提供所述资源并不扩展或以其他方式更改TI 针对TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

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 © 2019 德州仪器半导体技术（上海）有限公司