

基于 TPS6598X 的 USB PD User Alternate Mode 设计和实现

郭淳

North West China Lenovo Team

摘要

USB PD 协议定义了 AM (Alternate Mode) 和 VDM (Vendor Define Message) 指令集, 为互联的两个 TYPE C 设备之间提供一条基于 PD 协议的数据交互通道, 满足 TYPE C 口对 DP1.4 和 Thunderbolt3 支持所必须的配置信息和连接状态的交互。本文基于 TI 全能 TYPE C PD 控制器 TPS6598X, 通过对 AM 通讯架构的创新设计以及 VDM 指令集的修改, 扩展了 USBC PD Alternate Mode 的应用支持, 实现基于 PD AM 的两台互联设备之间的客制化信息的交互, 极大扩展了互联设备的功能和应用场景。同时该设计通过 AM 架构优化, 解决了 AM 在不同版本 PD 规范之间的兼容性问题。最终, 结合实际案例给出测试验证结果。

目录

1	PD Alternate Mode 简介.....	3
1.1	User Alternate Mode.....	3
1.2	VDM 4.....	
2	TPS6598X PD 控制器 User Alternate Mode 的设计实现.....	4
2.1	User Alternate Mode 控制寄存器.....	4
2.2	User Alternate Mode 握手.....	5
3	在 User Alternate Mode 下 VDM 通讯架构设计.....	7
3.1	现有 VDM 通讯架构问题分析.....	7
3.2	VDM 通讯架构设计与改进.....	8
3.2.1	VDM 指令设计.....	9
3.2.2	VDM 通讯架构设计.....	9
4	TPS6598X 对 VDM 数据通讯架构的支持.....	12
4.1	TPS6598X 中断屏蔽寄存器设置.....	12
4.2	TPS6598X VDM 控制 4CC 指令.....	12
4.3	TPS6598X VDM 接收寄存器.....	13
5	参考文献.....	13

图表

图 1.	Alternate Mode 架构.....	3
图 2.	TPS6598X 中断屏蔽寄存器配置.....	5
图 3.	TPS6598X User Alternate Mode 配置.....	5
图 4.	User Alternate Mode 沟通流程.....	7

图 5.	uStructured VDM 通讯架构	8
图 6.	User SVID DP Status VDM 设计.....	9
图 7.	User SVID Attention VDM 设计.....	9
图 8.	基于 VDM 的数据通许架构设计.....	10
图 9.	User SVID DP STATUS 通讯数据	11
图 10.	User SVID Attention 通讯数据.....	12

表格

表 1.	VDM 指令集.....	4
------	--------------	---

在支持 TYPE-C PD 的两台设备互联后，会在 USB C 口上的 cc1/cc2 信号通道上以 BMC 编码建立起基于 PD 协议的通讯，作为辅助通讯通道，为接口电源控制以及数据连接的建立交换配置信息。TI TPS6598X 系列全功能 PD 控制器集成了 BMC PHY, PD AFE 以及 MCU，能自动完成 PD 通讯的建立，并且通过 Host Interface（I2C）完全开放通讯的控制和数据接口。用户可以在此信道的基础上通过一定的流程和指令设计实现定制化数据的交互。区别于 USB C 口上的其他通讯通道如 USB3.0 和 USB2.0，该数据交互基于设备最底层的 I2C 和 PD 协议有很好的通用性可以简便地实现互联设备之间的功能控制和状态反馈

1 PD Alternate Mode 简介

1.1 User Alternate Mode

USB Power Delivery Specification Revision 3.0 定义了两个特定的 Alternate Mode----DP alternate mode 以及 Thunderbolt alternate mode，在 TYPE C DP1.4 或 type C Thunderbolt3 主连接建立起来之前，互联设备的 PD 控制器需要通过在对应 Alternate Mode 下的数据交换完成 DP 或 Thunderbolt 连接环境的配置，这两个 Alternate Mode 对应的 SVID 分别为 0xff01 和 0xff00。

除去以上两个 SVID，用户可以任意定义其他 SVID，通过设计特殊的 PD 通讯流程及 VDM 指令集使互联设备的 PD 控制器进入对应 SVID 的 Alternate Mode，从而实现两台设备之间客制化信息的交互和对远端设备的远程控制和配置。这些由客制化 SVID 标识的 Alternate Mode 又被称为 User Alternate Mode。在一个 User's alternate mode 下互联设备最多可以支持 6 个任务模式（Object Position），在连接双方都支持的情况下可以为不同的任务模式分配不同的交互任务。实现系统对不同交互和控制任务的分类和鉴别。图 1. 概述了 PD Alternate Mode 的架构

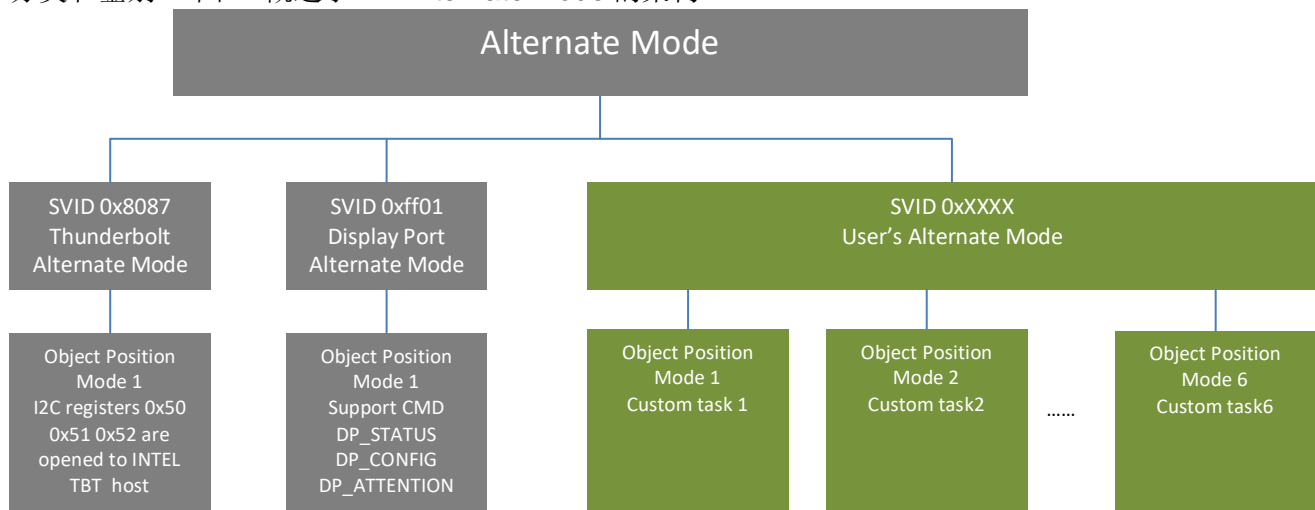


图 1. Alternate Mode 架构

这里通过一个实际案例，概括 User Alternate Mode 在 type C PD 生态系统中的应用。用户可以为自己 type C PD 设备如 Notebook，Dock，以及 PD adapter 定义同一个 SVID “0x17EF” 并使能以 “17EF” 为标识的 user alternate mode。同时用户在 17EF 的 alternate mode 下为 NB 定义三个 Object Position---Mode 1, Mode 2, Mode 3; 为 Dock 定义 Mode 1; 为 PD Adapter 定义 Mode 2。

当两台 NB 连接时，通过 PD 通讯可以使两台笔记本电脑进入 17EF alternate mode，同时进入 Object Position 3，两台笔记本可以通过客制的 VDM 共享系统状态和电池电量信息，从而实现电池的互充；当 NB 和 Dock 连接时 NB 和 Dock 可以进入 17EF AM 下的 Object Position 1，此时 NB 可以通过 VDM 向 DOCK 发送系统和电池状态信息用于 Dock 的状态指示灯控制，Dock 则可以功过 VDM 向 NB 发送以太网或物理按键远程唤醒事件；当 NB 和 PD Adapter 连接时，Adapter 可以通过 VDM 向 NB 发送认证指令和器件温度信息，NB 在收到认证指令后使能不同的 RDO。

1.2 VDM

Vendor Define Message (VDM)，是 PD 协议定义的一组指令集，用于控制互联设备之间的 Alternate Mode 建立，以及在相应 alternate mode 下的数据交互。

表 1 列举了 PD 规范中定义的 VDM CMD

表 1. VDM 指令集

Command	VDM Header Command Field	VDM Header SVID Field
Discover Identity	1h	Shall only use PD VID
Discover SVIDs	2h	Shall only use PD VID
SVID Discover MODEs	3h	Valid with any SVID
SVID Enter Mode	4h	Valid with any SVID
SVID Exit Mode	5h	Valid with any SVID
SVID Attention	6h	Valid with any SVID
SVID specific CMD	10h ~ 1Fh	Valid with any SVID

2 TPS6598X PD 控制器 User Alternate Mode 的设计实现

当两个 type C PD 设备互联时，Alternate Mode 的建立必须由 Data Role 为 DFP 的口发起。通过配置 TPS6598X Alternate Mode 控制寄存器，DFP 口的 TPS6598X 可以自通发起 Alternate Mode 的握手。在有 MCU 的应用中，MCU 通过 I2C 和 TPS6598X host interface 连接，通过配置 TPS6598X 中断寄存器，在进入 Alternate Mode 以及收到 VDM 时 TPS65988 会以相应的 IRQ 通知 MCU，并更新相应 VDM 寄存器，MCU 则可以通过读取 VDM 寄存器获得远端设备通过 VDM 传输的数据。具体设计如下

2.1 User Alternate Mode 控制寄存器

配置中断屏蔽寄存器（0x14 for I2C1; 0x15 for I2C2），使能 User AM 相应中断，具体配置参考图 2

Customer Use	[39]	Error: PFCORE Error	<input type="checkbox"/>	0x0
Interrupt Mask for I2C1	[39]	Error: Message Data	<input type="checkbox"/>	0x0
Interrupt Mask for I2C2	[41]	Error: Discharge Failed	<input type="checkbox"/>	0x0
Global System Configuration	[42]	Sink Transition Complete	<input type="checkbox"/>	0x0
Port Configuration	[46]	Error: Unable to Source	<input type="checkbox"/>	0x0
Port Control	[47]	Error: BIST Message Ignored	<input type="checkbox"/>	0x0
Transmit Source Capabilities	[48]	AM Entry Failure	<input type="checkbox"/>	0x0
Transmit Sink Capabilities	[49]	AM Entered	<input type="checkbox"/>	0x0
Autonegotiate Sink	[50]	Vendor Defined Message Sent	<input type="checkbox"/>	0x0
Alternate Mode Entry Queue	[51]	Discover Mode Complete	<input type="checkbox"/>	0x0
PD3 Configuration Register	[52]	Exit Mode Complete	<input type="checkbox"/>	0x0
Transmit Identity Data Object	[56]	User SVID Mode Entered	<input checked="" type="checkbox"/>	0x1
User Alternate Mode Config	[57]	User SVID Mode Exited	<input checked="" type="checkbox"/>	0x1
Display Port Capabilities	[58]	User SVID Attention VDM Received	<input checked="" type="checkbox"/>	0x1
Intel VID Config Register	[59]	User SVID Other VDM Received	<input checked="" type="checkbox"/>	0x1
Texas Instruments VID Config	[64]	DP-SID Status Update	<input type="checkbox"/>	0x0
IO Config	[63]	Intel VID Status Update	<input type="checkbox"/>	0x0
App configuration Register	[64]	PD3 Status Update	<input type="checkbox"/>	0x0
I2C SS Mux Control Register	[65]	TX Mem Buffer Empty	<input type="checkbox"/>	0x0
HPV control Register				
Sleep Control Register				
Tx Manufacturer Info SOP				
Tx Source Capabilities Extended				
Tx Battery Capabilities				
Tx Manufacturer Info SOP Prim				
Raw View				

图 2. TPS6598X 中断屏蔽寄存器配置

配置 User AM Config. 寄存器 (0x4a)，使能 User SVID AM 的自动握手，具体配置方法参考图 3。本案例中，对于 Notebook，同时使能 Object Position 1, 2 和 3，对于 Dock，使能 Object Position 1；对于 Adapter，使能 Object Position 2

User Alternate Mode Config (0x4a)

Bit Posn	Field	Value	Raw Value
[0]	User VID Enabled	<input checked="" type="checkbox"/>	0x1
[16:31]	User Alternate Mode VID (Vendor ID)	0x17EF	0x17ef
[32]	User VID Mode 1 Enabled	<input checked="" type="checkbox"/>	0x1
[40]	User VID Mode 2 Enabled	<input checked="" type="checkbox"/>	0x1
[48]	User VID Mode 3 Enabled	<input checked="" type="checkbox"/>	0x1
[56]	User VID Mode 4 Enabled	<input type="checkbox"/>	0x0

Enable User AM
Configure User SVID
Enable Object
Position 1 & 2 & 3

Bit Posn	Field	Value	Raw Value
[160:191]	Mode Value	0x1	0x1
[128]	User VID Mode Load App Config Data	<input type="checkbox"/>	0x0
[96]	User VID Mode Auto Send Unstructured VDM	<input type="checkbox"/>	0x0
[64]	User VID Mode Autoentry Enabled	<input checked="" type="checkbox"/>	0x1

Naming Object Position 1
Object Position 1 Autoentry

For non-MCU application, check these bit to auto send an uVDM or configure PD controller based upon the setting in 0x5d when Object Position is entered

Bit Posn	Field	Value	Raw Value
[192:223]	Mode Value	0x2	0x2
[136]	User VID Mode Load App Config Data	<input type="checkbox"/>	0x0
[104]	User VID Mode Auto Send Unstructured VDM	<input type="checkbox"/>	0x0
[72]	User VID Mode Autoentry Enabled	<input checked="" type="checkbox"/>	0x1

Naming Object Position 2
Object Position 2 autoentry

Bit Posn	Field	Value	Raw Value
[224:255]	Mode Value	0x3	0x3
[144]	User VID Mode Load App Config Data	<input type="checkbox"/>	0x0
[112]	User VID Mode Auto Send Unstructured VDM	<input type="checkbox"/>	0x0
[80]	User VID Mode Autoentry Enabled	<input checked="" type="checkbox"/>	0x1

Naming Object Position 3
Object Position 3 autoentry

Bit Posn	Field	Value	Raw Value
[256:287]	Mode Value	0x0	0x0
[152]	User VID Mode Load App Config Data	<input type="checkbox"/>	0x0
[120]	User VID Mode Auto Send Unstructured VDM	<input type="checkbox"/>	0x0
[88]	User VID Mode Autoentry Enabled	<input type="checkbox"/>	0x0

Unstructured VDM Settings

Bit Posn	Field	Value	Raw Value
[288:479]	User VID Auto Send VDO Data	0x0	0x0
[480:493]	User VID Auto Send Vendor Data	0x0	0x0
[496:503]	User Mode Auto Send VDO Count	0	0x0

图 3. TPS6598X User Alternate Mode 配置

2.2 User Alternate Mode 握手流程

完成章节 2.1 描述的配置后，用 PD 逻辑分析仪抓取笔记本电脑连接到 Dock station 时 PD 通讯的数据，如图 4 所示，可以看到上述两台 TYPE C PD 设备在连接时自动完成了以 17EF 为标识的 User Alternate Mode 的握手，并成功进入了定义的 Mode 1

其中：

Package208 ~ Package211 为 DFP 以 REQ 格式发起 Discover Identity VDM 以及 UFP 以 ResACK 格式回复的 ID 信息，其中包换了 UFP Device VID PID XID BCD 等信息

Package212~Package215 为 DFP 以 REQ 格式发起 Discover SVIDs VDM 以及 UFP 以 ResACK 格式回复的设备所支持的 SVID 信息可以看到 Dock 支持 DP AM; Thunderbolt AM; 以及以 SVID 17EF 标识的 User AM

Package224~Package227 为 DFP 针对 SVID 17EF 以 REQ 格式发起 Discover MODEs VDM，以及 UFP 以 ResACK 格式回复的 User SVID AM 所支持的 Object Position 信息，可以看到 Dock 支持设定的 Mode 1

Package236~Package241 为 DFP 针对不同的 SVID（8087/FF01/17EF）发起 Enter Mode VDM，可以看到最终互联设备进入了 17EF AM 的 Object Position 1

Packet 208	Right	→	SNK	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	VDM Header	Cmd	Cmd Type	Obj Pos	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp
208	Right	→	SNK	Vendor Defined	DR	PR	1	1	1	1	0x01	0x01	0	0	0xFF00	620.487 us	82.145 us	7.420 079 108
Packet 209	Left	←	SPC	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	Duration	Idle	Time Stamp					
209	Left	←	SPC	GoodCRC	DR	PR	1	0	0	0	499.440 us	155.054 us	7.420 781 600					
Packet 210	Left	←	SPC	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	VDM Header	Cmd	Cmd Type	Obj Pos	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp
210	Left	←	SPC	Vendor Defined	DR	PR	3	3	3	3	0x01	0x01	0	0	0xFF00	620.487 us	82.145 us	7.420 781 600
Packet 211	Right	→	SNK	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	Duration	Idle	Time Stamp					
211	Right	→	SNK	GoodCRC	DR	PR	3	0	0	0	489.167 us	158.329 us	7.420 891 624					
Packet 212	Right	→	SNK	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	VDM Header	Cmd	Cmd Type	Obj Pos	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp
212	Right	→	SNK	Vendor Defined	DR	PR	2	1	1	1	0x02	0x02	0	0	0xFF00	620.487 us	81.999 us	7.420 489 120
Packet 213	Left	←	SPC	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	Duration	Idle	Time Stamp					
213	Left	←	SPC	GoodCRC	DR	PR	2	0	0	0	495.440 us	165.054 us	7.430 191 576					
Packet 214	Left	←	SPC	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	VDM Header	Cmd	Cmd Type	Obj Pos	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp
214	Left	←	SPC	Vendor Defined	DR	PR	4	3	3	3	0x02	0x01	0	0	0xFF00	620.487 us	82.226 us	7.430 877 888
Packet 215	Right	→	SNK	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	Duration	Idle	Time Stamp					
215	Right	→	SNK	GoodCRC	DR	PR	4	0	0	0	489.310 us	154.044 us	7.431 887 664					
Packet 216	Right	→	SNK	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	VDM Header	Cmd	Cmd Type	Obj Pos	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp
216	Right	→	SNK	Vendor Defined	DR	PR	1	1	1	1	0x02	0x02	0	0	0x0087	620.487 us	82.057 us	7.432 012 624
Packet 217	Left	←	SPC	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	Duration	Idle	Time Stamp					
217	Left	←	SPC	GoodCRC	DR	PR	3	0	0	0	495.740 us	165.208 us	7.433 515 168					
Packet 218	Left	←	SPC	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	VDM Header	Cmd	Cmd Type	Obj Pos	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp
218	Left	←	SPC	Vendor Defined	DR	PR	5	2	2	2	0x03	0x01	0	0	0x0087	620.487 us	82.057 us	7.432 012 624
Packet 219	Right	→	SNK	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	Duration	Idle	Time Stamp					
219	Right	→	SNK	GoodCRC	DR	PR	5	0	0	0	489.310 us	250.230 us	7.435 008 896					
Packet 220	Right	→	SNK	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	VDM Header	Cmd	Cmd Type	Obj Pos	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp
220	Right	→	SNK	Vendor Defined	DR	PR	4	1	1	1	0x03	0x03	0	0	0xFF01	620.299 us	82.422 us	7.435 798 448
Packet 221	Left	←	SPC	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	Duration	Idle	Time Stamp					
221	Left	←	SPC	GoodCRC	DR	PR	4	0	0	0	489.740 us	169.710 us	7.438 501 168					
Packet 222	Left	←	SPC	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	VDM Header	Cmd	Cmd Type	Obj Pos	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp
222	Left	←	SPC	Vendor Defined	DR	PR	6	2	2	2	0x03	0x01	0	0	0xFF01	620.299 us	82.422 us	7.435 798 448
Packet 223	Right	→	SNK	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	Duration	Idle	Time Stamp					
223	Right	→	SNK	GoodCRC	DR	PR	6	0	0	0	489.167 us	254.127 us	7.438 040 448					
Packet 224	Right	→	SNK	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	VDM Header	Cmd	Cmd Type	Obj Pos	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp
224	Right	→	SNK	Vendor Defined	DR	PR	5	1	1	1	0x03	0x03	0	0	0x17EF	620.487 us	82.209 us	7.438 769 752
Packet 225	Left	←	SPC	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	Duration	Idle	Time Stamp					
225	Left	←	SPC	GoodCRC	DR	PR	5	0	0	0	489.440 us	182.952 us	7.439 482 448					
Packet 226	Left	←	SPC	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	VDM Header	Cmd	Cmd Type	Obj Pos	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp
226	Left	←	SPC	Vendor Defined	DR	PR	7	2	2	2	0x03	0x01	0	0	0x17EF	620.487 us	82.209 us	7.440 174 948
Packet 227	Right	→	SNK	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	Duration	Idle	Time Stamp					
227	Right	→	SNK	GoodCRC	DR	PR	7	0	0	0	489.310 us	250.230 us	7.435 008 896					
Packet 228	Part	→	CBL	PD Mag	Mag Type	Cable Plug	Mag ID	Obj	Ctrl	VDM Header	Cmd	Cmd Type	Obj Pos	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp	
228	Part	→	CBL	Vendor Defined	DR	PR	1	1	1	1	0x02	0x02	0	0	0xFF00	620.298 us	135.030 us	7.442 137 480
Packet 229	Part	→	CBL	PD Mag	Mag Type	Cable Plug	Mag ID	Obj	Ctrl	VDM Header	Cmd	Cmd Type	Obj Pos	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp	
229	Part	→	CBL	GoodCRC	DR	PR	1	0	0	0	489.890 us	1.601 ms	7.442 692 608					
Packet 230	Part	→	CBL	PD Mag	Mag Type	Cable Plug	Mag ID	Obj	Ctrl	VDM Header	Cmd	Cmd Type	Obj Pos	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp	
230	Part	→	CBL	Vendor Defined	DR	PR	3	3	3	3	0x02	0x01	0	0	0xFF00	620.487 us	82.209 us	7.440 007 864
Packet 231	Part	→	CBL	PD Mag	Mag Type	Cable Plug	Mag ID	Obj	Ctrl	VDM Header	Cmd	Cmd Type	Obj Pos	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp	
231	Part	→	CBL	GoodCRC	DR	PR	3	0	0	0	489.167 us	799.521 us	7.440 007 864					
Packet 232	Part	→	CBL	PD Mag	Mag Type	Cable Plug	Mag ID	Obj	Ctrl	VDM Header	Cmd	Cmd Type	Obj Pos	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp	
232	Part	→	CBL	Vendor Defined	DR	PR	2	1	1	1	0x03	0x03	0	0	0x0087	620.487 us	134.829 us	7.447 286 352
Packet 233	Part	→	CBL	PD Mag	Mag Type	Cable Plug	Mag ID	Obj	Ctrl	VDM Header	Cmd	Cmd Type	Obj Pos	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp	
233	Part	→	CBL	GoodCRC	DR	PR	2	0	0	0	500.193 us	1.559 ms	7.448 051 664					
Packet 234	Part	→	CBL	PD Mag	Mag Type	Cable Plug	Mag ID	Obj	Ctrl	VDM Header	Cmd	Cmd Type	Obj Pos	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp	
234	Part	→	CBL	Vendor Defined	DR	PR	2	2	2	2	0x02	0x01	0	0	0x0087	620.487 us	82.209 us	7.440 007 864
Packet 235	Part	→	CBL	PD Mag	Mag Type	Cable Plug	Mag ID	Obj	Ctrl	VDM Header	Cmd	Cmd Type	Obj Pos	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp	
235	Part	→	CBL	GoodCRC	DR	PR	2	0	0	0	489.167 us	799.473 us	7.450 568 712					
Packet 236	Right	→	SNK	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	VDM Header	Cmd	Cmd Type	Obj Pos	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp
236	Right	→	SNK	Vendor Defined	DR	PR	6	2	2	2	0x04	0x02	1	0	0x0087	620.487 us	81.876 us	7.452 277 352
Packet 237	Left	←	SPC	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	Duration	Idle	Time Stamp					
237	Left	←	SPC	GoodCRC	DR	PR	6	0	0	0	499.440 us	1.103 ms	7.453 111 204					
Packet 238	Left	←	SPC	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	VDM Header	Cmd	Cmd Type	Obj Pos	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp
238	Left	←	SPC	Vendor Defined	DR	PR	0	0	0	0	0x04	0x01	1	0	0x0087	620.487 us	82.209 us	7.454 954 176
Packet 239	Right	→	SNK	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	Duration	Idle	Time Stamp					
239	Right	→	SNK	GoodCRC	DR	PR	0	0	0	0	489.310 us	620.372 us	7.458 708 664					
Packet 240	Right	→	SNK	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	VDM Header	Cmd	Cmd Type	Obj Pos	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp
240	Right	→	SNK	Vendor Defined	DR	PR	7	1	1	1	0x04	0x04	0	0	0x17EF	620.487 us	82.051 us	7.458 918 352
Packet 241	Left	←	SPC	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	Duration	Idle	Time Stamp					
241	Left	←	SPC	GoodCRC	DR	PR	7	0	0	0	499.440 us	224.240 us	7.457 517 840					
Packet 242	Left	←	SPC	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	VDM Header	Cmd	Cmd Type	Obj Pos	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp
242	Left	←	SPC	Vendor Defined	DR	PR	1	1	1	1	0x04	0x01	1	0	0x17EF	633.526 us	105.024 us	7.456 241 520
Packet 243	Right	→	SNK	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	Duration	Idle	Time Stamp					
243	Right	→	SNK	GoodCRC	DR	PR	1	0	0	0	489.167 us	36.971 ms	7.468 983 080					
Packet 244	Right	→	SNK	PD Mag	Mag Type	DR	PR	Mag ID	Obj	Ctrl	VDM Header	Cmd	Cmd Type	Obj Pos	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp
244	Right	→	SNK	Vendor Defined	DR	PR	0	2	2	2	0x17EF	0x17EF	0x00001300	0x00001300	0x00001300	751.807 us	82.193 us	7.469 443 204

图 4. User Alternate Mode 沟通流程

3 在 User Alternate Mode 下 VDM 通讯架构设计

互联双方在进入 User Alternate Mode 后可以通过 VDM 指令传输自定义数据和控制信息，比如同一个设备制造商的设备在互联时可以通过 VDM 传递认证数据，使能特殊的连接功能；互联的设备和主机之间可以通过 VDM 实现设备对主机的远程控制和管理如设备上对主机工作模式和电池电量的显示，设备对主机工作模式的控制等；同时 Type C 供电设备还可以通过 VDM 实时向设备发送散热工况和对输出特性的调整，比如在供电设备温度较低时可以提供更大的对瞬态负载的支持能力。

3.1 现有 VDM 通讯架构问题分析

在实际的 VDM 通讯中比较常用的 VDM 架构有 unstructured VDM（uVDM）以及 Structured VDM（VDM），

uVDM 的特点是数据结构比较简单，在 VDM header 中不需要定义命令和类型，没有 Data Object (VDO)，定制数据直接放在 VDM Header 的 Bit[0-14]中。所以 uVDM 功能比较单一，只是用来传输少量的定制数据。uVDM 在使用中最大的问题是，uVDM 的发起者只能是 DFP，如果 UFP 设备如 Hub，显示器，电源适配器等想要发起 uVDM 时，需要先将自己的 Data Role 切换为 DFP。图 5 为基于 uVDM 的数据交换通讯流程，可以看到 Data Role 的切换需要 PD 控制器和 MCU 配合通过一系列的命令才能完成，设计复杂度比较高，同时 Data Role 的切换还会造成设备功能的异常如 USB DP 通讯中断等。

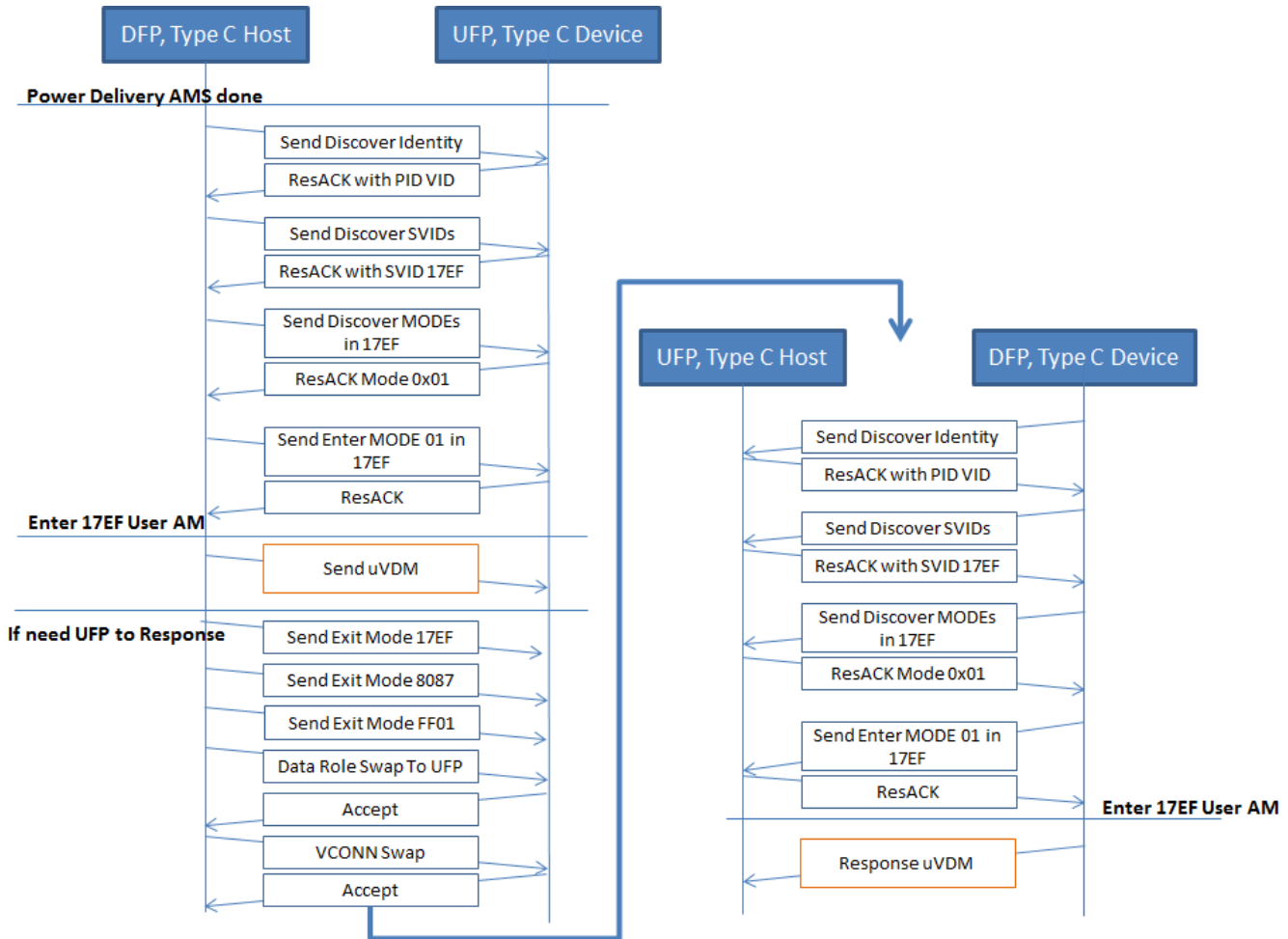


图 5. uStructured VDM 通讯架构

对于 VDM，数据包含 VDM Header 以及最多 6 个 VDO (Vendor Data Object) 每个 VDO 支持 4Bytes 数据，一个 VDM 最多可以支持 24Byte 的数据传输。PD3.0 规范定义互联的双方 UFP 和 DFP 都可以发起 VDM，使得基于 VDM 的数据交互极大简化。但是对于 PD2.0 规范，还是只能允许 DFP 发起 VDM，同样存在和 uVDM 同样的问题。

3.2 VDM 通讯架构设计与改进

为了简化 DFP 和 UFP 之间 VDM 的数据交互流程，同时能够兼容 PD2.0 和 PD3.0 的设备，以下设计了一种全新的基于 VDM 架构的数据交互流程。考虑到支持 Display Port alternate mode 的一个 VDM---Attention 可以由 UFP 发起；并且由 DFP 发送的 Structure VDM，UFP 都可以将 command type 修改为 ResACK 进行带 VDO 的回复。通过修改 Display Port Alternate Mode 相关的 VDM 如 DP STATUS / DP CONFIG / Attention，使之兼容 User SVID Alternate Mode，这样就可以在不用进行 Data Role 切换的情况下实现 DFP 和 UFP 之间的数据交互；该流程基于 Structured VDM 架构实现，有比较强的数据传输能力，能够同时兼容 PD2.0 和 PD3.0 的设备

3.2.1 VDM 指令设计

DP Status 指令

如图 6 所示，修改 VDM header 里的 SVID field，将 DP 的 SVID FF01 改为 User SVID 17EF；Object Position 由 DP 固定的 1，修改为对应的 User AM Object Position；在有数据要传输时 DFP 可以将要发送的数据用自定义的格式放在 VDO1~VDO6，将 Command Type 设为 0h REQ 后把该 VDM 发送给 UFP，在收到 VDM 后 UFP 可以设置 Command type 为 1h ACK 并修改 VDO 后回复给 DFP，从而实现 DFP->UFP->DFP 的数据交互

	VDM Header						VDO1	VDO2
	B31~B16	B15	B14~13	B10~8	B7~6	B4~0	B31~0	B31~0
	Standard or SVID	VDM type	VDM Ver.	Object Position	Command Type	CMD	Vendor Data Object	Vendor Data Obeject
DP AM Setting	FF01h	1h	1h	1h Fixed	0h REQ from DFP	10h	Defined by DP1.5 SPEC DFPD config	Non-use
User AM Setting	17EFh	1h	1h	1h or 2h or 3h corresponding to different mode	0h REQ from DFP 1h ACK from UFP 2h Non ACK from UFP	10h	Customer Define	Customer Define

图 6. User SVID DP Status VDM 设计

Attention 指令

图 7 为 Attention VDM 的配置，DP Attention 是唯一可以由 UFP 发起的 VDM，用于向 DFP 发起服务请求。在修改 SVID 和 Object Position 后 UFP 可以用该命令在对应的 User Alternate Mode 下向 DFP 发起 UFP->DFP->UFP 的数据请求，

	VDM Header						VDO1
	B31~B16	B15	B14~13	B10~8	B7~6	B4~0	B31~0
	Standard or SVID	VDM type	VDM Ver.	Object Position	Command Type	CMD	Vendor Data Object
DP AM Setting	FF01h	1h	1h	1h Fixed	0h REQ	06h	HPD status and UFPD config
User AM Setting	17EFh	1h	1h	1h or 2h or 3h corresponding to different mode	0h REQ	06h	Customer Define

图 7. User SVID Attention VDM 设计

3.2.2 VDM 通讯架构设计

用上述两个命令设计基于 VDM 的数据通讯架构如图 8 所示

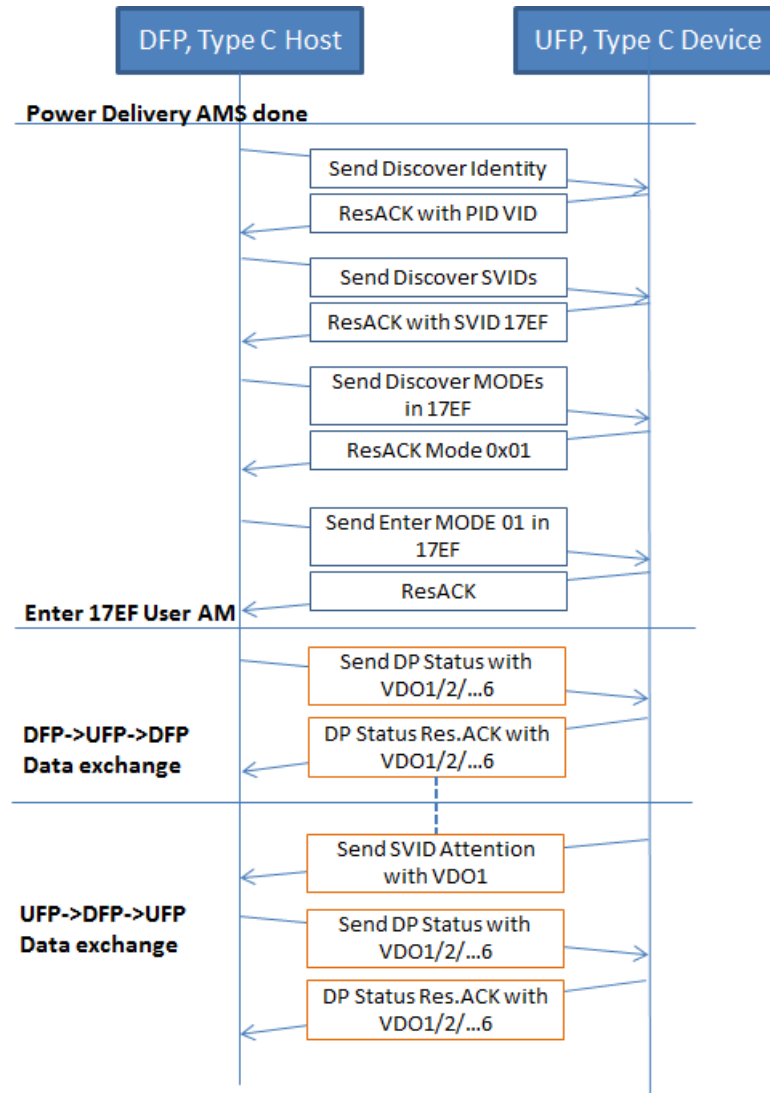


图 8. 基于 VDM 的数据通许架构设计

对于 DFP->UFP->DFP 的数据交互，

在 User Alternate Mode 建立起来后，DFP 可以在任何时间向 UFP 发送 REQ 形式的 User SVID DP Status 命令，其中的 1~6 个 VDO 可以包含任何需要发送的定制数据或是任务指令。

基于 PD 协议规范，UFP 必须在 15mS 以内以 Res.ACK 或 Res.NONACK 的形式回复 User SVID DP Status 指令，其中的 1~6 个 VDO 可以包含任何需要回复给 DFP 的定制数据。

如果 DFP 在发送 User SVID DP Status 指令后的 15mS 以内没有收到 UFP 的 Res.ACK 或 Res.NONACK 回复，需要再次发送该命令，如果重复四次发送后还是没有收到回复，DFP 停止执行该命令对应的功能；如果收到 UFP Res.NONACK 的回复，DFP 根据指令 VDO 判定数据或是任务指令的有效性。

对于 UFP->DFP->UFP 的数据交互

UFP 通过发送 User SVID Attention 指令向 DFP 发起服务请求。Attention 只允许附带一个 VDO，只能包含服务请求的类别或显示设备状态变化。

DFP 收到 Attention 后执行请求的服务和任务，或将请求的数据和状态反馈通过 User SVID DP Status 指令发送给 UFP，UFP 再以 Res.ACK 或 Res.NONACK 回复 User SVID DP Status 完成数据交互。

基于新的 VDM 通讯架构设计以下数据交互的实际案例，并用 PD 逻辑分析仪抓取实际 PD 数据通讯验证了该架构的可行性。

DFP 为笔记本电脑，使用 TI TPS65988 作为 USB-C PD 控制器，UFP 为 Thunderbolt Dock，使用 TPS65983B 作为 USB-C PD 控制器，笔记本和 Dock 连接后，笔记本通过 User SVID DP Status 向 Dock 发送系统状态和电池信息，Dock 在收到这些信息后控制 Dock 上的状态指示灯做系统状态的显示；图 9 为 PD 逻辑分析仪抓取的两台设备在完成上述任务时 PD 的交互数据。

Packet	Right	Left	Msg Type	DR	PR	Msg ID	Obj Cnt	VDM Header	Cmd	Rsvid 1	Cmd Type	Obj Pos	Rsvid 2	VDM Ver	Type	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp
242	Right	SHK	Vendor Defined (DFP) SHK	2	1			VDM Header	0x04	0x0	0x0	1	0x0	Ver. 1.0	Structured	0x17EF	617.463 us	93.529 us	5.134.822.752
243	Left	SRC	GoodCRC (UFP) SRC	2	0			Duration									499.748 us		5.135.533.744
244	Left	SRC	GoodCRC (UFP) SRC	3	1			VDM Header	0x04	Rsvid 1	Cmd Type	Obj Pos	Rsvid 2	VDM Ver	Type	Vendor ID	633.717 us	107.827 us	5.136.579.296
245	Right	SHK	GoodCRC (DFP) SHK	3	0			Duration	1ns								499.783 us		5.137.520.840
246	Right	SHK	Vendor Defined (DFP) SHK	3	2			VDM Header	0x10	0x0	0x0	0	0x0	Ver. 2.0	Structured	0x17EF	748.143 us	93.469 us	5.140.695.072
247	Left	SRC	GoodCRC (UFP) SRC	3	0			Duration									499.448 us		5.140.736.704
248	Left	SRC	GoodCRC (UFP) SRC	3	0			VDM Header	0x10	0x0	0x1	0	0x0	Ver. 2.0	Structured	0x17EF	902.495 us	107.137 us	5.146.665.120
249	Right	SHK	GoodCRC (DFP) SHK	4	0			Duration									496.485 us		5.151.674.752

图 9. User SVID DP STATUS 通讯数据

Package242-245: 两台设备进入以 SVID 17EF 标识的 Alternate Mode1，

Package246-247: 笔记本通过 3.2.1 设计的 User SVID DP Status 指令及其包含的 VDO1 向 Dock 发送系统状态信息。

Package248-249: Dock 以 Res.ACK 的形式回复 DFP 的 DP Status 指令，其中的 VDO1 重复 DFP 的传送数据，VDO2 为 dock 任务执行状态的反馈。

当用户按下 Dock 上的电源开关后或是 Dock 通过 LAN RJ-45 端口接收到远程唤醒的请求后，Dock 通过 User SVID Attention 向笔记本电脑发送唤醒指令，笔记本在收到唤醒指令后通过内建控制器完成系统唤醒，并将系统的状态变化通过 User SVID DP Status 反馈给 Dock，下图十为用 PD 逻辑分析仪记录的两台设备在完成上述任务时 PD 交互数据。

Packet	Right	Left	Msg Type	DR	PR	Msg ID	Obj Cnt	VDM Header	Cmd	Rsvid 1	Cmd Type	Obj Pos	Rsvid 2	VDM Ver	Type	Vendor ID	Duration	Idle	Time Stamp
1	Right	SRC	Vendor Defined (UFP) SRC	0	1			VDM Header	Attention	0x0	REQ	0	0x0	Ver. 2.0	Structured	Lenovo	633.906 us	107.462 us	3.479.038.024
2	Left	SHK	GoodCRC (DFP) SHK	0	0			Duration									486.634 us		3.479.779.392
3	Left	SHK	Vendor Defined (DFP) SHK	2	2			VDM Header	SVID Specific Cmd (0x10)	0x0	REQ	0	0x0	Ver. 2.0	Structured	Lenovo	748.143 us	93.489 us	3.491.833.504
4	Right	SRC	GoodCRC (UFP) SRC	2	0			Duration									499.445 us		3.492.674.840
5	Right	SRC	Vendor Defined (UFP) SRC	3	3			VDM Header	SVID Specific Cmd (0x10)	0x0	ACK	0	0x0	Ver. 2.0	Structured	Lenovo	901.655 us	105.040 us	3.493.630.000
6	Left	SHK	GoodCRC (DFP) SHK	3	0			Duration									496.783 us		3.495.143.520
7	Right	SRC	GoodCRC (UFP) SRC	2	2			VDM Header	Attention	0x0	REQ	0	0x0	Ver. 2.0	Structured	Lenovo	633.528 us	107.872 us	3.479.144.480
8	Left	SHK	GoodCRC (DFP) SHK	3	0			Duration									486.783 us		3.479.885.880
9	Left	SHK	Vendor Defined (DFP) SHK	3	3			VDM Header	SVID Specific Cmd (0x10)	0x0	REQ	0	0x0	Ver. 2.0	Structured	Lenovo	748.143 us	93.265 us	3.492.930.000
10	Right	SRC	GoodCRC (UFP) SRC	3	2			Duration									499.448 us		3.493.771.480
11	Right	SRC	Vendor Defined (UFP) SRC	3	3			VDM Header	SVID Specific Cmd (0x10)	0x0	ACK	0	0x0	Ver. 2.0	Structured	Lenovo	901.957 us	107.451 us	3.494.728.000
12	Left	SHK	GoodCRC (DFP) SHK	3	0			Duration									486.783 us		3.495.252.568

图 10. User SVID Attention 通讯数据

Package1-2: Dock 检测到物理按键被触发后，通过 Attention 向笔记本发送服务请求。

Package3-6: 笔记本收到 Attention 后以 DP Status 指令向 Dock 发送系统和电池状态，Dock 收到 DP Status 指令和数据后，改写 VDO1 中的物理按键状态字节，并以 DP Status Res.ACK 的形式反馈给笔记本系统，笔记本收到该反馈后执行系统开机动作

4 TPS6598X 对 VDM 数据通讯架构的支持

TPS6598X 系列 PD 控制器提供两个 I2C Slave 接口，每个 I2C 接口具有专属的中断输出引脚。将 TPS6598X 任意 I2C 接口和对应中断输出引脚和设备内建 MCU 的 I2C Master 连接，从而实现 MCU 对 VDM 数据交互的控制。

4.1 TPS6598X 中断屏蔽寄存器设置

TPS6598X 针对两个 I2C Slave 口提供专属的中断屏蔽寄存器（0x16 for I2C1; 0x17 for I2C2）

中断屏蔽寄存器可以通过 Configuration Tool 进行配置，也可以在器件工作过程中通过 I2C 实时更改。支持 User Alternate Mode，需要使能如下中断事件。

Bit56: User SVID Mode Entered. 当互联设备通过 PD 握手进入到 User SVID 标识的 Alternate mode 后，TPS6598X 会触发对应的 I2C 中断。

Bit57: User SVID Mode Exit. 当互联设备通过 PD 握手退出当前的 User SVID 标识的 Alternate mode 后，TPS6598X 会触发对应的 I2C 中断。

Bit58: User SVID Attention VDM Received. 当 PD 控制器收到远端设备发送的以 User SVID 标识的 Attention VDM 后，TPS6598X 会触发对应的 I2C 中断

Bit59: User SVID Other VDM Received. 当 PD 控制器收到远端设备发送的以 User SVID 标识的其他 VDM 后，TPS6598X 会触发对应的 I2C 中断

4.2 TPS6598X VDM 控制 4CC 指令

TPS6598X 系列 PD 控制器提供两组 4CC 命令控制寄存器----0x08 CMD1; 0x09 Data1 和 0x10 CMD2; 0x11 Data2. I2C master 通过向 TPS6598X 命令控制寄存器写入特殊的 4CC 指令以及数据，可以控制 TPS6598X 执行特定的 TYPE C 口控制和配置任务，以下为 TPS6598X 用以支持 VDM 的相关 4CC 指令

VDMs: PD send VDM

当设备需要通过 PD 控制器发送 User SVID DP Status VDM 时，需要通过 I2C 先向 4CC Data 寄存器写入 VDM Header 和 VDO 信息，具体的数据格式请参考本文 3.2.1 章节的定义以及 TPS6598X Host Interface Manuel 中对 VDMs 指令输入数据结构的定义。完成数据写入后，MCU 通过 I2C 向 TPS6598X 的 4CC 命令寄存器写入“VDMs”的 ASCII 码，PD 控制器会执行发送 User SVID DP Status 的指令，指令执行状况可以通过查询 4CC DATA 寄存器的 bit[3:0]获得，具体参考 TPS6598X Host Interface Manuel 的 4.2 Task 章节

4.3 TPS6598X VDM 接收寄存器

以下寄存器会存储最近一次接受到的由远端设备发送的 VDM,

RX User VID Attention VDM Register (0x60)----存储最近一次接收到的 User SVID Attention VDM

RX User VID Other VDM Register (0x61)----存储最近一次接受到的 User SVID DP Status VDM

在以上寄存器数据被更新时, TPS65988 会通过章节 4.1 中配置的中断 BIT58, BIT59 通知 I2C master

5 参考文献

1. *TPS65988 datasheet (SLVSDB5)*
2. *TPS65988 Host Interface Technical Reference Manual (SLVUAN2)*
3. *Universal Serial Bus Power Delivery Specification Revision 3.0*
4. *Universal Serial Bus Power Delivery Specification Revision 2.0*

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 产品的功能而设计。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，该等许可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示的保证或陈述，包括但不限于对准确性或完整性、产权保证、无屡发故障保证，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 © 2018 德州仪器半导体技术（上海）有限公司