

Application Note

TPS65982DMC 和 TPS65994BG 智能电源管理 (SPM) 实施指南

Shang-Heng Hsieh

摘要

本应用手册介绍了一种智能电源管理 (SPM) 实现方案，该方案采用 TPS65982DMC 扩展坞管理控制器以及 TPS65994 系列 USB-C 和 PD 控制器。SPM 架构在 USB-C 扩展坞中动态分配上游主机 (UFP) 和多个下游设备 (DFP) 之间的功率，在防止过载的同时，最大限度地利用固定容量的交流/直流适配器。本报告探讨了系统架构和检测配置、功率分配的固件决策流程、多级过载保护机制 (含中高阈值响应) 以及附带测试结果的实用小贴士。实施此 SPM 方案可实现高效且稳健的多端口电源设计：适配器的可用功率被实时分配到需要的地方 (最大限度减少闲置储备)，且保护措施能安全处理功率浪涌且不会干扰用户使用。

内容

1 简介	2
1.1 系统架构.....	2
2 动态 SPM 决策流程	5
2.1 初始主机功率分配.....	5
2.2 动态降低主机功率 (新负载连接).....	6
2.3 主机功率动态增加 (负载断开).....	7
2.4 主机调节中纳入系统功耗.....	8
3 保护机制和过载处理	9
3.1 过载前行为 (最大适配器功率).....	9
3.2 中等过功率保护.....	9
3.3 高过功率保护.....	11
4 应用小贴士和测试结果	13
5 总结	14
6 参考资料	14

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

1.1 系统架构

TPS65982DMC 是一款专用的 USB-C 扩展坞管理控制器，用于协调扩展坞中所有 USB-C 端口的功率分配。该器件通过 I²C 与一个或多个多端口 USB-C 功率传输控制器（如双端口 TPS65994 系列）通信，以管理整个扩展坞的功率策略。该系统使用单个具有固定最大输出（例如 180W）的 AC/DC 适配器作为输入源。TPS65982DMC 监控总输入电流，并动态调节每个端口的 PD 输出，为下游设备、上游主机的充电工作以及扩展坞电路供电——所有这些都必须在适配器的功率限值内。本质上，TPS65982DMC 的内部智能功率策略管理器会根据实时负载变化，持续调节每个端口通告和协商的 PD 功率，防止总功耗超过适配器容量。

在适配器输入端，使用 INA 系列功率监测器——TPS65982DMC 会通过 I²C 定期读取适配器的总输出功率。通过这种架构，DMC 既可获取每个 USB-C 端口的实时功率（通过 ADC 读数，设备端口称为 PR_DFP_x，主机端口称为 PR_UFP），也可获取系统总功耗。该数据为动态分配算法提供支持。与仅依赖固定 PD 合约值进行预算的传统设计不同，动态 SPM 能反映实际负载情况。例如，即使某个端口协商了 15W 的 PD 合约但实际仅消耗 3W，控制器也能检测到该端口的 PR_DFP 约为 3W，并可将近 12W 的未使用功率重新分配给其他需求（如提高主机充电功率），从而显著提高整体功率利用率。

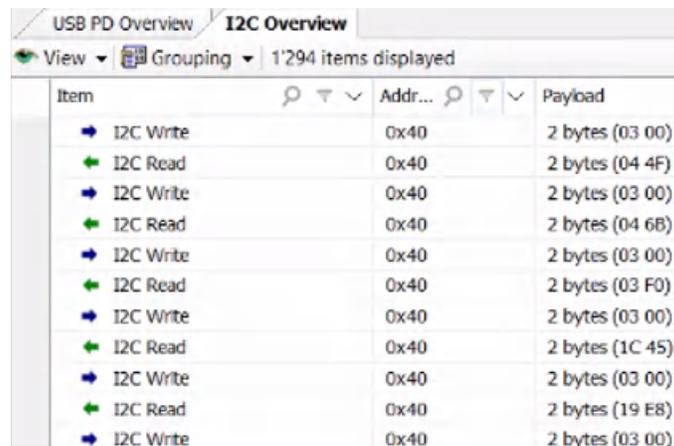
1.1.1 实施步骤

1.1.1.1 硬件功率检测集成

TPS65994 的每个 Type-C 端口都会向 TPS65982DMC 报告功率状态。然后，TPS65982DMC 可通过功率合约获取每个 Type-C 端口的功率预算，从而估算系统总功率。

1.1.1.2 定期总功率轮询

TPS65982DMC 固件必须定期从 INA 功率监视器轮询系统的总功耗。本设计中，DMC 通过 I²C 大约每 100ms 执行一次系统功率读取。频繁的轮询使控制器能快速检测总功耗的变化，并为算法的 SPM 决策提供实时数据。（此定期测量称为 **实时系统功率 (RSP) 检查**），如图 1-1 所示。该逻辑分析仪捕获结果显示了带有周期性读取事务的 I²C SDA（数据）和 SCL（时钟）线。定期功率轮询使 DMC 能快速感知总负载的变化，将及时的信息反馈到 SPM 决策循环。该逻辑分析仪捕获结果显示了带有周期性读取事务的 I²C SDA（数据）和 SCL（时钟）信号。这种频繁的轮询使控制器能快速检测总功耗的变化，为算法的 SPM 决策提供实时数据（称为实时系统功率检查，即 RSP 检查）。



Item	Addr...	Payload
I2C Write	0x40	2 bytes (03 00)
I2C Read	0x40	2 bytes (04 4F)
I2C Write	0x40	2 bytes (03 00)
I2C Read	0x40	2 bytes (04 6B)
I2C Write	0x40	2 bytes (03 00)
I2C Read	0x40	2 bytes (03 F0)
I2C Write	0x40	2 bytes (03 00)
I2C Read	0x40	2 bytes (1C 45)
I2C Write	0x40	2 bytes (03 00)
I2C Read	0x40	2 bytes (19 E8)
I2C Write	0x40	2 bytes (03 00)

图 1-1. SPM 固件通过 I²C 大约每 100ms 轮询一次 INA 功率传感器，以监控系统总功率

1.1.1.3 SPM 固件配置（寄存器 0x30）

TPS65982DMC 固件包含一个系统电源管理配置寄存器（地址 0x30），用于定义 SPM 算法的各种阈值和参数。图 1-2 展示了固件中该配置寄存器的设置示例。关键字段在下图中突出显示并进行了描述，因为这些字段决定了 SPM 的行为。GUI 界面展示了相关参数，如保证主机功率、预留功率、每个端口的功率设置以及中高过功率阈值。

System Power Management Configuration (0x30)	
Field	Value
Enable PD Power Management	<input checked="" type="checkbox"/>
Enable Use Reserve Power	<input type="checkbox"/>
Enable PD Power Management BR	<input checked="" type="checkbox"/>
Guaranteed Host Power	60 W ▲▼
Reserve Power	0 W ▲▼
USB Max Power 1	0 W ▲▼
USB Max Power 2	0 W ▲▼
Max Adapter Power	180 W ▲▼
Mid Over Power Threshold	185 W ▲▼
High Over Power Threshold	190 W ▲▼
Over Power Time	500 mS ▲▼
DFP1 Extra Power	0 W ▲▼
DFP2 Extra Power	0 W ▲▼
DFP3 Extra Power	0 W ▲▼
Enable Realtime System Power Protection	<input checked="" type="checkbox"/>
Realtime System Power	10 W ▲▼
DFPx Guaranteed Power	27 W ▲▼

图 1-2. TPS65982DMC 中系统电源管理配置寄存器 (0x30) 示例设置

1.1.2 定义 SPM 行为的关键字段

- **启用 PD 电源管理**：SPM 功能必须启用此项。必须选中此复选框才能激活动态电源管理。
- **启用使用预留功率**：允许为系统（扩展坞自身消耗）使用预留功率预算，但仅限 *所有* DFP 端口都已连接且消耗掉已分配功率的情况。本示例中，某个 DFP 端口未勾选，意味着当端口被占用时，不会为扩展坞额外预留功率。
- **保证主机功率**：始终为主机（UFP 端口）验证的最小功率。例如，设置为 60W 意味着系统始终至少保留 60W 用于主机充电。（这对应主机在任何条件下指定的最低主机功 (Min_HP)。）
- **预留功率**：系统（扩展坞内部需求）的可选固定预留功率。本设计中预留功率设为 0W，即无专用预留功率——适配器的全部容量优先供给 USB-C 端口，仅当有剩余时才分配给其他部分。
- **USB 最大功率 ½**：每个端口的默认功率分配。在全动态模式下设为 0W，表示无固定端口预留功率。而每个端口的供电根据实际消耗动态调整。（如果端口默认需要更高的保障功率，可使用这些字段，但本设计无需此设置。）
- **适配器最大功率**：外部适配器的最大输出（本例中为 180W）。此值决定了 SPM 为系统强制执行的总功率预算。
- **中等过功率阈值**：中等过载状态的临界值，略高于适配器额定功率（例如，180W 适配器对应 185W，约 5W 余量）。如果功率超过此阈值并且持续时间超过设定值，将触发中等过载保护程序。
- **高过功率阈值**：严重过载的阈值，显著高于适配器额定功率（例如，180W 适配器对应 190W）。如果功率超过此阈值（持续时间超过设定值），将触发高级保护响应（安全状态）。
- **过功率时间**：功率必须保持在阈值以上的持续时间，超过此时长才判定为过载事件。例如，本示例中设为 0.5s——总功率必须连续超过阈值达 500ms，才会被判定为实际过载。这有助于滤除短暂尖峰，避免误触发保护机制。

2 动态 SPM 决策流程

硬件检测就绪且参数配置完成后，TPS65982DMC 固件会根据每个端口的实时功率数据执行一系列动态决策流程。本节概述了 SPM 的关键逻辑，包括主机（上游端口）充电功率如何根据负载变化进行调节，以及系统如何响应以将总功率保持在限值内。

2.1 初始主机功率分配

图 2-1 显示，在系统上电时或主机首次连接时，SPM 必须根据下游端口的当前使用情况决定为主机分配多少充电功率。

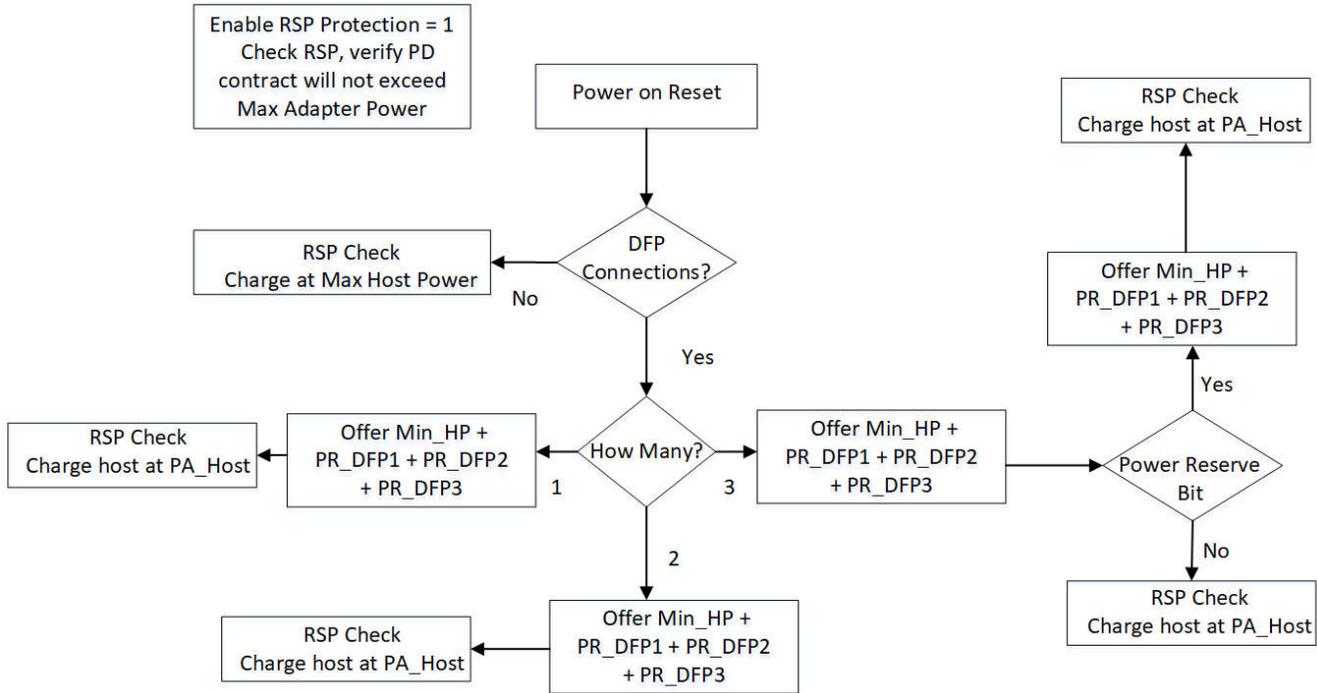


图 2-1. 主机充电电流（初始功率分配）

首先，控制器会检查有多少个 DFP 端口已连接。如果零个设备端口处于活动状态 (0 DFP)，则主机可以以最大允许功率充电（最高可达适配器容量或主机的 PD 合约限值）。如果一个或多个 DFP 端口在使用中，SPM 会计算每个端口的实际功耗 (PR_DFP1、PR_DFP2 等)。然后，TPS65982DMC 将主机的可用功率计算为 *保证的主机功率 (Min_HP)* 加上所有连接的 DFP 端口功率读数之和。例如，如果 Min_HP 为 60W，且当前一个设备端口消耗约 5W (PR_DFP1 约为 5W)，则主机被分配的功率约为 60W + 5W = 65W。如果连接了多个 DFP，则会相应地将测量功率相加。如果所有下行端口均被占用且启用了 *启用使用预留功率* 选项，此时主机的分配功率中还会加入系统预留功率预算。经计算得出的结果即为主机充电功率预算（称为 *P_A_Host*），而且 PD 控制器会通告相应的 PDO 以向主机提供该功率。最后，执行 RSP 检查以验证所有活动 PD 合约的总和（在此次主机分配后）不超过适配器的最大值，这是额外的安全确认，以确保整个系统在限值范围内运行。

初始主机功率设置完成后，SPM 会持续监测各种变化。如下文所述，当出现新负载时，主机的充电功率会被动态降低；当负载消失时，充电功率则会相应提升。

2.2 动态降低主机功率 (新负载连接)

当新的下游设备接入或现有 DFP 的功耗突然增加时，SPM 可降低主机充电功率以避免适配器过载。

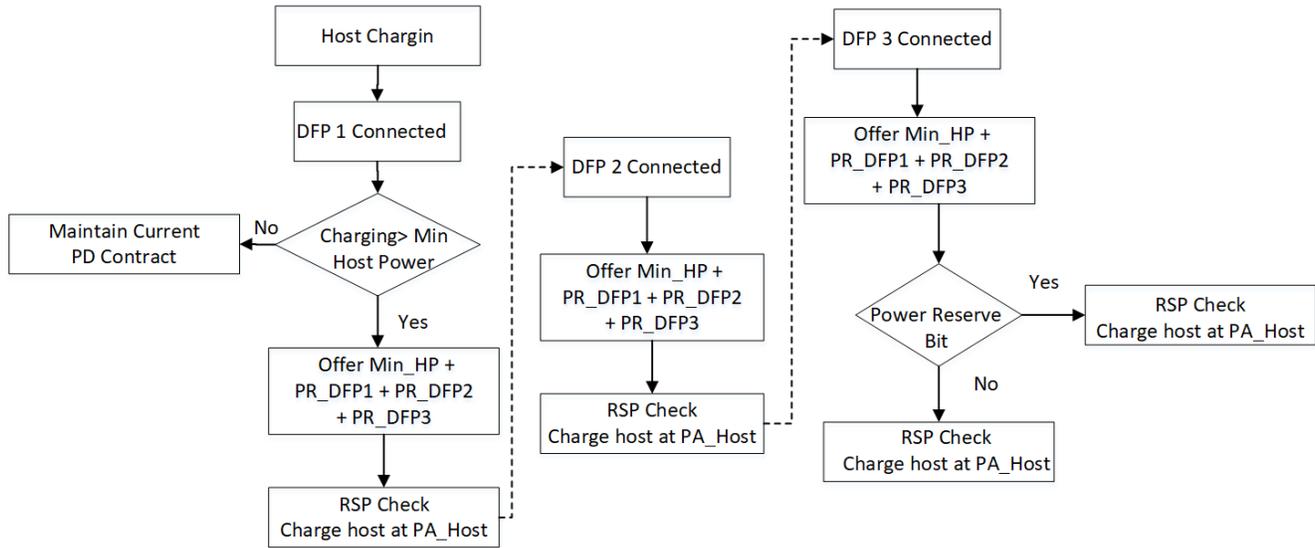


图 2-2. 降低主机充电流程 (新负载接入时的动态降低)

在图 2-2 中，SPM 会检查主机当前使用的功率是否超过验证的最小功率（例如，主机充电功率 > Min_HP？）。如果主机已处于最小功率配额状态（即主机没有可释放的余量），则无法再降低其功率。此时，SPM 会维持主机当前的 PD 合约（新接入的设备只能获得剩余的少量可用功率）。但是，如果主机使用的功率超过 Min_HP（因此存在一些可削减的余量），SPM 会重新计算主机的允许功率，即 $Min_HP +$ 加上所有 DFP 端口功率读数之和（现在包括新接入设备的功率）。由于新增一个端口在消耗功率，DFP 总功率之和增加，因此主机的预算会相应减少。然后，PD 控制器通过向主机提供较低功率的 PDO，将主机的功率合约降至该新值。每次新的 DFP 连接都会重复此调节：例如，第一个设备接入后，主机功率降至 $Min_HP + PR_1$ ；如果第二个 DFP 接入，主机功率会进一步降至 $Min_HP + PR_1 + PR_2$ （如图 2-2 中 DFP2 的虚线框所示），更多端口接入时以此类推。如果系统配置了预留功率预算且现在所有 DFP 端口都已占用，SPM 还会检查预留功率设置——如果启用了预留功率，满载时主机的最终预算会包含该预留功率（例如， $Min_HP + PR_1 + PR_2 + PR_3 +$ 预留功率）。在降低主机功率的每个步骤中，都会执行 RSP 检查，以验证新配置不会使适配器过载。通过这种机制，SPM 会从主机获取任何必要的功率余量（最低至最小值），优先为新接入的设备供电，从而防止总功耗超过适配器限值。

2.3 主机功率动态增加 (负载断开)

相反, 当下游设备断开连接或需求显著下降时, 若出现额外余量, SPM 可提高主机充电功率。

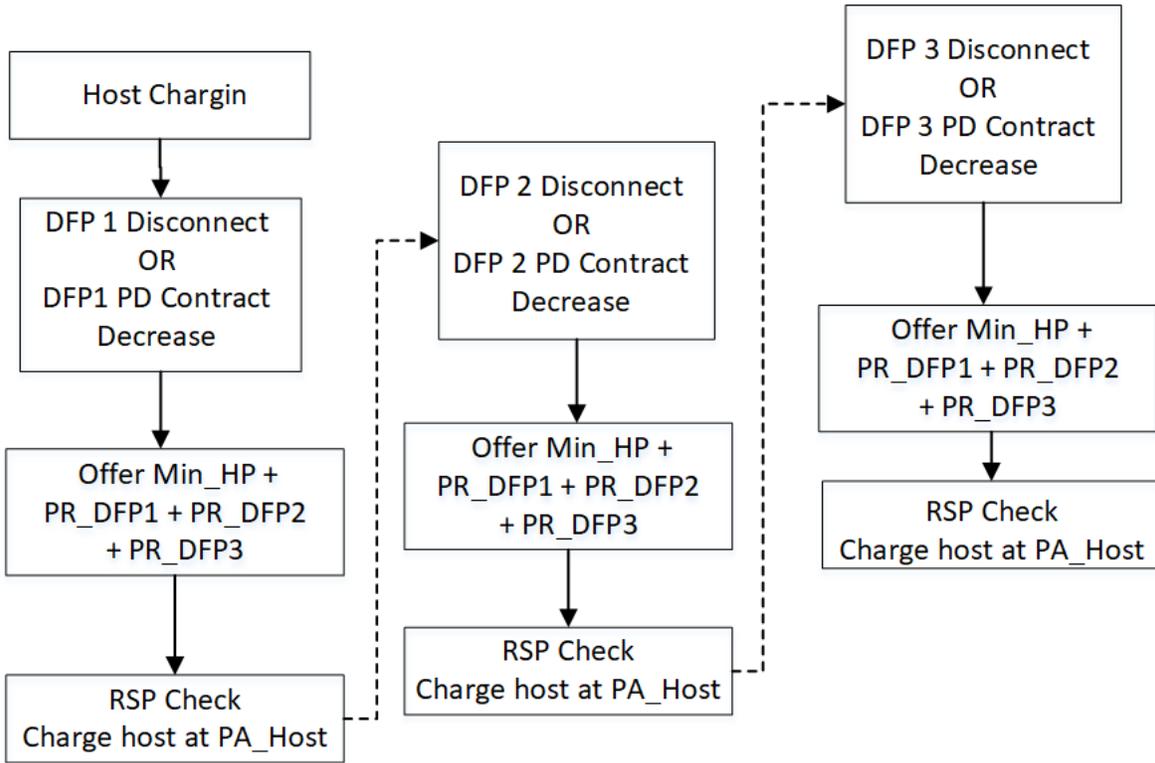


图 2-3. 增加主机充电流 (负载断开时的动态增加)

该流程本质上是上述降低流的逆过程。当 DFP 设备断开连接或减少 PD 合约配额时 (例如, 外设进入待机模式, 消耗的功率大幅减少), 适配器预算的一部分会被释放。当检测到 DFP 端口断开或负载下降后, SPM 会使用以下公式重新计算主机端口的可用功率限制: $\text{Min_HP} + \text{剩余已连接 DFP 端口的功率之和}$ 。由于活动端口减少一个 (或 DFP 总负载降低), PR_DFP 总和减少, 因此计算得出的主机可用功率更高。然后, PD 控制器可重新协商并向主机提供更高功率的 PDO, 从而有效增加主机充电功率。如果多个 DFP 端口依次断开, 此步骤会每次重复 (流程图中用虚线框分别标注了 DFP2、DFP3 等的这些事件)。最终, 在外部设备负载被移除或降低后, 一旦外部负载被撤除, 主机的充电功率会逐渐恢复至适配器 (以及主机的承受能力) 所允许的最大值。这假定主机的功率之前已经被削减。主机功率的每次增加也会受到 RSP 检查的保护, 以验证整个系统仍处于安全限值内。通过这种机制, SPM 能充分利用设备断开后释放的所有功率余量, 尽可能加快主机充电速度, 进而提升用户体验。

2.4 主机调节中纳入系统功耗

前文所述的主机功率流程主要关注外部设备负载的变化。在最新一代 SPM 中，主机功率管理还会考虑扩展坞自身的功耗。TPS65982DMC 在每个 RSP 检查间隔会计算扩展坞的内部功率消耗（非 USB 功率），定义为：**适配器总输出功率（INA 读数）减去所有 PD 端口使用的功率（PR_DFPx + PR_UFP 之和）**。该器件会测量扩展坞电路消耗的功率。

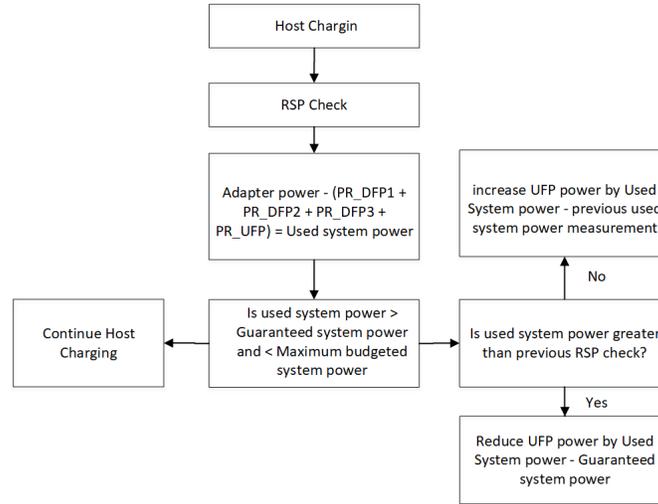


图 2-4. 考虑系统功率的主机充电调节。

在每个周期中，SPM 会将当前系统（扩展坞）功率消耗与之前的测量值进行比较。如果系统功率已超过之前分配的系统功率限额（例如，系统正在使用部分原本空闲的系统余量），但仍低于最大预算系统功率，则扩展坞的内部电路已开始消耗之前可供主机和端口使用的功率。作为响应，SPM 会将主机充电功率降低，降低的幅度大概等于系统功耗超出限额的那部分数值。例如，如果扩展坞自身的功耗较之前额外增加了 5W。（占用高达 5W 的空闲预算），主机的功率限值会暂时降低约 5W 以作补偿，从而控制总功耗。相反，如果系统（扩展坞）的功耗下降（比如某些内部电路进入低功耗模式），且主机的功率此前因系统负载较高而被削减过，SPM 会将这部分功率返还给主机，使主机的充电配额再次增加。每次调节仍会遵循最小主机功率和最大系统功率限制，确保主机功率绝不会低于 Min_HP，且扩展坞不会超过预留预算。简而言之，当扩展坞内部电路需要更多功率时，主机充电会暂时减少相应的量；当系统负载降低时，这部分功率会返还给主机。这种额外的改进有助于确保适配器的容量得到充分且灵活的利用。

3 保护机制和过载处理

为保护系统和适配器，SPM 设计集成了多级过载保护机制。当总功率接近或超过特定阈值时，系统会有不同的应对方式，具体分为三种情况：处理接近最大适配器功率的状态、中等过功率事件和严重过功率事件。这些机制确保当总需求接近或突破限值时，系统能及时做出反应，避免破坏性的过载情况。

3.1 过载前行为（最大适配器功率）

当系统总负载接近适配器的额定最大输出（在实际超过额定最大输出之前）时，SPM 会采取预防措施。在该阶段，通过定期 RSP 检查，DMC 会限制任何新的高功率 PD 请求，并监控可用余量。必要时，DMC 可主动降低非关键负载的功耗（例如，放缓主机充电速度以留出功率余量）。这本质上是最大适配器功率保护机制的作用——在过载发生前，系统通过调整使总功率保持在安全范围内。例如，若适配器为 180W，且总需求逐渐接近 180W，SPM 可暂停进一步增加主机充电或暂时限制某些内部负载（此操作内部称为最大适配器处理），以防止超过限值。

3.2 中等过功率保护

中等过功率状态是指总功耗超出适配器额定值的幅度为轻微至中等，尚未达到触发最严重警报的程度。中间过功率状态介于正常最大值和高过功率阈值之间。

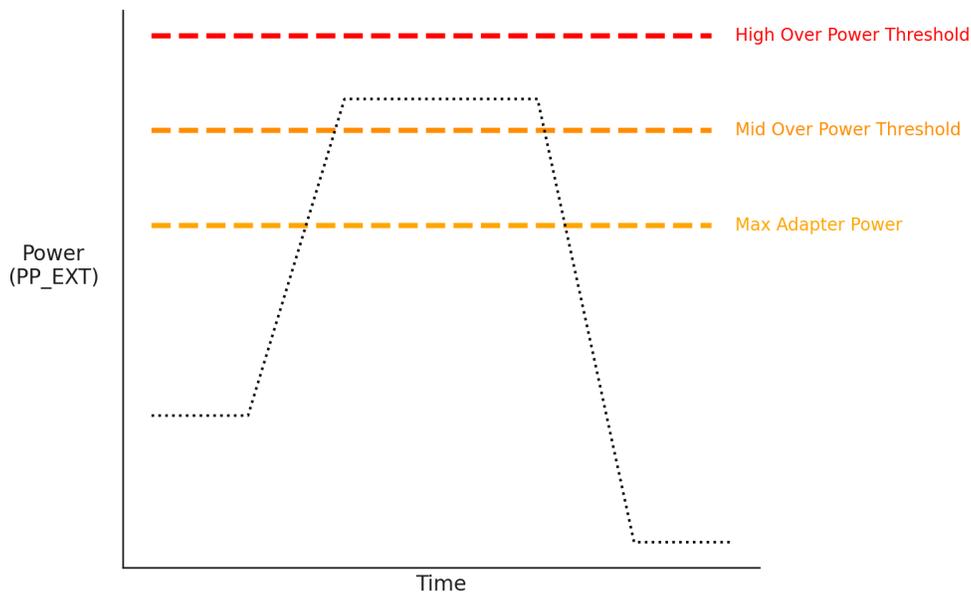


图 3-1. 功率保护阈值

在这张总功率 (PP_EXT) 随时间变化的示例图表中（如 图 3-1 所示），黄色虚线代表适配器的最大功率 (180W)，橙色虚线为中等过功率阈值（例如约 185W），红色虚线为高过功率阈值（例如约 190W）。如果系统功率超过中等阈值（橙色线）——例如，以约 185W 运行，比适配器的 180W 容量高约 5W——且功率保持在该水平的时长超过配置的时长（在本例中过功率时间为 0.5s），则会触发中等过功率保护程序。

一旦检测到中等过载，SPM 会执行特定的响应流程。

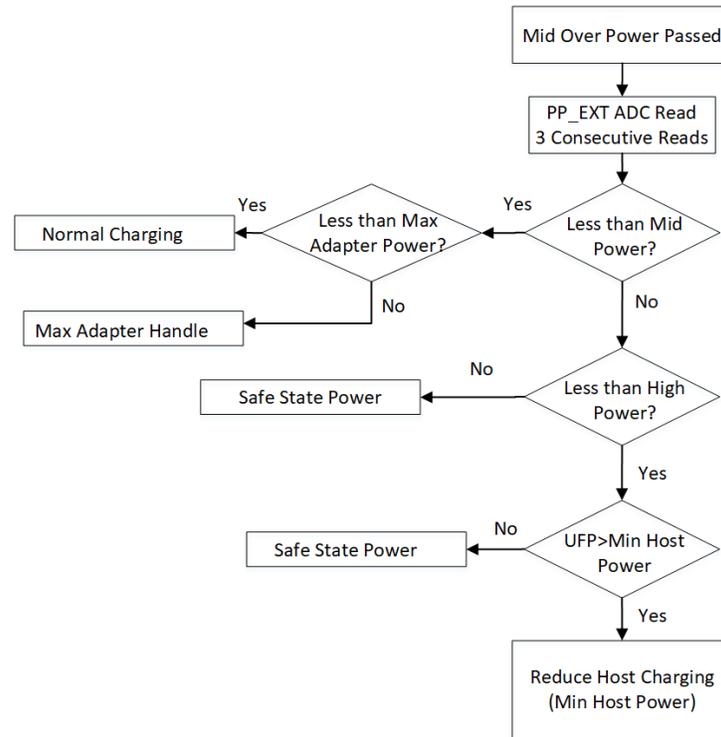


图 3-2. 中等过功率保护流程

DMC 首先对总功率进行几次快速 ADC 采样（例如，连续三次快速采集），以确认此次过载并非短暂的瞬态尖峰。如果在此短时间内，功率回落到适配器的限值以下（例如，小于最大适配器功率？= 是），则说明此次波动为瞬时现象——系统无需干预即可恢复正常充电（适配器可承受这种快速尖峰）。但如果功率仍高于适配器最大值（否），SPM 会将该电平与中等阈值进行比较。如果功耗超过中等阈值（小于中等功率？= 否 - 表示该情况已接近高过载），那么，为了安全起见，SPM 会毫不迟疑地立即升级到安全状态电源模式（稍后介绍）。如果负载高于适配器的最大值但低于中等阈值（低于中等功率？= 是 - 轻过载），SPM 会尝试通过释放一些负载来降低阈值。SPM 检查主机是否具有 SPM 可释放的冗余功率（UFP > 最小主机功率？）。如果充电功率高于最低要求（是），SPM 会执行减少主机充电操作，将主机功率降到 Min_HP（从而释放部分功率，使总功耗回到限值以内）。若主机没有可释放的余量（否——意味着主机已处于 Min_HP，且无法通过降低主机功率解决此次过载），则系统进入安全状态保护。在此流程之后，大多数中等过载情况可通过临时降低主机（或其他可调负载）的充电功率解决，且不会严重影响系统运行，使总功率回到适配器的可持续范围内。

3.3 高过功率保护

当总功率大幅超过适配器额定值——超过高阈值（例如，180W 适配器上超过 190W）——即构成严重过载状态。为保护硬件和适配器，SPM 在该级别下的响应更为激烈。

如果检测到高于高阈值（红线）的过载状态，会迅速做出反应。通常几乎无延迟（或仅需极短的确窗口），DMC 会再次进行多次快速 ADC 采样。如果在这些采样期间功率被确认仍高于高阈值（意味着过载严重且持续），SPM 会立即强制系统进入安全状态电源模式。

在安全状态下，PD 控制器会将所有端口输出急剧降至最低安全水平。例如，主机充电可降至极低水平（回退至 5V 基本 USB 功率或禁用快充），每个下游端口的高压电源要么降至 5V，要么完全关闭（只留下最小 5V 的有限电流电源以使设备保持运行）。这种剧烈的负载削减使总功耗迅速回落至安全限值以下，避免适配器过流关断或系统电源故障。同时，系统可记录或发出警报信号（例如，设置 GPIO 或状态寄存器位以指示已进入安全状态）。

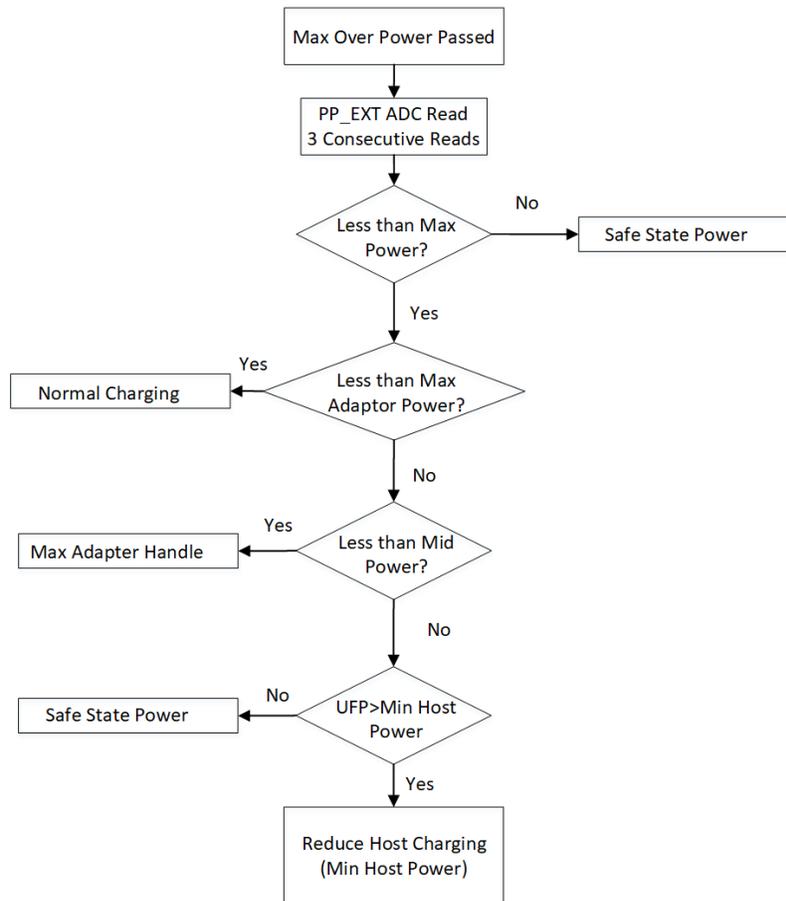


图 3-3. 高过功率保护流程

如果高过载情况在采样间隔期间消退（如瞬态尖峰后功率回落至阈值以下），SPM 会相应评估——SPM 可将该事件视为较轻微的过载，执行中等过载流程（例如，若尖峰后功率仅略高于正常水平，SPM 可仅降低主机功率，而无需保持在安全状态）。但通常情况下，触发高过功率保护意味着立即进入安全状态模式，该模式会持续到过载原因被消除或用户降低负载。*过功率时间参数*（本设计中为 500ms）确保 SPM 不会对极短暂的功率尖峰过度反应，但对于任何持续的严重过载，该参数能保证固件果断干预。

总之，SPI 的多层保护策略首先尝试通过功率重新分配（例如，根据需要限制主机充电）——通过 *最大适配器功率* 预防性调整操作和 *中等过功率* 缓解程序——来处理轻至中等过载，且仅在过载太严重而无法通过这些方法进行补救时才采取极端 *安全状态* 措施。

4 应用小贴士和测试结果

通过上述智能电源管理实现方案，基于 TPS65982DMC + TPS65994 的系统在实际应用中展现出多项显著优势：

- **电源利用率与效率提升：**测试证实，动态 SPM 能显著提高整体电源利用率。在传统静态分配方式中，每个端口通常预先预留最大 PDO 功率，这会导致部分端口的功率预算闲置，同时主机充电被限制。借助动态 SPM，如果设备实际功耗低于协商限值，系统会自动将该端口未使用的功率重新分配给其他需求（如主机或其他设备）。例如，某个端口协商了 15W 功率但实际仅消耗 5W，这样就释放出约 10W 功率，可转移至主机充电，从而缩短主机充电时间。同时，适配器的总输出更贴合实际需求，避免了因永久预留余量而造成的能量浪费。在某些轻负载场景下，适配器输出功率会自动降低，这减少了热损耗，还能带来一定的节能效果。
- **过载保护和系统稳定性：**SPM 的实时调整能够显著提高系统在大型负载瞬态条件下的稳定性。在模拟多个高功率设备近乎同时连接的压力测试中，传统设计可能会出现突发过载，进而触发适配器保护或导致系统电压被限制。借助 SPM，当总功耗接近限值时，系统会通过 RSP 检查来主动拒绝新的功率请求，或降低其功率规模，从而预先规避问题。如果即将发生过载，主机的充电过程会暂时降低主机的充电功率，以控制总功耗。测试结果表明，SPM 成功防止了因过载导致的关断。例如，在配备 180W 适配器的系统中，特意将扩展坞的总负载加至约 200W。SPM 立即做出反应，将主机充电功率从 60W 降至约 30W，使总功耗回到 180W 以内。系统持续稳定运行，未出现复位或关机。这种动态保护相比依赖保守的固定限值或简单保险丝的方式，更具前瞻性和平稳性，确保用户不会因过载事件而遭遇中断。
- **设计和调试建议：**为充分发挥 SPM 的作用，在设计和测试过程中请考虑以下几点：
- **精确功率检测：**确保 IMON 和 CDC 电压的 ADC 测量值已根据实际功率正确校准。在固件中对 PR_DFP 的读数进行平均或滤波处理，防止系统对瞬时波动做出不必要的反应，进而避免功率分配出现频繁来回调整。
- **合理参数配置：**根据主机设备的最低充电要求（例如，笔记本电脑仍可以维持或缓慢地为电池充电的功率级别）设置 **Min_Host_Power**（保证主机功率）。仅当系统（坞站）确实需要专用预留功率时，才确定 **预留功率** 预算。在许多设计中，专用预留功率可设为 0W，以优先保障主机和外设。使 **最大适配器功率** 设置与适配器的额定输出完全一致。对于中、高过载阈值，TI 建议设置为比适配器额定值高约 5 - 10% 的裕度，并根据适配器处理瞬态的能力调整过载时间（通常以 500ms 为起点，但可根据适配器的过流保护特性缩短或延长）。
- **全面场景测试：**测试各种负载条件。例如，一个端口处于满负载状态而所有其他端口处于中等负载状态的情况、大型负载突然断开的情况、新的高功率负载突然接入的情况，等等。观察主机和每个端口的 PDO（协商的功率合约）会做出怎样的响应变化。验证 SPM 流程图的每个分支是否都能被执行，且运行表现符合预期。使用示波器和逻辑分析仪等仪器来捕获 I2C 功率读数和随时间推移的 PD 协商过程，这对测试调试会大有帮助。通过这些测量，可以对参数（如轮询频率或功率计算方法）进行微调，从而在响应速度和稳定性之间取得良好平衡。
- **文档记录与调试：**在设计文档中清晰记录所有与 SPM 相关的参数、决策流程和假设条件。如果出现问题（例如，主机充电波动或意外触发 **安全状态**），一份记录详尽的 SPM 预期行为参考文档能更轻松地准确定位错误。这样可以更快地调整配置或固件，快速解决问题。

5 总结

采用 TPS65982DMC 和 TPS65994BG 实现智能电源管理，可为多端口 USB-C 扩展坞提供高效且稳健的电源设计。通过动态管理多个端口之间的功率分配，系统确保适配器每一瓦特的容量都得到有效利用——在需要功率的地方供电，同时不浪费未使用的容量。同时，多级过载保护策略通过平稳响应防止电源中断或关断，从而保护硬件。测试结果表明，配备 SPM 的扩展坞在重负载场景下的处理能力和保护效果远优于传统静态设计。本应用手册中提供的架构概述、配置指南和流程图逐步指导可帮助设计工程师实现和微调 TPS65982DMC 和 TPS65994BG 的 SPM 功能，从而构建高性能且供电可靠的多端口 USB-C 系统。

6 参考资料

- 德州仪器 (TI)，[TPS65982DMC 扩展坞管理控制器](#)，数据表。
- 德州仪器 (TI)，[TPS65995AD 具有集成式电源开关、支持 USB4 和交替模式的双端口 USB Type-C® 和 USB PD 控制器](#) 数据表。

重要通知和免责声明

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司