

Application Note

TPS257xx-Q1 系统电源管理



Seong Kim

摘要

USB Type-C® 和电力传输 (PD) 规范扩展了 USB 端口的功能，包括支持通过 USB 连接提供更高的电力传输。随着 USB Type-C 和 PD 应用以及可通过 USB 充电的便携式设备的广泛应用，单端口或多端口充电器系统需要通过智能管理电源方案来实现可靠、安全运行，这一点变得越来越重要。

本应用手册介绍了 TPS2576x-Q1 和 TPS2577x-Q1 系列 USB Type-C PD 控制器如何使用系统电源管理 (SPM) 引擎通过 USB 进行电力传输，从而实现稳健可靠的系统运行。

内容

1 简介	3
1.1 术语和缩写.....	3
2 SPM 引擎概述	4
3 多端口功率分配策略	5
3.1 保证容量策略.....	6
3.2 共享容量策略.....	8
3.3 混合模式.....	11
4 功率折返策略	13
4.1 热折返操作.....	13
4.2 引擎开启/关闭转换管理.....	16
5 多端口功率分配策略示例	20
5.1 保证容量策略示例.....	20
5.2 公平共享功率策略示例.....	23
5.3 混合模式示例.....	35
6 参考资料	39
7 修订历史记录	39

插图清单

图 2-1. TPS257xx-Q1 SPM 引擎方框图.....	4
图 3-1. SPM 引擎可配置参数 - 高级配置.....	5
图 3-2. 保证容量策略.....	6
图 3-3. 保证策略 GUI 选择 - 高级配置.....	6
图 3-4. 共享容量策略.....	8
图 3-5. 共享容量 GUI 选择 - 高级配置.....	8
图 3-6. 混合模式 GUI 选择 - 高级配置.....	11
图 3-7. USB Type-C 电流 - 高级配置.....	12
图 4-1. NTC 输入电压阈值和热阶段.....	13
图 4-2. 热敏电阻实现选项.....	13
图 4-3. 热折返 GUI 条目示例.....	14
图 4-4. I2C 温度传感器和热敏电阻配置示例.....	15
图 4-5. VIN 级别和发动机打开或关闭功率转换.....	17
图 4-6. 发动机打开或关闭 GUI 进入示例.....	18
图 5-1. 保证容量策略协商流程 - 端口 A 已连接.....	21
图 5-2. 保证容量策略协商流程 - 端口 B 已连接.....	22
图 5-3. FSP 协商流程 - 场景 1.....	24

图 5-4. FSP 协商流程 - 场景 2.....	25
图 5-5. 带有盲受电方支持的 FSP 协商流程 - 场景 1.....	28
图 5-6. 带有盲受电方支持的 FSP 协商流程 - 场景 2.....	29
图 5-7. 带有盲受电方支持的 FSP 协商流程 - 场景 3.....	30
图 5-8. 带有盲受电方支持和最大功率的 FSP 协商 - 场景 1.....	32
图 5-9. 带有盲受电方支持和最大功率的 FSP 协商 - 场景 2.....	33
图 5-10. 带有盲受电方支持和最大功率的 FSP 协商 - 场景 3.....	34
图 5-11. 混合模式协商流程 - 场景 1.....	36
图 5-12. 混合模式协商流程 - 场景 2.....	37
图 5-13. 混合模式协商流程 - 场景 3.....	38

表格清单

表 1-1. 术语和缩写.....	3
表 3-1. SPM 引擎参数.....	5
表 3-2. 公平共享功率策略参数.....	9
表 3-3. 示例场景和相应的功率分配.....	9
表 3-4. “Blind Sink Support” 禁用和启用之间的区别.....	10
表 3-5. 混合模式参数.....	11
表 4-1. 热阶段参数.....	14
表 4-2. NTC 热敏电阻阶段配置值.....	15
表 4-3. I2C 温度传感器阶段配置值.....	15
表 4-4. VIN 阈值参数.....	16
表 4-5. 可配置计时器参数.....	16
表 4-6. SPM 引擎参数 - 引擎开启/关闭功率折返示例.....	19
表 4-7. 引擎开启/关闭功率折返操作示例.....	19
表 5-1. SPM 引擎参数 - 保证容量策略示例.....	20
表 5-2. 保证容量策略示例.....	20
表 5-3. SPM 引擎参数 - 具有正常受电方的 FSP 示例.....	23
表 5-4. 公平共享功率策略参数.....	23
表 5-5. 具有正常受电方的 FSP 示例.....	23
表 5-6. SPM 引擎参数 - 具有盲受电方时的 FSP 示例.....	26
表 5-7. 公平共享功率策略参数.....	26
表 5-8. 带有盲受电方支持的 FSP 示例.....	26
表 5-9. 带有盲受电方支持和最大功率的 FSP 示例.....	31
表 5-10. SPM 引擎参数 - 混合模式示例.....	35
表 5-11. 混合模式参数.....	35
表 5-12. 混合模式示例.....	35

商标

USB Type-C® is a registered trademark of USB Implementers Forum.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

TPS2576x-Q1 和 TPS2577x-Q1 器件属于 USB Type-C PD 控制器系列，适用于单端口或多端口充电或数据 USB 系统应用。TPS2576x-Q1 和 TPS2577x-Q1 系列支持集成式系统电源管理 (SPM) 引擎，该引擎可管理多端口功率分配策略（对于 TPS25772-Q1 双端口 PD 控制器），并根据以下事件动态调整 USB 端口功率：连接或断开受电器件及其灌电流能力、通过外部热敏电阻或温度传感器测量的热事件，以及通过输入电源电压的变化检测的引擎状态。

1.1 术语和缩写

表 1-1. 术语和缩写

术语	说明
盲受电方	不根据系统电源要求返回受电方能力的受电方。
合约	供电方和受电方之间就功率级别达成的协议。
FSP	Fair Share Power 的缩写，即“公平共享功率”
正常受电方	根据系统电源要求正确返回受电方能力的受电方。
协商	受电方和供电方之间的 PD 过程： <ul style="list-style-type: none"> 供电方广播其供电能力。 受电方请求其中一种广播功能。 供电方接受请求并相应地供电 协商结果是 TPS257xx-Q1 与受电器件之间的电力输送/消耗合约。
PD	USB 电力输送
端口伙伴	连接到 TPS257xx-Q1 端口的 USB Type-C PD 器件或主机。在本应用手册中，端口伙伴用于指示受电方。
PDO	电源数据对象。用于揭示供电方的供电能力或受电方的电源要求。
受电方	从 VBUS 消耗电力的端口伙伴；通常是器件。在本应用手册中，受电方是指连接到 TPS257xx-Q1 的器件。
受电能力	受电方报告的 PD 消息，其中包括用于传达受电方运行功率要求的 PDO。也称为“Sink Cap”。
供电方	通过 VBUS 供电的端口伙伴；通常为下行端口。在本应用手册中，供电方是指 TPS257xx-Q1。
供电功能	供电方报告的 PD 消息，其中包括用于传达供电方供电能力的 PDO。也称为“Source Cap”。
SPM 引擎	TPS257xx-Q1 的集成子系统，负责系统电源管理的操作功能

2 SPM 引擎概述

TPS257xx-Q1 的 SPM 引擎包含两个主要的子系统 (图 2-1)：多端口功率分配策略和功率折返策略。请注意，多端口功率分配策略特定于 TPS25772-Q1 双端口 PD 控制器，因为 TPS2576x-Q1 器件是单端口 PD 控制器，仅包含功率折返策略模块。对于 TPS25772-Q1，SPM 引擎的两个子系统协同工作，以便支持根据不同类型的电源事件进行动态功率调节。

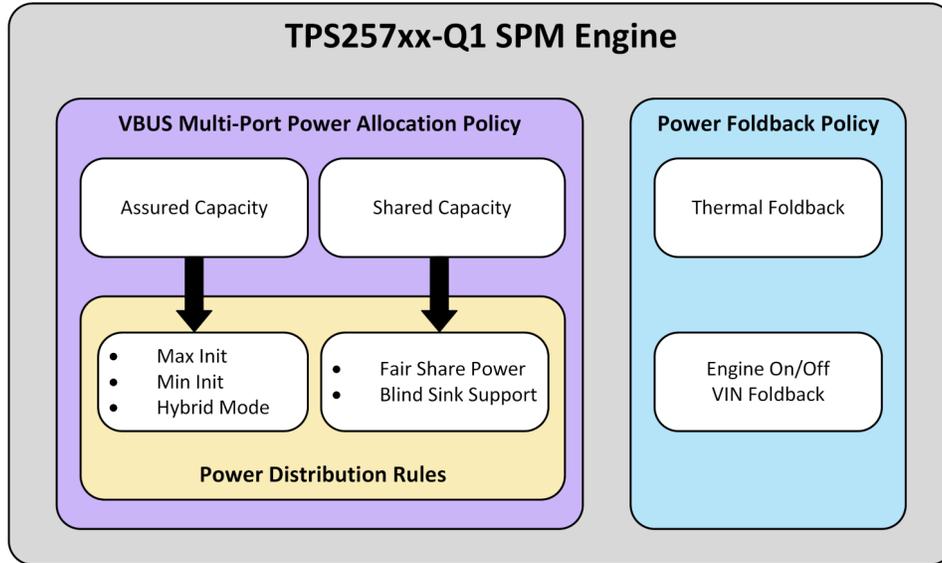


图 2-1. TPS257xx-Q1 SPM 引擎方框图

TPS25772-Q1 支持两种类型的多端口功率分配策略：保证容量策略和共享容量策略。每个 SPM 系统只能启用一个策略。保证容量策略允许将功率分配给独立于第二个端口状态的端口，而共享容量策略允许两个端口共享可用的总可用系统功率。

- 保证容量策略：供电方端口具有固定分配的功率量，能够独立于第二个端口的状态提供其最大功率容量。如需了解更多详情，请参阅节 3.1。
- 共享容量策略：供电方端口具有动态分配的功率，并且能够根据与第二个端口共享的剩余可用系统功率提供最大的功率容量。如需了解更多详情，请参阅节 3.2。

多端口功率分配策略规定如何将总系统功率分配给各个端口。功率分配规则确定如何将分配的功率分配给连接的受电方。可以使用图 2-1 中“功率分配规则”方框内所列的其中一种相应功率分配方法来启用保证容量策略和共享容量策略。这些功率分配规则将在后续部分中更详细地讨论。

功率折返策略支持动态功率调整，以便响应电源相关活动（例如过温和电源电压事件），从而满足运行安全要求，并与多端口功率分配策略结合使用。如需了解更多详情，请参阅节 4。

备注

SPM 引擎仅负责管理 VBUS 电源。VCONN 电源不在 SPM 的工作范围内。系统应单独为 VCONN 电源分配功率预算。有关更多信息，请参阅特定于器件的数据表。

3 多端口功率分配策略

SPM 引擎包含多端口功率分配策略，可以使用 [TPS257XX-Q1-GUI](#) 进行配置。以下参数是根据系统要求配置的，用于实现正确的 SPM 操作。

表 3-1. SPM 引擎参数

SPM 引擎参数	说明
系统最大功率	分配给所有端口的系统总功率容量
端口最大功率	每个端口的最大 VBUS 功率。功率合约限制为此参数中配置的最大值
端口最小功率	每个端口的最小 VBUS 功率。每个端口都需要此参数中配置的最小功率。

可以通过 GUI 的“Advanced Configuration”视图菜单配置 SPM 引擎参数。请参阅 [TPS257xx-Q1 GUI 配置指南](#) 以了解更多信息。图 3-1 展示了 GUI “Advanced Configuration”视图中的 SPM 电源参数配置。

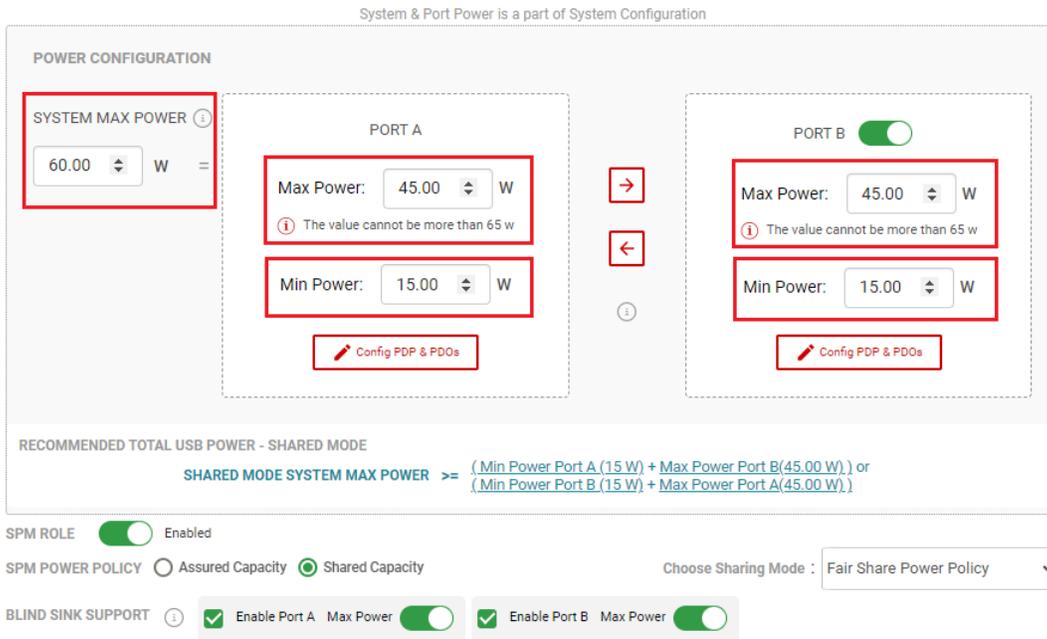


图 3-1. SPM 引擎可配置参数 - 高级配置

3.1 保证容量策略

在保证容量策略中，端口最大功率的总和等于系统最大功率。

$$\text{System Max Power} = \text{Port A Max Power} + \text{Port B Max Power} \quad (1)$$

当供电方端口配置为“Assured Capacity”时，端口最大功率得到保证，并且每个端口都能够独立于第二个端口的状态提供其最大端口功率。图 3-2 展示了一个保证容量策略示例，其中系统最大功率为 60W，端口 A 的最大功率为 40W，而端口 B 的最大功率为 20W。

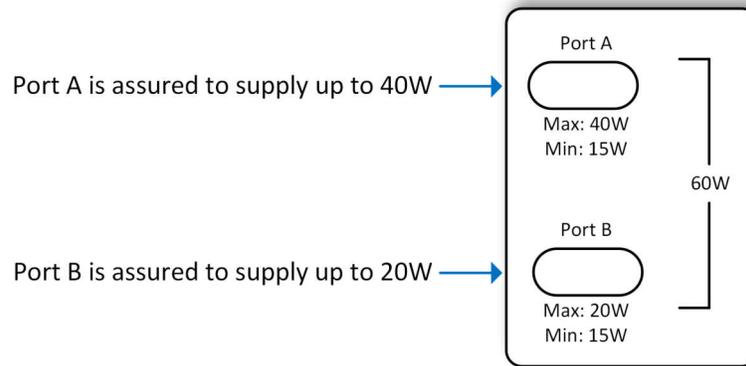


图 3-2. 保证容量策略

TPS25772-Q1 双端口 PD 控制器支持两种保证容量功率模式，具体可使用 TPS257XX-Q1-GUI 进行配置。选项有：

- Max Init Power (最大初始化功率)：连接时，供电方将首先发送供电方能力，广播 GUI 中配置的最大功率。
- Min Init Power (最小初始化功率)：连接时，供电方将首先发送供电方能力，广播 GUI 中配置的最小功率。根据响应受电方能力，TPS257xx 将相应地重新发送供电方能力。

除非根据系统要求首选其他工作模式，否则建议始终配置为 Max Init Power (默认 GUI 设置)。图 3-3 展示了 GUI “Advanced Configuration” 视图中的保证容量策略选择。

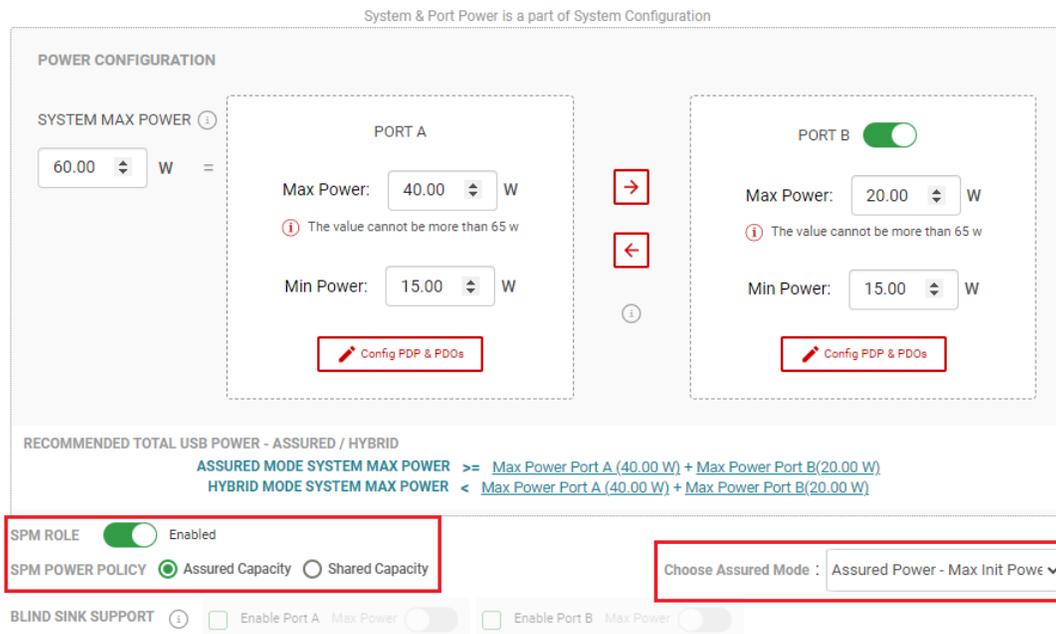


图 3-3. 保证策略 GUI 选择 - 高级配置

了解保证容量策略的示例场景，以便更好地了解选择此 SPM 电源策略时如何分配和分布系统电源，请参阅[节 5.1](#)。

3.2 共享容量策略

在共享容量策略中，端口最大功率的总和小于系统最大功率。当供电方端口配置为“Shared Capacity”时，每个端口的端口最小功率得到保证，而储存在功率储备中的剩余功率在端口 A 和端口 B 之间共享。

$$\text{System Max Power} = \text{Port A Min power} + \text{Port B Min power} + \text{Power Reserve} \quad (2)$$

图 3-4 展示了一个共享容量策略示例，其中系统最大功率为 75W，端口 A 和端口 B 的最小功率都为 15W，而功率储备为 45W。端口 A 连接到请求 45W 的受电方。端口 A 的 15W 最小功率得到保证，因此从功率储备分配 30W，以便提供受电方请求的总共 45W 功率。功率储备的剩余功率现在为 15W，因此当端口 B 的最小功率为 15W 时，总共可为端口 B 提供 30W 的功率。从这一点来看，第二个受电方连接到端口 B 时会发生什么情况取决于端口伙伴的受电方能力，并在以下各小节中进行讨论。

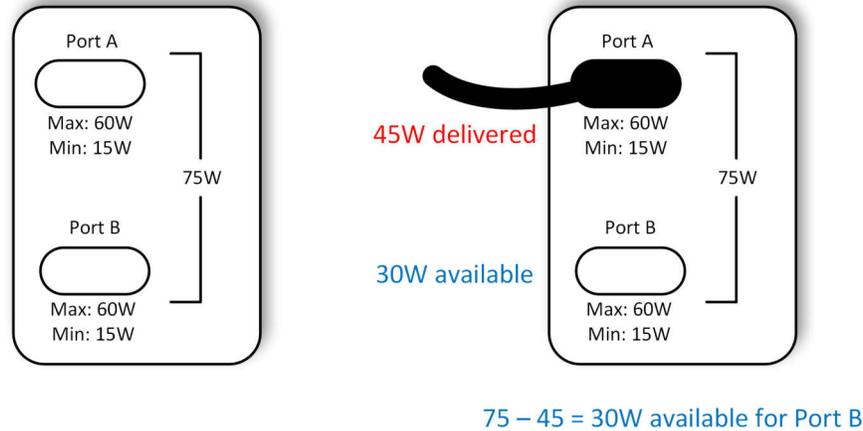


图 3-4. 共享容量策略

图 3-5 展示了 GUI “Advanced Configuration” 视图中的共享容量策略选择。

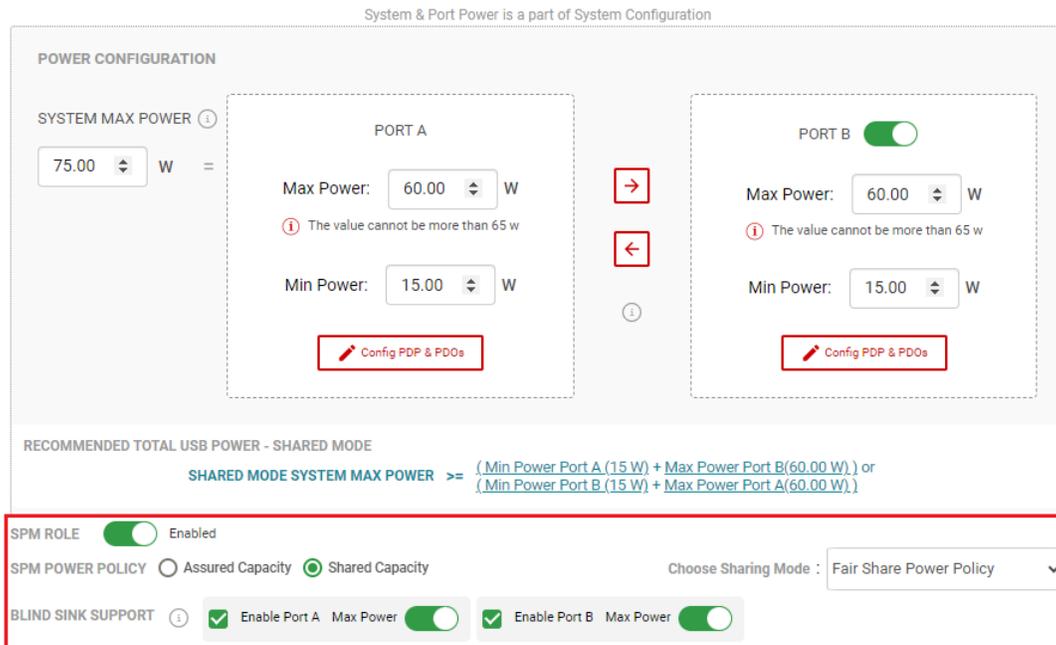


图 3-5. 共享容量 GUI 选择 - 高级配置

请注意，尽管可以在 GUI 中自由配置，但根据 **USB Type-C 电缆和连接器规范 2.2 版**，以下行为规则必须适用于配置了共享容量策略的供电方端口：

- 两个供电方端口必须具有相同的电源能力；每个端口必须具有相同的端口最大功率和端口最小功率，并且能够从功率储备同等获取功率。
- 端口最小功率必须至少为 **7.5W**。
- 如果功率储备在一秒内有足够的剩余功率，则最初提供 **1.5A** 的端口在与受电方连接后必须增加到 **3A**。

3.2.1 公平共享功率策略

公平共享功率 (FSP) 策略是共享容量策略的功率分配规则。使用 FSP 时，每个供电方端口的端口最小功率得到保证，并且功率储备中的剩余功率将根据端口伙伴的受电能力智能分配给端口。

表 3-2 中显示的 FSP 参数用于功率分配方法，并在两个受电方之间实现 FSP。

表 3-2. 公平共享功率策略参数

公平共享功率策略参数	说明
端口最小功率	每个端口的可配置最小 VBUS 功率
平均分配的共享功率	功率储备可分配给每个端口的平均共享功率。 功率储备/端口总数。
每端口保证的 FSP	每个端口保证的共享功率。 平均分配的共享功率 + 最小端口功率

公平共享功率策略的典型功率分配流程如下：

1. 第一个连接的供电方端口开始广播端口最小功率并向其端口伙伴发送 **获取受电能力** 请求。
2. 受电方通过返回受电能力消息进行响应，并相应地接收功率。
3. 剩余的功率存储在功率储备中。
4. 第二个连接的供电方端口开始广播端口最小功率并向其端口伙伴发送 **获取受电能力** 请求。收到受电能力后，SPM 开始功率分配过程。在功率分配过程中，功率将从功率储备中获取或收集到功率储备，以便满足受电方的要求，如表 3-3 中所示。

表 3-3. 示例场景和相应的功率分配

	示例场景	相应的功率分配
1	两个端口伙伴的受电能力都小于每个端口保证的 FSP。	SPM 会根据受电能力分配功率，并将剩余功率存储到功率储备中。
2	两个端口伙伴的受电能力都高于每个端口保证的 FSP。	SPM 向每个受电方分配每个端口保证的 FSP。
3	一个端口伙伴的受电能力高于每个端口保证的 FSP，而另一个端口伙伴的受电能力低于每个端口保证的 FSP。	SPM 向请求较低功率的受电方分配功率，并将剩余功率分配给另一个受电方。

备注

如果供电方提供的功率不满足其电源要求，则根据 USB PD 规范，受电器件需要报告“能力不匹配”。一旦供电方从受电方收到带有“能力不匹配”标志的请求，它就会通过发送 **获取受电能力** 消息来请求受电能力。但是，某些受电方无法报告“能力不匹配”。因此，尽管受电方可能报告“能力不匹配”或存在限制以准确地传达其完整的功率需求，但 TPS25772-Q1 始终会尝试通过发送 **获取受电能力** 消息来从端口伙伴获取受电能力，从而更好地满足受电方的功率要求。

请参阅节 5.2 来查看 FSP 的示例场景，以便更好地了解此策略的功率分配方法。

3.2.1.1 盲受电方支持

公平共享功率策略可配置为启用或禁用“Blind Sink Support”。启用盲受电方支持时，FSP 工作原理是相同的，但功率分配机制会因端口伙伴的受电能力而异。

启用“Blind Sink Support”后，FSP 策略会采取额外步骤来确定连接的端口伙伴是否为盲受电方。如前所述，FSP 始终会首先广播端口最小功率并发送获取受电能力请求。如果端口伙伴返回有效的受电能力并被识别为正常受电方，则会发回一条新的供电能力消息以及充分满足受电能力的 PDO。但是，当端口伙伴被识别为盲受电方时，如果第二个端口处于打开状态，则 FSP 策略将提供最大端口功率，而如果第二个端口已连接，则提供每个端口保证的 FSP。

TPS25772-Q1 通过以下方法将端口伙伴标识为盲受电方：

- 第一个受电能力报告的功率小于当前合约功率。
 - 当端口连接到受电方并且返回的受电能力小于初始合约功率时，端口伙伴会被标识为盲受电方。
 - 相反，当端口连接到受电方并且返回的受电能力高于初始合约功率时，端口伙伴会被视为正常受电方。但是，从第二个受电能力开始，如果端口伙伴从当前合约功率减少功率，它仍将被视为正常受电方。
- 受电能力中报告的功率小于当前供电能力。
- 受电能力从供电能力照搬复制而来。
- 获取受电能力请求后不返回受电能力。
- 获取受电能力请求后返回不支持

表 3-4 突出显示了公平共享功率策略操作以及禁用和启用“Blind Sink Support”时的差异。

表 3-4. “Blind Sink Support” 禁用和启用之间的区别

	禁用了“Blind Sink Support”的 FSP	启用了“Blind Sink Support”的 FSP
初始供电能力	最小端口功率	
受电能力处理	遵守受电能力	
	受电器件不报告“容量不匹配”	
	供电方发送获取受电能力请求	
	收到正确的受电能力 根据受电能力提供功率。	收到不正确的受电能力 当第二个端口打开时，向盲受电方提供最大端口功率。 当第二个端口也已连接时：将盲受电方视为受电能力高于每个端口保证的 FSP 的器件，并按照表 3-3 中第 2 个和第 3 个条件所述向盲受电方提供 FSP。

在 GUI 中通过“Advanced Configuration”视图启用“Blind Sink Support”后，用于启用或禁用“Max Power”的附加选项将变为活动状态。这样一来，充电端口会将每个端口伙伴视为盲受电方，并且无论其行为如何，都始终提供端口最大功率。此外，连接两个受电方时，无论其受电能力如何，都始终向端口伙伴广播每个端口保证的 FSP。一些受电器件返回的受电能力消息低于其实际能够消耗的功率。可以调节“Max Power”选项来支持此类受电器件的更高充电功率。

“Blind Sink Support”和“Max Power”选项可以通过 GUI 的“Advanced Configuration”视图来启用。有关更多信息，请参阅图 3-5。

节 5.2.1 提供了 FSP 的示例场景，以便更好地了解启用“Blind Sink Support”时此策略的功率分配方法。有关“Blind Sink Support”和“Max Power”都处于启用状态时的示例，请参阅节 5.2.2。

3.3 混合模式

混合模式是一种可选的电源策略，表现为保证容量策略和共享容量策略两者混合。它提供了保证容量策略的优势，即在链接一个受电方时首先广播端口最大功率，同时在连接两个受电方时允许平等分配系统最大功率，而这与共享容量策略类似。

有些受电器件根据收到的第一个供电能力请求功率，并在后续供电能力消息中提供更高的 PDO 时，不会尝试重新协商更有利的合约。当需要 FSP 时，这是一个问题，其中供电方端口配置为“Shared Capacity”，并且在初始供电能力消息中广播端口最小功率。在混合模式下，可在确保满足受电方的功率要求的同时实现 FSP。

混合模式可以从“Advanced Configuration”视图中启用。在选择保证容量策略并输入 SPM 引擎参数后，可以通过将系统最大功率修改为小于端口 A 和端口 B 最大功率之和的值来启用混合模式。然后，GUI 以红色文本显示 Hybrid Mode，以便指示混合模式处于活动状态，如图 3-6 所示。

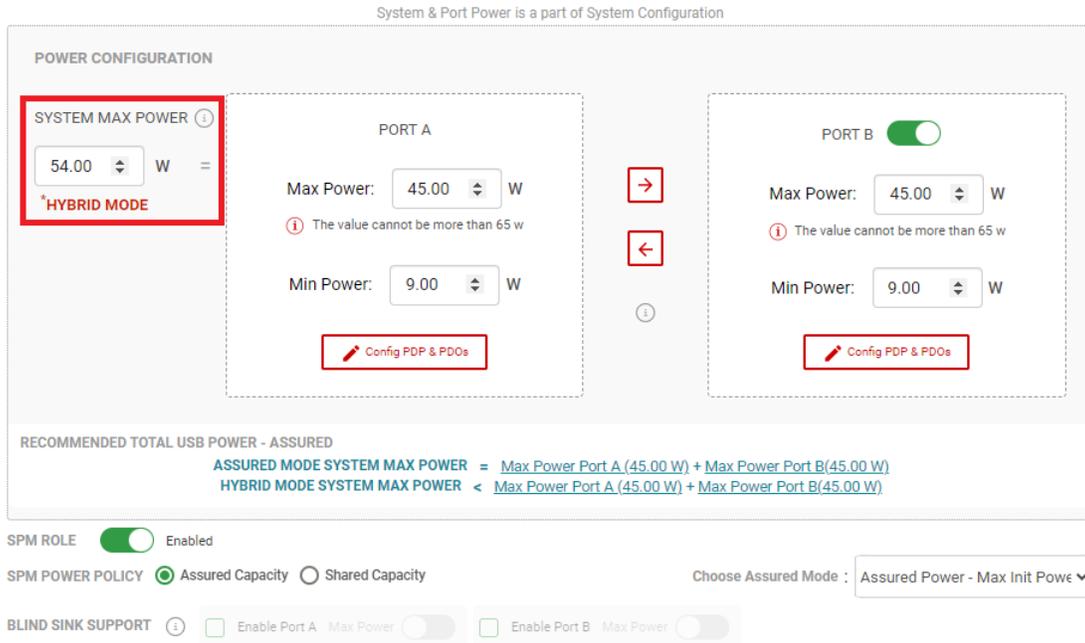


图 3-6. 混合模式 GUI 选择 - 高级配置

表 3-5 中显示的混合模式参数用于功率分配方法。

表 3-5. 混合模式参数

混合模式参数	说明
平均分配的系统功率	连接两个 PD 受电方时，平均分配给每个端口的系统最大功率： 系统最大功率/端口总数。
单端口最大功率容量	连接单个 PD 受电方时端口的最大 VBUS 功率： <ul style="list-style-type: none"> 当系统最大功率 \geq 端口 A 和 B 的最小功率之和时，连接的端口功率由可用的端口最大功率或系统最大功率定义的最低值设置。 当系统最大功率 $<$ 端口 A 和 B 的最小功率之和时，端口 B 被禁用，端口 A 的功率等于系统最大功率 - 端口 B 最小功率（最高限制为端口最大功率）。
非 PD USB-C 功率	USB Type-C 5V 输出，用于基于非 PD 的 USB Type-C 充电；7.5W 或 15W。

混合模式的典型功率分配流程如下：

1. 第一个连接的供电方端口首先广播端口最大功率并发送 **获取受电能力** 请求
2. 受电方通过返回受电能力进行响应，并相应地接收功率（最高可达单端口最大功率容量）。
3. 第二个供电方端口连接到另一个受电方，**SPM** 引擎立即将平均分配的系统功率分配给每个端口伙伴。与 **FSP** 不同，任何未使用的剩余功率都不会存储在功率储备中，会分配给另一个端口。

如果端口上连接了一个 PD 受电方和一个非 PD 受电方，则首先将平均分配的系统功率分配到每个受电方。对于此连接，大约需要 8.5 秒，TPS257xx-Q1 固件才能识别非 PD 受电方。识别出非 PD 受电方后，**SPM** 引擎可以重新分配系统功率；非 PD USB-C 功率分配给非 PD 受电方，而剩余的功率（提供最大功率与非 PD USB-C 功率之差）则分配给 PD 受电方。非 PD USB-C 功率可以通过从 GUI 的“USB PORT(S)”窗口配置“USB Type-C Current”参数来选择（请参阅图 3-7）。

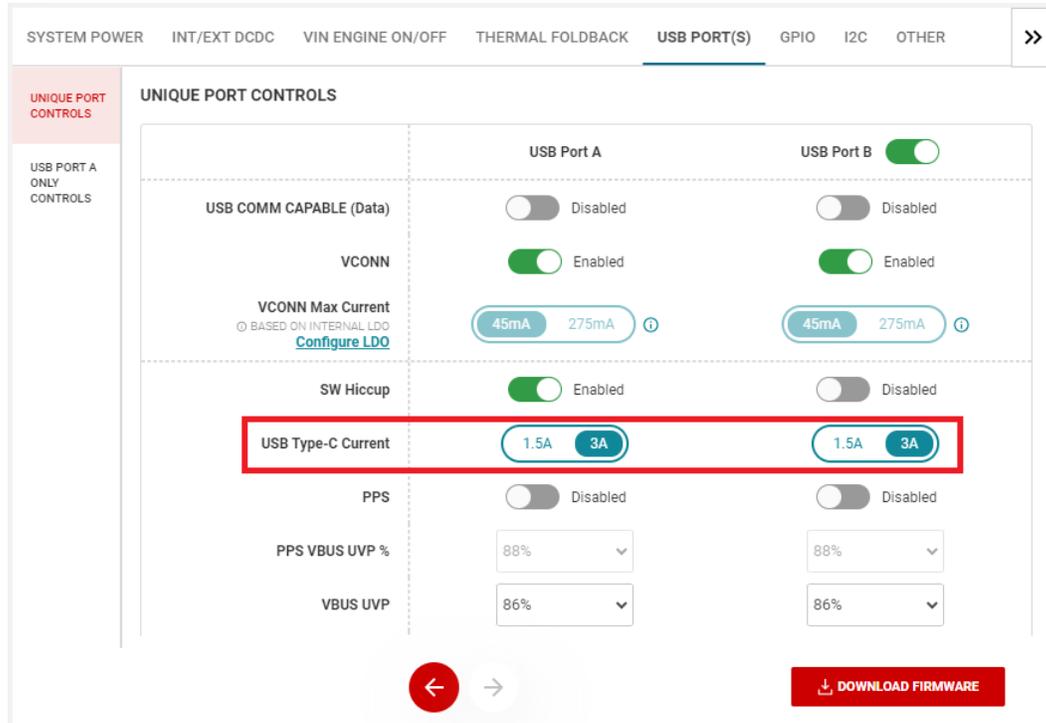


图 3-7. USB Type-C 电流 - 高级配置

请参阅节 5.3 来查看混合模式的示例场景，以便更好地了解该模式的功率分配方法。

4 功率折返策略

TPS2576x-Q1 a TPS2577x-Q1 PD 控制器支持基于系统温度和 VIN 电源电压电平的功率折返策略。功率折返策略由集成 SPM 引擎与多端口功率分配策略 (在使用 TPS25772-Q1 的情况下) 一同管理。进入功率折返条件后, SPM 会针对 TPS257xx-Q1 已进入的相应功率折返阶段使用系统最大功率, 然后相应地分配端口功率。

4.1 热折返操作

TPS257xx-Q1 PD 控制器使用外部热敏电阻或 I2C 温度传感器来监测系统温度。根据可配置的温度阈值, SPM 可以在温度升高时减小 USB 端口功率。根据热敏电阻/温度传感器的反馈, SPM 会进入或退出适当的热阶段, 并与连接的端口伙伴重新协商合约, 以便帮助提高系统的热性能。

在同时使用外部热敏电阻和 I2C 温度传感器的系统中, SPM 从每个器件收集热相值, 然后使用最高阶段参数来使所有端口进入适当的电源模式。每个温度检测器件各个热阶段的温度阈值可以变化。这是为了适应温度变化, 而温度变化取决于热敏电阻/温度传感器、USB PD 控制器的放置以及其他温度相关的物理属性。

根据 TPS257xx-Q1 的 NTC 引脚输入上检测到的电压电平或 I2C 温度传感器的读数, 存在三个默认热阶段, 但可以使用 GUI 添加三个额外的热阶段, 总共六个。GUI 还用于配置每个阶段的电压阈值和最大功率。图 4-1 展示了三个热阶段配置的 NTC 输入电压阈值, 其中 Phase3 表示最高温度时的最差情况。

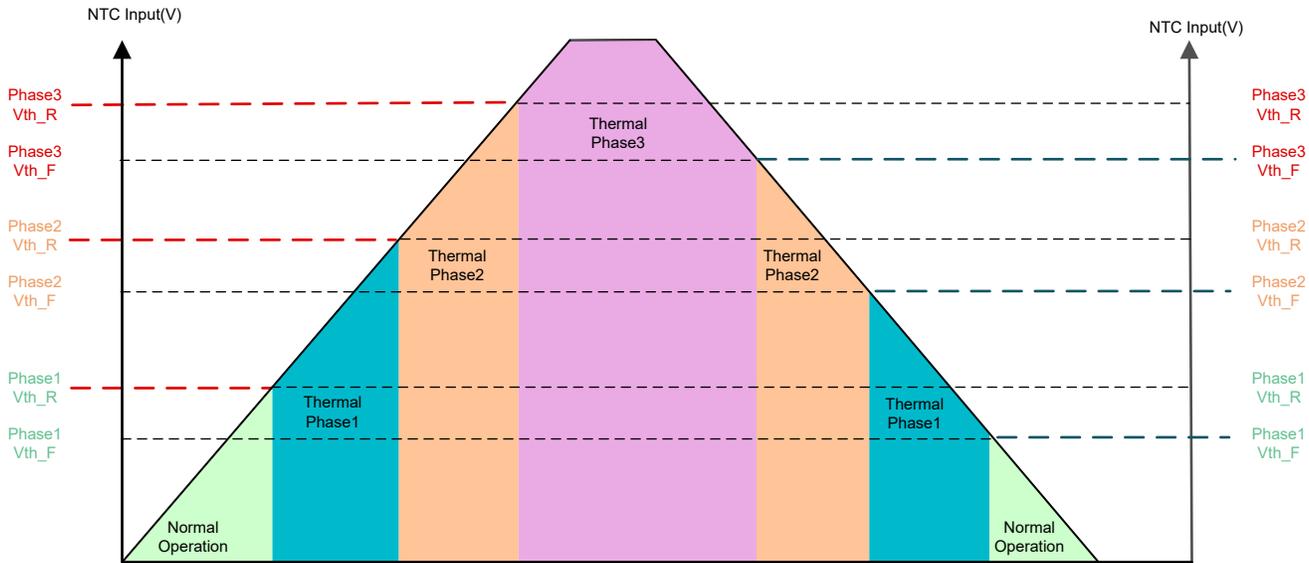


图 4-1. NTC 输入电压阈值和热阶段

NTC 引脚上的电压上升或下降分别表示系统温度的上升或下降。要在 TPS25772-Q1 NTC 引脚上实现正温度斜率, 热敏电阻网络应连接到 LDO_3V3, 如图 4-2 所示。器件固件会监测 NTC 引脚上的电压电平, 然后根据配置的值进入或退出热阶段。有关 NTC 输入的更多信息, 请参阅特定于器件的数据表。

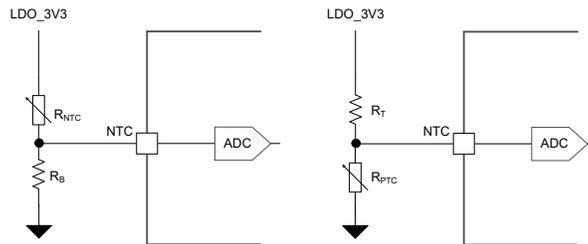


图 4-2. 热敏电阻实现选项

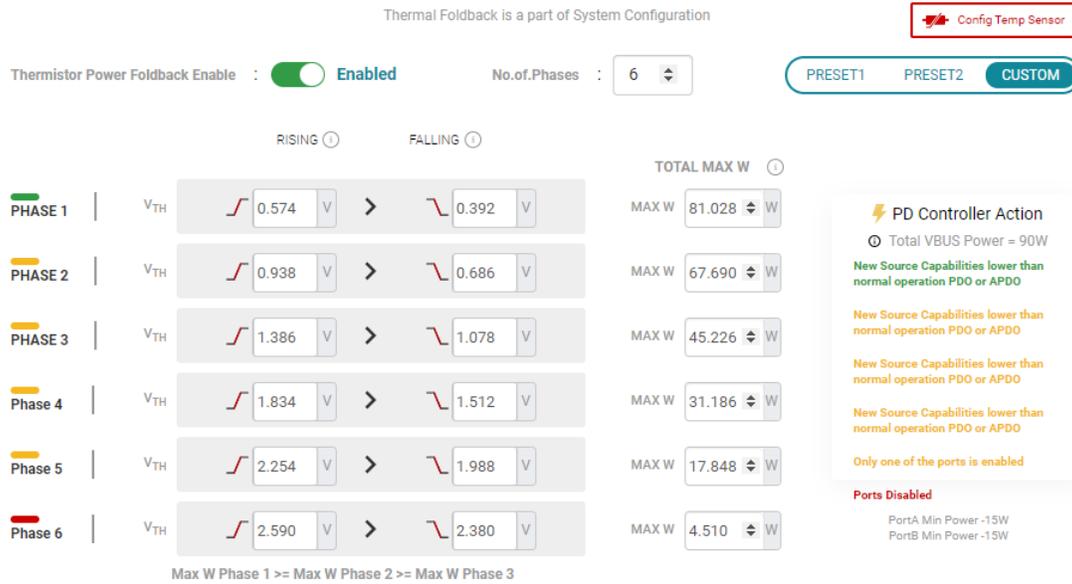
表 4-1 展示了通过 GUI 配置的热阶段参数。

表 4-1. 热阶段参数

热阶段参数	说明
Phasen Vth_R ⁽¹⁾	热阶段 Phasen 进入阈值。检测到上升沿高于此电压阈值时，器件会进入热阶段 Phasen。
Phasen Vth_F ⁽¹⁾	热阶段 Phasen 退出阈值。检测到下降沿低于此电压阈值时，器件会退出热阶段 Phasen。
Phasen Max Power ⁽¹⁾	热阶段 Phasen 的最大总功率。在器件进入热阶段 Phasen 后，SPM 使用热阶段 Phasen 最大功率来执行端口功率管理操作。

(1) n 范围为 1 至 6。默认存在三个热阶段，并且可以另外使用 GUI 添加最多三个阶段。

图 4-3 展示了“Advanced Configuration”视图中的 GUI 条目示例，其中 *No. of Phases* 配置为 6。


图 4-3. 热折返 GUI 条目示例

热阶段参数必须按照下述规则进行配置：

- 热阶段 Phase6 功率 (W) ≤ 热阶段 Phase5 功率 (W) ≤ 热阶段 Phase4 功率 (W) ≤ 热阶段 Phase3 功率 (W) ≤ 热阶段 Phase2 功率 (W) ≤ 热阶段 Phase1 功率 (W)
- Phasen_Vth_R (V) > Phasen_Vth_F (V)

对于 TPS2577x-Q1，如果任何阶段的 *Total Max W* 小于 SUM (端口最小功率)，但高于端口 A 最小功率，则在进入相应阶段时仅启用端口 A。对于 TPS2576x-Q1 或 TPS2577x-Q1，如果任何阶段的 *Total Max W* 小于端口 A 最小功率，则在进入相应阶段时将完全禁用 VBUS (0V)。例如，如果 Phase6 最大功率 = 4.5W，而端口 A 最小功率 = 15W，则在进入 Phase6 时将禁用 VBUS。

TPS257xx-Q1 设计用于与 LM75 型温度传感器配合使用：TMP75-Q1。SPM 以配置的间隔轮询 I2C 传感器 ADC 寄存器，其中默认的典型轮询间隔值为 250ms。温度传感器的 ADC 读数转换为 1°C 分辨率。

图 4-4 展示了热敏电阻和 I2C 温度传感器与 TPS257xx-Q1 的连接。

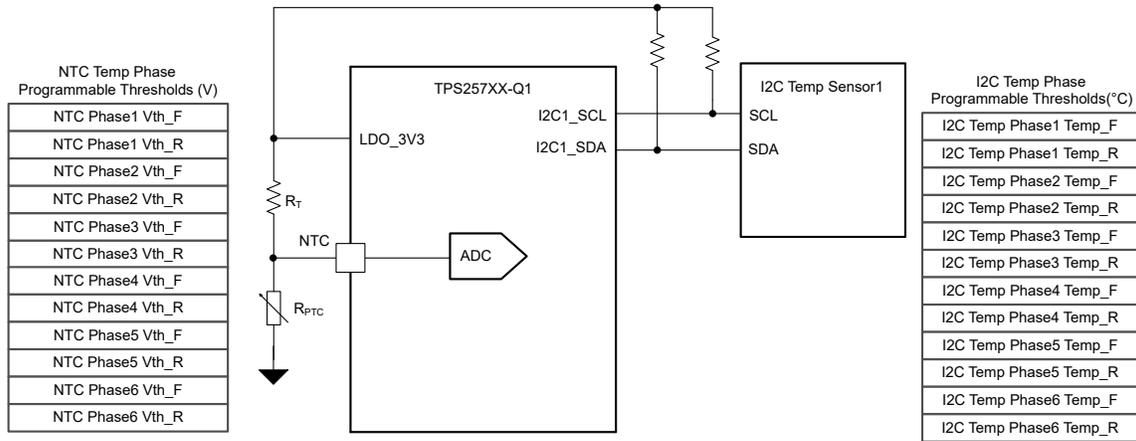


图 4-4. I2C 温度传感器和热敏电阻配置示例

TPS257xx-Q1 支持在一个系统中使用多个热检测器件。可以按图 4-4 中所示连接和监控热敏电阻和 I2C 温度传感器。NTC 阶段和 I2C 温度阶段阈值可以单独配置。热敏电阻阶段阈值以电压形式配置，而 I2C 温度传感器阶段阈值以摄氏度形式配置。SPM 选择热敏电阻和 I2C 温度热阶段的最差值，然后根据最差阶段配置采取措施来降低功率。

表 4-2 和表 4-3 展示了以下示例场景中的三相 NTC 热敏电阻和 I2C 温度传感器参数。请注意，温度阈值和阶段的 Total Max Power 可以彼此独立配置。

表 4-2. NTC 热敏电阻阶段配置值

	Vth	相关温度	总最大功率
NTC Phase1 Vth_F	0.83V	65°C	45W
NTC Phase1 Vth_R	1.1V	70°C	
NTC Phase2 Vth_F	1.2V	78°C	30W
NTC Phase2 Vth_R	1.4V	90°C	
NTC Phase3 Vth_F	1.5V	95°C	7.5W
NTC Phase3 Vth_R	1.7V	105°C	

表 4-3. I2C 温度传感器阶段配置值

	温度	总最大功率
I2C 温度传感器 Phase1 F	42°C	45W
I2C 温度传感器 Phase1 R	45°C	
I2C 温度传感器 Phase2 F	49°C	30W
I2C 温度传感器 Phase2 R	53°C	
I2C 温度传感器 Phase3 F	59°C	15W
I2C 温度传感器 Phase3 R	64°C	

以下是热折返的两个示例，其中 NTC 和 I2C 温度传感器的读数稳定增加并超过其上升阈值。

情形 1：NTC 热敏电阻 V_{th} 读数 = 1.3V (约 85°C)，I2C 温度传感器温度读数 = 63°C。

根据表 4-2 和表 4-3 所示的配置，NTC 读数表示热敏电阻处于 Phase1，而 I2C 温度传感器处于 Phase2。SPM 使用 I2C 温度 Phase2 作为较差阶段，然后根据 I2C 温度传感器 Phase2 配置 (即 30W) 降低功率。

情形 2：NTC 阶段 V_{th} 读数 = 1.72V (约 106°C)，I2C 温度传感器温度读数 = 65°C。

根据表 4-2 和表 4-3 所示的配置，NTC 和 I2C 传感器读数都处于 Phase3。NTC 热敏电阻的 Phase3 功率配置为 7.5W，而 I2C 温度传感器的功率为 15W。SPM 采用两者中的较低者，将功率降低至 7.5W。

4.2 引擎开启/关闭转换管理

TPS257xx-Q1 支持动态端口电源管理方案，以便应对引擎开启/关闭转换事件期间的 VIN 电源电压波动。通过动态检测电源电压输入电平，SPM 会采取措施以进入或退出相应的功率级别。检测到 VIN 低于正常工作范围后，SPM 将进入低功耗模式，防止系统过热和输入电流汲取过大。SPM 还会滤除 VIN 上的波动或临时干扰，防止 USB 端口电源突然中断，从而改善最终用户体验。表 4-4 和表 4-5 展示了 TPS257xx-Q1 D 版本器件的 VIN 阈值和计时器参数。除了 VIN UVLO 外，所有参数均可通过 GUI 进行配置。图 4-5 展示了不同功耗模式 (由 VIN 阈值电平确定) 如何与抗尖峰脉冲滤波器和计时器结合使用的示例。

表 4-4. VIN 阈值参数

VIN 阈值参数	说明
范围 3 至 4	全功率范围 4 进入阈值 (例如，汽车钥匙旋钮处于 ON 位置时的引擎完全开启情形)
范围 4 至 3	从范围 4 (全功率) 进入范围 3 下降阈值 (因此，汽车钥匙旋钮处于附件位置，具有标称 VIN 附件模式电压电平)
范围 2 至 3	从范围 2 进入范围 3 上升阈值
范围 3 至 2	从范围 3 进入范围 2 下降阈值开
范围 1 至 2	范围 1 (无功率) 至范围 2 (低功率) 上升阈值。此转换将触发立即进入低功率状态。如果在下电宽限期计时器持续时间内 VIN 保持高于该阈值，但低于范围 2 至 3 阈值，则在计时器到期后 VBUS 被禁用。(例如，汽车钥匙旋钮处于附件位置，且 VIN 附件模式电压较低)
范围 2 至 1	引擎关闭延迟超时后的无功率范围 1 进入阈值。(例如，汽车钥匙旋钮处于附件位置，且 VIN 附件模式电压较低)
Vin(UVLO_R)	硬件 VIN UVLO 电压电平。SPM 控制器会被禁用。

表 4-5. 可配置计时器参数

发动机打开/关闭计时器参数	说明
VIN 上升抗尖峰脉冲	VIN 达到阈值后，从较低范围进入较高范围的抗尖峰脉冲时间。
VIN 下降抗尖峰脉冲	VIN 达到阈值后，从较高范围进入较低范围的抗尖峰脉冲时间。
上电 (范围 1 至 2)	上电 (宽限期) 计时器。从范围 1 进入范围 2 后计时器启动。该计时器到期且系统仍处于范围 2 内时，将进入范围 1 并且 VBUS 将被禁用。
下电 (范围 3 至 2)	下电 (宽限期) 计时器。从范围 3 进入范围 2 后计时器启动。该计时器到期且系统仍处于范围 2 内时，将进入范围 1 并且 VBUS 将被禁用。
Engine Off Delay	发动机关闭延迟计时器。VIN 降至范围 2 至 1 阈值以下后，进入范围 1 (无功率) 的延迟时间。

- FW takes action based upon voltage sampled after EngVth or EngOffTimer polling period/expiration
- While Grace Period Timers are running, VIN will be continuously monitored, then action is taken based upon the VIN sampled.
- The Power On (GracePeriod) Timer is triggered when VIN>RANGE 1 to 2, but stops when the SPM enters RANGE 4 (Full Power). It continues to run only if the SPM stays in Low Power (RANGE 3 or RANGE 4). Once Power On (Grace Period) expires after the configured time, the SPM will enter No Power (RANGE 1).

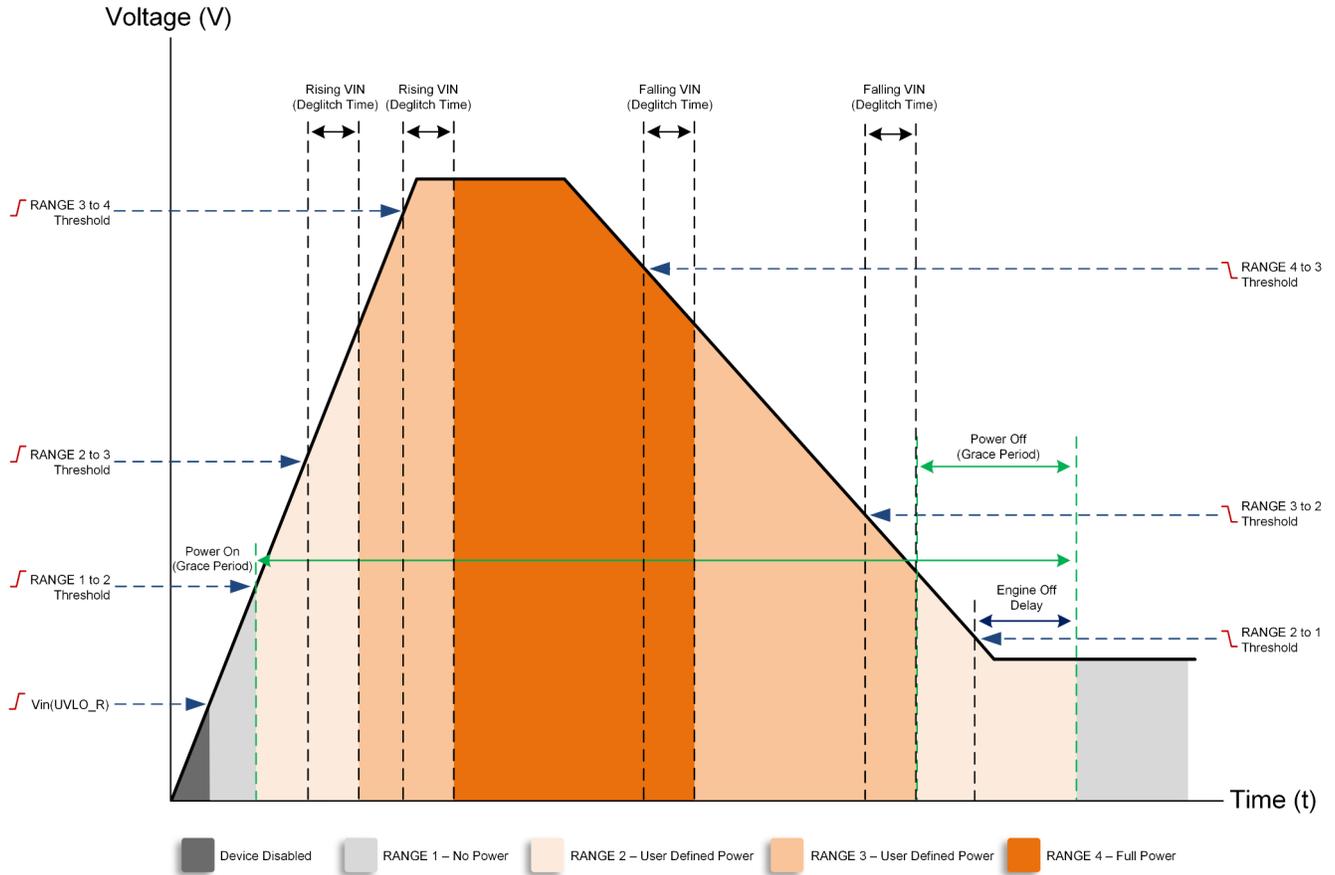


图 4-5. VIN 级别和发动机打开或关闭功率转换

备注

本节中提到的 VIN 引擎开启/关闭 VIN 阈值和计时器参数仅适用于 TPS257xx-Q1 D 版本器件。TPS257x2-Q1 C 版本器件的 VIN 引擎开启/关闭参数并不相同。有关更多信息，请参阅 [TPS257XX-Q1-GUI 配置指南](#) 中的附录 B。

图 4-6 展示了“Advanced Configuration”视图中的 GUI 条目示例。

Engine Start Stop is a part of System Configuration

VIN and Power Settings:



Timing Settings:

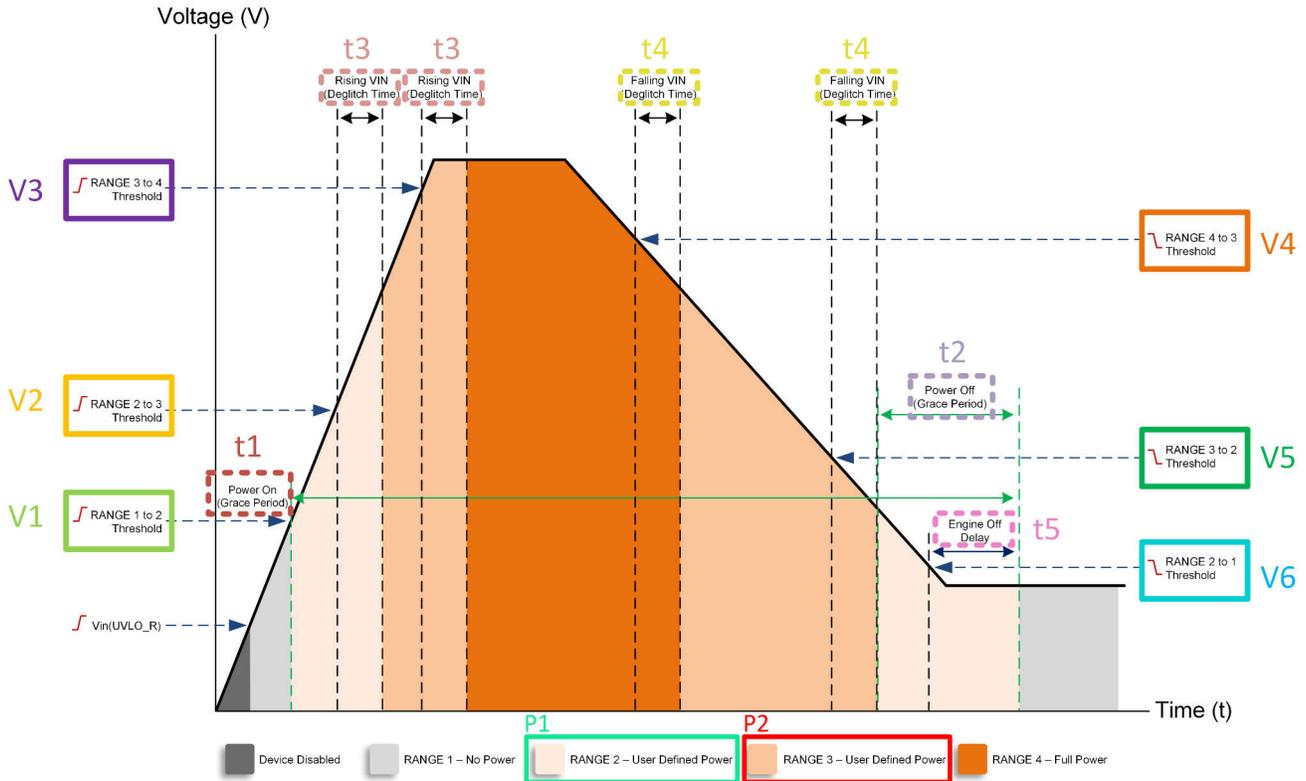
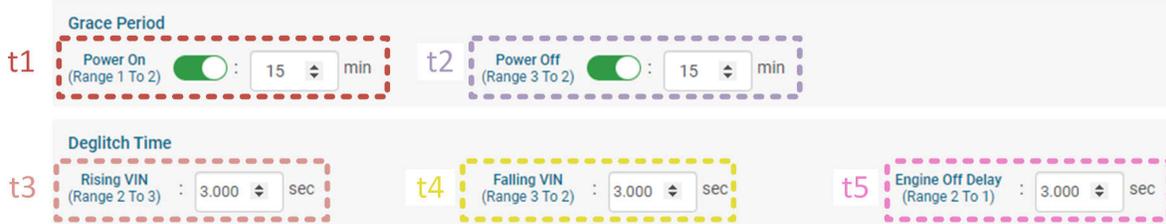


图 4-6. 发动机打开或关闭 GUI 进入示例

4.2.1 引擎开启/关闭功率折返操作示例

以下示例展示了检测到 VIN 电压电平变化时的功率折返操作。表 4-6 展示了本节示例中使用的可配置 SPM 引擎参数。

表 4-6. SPM 引擎参数 - 引擎开启/关闭功率折返示例

SPM 引擎参数	配置	说明
系统最大功率 (范围 4)	75W	分配给端口 A 和端口 B 的总系统功率容量
端口 A 最大功率	60W	端口 A 功率最大值
端口 B 最大功率	60W	端口 B 功率最大值
端口 A 最小功率	15W	端口 A 功率最小值
端口 B 最小功率	15W	端口 B 功率最小值
范围 3	60W	当 VIN < 范围 3 至 4 阈值时为端口 A 和 B 分配的 VBUS 总功率
范围 2	30W	当 VIN < 范围 2 至 3 阈值时为端口 A 和 B 分配的 VBUS 总功率
共享模式	公平共享功率策略	每个端口的端口最小功率得到保证，而剩余功率进行智能分配

表 4-7. 引擎开启/关闭功率折返操作示例

	端口 A	端口 B
场景 1：端口 A 在范围 4 中以正常运行方式连接 (VIN > 范围 3 至 4 阈值)		
受电方所需的功率	60W	
分配至受电方的功率	60W	
场景 2：端口 B 在范围 4 中以正常运行方式连接 (VIN > 范围 3 至 4 阈值)		
受电方所需的功率	60W	60W
分配至受电方的功率	37.5W	37.5W
场景 3：功率折返操作开始		
VIN < 范围 4 至 3 阈值，降低的功率 = 60W	37.5W	37.5W
在 VIN 下降抗尖峰脉冲时间过后，30W 供电能力重新发送到端口 A 和端口 B	37.5W	37.5W
受电方接受	30W	30W
场景 4：功率折返操作 (续)		
VIN < 范围 3 至 2 阈值，降低的功率 = 30W	30W	30W
在 VIN 下降抗尖峰脉冲时间过后，15W 供电能力重新发送到端口 A 和端口 B	30W	30W
受电方接受并且下电 (宽限期) 开始	15W	15W
VIN 保持 < 范围 3 至 2 阈值	15W	15W
下电 (宽限期) 结束后禁用端口	0W	0W
VIN 转换至 > 范围 3 至 4 阈值	0W	0W
在 VIN 上升抗尖峰脉冲时间过后，15W 供电能力发送至两个端口	15W	15W
受电方接受	15W	15W
受电方所需的功率 = 60W	15W	15W
37.5W 供电能力重新发送到端口 A 和端口 B	15W	15W
受电方接受	37.5W	37.5W

5 多端口功率分配策略示例

本节包含使用不同多端口功率分配策略和功率分配规则选项时的端口功率分配示例场景。这里以表格形式展示了连接一个或两个受电方时的示例，后跟一个流程图。这些表格简要总结了受电器件连接到 TPS25772-Q1 供电端口时发生的情况：受电方请求的功率和分配给受电方的功率。下面的流程图使用相同示例场景展示了供电方和受电方之间的 PD 协商。

必须成功完成端口伙伴之间的协商，才能建立 PD 功率合约。端口伙伴通过 USB Type-C 连接器的 CC 线路进行通信，受电方和供电方之间的典型 PD 协商过程概述如下：

1. 供电方向受电方广播初始供电能力。启用“Max Init Power”时的保证容量策略将始终在连接时广播端口最大功率。而共享容量策略将始终首先广播端口最小功率。
2. 受电方根据广播的供电能力所提供的 PDO 请求功率。
3. 供电方接受请求并相应地供电。
4. 供电方随后收到一条获取受电能力消息。
5. 获得受电能力后，供电方根据受电方的功率要求重新发送新的供电能力消息。

每次通过能量收集或重新分配事件为供电端口重新分配功率时，系统都会自动根据新分配的功率将新的供电能力消息发送给端口伙伴。端口连接/断开或功率折返阶段进入/退出时会发生能量收集和重新分配事件。

5.1 保证容量策略示例

本节提供了将供电端口配置为保证容量策略并选择“Max Init Power”模式时的功率分配示例。表 5-1 展示了本节示例中使用的 SPM 引擎参数。

表 5-1. SPM 引擎参数 - 保证容量策略示例

SPM 引擎参数	配置	说明
系统最大功率	105W ⁽¹⁾	分配给端口 A 和 B 的总系统功率容量
端口 A 最大功率	60W	端口 A 功率最大值
端口 B 最大功率	45W	端口 B 功率最大值
端口 A 最小功率	15W	端口 A 功率最小值
端口 B 最小功率	15W	端口 B 功率最小值
保证模式	最大初始功率	供电方会首先发送供电能力，广播最大功率

(1) 系统最大功率为 105W；端口 A 最大功率和端口 B 最大功率之和。

表 5-2 中列出了保证容量策略的三个示例场景。请注意，正如保证容量策略的预期那样，分配给每个端口的功率与另一个端口的状态无关。

表 5-2. 保证容量策略示例

	端口 A	端口 B
最初分配	60W	45W
场景 1：端口 A 连接到需要 27W 的受电方。端口 B 未连接。		
受电方所需的功率	27W	
分配至受电方的功率	27W	
场景 2：端口 B 连接到需要 45W 的受电方。		
受电方所需的功率	27W	45W
分配至受电方的功率	27W	45W
场景 3：端口 A 将要求更改为 60W。		
受电方所需的功率	60W	45W
分配至受电方的功率	60W	45W

下图展示了启用保证容量策略时的 PD 协商流程，其中一个受电方先连接到端口 A (图 5-1)，另一个受电方连接到端口 B (图 5-2)。

Total VBUS USB Power: 105W

Source Port A
Min power: 15W
Max power: 60W
Conn Stat: On

Source Port B
Min power: 15W
Max power: 45W
Conn Stat: Off

Sink Port A
Sink Capability: 60W with
5V 3A, 9V 3A, 15V 3A, 20V 3A

Max Init Power (Enabled)

Port B is disconnected & 45W allocated
Now Port A is connected and power is negotiated as below
*Sink actions vary

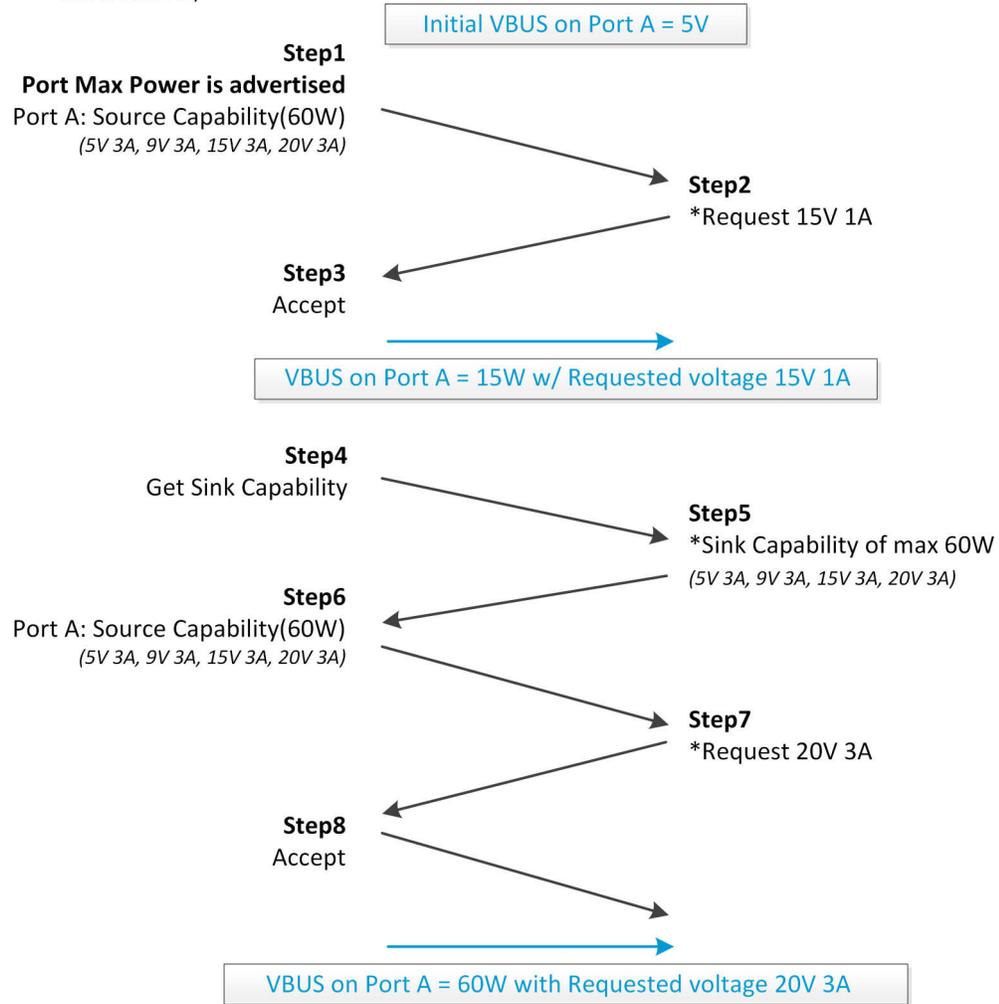


图 5-1. 保证容量策略协商流程 - 端口 A 已连接

Total VBUS USB Power: 105W

Source Port A
Min power: 15W
Max power: 60W
Conn Stat: On

Source Port B
Min power: 15W
Max power: 45W
Conn Stat: On

Sink Port B
Sink Capability: 45W with
 5V 3A, 9V 3A, 15V 3A

Max Init Power (Enabled)

Port A is already connected and has a 60W contract
 Now Port B is connected and power is negotiated as below
 *Sink actions vary

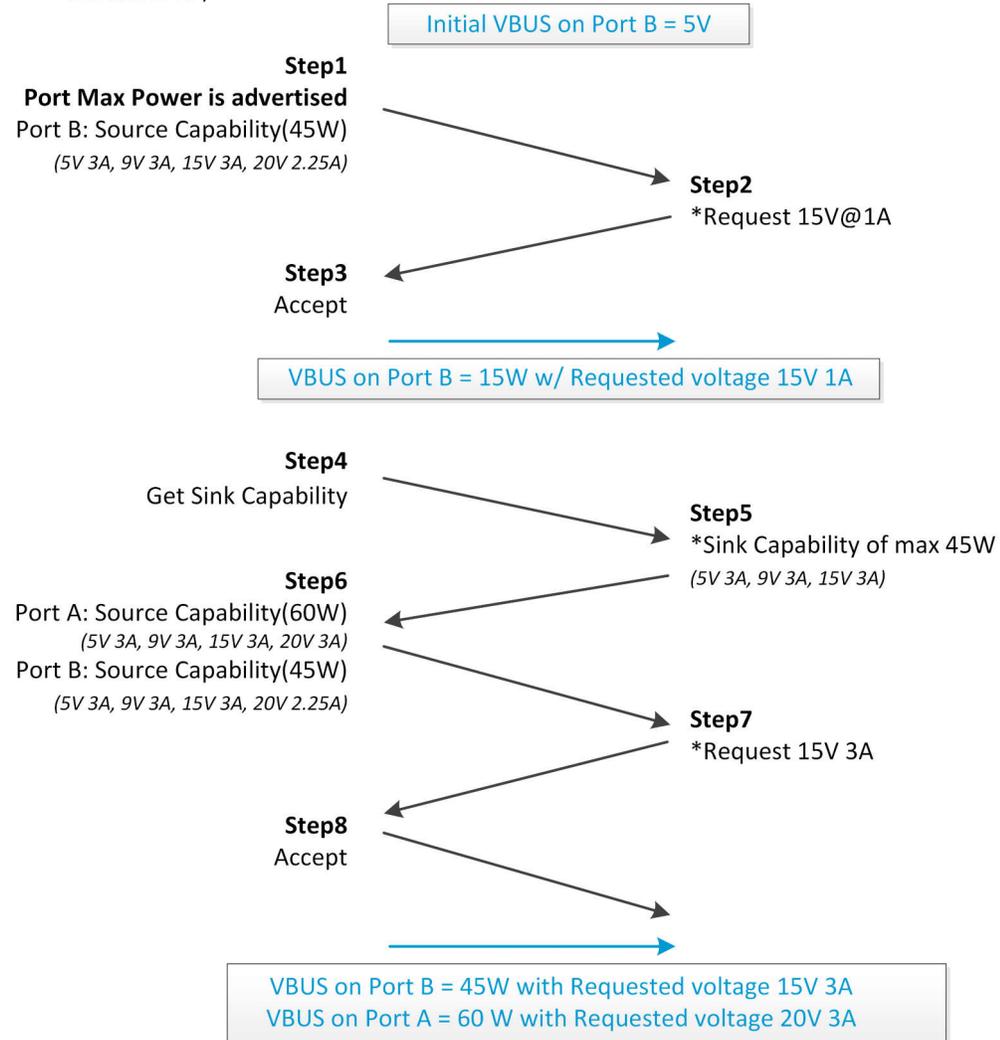


图 5-2. 保证容量策略协商流程 - 端口 B 已连接

5.2 公平共享功率策略示例

本节提供了启用公平共享功率策略且连接到正常受电方端口伙伴时两个端口之间的功率共享示例。当端口伙伴为正常受电方时，无论启用还是禁用盲受电方支持，功率分配都是相同的。表 5-3 展示了本节示例中使用的 SPM 引擎参数。表 5-4 中显示的 FSP 参数用于功率分配方法，并在两个受电方之间实现 FSP。

表 5-3. SPM 引擎参数 - 具有正常受电方的 FSP 示例

SPM 引擎参数	配置	说明
系统最大功率	75W	分配给端口 A 和 B 的总系统功率容量
端口 A 最大功率	60W	端口 A 功率最大值
端口 B 最大功率	60W	端口 B 功率最大值
端口 A 最小功率	15W	端口 A 功率最小值
端口 B 最小功率	15W	端口 B 功率最小值
共享模式	无盲受电方支持的公平共享功率策略	每个端口的端口最小功率得到保证，而剩余功率进行智能分配

表 5-4. 公平共享功率策略参数

公平共享功率策略参数	值	说明
平均分配的共享功率	$(75-(15+15))/2=22.5W$	可分配的每个端口平均共享功率： $(VBUS \text{ 总功率} - \text{端口 A 和 B 的最小功率之和})/\text{端口总数}$
每端口保证的 FSP	$15+22.5W=37.5W$	每个端口保证的共享功率：平均分配的共享功率 + 端口最小功率

表 5-5 中简要总结了公平共享功率策略功率分配的四个示例场景。

表 5-5. 具有正常受电方的 FSP 示例

	端口 A	端口 B
最初分配	15W	15W
场景 1：端口 A 连接到需要 60W 的受电方。端口 B 未连接。		
受电方所需的功率	60W	
分配至受电方的功率	60W	
场景 2：端口 B 连接到一个也需要 60W 受电能力的受电方。		
受电方所需的功率	60W	60W
分配至受电方的功率 ⁽¹⁾	37.5W	37.5W
场景 3：端口 B 将要求更改为 15W。		
受电方所需的功率	60W	15W
分配至受电方的功率 ⁽²⁾	60W	15W
场景 4：端口 B 将要求更改为 25W。		
受电方所需的功率	60W	25W
分配至受电方的功率 ⁽³⁾	50W	25W

- (1) 这时分配每端口保证的 FSP，即 37.5W。请参阅表 3-3 中的第二个示例场景。
- (2) 将 15W 分配至端口 B 并将剩余功率从端口 B 重新分配至功率储备 (37.5W 保证的 FSP - 分配至端口 B 的功率 15W = 22.5W)。端口 A 现在从功率储备获得 22.5W 功率，因此能够满足 60W 功率请求。
- (3) 从端口 A 产生 10W 并重新分配到端口 B。请参阅表 3-3 中的第三个示例场景。

图 5-3 和图 5-4 分别展示了表 5-5 场景 1 和场景 2 中 PD 示例的 FSP 协商流程。

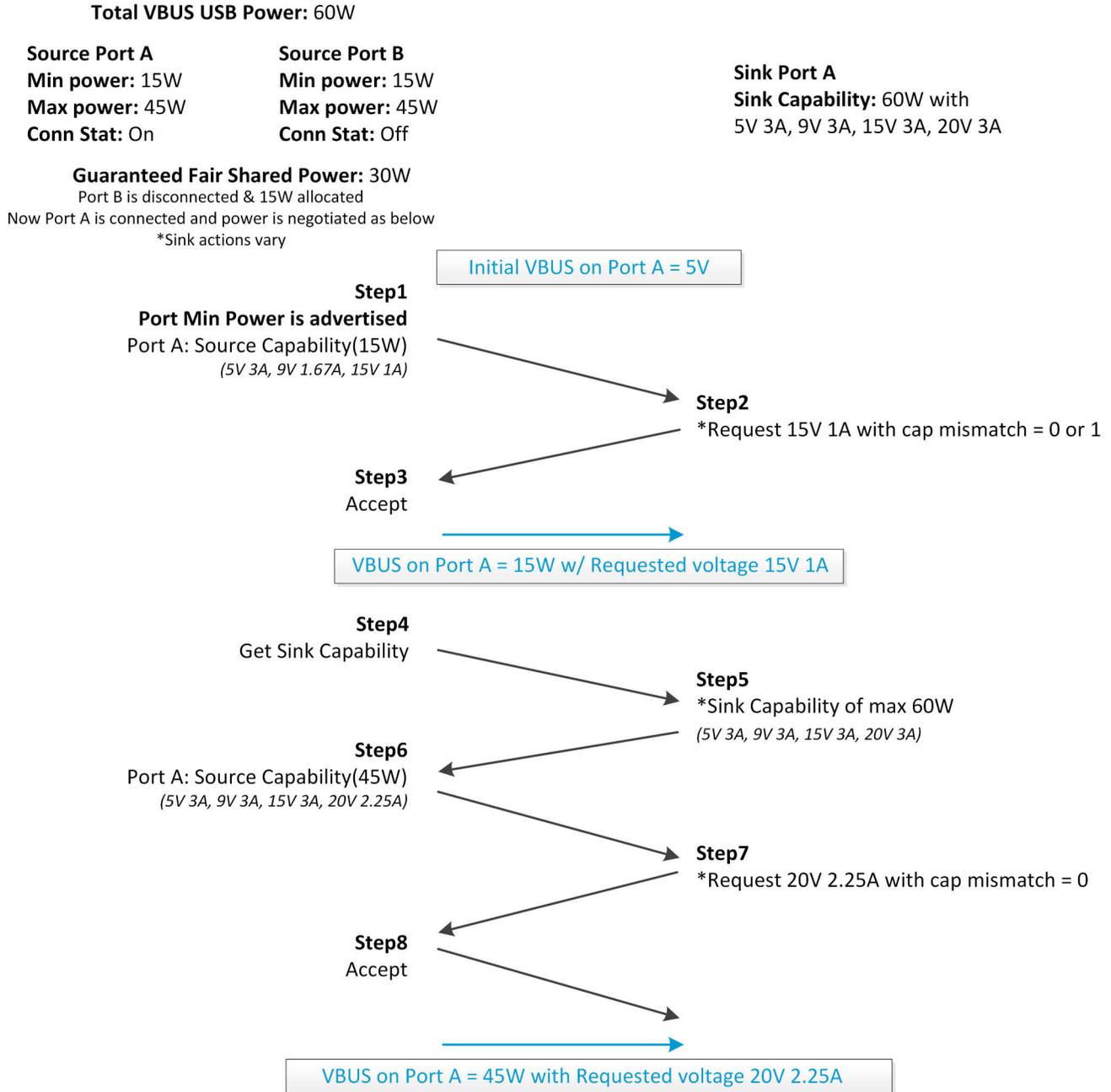


图 5-3. FSP 协商流程 - 场景 1

Total VBUS USB Power: 60W

Source Port A
Min power: 15W
Max power: 45W
Conn Stat: On

Source Port B
Min power: 15W
Max power: 45W
Conn Stat: On

Sink Port B
Sink Capability: 60W with
5V 3A, 9V 3A, 15V 3A, 20V 3A

Guaranteed Fair Shared Power: 30W

Port A is already connected and has a 45W contract
Now Port B is connected and power is negotiated as below
*Sink actions vary

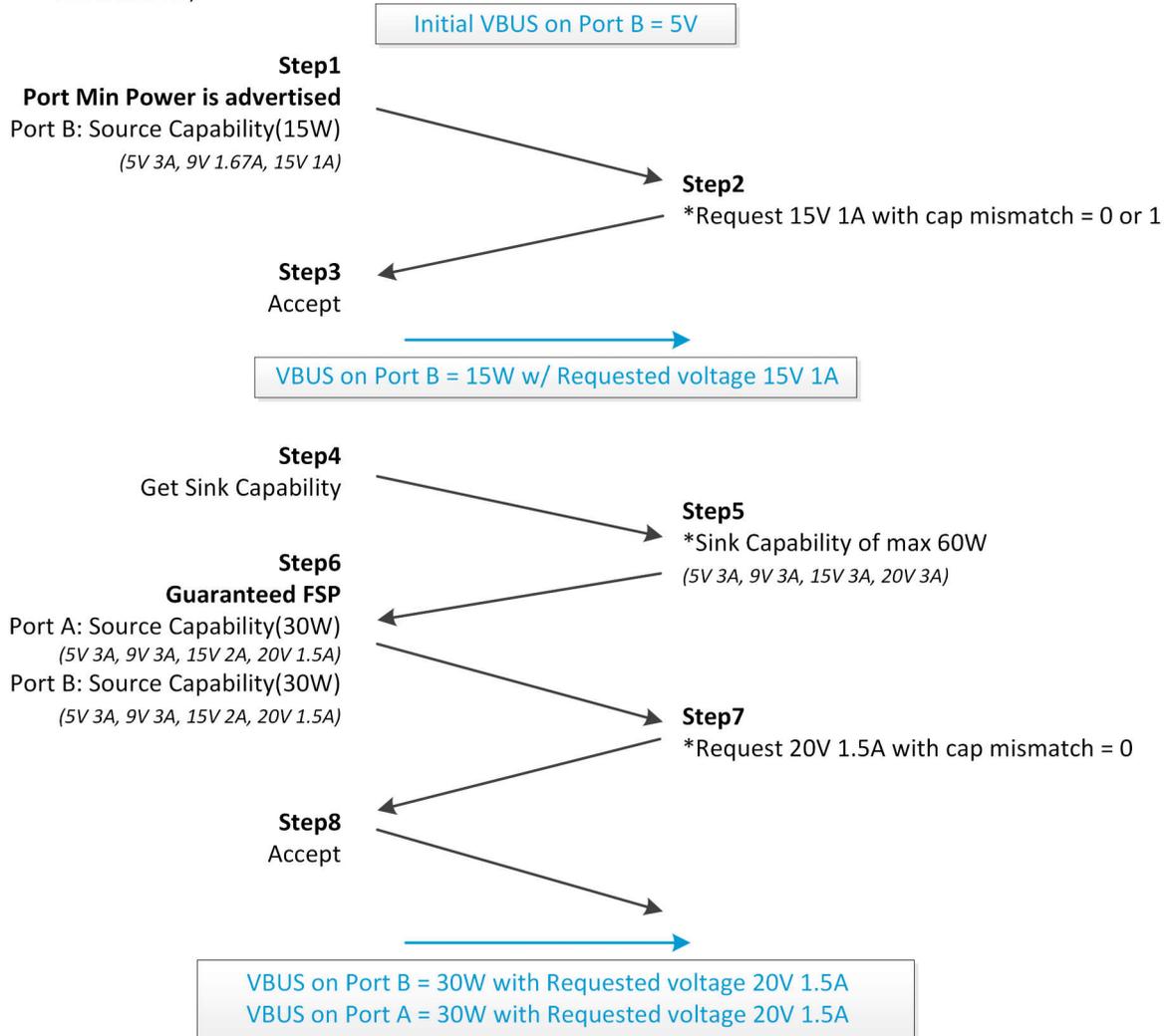


图 5-4. FSP 协商流程 - 场景 2

5.2.1 FSP 策略示例 - 盲受电方支持

本节提供了为两个端口启用了盲受电方支持且在端口连接到无法正确返回受电能力的受电方时公平共享功率策略的功率分配示例。请注意，这些示例中未启用“Max Power”选项。表 5-6 展示了本节示例中使用的 SPM 引擎参数。表 5-7 中显示的 FSP 参数用于公平共享功率策略的功率分配，以便在两个受电方之间实现 FSP。

表 5-6. SPM 引擎参数 - 具有盲受电方时的 FSP 示例

SPM 引擎参数	配置	说明
系统最大功率	75W	分配给端口 A 和 B 的总系统功率容量
端口 A 最大功率	60W	端口 A 功率最大值
端口 B 最大功率	60W	端口 B 功率最大值
端口 A 最小功率	15W	端口 A 功率最小值
端口 B 最小功率	15W	端口 B 功率最小值
共享模式	带有盲受电方支持的 FSP	为盲受电方提供端口最大功率

表 5-7. 公平共享功率策略参数

公平共享功率策略参数	值	说明
平均分配的共享功率	$(75 - (15 + 15)) / 2 = 22.5W$	可分配的每个端口共享功率 (如果可用) : (VBUS 总功率 - 端口 A 和 B 的最小功率之和) / 端口总数
每端口保证的 FSP	$15 + 22.5W = 37.5W$	端口最小功率 + 每个端口平均分配的共享功率 = 每个端口保证的 FSP

表 5-8 展示了公平共享功率策略操作 (启用了盲受电方支持时) 的三个示例场景。本节中的表格格式采用不同的结构，以便显示 SPM 如何处理和支持盲受电方。

表 5-8. 带有盲受电方支持的 FSP 示例

	端口 A	端口 B	SPM 操作说明
最初分配	15W	15W	最初为端口 A 和端口 B 分配最小功率。
场景 1：端口 A 连接至正常受电方 1。端口 B 未连接。			
供电能力 1	15W		第一个供电能力以端口最小功率发送到端口 A 的受电方。
受电方请求	15W		向端口 A 授予 15W 功率。
受电能力	45W		供电方向端口 A 发送“获取受电能力”消息，受电方返回最大 45W 受电能力。
供电能力 2	45W		根据受电能力再次发送 45W 供电能力。
受电方请求	45W		端口 A 受电方请求 45W。
分配至受电方的功率	45W		系统给端口 A 受电方分配 45W。

表 5-8. 带有盲受电方支持的 FSP 示例 (续)

	端口 A	端口 B	SPM 操作说明
场景 2：端口 A 被替换为盲受电方。端口 B 仍未连接。			
供电能力 1	15W		第一个供电能力以端口最小功率发送到端口 A 的受电方。
受电方请求	15W		向端口 A 授予 15W 功率。
受电能力	15W		供电方向端口 A 发送“获取受电能力”消息。收到的返回为供电能力 = 受电能力。端口 A 受电方被识别为盲受电方。
供电能力 2	60W		使用端口最大功率再次发送供电能力。
受电方请求	60W		端口 A 受电方请求 60W。
分配至受电方的功率	60W		系统给端口 A 受电方分配 60W。
场景 3：端口 B 连接至正常受电方 2。端口 A 继续为盲受电方提供 60W 的功率。			
供电能力 1		15W	第一个供电能力以端口最小功率发送到端口 B 的受电方。
受电方请求		15W	向端口 B 授予 15W 功率。
受电能力		20W	供电方向端口 B 发送“获取受电能力”消息，受电方返回最大 20W 受电能力。
供电能力 2	55W	20W	端口 A 受电方所需的功率小于每个端口保证的 FSP。端口 B 所需的功率较高。SPM 向端口 A 上请求较低功率的受电方分配功率，并剩余功率分配给端口 B 的受电方。
受电方请求	55W	20W	端口 A 受电方请求 55W，端口 B 受电方请求 20W。
分配至受电方的功率	55W	20W	系统给端口 A 受电方分配 55W。系统给端口 B 受电方分配 20W。

图 5-5、图 5-6 和图 5-7 分别展示了表 5-8 中场景 1、场景 2 和场景 3 内 FSP 示例的 PD 协商流程。

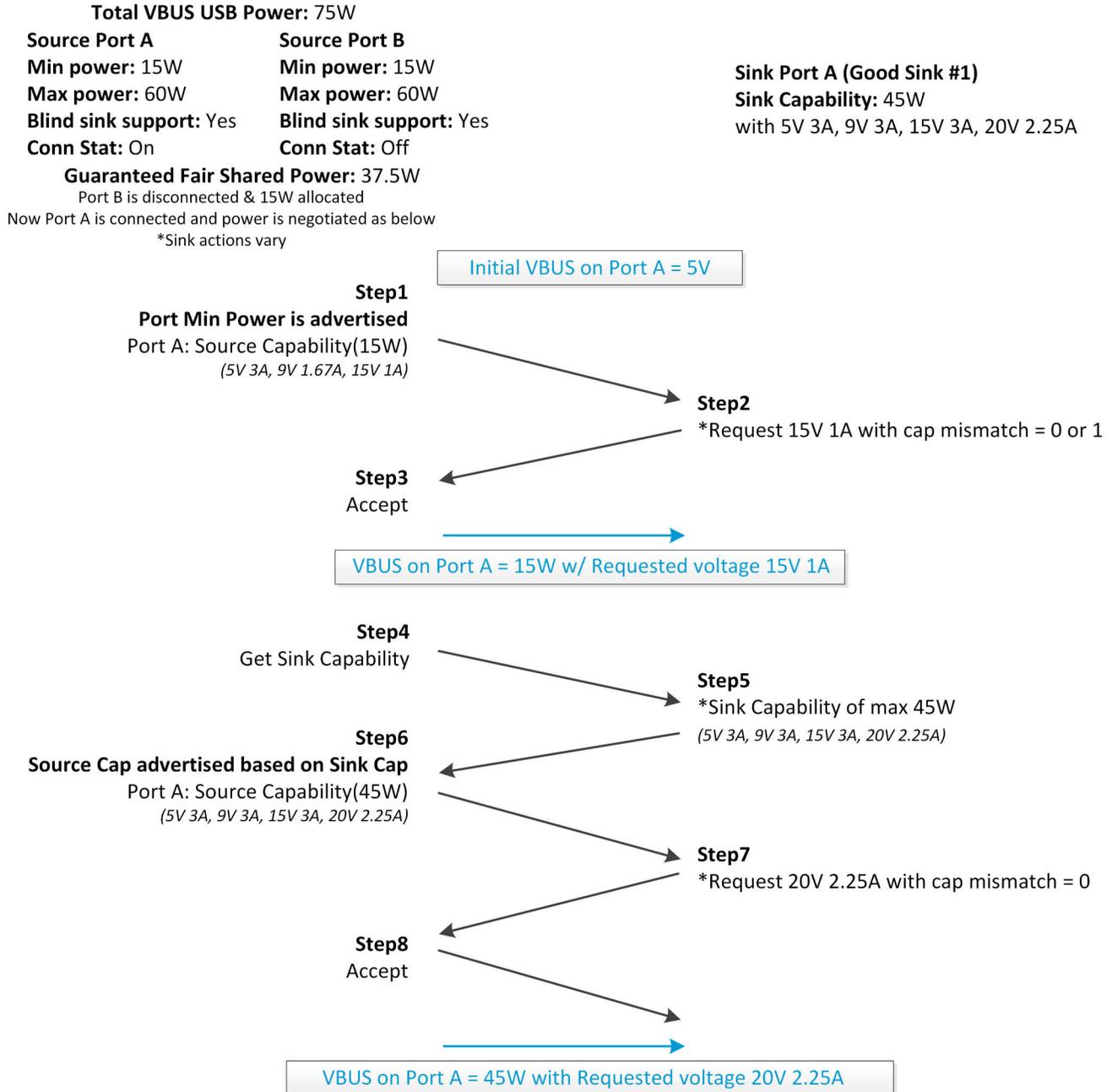


图 5-5. 带有盲受电方支持的 FSP 协商流程 - 场景 1

Total VBUS USB Power: 75W

Source Port A

Min power: 15W

Max power: 60W

Blind sink support: Yes

Conn Stat: On

Source Port B

Min power: 15W

Max power: 60W

Blind sink support: Yes

Conn Stat: Off

Guaranteed Fair Shared Power: 37.5W

Port B is still disconnected & 15W allocated

Port A is replaced with a Blind Sink and power is negotiated as below

*Sink actions vary

Sink Port A (Blind Sink)

Possible Blind Sink Capability:

- 5V 1.5A (less than requested power);
- 5V 3A, 9V 1.67A, 15V 1A(blindly copy);
- "Not supported";
- No response

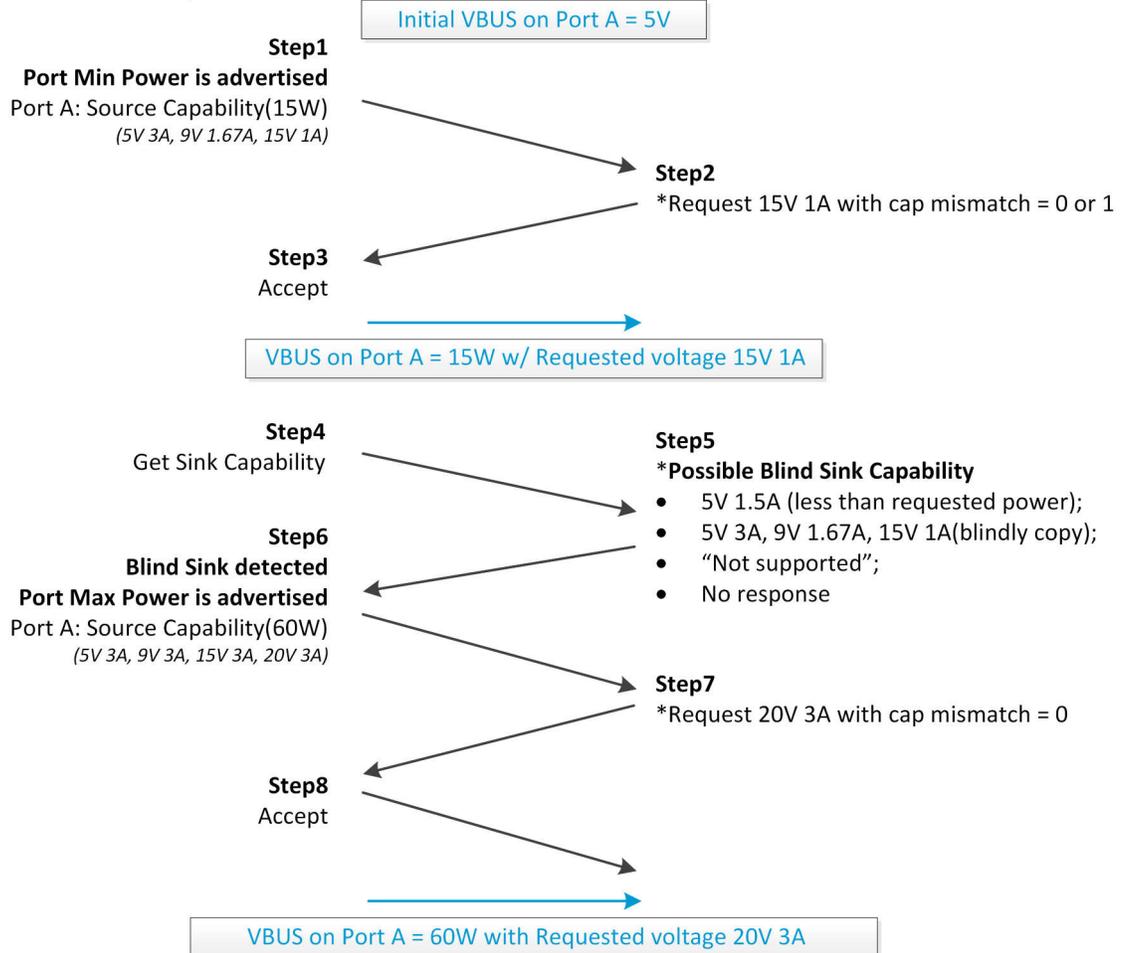


图 5-6. 带有盲受电方支持的 FSP 协商流程 - 场景 2

Total VBUS USB Power = 75W

Source Port A

Min power: 15W

Max power: 60W

Blind sink support: Yes

Conn Stat: On

Source Port B

Min power: 15W

Max power: 60W

Blind sink support: Yes

Conn Stat: On

Sink Port B (Good Sink #2)

Sink Capability: 20W with

5V 3A, 9V 2.2A, 15V 1.3A

Guaranteed Fair Shared Power: 37.5W

Port A is already connected and has a 60W contract
Now Port B is connected and power is negotiated as below

*Sink actions vary

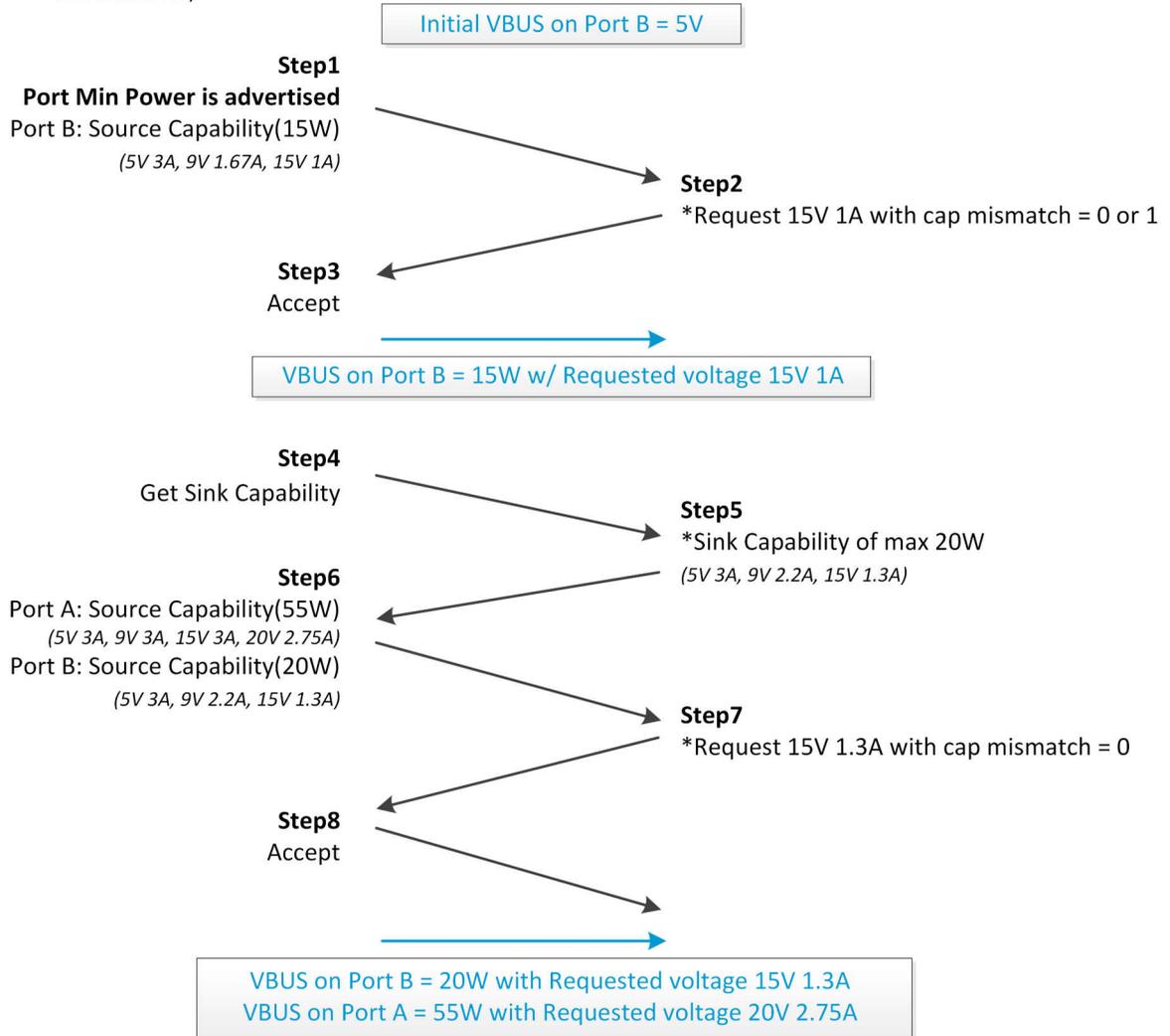


图 5-7. 带有盲受电方支持的 FSP 协商流程 - 场景 3

5.2.2 FSP 策略示例 - 盲受电方支持和最大功率

本节提供了另外三个公平共享功率策略示例的功率分配，但两个端口都启用了“Blind Sink Support”和“Max Power”，如表 5-9 中所示。启用这两个 FSP 设置后，无论受电方的行为如何，始终都会在初始供电能力消息之后广播端口最大功率。这些示例的 SPM 引擎参数与表 5-6 中所示的相同。

表 5-9. 带有盲受电方支持和最大功率的 FSP 示例

	端口 A	端口 B	SPM 操作说明
最初分配	15W	15W	最初为端口 A 和端口 B 分配最小功率。
场景 1：端口 A 连接至正常受电方 1。端口 B 未连接。			
供电能力 1	15W		第一个供电能力以端口最小功率发送到端口 A 的受电方。
受电方请求	15W		向端口 A 授予 15W 功率。
受电能力	45W		供电方向端口 A 发送“获取受电能力”消息，受电方返回最大 45W 受电能力。
供电能力 2	60W		由于启用了最大功率，因此会使用端口最大功率再次发送供电能力。
受电方请求	60W		端口 A 受电方请求 60W。
分配至受电方的功率	60W		系统向端口 A 受电方输送 60W。
场景 2：端口 A 被替换为盲受电方。端口 B 仍未连接。			
供电能力 1	15W		第一个供电能力以端口最小功率发送到端口 A 的受电方。
受电方请求	15W		向端口 A 授予 15W 功率。
受电能力	15W		供电方向端口 A 发送“获取受电能力”消息。收到的返回为供电能力 = 受电能力，但在启用了“Max Power”的情况下无关紧要。
供电能力 2	60W		使用端口最大功率再次发送供电能力。
受电方请求	60W		端口 A 受电方请求 60W。
分配至受电方的功率	60W		系统给端口 A 受电方分配 60W。
场景 3：端口 B 连接至正常受电方 2。端口 A 继续为盲受电方提供 60W 的功率。			
供电能力 1		15W	第一个供电能力以端口最小功率发送到端口 B 的受电方。
受电方请求		15W	向端口 B 授予 15W 功率。
受电能力		20W	供电方向端口 B 发送“获取受电能力”消息，受电方返回最大 20W 受电能力。
供电能力 2	37.5W	37.5W	“Max Power”已启用，因此无论受电能力如何，都会向两个受电方广播每端口保证的 FSP。
受电方请求	37.5W	37.5W	端口 A 和 B 的受电方请求 37.5W。
分配至受电方的功率	37.5W	37.5W ⁽¹⁾	每个受电方获得 37.5W 的每个端口保证 FSP。

(1) 一些受电器件返回的受电能力消息低于其实际能够消耗的功率。可以调节“Max Power”选项来支持此类受电器件的更高充电功率。

图 5-8、图 5-9 和图 5-10 分别展示了表 5-9 中场景 1、场景 2 和场景 3 内 FSP 示例的 PD 协商流程。

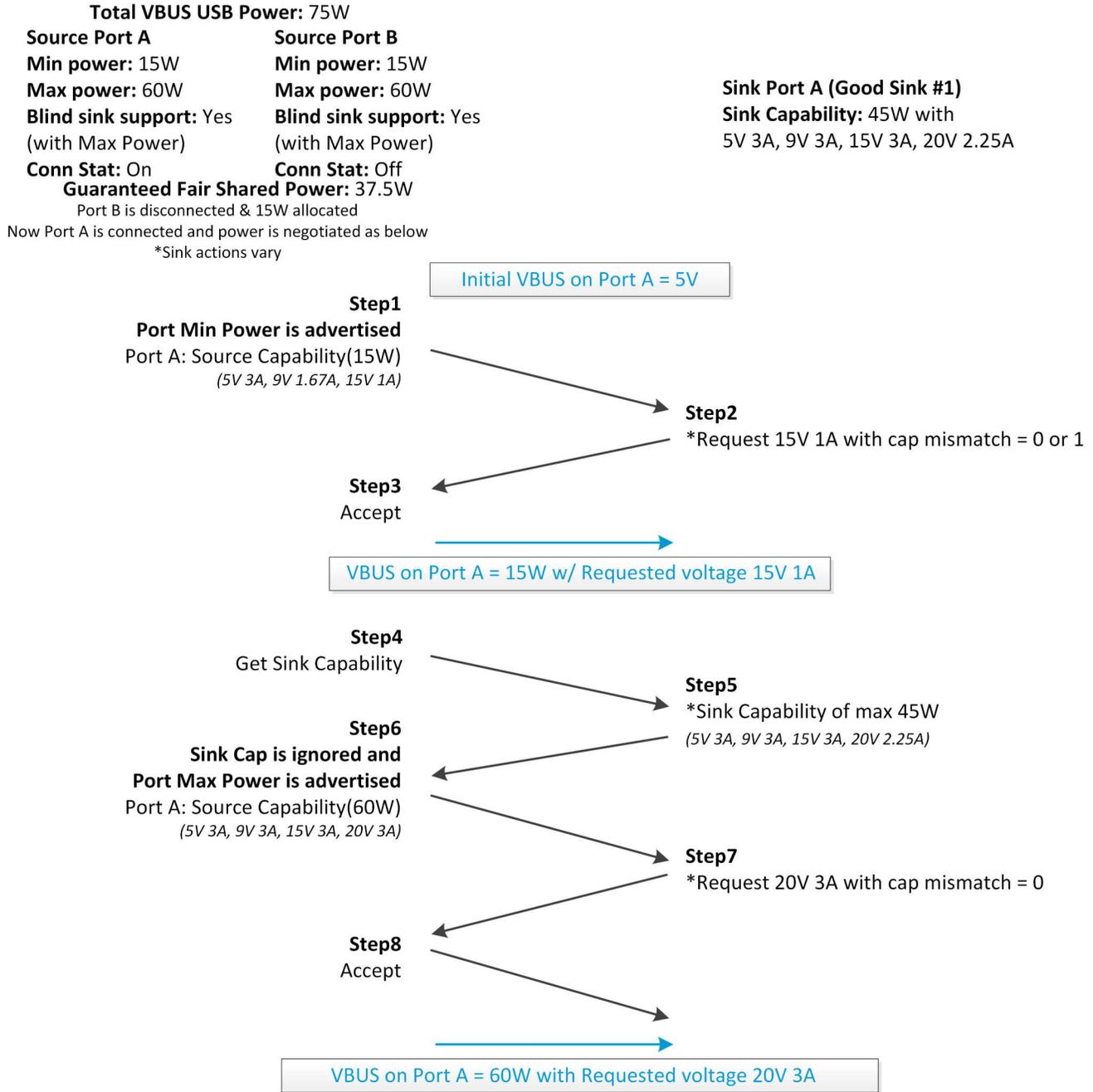


图 5-8. 带有盲受电方支持和最大功率的 FSP 协商 - 场景 1

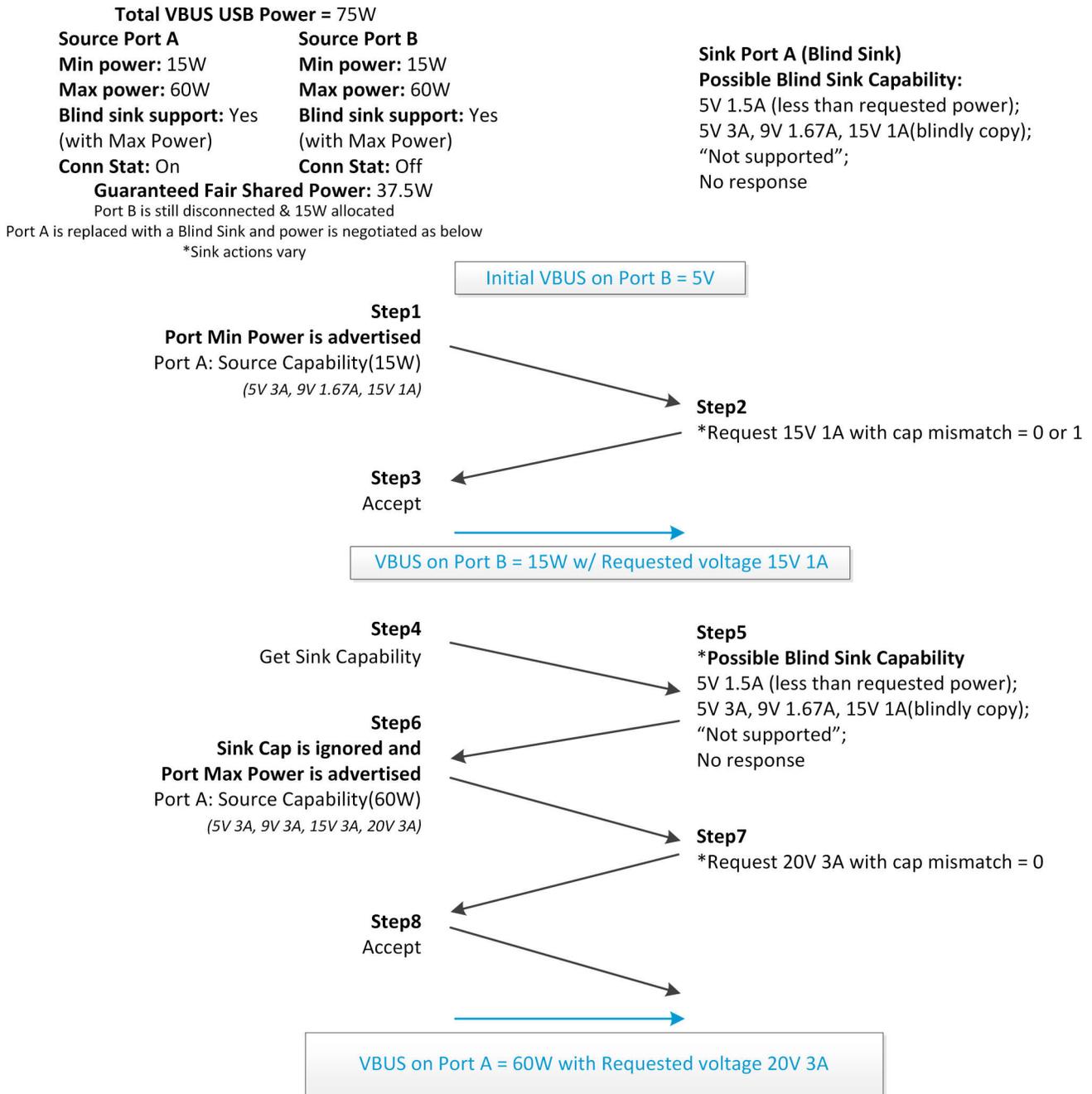


图 5-9. 带有盲受电方支持和最大功率的 FSP 协商 - 场景 2

Total VBUS USB Power = 75W

Source Port A

Min power: 15W

Max power: 60W

Blind sink support: Yes
(with Max Power)

Conn Stat: On

Source Port B

Min power: 15W

Max power: 60W

Blind sink support: Yes
(with Max Power)

Conn Stat: On

Guaranteed Fair Shared Power: 37.5W

Port A is already connected and has a 60W contract
Now Port B is connected and power is negotiated as below

Sink Port B (Good Sink #2)

Sink Capability: 20W with
5V 3A, 9V 3A, 15V 1.3A

*Sink actions vary

**Regardless of Sink Capabilities, Guaranteed FSP will be distributed to both ports when Max Power is enabled.

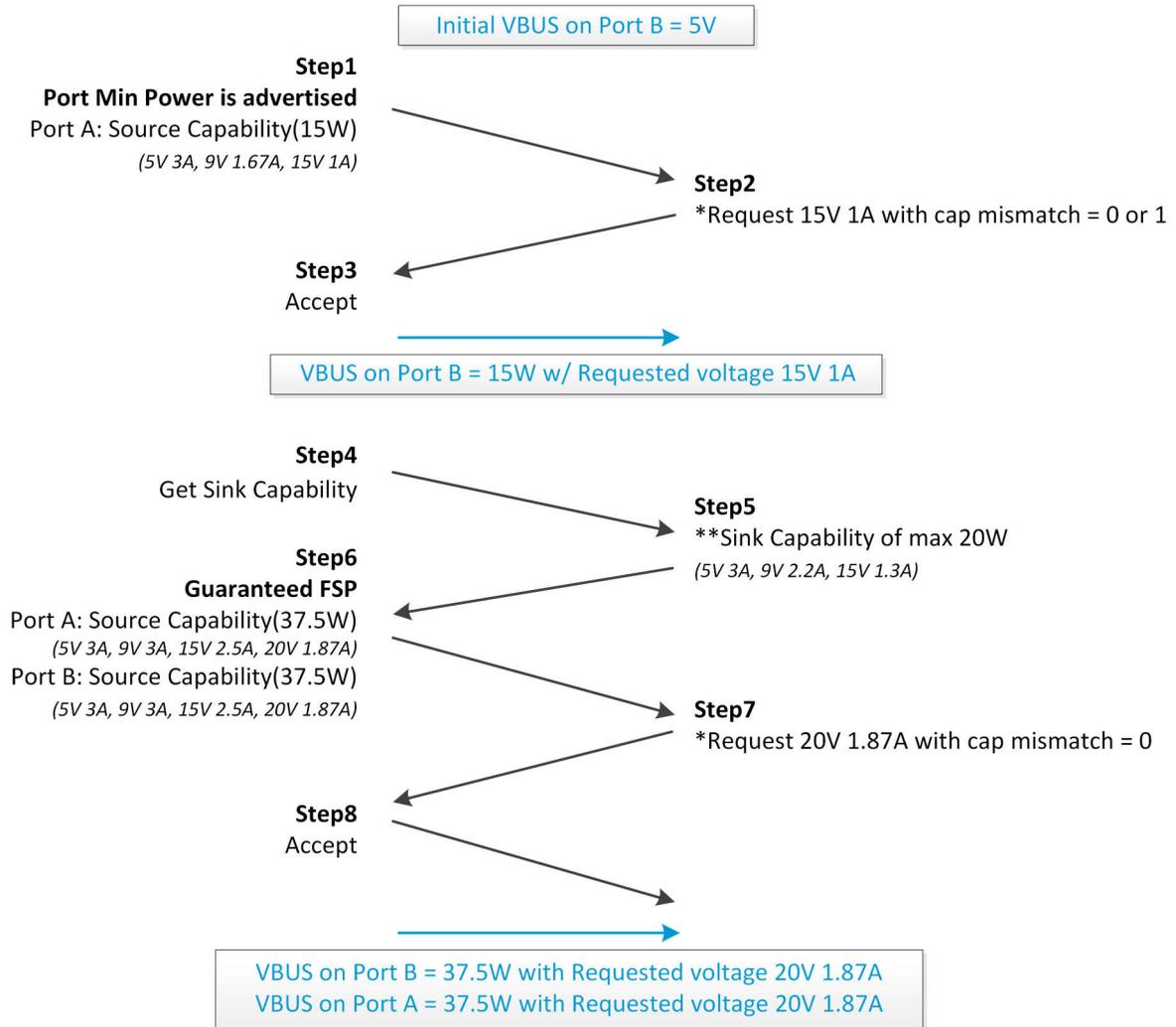


图 5-10. 带有盲受电方支持和最大功率的 FSP 协商 - 场景 3

5.3 混合模式示例

本节提供了供电端口处于混合模式时的功率分配示例。表 5-10 展示了本节示例中使用的可配置 SPM 引擎参数。表 5-11 展示了功率分配方法中使用的混合模式参数。

表 5-10. SPM 引擎参数 - 混合模式示例

SPM 引擎参数	配置	说明
系统最大功率	54W ⁽¹⁾	分配给端口 A 和 B 的总系统功率容量
端口 A 最大功率	45W	端口 A 功率最大值
端口 B 最大功率	45W	端口 B 功率最大值
端口 A 最小功率	9W	端口 A 功率最小值
端口 B 最小功率	9W	端口 B 功率最小值
保证模式 ⁽²⁾	最大初始功率	供电方会首先发送供电能力，广播最大功率

(1) 系统最大功率为 54W；小于端口 A 最大功率和端口 B 最大功率之和。这就是通过 GUI 启用混合模式的方法。

(2) 混合模式通过在 GUI 配置中选择保证容量策略来启用。

表 5-11. 混合模式参数

公平共享功率策略参数	值	说明
平均分配的系统功率	$54/2=27W$	连接两个 PD 受电方时，平均分配给每个端口的系统最大功率：系统最大功率/端口总数。
单端口最大功率容量	$54-9W=45W$	系统最大功率 - 端口最小功率（最高限制为端口最大功率）
非 PD USB-C 功率	15W	USB Type-C 5V 输出，适用于基于非 PD 的 USB Type-C 充电

表 5-12 列出了混合模式功率分配的三种场景作为示例。

表 5-12. 混合模式示例

	端口 A	端口 B
最初分配	27W	27W
场景 1：端口 A 未连接。端口 B 连接到需要 45W 的受电方。		
受电方所需的功率		45W
分配至受电方的功率		45W
场景 2：端口 A 连接到也需要 45W 的受电方。		
受电方所需的功率	45W	45W
分配至受电方的功率	27W	27W
场景 3：端口 B 的端口伙伴被替换为非 PD 受电方。		
受电方所需的功率	45W	
分配至受电方的功率 ⁽¹⁾	39W	15W

(1) 当 TPS257xx-Q1 固件识别出非 PD 受电方时，大约 8.5 秒后，功率分配情况会更新。

图 5-11、图 5-12 和图 5-13 分别展示了表 5-12 场景 1、场景 2 和场景 3 中混合模式示例的 PD 协商流程。

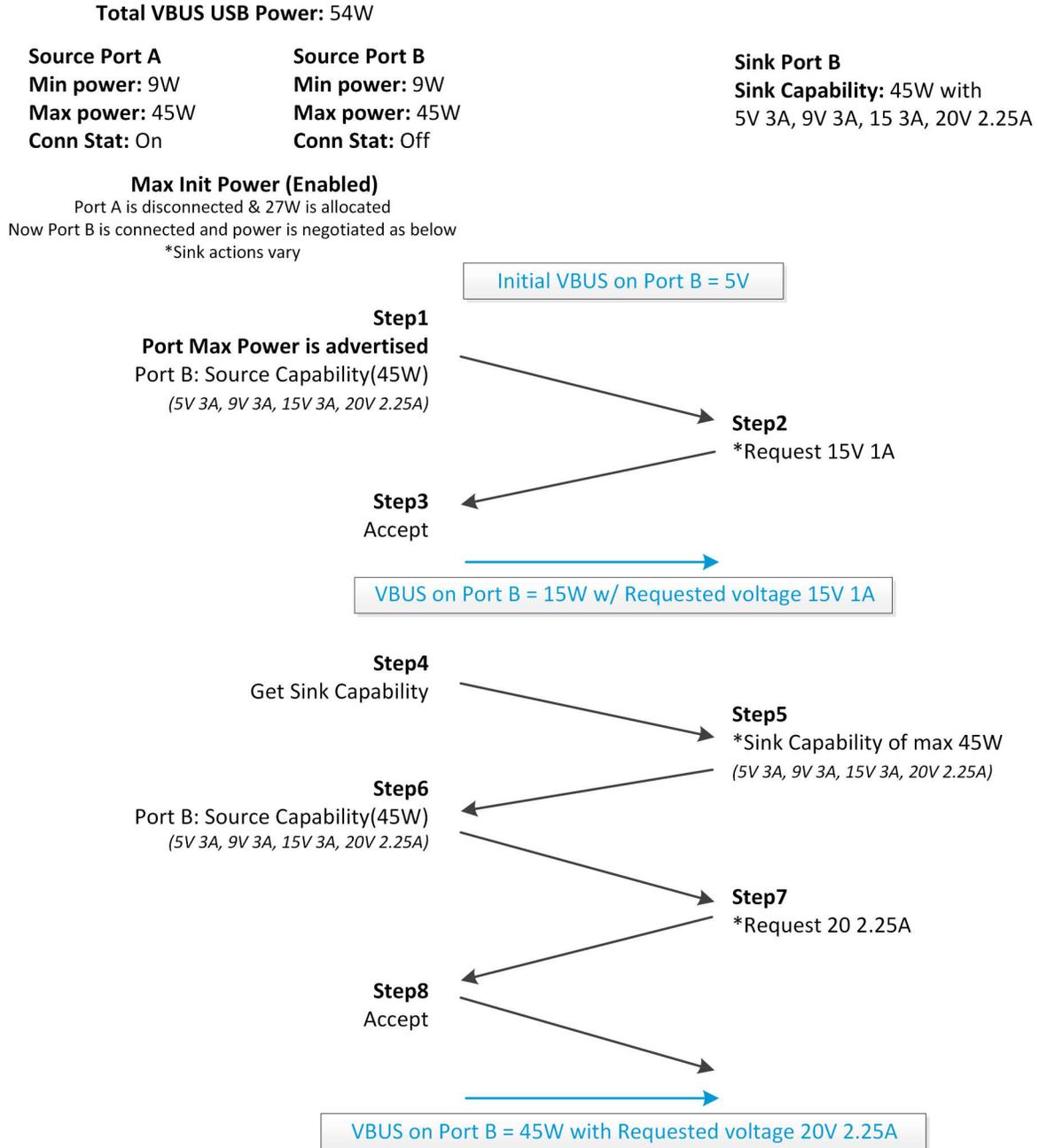


图 5-11. 混合模式协商流程 - 场景 1

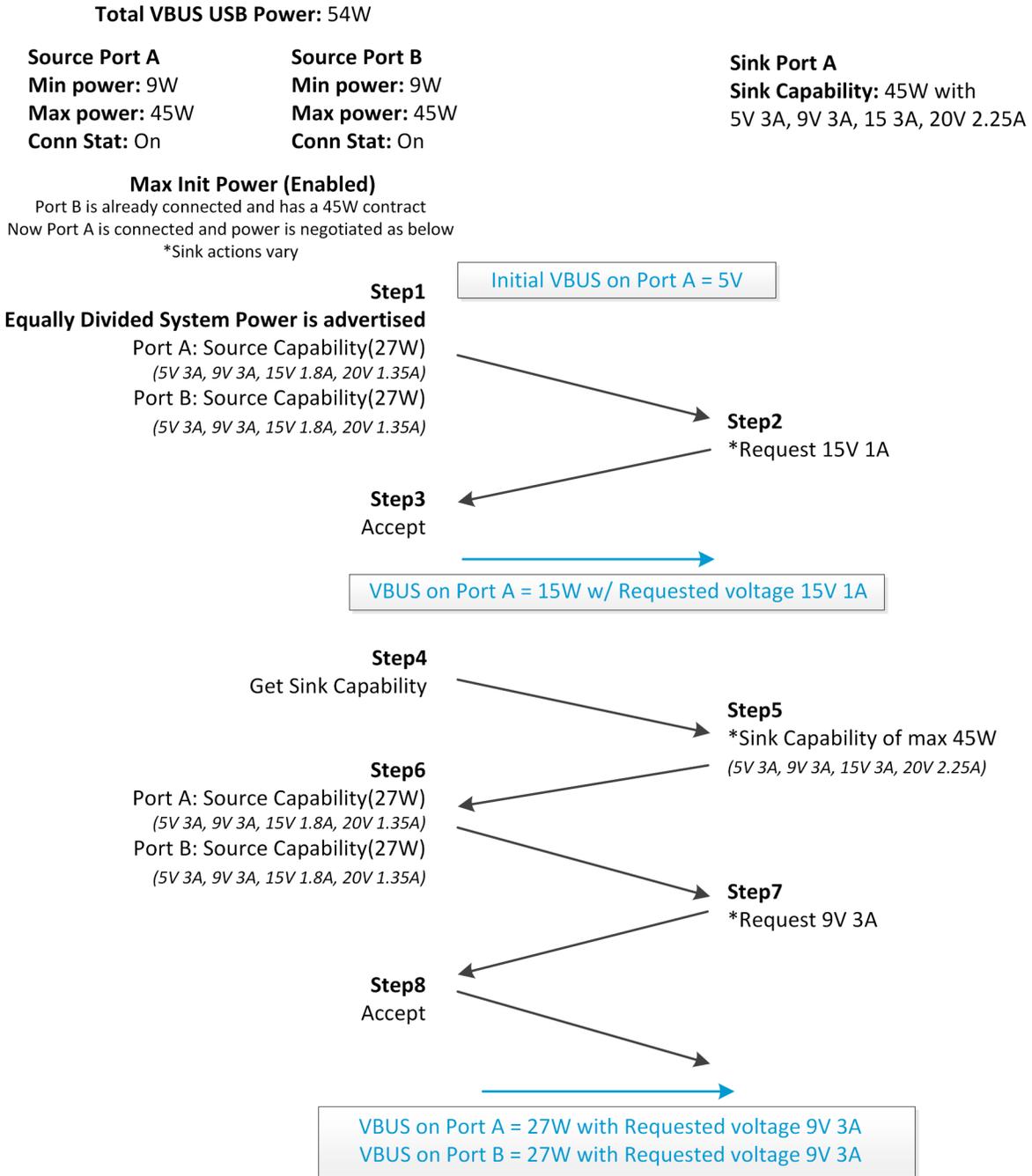


图 5-12. 混合模式协商流程 - 场景 2

Total VBUS USB Power: 54W

Source Port A
Min power: 9W
Max power: 45W
Conn Stat: On

Source Port B
Min power: 9W
Max power: 45W
Conn Stat: On

Sink Port A
Sink Capability: 45W

Sink Port B (Non-PD Sink)
Sink Capability: n/a

Max Init Power (Enabled)

Now Port B is replaced with a non-PD Sink

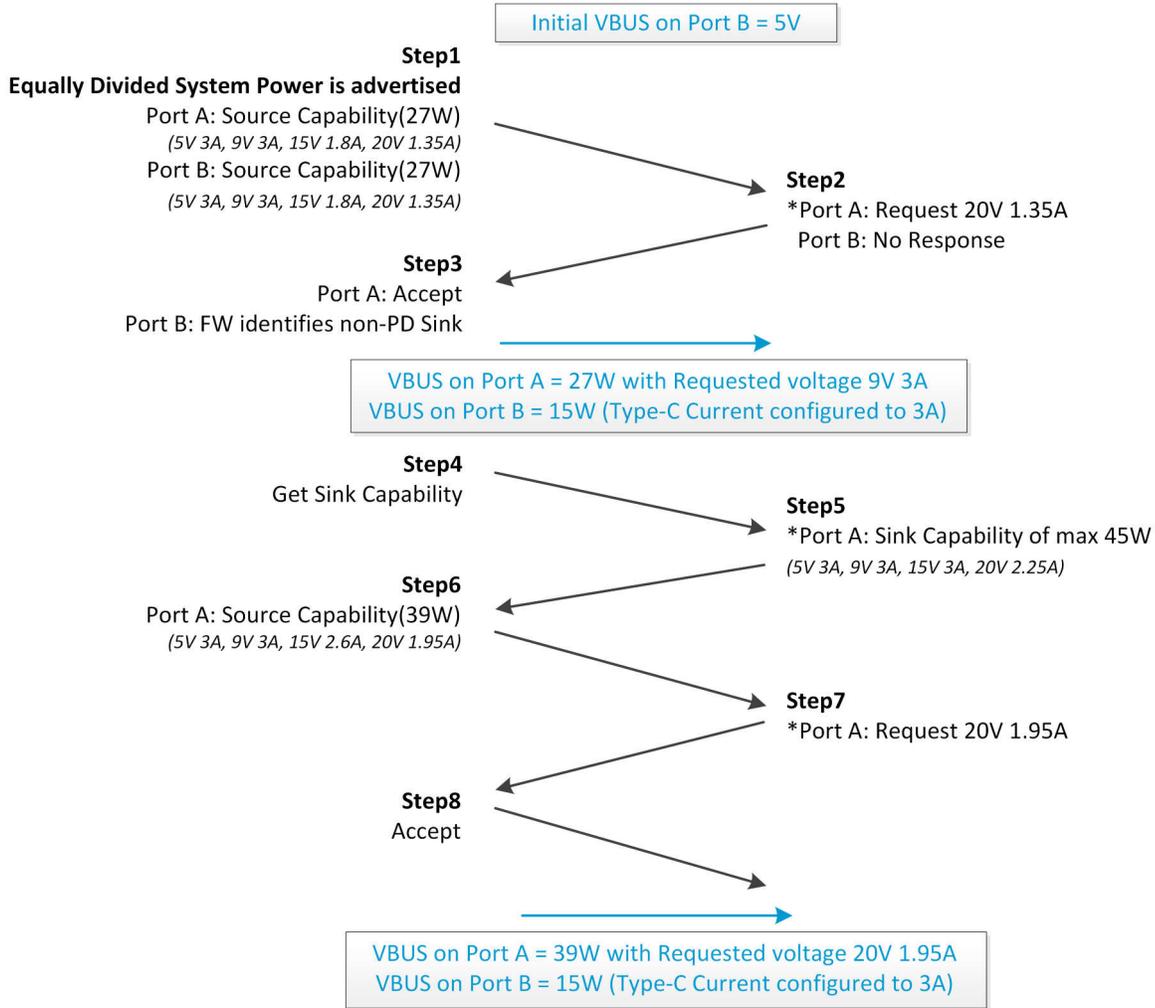


图 5-13. 混合模式协商流程 - 场景 3

6 参考资料

- 德州仪器 (TI), [TPS25772-Q1 具有降压/升压稳压器的汽车双端口 USB Type-C® 电力输送控制器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [TPS25763-Q1 具有降压/升压稳压器和 DisplayPort 交替模式的汽车双端口 USB Type-C® 电力输送控制器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [TPS25762-Q1 具有降压/升压稳压器的汽车 USB Type-C® 电力输送控制器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [TPS257XX-Q1-GUI 配置指南](#) 用户指南。
- 通用串行总线 Type-C 电缆和连接器规格, 修订版 2.4。
- 通用串行总线电力输送规格, 修订版 3.2。

7 修订历史记录

Changes from Revision A (November 2023) to Revision B (November 2024)	Page
通篇将“USB VBUS 总功率”更改为“系统最大功率”	1
更新了图 4-1 和图 4-2	13
更新了图 4-4	13
更新了表 4-4 和表 4-5	16
更新了图 4-5 和图 4-6	16

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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司