

TPS6598x USB PD 电源协商和多端口拉电流/灌电流行为应用手册



摘要

USB 电力输送规格允许拉电流或灌电流公布多达 7 个 PDO，包括固定 PDO、可变 PDO 和电池 PDO。根据 PD 控制器端口的拉电流/灌电流角色，系统必须确定能达到理想功率状态。TPS6598x 器件具有可通过配置自动选择更高功率/电压 PDO 的功能。除此之外，TPS65988 等 2 端口系统还具有多端口管理功能，以便在两个端口都进入拉电流角色或都进入灌电流角色时，优化 Type-C 端口上消耗的功率。

内容

1 灌电流角色中显式协议的自动 RDO	2
1.1 自动协商灌电流寄存器 (0x37).....	2
1.2 自动选择 PDO 作为灌电流.....	4
1.3 自动协商 PDO 选择流程.....	4
1.4 自动协商行为示例.....	6
2 多端口拉电流策略管理	8
2.1 多端口拉电流策略管理流程.....	8
3 多端口灌电流策略管理	10
4 修订历史记录	12

插图清单

图 1-1. 自动协商 PDO 选择流程图.....	5
图 2-1. 多端口拉电流策略管理器流程图.....	9
图 3-1. 多端口灌电流策略管理流程图.....	11

表格清单

表 1-1. 0x37 自动协商灌电流寄存器.....	2
表 1-2. 0x37 自动协商灌电流寄存器位字段定义.....	2

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 灌电流角色中显式协议的自动 RDO

此功能适用于 TPS65987 和 TPS65988 器件。此功能使具有灌电流角色的 TPS6598x 器件能够在协商/重新协商明确的功率协议过程中，从连接到其端口的拉电流所公布的 PDO 列表表中选择一个 PDO，作为其拉电流能力的一部分。然后，此 PDO 公布的参数用于构造 RDO，作为 TPS6598x 器件在适用端口上发出的请求消息的一部分。

从拉电流 PDO 列表表中挑选 PDO 主要基于以下标准：

1. 符合 TPS6598x 配置的电源要求
2. 提供的优先权超过电压/电流/功率

这可在自动协商灌电流寄存器 (0x37) 中配置。

1.1 自动协商灌电流寄存器 (0x37)

该寄存器能够为 TPS6598x 器件配置自动 RDO 选择行为。该寄存器的详细信息可在 TPS6598x 器件 [SLVUBH2B] 的 [主机接口技术参考手册](#) 中找到。以下是技术参考手册 (TRM) 中提供的寄存器定义。

NOTE

在灌电流协议生效时写入此寄存器不会导致自动重新协商。更改将在下次协商协议时生效。ANeg 命令会强制重新评估此寄存器，如果合适，将发出新的请求消息。

NOTE

PD 控制器会根据该寄存器中的设置来协商 PD 协议，而不考虑 SNK 策略模式。但是，配置为等待 SRDY 的输入的电源开关将仅在 SNKAutomaticMode 中启用。根据 TRM 中的说明，SNKIntrusiveMode 中的 PD 控制器仍可在协议变更期间禁用特定开关。

表 1-1. 0x37 自动协商灌电流寄存器

地址	名称	访问	Length (长度)	默认为接通电源
0x37	自动协商灌电流	读/写	24	0 (通过应用程序定制完成初始化)

表 1-2. 0x37 自动协商灌电流寄存器位字段定义

位	名称	说明
字节 17-20：非电池 PDO 参数		
31:22	保留	保留。
21:20	PeakCurrent	峰值电流 (请参阅 PD 规格)
19:10	保留	保留。
9:0	MaximumCurrent	最大电流 (10mA 步长)
字节 13-16：电池 PDO 参数		
31:22	MinimumVoltage	最小电压 (50mV 步长)
21:20	保留	保留 (写入 0)
19:10	MaximumVoltage	最大电压 (50mV 步长)
9:0	MaximumPower	最大功率 (250mW 步长)
字节 9-12：RDO 电流参数		
31:20	保留	保留 (写入 0)
19:10	MinOperatingCurrent	最小工作电流 (10mA 步长)
9:0	OperatingCurrent	工作电流 (10mA 步长)
字节 5-8：RDO 功率参数		
31:20	保留	保留 (写入 0)。
19:10	MinOperatingPower	最小操作功率 (250mW 步长)
9:0	OperatingPower	操作功率 (250mW 步长)
字节 3-4：自动协商最小灌电流所需的操作功率		

表 1-2. 0x37 自动协商灌电流寄存器位字段定义 (continued)

位	名称	说明	
15:10	保留	保留 (写入 0)	
9:0	ANSinkMinRequiredPower	每 LSB 250mW 灌电流所需的最小操作功率。通常, 此字段设置为 TX 灌电流功能寄存器 (0x33) 中定义的 PDO 的最大功率。 注意: 如果 TX 灌电流功能寄存器包括电池供电类型 PDO, 则即使在固定电源和更高功率的可变电源 PDO 可用时, 也应考虑电池 PDO 的最大功率。	
字节 2: 自动协商控制			
7:1	保留	保留 (写入 0)	
0	AutoComputeSinkMinPower	决定 FW 是否应根据 TX 灌电流功能寄存器中编程的灌电流能力 PDO 计算最小灌电流操作功率	
		0b	PD 控制器使用存储在 ANSinkMinRequiredPower 字段中的值作为灌电流所需的最小操作功率。
		1b	PD 控制器将根据 TX 灌电流功能寄存器 (0x33) 中存储的灌电流 PDO 自动计算灌电流所需的最小操作功率, 并将其存储在 ANSinkMinRequiredPower 字段中。ANSinkMinRequiredPower 会在新协议谈判期间更新。
字节 1: 自动协商控制和 RDO 标志			
7	RDOGiveBackFlag	RDO GiveBack 标志	
6	RDONoUsbSuspFlag	RDO NoUSBSusp 标志	
5:4	OfferPriority	在评估源提供的 PDO 时的提议优先级	
		00b	较高的电流优先级
		01b	较高的电压优先级
		10b	较高的功率优先级
	11b	保留。	
3	RDOUsbCommCapable 标志	RDO USB 通信能力标志	
2	AutoNgtSnkVariable	使用可变 PDO 进行自动协商	
1	AutoNgtSnkBattery	使用电池 PDO 进行自动协商	
0	AutoNgt	自动协商固定 PDO。必须为 AutoNgtSnkVariable/Battery 设置此位。	

1.2 自动选择 PDO 作为灌电流

自动选择 PDO 取决于自动协商灌电流寄存器中的以下字段：

字节 3-4：自动协商最小灌电流所需的操作功率	
9:0	ANSinkMinRequiredPower
字节 2：自动协商控制	
0	AutoComputeSinkMinPower
字节 1：自动协商控制和 RDO 标志	
5:4	OfferPriority
0	AutoNgt

位字段描述和 PDO 选择行为：

- **AutoNgt**：设置此位将启用自动协商灌电流行为。此位是启用/禁用此功能的主控件。
- **OfferPriority**：这些位允许用户在最高电压、最高电流和最高功率之间选择优先级。这与设置的功能不匹配无关。
- **AutoComputeSinkMinPower**：设置该位使 PD 控制器能够根据灌电流 PDO 确定系统的功率需求。灌电流所需的最小功率计算为根据每个灌电流 PDO 计算出的最大功率。
- **ANSinkMinRequiredPower**：如果未设置位 **AutoComputeSinkMinPower**，则此字段中输入的参数将用作灌电流的最小功率要求。

1.3 自动协商 PDO 选择流程

PD 控制器端口处于连接状态后，就会触发 PDO 选择逻辑。SNK 状态和端口合作伙伴（远端）已公布其拉电流能力。接收到的 PDO 在 **0x30 RX 拉电流能力寄存器** 中捕获。PDO 选择算法迭代处理这些 PDO，以根据以下标准确定更适合的 PDO：

- 如果 **SNKIntrusiveMode = 1**（第 9 位，端口控制寄存器 [0x29]），即使 **AutoNgt=1**，自动协商行为也不适用。
- 将自动计算出的/由用户选择的灌电流端口最小功率与每个拉电流 PDO 进行比较，以找到更佳匹配方式。
- 灌电流 PDO 电压范围必须与所选拉电流 PDO 公布的电压匹配或在其范围内。
- 拉电流 PDO 电源类型（例如：固定/可变/电池）与灌电流 PDO 的电源类型匹配，该电源类型与最小功率要求非常匹配（适用于理想的 PDO 匹配）。
- 在自动协商过程中，如果找到了完全匹配的拉电流 PDO，迭代将在此处结束。匹配的 PDO 应具有以下特征：
 - 所选拉电流 PDO 满足最小功率要求。
 - 如果有多个拉电流 PDO 可以满足最小功率要求，则从满足标准的 PDO 列表中选择最新的一个。
 - 未设置功能不匹配位。
- 如果未找到完全匹配的 PDO，则迭代将重置，直到将拉电流 PDO 匹配为 **OfferPriority** 选择的设置。在 **OfferPriority** 中设置最高电压/电流/功率，允许拉电流 PDO 选择满足灌电流 PDO 的最高电压/电流/功率参数，以完全/紧密匹配最小功率值。

下面的流程图显示了选择 PDO 的自动协商灌电流行为。

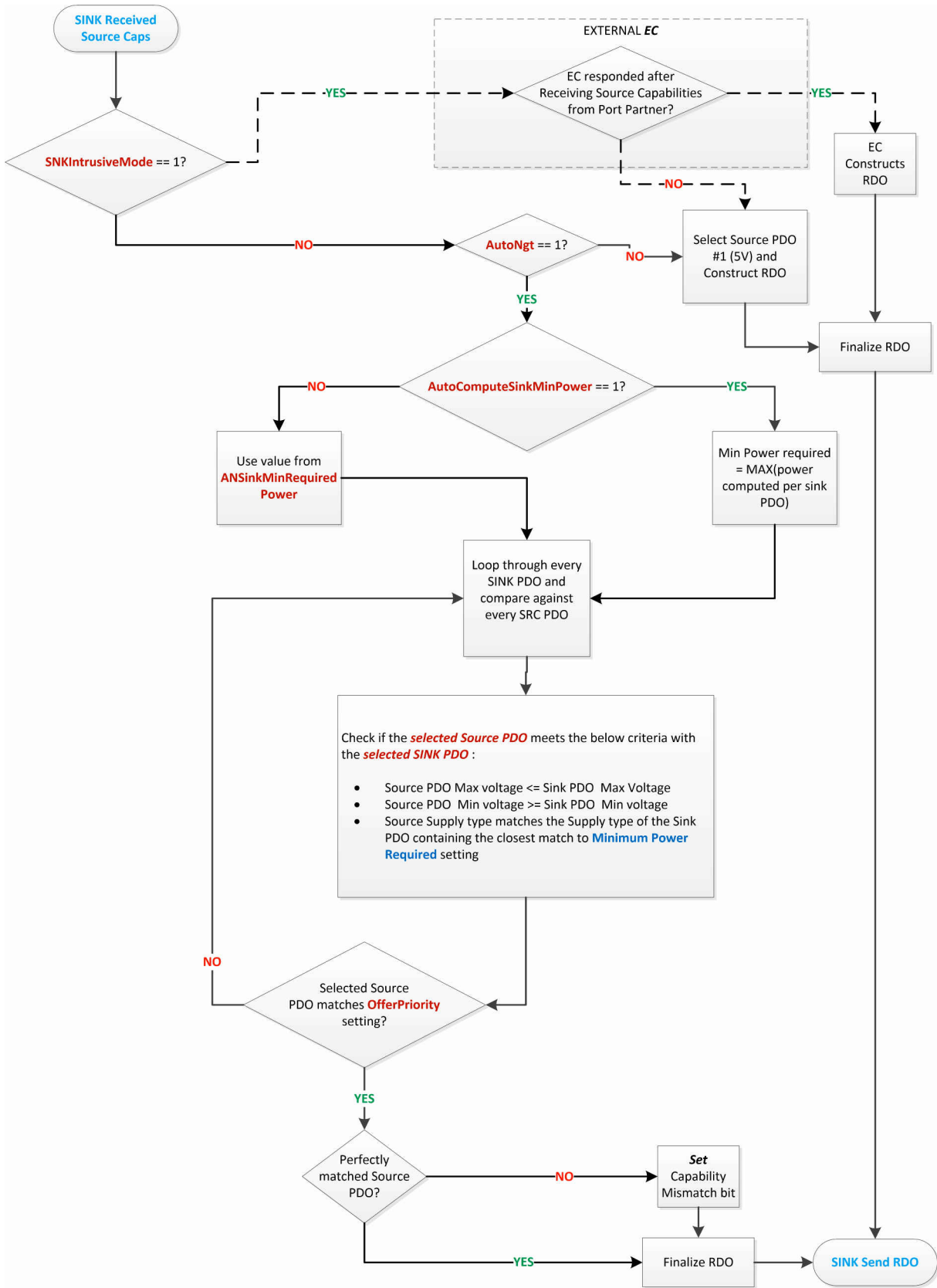


图 1-1. 自动协商 PDO 选择流程图

NOTE

1. 对于可变灌电流 PDO，计算出的功率是 PDO 的工作电流和最大电压的乘积。
2. 对于可变拉电流 PDO，计算出的 PDO 功率是所公布的工作电流和最小电压的乘积。
3. 对于电池灌电流 PDO，使用操作功率。
4. RDO 请求的电流受电缆的最大额定电流限制。
5. 外部 EC 的干预是异步的。

1.4 自动协商行为示例

SL 编号	拉电流 PDO 集	灌电流 PDO 集	提议优先级	自动计算灌电流最小功率	已计算/设置最小功率	RDO 位置	RDO 功率/电流/电压	电容不匹配	备注
1	固定：5 V @ 3 A	固定：5 V @ 3 A	电源	是	40W	4	45W	否	理想匹配
	固定：9V @ 1 A	变量：5 - 20V @ 2A							
	固定：15 V @ 1 A								
	固定：15V @ 3A								
2	固定：5 V @ 3 A	固定：5 V @ 3 A	电源	是	40W	3	15W	是	PDO 3 提供最高功率
	固定：9 V @ 1 A	变量：5 - 20V @ 2A							
	固定：15 V @ 1 A								
	固定：20 V @ 0.5 A								
3	固定：5 V @ 3 A	固定：5V @3A	电流	是	40W	4	4A	否	忽略提议优先级，因为已满足最低功率要求
	固定：9 V @ 4 A	变量：5 - 20V @ 2A							
	固定：15 V @ 1 A								
	固定：20 V @ 2 A								
4	固定：5 V @ 3 A	固定：5 V @ 3 A	电压	是	40W	4	20V	是	PDO 4 提供最大电压
	固定：9 V @ 4 A	变量：5-20V @ 2A							
	固定：15 V @ 2.5 A								
	固定：20 V @ 1 A								

SL 编号	拉电流 PDO 集	灌电流 PDO 集	提议优先级	自动计算灌电流最小功率	已计算/设置最小功率	RDO 位置	RDO 功率/电流/电压	电容不匹配	备注
5	固定：5 V @ 3 A	固定：5 V @ 3 A	电源	是	40W	4	45W	否	忽略提议优先级，因为已满足最低功率要求。SRC PDO 4 计算功率：15V @ 3A = 45W
	固定：9 V @ 4 A	变量：5 - 20V @ 2A							
	固定：15 V @ 2.5 A								
	变量：15 - 20V @ 3A								
6	固定：5V @ 3 A	固定：5 V @ 3 A	电源	否	30W	3	37.5W	否	PDO 3 提供最高功率 SRC PDO 4 计算功率：5V@ 3A = 15W
	固定：9V @ 4 A	变量：5 - 20V @ 2A							
	固定：15 V @ 2.5 A								
	变量：5 - 20V @ 3A								
7	固定：5V @ 3 A	固定：5 V @ 3 A	电源	是	40W	4	1.8W	是	PDO 4 提供的最高功率拉电流不能超过 3A 的电缆限值
	固定：9 V @ 1 A	可变：5 - 20V @ 2A							
	固定：15 V @ 1 A								
	电池：15 - 20V @ 75W								

示例场景：

下面讨论了一些示例：

- **示例 1：** 最小功率 值，即灌电流所需的最大功率由 **AutoComputeSinkMinPower** 确定。因此，在两个灌电流 PDO 中，PDO 2 (5V - 20V @ 2A) 会产生 40W 的 最小功率。PD 控制器因此选择 PDO 4 (15V @ 3A)，可提供 45W。未设置功能不匹配。
- **示例 2：** **AutoComputeSinkMinPower = 1**。因此，灌电流 PDO 2 (5 - 20V @ 2A) 会产生 40W 的 最小功率。但是，拉电流 PDO 列表的最高可提供功率为 15W。这会导致功能不匹配，现在，PDO 选择将取决于 **OfferPriority** 设置。在此示例中，提议优先级设置为 最高功率，因此将选择 PDO 3 (15V @ 1A)。
- **示例 4：** **AutoComputeSinkMinPower = 1**。因此，灌电流 PDO 2 (5V - 20V @ 2A) 会产生 40W 的 最小功率。然而，拉电流 PDO 列表的最高可提供功率为 37.5W (拉电流 PDO 3 - 15V @ 2.5A)。将选择 PDO 4 (20V @ 1A)，因为 **OfferPriority** 设置为最高电压。没有与 最小功率 要求的完全匹配项，因此设置了功能不匹配。
- **示例 6：** **AutoComputeSinkMinPower = 0**，这意味着 最小功率值不是 由 PD 控制器自动计算的，而是直接采用输入到字段 **ANSinkMinRequiredPower** 中的值 (30W)。拉电流 PDO 2 (9V @ 4A) 和拉电流 PDO 3 (15V @ 2.5A) 符合标准。选择的 PDO 将是最新的迭代匹配拉电流 PDO，即 PDO 3 (15V 2.5A)。未 设置功能不匹配位。

2 多端口拉电流策略管理

拉电流策略管理器是 TPS65988 (双端口) PD 控制器的一项功能，使系统能够在 TPS65988 器件内的两个端口控制器都处于拉电流角色时限制功率。通过将 **MultiPortSourcePolicy** 设置为 1 (全局系统配置寄存器 (0x27) 字节 13 的第 7 位) 来启用此功能。此功能还依赖于其他两位：

- **TBTControllerType** [全局系统配置寄存器 (0x27) 的 5:4 位]
- **预防高电流协议事件** (GPIO 输入配置 (特定于端口))

2.1 多端口拉电流策略管理流程

TPS65988 PD 控制器上的拉电流策略管理 (SPM) 按以下标准运行：

- 通过设置 **MultiPortSourcePolicy = 1** 启用 SPM。
- SPM 仅在以下条件下工作：一个端口上存在显式 PD 协议或断开连接，而相邻端口已在显式协议中。
- SPM 可能会影响任一端口，无论触发 PDO 协商或者断开连接的端口是哪一个。
- SPM 允许 任何一个 端口具有高电流协议。它可能由当前端口或相邻端口触发。相邻端口将处于默认 USB 电流协议 (900mA) 中。
- SPM 功能仅适用于 Ice Lake 处理器，这意味着 **TBTControllerType** 设置应为 **0x03**。它不适用于其他平台。

SPM 行为：

如前所述，SPM 功能仅适用于 Ice Lake 设置，且相邻端口已处于显式 PD 协议中。行为如下所述：

- 如果 SPM 由端口上的 PDO 协商触发：
 - 如果当前端口接收到工作电流高于默认 USB 电流 (900mA) 的请求数据对象 (RDO)，则相邻端口的有效协议电流将降低至默认 USB 电流，并且在相邻端口上重新协商显式协议。
 - 如果当前端口的 RDO 电流已经是默认 USB 电流或更小 (基于灌电流的请求)，或者映射至 **预防高电流协议事件 (#80)** 的 GPIO 较高，则根据 **TX 拉电流能力寄存器 (0x32)** 设置恢复相邻端口的已公布电流，并且如果 SPM 先前限制了其公布行为，则在相邻端口上重新协商显式协议。
- 如果端口断开连接，SPM 将恢复相邻端口的 TX SourceCapability 寄存器中的已公布电流，并在需要时强制相邻端口重新协商。

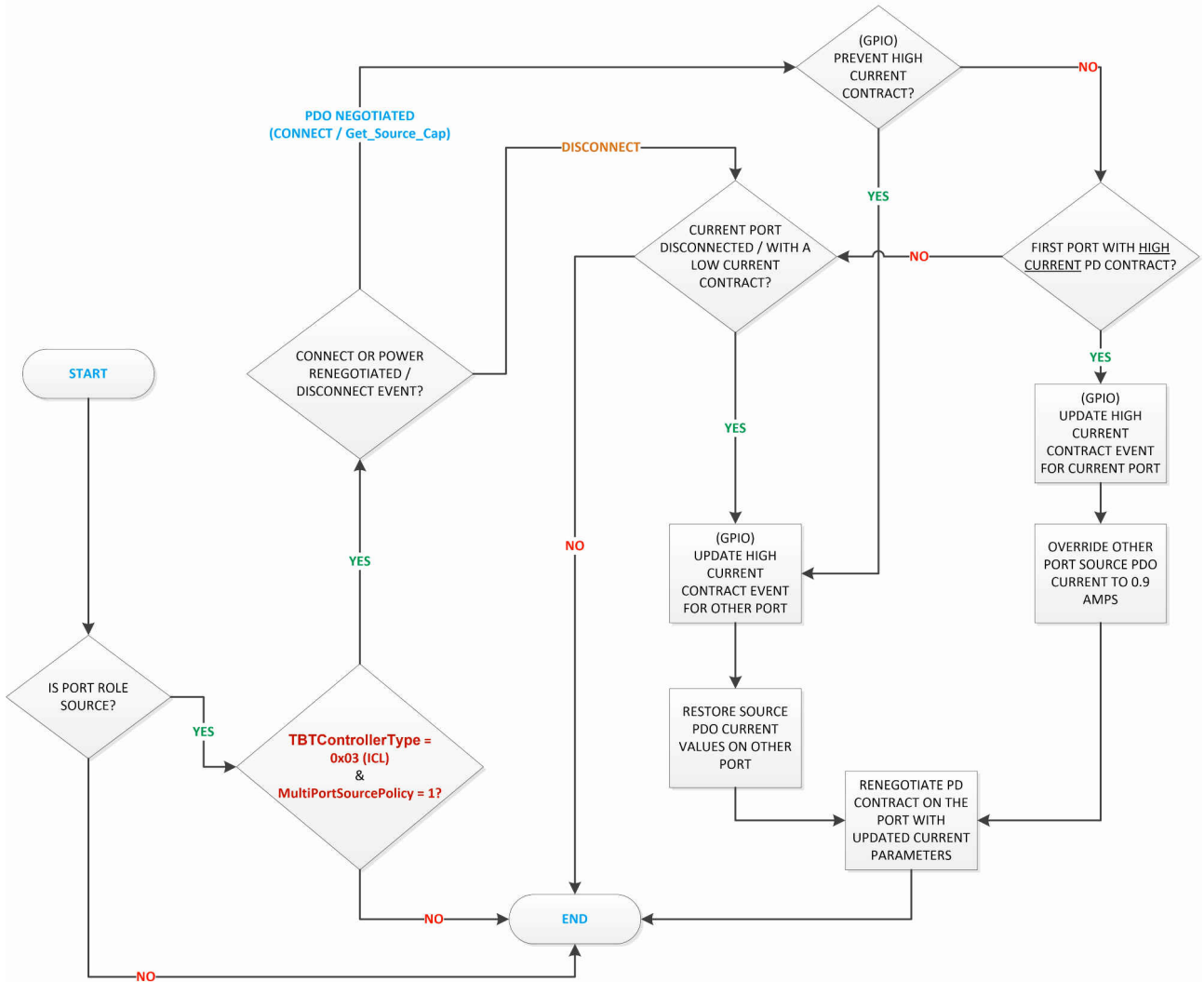


图 2-1. 多端口拉电流策略管理器流程图

3 多端口灌电流策略管理

TPS65988 (双端口) PD 控制器的多端口灌电流策略管理功能使系统能够优化当两个端口都充当灌电流电源角色时消耗的功率。此功能的主要目的是从具有更高功率协议的端口接收功率，并禁用相邻端口上的接收功率路径。任何端口的功率协议均不受影响。此功能的结果是只有一个端口实际接收功率。此功能取决于对以下位的设置：

- **MultiPortSinkPolicy** [全局系统配置寄存器 (0x27) 的 1:0 位]
- **MultiPortSinkNonOverlapTime** [全局系统配置寄存器 (0x27) 的 10:9 位]

除了这些位之外，设置位 **AutoNgt = 1** [自动协商灌电流寄存器 (0x37) 的 0 位] 将允许消耗更高的功率，否则将默认为仅限 5V 协议 (拉电流 PDO 列表中的第一个 PDO)。

多端口灌电流策略管理行为：

符合以下条件时，多端口灌电流管理功能发挥作用：

- 当端口以隐式/显式或传统模式进入灌电流角色时。
- 当电池电量耗尽时，灌电流开关将始终启用。
- 如果相邻端口由于处于断开连接/拉电流/灌电流 (打开开关) 状态而未关闭其灌电流开关，则将启用当前端口的灌电流开关。
- 如果相邻端口在其灌电流开关关闭的情况下已经处于灌电流协议中，则将比较两个端口的 PD 协议功率，并且具有较高 PD 协议功率的端口将关闭其开关，而另一个端口将打开 (如果已关闭) 或禁止关闭。
- 如果相邻端口处于灌电流协议中，且其灌电流开关需要打开，而当前端口的灌电流开关需要关闭，则将进行一个 先断后合 操作，遵循以下顺序：
 - 打开相邻的灌电流开关。
 - 等待由设置 **MultiPortSinkNonOverlapTime** (全局系统配置寄存器 (0x27) 的字节 14 的第 10:9 位) 确定的时间。
 - 关闭当前端口灌电流开关。

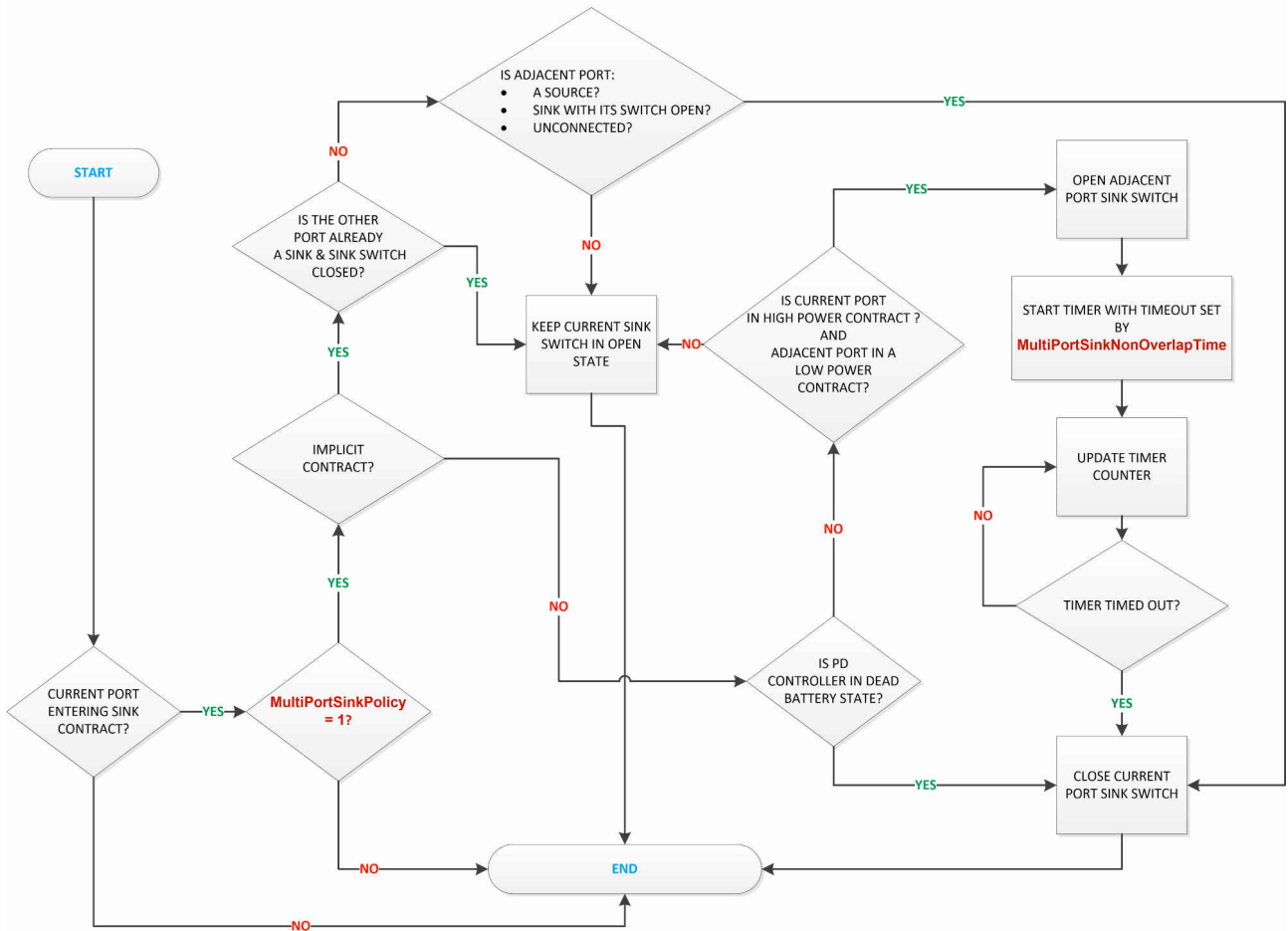


图 3-1. 多端口灌电流策略管理流程图

4 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

日期	修订版本	说明
2021 年 4 月	*	初始发行版

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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司