



Christodulos Tsongas

概要

TPS257xx/TPS267xx デバイスには自動ネゴシエーション シンクレジスタがあり、システムへの電力供給方法を細かく制御できます。USB 電力供給 (USB-PD) が最大 240W (5A 時に 48V) を供給できるようになったため、システムが適切な電力を得られることの保証により重点が置かれています。本書では、これらのデバイスに共通する自動ネゴシエーション シンクレジスタのフィールド、これらのフィールドが USB-PD コントラクトを制御する方法、およびフィールドがシステムの電力を供給および制限する方法について説明します。

目次

1 他の TI 製 USB-PD コントローラへの適用性.....	2
1.1 USB-PD シンクの概要.....	2
1.2 自動ネゴシエーション シンクの目的.....	2
1.3 定義.....	3
2 本書で説明するフィールド.....	4
3 自動ネゴシエーション シンクの基本と実例.....	6
3.1 RDO 優先度の自動ネゴシエーション (ANRDOPriority).....	6
3.2 自動計算シンクの最小電力と、自動ネゴシエーション シンクの最小必要電力.....	8
3.3 容量不一致なし、および容量不一致時のシンクの自動無効化.....	8
3.4 自動計算シンクの最小電圧と、自動ネゴシエーションの最小電圧.....	11
3.5 自動計算シンクの最大電圧と、自動ネゴシエーションの最大電圧.....	12
4 自動ネゴシエーション シンクの基本と EPR の例.....	14
4.1 $\geq 140W$ を必要とするシステム.....	14
4.2 シンクバス SPR から EPR への遷移.....	14
5 一般的な間違いまたはシステム固有の制約.....	19
5.1 システムがより多くの電力を必要とするが、PD は少ない電力 PDO を選択する.....	19
5.2 システムが EPR 電力をサポートしているが、PD は依然として 20V PDO を選択する.....	19
5.3 最小電圧と最大電圧を同じ値に設定する.....	20
6 高度な自動ネゴシエーション シンクの例.....	22
6.1 5V 固定 PDO へのダウングレード.....	22
6.2 割り込み駆動 EC を持つ自動ネゴシエーション シンク.....	26
6.3 ANeg: 自動ネゴシエーション シンクの更新.....	26
6.4 AUTO_NEGOTIATE_SINK レジスタ.....	26
7 参考資料.....	31

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 他の TI 製 USB-PD コントローラへの適用性

このアプリケーション ノートで説明しているフィールドでは、TPS257xx および TPS267xx デバイスの動作が詳しく説明されています。この情報は、自動ネゴシエーション シンクレジスタを含むすべてのデバイスに適用できますが、レジスタの実装全体は製品ファミリーによって異なる場合があります。

すべてのデバイスが、同一の自動ネゴシエーション シンクレジスタ フィールドを共有するわけではありません。本書に記載されているフィールドは、それらのフィールドが存在するすべてのデバイスで同一に動作しますが、他のデバイスに存在する追加のフィールド、予約済みビット、または代替のフィールド構成により、このアプリケーション ノートに記載されていない付加的な機能や制約が発生する可能性があります。これらの追加または変更されたフィールドが他のデバイスに存在する場合、本データシートに記載されているフィールドのみで動作しているときは、システム レベルの動作が異なる可能性があります。

特定のデバイスに適用可能なレジスタ定義の詳細については、対応するデバイス固有のテクニカル リファレンス マニュアル (TRM) を参照してください。

1.1 USB-PD シンクの概要

USB 電力供給 (USB-PD) は、USB Type-C コネクタを介してインテリジェントな大電力伝送を可能にするオープンなプロトコルです。すべての USB PD 接続で、2 つの主要な役割が定義されています：

- 出典: アクティブに電力を供給するデバイス。たとえば、充電器、ラップトップの Type-C ポート、モバイル バッテリーなどがあります。ソースは、利用可能な電圧と電流の組み合わせ (例: 3A で 5V、3A で 20V) を構成チャネル (CC) ピン上でブロードキャストします。ソースは、シンク デバイスの接続または切断を検出する役割も果たします。
- シンク: 電力を消費するデバイス。例として、スマートフォン、タブレット、ヘッドセット、コードレス電動工具がありますが、これらに限定されません。シンクはソースの電力容量を読み取り、最適な動作の方法を選択します。

接続が確立されると、ソースはまず VBUS 経由で vSafe5V (デフォルトは 5V) を出力します。その後で、両方のデバイスが CC ピン経由でメッセージを送信することで、USB-PD ネゴシエーションになります。ソースは、1 つ以上の PDO (Power Data Objects) を含む Source_Capabilities メッセージを送信します。各 PDO は、特定の電圧と電流のペアを示します。最初の PDO は常に 5V PDO で、電流は USB-PD ソースによって異なります。他の PDO は、5V ~ 48V の電圧、0.1A ~ 5A の電流の任意の組み合わせにできます。

シンクは Source_Capabilities リストから最適な PDO を選択し、RDO (Request Data Object) をソースに送り返します。ソースは、リクエストを受け入れるか、拒否します。受け入れた場合、ソースは VBUS 出力をネゴシエーションされた電圧および電流に調整してから、PS Ready 信号を送信して、シンクが合意された電力を安全に消費できることを通知します。システム設計者の観点からは、シンク側は専用の PD ポート コントローラを使用して、このネゴシエーションを実行します。コントローラは、メイン プロセッサの関与なしで自律的に電力を要求するよう、事前に構成できます。この場合、自動ネゴシエーション シンクレジスタを使用して、電圧制限、最小電力、およびその他のパラメータを設計者が事前に設定できるため、PD コントローラは安全かつ自動的に電力コントラクトを確立し、システム設計を簡素化して信頼性を向上できます。

1.2 自動ネゴシエーション シンクの目的

システム設計者の観点からは、シンク側は専用の USB-PD ポート コントローラを使用して、このネゴシエーションを実行します。コントローラは、システムの介入なしで自律的に電力を要求するよう、事前に構成できます。この場合、自動ネゴシエーション シンクレジスタを使用して、電圧制限、最小電力、およびその他のパラメータを設計者が事前に設定できるため、PD コントローラは安全かつ自動的に電力コントラクトを確立し、システム設計を簡素化して信頼性を向上できます。

自動ネゴシエーション シンクレジスタは、USB-PD シンクとして動作するシステムの重要な部品です。主な目的は、接続された USB-PD ソースからデバイスが要求できる電力要件を定義し、システムが動作用に安全で十分な電力を受け取れるようにすることです。PD デバイスは、自動ネゴシエーション シンクレジスタ フィールドを構成することで、ホストの介入なしに電力コントラクトを自律的にネゴシエーションできます。これは、堅牢なシステムの設計に不可欠な機能です。

1.3 定義

このセクションでは、本書にあるいくつかのキーワードと定義について説明します。これらの定義は、「USB Power Delivery 仕様リビジョン 3.1」 www.usb.org/developers/docs に基づいています。

PD コントローラ / デバイス 電力供給コントローラ / デバイス	USB-PD プロトコル通信で送信 / 受信を行う、USB-PD 対応デバイス指します
PDO パワー データ オブジェクト	ソース ポートまたはシンク ポートの容量を公開するため使用されるデータ オブジェクトで、それぞれ <code>Source_Capabilities/</code> <code>EPR_Source_Capabilities</code> or <code>Sink_Capabilities/</code> <code>EPR_Sink_Capabilities</code> メッセージの一部です。
RDO リクエスト データ オブジェクト	PD シンクが PD ソースから特定の PDO を要求するために使用するデータ オブジェクト
SPR 標準電力範囲	<code>Source_Capabilities</code> とリクエスト メッセージのみが、SPR 明示的コントラクトのネゴシエーションを許可されます。SPR モードでは、EPR メッセージ (<code>EPR_Source_Capabilities</code> メッセージと <code>EPR_Request</code> メッセージ) は使用できません。SPR 範囲は 5V ~ 20V で最大 100W (5A で 20V) です
EPR 拡張電力範囲	電力範囲を最大 100W (SPR) から最大 240W (EPR) に拡張します。EPR モードで動作している場合、EPR 固有のメッセージ (<code>EPR_Source_Capabilities</code> メッセージと <code>EPR_Request</code> メッセージ) のみが明示的なコントラクトのネゴシエーションに使用されます。EPR 範囲は 5V ~ 48V で最大 240W (5A で 48V) です
PP_EXT/PPHV_EN/PP_EN パワー バス外部 / 電力バス高電圧イネーブル / 電力バス イネーブル	これらは、PD コントローラが電力を消費する (PD がシンク) とき、高電圧 (5V 超) を指定するために TI PD コントローラで使用されるパワー バスの一般名称です。

2 本書で説明するフィールド

表 2-1 は [TPS25751 TRM](#) を参照しており、本書で説明するフィールドのほとんどが記載されています。

表 2-1. 自動ネゴシエーション シンク レジスタのフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
191-116	予約済み	R/W	0h	予約済み
115-105	PPS の出力電圧	R/W	0h	必要な出力電圧 (20mV 単位)。USB PD のリクエスト メッセージにそのまま挿入されます。一部の PD コントローラは、VBUS が 3.8V を下回るとゲートドライバをオンにできないことに注意してください。データシートの VBUS UVLO 値を確認してください。
104-103	予約済み	R/W	0h	予約済み
102-96	PPS 動作電流	R/W	0h	シンク PPS モードでの動作電流。これは、必要な出力電流を 50mA 単位で示した値です。USB PD のリクエスト メッセージにそのまま挿入されます。
95-70	予約済み	R/W	0h	予約済み
69	APDO コントラクト以外の場合に PPS シンクの無効化	R/W	0h	電源タイプの遷移中におけるシンクのバス処理。このビットがアサートされ、選択された電源タイプが PPS APDO ではない場合、リクエスト メッセージを送信する前に、シンクバスが無効化されます。ホストは、PPS コントラクトがネゴシエーションされた後にのみ、このビットをアサートする必要があります。PPSEnableSinkMode がアサートされていないと、このビットは何の効果もありません。
68	PPS で必要な全電圧範囲	R/W	0h	全電圧範囲を持つソースのみを選択します。このビットがアサートされている場合、 $APDO.MinVoltage \leq TX_SINK_CAPS.MinPpsVoltage$ 、 $APDO.MaxVoltage \geq TX_SINK_CAPS.MaxPpsVoltage$ 、 $APDO.MaxCurrent \geq TX_SINK_CAPS.MaxPpsCurrent$ のすべてが満たされていない限り、PPS 電源タイプは選択されません。PPSEnableSinkMode がアサートされていないと、このビットは何の効果もありません。
67	PPS ソース動作モード	R/W	0h	CV または CC モードの選択。このビットが 1 に設定されている場合、PD コントローラはシステムが定電圧モードであると見なし、それに応じて VBUS 切断スレッシュホールドを設定します。このビットが 0 に設定されている場合、PD コントローラはシステムが電流制限モードであると見なし、それに応じて VBUS 切断スレッシュホールドを低下させます。
66-65	PPS リクエストの間隔	R/W	0h	シンク PPS リクエストの間隔。PD コントローラは、ホストがリクエストに何も変更を加えていなくても、このフィールドで示された間隔で、新しいリクエストをソースへ送信します。 0h = 8 秒 1h = 4 秒 2h = 2 秒 3h = 1 秒
64	PPS シンク モードの有効化	R/W	0h	シンク PPS モードを有効化します。このビットがアサートされている場合、PD コントローラは PPS シンク コントラクトのネゴシエーションを試みます。PPS コントラクトは、他の供給タイプよりも優先されます。
63-62	予約済み	R/W	0h	予約済み
61-52	容量の電力不一致の自動ネゴシエーション	R/W	2h	容量の電力不一致のスレッシュホールド。選択された PDO が供給できる電力が、このレジスタで指定された電力より少ない場合、NoCapabilityMismatch が 1 に設定されていない限り、PD コントローラはリクエスト メッセージの Capability Mismatch ビットをアサートします。(LSB ごとに 250mW)。
51-42	自動ネゴシエーションの最小電圧	R/W	64h	リクエストする最小電圧。PD 電力コントラクトのネゴシエーション時に、PD コントローラは、このフィールドに指定されている値以上の電圧のみを選択します。このフィールドは、AutoComputeSinkMinVoltage = 0 の場合以外は使用されません(LSB ごとに 50mV)。
41-32	自動ネゴシエーションの最大電圧	R/W	190h	リクエストする最大電圧。PD 電力コントラクトのネゴシエーション時に、PD コントローラは、このフィールドに指定されている値以下の電圧のみを選択します。このフィールドは、AutoComputeSinkMinVoltage = 0 の場合以外は使用されません(LSB ごとに 50mV)。AutoComputeSinkMinPower の説明を参照してください。

表 2-1. 自動ネゴシエーション シンクレジスタのフィールドの説明 (続き)

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
31-22	自動ネゴシエーションのシンクの最小必要電力	R/W	104h	シンクが必要とする最小動作電力。PD コントローラは、ソースからこの電力レベルを受け取るよう試みます。(LSB ごとに 250mW)。
21-12	自動ネゴシエーションの最大電流	R/W	145h	リクエストする最大電流。PD コントローラは、このフィールドで示される値を超える電流を要求しません。ホストは、TX_SINK_CAPS レジスタのすべての PDO について、最大電流がこの値を超えないようにする必要があります。(LSB ごとに 10mA)。
11-8	予約済み	R/W	0h	予約済み
7	予約済み	R/W	0h	予約済み
6	容量不一致時のシンクの自動無効化	R/W	1h	シンクバスと容量不一致の設定。このビットがアサートされている場合、暗黙的または明示的な電力コントラクトによって Capability Mismatch ビットが設定されるたびに、PD コントローラはシンクバスを無効化します。このビットは、NoCapabilityMismatch ビットが 0 に設定されている場合のみアサートするようにします。
5	シンクの最大電圧の自動計算	R/W	1h	最大電圧の構成。PD コントローラは、ANMaxVoltage を自動的に計算するか、ホストによる指定を許可できます。 0h = ホストから供給 1h = PD コントローラで計算
4	シンクの最小電圧の自動計算	R/W	1h	最小電圧の構成。PD コントローラは、ANMinVoltage を自動的に計算するか、ホストによる指定を許可できます。 0h = ホストから供給 1h = PD コントローラで計算
3	容量不一致なし	R/W	0h	RDO での容量不一致の構成。容量不一致をトリガする条件は 2 つあります。 <ul style="list-style-type: none"> 接続されているソースが、このレジスタの ANSinkCapMismatchPower フィールド以上の電力を持つ PDO を提供していない場合。 このレジスタで PPS が有効化されており、接続されているソースが TX_SINK_CAPS の要件に一致する PPS PDO を提供していない場合。 <p>いずれかの条件が成立する場合、このビットがアサートされない限り、PD コントローラはリクエストの容量不一致ビットをアサートします。 0h = 容量不一致が有効 1h = 容量不一致が無効。</p>
2	シンクの最小電力の自動計算	R/W	1h	シンクが必要とする最小の電力。最小シンク電力は、TX_SINK_CAPS (0x33) 内の有効な PDO で報告される最大電力です。TX_SINK_CAPS からの特定の PDO の電力は、各電源タイプについて次の条件を満たします。 <ul style="list-style-type: none"> バッテリー電源: 動作電力 可変電源: 最大電圧 * 動作電流 固定電源: 電圧 * 動作電流 <p>ただし、TX_SINK_CAPS レジスタにバッテリー電源タイプ PDO が含まれている場合、ANSinkMinRequiredPower = バッテリー電源タイプ PDO の最大動作電力です。 0h = ホストから供給 1h = PD コントローラで計算</p>
1	USB サスペンドなし	R/W	1h	RDO で NoUSBSusp フラグに使用される値。これは、USB PD によって定義されています。
0	RDO 優先度の自動ネゴシエーション	R/W	0h	PDO 選択時のタイブレーカーの構成。PD コントローラは、電圧要件を満たす PDO の組を検索します。PDO のこの組から、電力が大きいものを選択します。許容される 2 つの PDO の電力が同じであれば、固定電源タイプが最優先され、可変電源が次に優先されます。2 つの PDO の電力が同じで、タイプも同じの場合、このビットによって、どの PDO が選択されるかが決定されます。 0h = より高い電圧 1h = より低い電圧

3 自動ネゴシエーション シンクの基本と実例

デフォルト値

PD コントローラは、これらの設定をデフォルトとして保有できます。以下の各セクションは、これらのフィールドが変更されたときの動作を示しています。各フィールドの詳細については、自動ネゴシエーション シンク レジスタのフィールドの説明を参照してください。

- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkCapMismatchPower = 2d (0.5W)`
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMinVoltage = PD` により設定
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMaxVoltage = PD` により設定
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkMinRequiredPower = PD` により設定
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoDisableSinkUponCapabilityMismatch = 1`
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMaxVoltage = 1`
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMinVoltage = 1`
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.NoCapabilityMismatch = 0`
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMinPower = 1`
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.NoUSBSuspend = 1`
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANRDOPriority = 0`

3.1 RDO 優先度の自動ネゴシエーション (ANRDOPriority)

この例について、フィールドをデフォルト値から変更しました：

- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANRDOPriority = Varied`
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMinPower = 0` `ANSinkMinRequiredPower` を静的にすることを許可します (構成デフォルトで設定するか、必要に応じて `EC` で設定)。
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkMinRequiredPower = 120d (30W)` システムに必要な最小電力の量は、必要に応じて、`EC` によって変更された構成によって設定されます。

`AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMinPower` が 1 に設定されているとき、これは上書きされます。

一部のソース デバイスは異なる電圧 / 電流の PDO を提供できますが、電力は同一です。たとえば、30W ソースが使用され、次の電力が供給されます：

- **PDO1: 3A 時に 5V (15W)**
- **PDO2: 3A 時に 9V (27W)**
- **PDO3: 2A 時に 15V (30W)**
- **PDO4: 1.5A 時に 20V (30W)**

このフィールドは、システムが電圧よりも電流を多く必要とする、またはその逆の場合に役立ちます。`AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANRDOPriority = 0` のとき、より高い電圧 (PDO4) が選択されます。

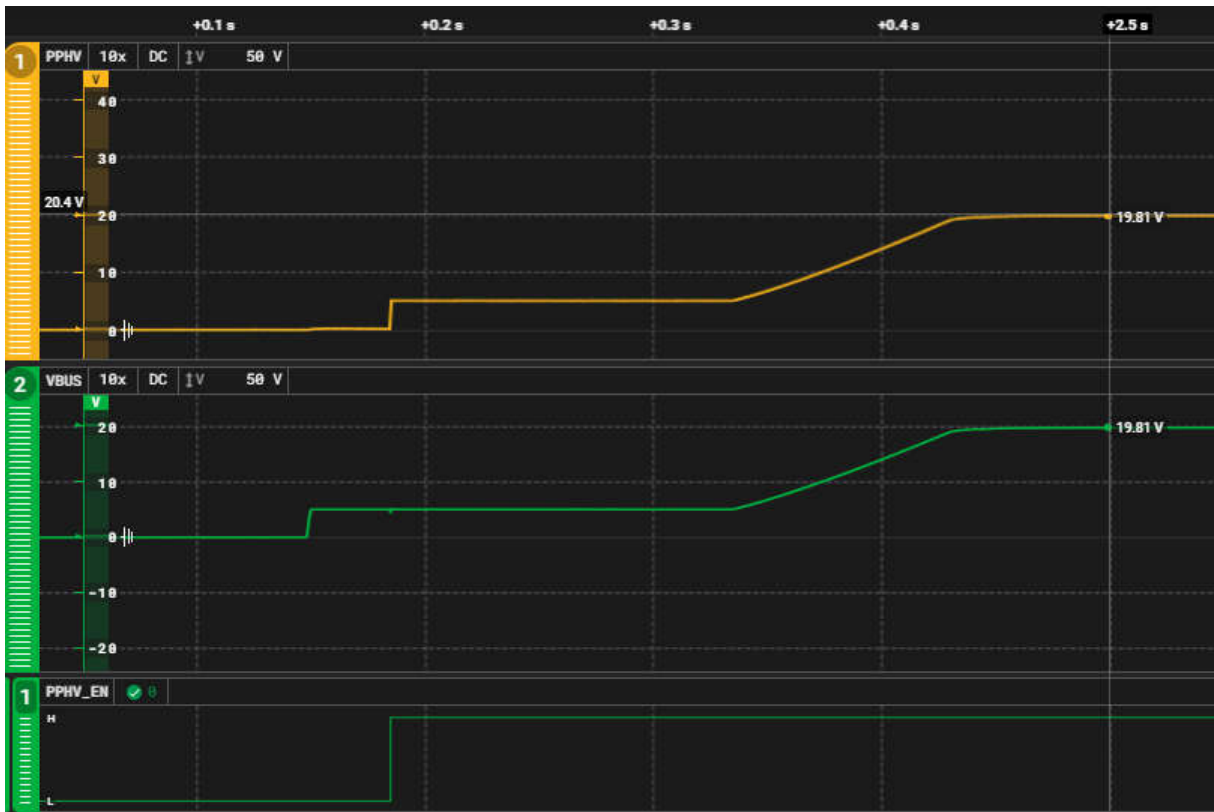


図 3-1. AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANRDOPriority = 0 のときに 20V PDO が選択される

AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANRDOPriority = 1 のとき、低いほうの電圧 (PDO3) が選択されます。

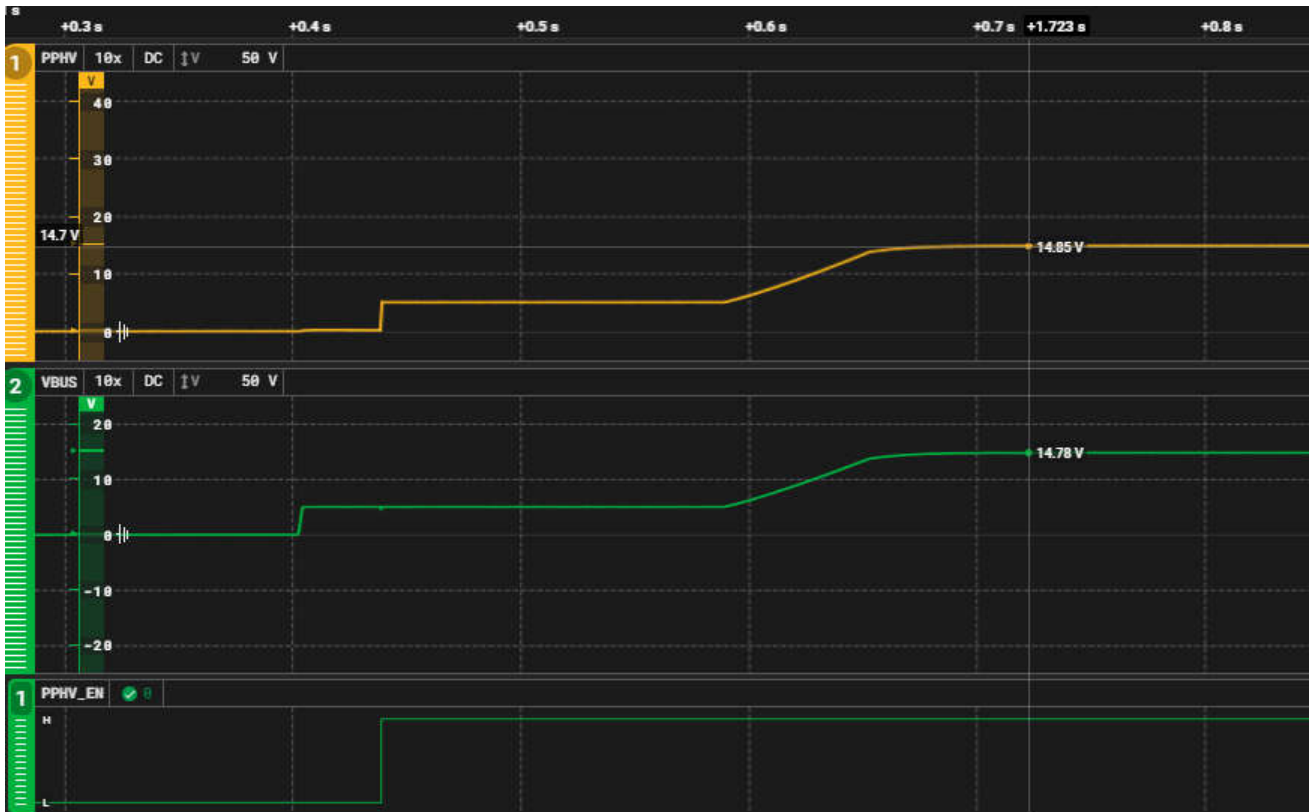


図 3-2. AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANRDOPriority = 1 のときに 15V PDO が選択される

3.2 自動計算シンクの最小電力と、自動ネゴシエーション シンクの最小必要電力

自動計算シンクの最小電力と、自動ネゴシエーション シンクの最小必要電力

この例について、フィールドをデフォルト値から変更しました：

- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMinPower = Varied`
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkMinRequiredPower = Varied`

`AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMinPower = 1` のとき、PD は `TX_Sink_Caps` レジスタに基づいて、この値を自動的に設定します。

- 最大電力の PDO:3A で 20V、`AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkMinRequiredPower = 60W`
- 最大電力の PDO:2.25A で 20V、`AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkMinRequiredPower = 45W`
- 最大電力の PDO:2.4A で 15V、`AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkMinRequiredPower = 36W`

`AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMinPower = 0` のとき、構成または EC によって設定される `AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkMinRequiredPower` の値によって、サポートされている `TX_Sink_Caps` レジスタにかかわらず、システムの最小電力が決まります。

3.3 容量不一致なし、および容量不一致時のシンクの自動無効化

この例について、フィールドをデフォルト値から変更しました：

- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkCapMismatchPower = 240d (60W)`
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoDisableSinkUponCapabilityMismatch = Varied`
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.NoCapabilityMismatch = Varied`

表 3-1. 容量不一致フィールドがシンク パスに及ぼす影響

NoCapabilityMismatch	AutoDisableSinkUponCapabilityMismatch	シンク パスへの影響
0	0	リクエスト PDO は容量不一致をアサートしますが、 <code>ANSinkCapMismatchPower</code> にかかわらずシンク パスは有効なままです。
0	0	リクエスト PDO は容量不一致をアサートし、PDO 電力 < <code>ANSinkCapMismatchPower</code> などのときシンク パスを無効化します。
1	0	リクエスト PDO は容量不一致をアサートしません。 <code>AutoDisableSinkUponCapabilityMismatch</code> は無視されます
1	1	リクエスト PDO は容量不一致をアサートしません。 <code>AutoDisableSinkUponCapabilityMismatch</code> は無視されます

システムが USB-PD から最小電力を必要とする場合、`AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkCapMismatchPower` をシステムの最小値に設定します。容量不一致アサートの動作を維持するには、`AUTO_NEGOTIATE_SINK.NoCapabilityMismatch is = 0` であることを確認します。最後に、`AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoDisableSinkUponCapabilityMismatch = 1` に設定し、システム要件が満たされていない場合に PD がシンク パスを自動的に無効化できるようにします。

- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkCapMismatchPower = 240d (60W)`
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.NoCapabilityMismatch = 0`
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoDisableSinkUponCapabilityMismatch = 1`

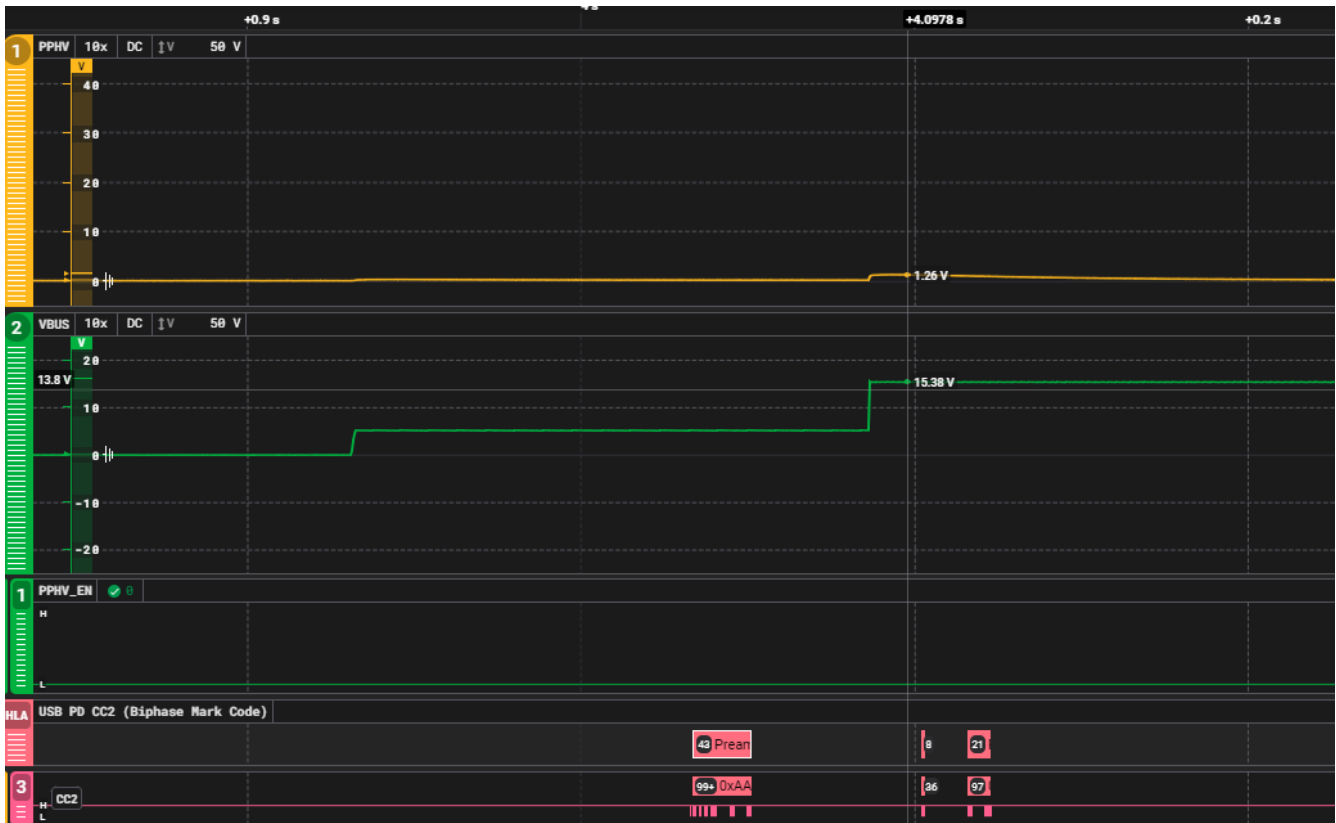


図 3-3. リクエスト メッセージで容量不一致がアサートされ、PD デバイスは PPHV_EN を有効化しなくなる

容量不一致フラグはここで設定され、PD デバイスは上記の PPHV_EN を有効化しなくなります。



図 3-4. PD デバイスから PD ソースへのリクエスト データ オブジェクト

AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkCapMismatchPower の値未満でもシステムが動作可能な場合は、システムがリクエスト PDO で容量不一致をアサートする必要があるかどうかに応じて、AUTO_NEGOTIATE_SINK.NoCapabilityMismatch を 0 または 1 に設定します。また、AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoDisableSinkUponCapabilityMismatch を 0 に設定します。

- AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkCapMismatchPower = 240d (60W)
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.NoCapabilityMismatch = 0
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoDisableSinkUponCapabilityMismatch = 0



図 3-5. リクエスト メッセージで容量不一致がアサートされるが、PD デバイスは引き続き PPHV_EN を有効化する

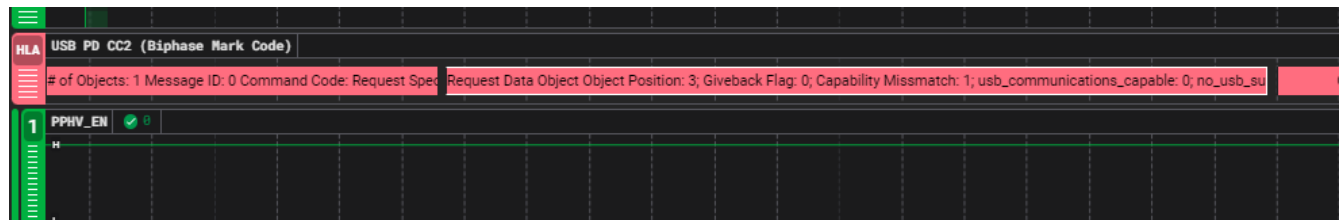


図 3-6. PD デバイスから PD ソースへのリクエスト データ オブジェクト

- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkCapMismatchPower = 240d (60W)`
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.NoCapabilityMismatch = 1`
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoDisableSinkUponCapabilityMismatch = 0`



図 3-7. リクエスト メッセージで容量不一致がアサートされない

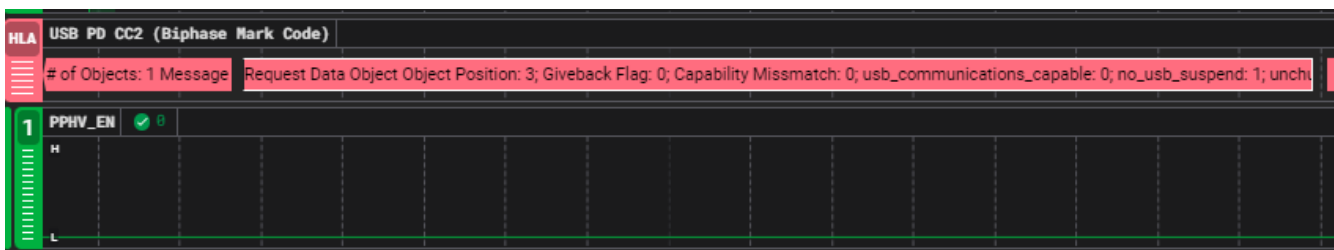


図 3-8. PD デバイスから PD ソースへのリクエスト データ オブジェクト

3.4 自動計算シンクの最小電圧と、自動ネゴシエーションの最小電圧

この例について、フィールドをデフォルト値から変更しました:

- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMinVoltage = Varied
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMinVoltage = Varied

代表的なアプリケーションでは、これを AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMinVoltage = 1 に設定して、PD がこの値を計算できるようにします。PD はこの値を常に 4.75V に設定します。これは、他の PDO が PD コントローラ用に動作しない場合、PD は常に 5V PDO にフォールバックできることを意味します。

3.5 自動計算シンクの最大電圧と、自動ネゴシエーションの最大電圧

この例について、フィールドをデフォルト値から変更しました：

- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMaxVoltage = 300d (15V)`
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMaxVoltage = Varied`

システムが SPR (最大 20V) または EPR (最大 48V) の最大電圧を常に処理できる場合は、`AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMaxVoltage = 1` のままでも問題ありません。これは、PD が提供されているソース PDO を調べ、この値を最大電圧値に設定することを意味します。

システムが特定の最大値を必要とし、その電圧を超えることができない場合は、`AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMaxVoltage = 0` を設定すると、`AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMaxVoltage` はソース PDO 電圧にかかわらず、構成または EC によって設定されます。

(テスト 4 で PD が MaxVoltage を設定する例を示します)

- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMaxVoltage = 300d (15V)`
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMaxVoltage = 1`

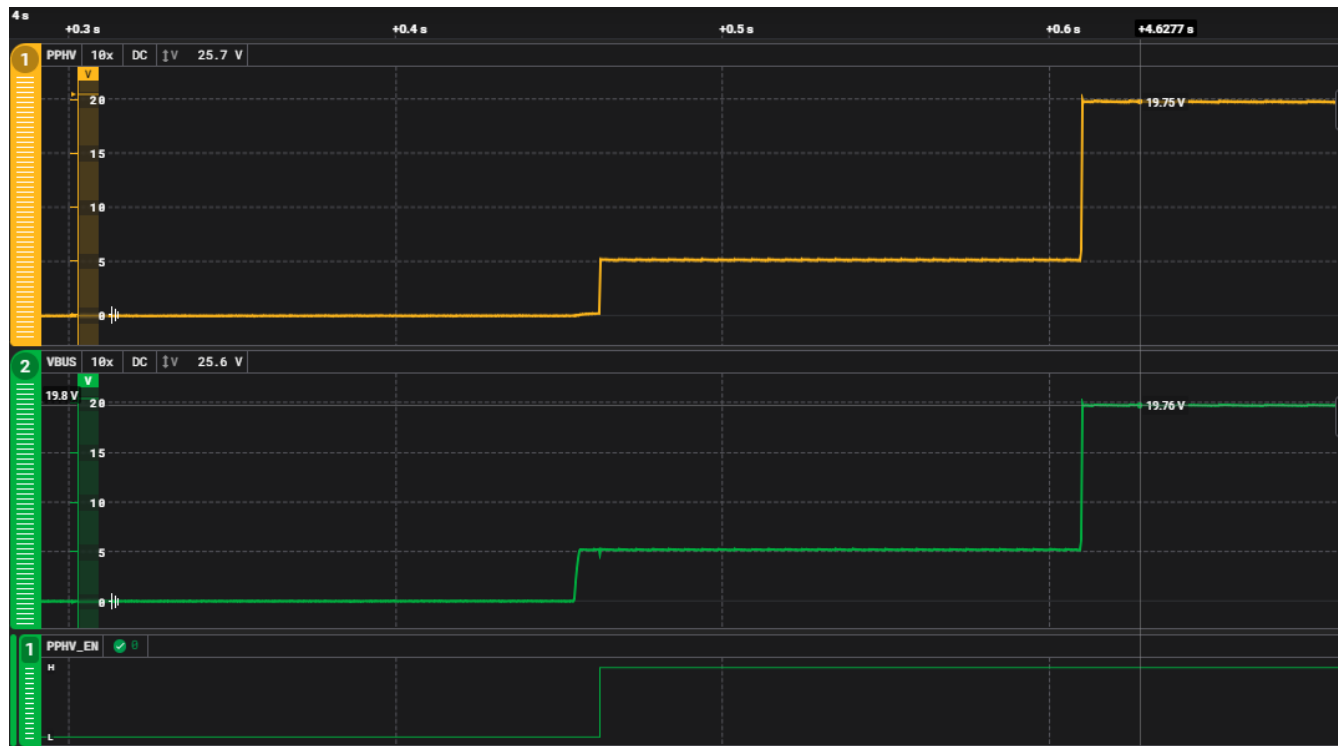


図 3-9. PD デバイスは `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMaxVoltage` を自動計算する

- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMaxVoltage = 300d (15V)`
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMaxVoltage = 0`

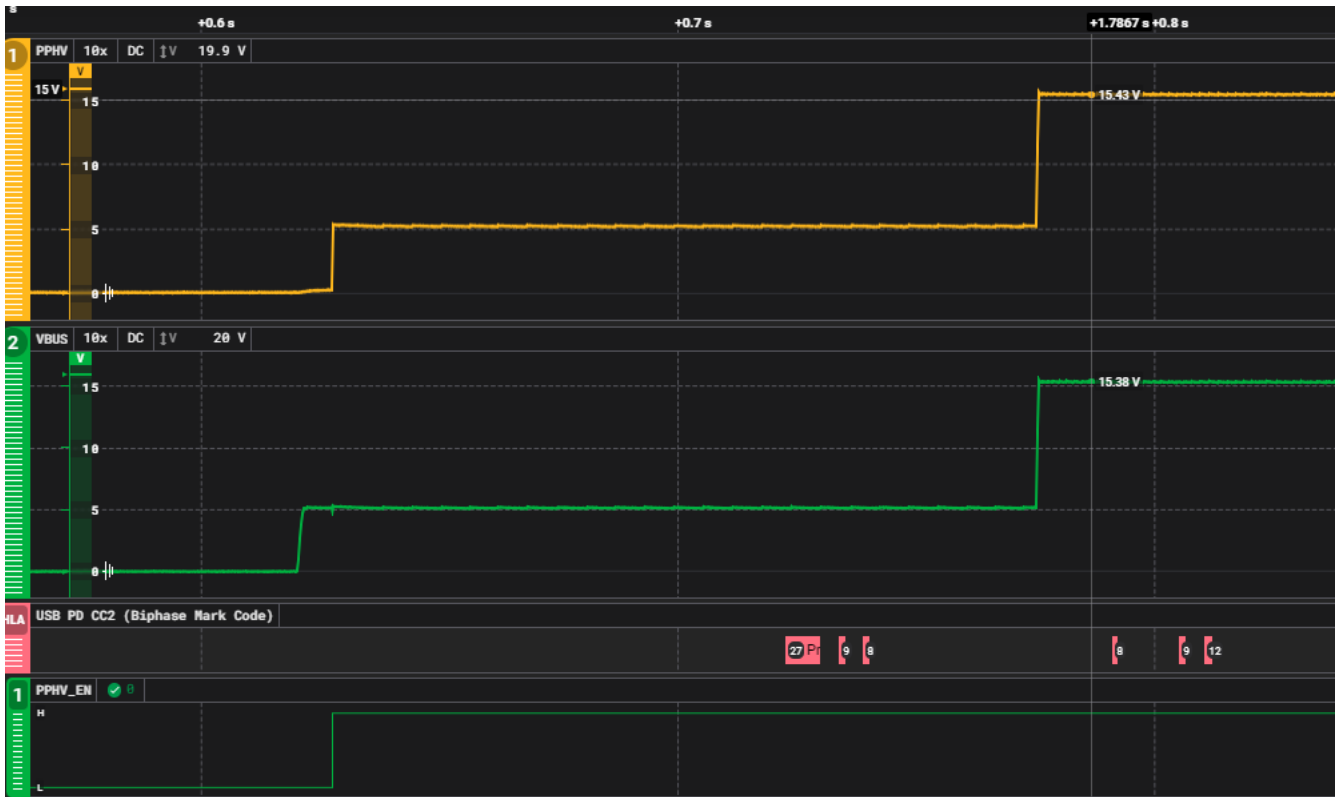


図 3-10. PD デバイスは常に 15V PDO を要求する

#	MessageType	SOP*	DataRole	PowerRole	MsgID	Sender
0	CONNECT SINK NO VBUS (CC1-Pin = 3p0A, CC2-Pin = RA)					
1	CONNECT CC1 (CC1-Pin = 3p0A, CC2-Pin = RA)					
2	Vendor_Defined (Disc ID REQ)	SOP'	N/A	N/A	0	Port
3	Vendor_Defined (Disc ID REQ)	SOP'	N/A	N/A	0	Port
4	Vendor_Defined (Disc ID REQ)	SOP'	N/A	N/A	0	Port
5	Source_Capabilities (Max: 60W, Fixed 5V-3A, Fixed 9V-3A, Fixed 15V-3A, Fixed 20V-3A)	SOP	DFP	SOURCE	0	Port
7	Request (RDO: Pos=3, Pow=45W, loc=3A; Src PDO: Fixed 15V-3A)	SOP	UFP	SINK	0	Port
9	Accept	SOP	DFP	SOURCE	1	Port
11	PS_RDY	SOP	DFP	SOURCE	2	Port

図 3-11. 提供されている 20V PDO の USB-PD キャプチャ

4 自動ネゴシエーション シンクの基本と EPR の例

デフォルト値

ほとんどの値は、前のセクションと同じです。ただし、これらのデモンストレーションでは、EPR 範囲 (21V ~ 48V) について、自動ネゴシエーション シンクが USB-PD コントラクト ネゴシエーションにどのような影響を与えるかを示すため、TPS26750 デバイスを使用しています。

4.1 $\geq 140W$ を必要とするシステム

この例について、フィールドをデフォルト値から変更しました：

- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkCapMismatchPower = 560d (140W)`

`AUTO_NEGOTIATE_SINK.NoCapabilityMismatch = 0` のとき、EPR 28V 以上が利用可能でない限り、PD はシンクパスをオンにしません。また PD は、`AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMaxVoltage = 1` により、SPR ネゴシエーション時に最大電圧を 20V に設定し、EPR エントリが発生した後は、PD が常に可能な最大電圧を要求できるように、最大 EPR 電圧を設定します。

4.2 シンク パス SPR から EPR への遷移

一部のシステムでは、0V ~ 28V+ のシンク パスを処理することが望ましくありません。このセクションでは、SPR から EPR にスムーズに遷移する方法、または EPR のみを許可する方法の例を紹介します。

システムで EPR 電圧 (5A で 36V) が必要にもかかわらず、シンク パスの 0V から 36V への遷移は害になる可能性があると思定します。次の設定を行うと、シンク パスが 5V でオンになり、36V EPR コントラクトが達成されるまでシンク パスがオンに維持されます。またこれらの設定は、36V EPR の開始まで、リクエスト PDO で容量不一致ビットをアサートされたままにします。

- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkCapMismatchPower = 720d (180W)`
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.NoCapabilityMismatch = 0`
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoDisableSinkUponCapabilityMismatch = 0`

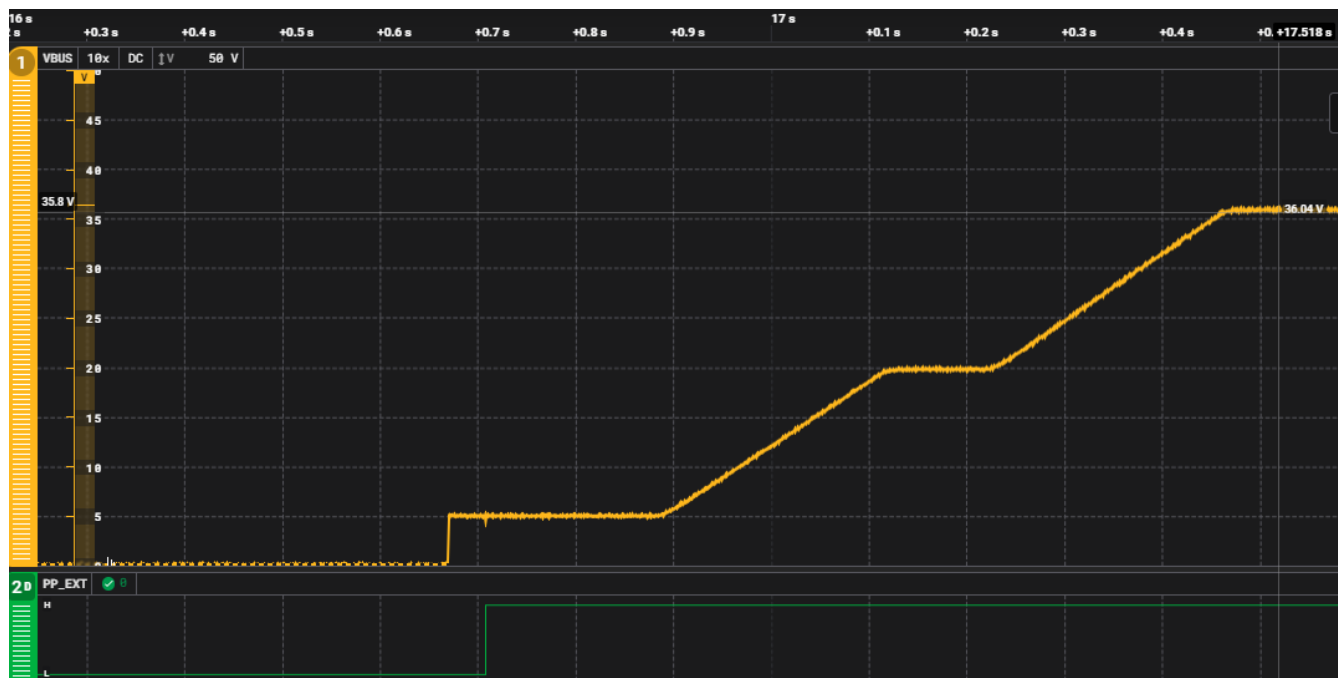


図 4-1. PD コントラクトのネゴシエーション全体で PP_EXT が有効化される

最初の接続から EPR PDO ネゴシエーションまでの USB-PD メッセージを示します。

注: ログを読みやすくするため、EPR キープレイブ メッセージはフィルタリングで除外されています。

#	MessageType	SOP*	DataRole	PowerRole	MsgID	Sender	TimeStamp
0	CONNECT SINK NO VBUS (CC1-Pin = 1p5A, CC2-Pin = VCONN)						12:34:01.938.169
1	CONNECT CABLE RA OR SINK NO VBUS (CC1-Pin = STD, CC2-Pin = VCONN)						12:34:01.944.534
2	CONNECT CABLE RA OR SINK NO VBUS (CC1-Pin = STD, CC2-Pin = VCONN)						12:34:07.028.481
3	CONNECT DEBUG ACC (CC1-Pin = STD, CC2-Pin = 3p0A)						12:34:07.207.005
4	Source_Capabilities (Max: 100W, Fixed 5V-3A, Fixed 9V-3A, Fixed 15V-3A, Fixed 20V-5A)	SOP	DFP	SOURCE	0	Port	12:34:07.369.208
6	Request (RDO: Pos=4, Pow=100W, loc=5A; Src PDO: Fixed 20V-5A)	SOP	UFP	SINK	0	Port	12:34:07.374.905
8	Accept	SOP	DFP	SOURCE	1	Port	12:34:07.379.357
10	PS_RDY	SOP	DFP	SOURCE	2	Port	12:34:07.675.821
12	EPR_Mode (Action=Enter)	SOP	UFP	SINK	1	Port	12:34:07.681.521
14	EPR_Mode (Action=Enter_Acknowledged)	SOP	DFP	SOURCE	3	Port	12:34:07.686.093
16	EPR_Mode (Action=Enter_Succeeded)	SOP	DFP	SOURCE	4	Port	12:34:07.691.446
18	EPR_Source_Capabilities (Chunk Response #0)	SOP	DFP	SOURCE	5	Port	12:34:07.697.236
20	EPR_Source_Capabilities (Chunk Request #1)	SOP	UFP	SINK	2	Port	12:34:07.703.379
22	EPR_Source_Capabilities (Max: 180W, Fixed 5V-3A, Fixed 9V-3A, Fixed 15V-3A, Fixed 20V-5...	SOP	DFP	SOURCE	6	Port	12:34:07.708.103
24	EPR_Request (RDO: Pos=9, Pow=180W, loc=5A; Src PDO: Fixed 36V-5A)	SOP	UFP	SINK	3	Port	12:34:07.713.854
26	Accept	SOP	DFP	SOURCE	7	Port	12:34:07.718.369
28	PS_RDY	SOP	DFP	SOURCE	0	Port	12:34:07.996.869

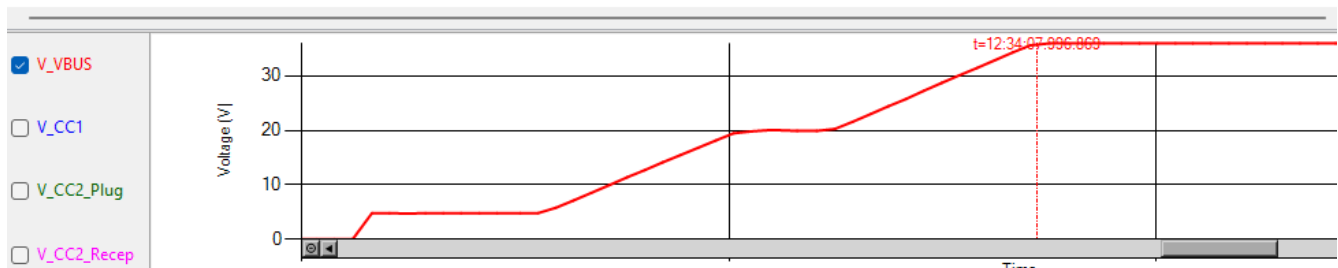


図 4-2. PD コントラクトのネゴシエーションの USB-PD によるキャプチャ

システムが最低 60W を必要としているが、EPR 電圧が望ましいとします。次の設定を行うと、シンク パスが 20V、3A でオンになり、以後もシンク パスが 20V でオンに維持されます。次の設定を行うと、シンク パスが 20V でオンになり、36V EPR コントラクトが達成されるまでシンク パスがオンに維持されます。

- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkCapMismatchPower= 240d (60W)`
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.NoCapabilityMismatch = 0`
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoDisableSinkUponCapabilityMismatch = 1`

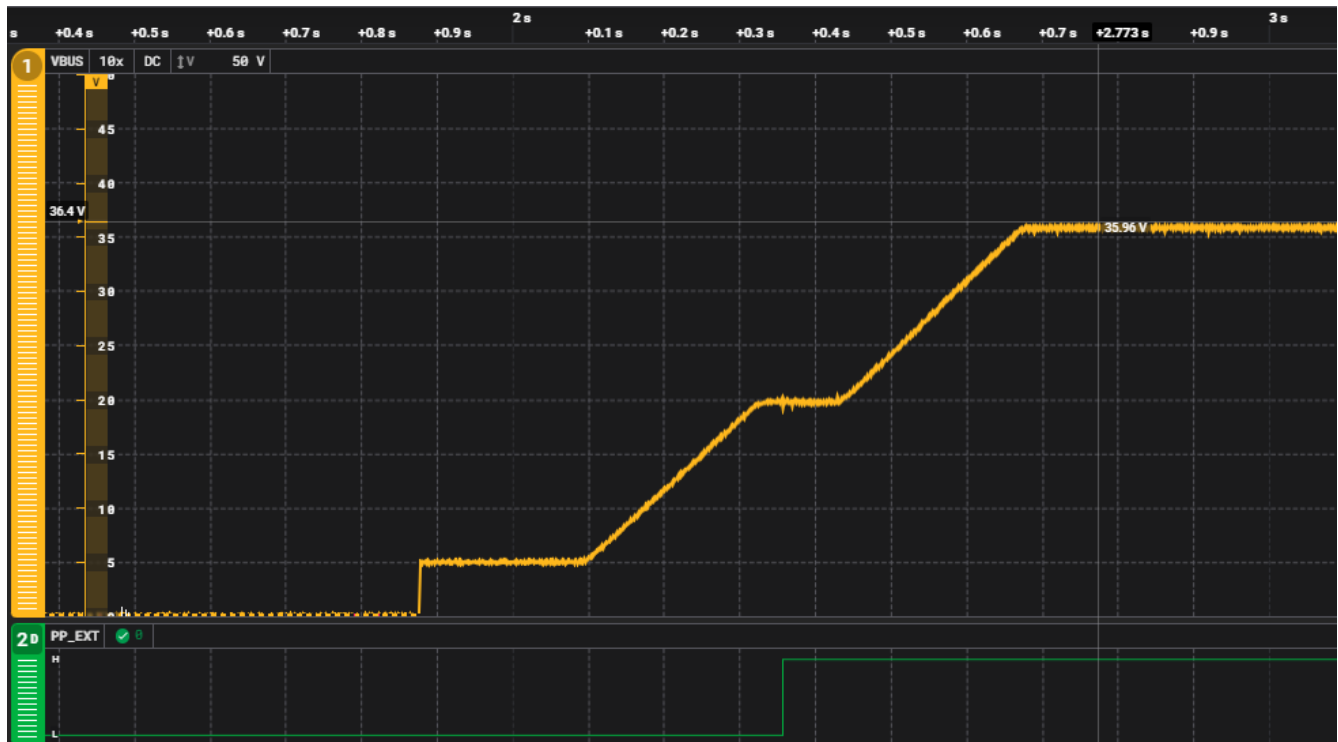


図 4-3. AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkCapMismatchPower が満たされた後で PP_EXT が有効化する

システムが機能するために、少なくとも 140W が必要だとします。次の設定を行うと、140W (5A で 28V) 以上のシンクパスがオンになります。設計者は、システム内の損傷や電圧低下を防止するために、システムが電源からの突入電流を処理できることを確認する必要があります。次の設定を行うと、28V のみのシンクパスがオンになります。

- AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkCapMismatchPower = 560d (140W)
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.NoCapabilityMismatch = 0
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoDisableSinkUponCapabilityMismatch = 1
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkCapMismatchPower = 560d (140W)
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.NoCapabilityMismatch = 0
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoDisableSinkUponCapabilityMismatch = 1

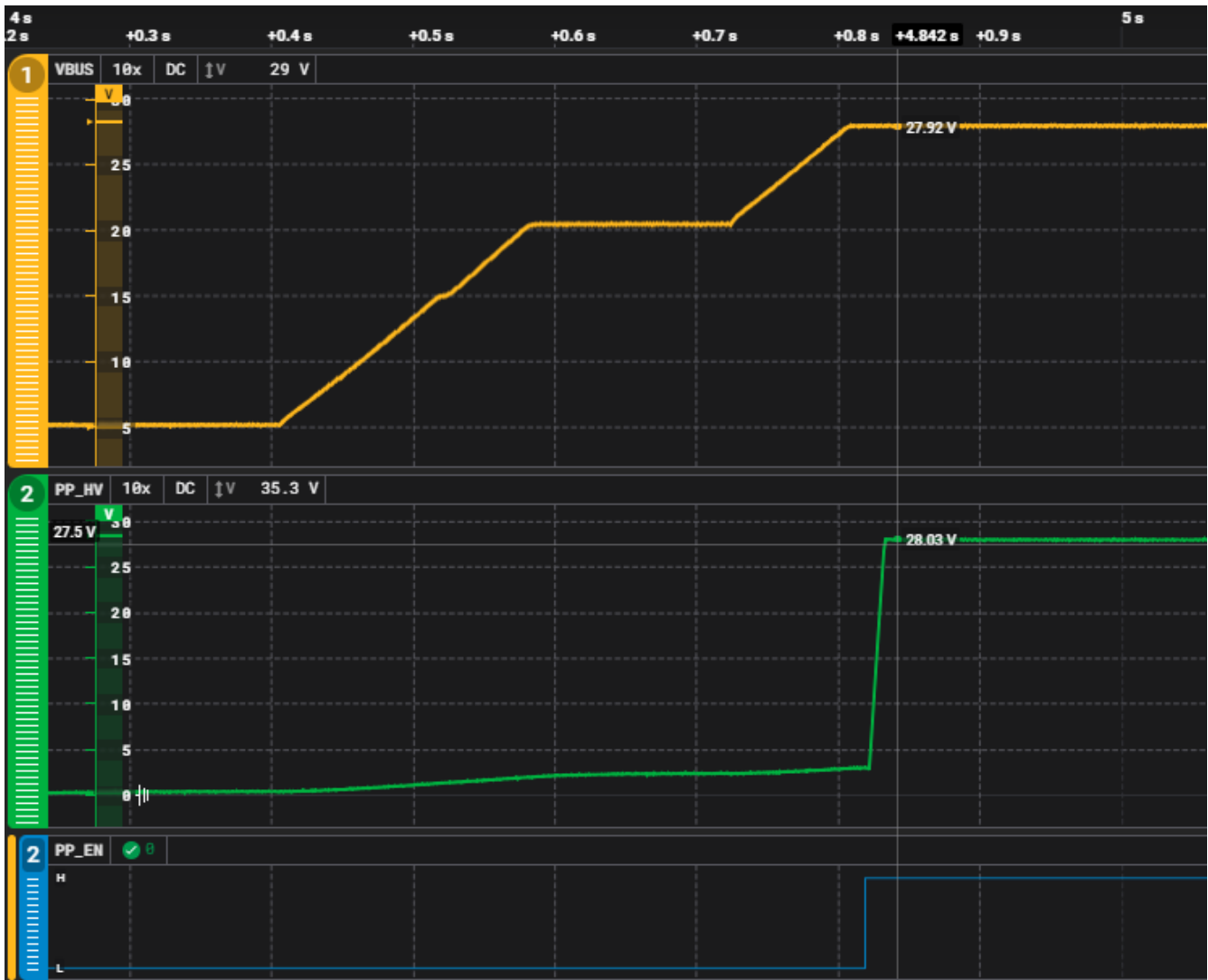


図 4-4. PP_EN が 28V EPR 電圧のみについて有効化される

- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkCapMismatchPower = 560d (140W)`
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.NoCapabilityMismatch = 0`
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoDisableSinkUponCapabilityMismatch = 1`

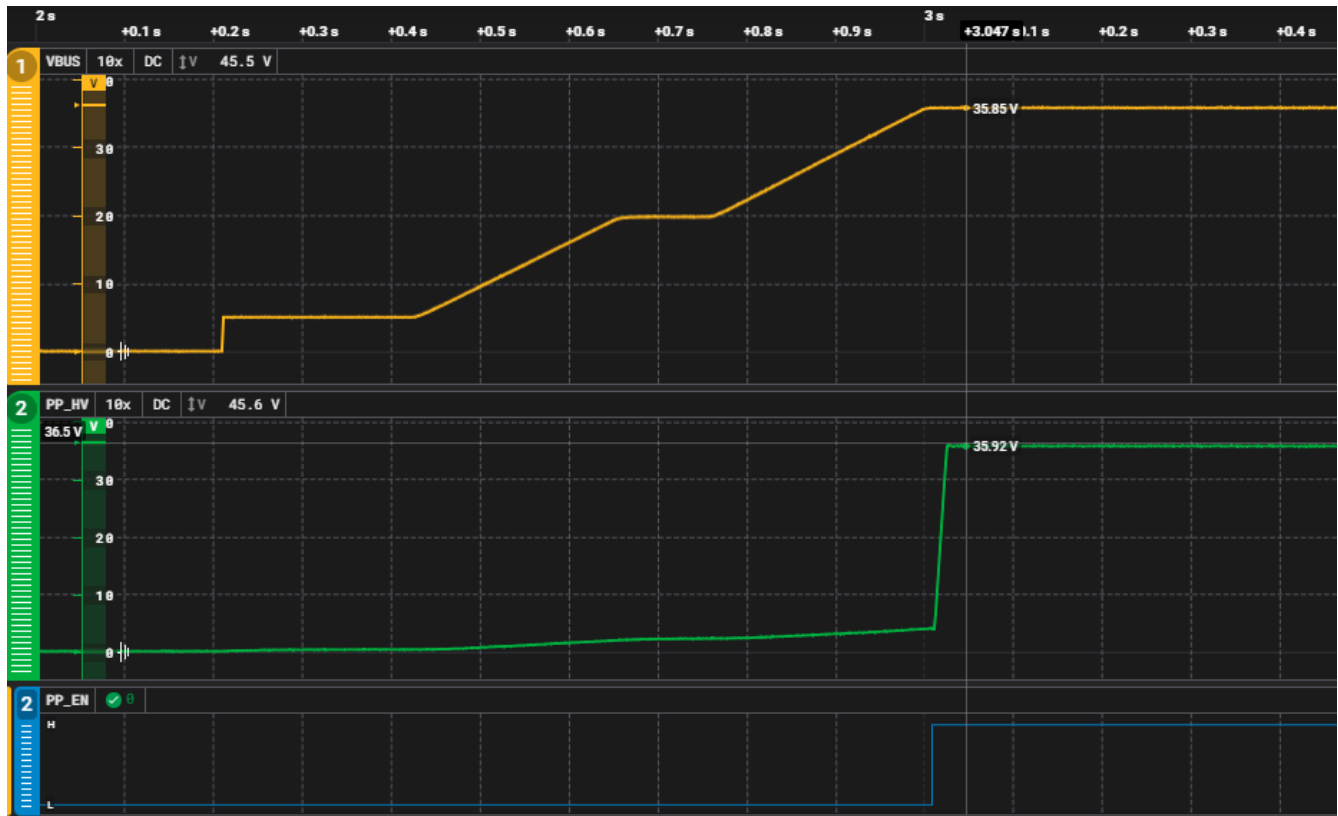


図 4-5. PP_EN が 36V EPR 電圧のみについて有効化される

5 一般的な間違いまたはシステム固有の制約

自動ネゴシエーション シンク設定を併用すると、システムの正しい電源を自動的に要求し、限られた USB-PD 電源での電源投入を回避するための、非常に強力なツールになります。ただし、これらの設定の一部を不適切に組み合わせると、いくつかの一般的な間違いが発生する可能性があります。このセクションでは、いくつかの一般的な問題とその緩和方法について説明します。

5.1 システムがより多くの電力を必要とするが、PD は少ない電力 PDO を選択する

デフォルト設定が検討済みのシステムがあり、次の項目が選択されているとします：

- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMaxVoltage = 300d (15V)
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMaxVoltage = 0
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkCapMismatchPower = 240d (60W)

60W 要件を満たす USB-PD ソースが接続されているとき、PD デバイスは常に 15V PDO コントラクトを要求し、これより高いものは要求しません。これは、構成 (または EC による設定) で、PD が最大 15V に制限されているためです。このため、USB-PD ソースの提供にかかわらず、PD デバイスは 15V より高い PDO を受け付けません。

#	MessageType	SOP*	DataRole	PowerRole	MsgID	Sender	TimeStamp	Message Details
0	CONNECT SINK NO VBUS (CC1-Pin = 3p0A, CC2-Pin = RA)						01:38:12.328.713	
1	CONNECT CC1 (CC1-Pin = 3p0A, CC2-Pin = RA)						01:38:12.615.738	
2	Vendor_Defined (Disc ID REQ)	SOP	N/A	N/A	0	Port	01:38:12.713.484	
3	Vendor_Defined (Disc ID REQ)	SOP	N/A	N/A	0	Port	01:38:12.715.134	
4	Vendor_Defined (Disc ID REQ)	SOP	N/A	N/A	0	Port	01:38:12.716.776	
5	Source_Capabilities (Max: 60W, Fixed 5V-3A, Fixed 9V-3A, Fixed 15V-3A, Fixed 20V-3A)	SOP	DFP	SOURCE	0	Port	01:38:12.718.789	
7	Request (RDO: Pos=3, Pow=45W, loc=3A; Src PDO: Fixed 15V-3A)	SOP	UFP	SINK	0	Port	01:38:12.724.463	
9	Accept	SOP	DFP	SOURCE	1	Port	01:38:12.729.740	
11	PS_RDY	SOP	DFP	SOURCE	2	Port	01:38:12.782.021	
13	Vendor_Defined (Disc ID REQ)	SOP	DFP	SOURCE	3	Port	01:38:12.795.940	
15	Vendor_Defined (Disc ID ACK)	SOP	UFP	SINK	1	Port	01:38:12.801.211	

Decoded Payload		
RDO		0x3584B1F4
ObjPos	3	0x3
GiveBack	0	0x0
Capability Mismatch	Yes	0x1
USB Communications Ca...	No	0x0
No USB Suspend	Yes	0x1
Unchunked Ext Supported	Yes	0x1
EPR Mode Capable	No	0x0
Reserved		0x0

図 5-1. 15V PDO が要求され、20V PDO は無視される

5.2 システムが EPR 電力をサポートしているが、PD は依然として 20V PDO を選択する

デフォルト設定が検討済みのシステムがあり、次の項目が選択されているとします：

- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMaxVoltage = 400d (20V)
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMaxVoltage = 0

この PD デバイスは EPR 対応で、EPR 対応の USB-PD ソースを使用して EPR モードに正常に移行できます。ただし、PD デバイスは EPR モードでも 20V のみを要求します。これは、AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMaxVoltage が 20V に構成 (または EC により設定) されているためです。これは、PD デバイスが 20V を超える電圧を受け付けないことを意味します。

#	MessageType	SOP*	DataRole	PowerRole	Message Details
0	CONNECT CABLE RA OR SINK NO VBUS (CC1-Pin = 3p0A, CC2-Pin = STD)				
1	CONNECT DEBUG ACC (CC1-Pin = 3p0A, CC2-Pin = STD)				
2	Source_Capabilities (Max: 100W, Fixed 5V-3A, Fixed 9V-3A, Fixed 15V-3A, Fixed 20V-5A)	SOP	DFP	SOURCE	
4	Request (RDO: Pos=4, Pow=100W, loc=5A; Src PDO: Fixed 20V-5A)	SOP	UFP	SINK	
6	Accept	SOP	DFP	SOURCE	
8	PS_RDY	SOP	DFP	SOURCE	
10	EPR_Mode (Action=Enter)	SOP	UFP	SINK	
12	EPR_Mode (Action=Enter_Acknowledged)	SOP	DFP	SOURCE	
14	EPR_Mode (Action=Enter_Succeeded)	SOP	DFP	SOURCE	
16	EPR_Source_Capabilities (Chunk Response #0)	SOP	DFP	SOURCE	
18	EPR_Source_Capabilities (Chunk Request #1)	SOP	UFP	SINK	
20	EPR_Source_Capabilities (Max: 180W, Fixed 5V-3A, Fixed 9V-3A, Fixed 15V-3A, Fixed 20V-5A, Fixed 28V-5A, Fixed 36V-5A, EPR AVS PDP:180...)	SOP	DFP	SOURCE	
22	EPR_Request (RDO: Pos=4, Pow=100W, loc=5A; Src PDO: Fixed 20V-5A)	SOP	UFP	SINK	
24	Accept	SOP	DFP	SOURCE	
26	PS_RDY	SOP	DFP	SOURCE	

Message Details		
Capability Mismatch	No	0x0
USB Communications Ca...	No	0x0
No USB Suspend	Yes	0x1
Unchunked Ext Supported	Yes	0x1
EPR Mode Capable	Yes	0x1
Reserved		0x0
Operating Current	5.00A	0x1F4
Maximum Operating Curr...	5.00A	0x1F4
Source Contract PDO		0x000641F4
SupplyType	Fixed	0x0
Reserved		0x0
Voltage	20.00V	0x190
Maximum Current	5.00A	0x1F4

図 5-2. EPR モードでは 20V PDO が要求される

5.3 最小電圧と最大電圧を同じ値に設定する

デフォルト設定が検討済みのシステムがあり、次の項目が選択されているとします:

- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMaxVoltage = 300d (15V)
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMaxVoltage = 0
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMinVoltage = 300d (15V)
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMinVoltage = 0

システムが特定の電圧 (15V) のみを必要とし、他の電圧では動作できないとします。そして、AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMaxVoltage = AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMinVoltage を設定すれば、その条件を満たせるとします。PD がこれらのフィールドを自動計算しないように設定されている限り、構成時 (または EC によって設定されたとき) に選択された PDO のみが設定されます。

AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMaxVoltage または AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMinVoltage が満たされていないときは常に、USB-PD で必要になる 5V PDO がデフォルトとして選択されます。

#	MessageType	SOP*	DataRole	PowerRole	MsgID	Sender	TimeStamp
0	CONNECT SINK NO VBUS (CC1-Pin = 3p0A, CC2-Pin = RA)						01:52:50.053.589
1	CONNECT CC1 (CC1-Pin = 3p0A, CC2-Pin = RA)						01:52:50.339.549
2	Vendor_Defined (Disc ID REQ)	SOP'	N/A	N/A	0	Port	01:52:50.437.423
3	Vendor_Defined (Disc ID REQ)	SOP'	N/A	N/A	0	Port	01:52:50.439.091
4	Vendor_Defined (Disc ID REQ)	SOP'	N/A	N/A	0	Port	01:52:50.440.732
5	Source_Capabilities (Max: 15W, Fixed 5V-3A)	SOP	DFP	SOURCE	0	Port	01:52:50.442.693
7	Request (RDO: Pos=1, Pow=15W,loc=3A; Src PDO: Fixed 5V-3A)	SOP	UFP	SINK	0	Port	01:52:50.447.981
9	Accept	SOP	DFP	SOURCE	1	Port	01:52:50.453.274
11	PS_RDY	SOP	DFP	SOURCE	2	Port	01:52:50.490.044
13	Vendor_Defined (Disc ID REQ)	SOP	DFP	SOURCE	3	Port	01:52:50.502.986
15	Vendor_Defined (Disc ID ACK)	SOP	UFP	SINK	1	Port	01:52:50.508.259
17	CONNECT CC CHANGE (CC1-Pin = 1p5A, CC2-Pin = RA)						01:52:54.828.061
18	Vendor_Defined (Disc ID REQ)	SOP'	N/A	N/A	1	Port	01:52:54.838.694
19	Vendor_Defined (Disc ID REQ)	SOP'	N/A	N/A	1	Port	01:52:54.840.369
20	Vendor_Defined (Disc ID REQ)	SOP'	N/A	N/A	1	Port	01:52:54.842.022
21	Source_Capabilities (Max: 27W, Fixed 5V-3A, Fixed 9V-3A)	SOP	DFP	SOURCE	4	Port	01:52:54.844.004
23	Request (RDO: Pos=1, Pow=15W,loc=3A; Src PDO: Fixed 5V-3A)	SOP	UFP	SINK	2	Port	01:52:54.849.423
25	Accept	SOP	DFP	SOURCE	5	Port	01:52:54.854.704
27	PS_RDY	SOP	DFP	SOURCE	6	Port	01:52:54.891.461
29	CONNECT CC CHANGE (CC1-Pin = 3p0A, CC2-Pin = RA)						01:52:54.899.290
30	CONNECT CC CHANGE (CC1-Pin = 1p5A, CC2-Pin = RA)						01:53:00.280.697
31	Vendor_Defined (Disc ID REQ)	SOP'	N/A	N/A	2	Port	01:53:00.291.563
32	Vendor_Defined (Disc ID REQ)	SOP'	N/A	N/A	2	Port	01:53:00.293.223
33	Vendor_Defined (Disc ID REQ)	SOP'	N/A	N/A	2	Port	01:53:00.294.868
34	Source_Capabilities (Max: 45W, Fixed 5V-3A, Fixed 9V-3A, Fixed 15V-3A)	SOP	DFP	SOURCE	7	Port	01:53:00.296.866
36	Request (RDO: Pos=3, Pow=45W,loc=3A; Src PDO: Fixed 15V-3A)	SOP	UFP	SINK	3	Port	01:53:00.302.422
38	Accept	SOP	DFP	SOURCE	0	Port	01:53:00.307.702
40	PS_RDY	SOP	DFP	SOURCE	1	Port	01:53:00.359.793
42	CONNECT CC CHANGE (CC1-Pin = 3p0A, CC2-Pin = RA)						01:53:00.368.005
43	CONNECT CC CHANGE (CC1-Pin = 1p5A, CC2-Pin = RA)						01:53:03.498.121
44	Vendor_Defined (Disc ID REQ)	SOP'	N/A	N/A	3	Port	01:53:03.508.581
45	Vendor_Defined (Disc ID REQ)	SOP'	N/A	N/A	3	Port	01:53:03.510.246
46	Vendor_Defined (Disc ID REQ)	SOP'	N/A	N/A	3	Port	01:53:03.511.891
47	Source_Capabilities (Max: 60W, Fixed 5V-3A, Fixed 9V-3A, Fixed 15V-3A, Fixed 20V-3A)	SOP	DFP	SOURCE	2	Port	01:53:03.514.243
49	Request (RDO: Pos=3, Pow=45W,loc=3A; Src PDO: Fixed 15V-3A)	SOP	UFP	SINK	4	Port	01:53:03.519.922
51	Accept	SOP	DFP	SOURCE	3	Port	01:53:03.525.498
53	PS_RDY	SOP	DFP	SOURCE	4	Port	01:53:03.562.625
55	CONNECT CC CHANGE (CC1-Pin = 3p0A, CC2-Pin = RA)						01:53:03.570.349

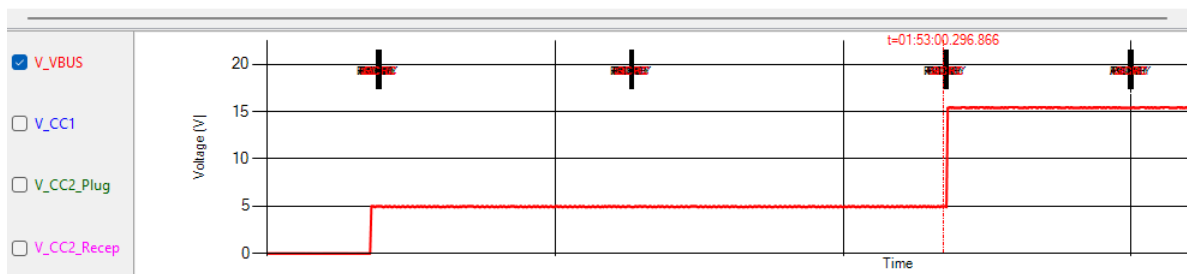


図 5-3. 各種 PD ソース容量に対する PD デバイスの動作

AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMinVoltage と AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMaxVoltage が同じ値である必要はないため、システムが最小 9V、最大 20V を必要とする場合、次の設定を使用すると、システムが常に 9V ~ 20V の範囲に制限されます:

- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMaxVoltage = 400d (20V)
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMaxVoltage = 0
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMinVoltage = 180d (9V)
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMinVoltage = 0

6 高度な自動ネゴシエーション シンクの例

このセクションでは、組み込みコントローラ (EC) と組み合わせた場合の、自動ネゴシエーション シンクレジスタの利点について説明します。github 上にあるシンクの自動ネゴシエーション シンクの例など、さまざまなデバイスでの使用向けに公開されているサンプルがあります。

6.1 5V 固定 PDO へのダウングレード

場合によっては、システムが最大出力を必要としなくなったとき、自動ネゴシエーション シンクレジスタを使用して、システムに供給される電力を下げるすることができます。このためには、EC がデフォルト設定を変更する必要があり、自立的には行えません。デフォルト設定を持つシステムでは、EC が次のものを更新します：

- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMaxVoltage = 100d (5V)
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMaxVoltage = 0

この例では、システムが EPR 電源をサポートしますが、PD は 20V PDO を選択し続け、これによって USB-PD は常に 5V 固定 PDO をネゴシエーションするよう強制されます。5V は常に、USB-PD から標準として供給されます。そのため、EC が上記の設定を更新する前に、PD は自動的に最大電圧にネゴシエートします。



図 6-1. 20V USB-PD ソースから TPS25751 への接続



図 6-2. 28V USB-PD EPR ソースから TPS26750 への接続

最初は `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMaxVoltage` が 1 に設定されているため、PD は供給される最大電圧を計算し、`AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMaxVoltage to whatever the maximum` に入力します。多少の時間が経過した後で、システムは電力が不要になったと判断し、`AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMaxVoltage` を 5V に設定し、EC で制御される値について `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMaxVoltage` を 0 に設定することで、USB-PD のコントラクトを低減できます。

競合条件の警告: PD は、新しいコントラクトがネゴシエートされるか、`AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMaxVoltage` が 0 になるまで、自動ネゴシエーション シンクの設定 `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMaxVoltage` を上書きしません。そのため、EC が自動ネゴシエーション シンクレジスタを変更している間に USB-PD ソースが新しいソース容量メッセージを送信すると、EC の変更が上書きされる可能性があります。

自動ネゴシエーション シンクレジスタが変更されると、EC は 4CC のコマンド「ANeg」を送信できるようになります。4CC コマンドの送信方法の詳細については、『USB-PD コントローラ テクニカル リファレンス マニュアル』(TPS25751 TRM) を参照してください。これにより、PD は自動ネゴシエーション シンクレジスタを再評価し、EC によって行われた変更が有効になる可能性があります。

(20V から 5V に、28V から 5V に)

- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMaxVoltage` = 100d (5V)
- `AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMaxVoltage` = 0



図 6-3. 4CC「ANeg」コマンドが送信され、USB-PD が 5V に低下

- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMaxVoltage = 100d (5V)
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMaxVoltage = 0



図 6-4. 4CC「ANeg」コマンドが送信され、USB-PD が 5V に低下

6.2 割り込み駆動 EC を持つ自動ネゴシエーション シンク

ほとんどの EC は、多くのデバイスにサービスを提供するため、割り込みに依存します。ほとんどの TI 製 PD コントローラには I2Ct_IRQ (割り込み) ラインがあり、PD に EC の情報が含まれているとき、通常は Low にアサートされます。5V 固定 PDO へのダウングレードを例にとると、この動作は割り込み駆動が可能で、USB-PD [github](#) にその例があります。この例の EC/PD フローに関する疑似コードと基本情報を、以下に示します。

```
while(true){
    if (connection_present() )
        break
}
// begin example code
// connection of USB-PD capable charger causes
// Plug Insert or Removal
// New Contract as Consumer
// Source Capabilities Message Received
// to assert.
interrupt_events = read_i2c1_irq()
if ( interrupt_events.plug_insert_or_removal ){
    // do something
} else if ( .... ){
    ...
}
// clear the interrupts by writing back the same bits
write_i2c1_clear(interrupt_events)
// setup the autonegotiate sink register to 5V max
reduce_power_5v()
// sets AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMaxVoltage = 0
// sets AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoNegMaxVoltage = 100
write_4CC("ANeg")
```

6.3 ANeg: 自動ネゴシエーション シンクの更新

表 6-1. ANeg: 自動ネゴシエーション シンク レジスタの再評価

説明	「ANeg」タスクは、PD コントローラに自動ネゴシエーションシンクレジスタ (0x37) を再評価するように指示します。再評価により、アクティブコントラクト RDO とは異なる RDO が生成される場合、新しいリクエスト メッセージが送信されます。
入力 DATAx	なし
出力 DATAx	バイト 1: 標準タスクのリターン コード。標準タスク応答も参照してください。
タスクの完了	新しい RDO が計算され、PD コントローラが新しいリクエスト メッセージを送信するか (そして、そのメッセージが送信され、GoodCRC が受信される)、リクエストが不要であると判断すると、ANeg タスクは完了します。PD コントローラがシンク パワー ロールでない場合、タスクは拒否されます。
副作用	副作用には、新しい PD コントラクト ネゴシエーション、および関連するレジスタの更新が含まれます。
追加情報	なし

6.4 AUTO_NEGOTIATE_SINK レジスタ

一般に、シンク コントラクトが存在するときに AUTO_NEGOTIATE_SINK レジスタに書き込むと、自動的に再ネゴシエーションは行われず、次にコントラクトがネゴシエーションされたときに変更が有効になります。ANeg コマンドは、このレジスタを強制的に再評価し、必要に応じて新しいリクエスト メッセージを発行します。

ただし、シンク PPS コントラクトがすでに存在する場合、次に示すいくつかのフィールドによって、PD コントローラは自動的にレジスタを再評価し、必要に応じて新しいリクエスト メッセージを送信します。

- PPSOutputVoltage
- PPSOperatingCurrent
- PPSEnableSinkMode
- PPSRequestInterval
- RequireFullVoltageRange
- PPSSourceMode

シンク PPS の明示的なコントラクトがまだ存在しないときに PPSEnableSinkMode が変更された場合も、PD コントローラは自動的にレジスタを再評価し、必要に応じて新しいリクエスト メッセージを送信します。

このレジスタの最初の 4 バイトに 0 が書き込まれている場合、PD コントローラは常に 100mA で 5V 固定電源のコントラクトを要求します。ただし、PPSEnableSinkMode がアサートされている場合は、APDO を選択できます。

このレジスタにシンク PPS 機能を実装するため、ホストは TX_SINK_CAPS レジスタに APDO を供給する必要があります。PD コントローラが PPS 電源タイプを評価する場合、Capability Mismatch ビットをアサートするタイミングを決定するために、TX_SINK_CAPS レジスタの最初の APDO のみを使用します。したがって、ホストでは TX_SINK_CAPS レジスタの APDO は 1 つだけにすることが推奨されます。容量不一致ビットをアサートしないためには、ソースによってアドバタイズされるソース APDO が、次の条件を満たす必要があります。

- RX_SOURCE_CAPS.APDO.MinVoltage <= TX_SINK_CAPS.APDO.MinVoltage
- RX_SOURCE_CAPS.APDO.MaxVoltage >= TX_SINK_CAPS.APDO.MaxVoltage
- RX_SOURCE_CAPS.APDO.MaxCurrent >= TX_SINK_CAPS.APDO.MaxCurrent

ソースが上記の条件のいずれかを満たさない場合でも、ソース APDO のうちいずれかが次の条件を満たしていれば、依然としてシンク PPS コントラクトが要求されます。

- RX_SOURCE_CAPS.APDO.MinVoltage <= AUTO_NEGOTIATE_SINK.PPSOutputVoltage
- RX_SOURCE_CAPS.APDO.MinVoltage >= AUTO_NEGOTIATE_SINK.PPSOutputVoltage
- RX_SOURCE_CAPS.APDO.MaxCurrent >= AUTO_NEGOTIATE_SINK.PPSOperatingCurrent

PPS 動作中に、ホストが PPSOutputVoltage フィールドを RX_SOURCE_CAPS レジスタで報告されたソース APDO が供給できる値の範囲外に設定すると、固定電源 PDO が選択され、シンク パスは自動的に無効になります (AUTO_NEGOTIATE_SINK.PPSDisableSinkUponNonAPDOContract を参照)。

PPS が有効な場合は、要件を満たす APDO が最優先されます。

PPS が無効なとき、または一致する APDO が見つからないときに、このレジスタが PDO 選択を主導する方法の概要を次に示します。

- レジスタ RX_SOURCE_CAPS で、受信した PDO を解析します。電圧範囲が ANMinVoltage より低い、または ANMaxVoltage より高い PDO を廃棄します。
- 受信された各 PDO (RX_SOURCE_CAPS.SourcePdoX) の PDO 電力を計算します。すべての PDO を、PDO 電力に従ってランク付けします。
 - PDO 電力 = 電圧 × 最大電流 (固定電源)
 - PDO 電力 = 最小電圧 × 最大電流 (可変電源)
 - PDO 電力 = 最大電力 (バッテリー電源)
- PDO 電力が最も大きく、電圧チェックにも合格する PDO が選択されます。電圧チェックに合格し、PDO 電力が最大の PDO が複数存在する場合は、次の優先順位が適用されます。
 - 固定電源タイプが最優先で、可変電源タイプがバッテリー電源タイプよりも優先されます。
 - 比較対象の PDO の電源タイプが同じなら、どれを優先するかが ANRDOPriority で指定されます。

6.4.1 AUTO_NEGOTIATE_SINK の使用例 1

36W ソースに接続されているとき、PD コントローラの RX_SOURCE_CAPS は次のように設定されます：

- PDO1:3A 時に 5V
- PDO2:3A 時に 9V
- PDO3:2.4A 時に 15V
- PDO4:1.8A 時に 20V

PD コントローラの TX_SINK_CAPS は次のように設定されます：

- PDO1:3A 時に 5V (固定)
- PDO2:3A 時に 20V (固定)

PD コントローラの AUTO_NEGOTIATE_SINK は次のように設定されます：

- AUTO_NEGOTIATE_SINK = 0
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkCapMismatchPower = 240d (60W)
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMinPower = 1

- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMinVoltage = 1
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMaxVoltage = 1
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.NoCapabilityMismatch = x (次の表を参照)
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANRDOPriority = y (次の表を参照)

この設定では、次の結果が得られます:

- ANSinkMinRequiredPower は 60W として計算されます
- ANMaxVoltage は 20V として計算されます
- ANMinVoltage は 4.75V として計算されます

表 6-2. AUTO_NEGOTIATE_SINK の使用例 1

AUTO_NEGOTIATE_SINK		ACTIVE_CONTRACT_RDO			
NoCapabilityMismatch	ANRDOPriority	OperatingX	MinMaxOperatingX	ObjectPosition	容量不一致
0	0	1.8A	3.0A	4	1
1	0	1.8A	1.8A	4	0
1	1	2.4A	2.4A	3	0

6.4.2 AUTO_NEGOTIATE_SINK の使用例 2

36W ソースに接続されているとき、PD コントローラの RX_SOURCE_CAPS は次のように設定されます:

- PDO1:3A 時に 5V
- PDO2:3A 時に 9V
- PDO3:2.4A 時に 15V

PD コントローラの TX_SINK_CAPS は次のように設定されます:

- PDO1:0.1A 時に 5V (固定)
- PDO2:3A 時に 20V (固定)

PD コントローラの AUTO_NEGOTIATE_SINK は次のように設定されます:

- AUTO_NEGOTIATE_SINK = 0
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMinPower = 1
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMinVoltage = 0
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANMinVoltage = 20V
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMaxVoltage = 1
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.NoCapabilityMismatch = x (次の表を参照)
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANRDOPriority = 0

これらの設定により、次の表に示す結果が得られます。ANMaxVoltage は 20V として計算されますが、結果には影響しないことに注意してください。ANMinVoltage は 20V に設定されており、ソースは 20V を供給しないため、どのソース PDO もシンク要件を満たしていません。この例では、ANSinkCapMismatchPower=0 でも、供給される電圧が不十分なため、容量不一致ビットが設定されることがあります。

表 6-3. AUTO_NEGOTIATE_SINK の使用例 2

AUTO_NEGOTIATE_SINK	ACTIVE_CONTRACT_RDO			
NoCapabilityMismatch	OperatingX	MinMaxOperatingX	ObjectPosition	容量不一致
0	3.0A	3.0A	1	1
1	3.0A	3.0A	1	0

6.4.3 AUTO_NEGOTIATE_SINK の使用例 3

45W ソースに接続されているとき、PD コントローラの RX_SOURCE_CAPS は次のように設定されます:

- PDO1:3A 時に 5V
- PDO2:3A 時に 9V
- PDO3:3A 時に 15V

- PDO4:2.25A 時に 20V

PD コントローラの TX_SINK_CAPS は次のように設定されます:

- PDO1:3A 時に 5V (固定)
- PDO2:2.25A 時に 20V (固定)

PD コントローラの AUTO_NEGOTIATE_SINK は次のように設定されます:

- AUTO_NEGOTIATE_SINK = 0
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkCapMismatchPower = 180d (45W)
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMinPower = 1
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMinVoltage = 1
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMaxVoltage = 1
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.NoCapabilityMismatch = 0
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANRDOPriority = y (次の表を参照)

この設定では、次の結果が得られます:

- ANSinkMinRequiredPower は 45W として計算されます
- ANMaxVoltage は 20V として計算されます
- ANMinVoltage は 4.75V として計算されます

表 6-4. AUTO_NEGOTIATE_SINK の使用例 3

AUTO_NEGOTIATE_SINK	ACTIVE_CONTRACT_RDO			
ANRDOPriority	OperatingX	MinMaxOperatingX	ObjectPosition	容量不一致
0	2.25A	2.25A	4	0
1	3.0A	3.0A	3	0

6.4.4 AUTO_NEGOTIATE_SINK の使用例 4

100W ソースに接続されているとき、PD コントローラの RX_SOURCE_CAPS は次のように設定されます:

- PDO1:3A 時に 5V
- PDO2:3A 時に 9V
- PDO3:3A 時に 15V
- PDO4:5A 時に 20V

PD コントローラの TX_SINK_CAPS は次のように設定されます:

- PDO1:3A 時に 5V (固定)
- PDO2:5A 時に 20V (固定)

PD コントローラの AUTO_NEGOTIATE_SINK は次のように設定されます:

- AUTO_NEGOTIATE_SINK = 0
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANSinkCapMismatchPower = 240d (60W)
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMinPower = 1
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMinVoltage = 1
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.AutoComputeSinkMaxVoltage = 1
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.NoCapabilityMismatch = 0
- AUTO_NEGOTIATE_SINK.ANRDOPriority = y (次の表を参照)

この設定では、次の結果が得られます:

- ANSinkMinRequiredPower は 100W として計算されます
- ANMaxVoltage は 20V として計算されます
- ANMinVoltage は 4.75V として計算されます

表 6-5. AUTO_NEGOTIATE_SINK の使用例 3

AUTO_NEGOTIATE_SINK	ACTIVE_CONTRACT_RDO			
ANRDOPriority	OperatingX	MinMaxOperatingX	ObjectPosition	容量不一致
0	5A	5A	4	0
1	5A	5A	4	0

7 参考資料

- テキサス インスツルメンツ、[TPS25751](#)、製品ページ。
- テキサス インスツルメンツ、[TPS26750](#)、製品ページ。
- テキサス インスツルメンツ、[TI USB-PD Github](#)、Web ページ。

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとし、

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日 : 2025 年 10 月