参考資料

Application Note

Type-C PD での液体検出と腐食軽減

Katilynn Mar
Raymond Lin

概要

USB の Type-C® と Power Delivery は登場以来、広く普及し、多くのアプリケーションで主要な USB インターフェイスとして採用されています。Bluetooth スピーカ、電動自転車、電動工具などのポータブル USB Type-C アプリケーションは、USB Type-C コネクタにごみや液体が侵入する環境にさらされる可能性が高くなります。これにより、コネクタ ピン間の不要な短絡が発生し、USB Type-C コネクタの腐食速度が加速し、コネクタの完全性が損なわれて使用できなくなる可能性があります。Type-C コネクタにはこうしたリスクがあるため、システムをこのような予期しない短絡から保護できることが重要です。TPS25751A、TPS25752A、TPS26750A は、USB-C PD の液体検出機能および腐食軽減機能をサポートしているため、液体が検出されたときにシステムと USB Type-C コネクタを腐食から保護できます。このアプリケーション ノートでは、TPS25751A、TPS25752A、TPS26750A の液体検出機能のハードウェアおよびファームウェア実装について説明します。

目次

1 概要.....2
1.1 液体検出の定義と必要性.....2
1.2 定義.....3
1.3 液体検出法の概要.....3
2 詳細説明.....5
2.1 ハードウェアの実装と要件.....5
2.2 ファームウェアの実装と要件.....6
3 詳細なアプリケーション手順.....12
3.1 液体検出構成例.....12
3.2 アプリケーション特性の波形.....13
4 まとめ.....17
5 参考資料.....17

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

1 概要

1.1 液体検出の定義と必要性

接続状態では、VBUS は最大 20V (SPR) または 48V (EPR) をサポートし、CC ピンと VCONN ピンは約 5V に達します。unattached.SNK または unattached.SRC の状態でも、DRP ソースは CC ラインを 3V と 5V の間の電圧にプルします。これにより、コネクタ ピンが腐食する危険性が生じます。腐食すると、最終的に USB インターフェイスと、それを含む広範なシステムが損傷します。Type-C ポートの腐食による損傷については、図 1-1 を参照してください。これを緩和するため、USB Type-C® 仕様 (リビジョン 2.3) では液体検出モードが導入されました。この規格では、腐食を防ぐためにデバイスを 0V 状態に遷移させる必要があります。

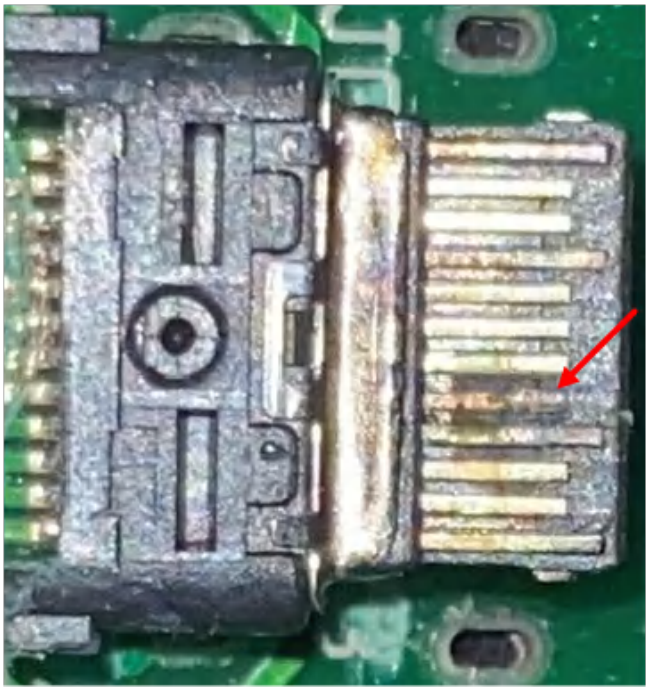


図 1-1. Type-C ポートの腐食

attached.SNK または attached.SRC 状態では、VBUS ピンは SPR で最大 20V、EPR で最大 48V をサポートし、CC および Vconn ピンは約 5V に達します。unattached.SNK または unattached.SRC の状態でも、ソース専用または DRP USB Type-C コネクタにより CC ラインは 3V ～ 5V にプルアップされます。これらの状態では、コネクタ ピンが短絡した場合、VBUS の電圧レベルが最終的にコネクタ内の腐食を引き起こし、USB インターフェイスと場合によってはシステムに損傷を与えます。腐食による損傷を防止および低減する能力を持たせることにより、システムの寿命を延ばすことができます。

テキサス・インスツルメンツの TPS25751A、TPS25752A、TPS26750A デバイスは、USB Type-C 仕様に記載されている液体腐食軽減方法をサポートし、USB Type-C コネクタの短絡が発生するかどうかを判定できます。この手法では、ピン間のリーク電圧を測定し、専用測定ピンを使用して短絡があるかどうかを判定します。TPS25751A、TPS25752A、TPS26750A は、最小限の外付け回路を使用して、この機能を実装しています。この機能は、USBCPD アプリケーション カスタマイズ ツールを使ってカスタマイズすることもできます。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

1.2 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 3.2』に基づいています。

腐食軽減	CC ピンをゼロに近い電圧レベルに駆動し、接続されていない状態での意図しない電流の発生を防止することで、腐食リスクを低減します。
接続状態	デバイスが、CC ピン経由で有効な接続を検出した状態。つまりケーブルやパートナー デバイスが接続され、最小デバウンス時間 (tCCDebounce) にわたって正しいプルアップ (Rp) / プルダウン (Rd) 終端が検出されたことを意味します。接続されると、ポートはその役割 (ソースまたはシンク) にロックされ、Attached.SRC または Attached.SNK などの状態に移行します。
未接続状態	この状態の場合、ポートは CC ピンをアクティブに駆動 / 監視して、接続の可能性を検出します。通常、Unattached.SNK や Unattached.SRC などのサブ状態では、CC のプルアップ / プルダウン抵抗検出に基づいて、ポートがソースとして動作するべきかシンクとして機能するかを交互にチェックします。
液体検出状態への移行	液体または汚染に適合する監視ピンの電気的挙動をポートが検出し、水や腐食性物質が存在するものと仮定します。 この状態に移行すると、ポートは「液体検出状態」として分類されます。
液体検出状態の終了	監視ピンにおける液体非検出スレッショルドの超過をポートが検出します。たとえば、監視ピンが液体非検出状態 (液体が乾燥または排水された状態) に相当する値に戻ります。 この状態に移行すると、ポートは「液体非検出状態」として分類されます。

1.3 液体検出法の概要

TPS25751A、TPS25752A、TPS26750A は、コネクタのピンを測定ピンとして使用し、測定サンプルを取得するときにグランド (0V) と 3.3V の間で既知のバイアス レベルを切り替えます。

この機能のために、SBU1/SBU2、CC1/CC2、または Dp/Dm ペアが使用されます。お使いの際は、システム特有の検出要件に基づいて測定ピンを決定してください。設計上の検討事項に基づいて監視ピンを選択する方法の詳細については、ハードウェアの実装と要件 を参照してください。

測定ラインが 3.3V にバイアスされると、PD コントローラはグランド (0V) への短絡を監視します。逆に、測定ラインがグランドにバイアスされているとき、PD コントローラはコネクタの高電圧ピンへの短絡を監視します。このデュアルバイアス方式により、測定ラインと VBUS または他のアクティブ ピンとの間の意図しない短絡が確実に検出されます。

PD コントローラが構成バンドルのロードに成功すると、サンプル測定値がスレッショルド値と比較され、不要な短絡が発生しないようにします。短絡が発生し、高スレッショルドまたは低スレッショルドを超えた場合、PD コントローラは液体検出状態に移行します。腐食軽減が有効な場合、パワー パスが無効になり、その後で VBUS 電圧が除去され、CC ラインがオープンに設定されます。PD コントローラは、測定ラインからの電圧読み取り値を継続してサンプリングし、短絡が解消されているかどうかを判断します。液体がない状態における電圧値を超えると、PD コントローラは液体検出状態を終了します。

CC ラインおよび SBU ピン / 未使用ピンの実装のフロー図については、図 1-2 および 図 1-3 を参照してください。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

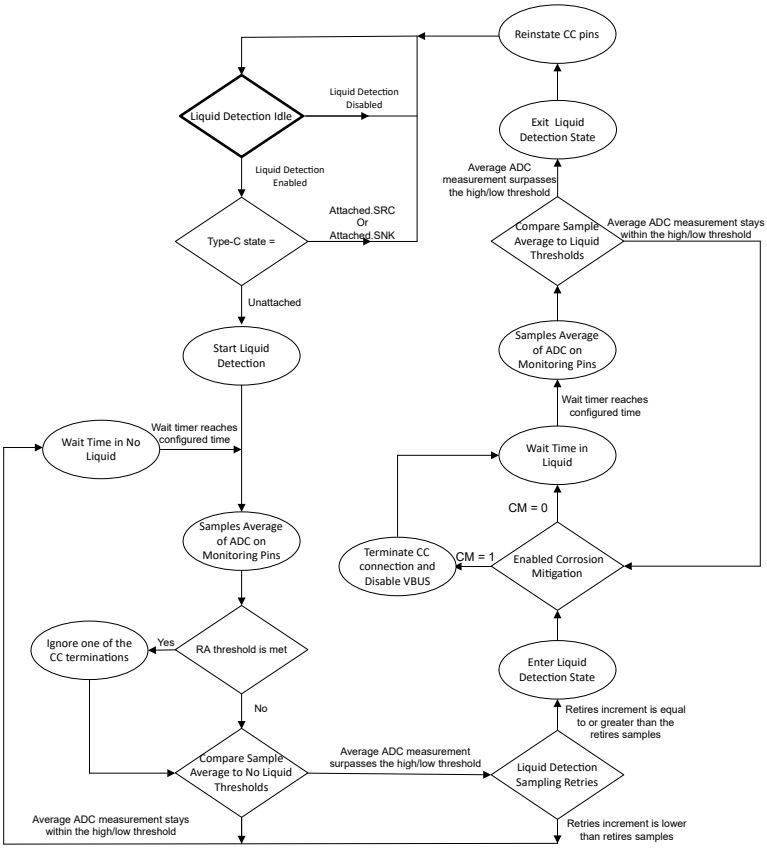


図 1-2. CC ピンのフロー図

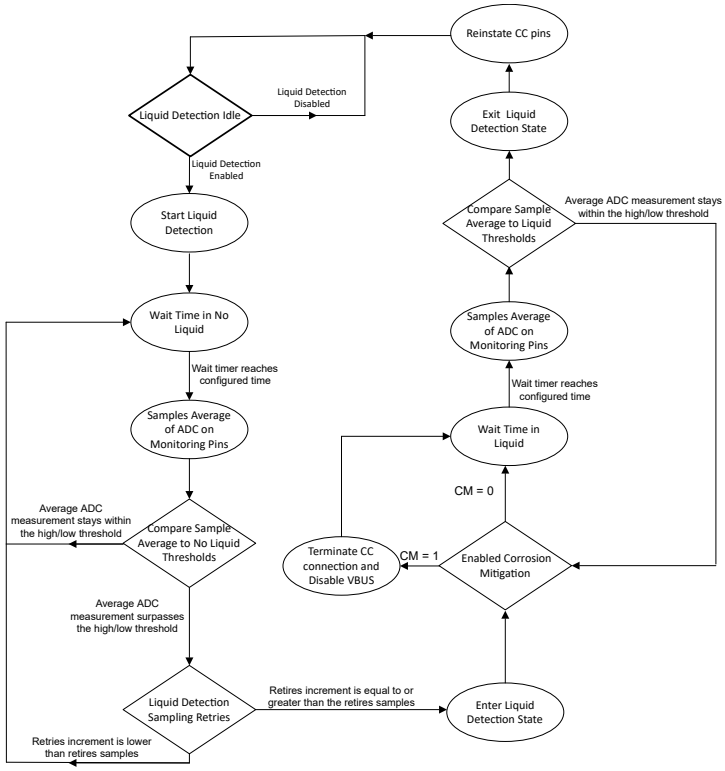


図 1-3. SBU ピン / 未使用ピンのフロー図

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

2 詳細説明

2.1 ハードウェアの実装と要件

CC ピンまたは、SBU ピンや Dp/Dm ピンなどの未使用ピンは、USB Type-C コネクタの測定ピンとして使用されます。

TPS25751A、TPS25752A、TPS26750A は代替モード (DisplayPort、Thunderbolt など) に対応していないため、SBU ピンを測定ピンに使用するのが一般的です。SBU ピンは USB Type-C コネクタの中心に近接しており、サンプリング領域として VBUS、CC、グランドの短絡を検出します。SBU ピンは、接続または未接続状態での液体検出をサポートできます。

CC ラインは、PD 通信信号と液体検出信号を区別できません。そのため、CC ピンが unattached.SNK または unattached.SRC 状態の場合にのみ高い信頼性で液体検出を実装できます。干渉を回避するため、アクティブな PD 接続が存在しない場合には CC1 および CC2 ラインをサンプリングに使用します。

監視ピンを選択した後、過電圧保護のため (SBU ピンが 5V を超えて短絡している場合)、これらのピンをコネクタから TPD4S201 または TPD4S480 に配線して PD コントローラの GPIO0 および GPIO2 に配線します。GPIO ピンは最大定格 6V なので、VBUS への短絡イベントに耐えられません。TPS25751A および TPS25752A は SPR アプリケーション用に TPD4S201 と併用し、TPS26750A は EPR アプリケーション用に TPD4S480 と併用します。

GPIO0 ピンと GPIO2 ピンは ADC 有効化設定に使用され、内蔵 ADC 機能を利用して電圧を測定します。液体検出の場合、追加の出力 GPIOx と入力 GPIOy が必要です。また、GPIOz ピンはオプション出力として使用することもできます。液体検出で使用する GPIO の構成の詳細については、セクション 2.2.2 を参照してください。

必要な GPIO とオプションの GPIO の両方を 図 2-1 に示します。この例では、CC ピンを監視に使用し、SBU ラインはフローティングのままです。各ピンの機能の詳細については、セクション 2.1.1 を参照してください。

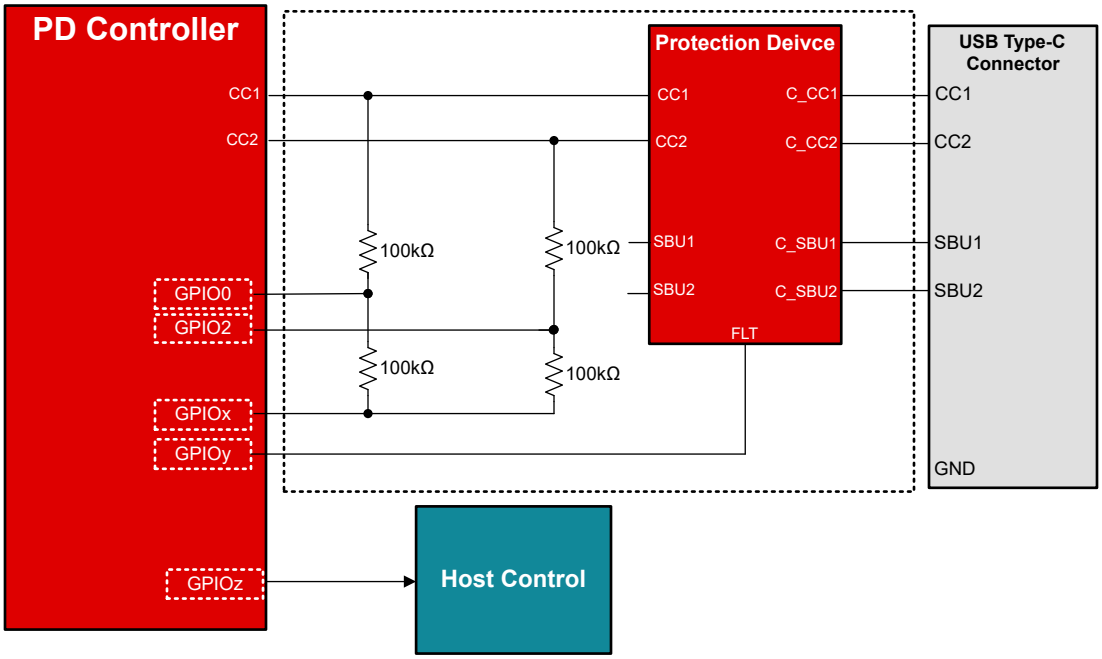


図 2-1. CC ラインのハードウェア実装

2.1.1 GPIO のハードウェア要件

図 2-1 に示すように、GPIOx は監視ピンのバイアス電圧を制御するために使用されます。GPIOx は、抵抗を介して GPIO0 と GPIO2 の両方に割り当てられています。測定ピンのサンプリングに使用する抵抗の推奨最小値は 100kΩ です。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

GPIOy は、保護デバイスから PD コントローラへの入力イベントです。GUI 構成ツール内で、GPIO マップト イベント フィールド内で、GPIOy ピンを故障入力イベント (33) にマップする必要があります。入力信号が High にアサートされると、PD コントローラは ErrorRecovery モードに移行し、VBUS 電源が無効になります。

図 2-2 において、GPIOx は GPIO7、GPIOy は GPIO1 です。

オプションの GPIOz を使用して、デバイスが液体検出状態の移行中または終了しているときにホスト デバイスに通知できます。GUI ツールを PD コントローラ上の未使用の GPIO のいずれかに構成し、GPIO マップト イベント フィールドで GPIOz ピンを液体検出イベント (157) に割り当てます。LDO_3V3 への接続に 10kΩ プルアップ抵抗を推奨します。

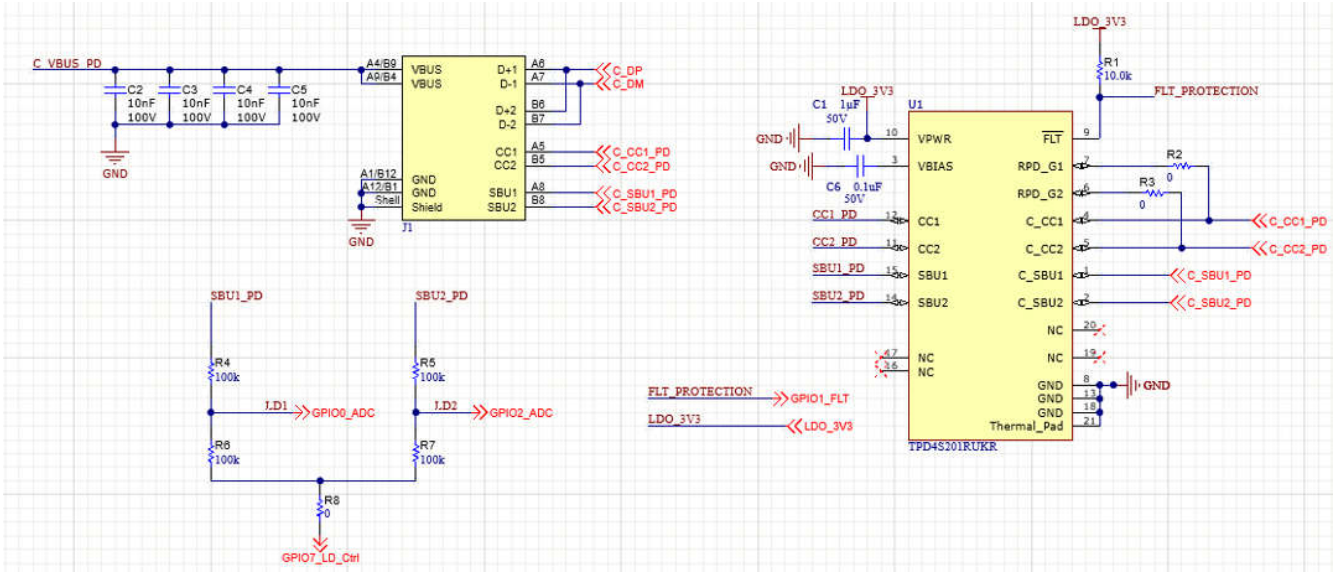


図 2-2. *TPS25751A と TPD4S201 を使用した液体検出の回路図例*

2.2 ファームウェアの実装と要件

USB-C PD アプリケーション カスタマイズ ツールを使用すると、サンプル数、タイミング、スレッショルド電圧範囲などの液体検出パラメータを設定できます。このツールのデフォルト設定がアプリケーション要件に合致しない場合があることに注意してください。ご使用の際は、個別のレジスタの説明を参照し、特定のシステムに合わせて構成が最適化されていることを確認する必要があります。

2.2.1 I2C1 の割り込みイベント / マスク / クリア (レジスタ 0x14/0x16/0x18)

割り込みイベント / マスク / クリアのレジスタは、PD と相互作用する外部マイコンを使用したシステムを想定しています。割り込みマスクは、USBCPD アプリケーション カスタマイズ ツールによって初期化、構成されます。

オプションの液体検出割り込みは、液体検出状態の移行と終了の遷移状態中にトリガされます。短絡が検出されると、GPIO ピンの ADC 測定値が「液体非検出」スレッショルドを超え、USB Type-C コネクタに液体が存在することを示します。割り込みイベントが発生すると、マイコンは割り込みイベント (0x14) レジスタを読み取ってトリガを識別します。必要な応答の後、割り込みクリア (0x18) レジスタの対応するビットに「1」を書き込むことで、イベントがクリアされます。信頼性の高い動作を確保するためには、USBCPD アプリケーション カスタマイズ ツールを使用して割り込みマスクを構成し、生成された構成ファイルに含める必要があります。アクティブな PD 動作中にマスク設定を変更することは推奨しません。変更すると、リアルタイムの割り込みイベントと干渉してしまうためです。

2.2.2 GPIO 構成 (レジスタ 0x5c)

USBCPD アプリケーション カスタマイズ ツールは、すべての GPIO を構成するために使用します。GPIO 構成 (0x05) レジスタを使用すると、TI PD コントローラの GPIO ピンを構成できます。適切な液体検出動作のためには 3 つの GPIO が必要です。オプションとして、液体検出イベントを通知するための GPIO もあります。GUI ツールは構成ファイル (バイナリまたは C 配列のいずれか) を生成し、その後 PD コントローラにロードします。動作中に GPIO を変更できないことに注意してください。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

図 2-2 に示すように、GPIO0 と GPIO2 は、USB Type-C コネクタの測定ピンへの抵抗を介して、保護された測定ピンに接続されています。これらの GPIO は、ADC 機能に多重化されており、監視ピンの電圧を測定します。

IO 構成 (0x05) レジスタ内で、GPIO0 と GPIO2 の両方に以下が必要です。

- GPIO ピン [1:0] フィールドの多重化を、「Pin Multiplexed to ADC (0x1)」(ADC (0x1) にピン多重化) に設定
- アナログ入力制御 [224/226] フィールドを「Pin to ADC (0x1)」(ADC (0x1) にピン) に設定
- 「OutputEnable [0/2]」(出力有効化 [0/2]) を無効にし、チェックを外す

GPIOx (図 2-1 を参照) は、GUI ツールを使用して構成します。TPS25751A のデフォルト構成では、GPIO7 は「GPIO Mapped Event [351:344]」(GPIO マップト イベント [351:344]) として LIQUID _CONTROL (155) に設定されています。[1]

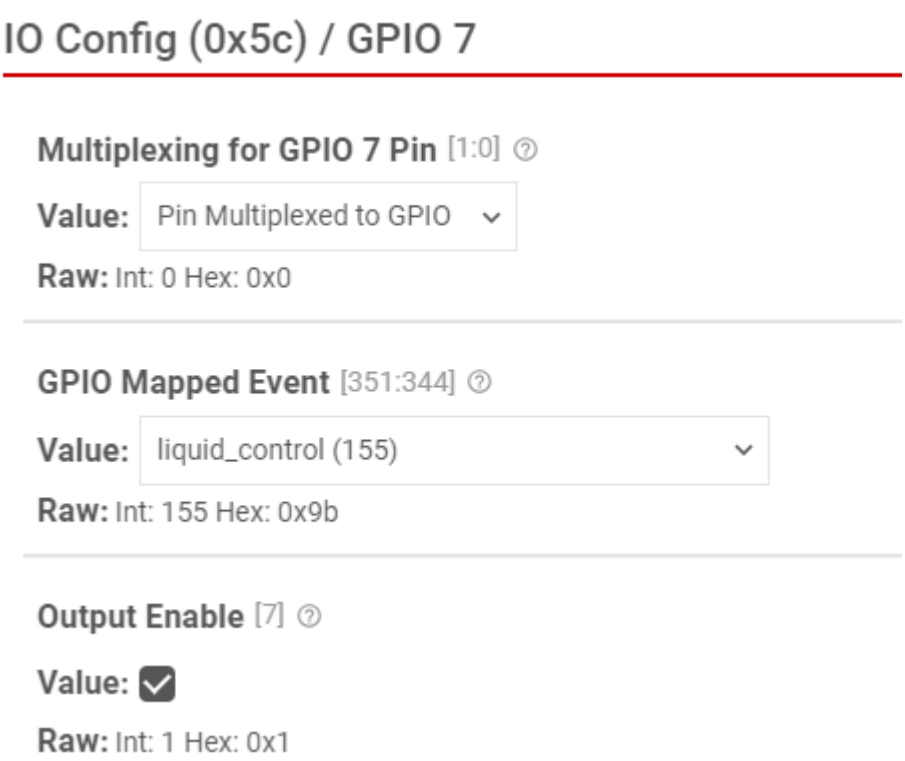


図 2-3. *liquid_control (155) に構成された GPIO7*

必要な GPIOy 入力イベント「FAULT_INPUT_EVENT_PORT1 (33)」(故障入力イベント ポート 1 (33)) は、使用可能な任意の GPIO ピンに割り当てることができます。この入力イベント信号は、保護デバイスから供給されます。保護デバイスの故障状態が発生すると、入力 GPIOy に信号が送信され、PD コントローラは UUSBPD ErrorRecovery に移行します。

オプションの GPIOz イベント「LIQUID_DETECTED (157)」(液体検出 (157)) は、使用可能な任意の GPIO ピンに割り当てることができます。GPIOz が構成されている場合、PD が液体検出状態に移行すると High に駆動され、PD が液体検出状態を終了すると Low になります。図 2-3 に、液体検出 GPIO イベントに対する TPS25751A のデフォルト GPIO6 を示します。これは、「GPIO Mapped Event[343:336]」(GPIO マップト イベント [343:336]) [1] を「LIQUID_DETECTED

[1] マップされたイベントのビット フィールド位置は、使用されている GPIO によって異なります。イベント番号は同じままです。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

(157)」(液体検出 (157)) イベントに設定し、「Output Enable [6]」(出力有効化 [6]) を有効にして、チェックすることで行われます。

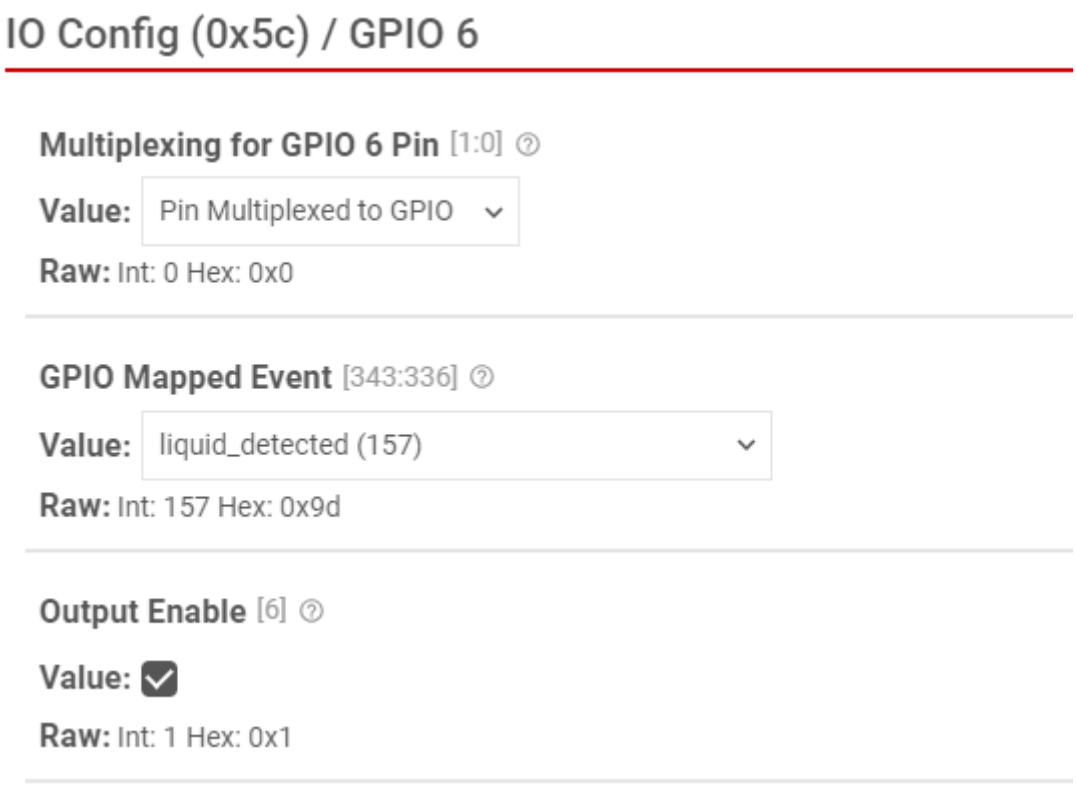


図 2-4. *liquid_detected (157) に構成された GPIO 6*

2.2.3 液体検出構成 (レジスタ 0x98)

液体検出構成レジスタには、次のような液体検出用の設定がすべて含まれています。

- サンプリング数
- サンプリング間のタイミング
- 液体検出状態の移行と終了に使用するヒステリシス範囲
- 液体検出と腐食軽減のためのビット有効化
- attached.SNK/attached.SRC 状態または unattached.SNK/unattached.SRC 状態で監視するためのビット有効化

液体検出機能のデフォルト設定機能を有効にするには、アプリケーション カスタマイズ ツール アンケートの質問 8 に対して「Yes」に設定する必要があります。デフォルト設定の変更を行うには、GUI ツール内で「Advance Mode」(アドバンス モード) に入る必要があります。TPS25751A、TPS25752A、TPS26750A に使用されるデフォルトの構成設定については、『USBCPD アプリケーション カスタマイズ ツール ユーザー ガイド』の表 4-9 を参照してください。

次のセクションで説明する構成設定については、『アプリケーション カスタマイズ ツール』を参照してください。

2.2.3.1 待機時間

サンプリング間隔は、液体検出状態と液体非検出状態の両方で連続した測定間隔を定義します。この遅延は、「待機時間」フィールドでカスタマイズでき、USB Type-C コネクタの遷移タイミングを制御します。待機時間が長くなると消費電力が少なくなりますが、短絡が発生したタイミングやサンプリングが行われるタイミングによっては、液体検出状態の移行や終了までにより長い時間がかかります。同様に、待機時間が短くなると、PD による液体検出は速くなりますが、消費電力が増加します。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

2.2.3.1.1 液体非検出待機時間 (秒) [7:0]

液体非検出状態での待機期間中、通常動作では VBUS ラインと CC ラインの両方がアクティブ状態を維持します。図 3-4 に示されているように、液体非検出状態でサンプリング イベント間の間隔を管理するために、約 4 秒の待機タイマがあります。

2.2.3.1.2 液体検出待機時間 (秒) [15:8]

液体検出状態における待機時間の間、VBUS と CC は無効になり (腐食軽減機能の有効化 81b が有効の場合)、PD は液体検出状態になります。図 3-5 には、液体検出状態でサンプリング イベント間の間隔を管理するために、約 6 秒の待機タイマが示されています。

2.2.3.2 サンプルのタイミングと再試行

サンプル時間フィールドを使用すると、ADC GPIO ピンで液体検出測定値を取得するために使用するトグル信号のタイミング間隔をカスタマイズできます。1 回のサンプリング サイクルは、ADC ラインの 2 つの方形波で構成されます。図 3-1 の 1 つのサンプル期間を参照してください。この完全なパルス シーケンスは、液体検出状態の正確な特性評価に必要です。サンプリング時間を長くすると、電圧読み取りが安定して測定結果の精度が高くなりますが、サンプリング間隔が完了するまでの時間が長くなります。同様に、サンプル時間が短いとその間隔を短くできますが、電圧が完全に安定していない場合は、測定精度が低下する可能性があります。サンプリングのタイミングは、サンプル数との兼ね合いを考慮する必要があります。

再試行フィールドは、液体非検出スレッショルドを超えた直後にアクティブになります。これにより、PD コントローラは測定ピンで ADC 結果を再サンプリングし、定義された期間に短絡が持続することを確認できます。短絡が真の液体検出ではなく一時的なイベントであった場合、液体検出状態に移行する前に再試行メカニズムが液体の存在を検証して誤検出を防止します。

2.2.3.2.1 液体非検出サンプリング時間 (10ms) [19:16]

PD コントローラには、GPIOx 遷移後のセトリング遅延が実装されています。この遅延によりパルスは安定し、ハードウェア実装の RC 時定数が補償されます。このセトリング期間は、デバイスが次の状態に遷移する前の誤検出を防止するため、「液体非検出」状態の間の High レベルと Low レベルの両方のパルスに必要です。図 3-2 は、液体非検出状態で約 50ms のサンプリングが観察されたことを示しています。

2.2.3.2.2 液体のサンプリング時間 (10ms) [23:20]

PD コントローラには、GPIOx 遷移後のセトリング遅延が実装されています。この遅延によりパルスは安定し、ハードウェア実装の RC 時定数が補償されます。このセトリング期間は、デバイスが次の状態に遷移する前の誤検出を防止するため、「液体検出」状態の間の High レベルと Low レベルの両方のパルスに必要です。図 3-3 は、液体非検出状態で約 40ms のサンプリングが観察されたことを示しています。

2.2.3.2.3 液体検出再試行待機時間 [27:24]

液体検出再試行待機時間は待機時間フィールドと同様に機能しますが、特に再試行サンプリング中に適用されます。これにより、標準サンプリング間隔よりも確認サイクルが速くなり、液体検出状態への遷移を加速できます。図 3-6 に、再試行メカニズム中の待機時間が異なるためにサンプル間の待機時間を短縮できる様子を示します。

2.2.3.2.4 液体検出再試行 [31:28]

液体検出再試行フィールドでは、液体検出状態に入る前に必要な確認サイクル数を指定します。再試行回数は、液体の存在を確認するのに必要な追加のサンプリング サイクルの数を制御します。図 3-6 に示すように、高スレッショルドを超えると、デバイスは状態変化をコミットする前に、設定された回数の再試行を実行します。これにより、ユーザーのハードウェア特性や環境条件に固有の構成可能なデバウンス メカニズムを実現できます。

2.2.3.2.5 サンプル数 [39:32]

High 測定と Low 測定の両方で取得するサンプル数。このフィールドの値は2^nサンプルの形で示されます。図 3-1 に示されているように、監視プロセスには 2 つのサンプリング サイクルが含まれ、検出フェーズ中に測定ライン上で 2 つの方形波が現れます。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

2.2.3.3 高スレッショルドと低スレッショルドの測定

PD が2^n個のサンプルを High と Low の両方について収集した後、それぞれの測定値の平均値を算出し、設定された高スレッショルドおよび低スレッショルドと比較します。PD コントローラでは、液体検出状態に移行または液体検出状態を終了するための高スレッショルドおよび低スレッショルドを設定できます。High 測定値の平均を高スレッショルド ADC 値と比較し、グランドへの短絡が発生しているかどうかを確認します。Low 測定値の平均を低スレッショルド ADC 値と比較し、正電圧への短絡が発生しているかどうかを確認します。レジスタ フィールドの高 / 低スレッショルド値は、3.3V ～ 0V の範囲です。

高 / 低スレッショルド電圧を正しく設定することが重要です。正しく設定されていない場合、PD コントローラは液体を誤検出し、液体検出状態のままになります。たとえば、高スレッショルド電圧が 3.0V に設定されていて、SBU ラインのアナログ電圧 (液体非検出状態の場合) が実際に 2.7V である場合、PD は誤検出します。高スレッショルドと低スレッショルドを設定する際は、ハードウェア (抵抗値、基板のインピーダンス、レイアウト) と、これらの測定値を構成可能スレッショルドに適切に合わせる方法を考慮してください。

図 2-5 では、液体なし用と液体あり用の高スレッショルドを異なる値に設定した図を示しています。液体による短絡が発生している間、電圧は定義されている「液体なし高スレッショルド」よりも低い値にプルダウンされます。「液体なし」スレッショルドを「液体あり」スレッショルドよりも高く設定すると、ピンが完全に乾いたときにのみデバイスが液体検出状態から遷移するようになります。

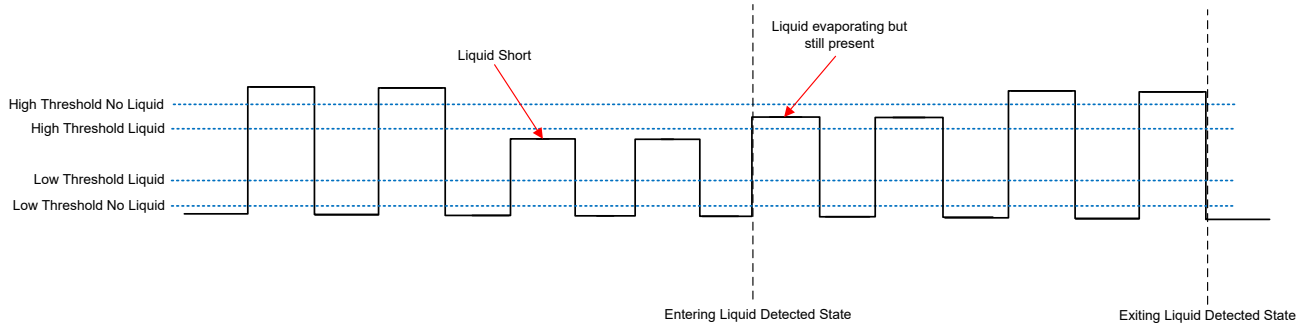


図 2-5. *液体検出における高スレッショルドの差異化*

2.2.3.3.1 低スレッショルド ADC 液体なし [47:40]

液体検出状態を終了するための低電圧スレッショルド。PD は、この値を使用して Low サンプルと比較し、正のバイアス電圧ピンに短絡があるかどうかを判定します。このフィールドは、低スレッショルド ADC 液体フィールド以下である必要があります。それ以外の場合、PD は液体検出状態を終了できません。

2.2.3.3.2 高スレッショルド ADC 液体なし [55:48]

液体検出状態を終了するための高電圧スレッショルド。PD はこの値を使用して High サンプルと比較し、グランド レベル ピン (0V) に短絡があるかどうかを判定します。このフィールドは、高スレッショルド ADC 液体フィールド以上である必要があります。それ以外の場合、PD は液体検出状態を終了できません。

2.2.3.3.3 低スレッショルド ADC 液体 [63:56]

液体検出状態に移行するための低電圧スレッショルド。PD は、この値を使用して Low サンプルと比較し、正のバイアス電圧ピンに短絡があるかどうかを判定します。このフィールドは、低スレッショルド ADC 液体なしフィールド以上である必要があります。それ以外の場合、PD は液体検出状態に移行できません。

2.2.3.3.4 高スレッショルド ADC 液体 [71:64]

液体検出状態に移行するための高電圧スレッショルド。PD はこの値を使用して High サンプルと比較し、グランド レベル ピン (0V) に短絡があるかどうかを判定します。このフィールドは、高スレッショルド ADC 液体なしフィールド以下である必要があります。それ以外の場合、PD は液体検出状態に移行できません。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

2.2.3.4 液体検出を有効にする [72]

メイン制御ビットで、PD コントローラと相互作用する監視ピンでの液体検出を有効にします。液体検出を有効にするには、適切な外部液体検出回路と構成を実装する必要があります。外部マイコンは、PD の動作中にこの機能を即座に有効または無効にできます。このフィールドへの変更は、次に適切なポリシーが起動されたときにのみ有効になります。

2.2.3.5 腐食軽減を有効にする [73]

有効にすると、PD は腐食軽減を自動的に処理します。液体が検出された時点で、PD は VBUS を取り除いて CC ピンを解放することでポートを接続解除し無効化します。このビットが無効化されている場合、USB Type-C コネクタで液体が検出されても、PD は通常動作を継続します。外部マイコンは、PD の動作中にこの機能を即座に有効または無効にできます。このフィールドへの変更は、次に適切なポリシーが起動されたときにのみ有効になります。図 3-8 に、腐食軽減が無効になっている場合の動作を示し、図 3-6 に腐食軽減が有効になっている場合の動作を示します。液体が検出されると、VBUS 電力と CC 信号は引き続き維持されます。

2.2.3.6 接続中監視 [74]

液体検出メカニズムは、接続されている状態でのサンプリングをサポートしている必要があります。USB PD 仕様によると、Attached.SRC (または Attached.Sink) 状態は、接続が確立された後の期間です。この期間中にサンプリングを開始すると、PD コントローラは監視ピンの整合性を確認し、次の接続イベントが発生する前に短絡が発生しないことを確認できます。

2.2.3.7 接続解除中監視 [75]

液体検出メカニズムは、接続されていない状態でのサンプリングをサポートしている必要があります。USB PD 仕様によると、Unattached.SRC (または Unattached.SNK) 状態は、接続が切断されてから新しい接続が確立されるまでの期間です。この期間中にサンプリングを開始すると、PD コントローラは監視ピンの整合性を確認し、次の接続イベントが発生する前に短絡が発生しないことを確認できます。

2.2.3.8 監視用液体ピン [77:76]

USB Type-C コネクタで測定ピンとして、SBU、CC、または Dp/Dm を使用します。TPS25751A、TPS25752A、TPS26750A は代替モード (DisplayPort、Thunderbolt など) に対応していないため、SBU ピンを測定ピンに使用するのが一般的です。SBU ピンと CC ピンは USB Type-C コネクタの中心に近接しており、サンプリング領域として VBUS、CC、グランドの短絡を検出します。SBU ピンの実装は、接続または未接続状態での液体検出をサポートします。

2.2.3.9 プルダウン スレッショルド ADC [87:88]

未接続状態から接続状態に遷移する間、PD コントローラは最終的なサンプリング サイクルを実行して、液体の存在を確認します。E マークが付いたケーブルを使用する場合は、CC ライン上に内部 Ra 抵抗があります。この場合は、液体検出アルゴリズムが測定ウィンドウ中のこの Ra 抵抗を考慮する必要があります。誤検出を避けるため、本コントローラは CC1 と CC2 の両方で測定したインピーダンスを、低スレッショルド、高スレッショルド、およびプルダウン スレッショルドと比較します。Ra スレッショルドが満たされている場合、PD コントローラは CC ラインからの Ra 測定値を無視し、他方の CC ラインの測定値を確認して、低スレッショルドおよび高スレッショルドと比較します。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

3 詳細なアプリケーション手順

アプリケーション ノートのこのセクションでは、TPS25751AEVM を使用した液体検出の一般的なテスト ケースを取り上げます。

3.1 液体検出構成例

表 3-1 はデモを目的としており、デフォルトのデバイス設定とは多少異なります。セクション 3.2 に示す波形の例は、波形の前の説明に記載がない限り、以下で説明する構成に準拠します。

表 3-1. 液体検出構成例

登録	フィールド名	値の例
IO 構成 (0x5c)	GPIO AI イネーブル GPIO 0 [224]	ピンから ADC (0x1)
	GPIO AI イネーブル GPIO 2 [226]	ピンから ADC (0x1)
	GPIO 6 マップト イベント [343:336]	liquid_detected (157)
	GPIO 7 マップト イベント [351:344]	liquid_control (155)
液体検出構成 (0x98)	液体非検出待機時間 (秒)	4000ms
	液体検出待機時間 (秒)	6000ms
	液体非検出サンプリング時間 (10ms)	50ms
	液体検出サンプリング時間 (10ms)	40ms
	液体検出再試行待機時間	500ms
	液体検出再試行	3
	サンプリング数	2
	低スレッショルド ADC 液体 (なし)	504mV
	高スレッショルド ADC 液体 (なし)	2002mV
	液体検出を有効にする	有効
	腐食軽減を有効にする	有効
	接続 / 切断中監視	有効
	監視用液体ピン	SBU
	シングル ピン監視	無効
	プルダウン スレッショルド ADC	0mV

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

3.2 アプリケーション特性の波形

次のセクションでは、Saleae ロジック アナライザの波形キャプチャについて説明します。これらのパターンは、「液体検出構成の例」に基づいて、予測される信号遷移およびタイミング動作とパワー パスの遷移を示すことを目的としています。以下の波形の液体をシミュレートするため、GND への抵抗性短絡を使用します。

3.2.1 サンプル数の波形

サンプル数の例は、表 3-1 で定義されています。サンプル数 [39:32] の説明については、セクション 2.2.3.2.5 を参照してください。

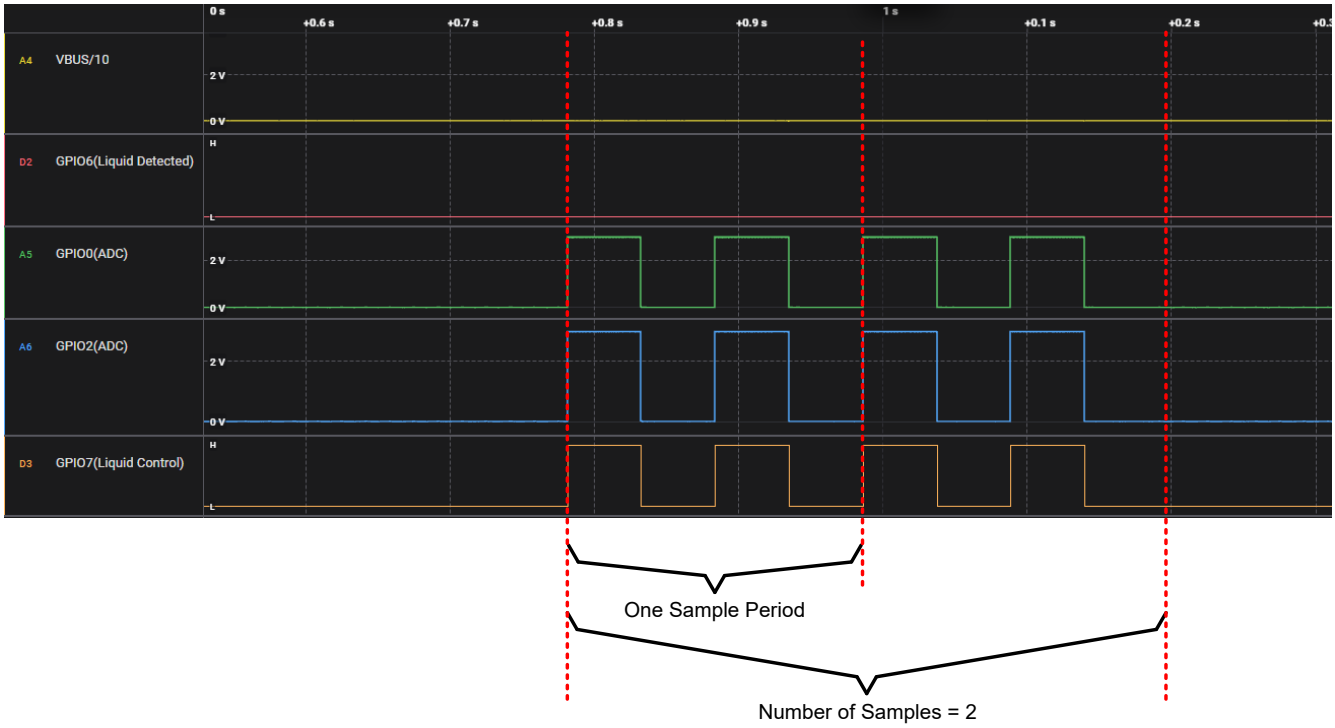


図 3-1. サンプル数の波形

3.2.2 液体非検出状態でのサンプル時間波形

液体非検出状態でのサンプル時間の構成例を 表 3-1 で定義しています。液体非検出サンプリング時間 (10ms) [19:16] の説明については、セクション 2.2.3.2.1 を参照してください。

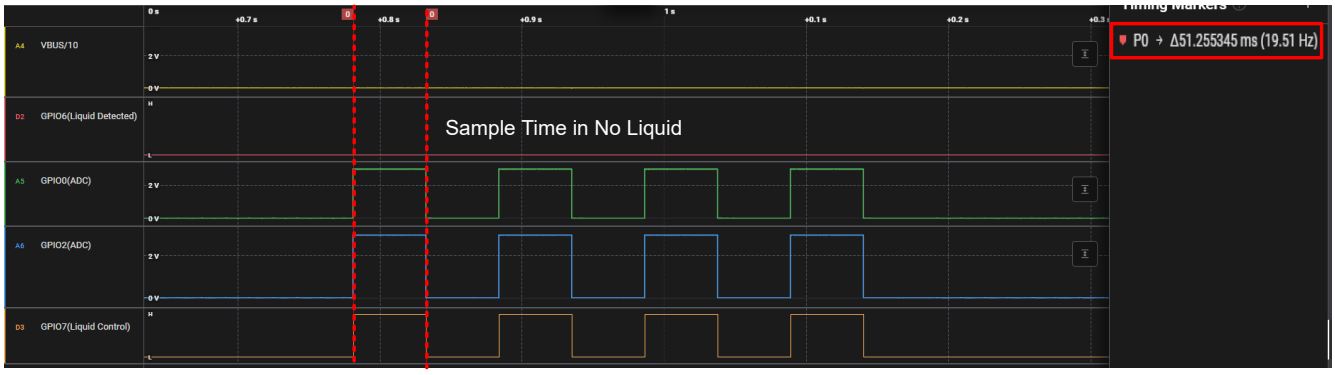


図 3-2. 液体非検出状態でのサンプル時間波形

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

3.2.3 液体検出状態でのサンプル時間波形

液体検出状態でのサンプル時間の構成例を 表 3-1 で定義しています。液体検出状態でのサンプル時間 (10ms 単位) [23:20] の説明については、セクション 2.2.3.2.2 を参照してください。

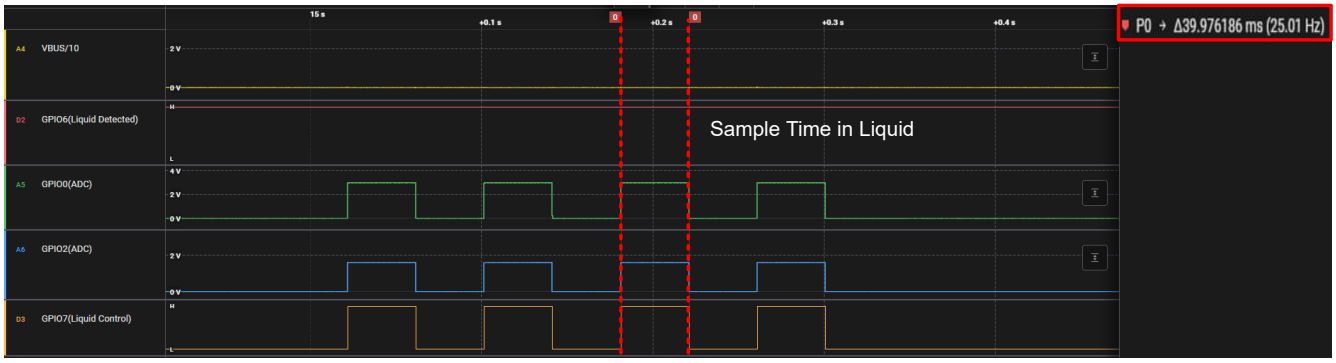


図 3-3. 液体検出状態でのサンプル時間波形

3.2.4 液体非検出状態での待機時間波形

液体非検出状態での待機時間の構成例を 表 3-1 に示します。液体非検出状態の待機時間 [7:0] (秒単位) の説明については、セクション 2.2.3.1.1 を参照してください。

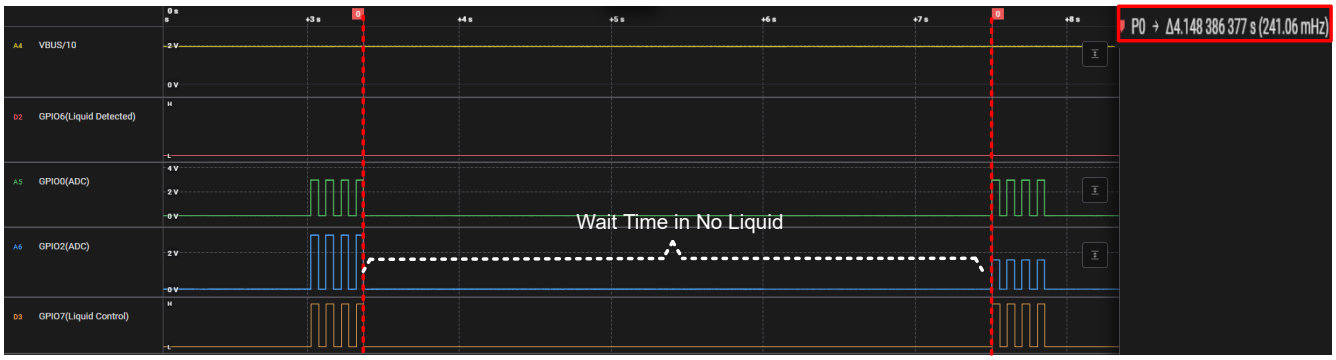


図 3-4. 液体非検出状態での待機時間波形

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

3.2.5 液体検出状態での待機時間波形

液体検出状態での待機時間の構成例を 表 3-1 に示します。液体検出待機時間 (秒) [15:8] の説明については、セクション 2.2.3.1.2 を参照してください。

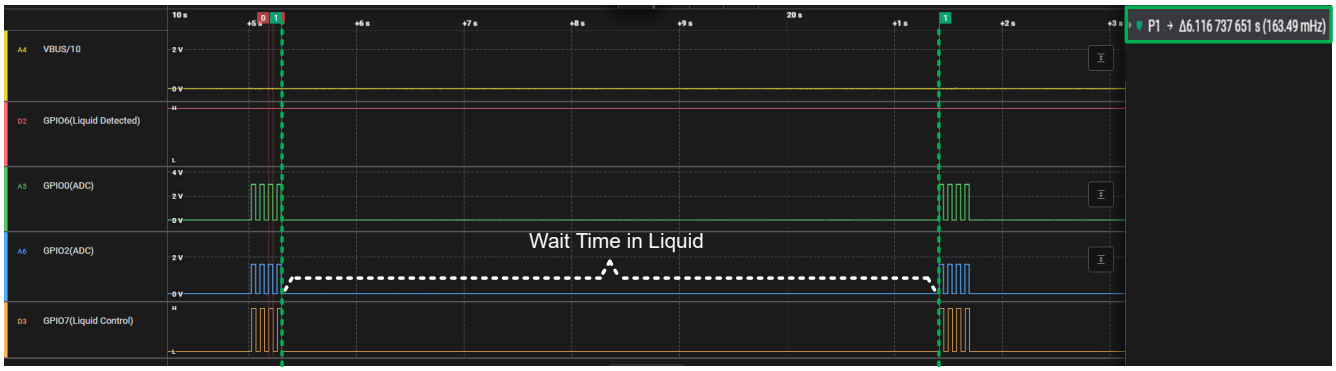


図 3-5. 液体検出状態での待機時間波形

3.2.6 液体検出状態移行の波形

液体検出状態移行の波形は、セクション 3.1 で定義されている多数の液体検出設定フィールドの挙動を明確に示しています。GND への短絡が発生すると、GPIO0 の高電圧の読み取り値が約 1.8V にプルされます。液体なしの高スレッショルドを超えたため、再試行サンプリング動作が開始されます。再試行サンプルにより、GND への短絡が引き続き維持されていることが確認されました。再試行サンプリングは、各サンプル間で 500ms の待機時間で 3 回行われます。短絡がまだ存在していることを確認すると、PD コントローラは液体検出状態に移行します。再試行フィールドの詳細は セクション 2.2.3.2.4 を再試行待機タイマー フィールドの詳細は セクション 2.2.3.2.3 を参照してください。腐食軽減が有効になっているため (構成における腐食軽減フィールドの詳細については セクション 2.2.3.5 を参照)、液体検出状態に移行すると VBUS div 10 は無効になります。

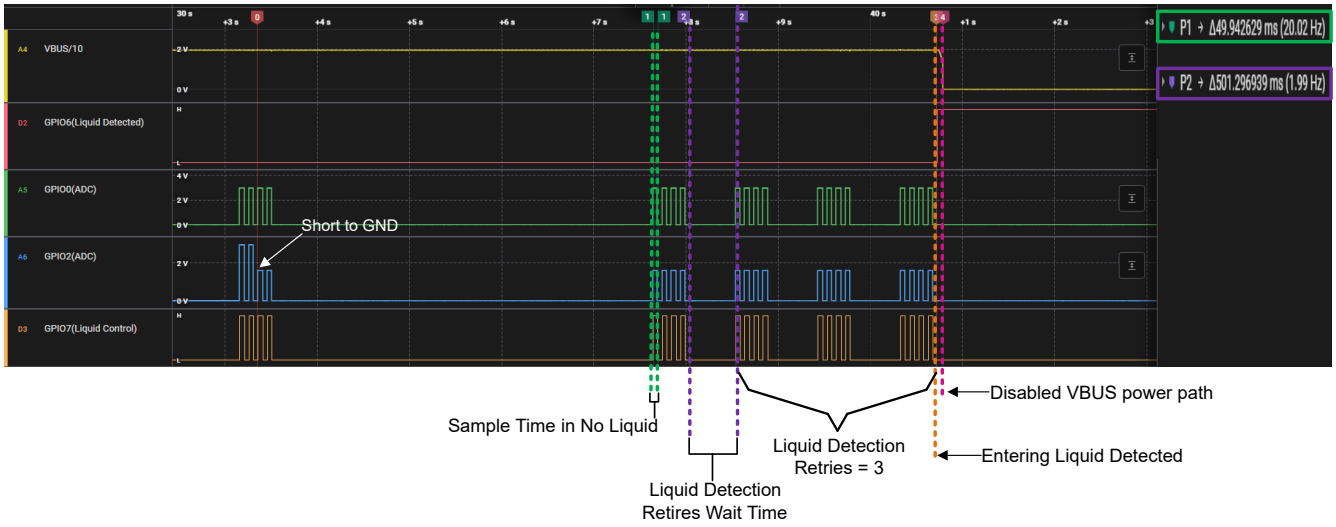


図 3-6. 液体検出状態移行の波形

3.2.7 液体検出状態終了の波形

液体検出状態終了の波形では、PD コントローラ上で GND への短絡が発生しています。液体検出の待機時間の間に、短絡が解消されます。次のサンプリング期間が始まると、PD コントローラは、ADC の測定値が液体検出の高スレッショルド設定を上回っていることを認識します。PD コントローラは液体検出状態を終了し、液体検出 GPIO を Low にアサートします。腐食軽減がデアサートされ、VBUS パワー パスが利用可能になります。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

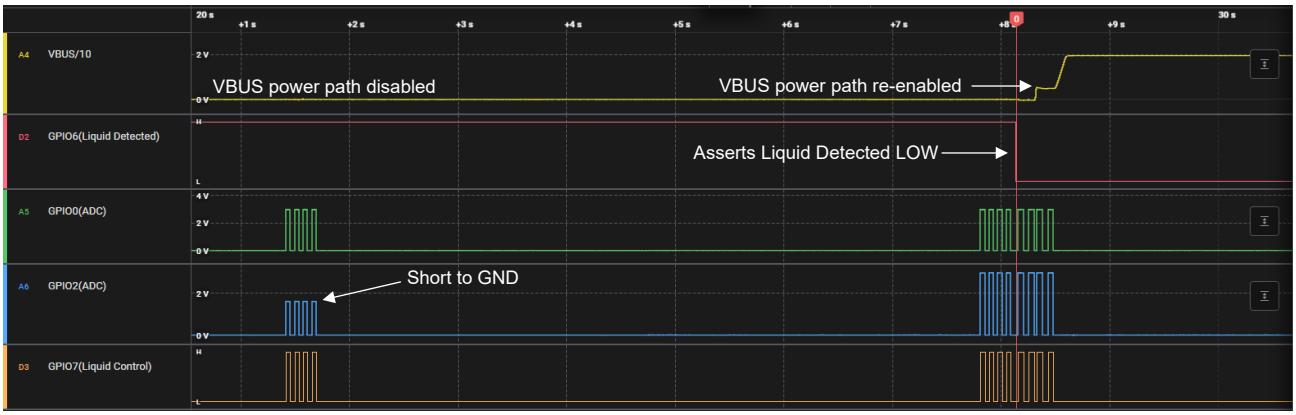


図 3-7. 液体検出状態終了の波形

3.2.8 腐食軽減無効の波形

この例は 表 3-1 で説明されている構成とは異なります。腐食軽減無効の波形では、腐食軽減が 0 に設定されています。これは、液体検出状態に入ると、VBUS パワー パスがイネーブルのまま維持されることを意味します。この挙動は、以下の波形の例に反映されており、液体が検出された際にも VBUS パワー パスは維持されます。

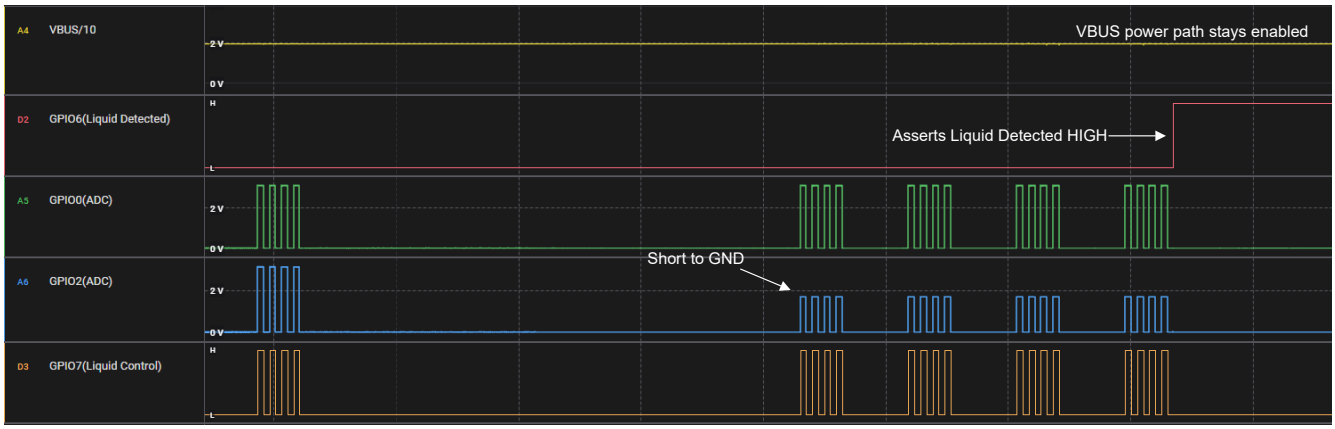


図 3-8. 腐食軽減無効の波形

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

4 まとめ

5 参考資料

1. USB Type-C、『USB Type-C | USB-IF』、Web ページ。
2. USB Power Delivery、『USB Power Delivery | USB-IF』、Web ページ。
3. USB、『USBCPD_Application_Customization_Tool ギャラリー』、Web ページ。
4. テキサス・インスツルメンツ、『USBCPD アプリケーション カスタマイズ ツール ユーザーガイド』、ユーザーガイド。
5. テキサス インスツルメンツ、TPS25751A、製品ページ。
6. テキサス インスツルメンツ、TPS25752A、製品ページ。
7. テキサス インスツルメンツ、TPS26750A、製品ページ。

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

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ます。

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