

Application Note

BQ2579X 入力マルチプレクサ FET の突入電流制御

Jeff Falin, Kristina Gundal

概要

このアプリケーション ノートでは、FET のターンオン速度と突入電流の関係を検証し、起動時の電流スパイクの予測と低減に使用できる設計式と測定結果を提示します。

目次

1 はじめに.....	2
2 詳細説明.....	3
2.1 突入電流.....	3
2.2 コンデンサによる FET ソフト スタートの追加.....	3
2.3 5V USB-C 入力電源のテスト結果.....	4
3 まとめ.....	6
4 参考資料.....	7

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 はじめに

突入電流とは、電源を入れた直後に、電流が通常の動作電流に落ち着くまでの間に流れるピーク電流のことです。デバイスの集積回路 (IC) は、IC のピンにおける静電容量の量が異なります。次の式で示すように、高速立ち上がり電圧が最初に印加されたとき、放電されたコンデンサは本質的に短絡です。

$$i_c = C \times dv/dt \quad (1)$$

ここで、 i_c はコンデンサを流れる電流です

C はキャパシタンスです

dv は、コンデンサの両端間の電圧を変化させます

dt は電圧変化の時間です

コンデンサの電圧スルーレート (dv/dt) が高い場合、コンデンサが完全に充電されるまで、一般に突入電流と呼ばれる大電流がコンデンサに流れ込みます。電流スパイクにより、この電圧や、電流が流れる他の部品または PCB の配線に大きなストレスが生じます。部品のサージ定格が低い場合、このストレスは熱損傷や電氣的シャットダウンを引き起こす可能性があります。たとえば、USB-C ソースが 500mA 出力電流のみをネゴシエーションしたにもかかわらず、突入電流が 1.5A に達した場合、USB-C ソースは過電流を検出し、より低い電力状態へと移行します。設計者は多くの場合、電流スパイクを低減するために、大きな容量を持つノードをゆっくりと充電するソフトスタート回路の追加することを考慮します。

MOSFET の次段にコンデンサがある場合、この電流スパイクを低減する一般的な方法は、FET のターンオン時間またはスルーレートを遅くし、ダウンストリーム コンデンサの充電電流を制限することです。

2 詳細説明

2.1 突入電流

2 つの異なる入力ソース間での切り替えを可能にするため、BQ2579x チャージャ ファミリは、共通ソース NFET を駆動するための 2 つの FET 出力ドライバ (ACDRVx ピン) を備えています。

図 2-1 に、 $C_{VBUS} + C_{PMID} = 40\mu\text{F}$ の BQ25798EVM を使用した、ソフト スタートでないパワーアップ波形を示します。

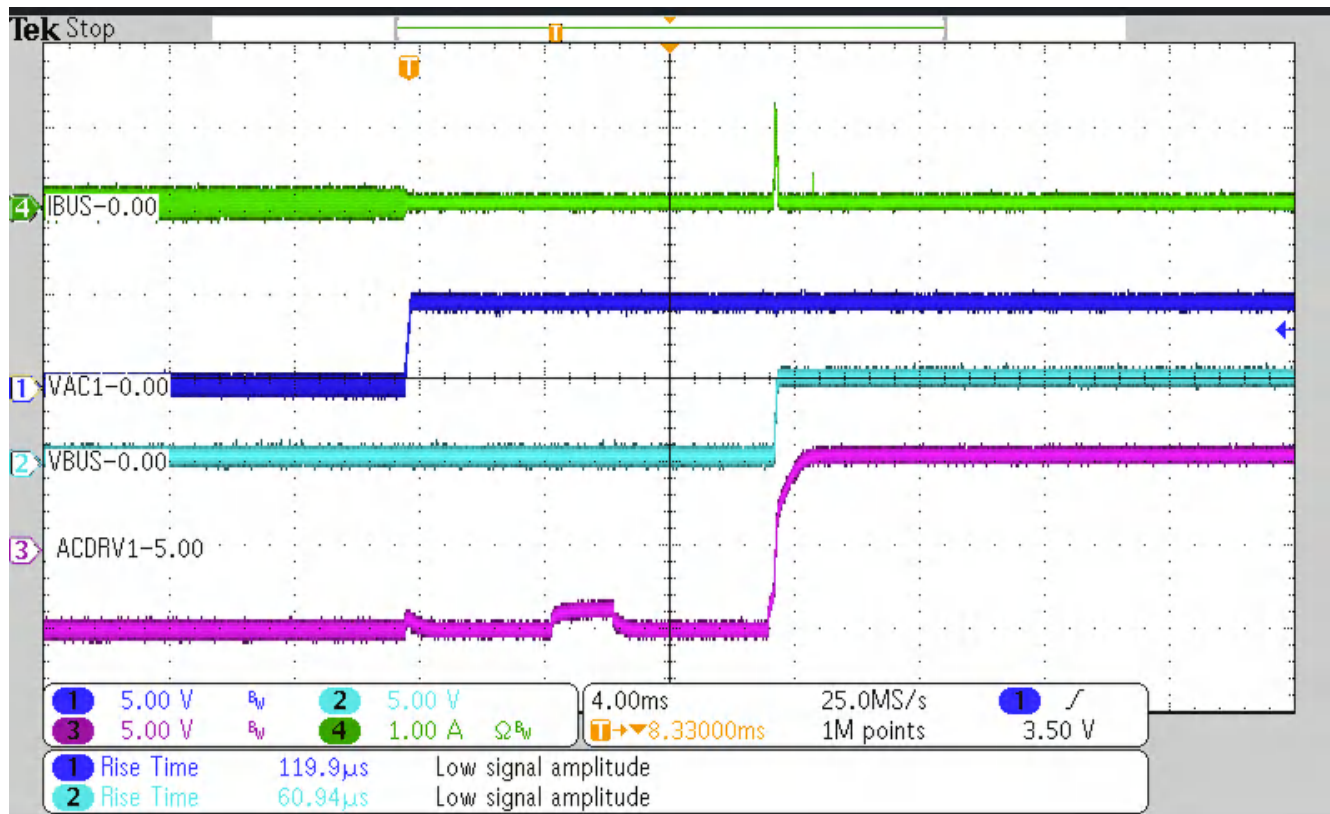


図 2-1. ACFET がオンになったときの突入電流スパイク

VAC1 センス入力 (CH1 - 濃い青色) に電圧を最初に印加すると、内部入力 FET 検出アルゴリズムは約 15ms にわたって実行され、FET ペアが接続されているかどうかを判定します。この 15ms の遅延が経過すると、充電器の ACDRVx ピン (5V オフセットの CH3 - ピンク) が入力 FET をオンにして、VBUS (CH2 - 水色) で容量を充電します。また、内部 FET のボディダイオードを介して PMID ピンを充電します。入力電源が VBUS および PMID コンデンサを充電する際に、最初の大きな突入電流パルス (CH4 - 緑色) が発生します。2 番目のより小さい電流パルスは、VBUS と PMID の間の内部 NFET がオンになり、ダイオードの電圧降下よりも低い値から PMID の電圧を VBUS まで上昇させることによって発生します。

2.2 コンデンサによる FET ソフト スタートの追加

ACDRVx から FET ゲートへの直列抵抗を増加させたり、ゲートとソース間にコンデンサを追加したりして ACDRVx 駆動電圧の変化を緩やかにすることは、FET のターンオンを遅くする 1 つの方法 (FET のソフト スタート) です。ただし、BQ2579x ファミリの 15ms FET 検出アルゴリズムは、抵抗とコンデンサのサイズを慎重に設定しないと、誤トリップが発生する可能性があります。FET 突入制御を実装するもう 1 つの方法は、FET のゲートとドレインの間に容量 C_{DG-ADD} を追加することです。図 2-2 に、BQ25798 入力マルチプレクサ FET ペアの 1 つと、追加のゲートドレイン間容量 C_{DG-ADD} の回路図を示します。

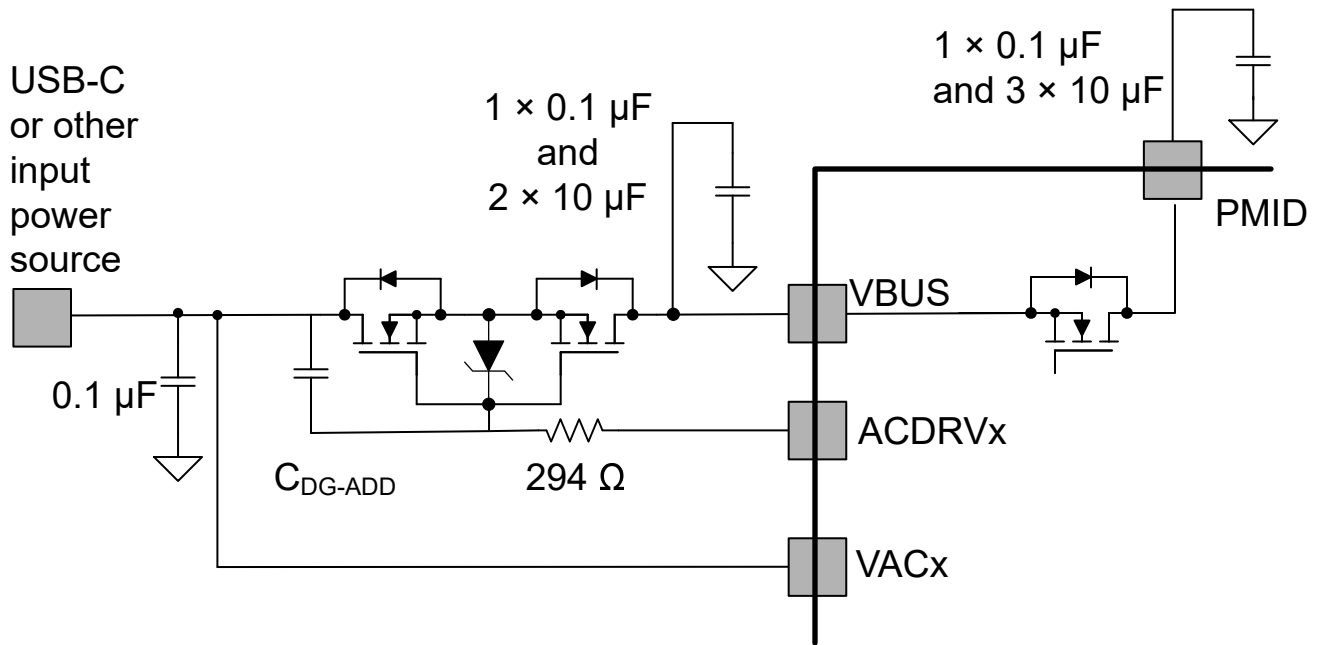


図 2-2. BQ2579X マルチプレクサ入力の回路図

C_{DG-ADD} が FET 固有の C_{DG} より 1 桁以上大きい場合、固有の C_{DG} (通常は 1000pF の範囲) は無視でき、FET のターンオン時間は C_{DG-ADD} 充電時間に比例します。ACDRVx ピンの出力は、実質的に電流源であり、その標準的な出力電流は $I_{ACDRV} = 45\mu A$ です。したがって、上記の式 1 を使用して、 C_{DG-ADD} 充電時間と VBUS のターンオン時間を予測できます。

追加の C_{DG-ADD} サイズを設定する必要があります

1. 目的の突入電流の仕様を満たすのに十分な大きさで、 $I_{IN-RUSH} = (C_{VBUS} + C_{PMID}) * dV_{BUS}/dt$ です。ACDRVx 電流源が C_{DG-ADD} を充電するため、FET のターンオン時間、ひいては VBUS の立ち上がり時間は式 $I_{ACDRV} = C_{DG-ADD(MIN)} * V_{BUS}/dt$ によって推定できます。
2. 最初の電源投入時の電流パルスを防止するのに十分な小さい値。すなわち、 $C_{DG-MAX} = I_{CDG-VACi} / (dV_{ACi}/dt)$ 。ここで、 dV_{ACi}/dt は VACx の電圧立ち上がり時間 (図 2 の CH1 の初期上昇)。
3. FET が完全にオンになるのに十分な小ささ (つまり、ACDRVx = VBUS + 5V の状態で $R_{DS(ON)}$ が最小)
 - a. チャージャのコンバータが起動する前、VBUS が UVLO (標準値 3.6V) を上回ってから 200ms 後
 - b. そのため、FET の温度が安全動作領域 (SOA) を超えるほど発熱しないようにします。

完全にオンの壁面アダプタがホットプラグされると、VACx は非常に高いスルーレート (dV_{ACi}/dt) の電圧を検出し、 C_{DG-ADD} により初期電流パルスが発生することに注意してください。この場合、 C_{DG-MAX} は計算値が小さすぎて、マルチプレクサ FET の突入電流が最小化されません。小さな直列抵抗 (10W) を追加すると、 $I_{CDG-VACi}$ を減少させます。追加の直列抵抗によって $I_{CDG-VACi}$ が十分減少しない場合、マルチプレクサ入力 FET をソフトスタートする唯一の選択肢は、ACDRVx と NFET ゲートの間に追加の C_{DG} 容量と、より大きな直列抵抗を使用することです。

幸い、最新のバッテリー駆動の最終製品の多くは電力供給に USB-C ポートを使用しています。USB-C ポートは出力電圧のスルーレートを 30mV/us にレギュレートします。一般に、 C_{DG-ADD} は、USB-C ポートや他の立ち上がりが遅い電源で電力供給される最終製品向けに動作します。

2.3 5V USB-C 入力電源のテスト結果

要件 1 を使用して、 $C_{DG-ADD(MIN)}$ を求めます。

- $I_{IN-RUSH}$ が 100mA 未満の場合、最大 dV_{BUS}/dt は $100mA/40\mu F = 2500V/s$ 未満にする必要があります。
- 5V 電源の場合、VBUS の立ち上がり時間は $dt = 5V / (2500V/s) = 2ms$ よりも遅い必要があるため、 $C_{DG-ADD(MIN)} = 45\mu A / (5V/2ms) = 0.018\mu F$ となります。

要件 2 を使用して、 $C_{DG-ADD(MAX)}$ を求めます。

- スルーレート $30\text{mV}/\mu\text{s}$ の USB-C 5V ソースは、 $d_{VACi}/dt = 167\mu\text{s}$ です。目的の $I_{CDG-VACi} = 1\text{mA}$ の場合は、 $C_{DG-ADD(MAX)} = 1\text{mA} / (5\text{V}/167\mu\text{s}) = 0.033\mu\text{F}$ 。

この例では、要件 3 は関係ありません。

図 3 に、図 1 と同じ BQ25798EVM に電源を供給している様子を示していますが、 $C_{DG-ADD} = 0.03\mu\text{F}$ となっています。

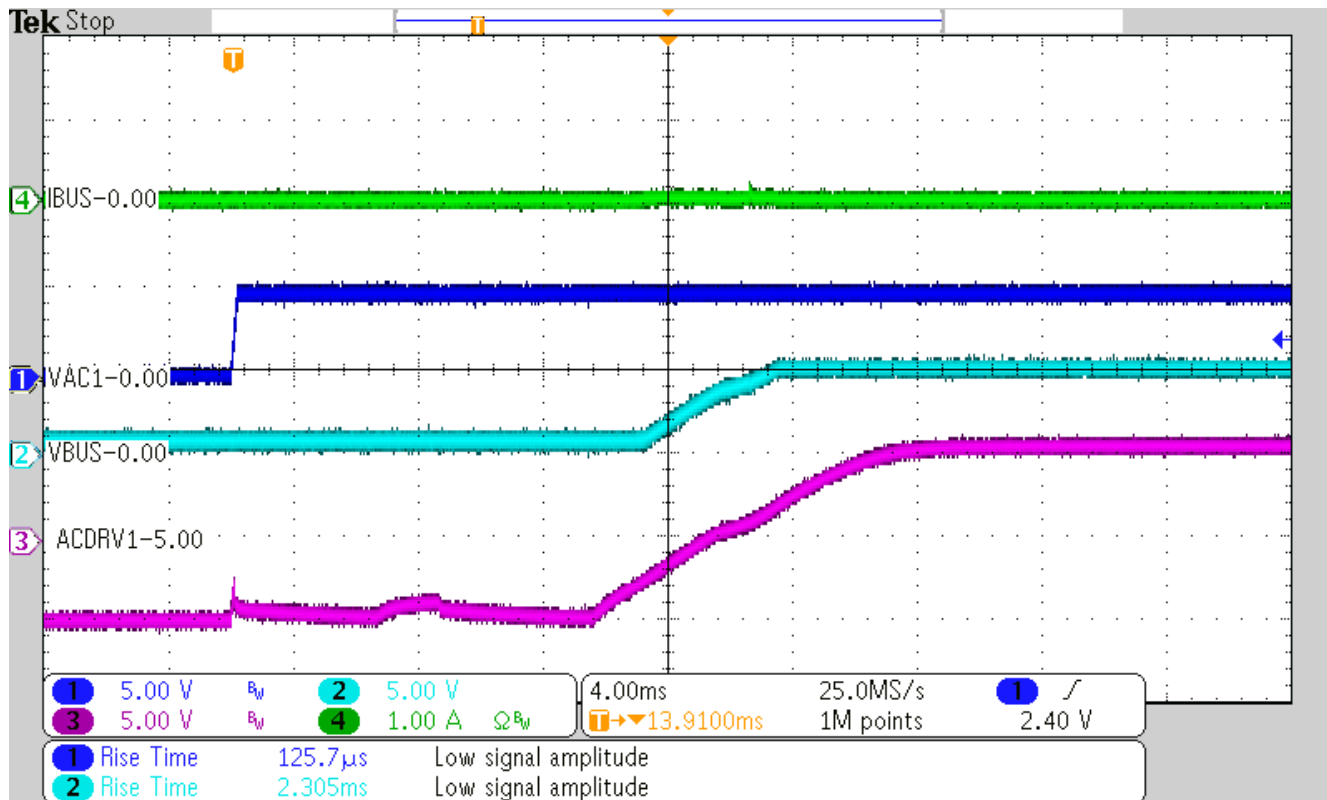


図 2-3. $C_{DG-ADD} = 0.03\mu\text{F}$ での BQ25798EVM の電源投入

VAC1 入力電圧立ち上がり時間は、 $5\text{V} / (30\text{mV}/\mu\text{s}) = 167\mu\text{s}$ の USB-C ポートのシミュレーション結果です。図 3 では、図 1 と比較して、ACDRV1 と VBUS の立ち上がりが緩やかであり、電流スパイクも発生していないことに注目してください。

表 2-1 は、さまざまな入力電圧および C_{DG-ADD} 値について理論的な計算を実験測定値と比較したものです。

表 2-1. 異なる C_{DG-ADD} 値における VBUS 立ち上がり時間の測定値と計算値との関係

VBUS (V)	C_{DG-ADD} (nF)	測定された VBUS 立ち上がり時間 (ms)	$dt = C_{DG-ADD} * VBUS / I_{ACDRV}$ (ms) から計算される VBUS 立ち上がり時間
9	47	8	9.4
9	7.5	1.2	1.5
9	30	4.2	6
5	47	6.2	5.2
5	7.5	1	0.8
5	30	4	3.3

測定された立ち上がり時間と計算された立ち上がり時間との相関から、 C_{DG-ADD} 充電時間と VBUS 立ち上がり時間の関係が有効であることが確認されています。ACDRVx の駆動電圧を遅くすると、VBUS ピンの電圧スルーレート dv/dt が低下し、FET ターンオン時のピーク突入電流が減少します。

3 まとめ

追加の C_{DG} を適切に選択することで、BQ2579x 入力マルチプレクサ FET を流れる突入電流を制御しながら、信頼性の高いデバイス動作を維持できます。

4 参考資料

1. [BQ25798](#)、『デュアル入力セクタ、ソーラー パネル用 MPPT 機能、高速バックアップ モード付き、I2C 制御、1 ～ 4 セル、5A 昇降圧バッテリー チャージャ』データシート (Rev.C)
2. [BQ25790](#)、『デュアル入力セクタ、ソーラー パネル用 MPPT 機能、高速バックアップ モード付き、I2C 制御、1 ～ 4 セル、5A 昇降圧バッテリー チャージャ』データシート (Rev.C)
3. [BQ25672](#)、『デュアル入力セクタ、ソーラー パネル用 MPPT 機能、高速バックアップ モード付き、I2C 制御、1 ～ 4 セル、5A 昇降圧バッテリー チャージャ』データシート (Rev.C)

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みいかなる保証も、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、TI は一切の責任を拒否します。

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](https://www.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