

Application Note

BQ25856-Q1 によるコンデンサ バックアップ回路



Ethan Galloway

概要

コンデンサ バックアップまたは **Last Gasp** 回路は、メイン電源の停電が発生した場合にバックアップ電源の短絡を昇圧します。コンデンサ バックアップは、幅広いアプリケーションで一般的な要件です。これは、マイコンの安全なシャットダウン、揮発性メモリの格納、安全ドアの開錠、主電源の一時停止の発生時に電力をわずかに昇圧するなど、重要な要件です。BQ25856-Q1 は、スーパーコンデンサと通常のコンデンサの両方を充電できるため、このアプリケーションにおいて機能します。

目次

1 はじめに.....	2
2 ACUV と ACOV の設定.....	3
3 計算式.....	4
4 アプリケーション図.....	5
5 アプリケーション例 - 電解コンデンサ バックアップ.....	6
6 アプリケーション例 - スーパー キャパシタ バックアップ.....	10
7 まとめ.....	13
8 参考資料.....	13

図の一覧

図 1-1. BQ25856-Q1 コンデンサ バックアップのブロック図.....	2
図 2-1. ACOV と ACUV の抵抗デバイダ.....	3
図 4-1. アプリケーション ブロック図.....	5
図 5-1. BQ25856-Q1 完全な充電と放電サイクル.....	7
図 5-2. BQ25856-Q1 電解コンデンサの充電速度.....	7
図 5-3. BQ25856-Q1 1.4A 負荷でバックアップ電力を供給.....	8
図 5-4. BQ25856-Q1 自動リバース モード応答時間.....	9
図 6-1. BQ25856-Q1 スーパーキャパシタを充電.....	11
図 6-2. BQ25856-Q1 4A の負荷でバックアップ電力を供給.....	12
図 6-3. BQ25856-Q1 スーパーキャパシタによる自動リバース タイム.....	13

表の一覧

表 5-1. 設計要件.....	6
表 5-2. ハードウェア設定.....	6
表 5-3. レジスタ設定.....	6
表 6-1. 設計要件.....	10
表 6-2. ハードウェア.....	10
表 6-3. レジスタ設定.....	10

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

BQ25856-Q1 は、自動リバースモードが有効な場合にメイン電源に障害が発生した場合に自動リバースモード動作を行います。入力電圧 (VAC) が設定済みの低電圧スレッシュホールドを下回ると、BQ25856-Q1 は自動リバース動作に移行し、設定済みの電圧目標に VAC 電圧を制御できます。BQ25856-Q1 は、逆電流ブロック保護、調整可能な充電電圧、充電電流も備えています。BQ25856-Q1 は、4.4V ~ 70V の広い入力範囲、最大 70V の広い出力電圧、最大充電電流 20A を備えています。

バックアップコンデンサには 2 つの経路があります。最初の経路は電解コンデンサを使用します。電解コンデンサは高電圧まで充電することができ、小さい基板サイズに安価な電力を蓄積することができます。二番目の経路はスーパーキャパシタを使用することです。スーパーキャパシタは大きい静電容量を使用しますが、1 個のセルスーパーキャパシタを使用する場合は、約 2.1V ~ 3.5V の電圧で動作します。2 個のスーパーキャパシタを直列で使用し、より高い電圧を供給する必要が生じることがあります。

図 1-1 に、BQ25856-Q1 回路の簡略化されたブロック図を示します。

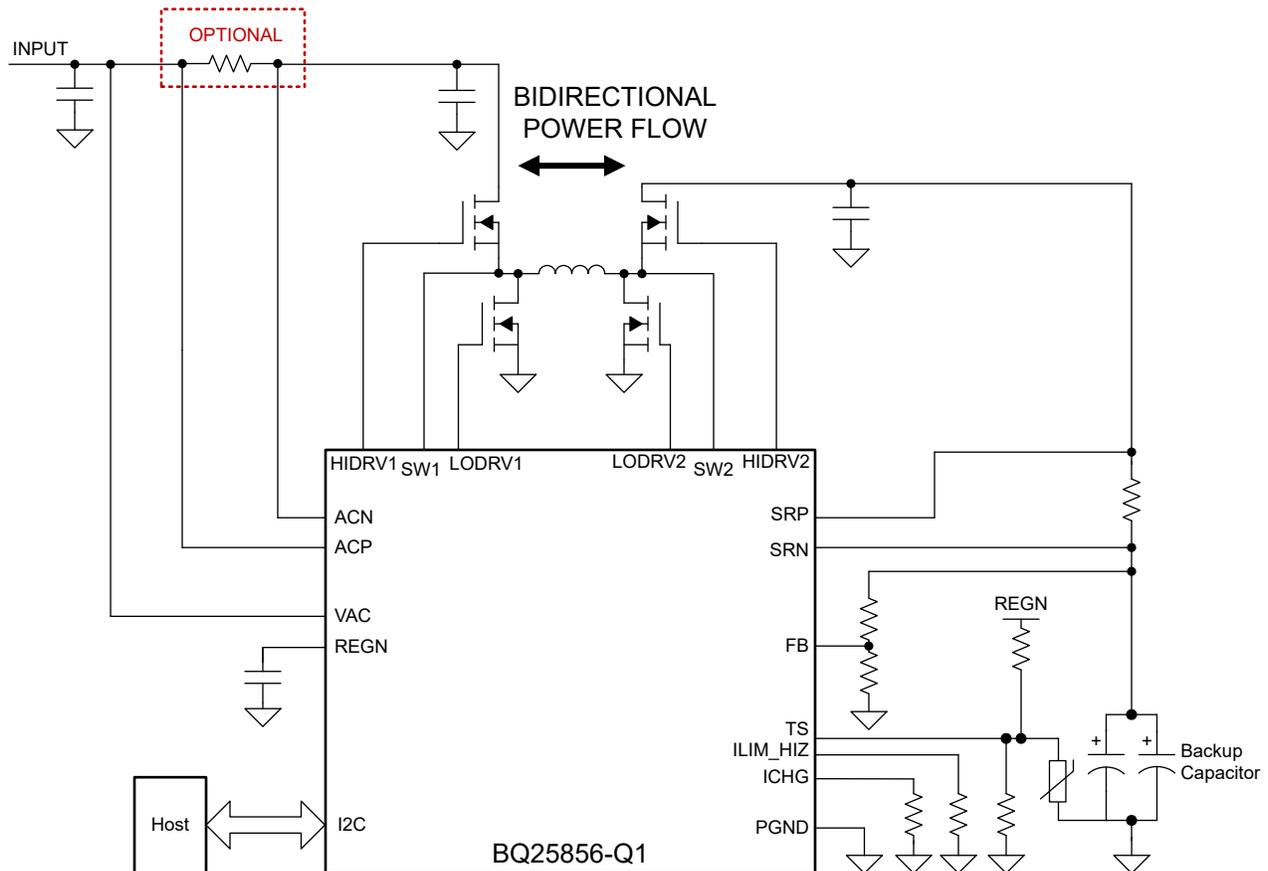


図 1-1. BQ25856-Q1 コンデンサ バックアップのブロック図

2 ACUV と ACOV の設定

BQ25856-Q1 の VAC 低電圧スレッシュホールドは、ACOV/ACUV 分圧器によって設定されます。EN_AUTO_REV を 1 に設定して、電源が ACUV 設定を下回ると、BQ25856-Q1 はすぐに自動リバースモードに移行します。ACUV 設定は、VAC ピン、ACUV ピン、ACOV ピン上の抵抗電圧分圧器によって設定されます。これらのピンは、ACOV 設定と ACUV_DPM 電圧も制御します。AC 電圧が特定の値を上回った場合、ACOV ピンが検出します。ACUV_DPM 電圧は、入力電源が圧倒されないように、BQ25856-Q1 の出力充電電流を制限します。抵抗分圧器は 図 2-1 に示されています。

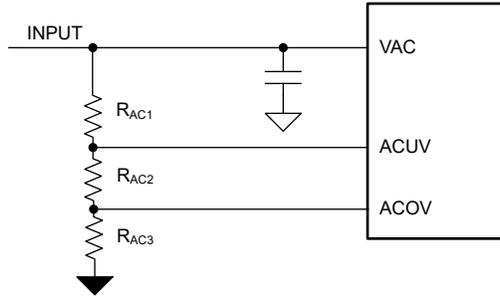


図 2-1. ACOV と ACUV の抵抗分圧器

ACUV/ACOV の設定は以下の式で設定されます。

$$V_{VACOV} = \frac{1.2(R_{AC1} + R_{AC2} + R_{AC3})}{R_{AC3}} \quad (1)$$

$$V_{ACUV_DPM} = \frac{1.2(R_{AC1} + R_{AC2} + R_{AC3})}{R_{AC2} + R_{AC3}} \quad (2)$$

$$V_{VACUV} = \frac{1.1(R_{AC1} + R_{AC2} + R_{AC3})}{R_{AC2} + R_{AC3}} \quad (3)$$

高速な遷移時間を実現するために、ACUV 電圧を正しく設定することが重要です。最小 VAC 電圧と ACUV スレッシュホールドの差が小さいほど、リバースモードがより高速にトリガされます。遷移時間が短いほど、システム電圧が臨界レベルよりも低下する時間が短くなります。

3 計算式

このセクションでは、バックアップ電源をサポートするために必要な静電容量の大きさを導き出す計算について説明します。SRN ピンのコンデンサ電圧が 2.5V を下回ると、BQ25856-Q1 コンバータがオフになります。コンデンサに蓄積できる使用可能なエネルギーの量は 式 4 を使って計算します。

$$E_{Cap} = \frac{1}{2}C(V_{Cap}^2 - 2.5^2V) \quad (4)$$

回路に必要な総エネルギーはシステム電圧、必要な電流によって設定され、システムの必要な動作時間は 式 5 を使用して計算します。

$$E_{Load} = I_{Load}V_{Load}\Delta t_{Load} \quad (5)$$

次に、2 つの式を組み合わせ、式 6 を使用した場合に必要な総静電容量または充電電圧を計算できます。

$$2\Delta t_{Load}I_{Load}V_{Load} = C(V_{Cap}^2 - 6.25V) \quad (6)$$

これらの式は、システムで必要とされる総エネルギーの推定にすぎないことに注意してください。コンバータからのコンデンサ損失のスイッチング損失、導通、および等価直列抵抗 (ESR) により、バックアップ コンデンサから使用可能な電力が低減します。

10J 以下のバックアップエネルギーでは、電解コンデンサを使用できます。エネルギー必要量が大きい場合、静電容量がかなり大きいので、スーパーキャパシタの方が良好に動作します。

4 アプリケーション図

次の電解コンデンサおよびスーパーキャパシタ バックアップ回路例の測定ポイントを含むアプリケーション図を [図 4-1](#) に示します。

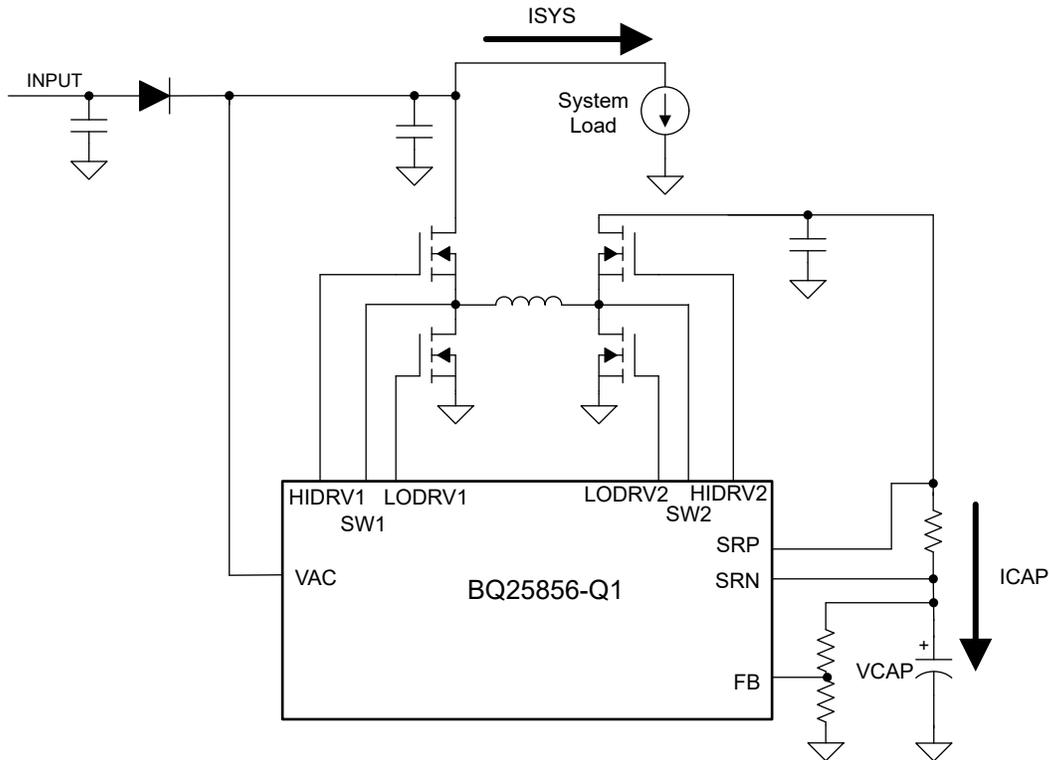


図 4-1. アプリケーション ブロック図

図 4-1 では、入力電圧はダイオードによってシステム電圧から分離されます。ご覧のように、VAC が High のとき、VAC は VSYS にほぼ等しくなります。入力電圧がオフになると、VAC 電圧が低下し、BQ25856-Q1 はリバース モードに移行します。この時点で、コンデンサの電流は遷移中に正から負に反転し、電力の供給を開始します。すると、VSYS 電圧はリバース電圧設定まで低下します。

5 アプリケーション例 - 電解コンデンサ バックアップ

以下のシナリオでは、1.4A のシステム負荷に電力を供給する自動車バッテリーを考えます。このシステムは、5V、600ms にわたって 1.4A のシステム負荷を維持する必要があります。バックアップ電源により、車両システムを安全にシャットダウンできます。表 5-1 に要件をまとめています。

表 5-1. 設計要件

パラメータ	値
入力電圧	12V
システム負荷	1.4A
逆電圧が必要です	5V
必要なロードホールド時間	600ms
必要な総エネルギー量	4.9J

必要なエネルギーは 4.9J で、バックアップ コンデンサに電解コンデンサを使用できます。基板面積に制約がある場合、高電圧の電解コンデンサは、容量の増加に比べてより多くのエネルギーを保持することができます。このコンデンサには 58V を使用できます。必要な静電容量を計算するために式 7 を使用します。

$$\frac{2I_{Load}V_{Load}At_{Load}}{V_{Cap}^2 - 6.25V} = C \quad (7)$$

必要な容量は 2,502μF です。この数値は 3000μF に切り上げられます。評価基板の出力コンデンサを含めた後の総容量は 3160μF です。

表 5-2. ハードウェア設定

パラメータ	値
出力コンデンサ	3160μF (3x1000μF + 160μF)
出力電圧	58V
ACUV 設定	6.2V

表 5-3. レジスタ設定

登録	概要
REG0x14[0]=0	EN_PRECHG = 0 に設定し、充電器をトリクル充電モードおよびプリチャージ モードをスキップするように設定します。これによって、BQ25856-Q1 は高速充電モードまたはテーパー充電モードのみに設定されます。
REG0x14[3]=0	EN_TERM = 0 に設定し、VIN が良好な間もチャージャの充電を停止しないことを確認します。これにより、このキャパシタは常に可能な最大電荷を持つようになります。
REG0x02 = 0x0A0	ICHG_REG = 2000mA に設定します。
REG0x06 = 0x01E0	IAC_DPM=15000mA に設定します。入力電源の最大電流出力は 15A です。これによって入力がクラッシュしないようになります。
REG0x19[1]=1	EN_AUTO_REV = 1 に設定すると、自動リバース モードが有効になります。
REG0x0C = 0x03E8	VAC_REV = 5000mV に設定し、BQ25856-Q1 が逆モード時に VAC を調整する電圧も設定します。
REG0x1E[5]=1	SYSREV_UV = 1 に設定します。デフォルトでは、VAC が逆電圧目標の 80% を下回った場合、リバースモードはオフになります。SYSREV_UV = 1 で、低電圧設定を 3.3V に固定します。これによって、VAC が逆電圧ターゲットを下回った場合でも、リバースモードが確実にオンになります。

図 5-1 に、充電と放電の全サイクルを示します。BQ25856-Q1 は、2A の充電電流で出力コンデンサを 0V ~ 60V の間で充電するために約 100ms を要します。参照用に、チャンネル 1 が入力源で、青色です。チャンネル 2 はコンデンサ電圧で、青緑色です。チャンネル 3 はシステム電流です。チャンネル 4 はコンデンサから流れ出る電流ですコンデンサに流れ込む電流は負です。入力電圧が低下すると、BQ25856-Q1 はリバース モードに移行し、システム負荷電流は一定のままです。

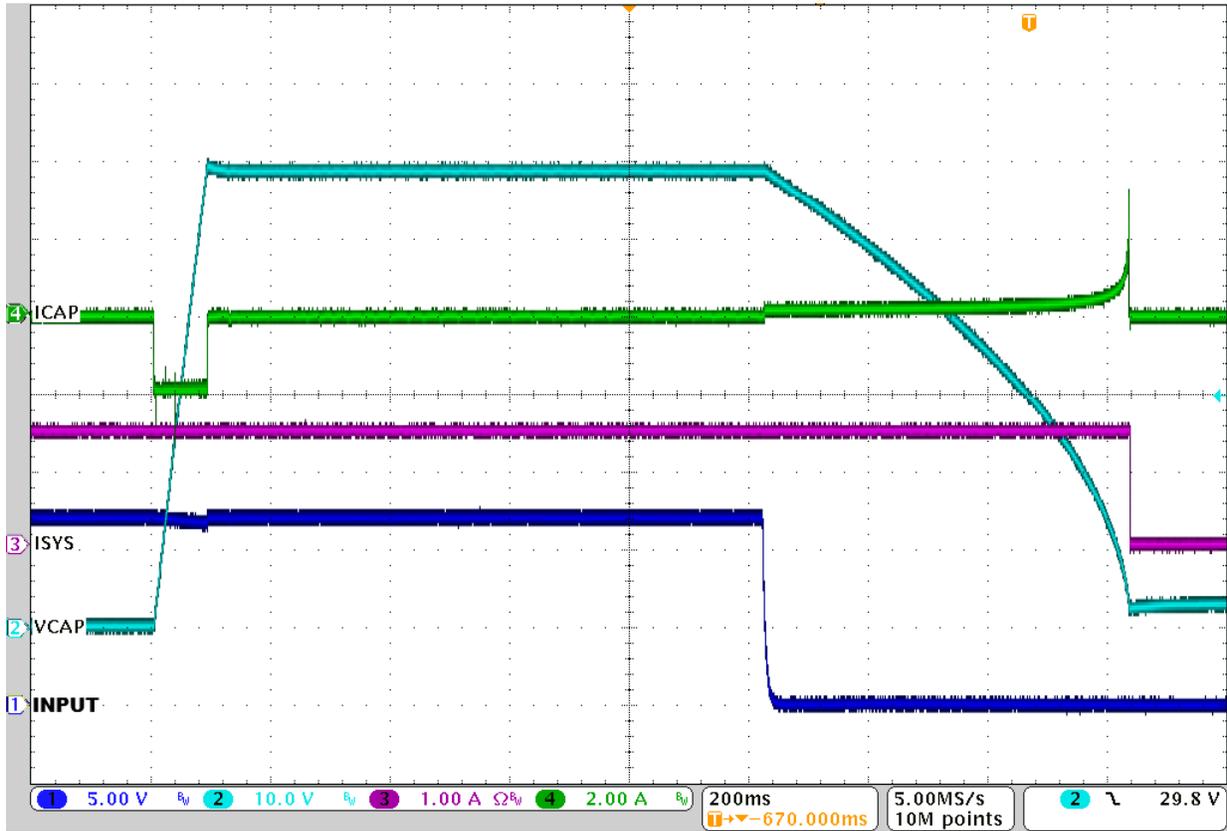


図 5-1. BQ25856-Q1 完全な充電と放電サイクル

図 5-2 は、出力コンデンサの充電速度を拡大表示しています。

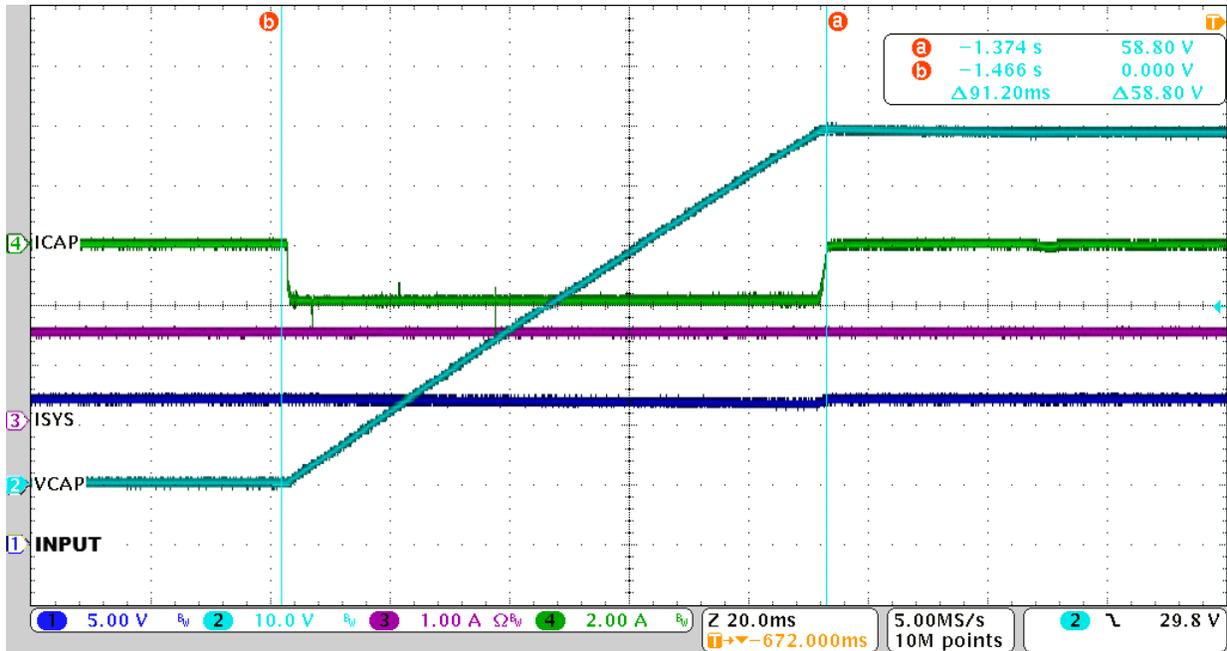


図 5-2. BQ25856-Q1 電解コンデンサの充電速度

図 5-3 はコンデンサの放電を拡大表示しています。BQ25856-Q1 は、610ms にわたって 1.4A のシステム負荷にバックアップ電力を供給します。

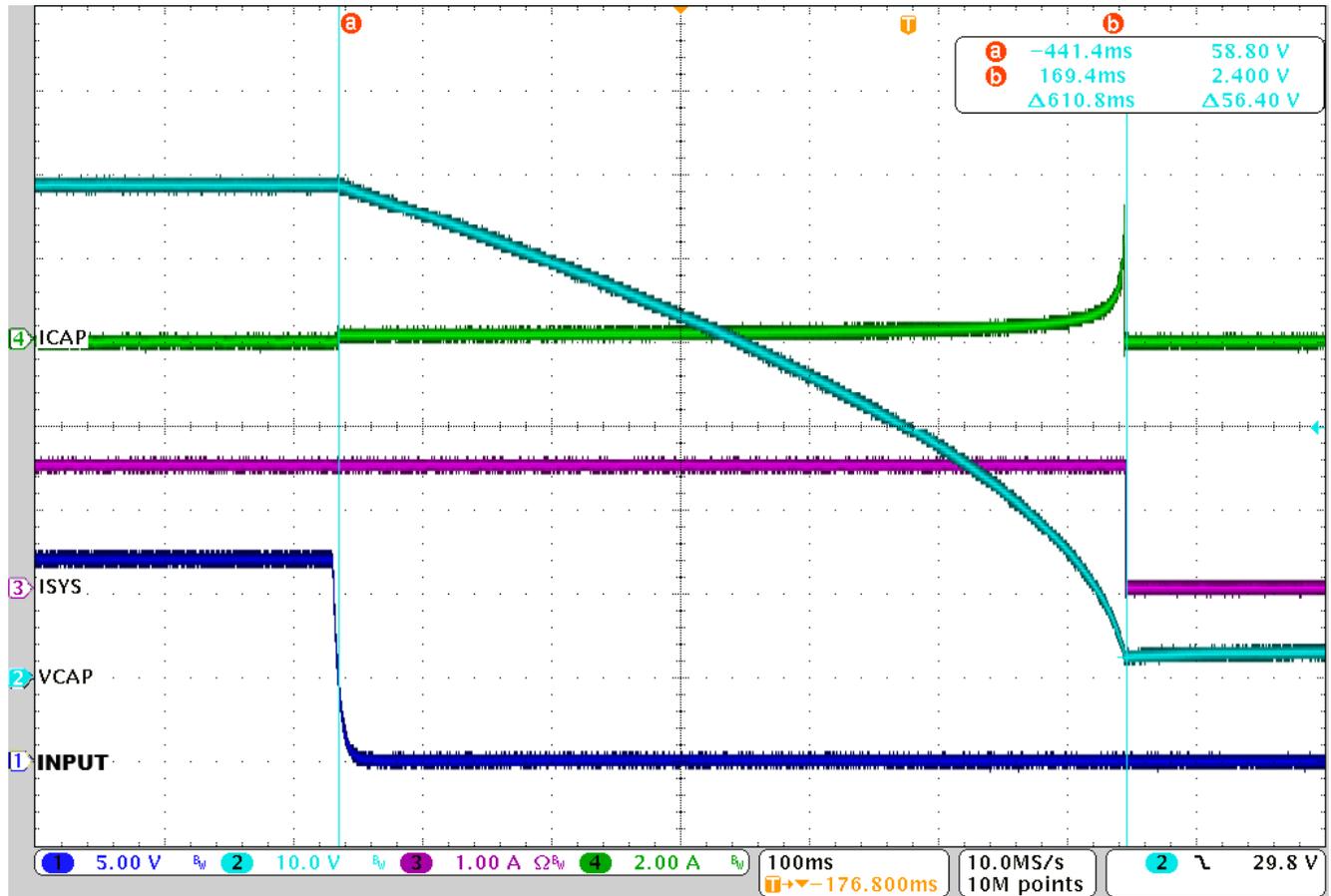


図 5-3. BQ25856-Q1 1.4A 負荷でバックアップ電力を供給

図 5-4 に、高速リバースモードが有効になる仕組みを示します。VAC 電圧が ACUV スレッシュホールドを超えるとすぐに、BQ25856-Q1 がリバースモードをアクティブにして電力供給を開始するのに平均 100 μ s かかります。正確な所要時間は負荷電流および電圧によって異なります。上記と同じ回路では 図 5-4、切り替え時間は約 50 μ s から充電から放電に移るまでの時間です。参考までに、チャンネル 1 は VAC で、青色です。チャンネル 3 はスイッチノード 2 で、マゼンタ色です。チャンネル 4 はコンデンサに流れ込む電流で、緑色です。コンデンサに流れ込む電流には負の値が割り当てられます。BQ25856-Q1 が充電から放電に移行するため、コンデンサ電流は負から正の値になります。

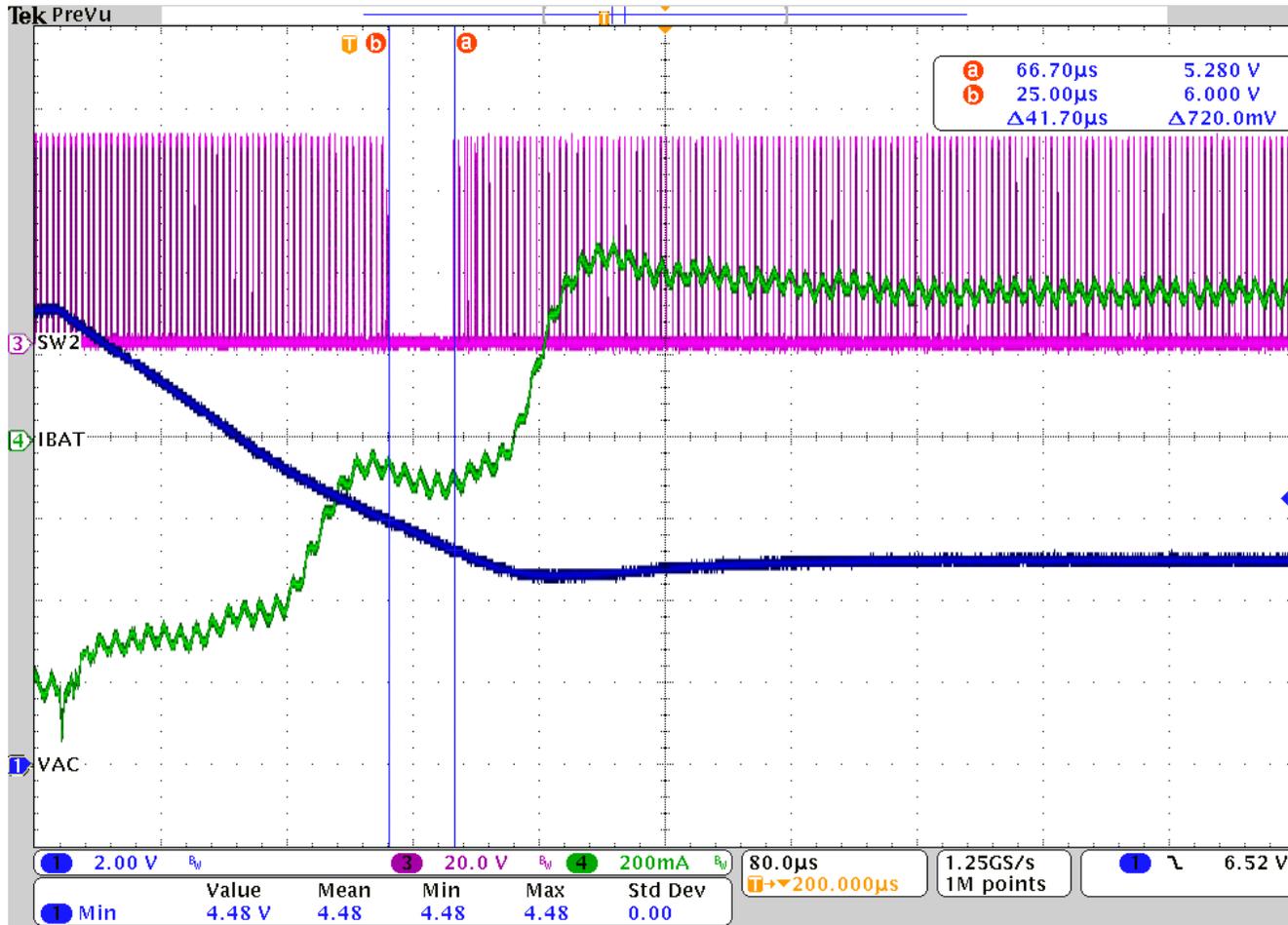


図 5-4. BQ25856-Q1 自動リバース モード応答時間

6 アプリケーション例 - スーパー キャパシタ バックアップ

BQ25856-Q1 は、スーパーキャパシタ バックアップ システムと組み合わせても動作します。以下の例で、バックアップ コンデンサ回路は、10V のシステム負荷を 0.9 秒間 4A に維持する必要があります。これは、BQ25856-Q1 にとっては極端なケースです。コンデンサの電圧が 2.5V まで低下したときのコンデンサからの最大放電電流は 15A を超えているためです。システム要件の概要を [表 6-1](#) に示します。

表 6-1. 設計要件

パラメータ	値
入力電圧	12V
システム負荷	4A
逆電圧が必要です	10V
必要なロードホールド時間	0.9s
必要な総エネルギー量	36J

スーパーキャパシタは、これらの高エネルギー バックアップ システムに最適なストレージを実現します。シングルセル スーパーキャパシタの最大充電電圧は約 2.5 ~ 3.7V と低い値です。より高い電圧とより多くの電力を実現するには、複数のスーパーキャパシタを直列構成で使用する必要があります。2 個のスーパーキャパシタを直列接続すれば、5V の充電電圧を使用できます。上記の式を使用すると、必要なキャパシタンスは 3.84F と計算できます。コンデンサから極端な電流が流れるため、この値を 4 倍して 11.52F とします。直列接続した 2 個の 25F キャパシタを使用することで、合計容量 12.5F、合計電圧定格 5V となります。

表 6-2. ハードウェア

パラメータ	値
出力コンデンサ	12.5F (2x25F の直列コンデンサ)
出力電圧設定	5V
ACUV 設定	10V

表 6-3. レジスタ設定

登録	概要
REG0x02 = 0x0640	ICHG_REG を最大 20A に設定して、コンデンサを可能な限り高速に充電します。
REG0x06 = 0x01E0	IAC_DPM を 15A に設定して、充電器による入力電源のクラッシュを防止します。
REG0x0C = 0x07D0	VAC_REV = 10000mV に設定すると、リバースモード電圧が設定されます。
REG0x14[3]=0	EN_TERM = 0 に設定します。
REG0x14[0]=0	EN_PRECHG = 0 に設定し、充電器をトリクル充電モードおよびブリチャージ モードをスキップするように設定します。
REG0x18[6]=0	EN_ILIM_HIZ_PIN を 0 に設定します。これにより、EVM の入力電流ハードウェア制限が無効になります。現在、IC は IAC_DPM レジスタのみを使用して入力電流を制御します。
REG0x1E[5]=1	SYSREV_UV = 1 に設定します。デフォルトでは、VAC が逆電圧目標の 80% を下回った場合、逆方向モードはオフになります。SYSREV_UV = 1 で、低電圧設定を 3.3V に固定します。これによって、VAC が逆電圧ターゲットを下回った場合でも、逆方向モードが確実にオンになります。

[図 6-1](#) で、BQ25856-Q1 EVM は 6.78 秒でコンデンサを完全に充電します。チャンネル 1 は入力電圧で青色です。チャンネル 2 はコンデンサの電圧で青緑色です。チャンネル 3 はシステム電圧で赤紫色です。チャンネル 4 はコンデンサの電流で緑色です。コンデンサに流れ込む電流は正です。

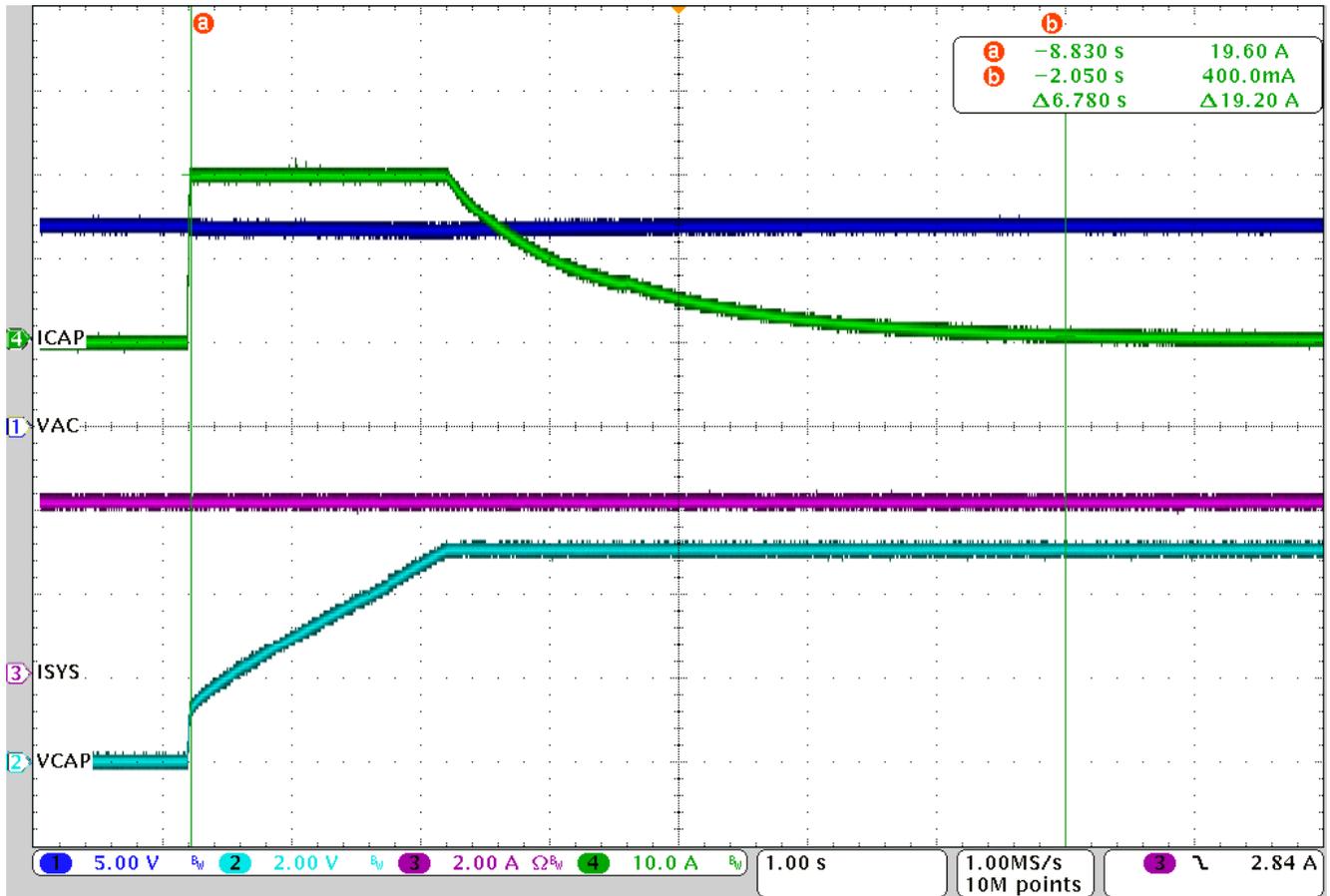


図 6-1. BQ25856-Q1 スーパーキャパシタを充電

図 6-2 で、BQ25856-Q1 は 10V で 900 ミリ秒にわたって 4A のシステム負荷を供給します。チャンネル 1 はチャージャで観測される VAC 電圧です。チャンネル 2 はバックアップ コンデンサの電圧です。チャンネル 3 はシステム負荷電流です。チャンネル 4 はコンデンサに流れる電流です。BQ25856-Q1 が電力供給を開始すると、コンデンサ電流が負になります。VAC は低下し始めますが、VAC は 10V で安定します。

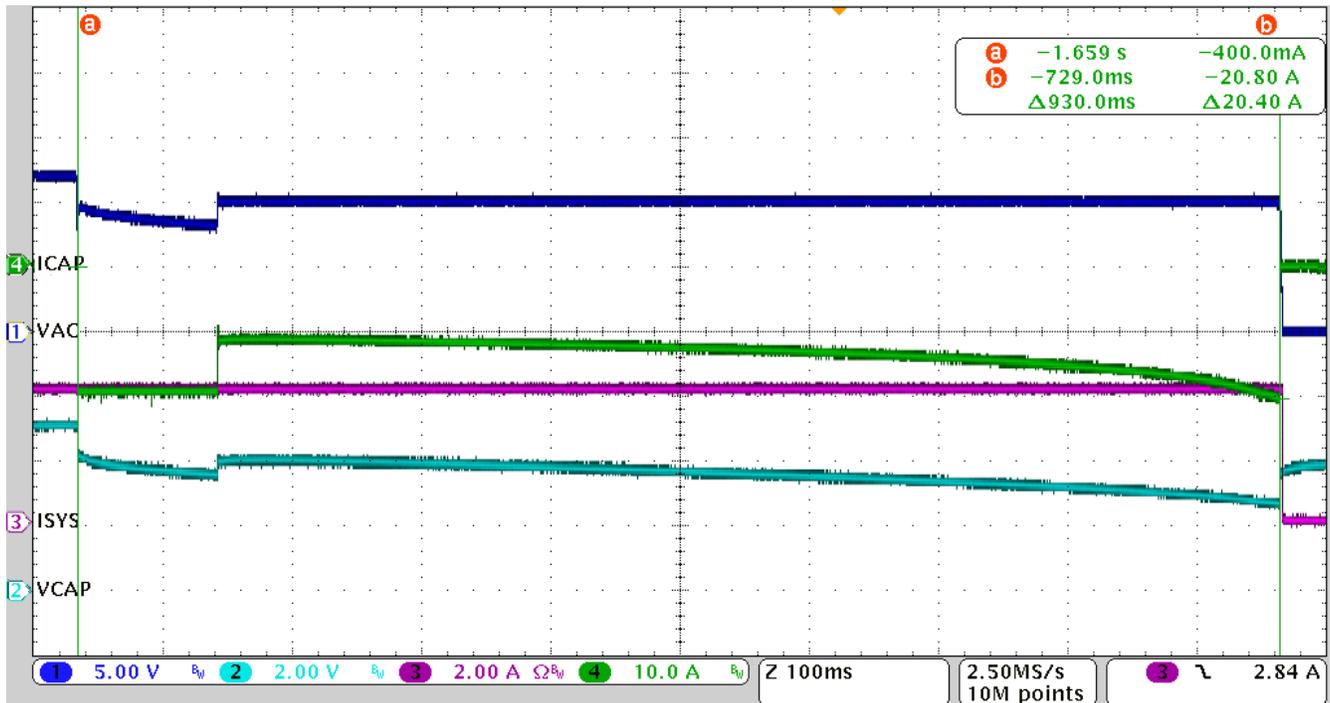


図 6-2. BQ25856-Q1 4A の負荷でバックアップ電力を供給

なお、リバース モードがオフになった後にコンデンサ電圧が上昇することは、ESR 損失が存在することを示しています。10V で 4A の電流出力を維持するために、BQ25856-Q1 はコンデンサ電圧が 2.5V のときにコンデンサから 20A を必要とします。その結果、コンデンサで 1.28V の電圧降下が発生します。スーパーキャパシタの ESR を計算すると 64mΩ となり、放電の最後に ESR は 25.6W を消費します。このような大電流では、コンデンサの ESR とワイヤの IR 電圧降下が大きな役割を果たします。ESR の低いワイヤ サイズのコンデンサを使用することで、利用可能な電力を増やすことができます。BQ25856-Q1 では、最大放電電流は 20A に設定されていることに注意してください。この値は、IBAT_REV ビットを使用することで減らすことができます。

これらの高負荷でスーパーキャパシタを動作させると、実効静電容量は減少し、時間の経過に伴って ESR が増加し、動作寿命が短くなることに注意してください。スーパーキャパシタの寿命を延長するには、ESR の低いスーパーキャパシタを使用すると、内部発熱を低減できます。スーパーキャパシタを並列に使用して各コンデンサの電流負荷を低減することもできます。これらの影響の詳細な分析は、このアプリケーションノートの範囲外です。セクション 8 に、役立つリサーチペーパーをいくつか示します。

図 6-3 では、入力電力が切断されたときに BQ25856-Q1 は 60μs を取り回して充電から放電に移行します。チャンネル 1 は 4A システム負荷に流れ込む電流で、青色にです。チャンネル 2 は BQ25856-Q1 の /INT ピンで、青緑色です。BQ25856-Q1 の状態が変化すると、/INT ピンは割り込みパルスを生成します。チャンネル 3 は、4A システム負荷の測定値で、赤紫色です。チャンネル 4 はスイッチノード 1 で、緑色です。/INT ピンは VAC が Low になり、自動逆方向モードがオンになります。

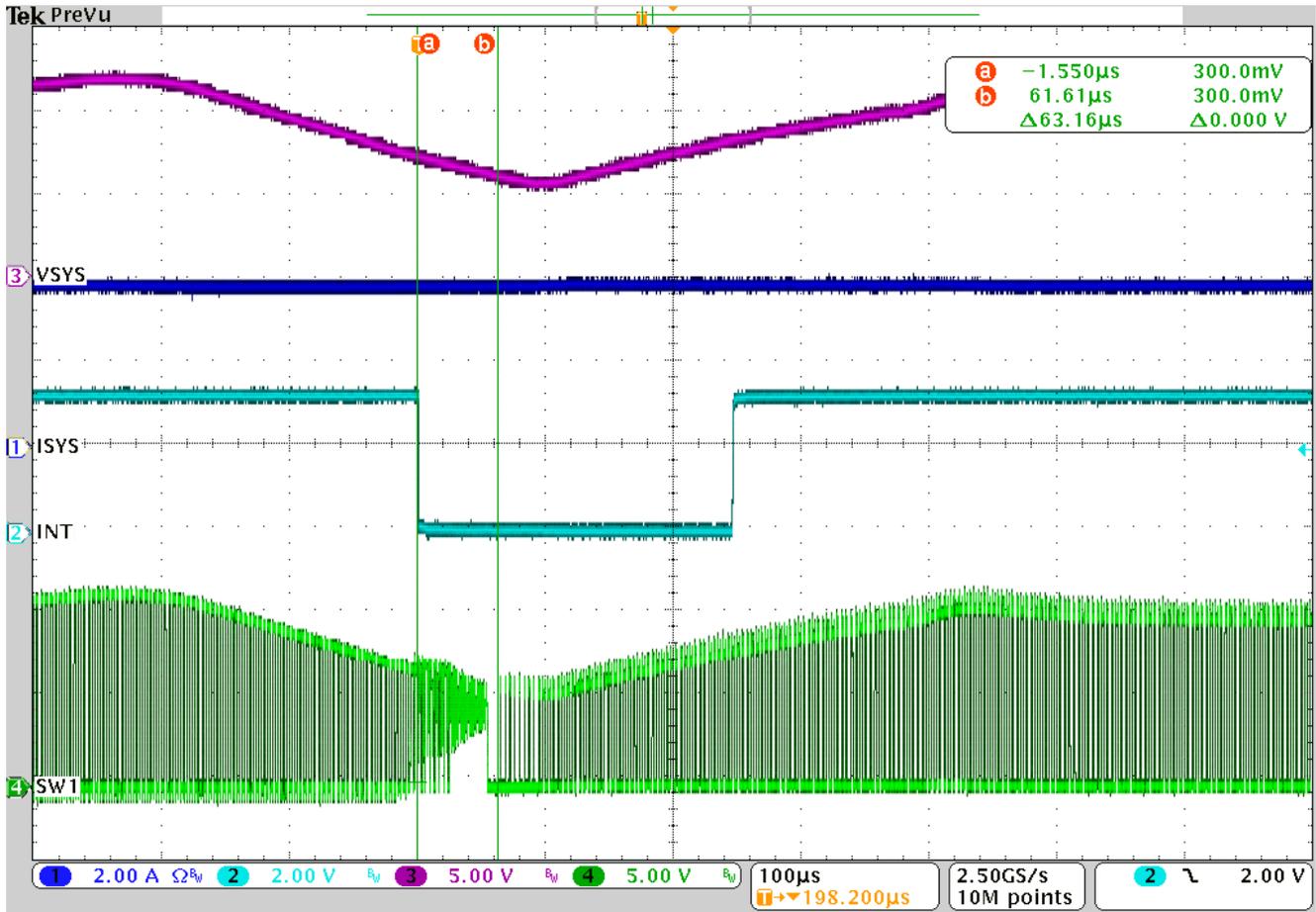


図 6-3. BQ25856-Q1 スーパーキャパシタによる自動リバース タイム

7 まとめ

BQ25856-Q1 は、産業用または車載用のバックアップ アプリケーションで動作するように設計されています。BQ25856-Q1 は、広い入出力範囲に対応できます。IC は耐久性があり、80V までの過渡電圧に耐えられます。応答時間は非常に短く、IC は電解回路とスーパーキャパシタ回路の両方で動作します BQ25856_Q1 IC は、これらの機能を使用して信頼性の高いバックアップ機能を実現できます。

8 参考資料

- テキサス・インスツルメンツ、『[BQ25856-Q1: 車載用、スタンドアロン/I2C 制御、1~14 セル双方向昇降圧バッテリー充電コントローラ](#)、データシート
- テキサス インスツルメンツ、『[FAQ BQ2575X FAQ ページ](#)、E2E FAQ ページ。
- テキサス インスツルメンツ、『[FAQ BQ25756: ACUV ピンと ACOV ピンについて理解する必要があるのはなぜですか?](#)、E2E FAQ ページ。
- Vlasta Sedlakova, Josef Sikula, Jiri Majzner, Petr Sedlak (2019)、[スーパーキャパシタの劣化と寿命](#)、ルーマニア、ブカレスト、欧州受動部品研究所
- Sedlakova V, Sikula J., Majzner J., Sedlak P., Kuparowitz T., Buegler B., Vasina P. (2016)、[パワーサイクリングおよび寿命試験によるスーパーキャパシタの劣化評価](#)、ポーランド、ヴロツワフ、ポーランド科学アカデミー計量科学機器委員会

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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、テキサス・インスツルメンツ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テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかるテキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated