

Application Note

TPS61094 をベースとする、太陽光発電アプリケーション用 MPPT 機能付き降圧チャージャおよび昇圧コンバータ



Jing Ji, Jiaqi Wang

概要

石油などの非再生可能エネルギーの消費量の増加や生態環境の改善の緊急性により、環境発電とソーラー・エネルギーが世界的に注目されています。より多くの製品が電力源として太陽光発電を選択するようになってきました。太陽電池から電力の供給を受ける代表的なシステムとしては、ソーラー・パネル、スーパーキャパシタまたは NiMH バッテリーのようなエネルギー蓄積素子、ソーラー・パネルからエネルギー蓄積素子を充電するための DC/DC デバイスや出力電圧を制御するためのその他の DC/DC デバイスなどがあります。従って、これらのシステムは、ソーラー・エネルギーからの電力供給 (5W 未満) に合わせて設計されます。降圧 CC/CV 機能により、スーパーキャパシタや NiMH バッテリーのようなエネルギー・ストレージを適切に充電することが可能になります。TPS61094 の双方向の昇降圧機能を使用すると、MPPT (最大電力点追従) をほぼ実現できます。また TPS61094 は 60nA の超低 I_q 昇圧コンバータを内蔵しており、ソーラー・エネルギーの大きさにかかわらず、出力電圧を制御できます。

目次

1 太陽電池と MPPT について.....	2
1.1 従来型の MPPT ソリューション.....	2
2 太陽電池を使用した代表的なシステム.....	3
2.1 はじめに.....	3
2.2 具体的な最終製品.....	3
3 TPS61094 ソリューション.....	4
3.1 スーパーキャパシタとバッテリーの設計.....	4
3.2 ソーラー・パネルの設計.....	4
3.3 TPS61094 の説明と動作.....	4
3.4 システム・ソリューション.....	5
4 TPS61094 ソリューションをベースとしたテスト・レポート.....	7
4.1 テスト波形.....	7
5 関連資料.....	8

図の一覧

図 1-1. 太陽電池の VI/VQ 曲線.....	2
図 2-1. TPS61094 電源のシステム・ブロック図.....	3
図 3-1. さまざまな環境下でのソーラー・パネルの V-P 曲線.....	4
図 3-2. TPS61094 の代表的なアプリケーション.....	5
図 3-3. 2 つの主な動作状態の遷移.....	5
図 3-4. MPPT を実現するための代表的な波形.....	6
図 4-1. 強い光を照射した条件下でのスーパーキャパシタの充電.....	7
図 4-2. 強い光照射での 20mA 負荷動作の波形.....	7

表の一覧

表 2-1. トラッカー・システムの要件.....	3
表 3-1. EVM ボードのテスト設定.....	5

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 太陽電池とMPPTについて

太陽電池は、物理的・化学的現象である光起電力効果によって光のエネルギーを直接電気に変換する電気デバイスです。一般的な単一接合シリコン太陽電池は、約 $0.5V \sim 0.6V$ の最大開放電圧を生成することができます。通常、個々の太陽電池デバイスが、光電池モジュールを構成する電気的なブロックとなっています。最も一般的に知られている太陽電池は、シリコンから作られた大面積の pn 接合から構成されています。

開放電圧と短絡電流は、ソーラー・パネルの最も重要なパラメータです。一般に、動作電圧および電流は負荷抵抗によって変化します (『[単一セル・ソーラー・パネルからのリチウムイオン・バッテリー向け環境発電のリファレンス・デザイン](#)』)。さまざまな負荷に対する動作電流と動作電圧の関係を [図 1-1](#) に示します。これは、太陽電池の VI/VQ 曲線です。

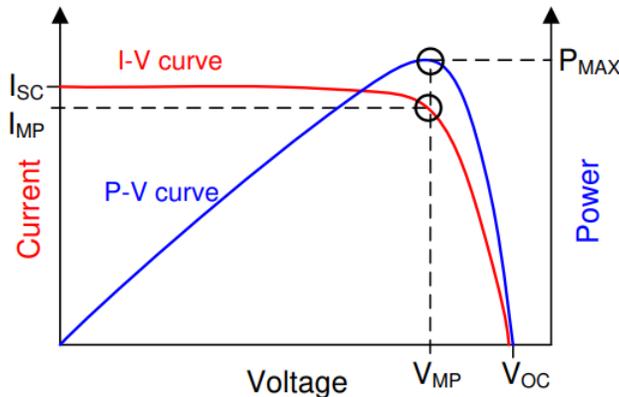


図 1-1. 太陽電池の VI/VQ 曲線

同じソーラー・パネルでも、光の照射条件が異なる場合には最大出力電力となる負荷が変化します。そのため、調整を行い、ソーラー・パネルを最大電力点で動作させるようにすることが重要です。最大電力点追従とは、条件が変化したときでも最大のエネルギーを取り出せるようにするため、可変電力源に対して使用される手法です。これにより、条件が変化したときに取り出すエネルギーを最大化できます。MPPT が対処する主要な課題は、入射する太陽光の量やソーラー・パネルの温度および負荷の電気特性に依存する、太陽電池からの電力伝送効率です。これらの条件が変化につれて、電力伝送が最大となる負荷特性も変化します。負荷特性が変化したときにシステムを最適化し、電力伝送を最大効率に維持します。この最適な負荷特性を最大電力点 (MPP) と呼びます。MPPT は、条件の変化に応じて負荷特性を調整するプロセスです。太陽電池に最適な負荷を与え、そのうえで他のデバイスやシステムに合わせて電圧、電流、周波数を変換するように回路を設計することが可能です。

1.1 従来型の MPPT ソリューション

MPPT を実現するには、摂動・観測、増分コンダクタンス、電流掃引、温度方式、定電圧式など、多くの方法があります (『[PV システムの最大 PPT 技法の調査 \(英文\)](#)』)。これらの方法にはそれぞれ長所と短所があり、ハードウェアやアルゴリズムの要件も異なります。

また、定電圧式は昔のやり方の 1 つです。これは、一定の温度条件下では太陽電池の最大電力点がほぼ 1 つの垂直線上にあるという事実を利用して使っています。ソーラー・パネルと負荷の間でコントローラを使用し、出力電圧を一定にすることで、シンプルな MPPT 機能を実現します。この方法は安定した外部環境のアプリケーションに適しています ([ハイブリッド DEPSO 法を用いた部分陰影太陽光発電システムの新しい最大電力点追従技術のシミュレーションとハードウェア実装](#))。このアプリケーション・ノートでも、システムで MPPT を実現するために定電圧式を使用しています。

2 太陽電池を使用した代表的なシステム

2.1 はじめに

このソリューションは主に、ソーラー・パネルを搭載したローパワー・システム向けであり、充放電機能を実現するために 1 チップの TPS61094 を使用しています。新世代の太陽光発電製品向けにバッテリー充電機能を搭載した、シンプルな MPPT の設計を目的としており、アナログの外付け MPPT 回路を使用しない非常に簡単なものとなりました。このデバイスに適した主なアプリケーションは、トラッカーや故障表示器などです。

2.2 具体的な最終製品

アセット・トラッカーは、小規模なスペースに多数のサブシステムを統合します。トラッキング・モジュールは方式や機能が異なる場合がありますが、さまざまなセンサからのデータの読み取りや GPS モジュールとの接続など、デジタル・インターフェイスに関する類似の共通課題があります（『[ロジックと変換の使用事例によるアセット・トラッカー（資産追跡機能）の最適化](#)』）。このシステムはバッテリーで駆動されるため、消費電力と効率を高める必要があります。このアプリケーション・ノートでは、トラッカーを例として、トラッカーの電源にソーラーパネルを使用するソリューションを提案し、1 つの TPS61094 で MPPT 機能を実現します。代表的なシステム図を図 2-1 に示します。

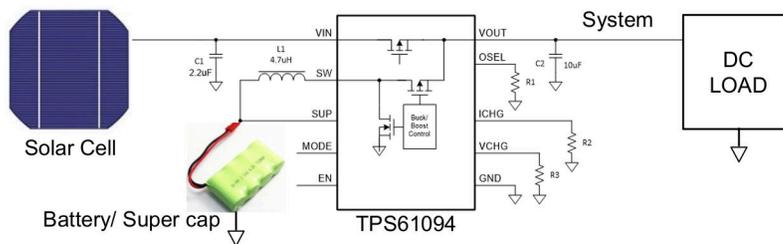


図 2-1. TPS61094 電源のシステム・ブロック図

2.2.1 システム要件

システム要件を表 2-1 に列記します。

表 2-1. トラッカー・システムの要件

パラメータ	値
出力電圧	3.3V
最大出力電流	100mA
平均出力電流	1mA

出力電力は、このシステムで最も重要なパラメータです。このパラメータにより、ソーラー・パネル、スーパーキャパシタ、MPPT の目標出力電圧の選択が決まります。

3 TPS61094 ソリューション

3.1 スーパーキャパシタとバッテリーの設計

このシステムを実現するにはエネルギー蓄積素子が必要で、ここでは、スーパーキャパシタまたはバッテリーをエネルギー蓄積素子として使用することができます。このシステムでは、エネルギー蓄積素子の容量が 1 日の中の暗い時間帯にシステムの電源要件を満たす必要があります。スーパーキャパシタまたはバッテリーの選択は、次の式で計算できます。

$$C = \frac{2tP_{average}}{\eta(U_{max}^2 - U_{min}^2)} \quad (1)$$

ここでは、環境条件とシステム要件に応じて、 $\eta \approx 90\%$ を選択します。スーパーキャパシタは、1mA の定電流で 12 時間放電できる必要があります。式 1 より、システム内のスーパーキャパシタは 55F を上回る必要があります。

3.2 ソーラー・パネルの設計

システムの要件により、ソーラー・パネルは 12 時間以内にスーパーキャパシタを定電流でフル充電する必要があります。また同時に、後段の最大電力出力に対応できる必要があります。出力電力と組み合わせる場合、ソーラー・パネルの電力は出力電力の 2 倍を超える必要があります。このシステムでは 10mW 超とする必要があります。

このシステムでは 15 × 15 のソーラー・パネルを使用しています。実際、15 × 15 のソーラー・パネルの平均出力電力は 6.6mW をはるかに上回るはずで、さまざまな光照射条件下でのソーラー・パネルの V-P 曲線を 図 3-1 に示します。

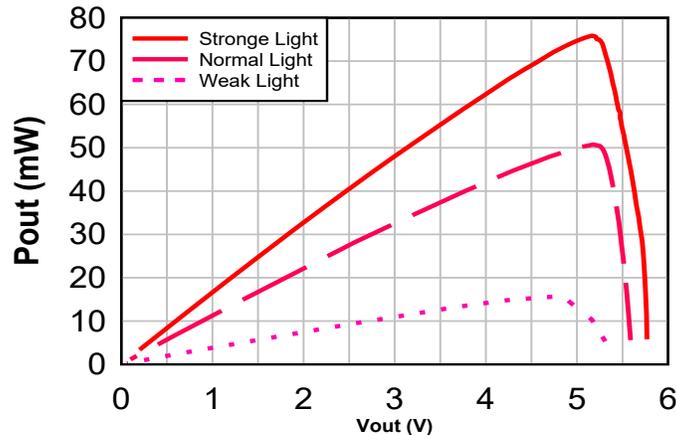


図 3-1. さまざまな環境下でのソーラー・パネルの V-P 曲線

ソーラー・パネルの最大電力点は基本的に同じ電圧となり安定しています。また、このソーラー・パネルの電力は、一日の大半で 10mW を上回ります。システム要件に合わせて 4.8V を MPPT ポイントとして使用します。

3.3 TPS61094 の説明と動作

TPS61094 は、入力と出力の間にバイパス・スイッチを実装した、双方向の同期整流昇降圧コンバータです。TPS61094 を降圧モードで動作させてスーパーキャパシタを充電する場合、充電電流と充電終了電圧は、2 個の外付け抵抗 (R3 と R2) を使用してプログラム可能です。TPS61094 を昇圧または補完モードで動作させると、スーパーキャパシタを昇圧し、出力電圧を R1 で設定されたプログラム済み電圧にレギュレートすることができます。TPS61094 の代表的なアプリケーションを 図 3-2 に示します。

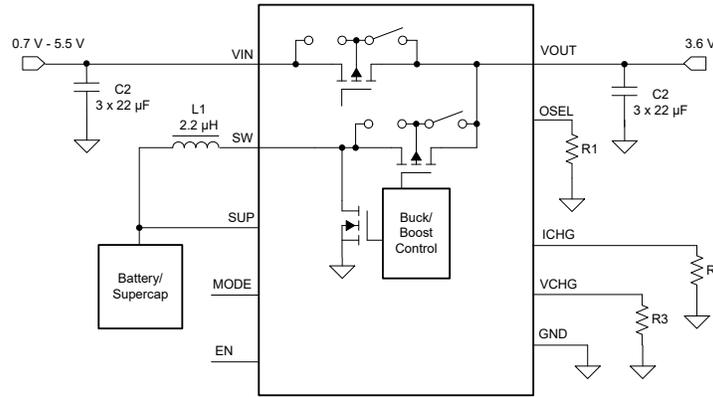


図 3-2. TPS61094 の代表的なアプリケーション

TPS61094 は、自動降圧または昇圧モード、強制降圧モード、強制バイパス・モード、完全なシャットダウン・モードの 4 つの動作モードがあり、EN ピンと MODE ピンで設定できます。お客様は、アプリケーションに基づいて適切なモードを選択できます (TPS61094 バイパス・モード搭載、60nA 静止電流、双方向昇降圧コンバータ)。

3.4 システム・ソリューション

MPPT 機能を実現し、システム・テスト時間を短縮します。このシステムでは自動降圧モードまたは自動昇圧モードが使用されています。テスト・ボードでは、より小型のスーパーキャパシタを使用しています。このテストにおける設定を表 3-1 に示します。

表 3-1. EVM ボードのテスト設定

パラメータ	値
ソーラー・パネル	5.5V、100mW
スーパーキャパシタ	3F、2.7V
目標電圧	4.8V
充電電流	150mA
充電電圧	2.7V

このシステムの実現には、ソーラーパネルから大きな電流を取り出すと、その電圧が低下するという特性が主に利用されています。TPS61094 の自動昇降圧仕様との組み合わせでは、目標電圧は 4.8V、充電電流は 150mA であり、これは I_{mp} を上回っています。太陽電池の特性により TPS61094 は異なるモードをすばやく切り替えることができます。その結果、出力電圧は目標電圧付近で変動します。また、出力電圧は照射光や負荷に関係なく安定しています。このソリューションは、バッテリー充電だけでなく後段電源の MPPT も実現します。システムの主な動作モードを図 3-3 に示します。

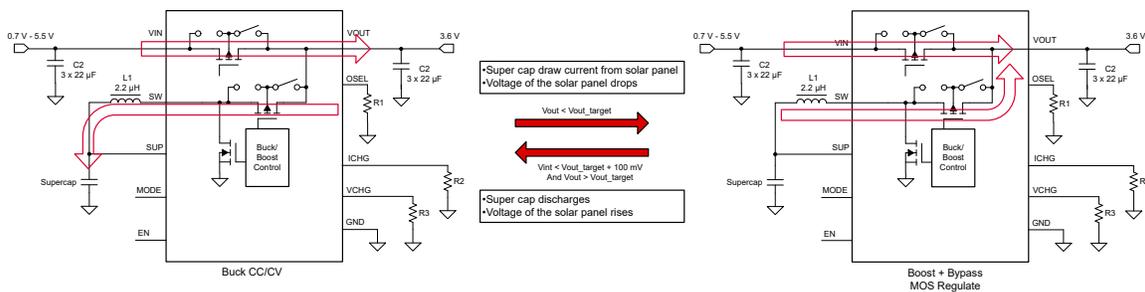


図 3-3. 2 つの主な動作状態の遷移

TPS61094 は最初に降圧モードで動作します。SUP ピンに大きな負荷過渡が生じており、ソーラー・パネルではそれを抑えることができないため、出力電圧は出力目標電圧 (OSEL ピン設定) よりも低くなります。TPS61094 は降圧モードから補完モードに切り替わります。ソーラー・パネルと SUP 電源はともに負荷に電力を供給します。

補完状態では SUP が充電されないため入力電圧が上昇します。また、出力電圧は出力目標電圧 +100mV を上回ります。これは、ソーラー・パネルが出力負荷をサポートできることを意味し、TPS61094 は補完モードから降圧モードに移行します。

システムの波形を 図 3-4 に示します。黄色の線はソーラー・パネルの端子電圧を示し 4.8V 付近に維持されています。紫色の線は出力電圧を示しています。25Hz のスイッチング・リップルをフィルタして除去するため、出力とグランドとの間に 47 μ F の電解コンデンサを追加します。緑色の線はインダクタの電流を示します。TPS61094 は電流が正のとき降圧モード、電流が負のときは補完モードです。この結果から、本ソリューションは MPPT を良好に実現できることが分かります。

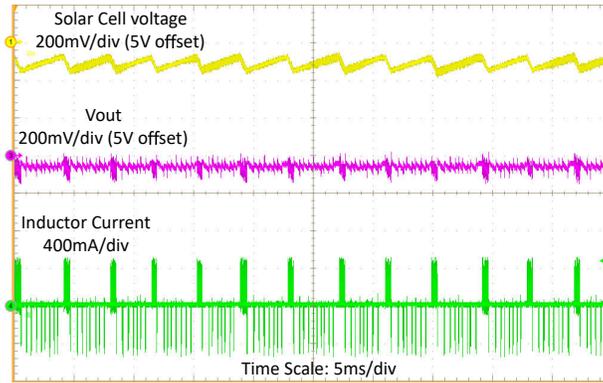


図 3-4. MPPT を実現するための代表的な波形

4 TPS61094 ソリューションをベースとしたテスト・レポート

4.1 テスト波形

自然環境に合わせて、さまざまな光照射条件や負荷条件の下でシステム動作波形をテストし比較を行います。

強い光を照射した条件下でのスーパーキャパシタ充電プロセスを [図 4-1](#) に示します。デバイスがイネーブルになると、スーパーキャパシタの充電が始まります。スイッチ電流は TPS61094 のモード・スイッチを示し、ソーラー・パネルの電圧は 4.8V (MPPT ポイント) にレギュレートされます。また、出力電圧は安定です。

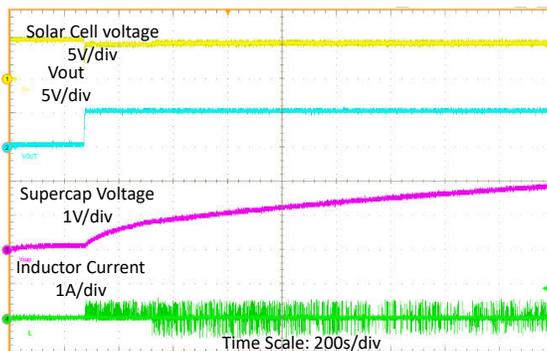


図 4-1. 強い光を照射した条件下でのスーパーキャパシタの充電

20mA の負荷条件で強い光照射を行ったときの動作波形を [図 4-1](#) に示します。

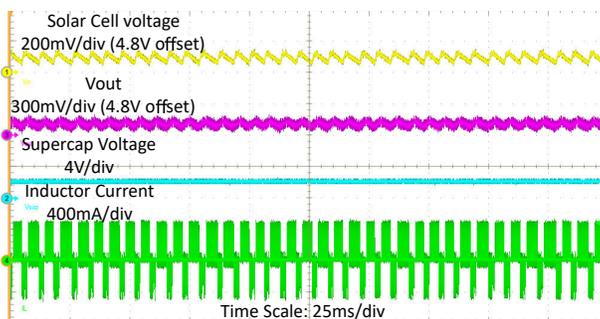


図 4-2. 強い光照射での 20mA 負荷動作の波形

5 関連資料

1. テキサス・インスツルメンツ、[単一セル・ソーラー・パネルからのリチウムイオン・バッテリー向け環境発電のリファレンス・デザイン](#)。
2. IEEE Xplore, 『[A survey of maximum PPT techniques of PV systems](#)』, pp. 1–17, Ali, Ali Nasr Allah; Saied, Mohamed H.; Mostafa, M. Z.; Abdel- Moneim, T. M. (2012).
3. IEEE Xplore, 『[Simulation and Hardware Implementation of New Maximum Power Point Tracking Technique for Partially Shaded PV System Using Hybrid DEPSO Method](#)』 6 (3): 850–862, Seyedmahmoudian, M.; Rahmani, R.; Mekhilef, S.; Maung Than Oo, A.; Stojcevski, A.; Soon, Tey Kok; Ghandhari, A. S. (2015-07-01).
4. テキサス・インスツルメンツ、『[ロジックと変換の使用事例によるアセット・トラッカー \(資産追跡機能\) の最適化](#)』。
5. テキサス・インスツルメンツ、『[TPS61094 バイパス・モード搭載、60nA 静止電流、双方向昇降圧コンバータ](#)』データシート。

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](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる TI 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。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。

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、TI 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 © 2023, Texas Instruments Incorporated