

マイクロパワー・アプリケーションおよび「モノのインターネット」に特化した1.3 μ A超低静止電流の15V昇降圧コンバータ

Dave Salerno

「モノのインターネット」を支えるワイヤレス・センサーの普及により、低消費電力の無線デバイスに特化した小型で効率的な電力コンバータの必要性が高まりました。新製品のLTC3129およびLTC3129-1は、この要求を満たすために設計されました。LTC3129およびLTC3129-1は、入力電圧範囲が2.42V~15Vのモノリシック昇降圧DC/DCコンバータです。LTC3129の出力電圧範囲は1.4V~15.75Vであるのに対して、LTC3129-1は8種類の固定出力電圧をピンで選択可能で、その範囲は1.8V~15Vです。両デバイスとも降圧モードで200mAの最小出力電流を供給できます。

LTC3129とLTC3129-1のディスエーブル時の電流が (V_{IN} と V_{OUT} の両方で) 0であることと、省電力のBurst Mode[®]動作が選択されているときに V_{IN} ピンに流れる静止電流がわずか1.3 μ Aであることにより、きわめて軽い負荷での高い効率が非常に重要なマイクロパワー・アプリケーションや環境発電アプリケーションに最適です。これらのデバイスは昇降圧アーキテクチャなので、幅広い種類の電源に使用することができます。

LTC3129およびLTC3129-1のその他の重要な機能は、1.2MHzの固定動作周波数、電流モード制御、内部ループ補償、自動Burst Mode動作または低ノイズPWMモード、UVLOしきい値をプログラム可能な高精度の

RUNピンしきい値、パワーグッド出力、および太陽電池から動作する場合に電力の伝送を最適化するためのMPPC (最大電力点制御) 機能です。

3mm $\times$ 3mmの小型QFNパッケージと高水準の集積化により、LTC3129/LTC3129-1はスペースの制約があるアプリケーションで簡単に配置できます。わずか数個の外付け部品と2mm $\times$ 3mm程度のインダクタだけで、電源の設計を完成させることができます。内部ループ補償により、設計工程はさらに簡略化されます。

小型太陽電池の使用により3.3Vのコンバータが室内照明を電源として動作

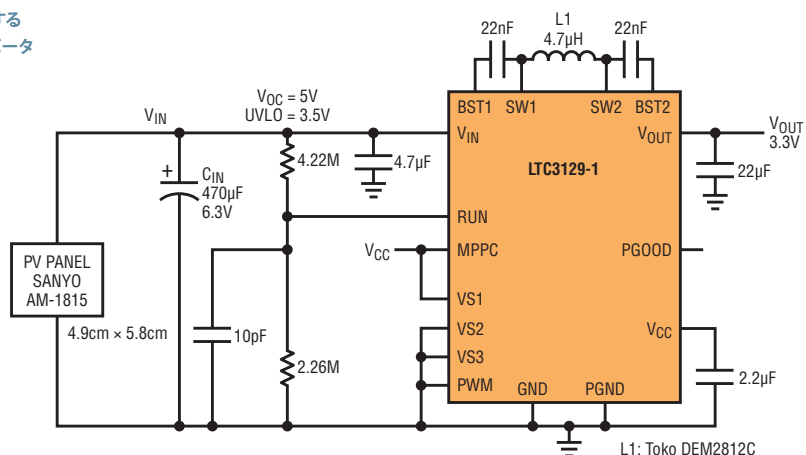
図1の回路は、LTC3129とLTC3129-1だけが持つ能力を引き出し、7.5 μ W程度の弱い入力電源から起動して動作します。これにより、(1平方インチ未満の) 小型、低価格の太陽電池と200ルクスより低い室内照明レベルで動作することができます。これにより、室内照明を電源とするワイヤレス・センサーなどのアプリケーションが可能になります。このアプリケーションでは、非常に少ない容量の電源から動作する、デューティ・サイクルの低い低消費デバイスに電力を供給するため、DC/DCコンバータ自身の自己消費電力をできる限り少なくしなければなりません。

この低電流起動を可能にするため、以下の3つの条件が満たされるまで、LTC3129およびLTC3129-1から流れる電流はわずか2 μ Aです。シャットダウン時は更に少なくなります。

- RUNピンの電圧が1.22V (標準) を超える。
- V_{IN} ピンの電圧が1.9V (標準) を超える。
- V_{CC} (この電圧は V_{IN} を基に内部で生成されているが、外部から供給することも可能) が2.25V (標準) を超える。

これら3つの条件がすべて満たされるまで、デバイスは「ソフトシャットダウン」状態つまりスタンバイ状態のままであり、流れる電流はわずか2 μ Aです。

図1. 室内照明で動作する3.3V太陽光発電コンバータ



LTC3129-1は、最小の外付け部品点数で、広範囲の負荷および入力電圧にわたって高い効率で動作することができます。幅広い種類の電源で継ぎ目なく動作する柔軟性は、軍用無線などのきわめて重要なフィールド・アプリケーションで強みとなります。

からないことが保証されます。光源が不十分で負荷に電力を供給できないためにV_{OUT}が低下すると、LTC3129のPGOOD出力は“L”になり、負荷をコンバータ出力からバッテリーに切り替えるので、V_{OUT}はバッテリー電圧に維持されます。この間、コンバータの入力コンデンサと出力コンデンサは（一定の明るさがあれば）再充電が可能なので、PGOOD信号によって負荷をバッテリーからコンバータに周期的に戻すことができます。このように、負荷へは可能な限り太陽電池入力から電力が供給され、バッテリーは時分割方式のみ使用されるので、バッテリーの寿命が長くなります。

PGOODとV_{CC}の間に接続されているダイオードは、起動時にV_{CC}が有効（したがってPGOODも有効）になるまでPGOODを“L”に保持する目的で使用されます。

バックアップ・バッテリーの配置選択

前の例では、バックアップ・バッテリーは出力に配置されていました。軽負荷アプリケーションでは、この配置にするとバッテリー（内部抵抗が高く低容量のバッテリー）がコンバータの比較的高い起動入力電流バーストにさらされないという利点があります。電流バーストにさらされると、バッテリーの電圧が大幅に低下し、内部電力損失が大きくなって、ひいてはバッテリーの寿命が短くなるからです。

バックアップ・バッテリーをコンバータの出力に配置した場合のマイナス点は、バッテリーの電圧を目的の出力電圧によく一致させ、V_{OUT}を適度なレギュレーション状態に維持するために比較的平坦な放電曲線にする必要があることです。3Vのリチウム電池はこれらの必要条件を両方とも満たします。

バックアップ・バッテリーをコンバータの入力側に配置すると、バッテリーの電圧を目的の出力電圧とは異なる電圧にすることができますが、起動時や負荷トランジェント時にコンバータが流す大電流にバッテリーが耐えられる必要があります。入力側に使用する場合、長寿命アプリケーションには一般的に塩化チオニル・リチウム・バッテリーを選択するのが適しています。バックアップ・バッテリーは太陽電池とダイオードOR接続するか、図2と同様な方法でMOSFETスイッチを使用して入力と出力を切り替えることができます。

さまざまな入力電源で継ぎ目なく動作する5Vコンバータ

最小の外付け部品点数で、広範囲の負荷および入力電圧にわたって高い効率で動作するLTC3129-1の能力を図3に示します。この例では、VS1ピン～VS3ピンを使用して5Vに設定した出力に対して、5VのUSB入力、さまざまなバッテリー・オプション、または3V～15VのACアダプタから電力を供給できます。幅広い種類の電源で継ぎ目なく動作する柔軟性は、軍用無線な

どのきわめて重要なフィールド・アプリケーションで強みとなります。

LTC3129-1はスリープ・モードでのI_Qがわずか1.3μAと少ないので、内部帰還抵抗分割器の抵抗値が高いことと相まって、図4に示すように広範囲の負荷で高い効率を維持できます。わずか100μAの負荷電流で、効率はV_{IN}のほぼ全範囲にわたって約80%です。これは、大半の時間を低電力状態で費やすアプリケーションでバッテリーの寿命を延ばすために重要な機能です。

入力ステップ応答（V_{IN}が5Vから12Vへ階段状に変化したときの応答）を図5に示します。ここでは、重負荷と軽負荷の両方の条件でV_{OUT}を測定しています。負荷が200mAのとき、デバイスはPWMモードで動作しており、V_{OUT}のオーバーシュートはわずか150mV（3%）です。負荷が10mAのとき、デバイスはBurst Mode動作となり、バースト・リップルは100mV_{PK-PK}（2%）で、入力ステップによるV_{OUT}のオーバーシュートは100mV未満です。

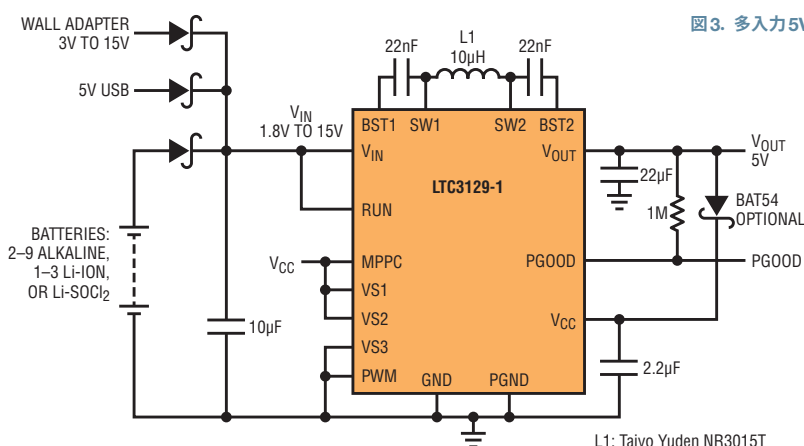


図3. 多入力5Vコンバータ

LTC3129およびLTC3129-1は、コンバータが V_{IN} を負荷状態での最小の電圧に（ユーザが設定したとおりに）サーボ制御できる最大電力点制御（MPPC）機能を内蔵しています。 V_{IN} を安定化すると、大電流の太陽電池や内部抵抗の高いその他の電源を使用しているアプリケーションでの電力の伝送が最適状態に維持されます。この機能により、電流制限されている電源でコンバータが動作している場合、コンバータが入力電圧を大きく変動させることを防止できます。

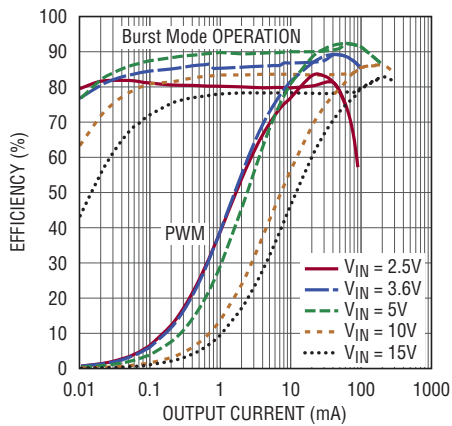


図4. 効率と図3の5Vコンバータの V_{IN} および負荷

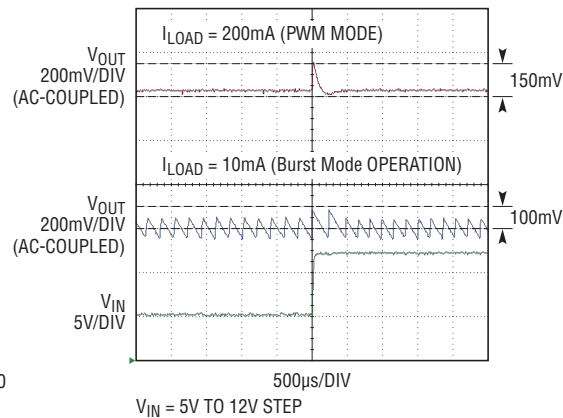


図5. 図3の5Vコンバータの入力トランジェント応答

V_{CC} ピンは、 V_{IN} を電源として公称3.9Vを生成し、デバイスに電力を供給する内部LDOの出力です。LDOは最大5Vまで外部から逆駆動できるように設計されています。この例では、 V_{OUT} と V_{CC} の間にオプションのブートストラップ・ダイオードを示してあります。

この外付けブートストラップ・ダイオードの追加には、利点が2つあります。まず、内部スイッチに供給するゲート駆動電圧を高くして、スイッチの $R_{DS(ON)}$ を低くすることにより、 V_{IN} が低く負荷電流が大きいときの効率が向上します。また、 V_{IN} が高く軽負荷のときは、 V_{CC} を生成するときに使用する内部LDOでの電力損失を減らすことにより、効率が向上します。（ V_{CC} ピンを6Vより高くすることはできないので、それより高い出力電圧にダイオード接続することはできません。）

ブートストラップ・ダイオードを追加する2番目の利点は、より低い V_{IN} から動作が可能になることです。起動後、（この場合は出力電圧によって） V_{CC} が最小値の2.2Vより高い電圧に保持されると、コンバータは固定値の内部 V_{IN}

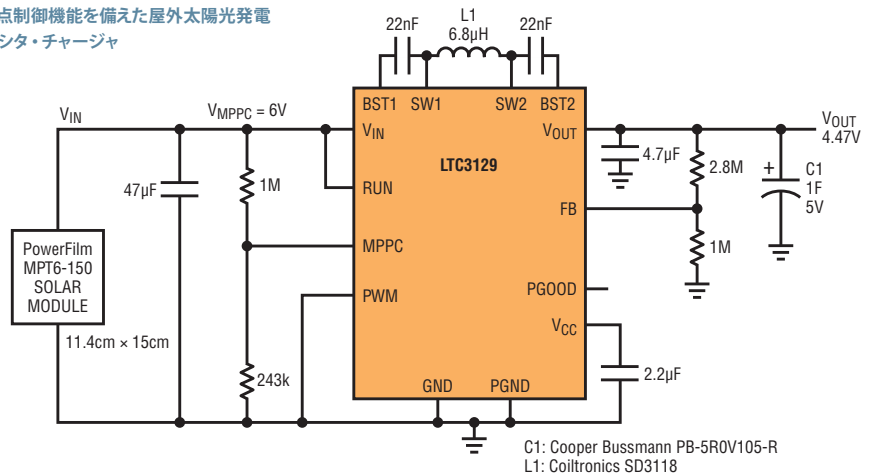
UVLOしきい値に達する低い入力電圧（最小1.75V）で動作できます。この機能により、使用可能電圧範囲が広がり、消耗した2個のアルカリ電池でも動作させることができます。電池の電圧が2.4Vより低く、コンバータがシャットダウン状態（または V_{OUT} が短絡状態）である場合は、ICを起動できないので注意してください。

MPPC機能を備えた屋外太陽光発電コンバータ/チャージャ

LTC3129およびLTC3129-1は、負荷状態での V_{IN} を、ユーザが設定した最小電圧にサーボ制御できる最大電力点制御（MPPC）機能を内蔵しています。 V_{IN} を安定化すると、大電流の太陽電池や内部抵抗の高いその他の電源を使用しているアプリケーションでの電力の伝送が最適状態に維持されます。この機能により、電流制限されている電源でコンバータが動作している場合、コンバータが入力電圧を大きく変動させることを防止できます。

MPPC制御ループは、コンバータによって要求された平均インダクタ電流を低減することによって動作するので、 V_{IN} を負荷状態での最小設定電圧に維持します。この電圧は、図6のスーパーキャパシタ充電例で示すように、 V_{IN} ピンとMPPCピンに接続されている外付け抵抗分割器を使用して設定します。MPPC制御ループは、最小入力容量である22 μ Fで安定するように設計されています。

図6. 最大電力点制御機能を備えた屋外太陽光発電スーパーキャパシタ・チャージャ



モノリシック昇降圧DC/DCコンバータであるLTC3129およびLTC3129-1は、実環境のワイヤレス・センサーやポータブル電子機器が必要とする非常に優れた低消費電力性能および電源の柔軟性を実現します。1.3μAの超低静止電流と高い変換効率により、環境発電と組み合わせて使用した場合、バッテリーの寿命を無制限に延長することができます。

MPPCによる制御状態でインダクタ電流が減少すると、出力が従来の負荷を駆動している場合には出力電圧低下の原因となります。したがって、MPPCを採用しているほとんどのアプリケーションでは、大容量の蓄電コンデンサを太陽電池から充電するか、バッテリーをトリクル充電することが必要です。MPPC機能により、可能な最大の電流でコンデンサまたはバッテリーが充電されることが保証される一方で、太陽電池はその最大電力点電圧で動作します。

LTC3129/LTC3129-1がMPPC制御状態のときはBurst Mode動作が抑制されており、ICは1.2MHzで絶え間なくスイッチングしているため、 V_{IN} の静止電流は数mAであることに注意することが重要です。したがって、約10mA以上の電流を供給できない電源と組み合わせて使用する場合、MPPCは適切ではありません。非常に弱い入力電源を使用してMPPCに似た機能が必要なアプリケーションでは、図1の例で説明したように、高精度のRUNピンしきい値を使用してUVLOしきい値を設定する必要があります。

MPPCを使用した本質的安全

MPPC機能は、本質的安全を目的として設計されたアプリケーションなど、入力電源とDC/DCコンバータの間に直列の電流制限抵抗を接続する他のアプリケーションに使用することができます。この場合には、特に出力コンデンサが充電される起動時にLTC3129/LTC3129-1が電流を流しすぎたり、入力電圧を大幅に変動させたりすることをMPPCループが防止します。この例を図7に示します。図7では、MPPCの抵抗分割器によって設定されたとおりに、入力電圧が最小3Vに維持されます。

この場合、入力コンデンサの値は安全のため（MPPCを使用する場合の推奨最小値である22μFより小さい）わずか10μFに制限されているので、補助のRC補償回路網をMPPCピンに追加してMPPCループの位相余裕を改善しています。

MPPCを使用した入力電流制限

MPPC機能は最大入力電流を所定の値に設定するために使用することができます。直列の入力抵抗値を選択し、MPPCの電圧を固定の入力電源電圧より低い値に設定することにより、最大入力電流は次式で得られる値に制限されます。

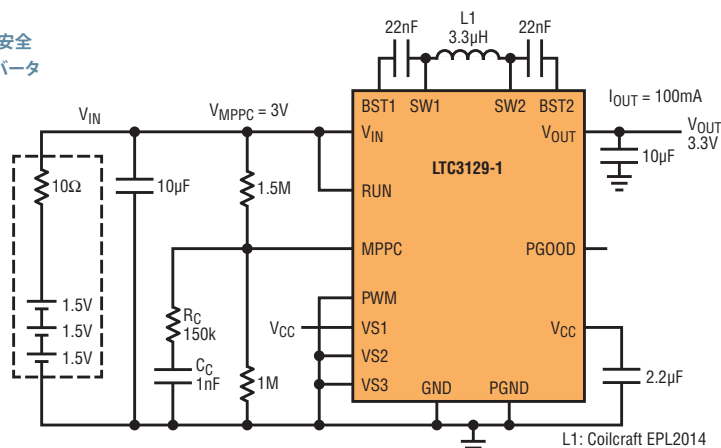
$$I_{IN} = \frac{V_{SOURCE} - V_{MPPC}}{R_{SERIES}}$$

まとめ

モノリシック昇降圧DC/DCコンバータであるLTC3129およびLTC3129-1は、実環境のワイヤレス・センサーやポータブル電子機器が必要とする非常に優れた低消費電力性能および電源の柔軟性を実現します。1.3μAの超低静止電流と高い変換効率により、環境発電と組み合わせて使用した場合、バッテリーの寿命を無制限に延長することができます。

最大電力点制御方式を選択することにより、幅広い種類の電源で電源性能を最適化できます。拡大しつつあるワイヤレス・モニタ・アプリケーションの適用範囲では、使いやすく、効率的で柔軟なDC/DC電力コンバータ・ソリューションが要求されます。LTC3129とLTC3129-1は、この課題に対する解決策を提供します。■

図7. MPPCを使用した本質的安全
アプリケーション向け3.3Vコンバータ



NOTE: R_C AND C_C HAVE BEEN ADDED FOR IMPROVED MPPC LOOP STABILITY WHEN USING AN INPUT CAPACITOR VALUE LESS THAN THE RECOMMENDED MINIMUM OF 22μF