

この号の内容

大電力LEDの駆動、太陽電池の安定化、バッテリーの充電に使用できる大電力コントローラ **8**

3.5V ~ 60Vの入力電圧 ( $V_{IN}$ ) で動作し、軽負荷時に高い効率を維持する、消費電流 ( $I_Q$ ) が  $40\mu A$  のコントローラ **12**

100%のデューティ・サイクルで動作するクワッド降圧レギュレータが180Vのサージ耐性を実現 **26**

## 大型の直列接続バッテリー・スタックの動作時間と寿命を延ばすアクティブ・セル・バランス

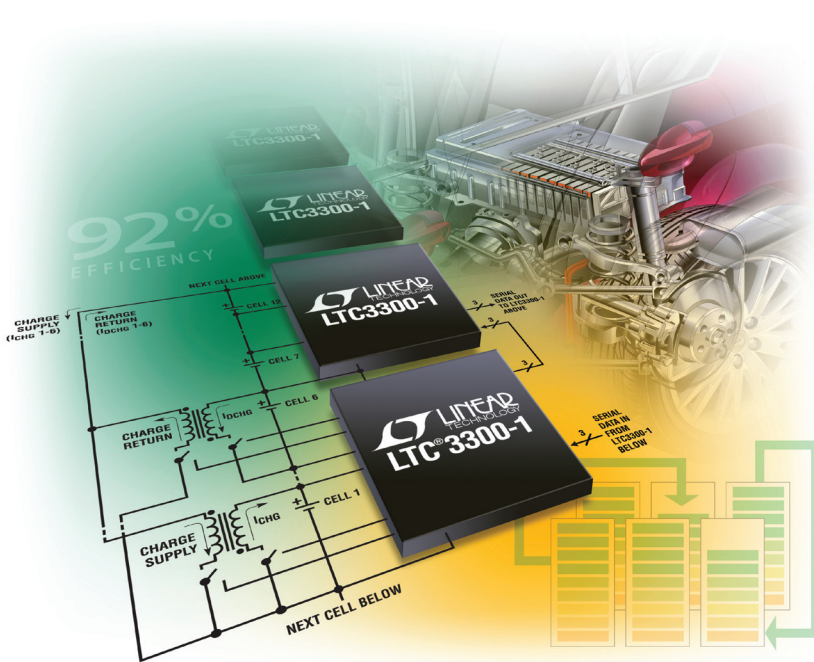
Jim Drew

大型の直列接続バッテリー・スタックは、電気自動車での電力供給や、風力、太陽光発電システムでのエネルギーの貯蔵等の用途でますます盛んに採用されてきています。電気自動車では100個のセルが直列に接続されていることも珍しくなく、代替エネルギー・システム用のエネルギー貯蔵装置ではさらに多くなります。通常、スタックは充放電システムによって一つのバッテリーとして扱われます。セルは直列スタックとして充電および放電され、各セルの充電状態 (SoC) は各セルの容量とリーク電流によって変わってきます。容量の揃ったセルで構成される

単一バッテリーとしてセル・スタックを扱っていると、最初はうまく機能するかも知れませんが、長い時間がたつと次第に効率が悪くなります。

バッテリー・スタックを最初に組み立てたとき、その構成セルの容量はよく揃っていますが、時間が経過すると、周囲温度の違いなどの要因により、個々のセルは異なる速度で容量を失っていきます。単純な充放電方式を採用した場合には、容量の最も少ないセル (最弱セル) によってスタックの動作時間が制限されます。スタックを充電すると、最弱セルはその他の強いセルより先に満充電電圧に達するので、強いセルは容量一杯まで充電されません。同様に、スタックを放電すると、最弱セルはカットオフ電圧に先に到達するので、動作時間が制限されます。

(4ページへ続く)



LTC<sup>®</sup>3300-1は、大型バッテリー・スタック内にある個々のセルの充電状態のバランスを調整し、容量を増やして、動作時間とスタックの寿命を長くします。

LTC3300-1は、マルチセル・バッテリー・スタックのトランス・ベースの双方向アクティブ・バランス調整を行う、フォルト保護機能を備えたコントローラICです。双方向のアクティブ・バランス調整では、スタックから低SoCセルへ電荷を転送することや高SoCセルからスタックへ電荷を転送することができます。このようにして、スタック全体の容量が改善されます。

(LTC3300-1、1ページからの続き)

スタックの容量とその動作時間は、スタック内部にあるセル間の充電状態をバランスさせることで改善できます。2つのLTC3300-1セル・バランスコントローラを使用した12セル・バランスの簡略化した回路図を図1に示します。

#### バッテリー・スタックの動作時間と寿命を改善する LTC3300-1

LTC3300-1は、マルチセル・バッテリー・スタックのトランス・ベースの双方向アクティブ・バランス調整を行う、フォルト保護機能を備えたコントローラICです。双方向のアクティブ・バランス調整では、スタックから低充電状態セルへ電荷を転送することや高充電状態セルからスタックへ電荷を転送することができます。このようにして、スタック全体の容量が拡大されます。

LTC3300-1単体では、最大6個の直列に接続されたセルをバランス調整することが可能で、その場合のコモンモード電圧範囲は最大36Vです。複数のLTC3300-1デバイスを直列に接続すると、直列に接続された長い列のセルのバランスを調整できます。独自のレベル・シフト式SPI互換シリアル・インタフェースにより、オプトカップラやアイソレータを使用せずに複数のLTC3300-1デバイスを直列に接続することができます。

スタックが充電されるにつれて、すべてのセルが満充電状態に達するまで、弱いセルは放電モードで動作し、強いセルは充電モードで動作します。同様に、放電時は、すべてのセルがカットオフ電圧に達するまで、弱いセルは充電モードで動作しますが、強いセルは放電モードで動作します。これにより、スタックの動作時間が長くなり、充電/放電サイクルの回数が減るので、スタック内にあるバッテリーの寿命が長くなります。

LTC3300-1では、複数のLTC3300-1デバイスを使用した場合でも、放電モードと充電モードのあらゆる組み合わせで個々のセル・バランスがすべて同時に独立して動作できます。たとえば、12セルのスタックの場合、2つのLTC3300-1デバイスを直列に接続すると、セル12を放電してセル1を充電することにより、1回のステップでセル12からセル1に電荷を移動することができます。セル間で電荷を移動する他の方法と比較すると、この1ステップ方式が最も高速で最も効率の高い方法です。1回のステップで、放電モードまたは充電モードの複数のバランスを動作させることができるので、バランス調整に要する時間を最短にすることが可能です。

LTC3300-1は、読み出し機能、CRCによる通信エラー検出、最大オン時間の設定による制限、セルまたはトランス2次側の過電圧遮断機能などのフォルト保護機能を内蔵しています。

LTC3300-1は、48ピンの7mm×7mm QFNパッケージまたはLQFPパッケージで供給されます。

#### LTC3300-1の応用方法

セル・バランスには、LTC3300-1によって制御されるバウンダリモードの同期フライバック・トランス・パワー段で構成されます。LTC3300-1の内部には、1次側および2次側のNMOSスイッチのゲートの制御と、それぞれのNMOSスイッチの電流センスを行うための6組の制御信号があります。

LTC3300-1で使用している命名規則は、トランスの1次側をバッテリー・セルの両端に接続し、トランスの2次側をデバイスのグラウンド・リファレンスとバッテリー・スタックの6セル以上高電位側の点の間に接続することとしています。1次側のゲート信号は次に電位の低いセルを基準にして

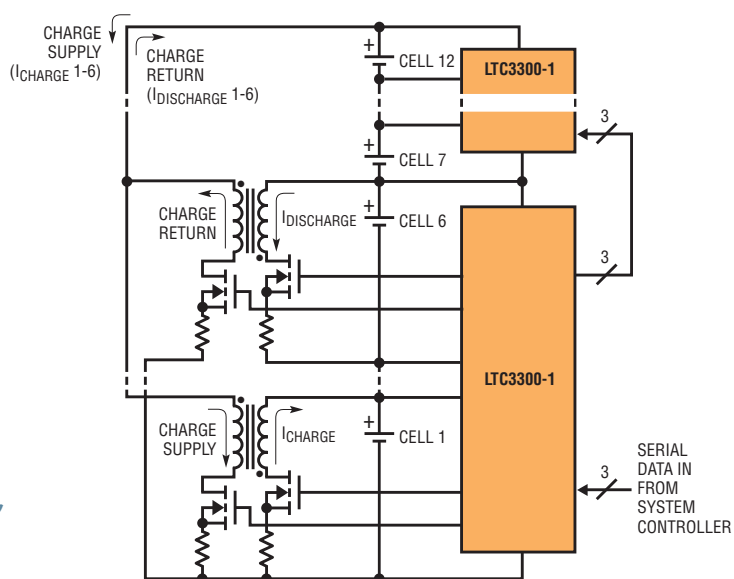


図1. 12セルのバッテリー・スタック内にある個々のセルのバランスをLTC3300-1がアクティブに調整する仕組みの簡略回路図

LTC3300-1では、複数のLTC3300-1デバイスを使用した場合でも、放電モードと充電モードのあらゆる組み合わせで個々のセル・バランサがすべて同時に動作できます。たとえば、12セルのスタックの場合、2つのLTC3300-1デバイスを直列に接続すると、セル12を放電してセル1を充電することにより、1回のステップでセル12からセル1に電荷を転送することができます。

いますが、2次側のゲートはICのグランド・リファレンス、つまりV<sub>放熱パッド</sub>を基準にしています。

放電モード(図2)の間は、1次側のNMOSが先にオンになり、電流センス電圧が50mVまで上昇するか、または1次側の最大オン時間設定値に達するまでオンのままです。フライバック・トランスの1次側で発生した磁束は、その後2次側へ伝達されます。2次側のゲート信号によって2次側のNMOSはオンになり、2次側の電流センス電圧が0mVまで低下するか、2次側の最大オン時間に達するまで、2次側のNMOSはオンのままです。LTC3300-1が放電モードを停止するよう指示されるか、ウォッチドッグ・タイマのタイムアウト、セルの低電圧状態(2.0V)、セルの過電圧状態(5.0V)、接続断に起因するトランス2次側の過電圧などのフォルトをLTC3300-1が検出するまで、このサイクルは繰り返されます。

充電モード(図3)の間は、2次側が先にオンになり、2次側の電流センス電圧が50mVまで上昇するか、または2次側の最大オン時間設定値に達するまでオンのままです。フライバック・トランスの2次側で発生した磁束は、その後1次側へ伝達されます。1次側のゲート信号によって1次側のNMOSはオンになり、電流センス電圧が0mVまで低下するか、1次側の最大オン時間に達するまで、1次側のNMOSはオンのままです。LTC3300-1が充電モードを停止するよう指示されるか、ウォッチドッグ・タイマのタイムアウト、セルの低電圧状態(2.0V)、セルの過電圧状態(5.0V)、接続断に起因するトランス2次側の過電圧などのフォルトをLTC3300-1が検出するまで、このサイクルは繰り返されます。

バランス調整電流の平均値は、電流センス抵抗(R<sub>SENSE(PRI)</sub>およびR<sub>SENSE(SEC)</sub>)、フライバック・トランスの1次側と2次側との巻数比(1:T)、

2次側スタック内部のセルの数(S)、およびパワー一段の伝達効率(η)の値によって決まります。

$$R_{SENSE(PRI)} = \frac{50mV}{2 \cdot I_{DISCHARGE}} \cdot \frac{S}{S+T}$$

$$R_{SENSE(PRI)} = \frac{50mV}{2 \cdot I_{CHARGE}} \cdot \frac{S \cdot T}{S+T} \eta_{CHARGE}$$

フライバック・トランスの巻数比は、2次巻線両端間にあるセルの数と、1次側および2次側のNMOSスイッチにおける最大フライバック電圧に基づいて選択します。2次側が12セルの場合は、1次側と2次側との巻数比を1:2にすると、2つのNMOSスイッチにかかる電圧と伝達効率との間のバランスが良くなります。2次側巻線にあるセルの数が多い場合は、高い巻数比を選択することにより、伝達効率を高くして、NMOSスイッチにかかる電圧を適切な値に抑えることができます。

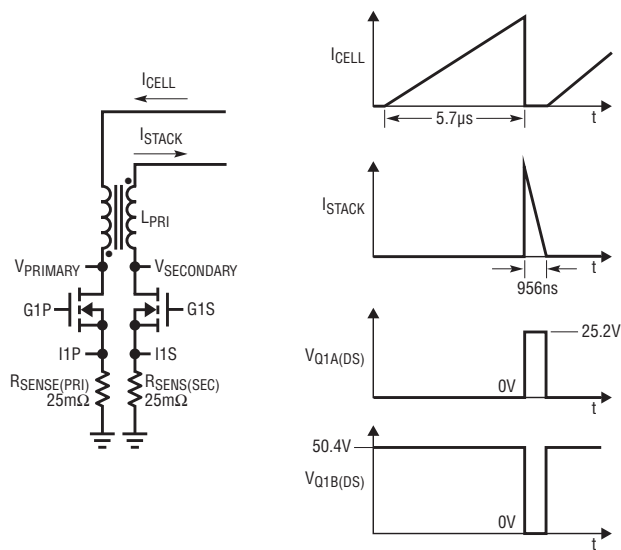


図2. スタック内の1つのセルの放電モード

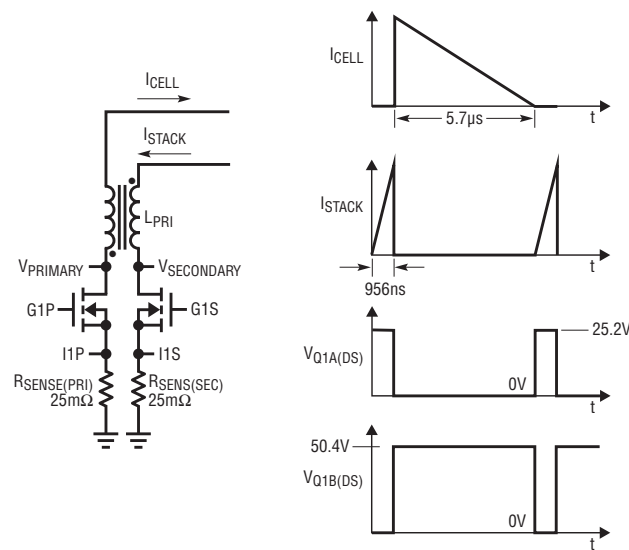


図3. スタック内の1つのセルの充電モード

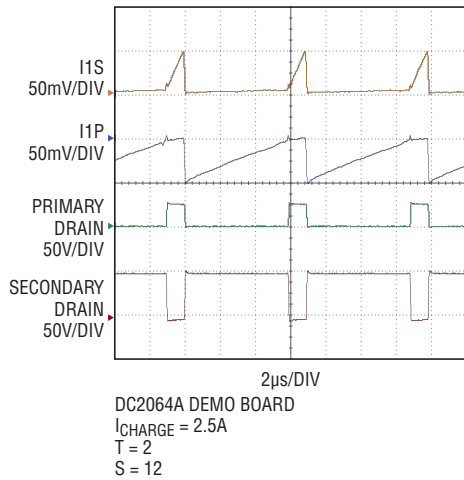


図4. デモ回路DC2064Aでの標準的な充電モード波形  
(バランス電流が2.5Aの場合)

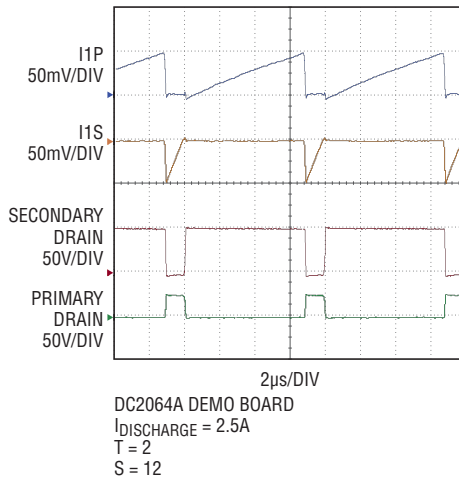


図5. デモ回路DC2064Aでの標準的な放電モード波形  
(バランス電流が2.5Aの場合)

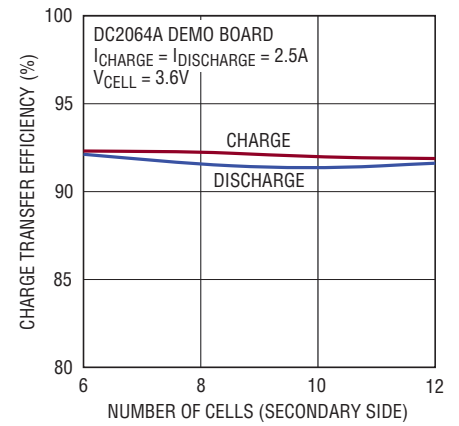


図6. セル・バランスの効率とトランスの2次巻線の両端に接続されたセルの数

電流センス抵抗の値とトランスの巻数比を決定すると、フライバック・トランスの1次側インダクタンスを決めることができます。このためには、動作周波数を設定する必要があります。動作周波数は、セル電圧、電流検出抵抗、1次側のインダクタンス、スタック内にあるセルの数、およびトランスの巻数比の関数です。システム内に存在する他の回路への干渉を抑え、高い伝達効率と適度な回路部品サイズを両立させるため、動作周波数は一般に約150kHzに設定されます。この計算では、公称のセル電圧を使用します。

$$L_{PRI} = \frac{S}{S+T} \cdot \frac{V_{CELL} \cdot R_{SENSE(PRI)}}{f_{DISCHARGE} \cdot 50mV}$$

$$L_{PRI} = \frac{S}{S+T} \cdot \frac{V_{CELL} \cdot R_{SENSE(SEC)}}{f_{CHARGE} \cdot 50mV \cdot T}$$

ほとんどの設計では、充電および放電の平均電流は等しい値に設定され、そのためには  $R_{SENSE(SEC)} = R_{SENSE(PRI)} \cdot T$  であることが必要です。

結果として、充電時と放電時の周波数は等しくなります。動作周波数はセル電圧に比例することに注意してください。つまり、セル電圧が10%シフトすると、動作周波数も10%シフトします。

NMOSスイッチを選択する際には、バランス調整電流のピーク値とドレイン-ソース間のオフ電

圧を考慮に入れます。ドレイン-ソース間のオフ電圧は以下の式を使用して推算することができます。

$$V_{DS(PRI)MIN} > V_{CELL} \cdot \left(1 + \frac{S}{T}\right) + \frac{V_{DIODE}}{T}$$

$$V_{DS(SEC)MIN} > V_{CELL} \cdot (S+T) + T \cdot V_{DIODE}$$

実際の設計では、リーケージ・インダクタンスによるリングングに起因する電圧スパイクを考慮して、MOSFETのブレイクダウン電圧定格をこの計算値より20%高くします。アプリケーションによっては、抵抗とコンデンサを直列に接続したスナバ回路をNMOSスイッチのドレインとソースの間に並列に接続して、リングングを低減することが必要な場合があります。これらのスナバ回路は伝達効率を低下させる場合がありますが、NMOSデバイスをその安全動作領域内に維持します。

考慮が必要なその他のNMOSパラメータは、全ゲート電荷 ( $Q_G$ ) および  $R_{DS(ON)}$  です。全ゲート電荷と動作周波数の積により、1次側と2次側のゲート・ドライバのゲート駆動能力の条件が決まります。セル1~5の1次側ゲート駆動電源は、選択したセルより電位の高いセルになります。セル6の1次側ゲート駆動電源は昇圧回路で、この回路はC6からエネルギーを受け取りま

す。6つの2次側ゲート・ドライバの電源は、すべて  $V_{REG}$  回路になります。6つのバランスがすべて動作している場合、2次側ゲート・ドライバは次式に示す負荷電流を  $V_{REG}$  から流します。

$$I_{V(REG)} = 6 \cdot Q_G \cdot f$$

この結果、電力損失は次のようになります。

$$P_{V(REG)} = (V_{C6} - V_{REG}) \cdot I_{V(REG)}$$

1次側ゲート・ドライバによるLTC3300-1の電力損失は次のとおりです。

$$P_{PRI(DRIVE)} = 2 \cdot V_{CELL} \cdot 6 \cdot Q_G \cdot f$$

1次側と2次側の個々のゲート駆動電流は4mA未満に制限することが必要です。

2次側が12セルでトランスの巻数比が1:2の2.5Aのセル・バランスの標準的な充電モード波形を図4に示します。1次側インダクタンスは3µH、 $R_{SENSE(PRI)}$  は8mΩ、 $R_{SENSE(SEC)}$  は16mΩ、セル電圧は3.6Vです。同じセル・バランスを放電モードで動作させた場合を図5に示します。さまざまな数のセルが2次側に接続されている場合のセル・バランスの効率を図6に示します。

## 18セル構成での2次巻線の交互配線

LTC3300-1の2次巻線をインターリーブ配線することにより、大型のバッテリー・スタックに対応できます。3つのLTC3300-1 ICをSPI互換シリアル・インタフェースを介して直列に接続した18セル・スタックを図7に示します。下側のLTC3300-1のトランスの2次巻線は(セル1)の一極と(セル12)の+極の間に接続されていますが、中央のLTC3300-1のトランスの2次巻線は(セル6)の+極と(セル18)の+極の間に接続されています。上側のLTC3300-1のトランスの2次巻線は、6つのセル、つまり(セル12)の+極と(セル18)の+極の間に接続されています。

下側の2つのデバイスでは、BOOSTピンがV<sup>-</sup>ピンに結線され、BOOST<sup>+</sup>ピンが、それぞれのC6ピンに接続されているセルより電位の高いセルに接続されています。上側のLTC3300-1のBOOSTピンはV<sub>REG</sub>ピンに接続されています。

また、BOOST<sup>-</sup>ピンとBOOST<sup>+</sup>ピンの間にフライング・コンデンサ接続されているのに加えて、6.8Ωの抵抗とダイオードを直列にしたものがBOOST<sup>+</sup>ピンとセル6の間に接続されています。下側のLTC3300-1のV<sub>MODE</sub>ピンはそのV<sub>REG</sub>ピンに接続されていますが、それ以外のデバイスのV<sub>MODE</sub>ピンはそれぞれのV<sup>-</sup>ピンに接続されています。

## まとめ

LTC3300-1は、トランスを用いた双方向の方式を使用して、直列に接続されたマルチセルのバッテリー・スタック内にある個々のセルの充電状態をアクティブにバランスさせます。アクティブなバランス調整により、バッテリーの動作時間が長くなり、その結果バッテリーの寿命が長くなります。LTC3300-1は、48ピンのQFNパッケージまたはLQFPパッケージにゲート駆動回路と堅牢なシリアル・インタフェースを集積しており、ウォッチドッグ・タイマ、低電圧および過電圧保護回路を内蔵しています。各LTC3300-1は最大6つのセル・バランスを制御する一方で、SPI互換のシリアル・インタフェースを使用して複数のLTC3300-1 ICを直列に接続することにより、さらに大型のバッテリー・スタックに対応できます。

データシート、デモ基板、その他のアプリケーション情報については、[www.linear-tech.co.jp/LTC3300-1](http://www.linear-tech.co.jp/LTC3300-1)をご覧ください。■

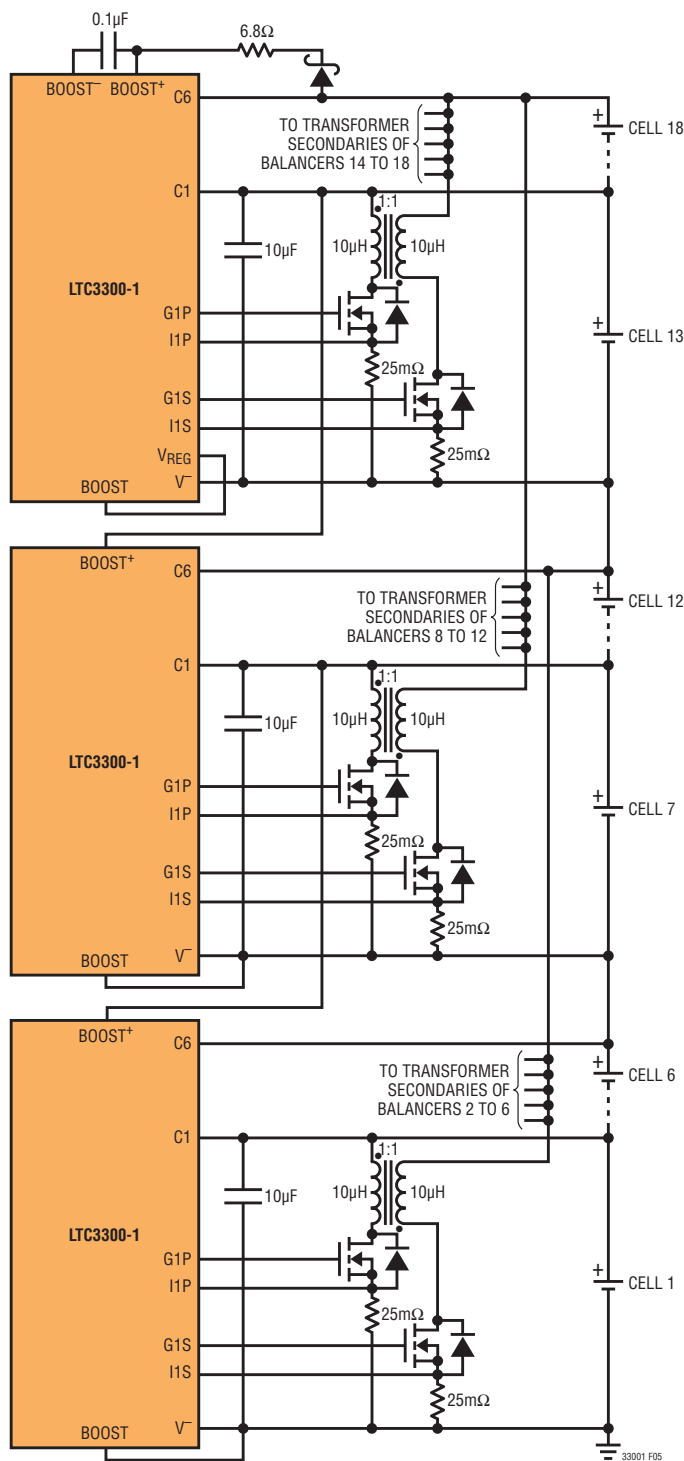


図7. 18セルのアクティブ・バランス