

この号の内容

スイッチング・レギュレータと5つの
1.1A LDOを一体化した μ Module[®]
レギュレータ **12**

高分解能 A/D コンバータを駆動する
完全差動オペアンプ **14**

CISPR クラス5に適合する Silent
Switcher[™] レギュレータ **25**

高速 A/D コンバータのサンプリング
時トランジェント **34**

古くからの問題を解決する 新しいリニア・レギュレータ

Bob Dobkin

リニア・レギュレータのアーキテクチャは、1976年に3端子のフローティング型電圧レギュレータが導入されてから事実上変わっていません。アーキテクチャは、フローティング・アーキテクチャ (LT317) か、出力からアンプへの帰還経路を持つアンプ・ループのいずれかに落ち着いています。これらのアーキテクチャは、レギュレータの汎用性、レギュレーション、精度を本質的に制限します。2007年に、リニアテクノロジーはLT[®]3080をリリースしました。このとき、汎用性を広げ、性能を大幅に向上して、容易な並列動作を可能にしたリニア・レギュレータの新しいアーキテクチャを導入しました。

LT3081は、この新種のリニア・レギュレータの1つで、特に産業用アプリケーション向けの広い安全動作領域を特長としています。

以前のやり方

以前のリニア・レギュレータ・アーキテクチャ (図1) では、帰還抵抗によって出力電圧を設定し、アンプへの帰還信号を減衰させます。この方式では、出力でのレギュレーション精度は出力電圧のパーセント値の関数なので、パーセント値の精度が維持されている場合でも、レギュレーションの絶対精度 (単位: V) は出力電圧が高くなるにつれて低下します。レギュレータの帯域幅も電圧に応じて変化します。ループ利得が減少するにつれて、出力電圧が高いときの帯域幅が狭くなるので、トランジェント応答が比較的低速になり、リップルが大きくなります。

(4ページへ続く)



LT3081は新種のリニア・レギュレータの1つで、特に産業用アプリケーション向けの広い安全動作領域を特長としています。

LT3081は、安全動作領域（SOA）の広い産業用レギュレータです。LT3081は1.5Aの出力電流を供給し、出力電圧をゼロまで調整可能で、逆電圧保護回路があり、温度と出力電流のモニタ出力を備えています。さらに、デバイスに外付け抵抗を接続することにより、電流制限値を調整できます。

（LT3081、1ページからの続き）

さらに、図1に示すアーキテクチャでは、電流制限値がIC内部で固定されるので、別のデバイスか異なる値の出力電流が必要です。正確な電流制限が必要な場合は、外部回路を追加して電流制限値をアプリケーションに適合させる必要があります。

新しいやり方

2007年に、リニアテクノロジーはLT3080をリリースしました。このとき、リファレンスとして電流源、出力アンプとして電圧フォロワを特長としたリニア・レギュレータの新しいアーキテクチャを導入しました。この新しいアーキテクチャには、レギュレータの容易な並列接続による出力電流の増大や出力電圧がゼロに低下するまでの動作など、いくつかの利点があります。出力アンプは常に単位利得で動作するので、帯域幅と絶対的なレギュレーションは出力電圧範囲全体にわたって一定です。トランジェント応答は出力電圧とは無関係であり、レギュレーションは出力のパーセント値ではなくmV単位で規定できます。

このアーキテクチャに基づくレギュレータ・ファミリとその主な特長を表1に示します。これらのレギュレータは、さまざまな出力電流バリエーションがあることの他に、特に以前はリニア・レギュレータで実現できなかった機能を追加することを目的として設計されています。温度、電流、および電流制限の外部制御用のモニタ出力があります。サーマル・シャットダウンの外部制御回路を備えたデバイス（LT3086）もあります。新しい負電圧レギュレータにはモニタ機能があり、フロート・レギュレータまたはLDOとして動作できます。これらの新しいレギュレータはすべて並列接続して電流供給能力を増強し、バランスのとれた電流分担を実現して、熱を拡散することができます。

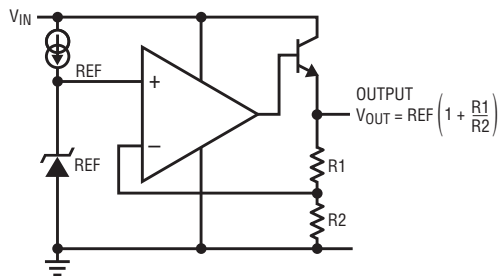


図1. 従来のリニア・レギュレータのアーキテクチャは、汎用性、レギュレーション、精度に制限があります。

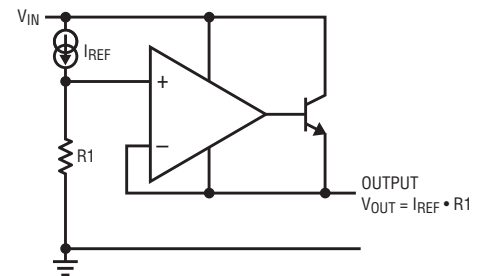


図2. 新しいリニア・レギュレータのアーキテクチャは、高精度電流源リファレンスを内蔵しています。これにより、レギュレーションとトランジェント応答が古いアーキテクチャより改善されます。出力電圧をゼロまで低下させることが可能になりました。出力電流を増加する並列接続とユーザ定義の電流制限が簡単になりました。

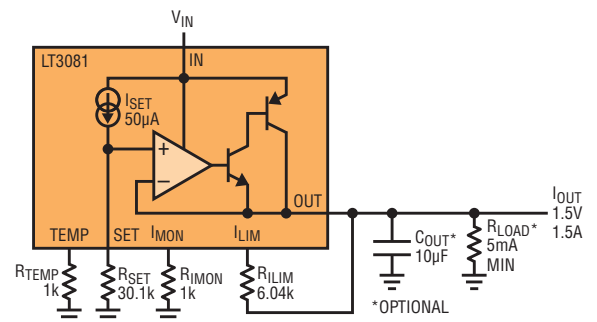
安全動作領域の広いLT3081産業用レギュレータ

LT3081は、安全動作領域（SOA）の広い産業用レギュレータです。LT3081は1.5Aの出力電流を供給し、出力電圧をゼロまで調整可能で、逆電圧保護回路があり、温度と出力電流のモニタ出力を備えています。さらに、デバイスに外付け抵抗を接続することにより、電流制限値を調整できます。LT3081の基本的な接続図を図3に示します。

温度と電流のモニタ出力

温度と電流のモニタ出力は、 V_{OUT} より0.4V高い電圧から V_{OUT} より40V低い電圧まで動作するように設定された電流源です。温度モニタ出力は $1\mu A/^{\circ}C$ であり、電流モニタ出力は $I_{OUT}/5,000$ です。これらの電流源は、一方がグランドに接続されている抵抗を電流源と直列に接続して、抵抗の両端の電圧を読み取ることによって測定します。電流源は出力が短絡した場合でも動作し続ける必要があります。モニタ出力のダイナミックレンジは出力電圧より400mV高いので、出力が短絡した場合や出力を0Vに

図3. LT3081を使用した基本的なレギュレータ



これまでのレギュレータのようにブートストラップ・リファレンスではなく内部の高精度電流源を基準として使用することのメリットは、自明ではないですが、実際には大きいのです。高精度リファレンス電流源により、レギュレータは正入力インピーダンスに依存しない利得と周波数応答を得ることができます。

設定した場合も温度と電流を引き続き測定できます。1kの抵抗を使用すれば十分な余裕が得られるので、出力が短絡した場合の動作を保証できます。

1本の抵抗で出力電圧を設定

出力は、SETピンとグラウンドの間の抵抗と出力へ設定された50 μ Aの高精度電流源を使用して設定します。内部のフォロワ・アンプにより、出力電圧は強制的にSETピンと同じ電圧になります。LT3081のユニークな特徴として、出力コンデンサが必須ではありません。このレギュレータは、入力コンデンサおよび出力コンデンサの有無にかかわらず安定しています。内部動作電流はすべて出力ピンを流れ、レギュレーションを維持するには最小負荷が必要です。ここでは、デバイスを完全なレギュレーション状態に維持するため、あらゆる出力電圧で5mAの負荷が必要です。

設定抵抗は、システムの温度ドリフトを増やす可能性があります。商品化されている表面実装抵抗は、温度係数の幅が広範囲にわたります。メー

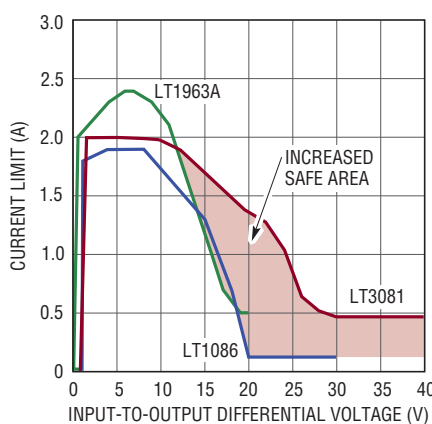


図4. 安全動作領域の性能比較

力にもよりますが、100ppmから500ppmを超える値まであります。レギュレータ内部の電力損失によって抵抗が加熱されることはありませんが、周囲温度範囲が広いとレギュレータの温度係数によって出力は1%~4%変化する可能性があります。温度係数の小さい薄膜抵抗が高精度アプリケーション向けに供給されています。

リファレンスとしての内部電流源の利点

これまでのレギュレータのようにブートストラップ・リファレンスではなく内部の高精度電流源を基準として使用することのメリットは、自明ではないですが、実際には大きいのです。高精度のリファレンス電流源により、レギュレータは正入力インピーダンスに依存しない利得と周波数応答を得ることができます。LT1086など、以前のすべての可変レギュレータでは、ループ利得と帯域幅が出力電圧の変動によって変化します。調整ピンをグラウンドにバイパスした場合も帯域幅は変化します。LT3081では、ループ利得が出力電圧やバイパスによって変化しません。出力のレギュレーションは、出力電圧に対する一定の比率ではなく、mV単位の固定値で表されます。高精度電流源を使用すると、バッファ・アンプでの利得はすべてレギュレーションのために利用可能であり、リファレンスを高い出力電圧に増幅するために利得を使う必要はありません。

表1. 最新のアーキテクチャを備えたりニア・レギュレータ

デバイス	出力電流	I _{SET}	調整可能な電流制限/ 電流モニタ	温度モニタ	LDO	注釈
LT3080	1.1A	10 μ A	なし/なし	なし	あり	
LT3081	1.5A	50 μ A	あり/あり	あり	なし	出力コンデンサ省略可能
LT3082	200mA	10 μ A	なし/なし	なし	なし	
LT3083	3A	50 μ A	なし/なし	なし	あり	
LT3085	600mA	10 μ A	なし/なし	なし	あり	
LT3086	2.1A		あり/あり	あり + 温度制限	あり	
LT3090	600mA	-50 μ A	あり/あり	あり	あり	負電圧レギュレータ
LT3092	200mA	10 μ A	なし/なし	なし	なし	電流源動作では出力コンデンサ不要

LT3081は安全動作領域を広げているので、入出力間電圧差が25Vのとき1Aに近い出力電流を供給できます。25Vを超えても、引き続き500mAを供給可能です。これにより、入力電圧が動作中に大きく変動するアプリケーションでレギュレータを使用することができます。

広い安全動作領域

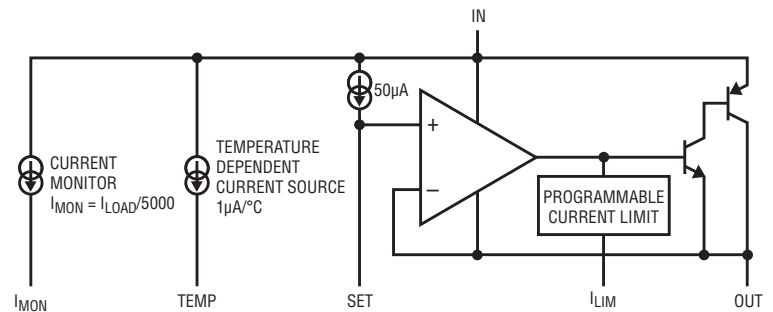
産業用アプリケーションでは、広い安全動作領域が必要です。安全動作領域 (SOA) は、入出力間電圧差が大きいときに大電流を流すことができる能力を表します。いくつかのレギュレータの安全動作領域を図4で比較します。

1980年代半ばに市場に投入されたLT1086は1.5Aのレギュレータですが、入出力間電圧差が20Vを超えると出力電流が非常に少なくなります。20Vより高いと、供給される出力電流はわずか約100mAです。このため、負荷電流が100mAより多いと出力電圧は非安定化状態になり、入力にトランジェントが入ると高電圧時の電流制限値を超えてしまいます。LT1963Aは低ドロップアウト・レギュレータですが、やはり安全動作領域は限られています。

LT3081は安全動作領域を広げているので、入出力間電圧差が25Vのとき1Aに近い出力電流を供給できます。25Vを超えても、引き続き500mAを供給可能です。これにより、入力電圧が動作中に大きく変動するアプリケーションでレギュレータを使用することができます。広い安全動作領域は、PNPパス・デバイスの構造を広くすることで得られます。また、LT3081は(負荷の他に)逆入力電圧に対して保護されています。

LT3081のブロック図を図5に示します。電流源が3つありますが、うち2つは出力電流と温度を通知し、3つ目は50 μ Aのリファレンス電流を供給します。LT3081は低ドロップアウト・レギュレータではありませんが、デバイスに印加される電圧が1.2Vまで低下しても動作します。この値は、LT1086などの古いデバイスよりわずかに優れています。

図5. LT3081のブロック図



入力コンデンサと出力コンデンサが不要

内部アンプの構成と、十分に安定化された内部バイアス電源との組み合わせにより、LT3081は外付けコンデンサなしで安定することができます。1つ注意事項があります。入力および負荷で可能性のあるすべてのインピーダンスを許容できるように設計することは不可能なので、使用する実際のシステムで安定性をテストすることが重要です。不安定性が見つかった場合は、コンデンサを外付けして、あらゆる出力電流でデバイスが安定していることを確認します。コンデンサを外付けすると、トランジェント応答も改善されます。トランジェント応答が内部アンプの帯域幅によって制限されなくなるからです。

デバイスの並列接続による電流の増加

デバイスの並列接続は、以前のレギュレータでは電流を分担しないので通常は禁止されていますが、これらの新しい電流源リファレンス・レギュレータでは容易です。並列接続は出力電流を増やしたり熱を拡散したりするのに役立ちます。このデバイスは電圧フォロウとして構成されているので、すべてのSETピンを互いに結線すると出力電圧が同じになります。出力が同じ電圧の場合、わずか数ミリオームの安定抵抗により、複数の出力で電流を分担できるようになります。

LT3081のオフセット電圧の分布を図6に示します。分布範囲は1mV以内なので、10%の配分を確保するために必要な安定抵抗は10m Ω 未満です。安定抵抗はプリント回路基板上の1インチのトレースまたは1本の短い導線より抵抗値を小さくすることができるので、並列デバイスから良好な電流バランスが得られます。出力が1Vの場合でも、安定抵抗によるレギュレーション性能の低下はわずか1.5%程度です。プリント回路基板の抵抗を表2に示します。

2つのLT3081を並列接続して3A出力を得る回路図を図7に示します。設定抵抗に流れる設定電流が2倍になったので、出力は100 μ Aに R_{SET} を掛けた値になり、10m Ω の出力抵抗で最大電流時の安定化が確保されます。電流を増や

図6. オフセット電圧の分布

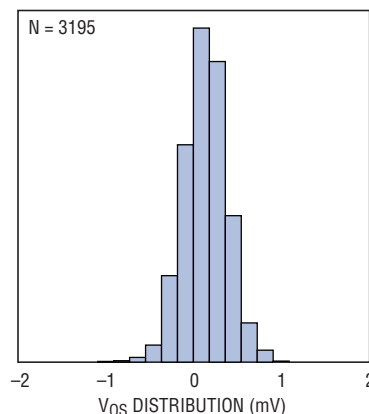


表2. プリント回路基板のトレース抵抗

重さ (オンス)	幅 10ミル	幅 20ミル
1	54.3	27.1
2	27.1	13.6

トレース抵抗は $\text{m}\Omega/\text{インチ}$ で測定

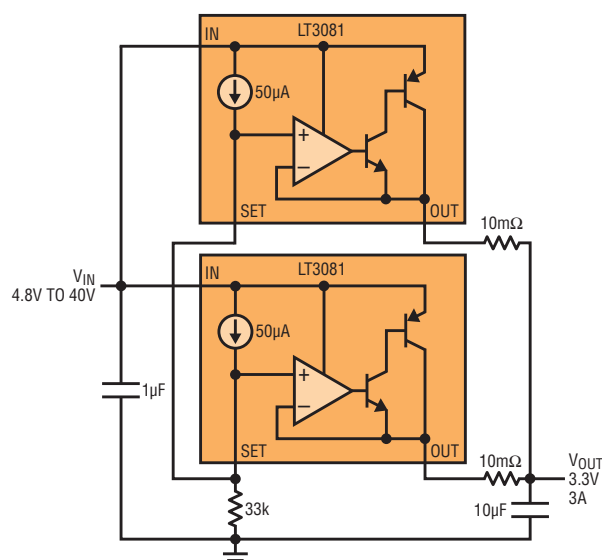
すために並列接続できるデバイスの数に制限はありません。Iピン（を使用する場合）は並列接続できるので、1本の抵抗で電流制限値を設定できます。

固定電圧レギュレータと並列接続したLT3081を図8に示します。この方法は、設計したシステムから十分な出力電流が供給されない場合に役立ちます。これにより、出力電流を増やすための応急処置を講じることができます。固定電圧デバイスの出力電圧は、抵抗分割器によってほんの数mVだけ低下します。LT3081のSETピンは、固定出力電圧より約4mV低い電圧に接続されます。これにより、無負荷状態ではLT3081から電流が流れないことが確実にになります。すると、 $20\text{m}\Omega$ の抵抗はこのオフセットを解消するのに十分な安定抵抗となるので、出力電流が大きいときは電流の整合が確実にになります。

レイアウトに関する検討事項

$50\mu\text{A}$ 電流源を使ってリファレンス電圧を発生させる場合、SETピンとの間のリーク経路のために、リファレンス電圧と出力電圧の誤差が生じることがあります。フラックスやその他の残留物を除去するため、すべての絶縁表面を洗浄するこ

図7. デバイスの並列接続

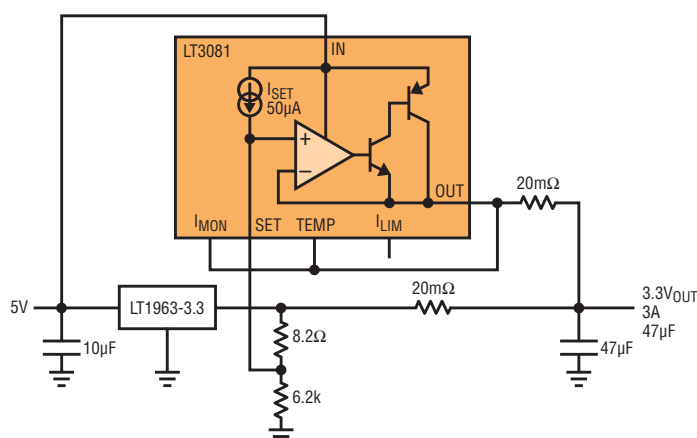


とが必要です。湿度の高い環境では、湿気を防ぐために適宜、表面をコーティングする必要があります。SETピンと回路を、OUTピンに接続したガードリングで取り囲んで、基板の漏れ電流を最小限に抑えます。ここで示すように設定電流を増やすと、スプリアスの漏れによる影響も減少します。

SETピンの電流は $50\mu\text{A}$ と低電流なので、アプリケーションによっては問題が生じることがあります。値の大きい炭素皮膜型可変抵抗器は、値の小さい巻線型ほど安定しません。基板の漏れ電流も出力の不安定性を招きます。設定電流を公称値の $50\mu\text{A}$ より大きくすれば、問題を最小限に抑えることができます。

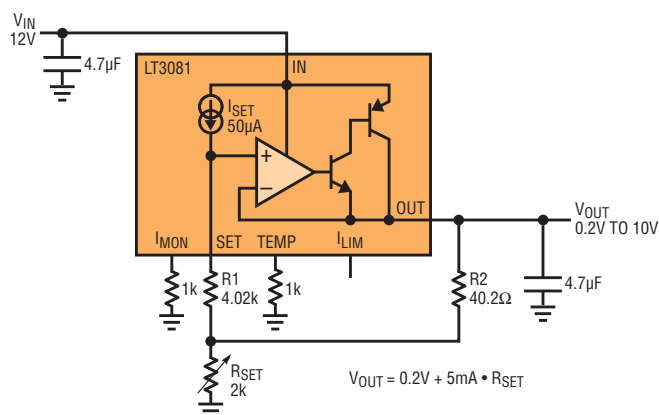
値の小さい設定抵抗を使用した解決策を図9に示します。この場合、 R_2 を流れる電流がSETピンの電流と合流して、出力を調整するためのより大きな電流を供給します。SETピンの電流は $4\text{k}\Omega$ の抵抗 R_1 を流れるので、 R_1 の両端に 200mV が発生します。その後、 R_2 を流れる電流がSETピンの電流と合流し、合計 1.05mA の電流が I_{SET} からグランドへ流れます。これにより、出力電圧が R_{SET} 周辺の漏れ電流の影響を受けにくくなります。 R_2 を出力に直接ケルビン接続する場合は注意が必要です。出力から R_2 までの電圧降下はレギュレーションに影響します。

図8. 固定電圧レギュレータの出力電流の増大



LT3081は、負荷変動および入力変動に対するレギュレーション精度が従来のデバイスと比較して1桁良好な新しいリニア・レギュレータ・ファミリの1つです。mV単位で測定されるレギュレーションおよびトランジェント応答は、出力電圧に関係なく維持されるようになりました。

図9. 値の小さい設定抵抗の使用



別の構成では、LT3092を1mAの電流源として使用します。この構成では設定電流が増加するとともに、出力を0Vまで調節できます。LT3081に電流リファレンスを供給するために使用しているLT3092電流源を図10に示します。1mAの生成リファレンス電流により、調整用設定抵抗の値を大幅に小さくできる一方で、デバイスの出力電圧を0Vまで調節できます。

図11に示すように、電流モニタ出力を使用して配線の電圧降下を補償することができます。電流モニタからの電流を設定抵抗の一部に流すと、SETピンの電圧が上昇することにより、電流に比例した分だけ出力電圧が上がります。補償抵抗の値は $R2 = 5000 \cdot R_{CABLE(TOTAL)}$ であり、 $V_{OUT} = 50\mu A \cdot (R_{SET} + R_{COMP})$ です。数Vの配線電圧降下はこうして補償できます。

図10. 外部リファレンス電流の使用

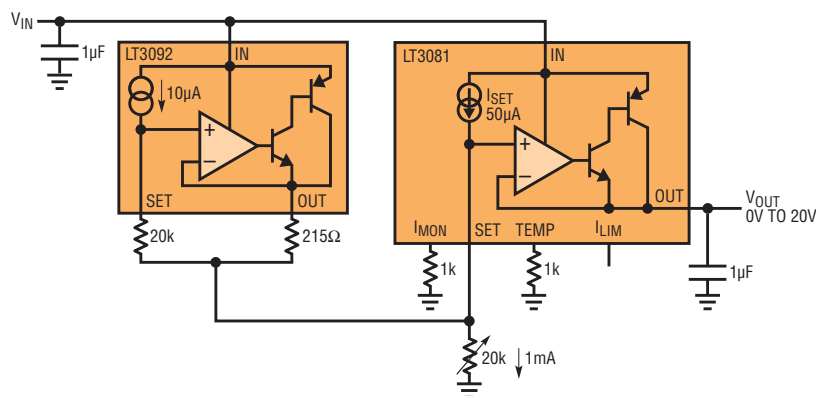
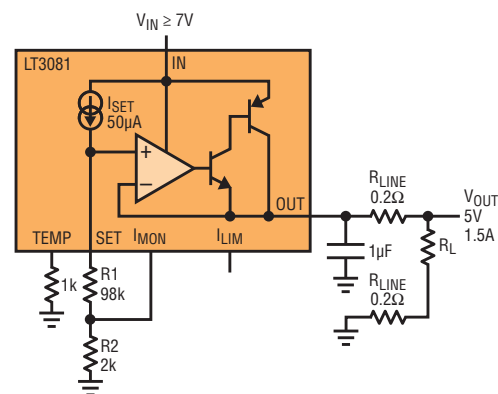


図11. 電流モニタ出力を使用した配線電圧降下の補償



まとめ

LT3081は、負荷変動および入力変動に対するレギュレーション精度が従来のデバイスと比較して1桁良好な新しいリニア・レギュレータ・ファミリの1つです。mV単位で測定されるレギュレーションおよびトランジェント応答は、出力電圧に関係なく維持されるようになりました。

これらの新しいレギュレータは以前の世代よりはるかに堅牢で汎用性があるので、以前は実現できなかった機能を実現しています。温度モニタ、電流モニタ、調整可能な電流制限が追加されました。これらの新しいレギュレータの並列接続では、電流のバランスを取るための外部電流平衡回路が不要になりました。配線の電圧降下は簡単に補償できます。電流制限しきい値はユーザー定義となり、以前のレギュレータでは固定値だったのとは対照的で、出力は0Vまで調整可能です。特に、LT3081は安全動作領域が広いので、入力電圧振幅が広い場合も問題なく負荷電流をサポートします。■