

1.4A、500kHz降圧 スイッチング・レギュレータ

特長

- 広い入力範囲:3.6V~36V
- 全入力範囲で短絡保護
- 1.9Aの最小スイッチ電流を保証
- 10V~36V入力から5V/1.4Aを出力
- 7V~36V入力から3.3V/1.4Aを出力
- 6.3V~36V入力から5V/1.2Aを出力
- 4.5V~36V入力から3.3V/1.2Aを出力
- 最小1.20Vまで調整可能な出力電圧
- 500kHzの固定周波数動作
- ソフトスタート
- 小型のセラミック・コンデンサを使用
- 内部または外部補償
- 低いシャットダウン電流:<2μA
- 熱特性が改善された8ピンMSOPパッケージ

アプリケーション

- 車載バッテリー・レギュレーション
- 産業用制御装置用電源
- 安定化されていないACアダプタ

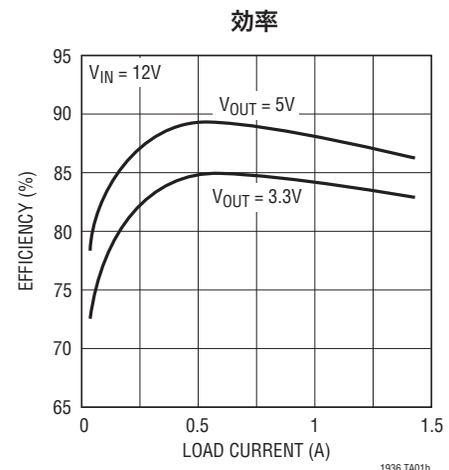
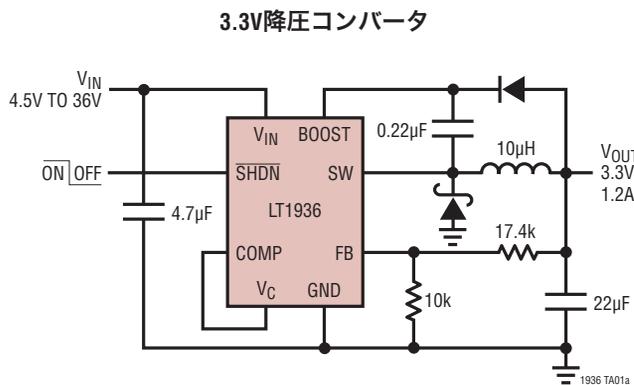
概要

LT[®]1936は1.9Aのパワー・スイッチを内蔵した電流モードPWM降圧DC/DCコンバータで、熱特性が改善された小型8ピンMSOPパッケージで供給されます。入力範囲が3.6V~36Vと広いので、車載バッテリー、24V産業用電源、安定化されていないACアダプタなどの広範な電源を安定化するのに適しています。動作周波数が高いので、小型で低コストのインダクタやセラミック・コンデンサを使用することができ、出力リップルは小さく、予測しやすくなります。

サイクルごとの電流制限、周波数フォールドバック、サーマル・シャットダウンによって、短絡出力からデバイスを保護します。また、ソフトスタートによって起動時の入力電流サージをなくします。外付けの補償部品を使用して過渡応答を最適化できますが、内部補償を使用してボードスペースを最小限に抑えることも可能です。低電流(<2μA)シャットダウン・モードにより、バッテリー駆動システムのパワー・マネージメントを簡素化できます。

LT、LTC、LT、LTMはリニアテクノロジー社の登録商標です。他のすべての商標はそれぞれの所有者に所有権があります。

標準的応用例



LT1936

絶対最大定格

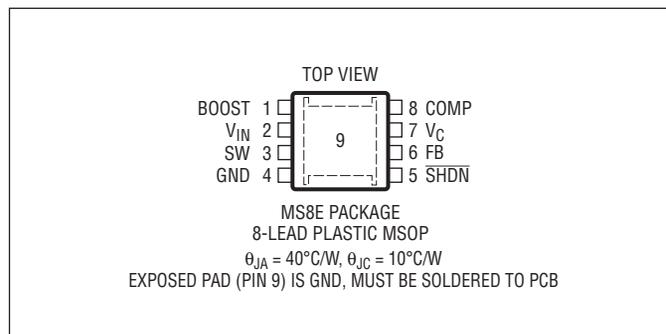
(Notes 1)

V _{IN} 電圧	-0.4V~36V
BOOST電圧	43V
SW電圧を超えるBOOST	20V
SHDN電圧	-0.4V~36V
FB、V _C 、COMPの電圧	6V
動作温度範囲 (Note 2)	
LT1936E	-40°C~85°C
LT1936I	-40°C~125°C
LT1936H	-40°C~150°C

最大接合部温度

LT1936E、LT1936I	125°C
LT1936H	150°C
保存温度範囲	-65°C~150°C
リード温度 (半田付け、10秒)	300°C

ピン配置



発注情報

鉛フリー仕様	テープアンドリール	製品マーキング	パッケージ	温度範囲
LT1936EMS8E#PBF	LT1936EMS8E#TRPBF	LTBMT	8-Lead Plastic MSOP	-40°C to 85°C
LT1936IMS8E#PBF	LT1936IMS8E#TRPBF	LTBRV	8-Lead Plastic MSOP	-40°C to 125°C
LT1936HMS8E#PBF	LT1936HMS8E#TRPBF	LTBWB	8-Lead Plastic MSOP	-40°C to 150°C
鉛ベース仕様	テープアンドリール	製品マーキング	パッケージ	温度範囲
LT1936EMS8E	LT1936EMS8E#TR	LTBMT	8-Lead Plastic MSOP	-40°C to 85°C
LT1936IMS8E	LT1936IMS8E#TR	LTBRV	8-Lead Plastic MSOP	-40°C to 125°C
LT1936HMS8E	LT1936HMS8E#TR	LTBWB	8-Lead Plastic MSOP	-40°C to 150°C

さらに広い動作温度範囲で規定されるデバイスについては、弊社または弊社代理店にお問い合わせください。

鉛フリー仕様の製品マーキングの詳細については、<http://www.linear-tech.co.jp/leadfree/> をご覧ください。

テープアンドリールの仕様の詳細については、<http://www.linear-tech.co.jp/tapeandreeel/> をご覧ください。

電気的特性

●は全動作温度範囲の規格値を意味する。それ以外はT_A = 25°Cでの値。注記がない限り、V_{IN} = 12V、V_{BOOST} = 17V。(Note 2)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Undervoltage Lockout			3.45	3.6	V
Quiescent Current	V _{FB} = 1.5V		1.8	2.5	mA
Quiescent Current in Shutdown	V _{SHDN} = 0V		0.1	2	μA
FB Voltage		● 1.175	1.200	1.215	V
FB Pin Bias Current (Note 4)	V _{FB} = 1.20V, E and I Grades	●	50	200	nA
	H Grade	●	50	300	nA
FB Voltage Line Regulation	V _{IN} = 5V to 36V		0.01		%/V
Error Amp gm	V _C = 0.5V, I _{VC} = ±5μA		250		μS
Error Amp Voltage Gain	V _C = 0.8V, 1.2V		150		

1936fd

電気的特性

●は全動作温度範囲の規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。注記がない限り、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{BOOST} = 17\text{V}$ 。(Note 2)

V_C Clamp			1.8		V	
V_C Switch Threshold			0.7		V	
Internal Compensation R			50		k Ω	
Internal Compensation C	$V_{COMP} = 1\text{V}$		150		pF	
COMP Pin Leakage	$V_{COMP} = 1.8\text{V}$, E and I Grades H Grade	● ●		1 2	μA μA	
Switching Frequency	$V_{FB} = 1.1\text{V}$ $V_{FB} = 0\text{V}$		400 500 600	500 40	kHz kHz	
Maximum Duty Cycle		●	87	92	%	
Switch Current Limit	(Note 3)		1.9	2.2	2.6	A
Switch V_{CESAT}	$I_{SW} = 1.2\text{A}$			410	520	mV
Switch Leakage Current				2	μA	
Minimum BOOST Voltage Above SW	$I_{SW} = 1.2\text{A}$			2	2.2	V
BOOST Pin Current	$I_{SW} = 1.2\text{A}$			28	50	mA
BOOST Pin Leakage	$V_{SW} = 0\text{V}$			0.1	1	μA
SHDN Input Voltage High			2.3		V	
SHDN Input Voltage Low				0.3	V	
SHDN Pin Current	$V_{SHDN} = 2.3\text{V}$ (Note 5) $V_{SHDN} = 12\text{V}$ (Note 5) $V_{SHDN} = 0\text{V}$			34 140 0.01	50 240 0.1	μA μA μA

Note 1: 絶対最大定格はそれを超えるとデバイスに永続的な損傷を与える可能性がある値。また、絶対最大定格状態が長時間続くと、デバイスの信頼性と寿命に悪影響を与える恐れがある。

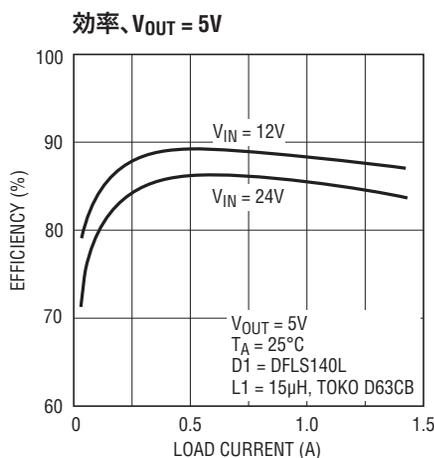
Note 2: LT1936Eは $0^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$ の温度範囲で性能仕様に適合することが保証されている。 $-40^\circ\text{C} \sim 85^\circ\text{C}$ の動作温度範囲での仕様は設計、特性評価および統計学的なプロセス・コントロールとの相関で確認されている。LT1936Iの仕様は $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ の温度範囲で保証されている。LT1936Hの仕様は $-40^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ の温度範囲で保証されている。

Note 3: 電流制限は設計および静的テストとの相関によって保証されている。高いデューティ・サイクルではスロープ補償により電流制限が低下する。

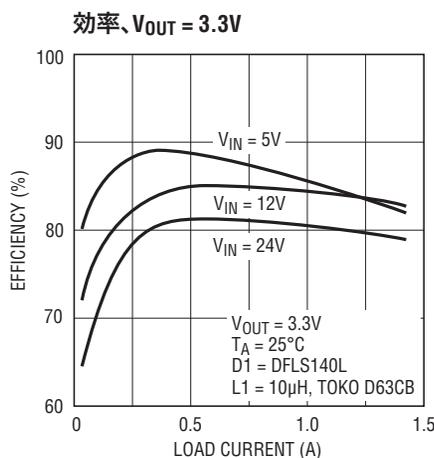
Note 4: 電流はピンから流れ出す。

Note 5: 電流はピンへ流れ込む。

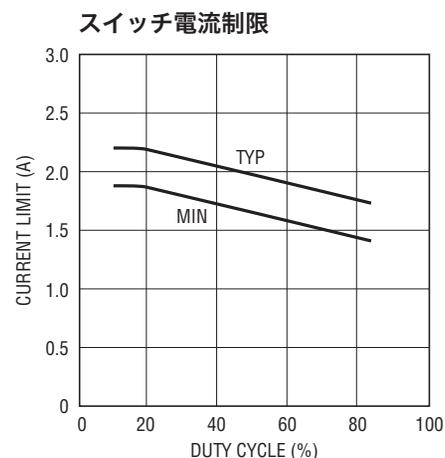
標準的性能特性



1936 G01



1936 G02

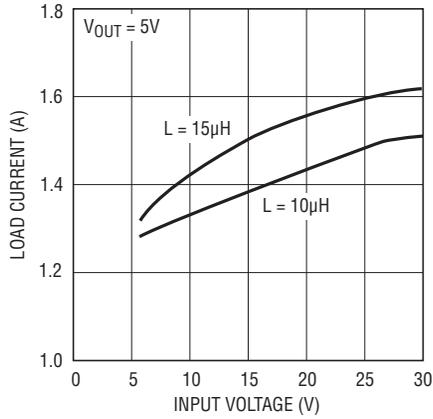


1936 G03

1936fd

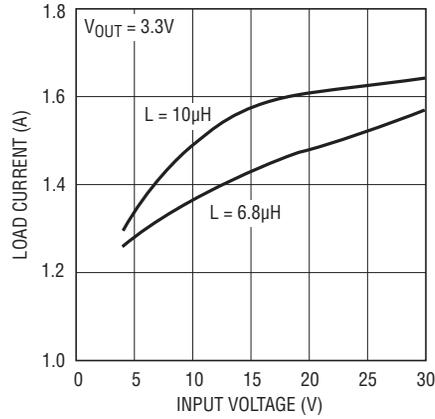
標準的性能特性

最大負荷電流



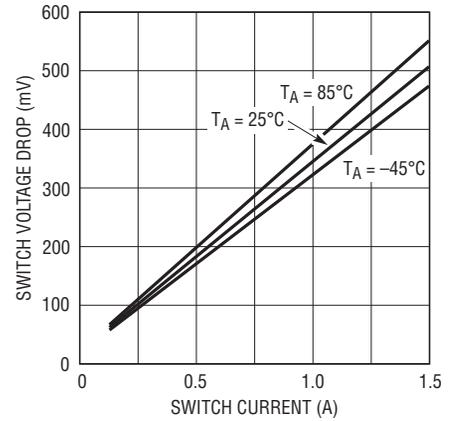
1936 G04

最大負荷電流



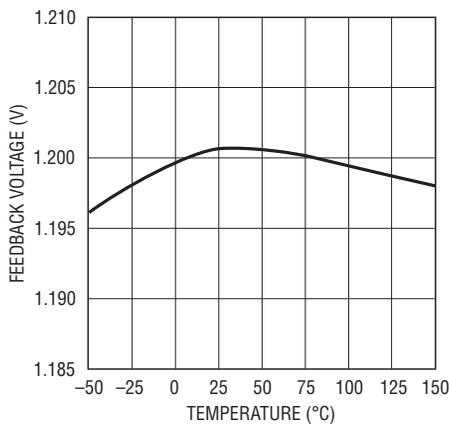
1936 G05

スイッチの電圧降下



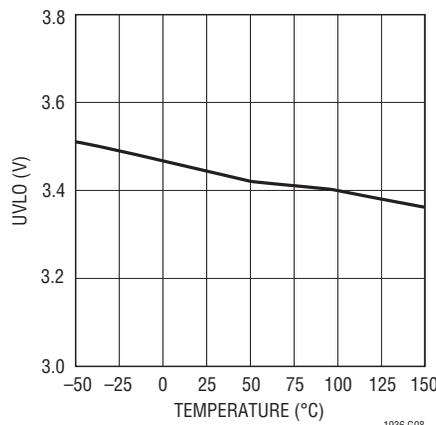
1936 G06

帰還電圧



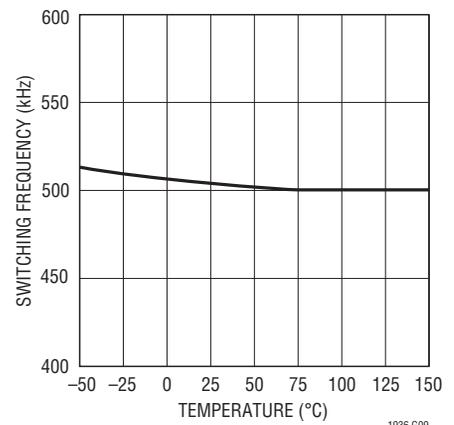
1936 G07

低電圧ロックアウト



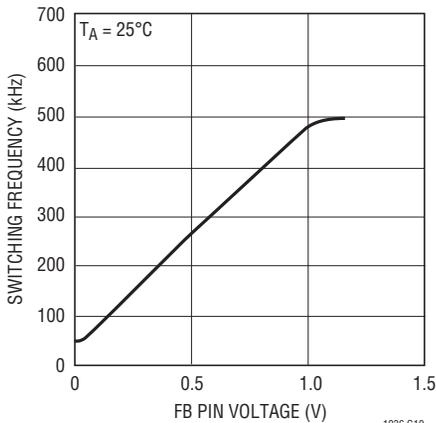
1936 G08

スイッチング周波数



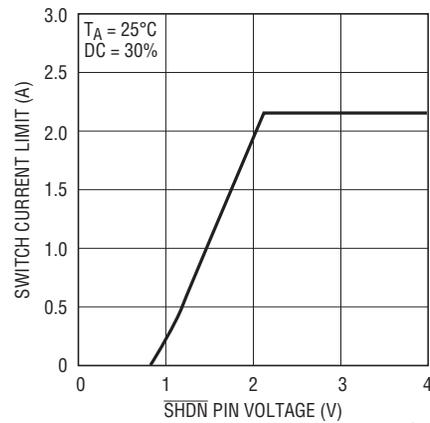
1936 G09

周波数フォールドバック



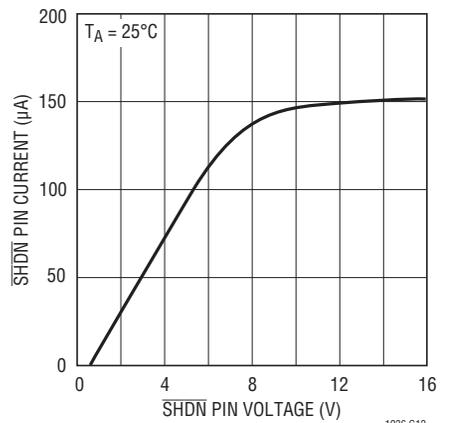
1936 G10

ソフトスタート



1936 G11

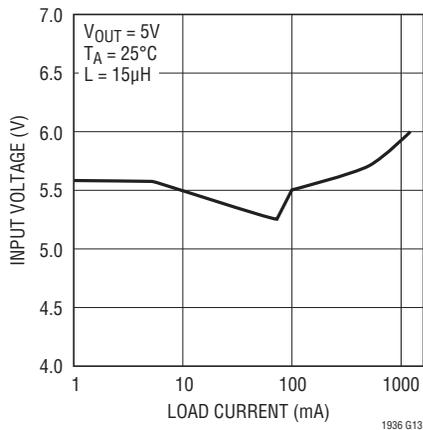
SHDNピンの電流



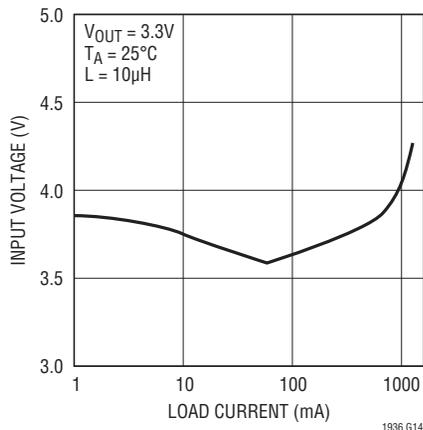
1936 G12

標準的性能特性

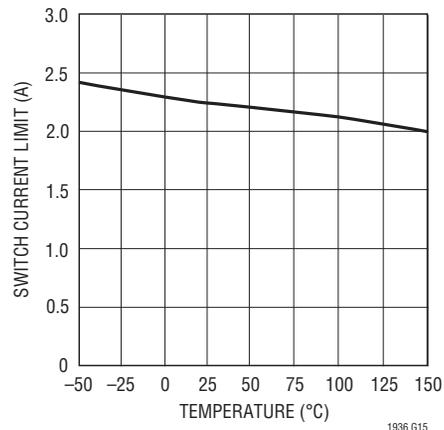
最小入力電圧



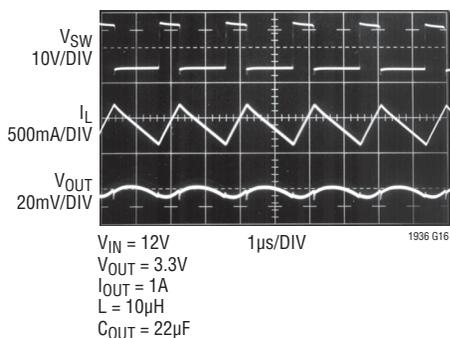
最小入力電圧



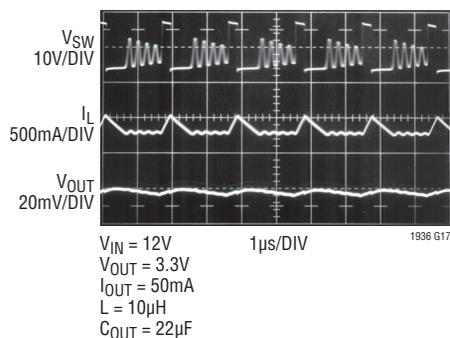
スイッチ電流制限



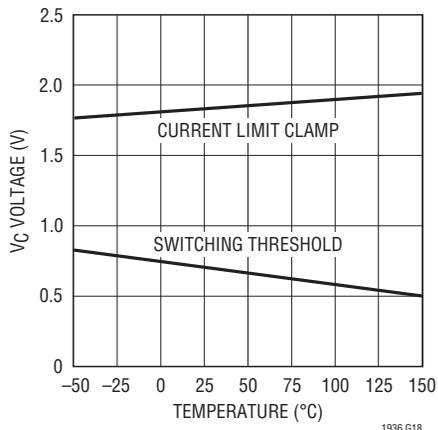
スイッチング波形



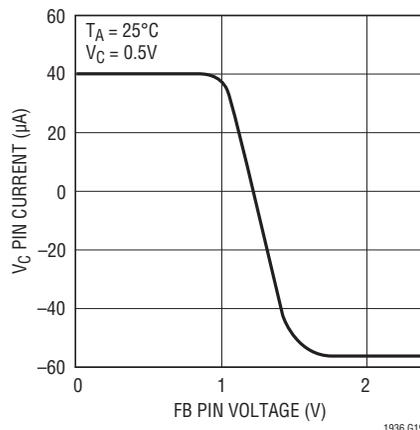
スイッチング波形、不連続モード



Vc電圧



誤差アンプの出力電流



LT1936

ピン機能

BOOST (ピン1): BOOSTピンは入力電圧よりも高いドライブ電圧を内蔵バイポーラNPNパワー・スイッチに与えるのに使います。

V_{IN} (ピン2): V_{IN}ピンはLT1936の内部レギュレータおよび内部パワー・スイッチに電流を供給します。このピンはローカルにバイパスする必要があります。

SW (ピン3): SWピンは内部パワー・スイッチの出力です。このピンは、インダクタ、キャッチ・ダイオード、および昇圧コンデンサに接続します。

GND (ピン4): GNDピンはLT1936および回路部品の下ローカル・グラウンド・プレーンに接続します。帰還分割器からのリターンはこのピンに接続してください。

SHDN (ピン5): このピンを使ってLT1936をシャットダウン・モードにします。グラウンドに接続するとLT1936がシャットダウンします。通常動作時は2.3V以上の電圧に接続します。シャットダウン機能を使用しない場合はV_{IN}に接続します。SHDNによりソフトスタート機能も提供

されます。「アプリケーション情報」を参照してください。SHDNをV_{IN}より5Vを超えてドライブしないでください。

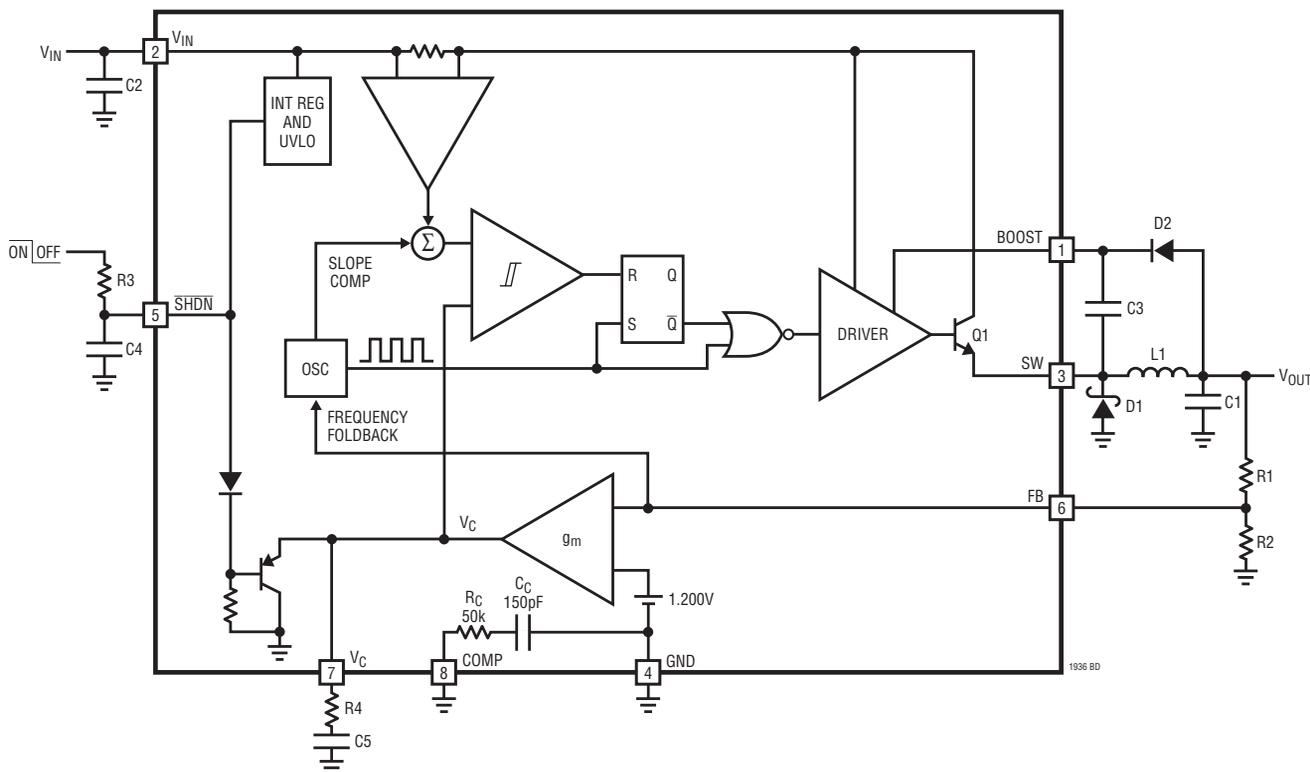
FB (ピン6): LT1936はその帰還ピンを1.200Vに安定化します。帰還抵抗分割器のタップはこのピンに接続します。V_{OUT} = 1.200V (1 + R₁/R₂)に従って出力電圧を設定します。R₂の適切な値は10kです。

V_C (ピン7): 外部RCネットワークをこのピンからグラウンドに接続してLT1936の制御ループを補償するのに使います。COMPピンは、外付け部品の代わりに使うことのできる内部RCネットワークを利用可能にします。

COMP (ピン8): 内部補償ネットワークを使うには、COMPピンをV_Cピンに接続します。それ以外は、COMPをグラウンドに接続するか、フロートさせたままにします。

露出パッド (ピン9): 露出パッドはPCBのグラウンドに半田付けし、電氣的にグラウンドに接続する必要があります。大きなグラウンド・プレーンとサーマル・ビアを使って、熱性能を最適化します。

ブロック図



1936fd

動作 (ブロック図を参照)

LT1936は固定周波数の電流モード降圧レギュレータです。500kHz発振器がRSフリップフロップをイネーブルし、内部の1.9Aパワー・スイッチQ1をオンします。アンプおよびコンパレータは V_{IN} ピンとSWピンのあいだを流れる電流を検出し、この電流が V_C の電圧によって決まるレベルに達するとスイッチをオフします。誤差アンプはFBピンに接続された外部抵抗分割器を通して出力電圧を測定し、 V_C ピンをサーボ制御します。誤差アンプの出力が増加すると出力に供給される電流が増加します。誤差アンプの出力が減少すると供給される電流が減少します。 V_C ピンのアクティブ・クランプ(示されてはいない)によって電流制限がおこなわれます。 V_C ピンは \overline{SHDN} ピンの電圧にもクランプされます。ソフトスタートは外付けの抵抗とコンデンサを使って \overline{SHDN} ピンに電圧ランプを発生させて実現します。

内部レギュレータが制御回路に電力を供給します。このレギュレータには、 V_{IN} が約3.45Vより低くなるとスイッチングを禁止する低電圧ロックアウトが備わっています。 \overline{SHDN} ピンはLT1936をシャットダウン状態にして出力を切り離し、入力電流を2 μ A未満に減らすのに使います。

スイッチ・ドライバは入力またはBOOSTピンのどちらかで動作します。外付けのコンデンサとダイオードを使って入力電源より高い電圧をBOOSTピンに発生させます。これにより、ドライバは内部バイポーラNPNパワー・スイッチを完全に飽和させ、高い効率で動作させることができます。

FBピンの電圧が低いと発振器はLT1936の動作周波数を下げます。この周波数フォールドバックは起動時および過負荷時の出力電流を制御するのに役立ちます。

アプリケーション情報

FB抵抗ネットワーク

出力電圧は出力とFBピンのあいだに接続した抵抗分割器を使ってプログラムします。次式にしたがって1%抵抗を選択します。

$$R1 = R2 \left(\frac{V_{OUT}}{1.200} - 1 \right)$$

バイアス電流誤差を避けるため、R2は20k以下にします。参照名についてはブロック図を参照してください。

入力電圧範囲

LT1936のアプリケーションの入力電圧範囲は出力電圧およびV_{IN}ピンとBOOSTピンの絶対最大定格に依存します。

最小入力電圧はLT1936の約3.45Vの最小動作電圧またはその最大デューティ・サイクルのどちらかによって決まります。デューティ・サイクルは内部スイッチがオンしている時間の割合であり、入力電圧と出力電圧によって決まります。

$$DC = \frac{V_{OUT} + V_D}{V_{IN} - V_{SW} + V_D}$$

ここで、V_Dはキャッチ・ダイオードの順方向電圧降下(約0.5V)で、V_{SW}は内部スイッチの電圧降下(最大負荷で約0.5V)です。したがって、最小入力電圧は次のようになります。

$$V_{IN(MIN)} = \frac{V_{OUT} + V_D}{DC_{MAX}} - V_D + V_{SW}$$

ここで、DC_{MAX} = 0.87です。

最大入力電圧はV_{IN}ピンとBOOSTピンの絶対最大定格および最小デューティ・サイクルDC_{MIN} = 0.08によって決まります。

$$V_{IN(MAX)} = \frac{V_{OUT} + V_D}{DC_{MIN}} - V_D + V_{SW}$$

これは動作入力電圧に対する制限であることに注意してください。回路はV_{IN}ピンとBOOSTピンの絶対最大定格までの過渡入力に耐えます。

インダクタの選択と最大出力電流

最初に選択するインダクタの値としてはL = 2.2 (V_{OUT} + V_D)が良いでしょう。

ここでV_Dはキャッチ・ダイオードの電圧降下で(約0.4V)、Lの単位はμHです。この値を使うと、最大出力電流はすべてのデューティ・サイクルで1.2Aを超え、50%より小さなデューティ・サイクル(V_{IN} > 2 V_{OUT})では1.4Aを超えます。インダクタのRMS電流定格は最大負荷電流より大きくなければならず、その飽和電流は約30%大きくなければなりません。フォールト状態(起動時または短絡)や高入力電圧(>30V)で堅牢な動作を実現するには、飽和電流を2.6Aより大きくします。高い効率を保つには、直列抵抗(DCR)が0.1Ωより小さく、コア材が高周波アプリケーション向きのものにします。適しているタイプと製造元のリストを表1に示します。

表1. インダクタの製造元

VENDOR	URL	PART SERIES	TYPE
Murata	www.murata.com	LQH55D	Open
TDK	www.component.tdk.com	SLF7045 SLF10145	Shielded Shielded
Toko	www.toko.com	D62CB D63CB D75C D75F	Shielded Shielded Shielded Open
Sumida	www.sumida.com	CR54 CDRH74 CDRH6D38 CR75	Open Shielded Shielded Open

もちろん、このように簡単なデザイン・ガイドでは、個々のアプリケーションに最適のインダクタを常に与えるとはかぎりません。大きな値のものを使うと最大負荷電流がわずかに増加し、出力電圧リップルが減少します。負荷が1.2Aより小さい場合、インダクタの値を小さくして高いリップル電流で動作させることができます。この場合、物理的に小さなインダクタを使うことができます。あるいはDCRの小さなものを使って効率を上げることができます。上述の簡単な規則と異なるインダクタンスの場合、最大負荷電流は入力電圧に依存することに注意してください。

アプリケーション情報

このデータシートの「標準的性能特性」のセクションのいくつかのグラフには、いくつかのよく使われる出力電圧に対して、入力電圧とインダクタ値の関数としての最大負荷電流が示されています。インダクタンスが低いと不連続モード動作になることがあります。問題はありませんが最大負荷電流がさらに減少します。最大出力電流と不連続モード動作の詳細については、「アプリケーションノート44」を参照してください。最後に、デューティ・サイクルが50%を超す場合 ($V_{OUT}/V_{IN} > 0.5$)、低調波発振を避けるには最小インダクタンスが必要になります。1.6($V_{OUT} + V_D$) μ Hより大きなLを選択すると、すべてのデューティ・サイクルで低調波発振を防ぎます。

キャッチ・ダイオード

キャッチ・ダイオードD1には1Aのショットキー・ダイオードを推奨します。ダイオードの逆電圧定格は最大入力電圧以上なければなりません。ON Semiconductor のMBRM140は最適です。これはケース温度が110°Cで定格が1A DC、ケース温度が95°Cで定格が1.5Aです。Diode IncorporatedのDFLS140Lは1.1Aの平均電流で定格が規定されており、DFLS240Lは2Aの平均電流で定格が規定されています。LT1936のアプリケーションの平均ダイオード電流は約 $I_{OUT}(1-DC)$ です。

入力コンデンサ

X7RまたはX5Rのタイプの4.7 μ F以上のセラミック・コンデンサを使ってLT1936回路の入力をバイパスします。Y5Vタイプは温度や印加される電圧が変化すると性能が低下するので使用しないでください。4.7 μ Fのセラミック・コンデンサはLT1936をバイパスするのに適しており、容易にリップル電流に対応できます。ただし、入力電源のインピーダンスが高い場合、または長い配線やケーブルによる大きなインダクタンスが存在する場合、追加のバルク容量が必要になることがあります。これには性能の高くない電解コンデンサを使うことができます。

降圧レギュレータには入力電源から高速の立上りと立下りをとともなうパルス電流が流れます。その結果LT1936に生じる電圧リップルを減らし、非常に高い周波数のこのスイッチング電流を狭いローカル・ループに閉じ込めてEMIを抑えるために入力コンデンサが必要です。4.7 μ Fのコンデンサはこの役目を果たしますが、それがLT1936とキャッチ・ダイオードの近くに配置された場合に限られます。「PCBレイアウト」のセクションを参照してください。2番目の注意は、入力セラミック・コンデンサとLT1936の最大入力電圧定格の関係に関するものです。入

力のセラミック・コンデンサはトレースやケーブルのインダクタンスと結合して質の良い(減衰しにくい)共振タンク回路を形成します。LT1936の回路を給電中の電源に差し込むと、入力電圧に正常値の2倍のリングングが生じて、LT1936の電圧定格を超すおそれがあります。この状況は容易に避けられます。「安全な活線挿入」のセクションを参照してください。

スペースに敏感なアプリケーションでは、LT1936の入力のローカル・バイパスに2.2 μ Fのセラミック・コンデンサを使うことができます。ただし、入力容量が低いと、入力電流リップルと入力電圧リップルが増加し、他の回路にノイズが結合することがあります。また、電圧リップルが大きくなると、LT1936の最小動作電圧が約3.7Vに上がります。

出力コンデンサ

出力コンデンサには2つの基本的な機能があります。インダクタとともに、出力コンデンサはLT1936が生成する方形波をフィルタ処理してDC出力を生成します。この機能では出力コンデンサが出力リップルを決定するので、スイッチング周波数でのインピーダンスが低いことが重要です。2番目の機能は、過渡負荷に電流を供給してLT1936の制御ループを安定させるためにエネルギーを蓄積することです。

セラミック・コンデンサの等価直列抵抗(ESR)は非常に小さいので、最良のリップル性能を与えます。次の値が適当です。

$$C_{OUT} = \frac{150}{V_{OUT}}$$

ここで、 C_{OUT} の単位は μ Fです。X5RまたはX7Rのタイプを使ってください。この選択により、出力リップルが小さくなり、過渡応答が良くなります。補償ネットワークもループ帯域幅を保つように調整されていると、大きな値のコンデンサを使って過渡性能を改善することができます。

もっと小さな値の出力コンデンサを使うこともできますが、過渡性能が低下します。外部補償ネットワークを使うと、コンデンサの小さな値を補償するためにループ利得を下げることができます。内部補償ネットワークを使う場合、安定動作のための最小値は次のようになります。

$$C_{OUT} > \frac{66}{V_{OUT}}$$

アプリケーション情報

表2. コンデンサの製造元

VENDOR	PHONE	URL	PART SERIES	COMMENTS
Panasonic	(714) 373-7366	www.panasonic.com	Ceramic, Polymer, Tantalum	EEF Series
Kemet	(864) 963-6300	www.kemet.com	Ceramic, Tantalum	T494, T495
Sanyo	(408) 749-9714	www.sanyovideo.com	Ceramic, Polymer, Tantalum	POSCAP
Murata	(404) 436-1300	www.murata.com	Ceramic	
AVX		www.avxcorp.com	Ceramic, Tantalum	TPS Series
Taiyo Yuden	(864) 963-6300	www.taiyo-yuden.com	Ceramic	

これは公称コンデンサ値ではなく、必要な最小出力容量です。たとえば、3.3Vの出力には20 μ Fの出力容量が必要です。22 μ F、6.3Vの小型セラミック・コンデンサを使うと、3.3Vにバイアスされたとき実効容量は公称容量より小さいので、回路は不安定になる可能性があります。コンデンサのデータシートを注意深く調べて、動作条件(加えられる電圧や温度)での実際の容量を確認してください。物理的に大きなコンデンサまたは電圧定格が高いコンデンサが必要なことがあります。

高性能電解コンデンサを出力コンデンサに使うことができます。ESRが小さいことが重要ですから、スイッチング・レギュレータ用のものを選択します。製造元によってESRが規定されている必要があり、0.05 Ω 以下のものにします。この種のコンデンサはセラミック・コンデンサより大きく、容量も大きくなります。これはESRを小さくするためコンデンサを大きくする必要があります。コンデンサの製造元のリストを表2に示します。

周波数補償

LT1936は電流モード制御を使って出力を安定化します。そのためループ補償が簡素化されます。特に、LT1936は安定動作のために出力コンデンサのESRを必要としないので、自由にセラミック・コンデンサを使用して出力リップルを下げ、回路のサイズを小さくすることができます。

図1に示されているように、周波数補償はV_Cピンに接続された部品によって与えられます。一般に、コンデンサ(C_C)と抵抗(R_C)を直列にグラウンドに接続して使います。さらに、小さな値のコンデンサを並列に接続することができます。このコンデン

サ(C_F)はループ補償の一部ではなく、スイッチング周波数のノイズを除くのに使われ、位相リード・コンデンサが使われているか、または出力コンデンサのESRが大きい場合にだけ必要です。外付け補償部品の使用に代わる方法として、COMPピンをV_Cピンに接続して内部RCネットワークを使います。こうすると、部品点数は減りますが、出力コンデンサの値が大きいと最適過渡応答が得られないことがあり、出力コンデンサの値が小さいと回路が安定しないことがあります。内部補償ネットワークを使わない場合、COMPをグラウンドに接続するか、フロートさせたままにします。

ループ補償により安定性と過渡性能が決まります。

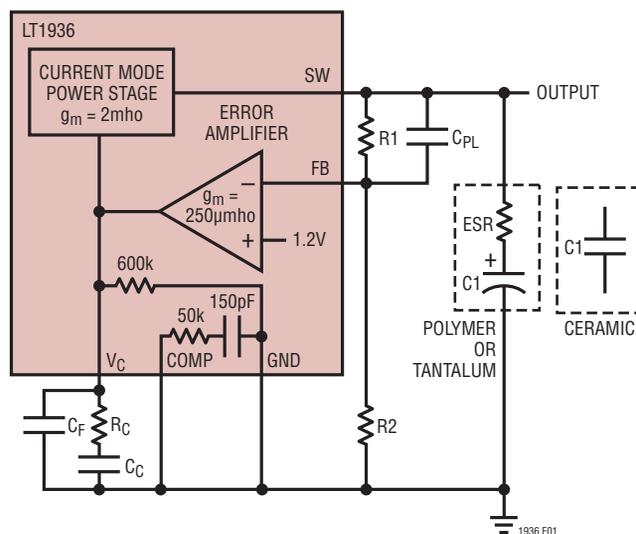


図1. ループ応答モデル

アプリケーション情報

補償ネットワークの設計はいくらか複雑で、最適値はアプリケーションに、特に出力コンデンサの種類に依存します。実際的な手法としては、このデータシートの回路の中の、目的のアプリケーションに似た回路から出発し、補償ネットワークを調整して性能を最適化します。次に、負荷電流、入力電圧、温度などすべての動作条件にわたって安定性をチェックします。LT1375のデータシートにはループ補償のさらに詳細な説明が含まれており、過渡負荷を使った安定性のテスト方法が説明されています。

LT1936の制御ループの等価回路を図1に示します。誤差アンプは出力インピーダンスが有限のトランスコンダクタンス・アンプです。モジュレータ、パワー・スイッチ、およびインダクタで構成される電源部分は V_C ピンの電圧に比例した出力電流を

発生するトランスコンダクタンス・アンプとしてモデル化されます。出力コンデンサはこの電流を積分し、 V_C ピンのコンデンサ(C_C)は誤差アンプの出力電流を積分するのでループに2つのポールが生じることに注意してください。ほとんどの場合ゼロが1つ必要で、出力コンデンサのESRまたは C_C に直列な抵抗 R_C によって生じます。この簡単なモデルはインダクタの値が大きすぎず、ループのクロスオーバー周波数がスイッチング周波数よりはるかに低いかぎり有効です。帰還分割器の両端の位相リード・コンデンサ(C_{PL})によって過渡応答が改善されることがあります。

図2では、いくつかの出力コンデンサの選択肢と補償方式の過渡応答が比較されています。それぞれの場合、負荷電流は200mAから800mAにステップし、200mAに戻ります。

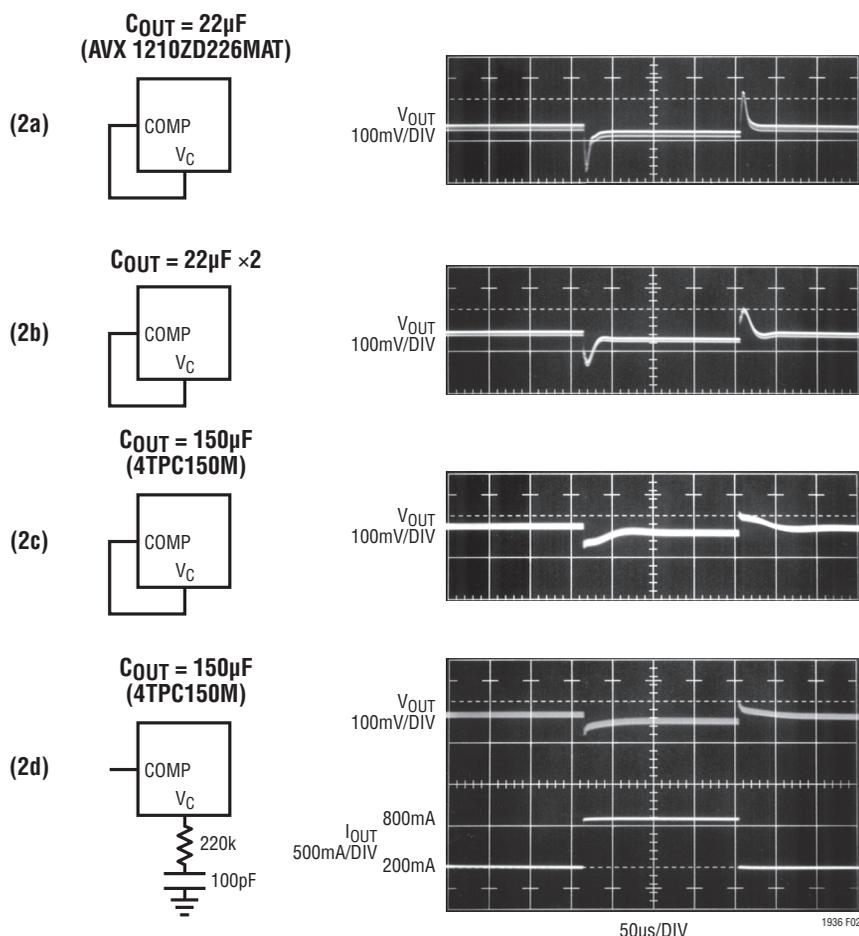


図2. 負荷電流を200mAから800mAにステップさせたときの異なる出力コンデンサを使ったLT1936の過渡負荷応答。 $V_{OUT} = 3.3V$

アプリケーション情報

BOOSTピンに関する検討事項

入力電圧より高い昇圧電圧を発生させるため、コンデンサC3とダイオードD2が使われています。ほとんどの場合、0.22μFのコンデンサと高速スイッチング・ダイオード(1N4148 や1N914 など)でうまく動作します。昇圧回路の構成方法を2通り図3に示します。最高の効率を得るには、BOOSTピンはSWピンより少なくとも2.3V高くなければなりません。3V以上の出力の場合、標準回路(図3a)が最適です。2.8V~3Vの出力には、0.47μFのコンデンサとショットキー・ダイオードを使います。さらに低い出力電圧の場合、昇圧ダイオードは入力(図3b)または2.8Vより高い別の電源に接続することができます。BOOSTピンの電流が低い電圧からくるので、図3aの回路の方が効率が良くなります。BOOSTピンの最大電圧定格を決して超えないようにすることも必要です。

2.5V出力は特別な場合です。これは良く使われる出力電圧で、昇圧回路を出力に接続する利点は、回路が(BOOSTピンの定格による)20Vではなく36Vの最大入力電圧を受け入れることです。ただし、2.5Vは低い周囲温度で昇圧されたドライブ段のサポートにどうにか足りています。したがって、2.5V出力からBOOSTピンに電力を供給する場合、特に注意を払い、動作にいくらかの制限を加える必要があります。1μFの昇圧コンデンサと良質の低ドロップ・

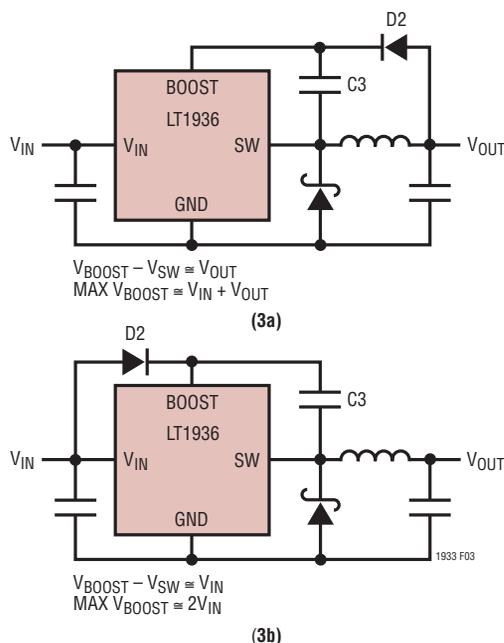


図3. 昇圧電圧を発生させる2つの回路

ショットキー・ダイオード(ON SemiconductorのMBR0540 など)を使って昇圧回路の電圧損失を最小に抑えます。低温では必要な昇圧電圧が増加しますので、周囲温度が-45°Cのとき回路は1Aの出力電流しか供給せず、0°Cでは1.2Aに増加します。また、昇圧回路を起動する最小入力電圧が低温では高くなります。2.5Vの回路図と性能曲線については、「標準的アプリケーション」のセクションを参照してください。

上述のとおり、LT1936のアプリケーションの最小動作電圧は低電圧ロックアウト(約3.45V)および最大デューティ・サイクルによって制限されます。正しく起動するには、最小入力電圧は昇圧回路によっても制限されます。入力電圧がゆっくりランプアップするか、出力が既に安定化している状態でSHDNピンを使ってLT1936をオンする場合、昇圧コンデンサが十分充電されないことがあります。昇圧コンデンサはインダクタに蓄えられたエネルギーによって充電されるので、昇圧回路を適切に動作させるには、回路は何らかの最小負荷電流を必要とします。この最小負荷は、入力電圧、出力電圧、および昇圧回路の構成に依存します。回路が起動した後は最小負荷電流は通常ゼロになります。起動および動作に必要な最小負荷電流を入力電圧の関数としてプロットしたものを図4に示します。多くの場合、放電した出力コンデンサがスイッチャの負荷となるので、スイッチャは起動できます。プロットはVINが非常にゆっくりランプアップするワーストケースの状態を示しています。もっと低い起動電圧の場合、昇圧ダイオードをVINに接続することができます。ただし、この場合、入力範囲がBOOSTピンの絶対最大定格の半分に制限されます。

軽負荷ではインダクタ電流は不連続になり、実効デューティ・サイクルが非常に高くなることがあります。このため最小入力電圧がVOUTより約300mV高い電圧にまで減少します。もっと大きな負荷電流ではインダクタ電流は連続しており、デューティ・サイクルはLT1936の最大デューティ・サイクルによって制限されるので、安定化を維持するにはもっと高い入力電圧が必要です。

ソフトスタート

SHDNピンを使ってLT1936をソフトスタートさせることができますので、起動時の最大入力電流が減少します。SHDNピンの電圧をランプアップさせるため、このピンは外付けのRCフィルタを通してドライブされます。ソフトスタート回路を使う場合と使わない場合の起動波形を図5に示します。

アプリケーション情報

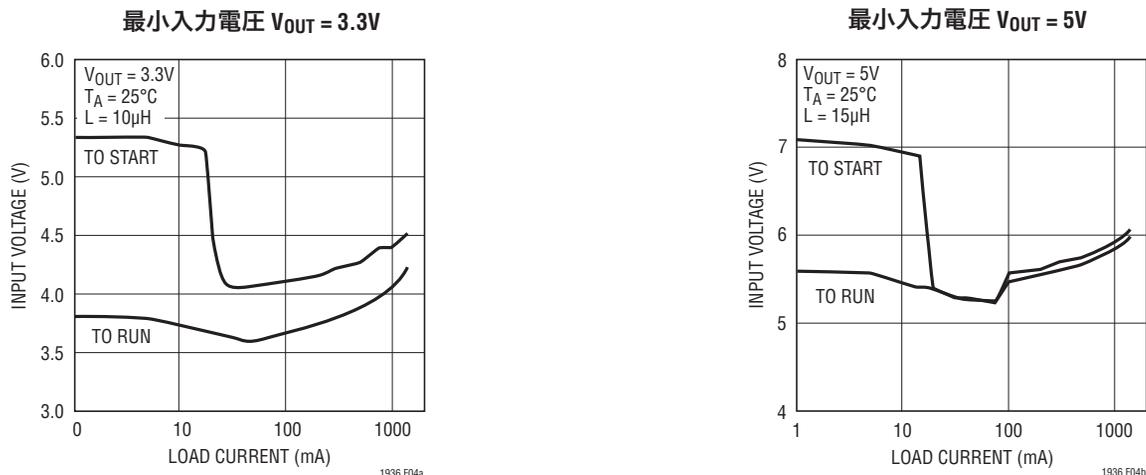


図4. 最小入力電圧は出力電圧、負荷電流および昇圧回路に依存する

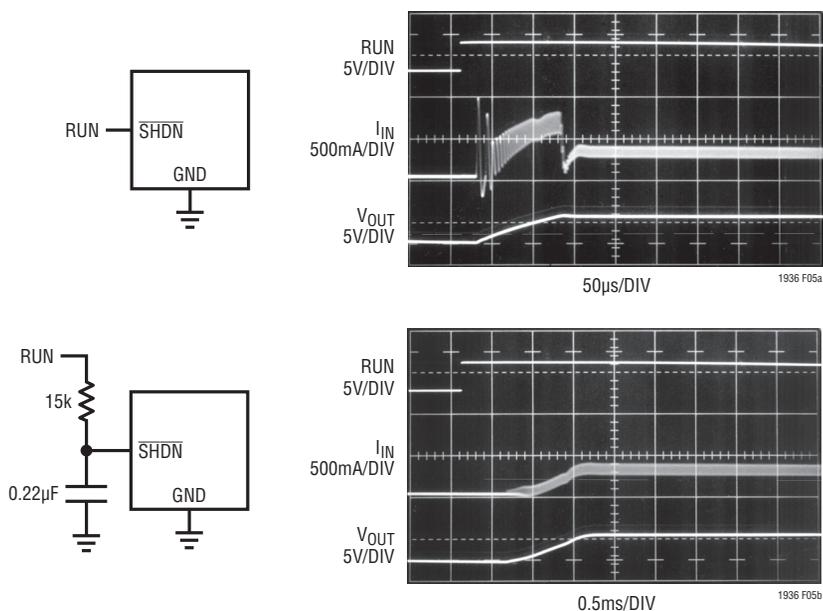


図5. LT1936をソフトスタートさせるには抵抗とコンデンサをSHDNピンに追加する。 $V_{IN} = 12V$ 、 $V_{OUT} = 3.3V$ 、 $C_{OUT} = 2 \times 22\mu F$ 、 $R_{LOAD} = 3.3\Omega$

大きなRC時定数を使うと、オーバーシュートなしに、出力を安定化するのに必要な電流までピーク起動電流を減らすことができます。SHDNピンが2.3Vに達したとき60µAを供給できるように抵抗の値を選択します。

短絡入力と逆入力に対する保護

過度に飽和しないようにインダクタを選択すると、LT1936降圧レギュレータは出力の短絡に耐えます。LT1936に入力が加わっていないときに出力が高く保持されるシステムでは、考慮

すべき状況がもう一つあります。それはバッテリー充電アプリケーションまたはバッテリーや他の電源がLT1936の出力とダイオードOR結合されているバッテリー・バックアップ・システムで発生することがあります。VINピンがフロート状態で、SHDNピンが(ロジック信号によって、あるいはVINに接続されて)“H”に保持されていると、SWピンを通してLT1936の内部回路に静止電流が流れます。この状態で数mAの電流を許容できるシステムであればこれは問題ありません。

アプリケーション情報

$\overline{\text{SHDN}}$ ピンを接地すればSWピンの電流は実質的にゼロに低下します。ただし、出力を高く保持した状態で V_{IN} を接地すると、出力からSWピンおよび V_{IN} ピンを通してLT1936内部の寄生ダイオードに大きな電流が流れる可能性があります。入力電圧が与えられているときだけ動作し、短絡入力や逆入力に対して保護する回路を図6に示します。

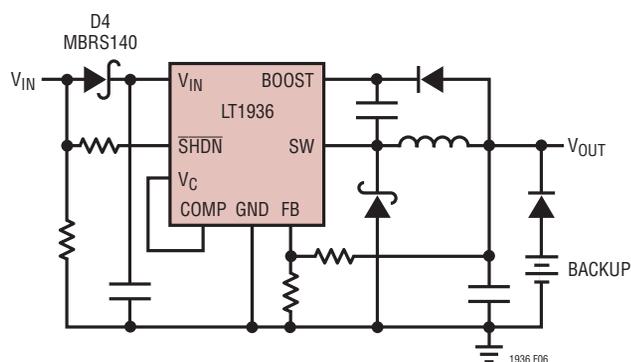


図6. ダイオードD4は出力に接続されたバックアップ用バッテリーが短絡した入力によって放電するのを防ぐ。逆入力に対しても回路を保護する。LT1936は入力を与えられているときだけ動作する

PCBのレイアウト

動作を最適化し、EMIを最小にするには、プリント回路基板のレイアウト時に注意が必要です。推奨部品配置とトレース、グラウンド・プレーン、およびビアの位置を図7に示します。大きなスイッチング電流がLT1936の V_{IN} ピンとSWピン、キャッチ・ダイオード(D1)および入力コンデンサ(C2)を流れることに注意してください。これらの部品が形成するループはできるだけ小さくします。これらの部品とインダクタおよび出力コンデンサは回路基板の同じ側に配置し、それらはその層で接続します。これらの部品の下には切れ目のないローカル・グラウンド・プレーンを配置します。SWノードとBOOSTノードはできるだけ小さくします。最後に、グラウンド・トレースがSWノードとBOOSTノードからFBノードと V_{C} ノードをシールドするようにFBノードと V_{C} ノードは小さくします。パッケージの底の露出パッドは、ヒートシンクとして機能するように、グラウンド・プレーンに半田付けする必要があります。熱抵抗を低く保つには、グラウンド・プレーンをできるだけ広げ、基板内の追加グラウンド・プレーンや裏側へのサーマル・ビアをLT1936の下や近くに追加します。

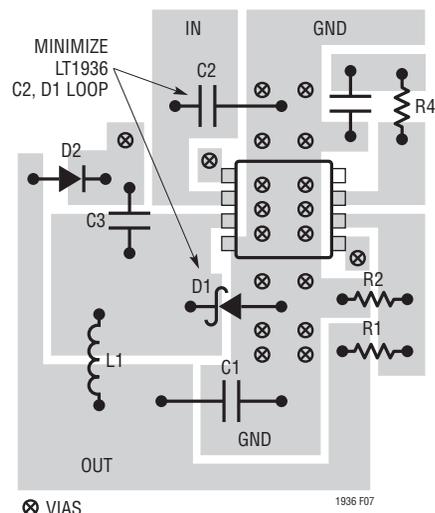


図7. 優れたPCBレイアウトによる低EMI動作の保証

高温に関する検討事項

LT1936のダイ温度は125°Cの最大定格(Hグレードの場合150°C)より低くなければなりません。これは、周囲温度が85°Cを超えないかぎり一般に心配いりません。もっと高い温度では、回路のレイアウトに注意してLT1936に十分なヒートシンクを与えます。最大負荷電流は、周囲温度が125°C(Hグレードの場合150°C)に近づくにつれ、デレーティングします。

ダイ温度は、LT1936の消費電力に(接合部から周囲への)熱抵抗を掛けて計算します。LT1936内部の電力消費は効率測定から計算される総電力損失からキャッチ・ダイオードの損失を差し引いて推測することができます。その結果得られる最大負荷での温度上昇は入力電圧にほとんど依存しません。熱抵抗は回路基板のレイアウトに依存しますが、40°C/W~60°C/Wが標準的な値です。

ダイ温度の上昇は、5cm×6.5cmの4層回路基板を使い、静止空气中で1.4Aの負荷で測定されました。12V入力から3.3V出力の場合、ダイ温度の上昇は周囲温度より26°C上でした。24V入力から3.3V出力の場合、上昇は31°Cでした。12V入力から5V出力では、上昇は31°Cで、24V入力から5V出力では上昇は34°Cでした。

アプリケーション情報

安全な活線挿入

セラミック・コンデンサはサイズが小さく、堅牢でインピーダンスが低いので、LT1936の回路の入力バイパス・コンデンサに最適です。ただし、LT1936が給電中の電源に挿入されると、これらのコンデンサは問題を生じることがあります（詳細についてはリニアテクノロジー社の「アプリケーションノート88」を参照）。低損失のセラミック・コンデンサは電源に直列の浮遊インダクタンスと結合して減衰の小さなタンク回路を形成し、LT1936の V_{IN} ピンの電圧に公称入力電圧の2倍に達するリングングを生じる可能性があり、LT1936の定格を超えてデバイ

スを損傷するおそれがあります。入力電源の制御が十分でなかったり、ユーザーがLT1936を給電中の電源に差し込んだりする場合、このようなオーバーシュートを防ぐように入力ネットワークを設計する必要があります。

LT1936の回路が24Vの電源に6フィートの24番ゲージのより対線で接続される場合に生じる波形を図8に示します。最初のプロットは入力に4.7 μ Fのセラミック・コンデンサを使った場合の応答です。入力電圧は50Vに達するリングングを生じ、入力電圧のピークは26Aに達します。

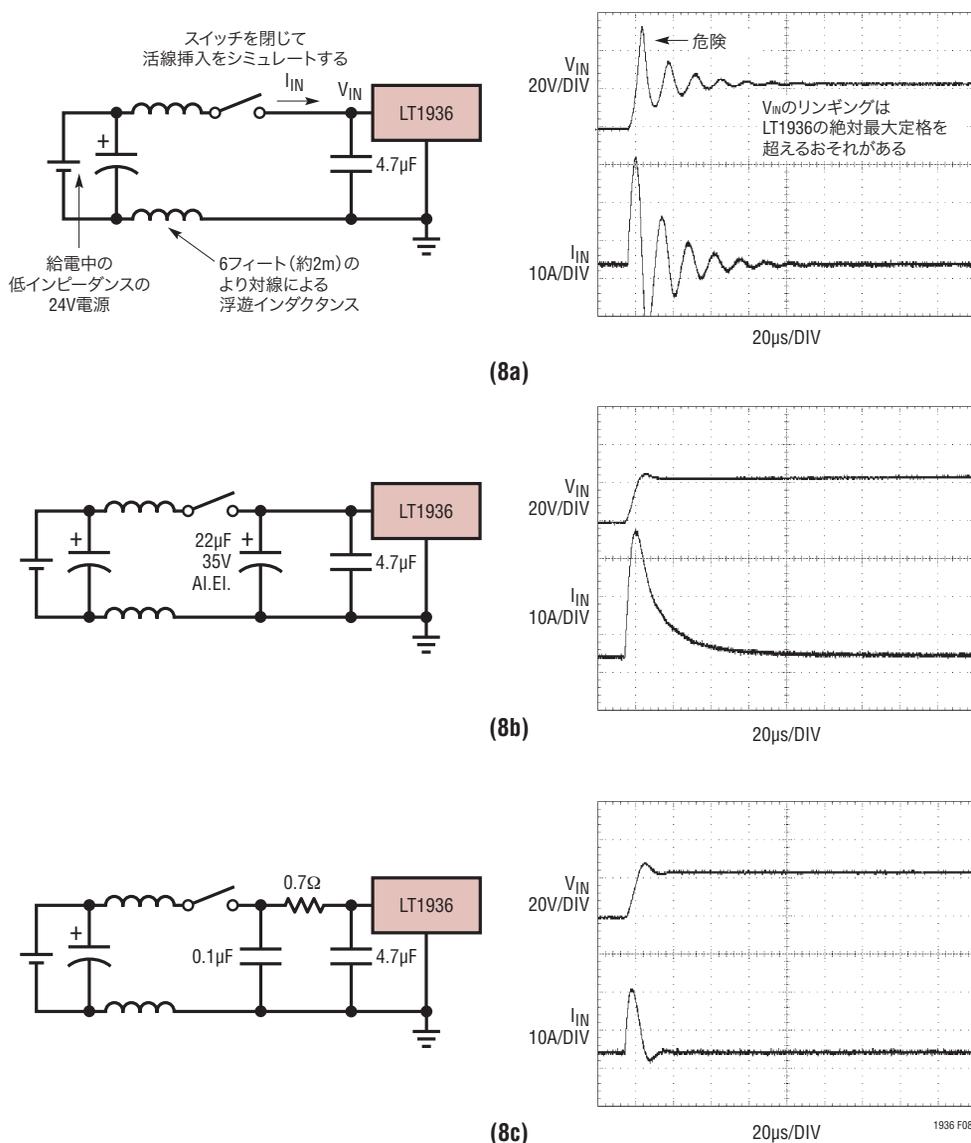


図8. 入力ネットワークを正しく選択すると、LT1936を給電中の電源に接続したとき入力電圧のオーバーシュートを防ぎ、信頼性の高い動作を保証する

アプリケーション情報

タンク回路を減衰させるひとつの方法として、直列抵抗とともにコンデンサをもう1個回路に追加します。図8bではアルミ電解コンデンサが追加されています。このコンデンサは等価直列抵抗が大きいので回路の過渡応答が減衰し、電圧オーバーシュートが抑えられます。追加コンデンサにより低周波リップルのフィルタ機能が改善され、回路の効率がわずかに向上しますが、このコンデンサはおそらく回路内で最大の部品となるでしょう。代替ソリューションを図8cに示します。電圧オーバーシュートを抑えるため、 0.7Ω 抵抗が入力に直列に追加されています（ピーク入力電流も下がります）。 $0.1\mu\text{F}$ のコンデンサにより高周波フィルタ機能が改善されています。このソリューションは電解コンデンサの場合よりもサイズが小さく安価です。高い入力電圧の場合、効率に与える影響は小さく、 24V 電源で動作しているとき最大負荷の 5V 出力の効率は 1% 下がります。

他のリニアテクノロジー社の出版物

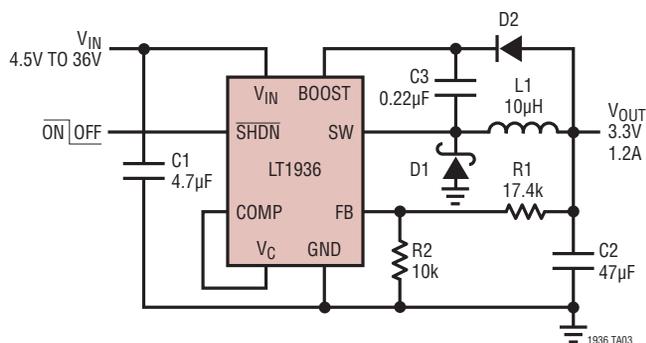
アプリケーションノート19、35および44には降圧レギュレータと他のスイッチング・レギュレータの詳細な説明と設計情報が含まれています。LT1376のデータシートには出力リップル、ループ補償および安定性のテストに関するさらに広範な説明が与えられています。デザインノート100には降圧レギュレータを使った両極出力電圧を発生させる方法が示されています。

6Vを超す出力

6V を超す出力の場合、 $1\text{k}\Omega \sim 2.5\text{k}\Omega$ の抵抗をインダクタの両端に追加し、 SW ノードの不連続リングを減衰させて、意図せぬ SW 電流を防ぎます。「標準的アプリケーション」のセクションの 12V 降圧コンバータ回路にはこの抵抗の場所が示されています。 6V を超す出力の場合、入力電圧範囲が BOOST ピンの最大定格によって制限されることにも注意してください。追加のツェナー・ダイオードを使ってこの制限を克服する方法が 12V 出力の回路に示されています。

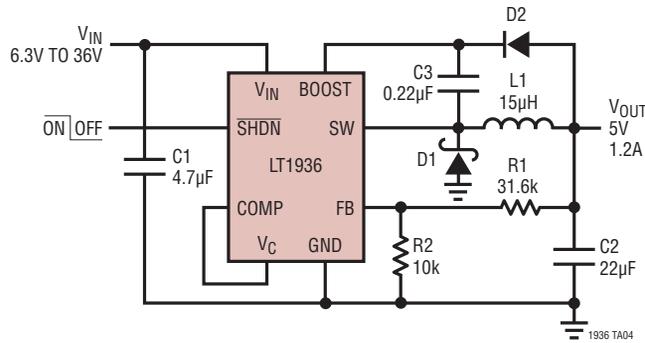
標準的応用例

3.3V降圧コンバータ

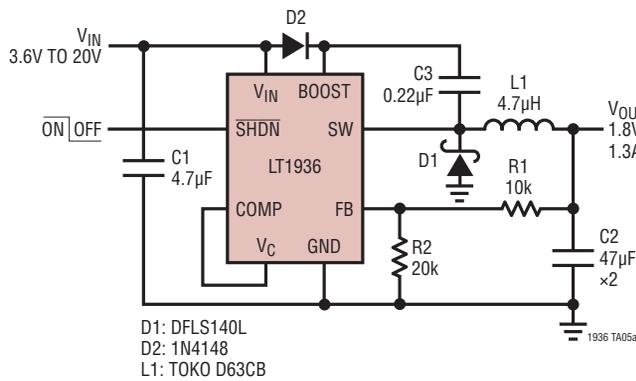


標準的応用例

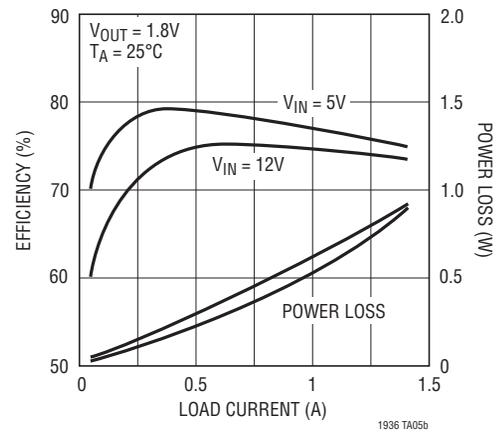
5V降圧コンバータ



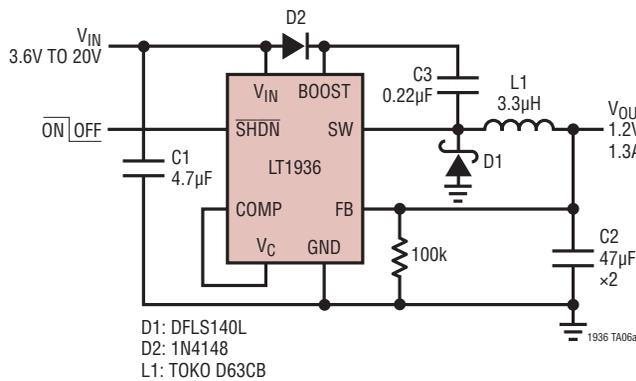
1.8V降圧コンバータ



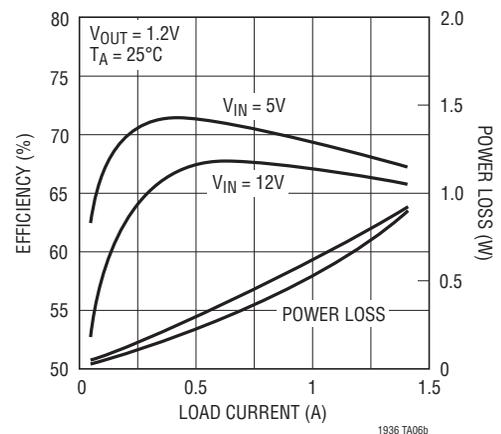
効率、1.8V出力



1.2V降圧コンバータ

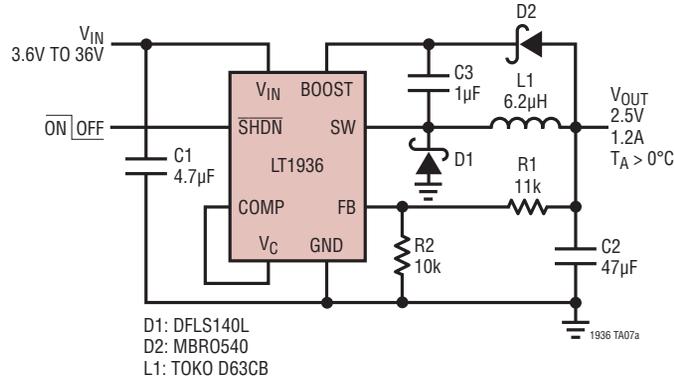


効率、1.2V出力

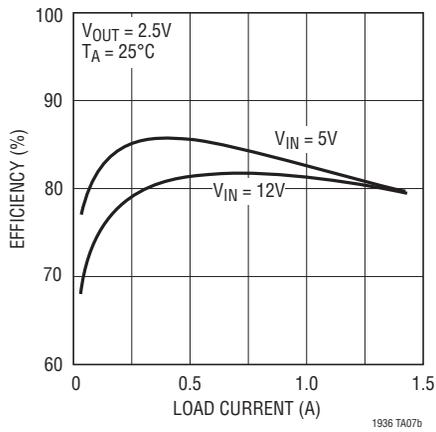


標準的応用例

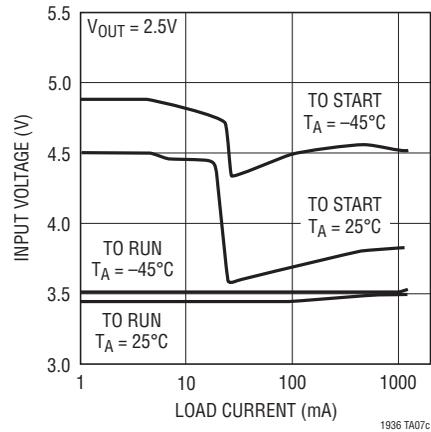
2.5V降圧コンバータ



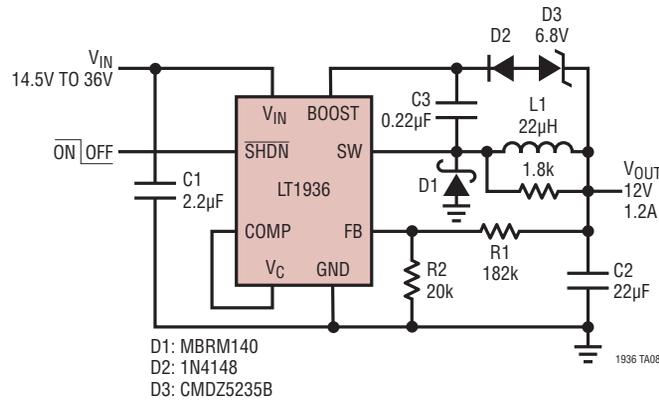
効率、2.5V出力



最小入力電圧

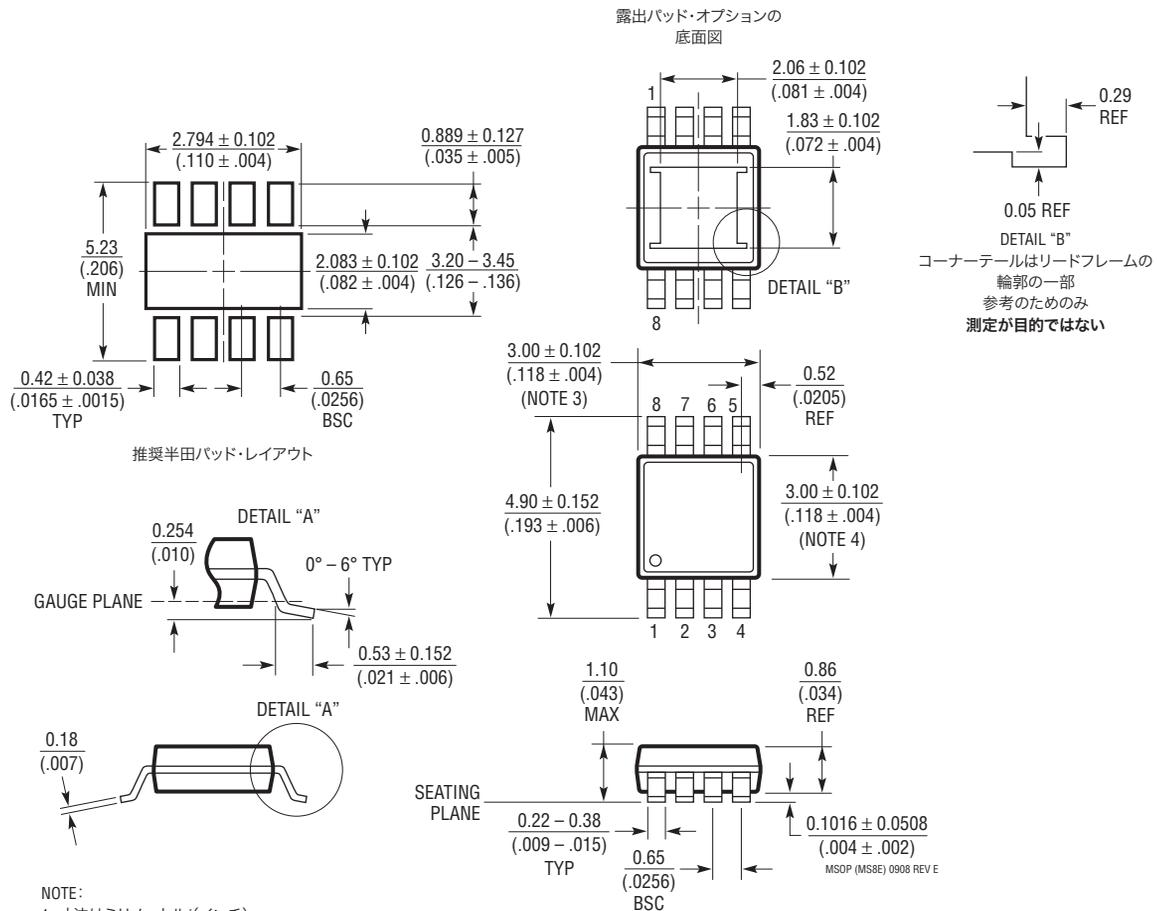


12V降圧コンバータ



パッケージ

MS8Eパッケージ
8ピン・プラスチックMSOP、露出ダイ・パッド
(Reference LTC DWG # 05-08-1662 Rev E)

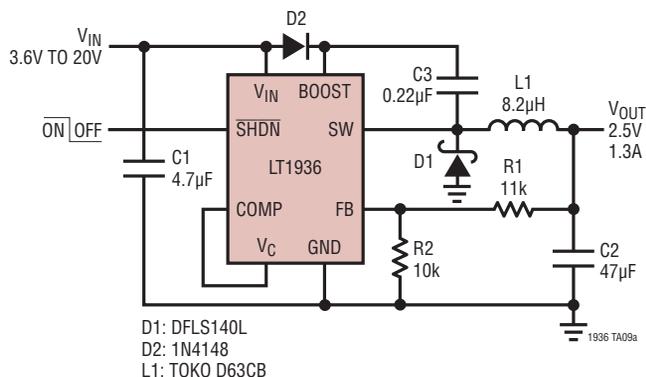


NOTE:

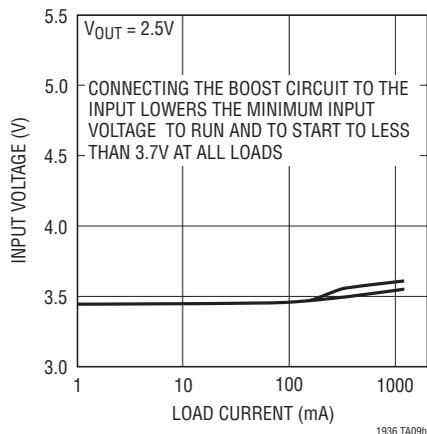
1. 寸法はミリメートル(インチ)
2. 図は実寸とは異なる
3. 寸法にはモールドのバリ、突出部、またはゲートのバリを含まない。
モールドのバリ、突出部、またはゲートのバリは、各サイドで0.152mm (0.006")を超えないこと
4. 寸法には、リード間のバリまたは突出部を含まない。
リード間のバリまたは突出部は、各サイドで0.152mm (0.006")を超えないこと
5. リードの平坦度(整形後のリードの底面)は最大0.102mm (.004")であること

標準的応用例

2.5V降圧コンバータ



最小入力電圧



関連製品

製品番号	説明	注釈
LT1676	60V、440mA (I _{OUT})、100kHz高効率降圧DC/DCコンバータ	V _{IN} : 7.4V~60V、V _{OUT(MIN)} = 1.24V、I _Q = 3.2mA、I _{SD} = 2.5µA、SO-8パッケージ
LT1765	25V、2.75A (I _{OUT})、1.25MHz高効率降圧DC/DCコンバータ	V _{IN} : 3V~25V、V _{OUT(MIN)} = 1.20V、I _Q = 1mA、I _{SD} = 15µA、SO-8と16ピンTSSOPEパッケージ
LT1766	60V、1.2A (I _{OUT})、200kHz高効率降圧DC/DCコンバータ	V _{IN} : 5.5V~60V、V _{OUT(MIN)} = 1.20V、I _Q = 2.5mA、I _{SD} = 25µA、16ピンTSSOP/TSSOPEパッケージ
LT1767	25V、1.2A (I _{OUT})、1.25MHz高効率降圧DC/DCコンバータ	V _{IN} : 3V~25V、V _{OUT(MIN)} = 1.20V、I _Q = 1mA、I _{SD} = 6µA、MS8/MS8Eパッケージ
LT1776	40V、550mA (I _{OUT})、200kHz高効率降圧DC/DCコンバータ	V _{IN} : 7.4V~40V、V _{OUT(MIN)} = 1.24V、I _Q = 3.2mA、I _{SD} = 30µA、N8/SO-8パッケージ
LT1933	SOT-23の600mA、500kHz降圧スイッチング・レギュレータ	V _{IN} : 3.6V~36V、V _{OUT(MIN)} = 1.25V、I _Q = 1.6mA、I _{SD} < 1µA、ThinSOT™パッケージ
LT1940	25V、デュアル1.4A (I _{OUT})、1.1MHz高効率降圧DC/DCコンバータ	V _{IN} : 3V~25V、V _{OUT(MIN)} = 1.2V、I _Q = 3.8mA、I _{SD} < 1µA、16ピンTSSOPEパッケージ
LT1956	60V、1.2A (I _{OUT})、500kHz高効率降圧DC/DCコンバータ	V _{IN} : 5.5V~60V、V _{OUT(MIN)} = 1.20V、I _Q = 2.5mA、I _{SD} = 25µA、16ピンTSSOP/TSSOPEパッケージ
LT1976	60V、1.2A (I _{OUT})、Burst Mode®動作付き200kHz高効率降圧DC/DCコンバータ	V _{IN} : 3.3V~60V、V _{OUT(MIN)} = 1.20V、I _Q = 100µA、I _{SD} < 1µA、16ピンTSSOPEパッケージ
LT3010	80V、50mA、低ノイズ・リニア・レギュレータ	V _{IN} : 1.5V~80V、V _{OUT(MIN)} = 1.28V、I _Q = 30µA、I _{SD} < 1µA、MS8Eパッケージ
LTC®3407	デュアル600mA (I _{OUT})、1.5MHz同期式降圧DC/DCコンバータ	V _{IN} : 2.5V~5.5V、V _{OUT(MIN)} = 0.6V、I _Q = 40µA、I _{SD} < 1µA、10ピンMSEパッケージ
LTC3412	2.5A (I _{OUT})、4MHz同期式降圧DC/DCコンバータ	V _{IN} : 2.5V~5.5V、V _{OUT(MIN)} = 0.8V、I _Q = 60µA、I _{SD} < 1µA、16ピンTSSOPEパッケージ
LTC3414	4A (I _{OUT})、4MHz同期式降圧DC/DCコンバータ	V _{IN} : 2.3V~5.5V、V _{OUT(MIN)} = 0.8V、I _Q = 64µA、I _{SD} < 1µA、20ピンTSSOPEパッケージ
LT3430/LT3431	60V、2.75A (I _{OUT})、200kHz/500kHz高効率降圧DC/DCコンバータ	V _{IN} : 5.5V~60V、V _{OUT(MIN)} = 1.20V、I _Q = 2.5mA、I _{SD} = 30µA、16ピンTSSOPEパッケージ

Burst Modeはリニアテクノロジー社の登録商標です。ThinSOTはリニアテクノロジー社の商標です。