

## SOT-23およびDFNパッケージの 600mA、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
- 16V~36Vの入力から5V/600mAを出力
- 12V~36Vの入力から3.3V/600mAを出力
- 6.3V~36Vの入力から5V/500mAを出力
- 4.5V~36Vの入力から3.3V/500mAを出力
- 500kHz固定周波数動作
- 小型のコンデンサとインダクタを使用
- ソフトスタート
- 内部補償
- 少ないシャットダウン電流: <math><2\mu\text{A}</math>
- 出力は1.25Vまで調節可能
- 高さの低い(1mm) SOT-23 (ThinSOT™)パッケージ  
および(2mm × 3mm × 0.75mm) 6ピンDFNパッケージ

### アプリケーション

- 車載バッテリーの安定化
- 産業用制御機器用電源
- ACアダプタのトランス出力の安定化
- 分配電源の安定化
- バッテリー駆動機器

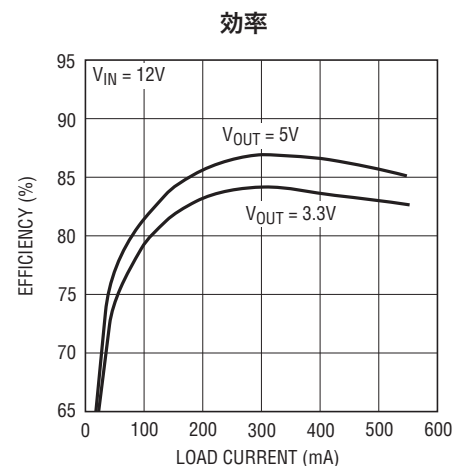
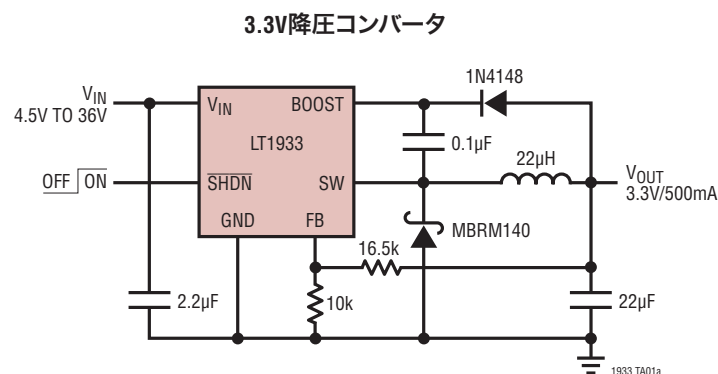
### 概要

LT®1933は0.75A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、小型6ピンSOT-23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、安定化されていないACアダプタのトランス出力、産業用24V電源、車載バッテリーなど、多様な電源の安定化に適しています。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、出力リップルが小さくなり、予測しやすくなります。

サイクルごとに電流が制限されるので出力の短絡に対して保護します。また、ソフトスタートにより起動時の入力電流サージが抑えられます。低電流(<math><2\mu\text{A}</math>)シャットダウンにより出力が切断されるので、バッテリー駆動型システムの電源管理を簡素化することができます。

LT、LT、LTC、LTM、リニアテクノロジーおよびリニアのロゴ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。  
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



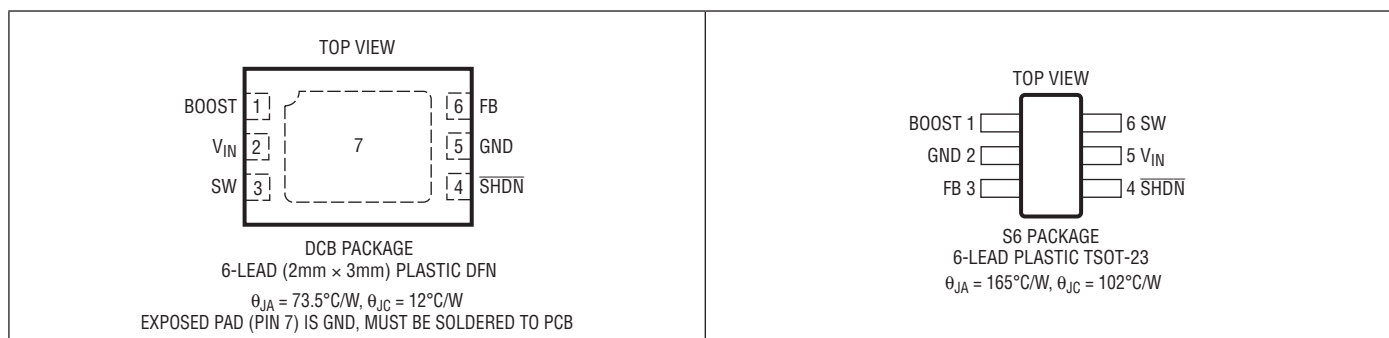
## 絶対最大定格

(Note 1)

入力電圧(V <sub>IN</sub> )	.....	-0.4V~36V
BOOSTピン電圧	.....	43V
SWピンを超えるBOOSTピン電圧	.....	20V
SHDNピン	.....	-0.4V~36V
FB電圧	.....	-0.4V~6V
動作温度範囲(Note 2)		
LT1933E	.....	-40°C~85°C

LT1933I	.....	-40°C~125°C
LT1933H	.....	-40°C~150°C
最大接合部温度		
LT1933E、LT1933I	.....	125°C
LT1933H	.....	150°C
保存温度範囲	.....	-65°C~150°C
リード温度、S6パッケージ (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
LT1933IDCB#PBF	LT1933IDCB#TRPBF	LCGM	6-Lead (2mm x 3mm) Plastic DFN	-40°C to 125°C
LT1933HDCB#PBF	LT1933HDCB#TRPBF	LCGN	6-Lead (2mm x 3mm) Plastic DFN	-40°C to 150°C
LT1933ES6#PBF	LT1933ES6#TRPBF	LTAGN	6-Lead Plastic TSOT-23	-40°C to 85°C
LT1933IS6#PBF	LT1933IS6#TRPBF	LTAGP	6-Lead Plastic TSOT-23	-40°C to 125°C
LT1933HS6#PBF	LT1933HS6#TRPBF	LTDDQ	6-Lead Plastic TSOT-23	-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
LT1933IDCB	LT1933IDCB#TR	LCGM	6-Lead (2mm x 3mm) Plastic DFN	-40°C to 125°C
LT1933HDCB	LT1933HDCB#TR	LCGN	6-Lead (2mm x 3mm) Plastic DFN	-40°C to 150°C
LT1933ES6	LT1933ES6#TR	LTAGN	6-Lead Plastic TSOT-23	-40°C to 85°C
LT1933IS6	LT1933IS6#TR	LTAGP	6-Lead Plastic TSOT-23	-40°C to 125°C
LT1933HS6	LT1933HS6#TR	LTDDQ	6-Lead Plastic TSOT-23	-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/tapeandree/> 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 $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。注記がない限り、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{BOOST} = 17\text{V}$ 。(Note 2)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Undervoltage Lockout			3.35	3.6	V	
Feedback Voltage		●	1.225	1.245	1.265	V
FB Pin Bias Current	$V_{FB} = \text{Measured } V_{REF} + 10\text{mV}$ (Note 4)	●	40	120	nA	
Quiescent Current	Not Switching		1.6	2.5	mA	
Quiescent Current in Shutdown	$V_{SHDN} = 0\text{V}$		0.01	2	$\mu\text{A}$	
Reference Line Regulation	$V_{IN} = 5\text{V to } 36\text{V}$		0.01		%/V	
Switching Frequency	$V_{FB} = 1.1\text{V}$		400	500	600	kHz
	$V_{FB} = 0\text{V}$			55		kHz
Maximum Duty Cycle		●	88	94	%	
Switch Current Limit	(Note 3)		0.75	1.05	A	
Switch $V_{CESAT}$	$I_{SW} = 400\text{mA}$ , S6 Package			370	500	mV
	$I_{SW} = 400\text{mA}$ , DCB6 Package			370		mV
Switch Leakage Current				2	$\mu\text{A}$	
Minimum Boost Voltage Above Switch	$I_{SW} = 400\text{mA}$		1.9	2.3	V	
BOOST Pin Current	$I_{SW} = 400\text{mA}$		18	25	mA	
SHDN Input Voltage High			2.3		V	
SHDN Input Voltage Low				0.3	V	
SHDN Bias Current	$V_{SHDN} = 2.3\text{V}$ (Note 5) $V_{SHDN} = 0\text{V}$		34	50	$\mu\text{A}$	
			0.01	0.1	$\mu\text{A}$	

**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。

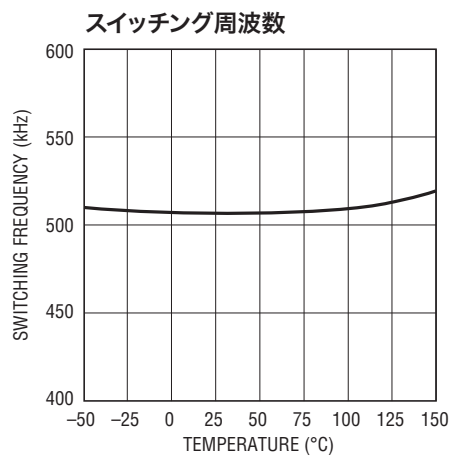
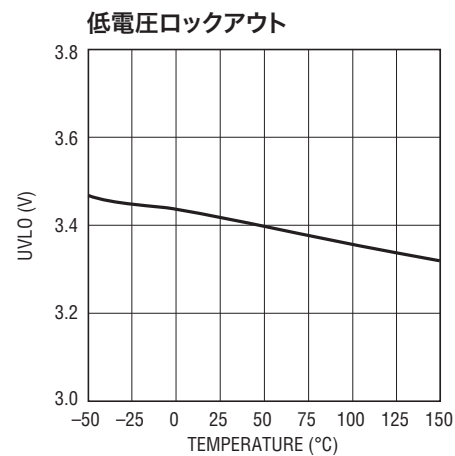
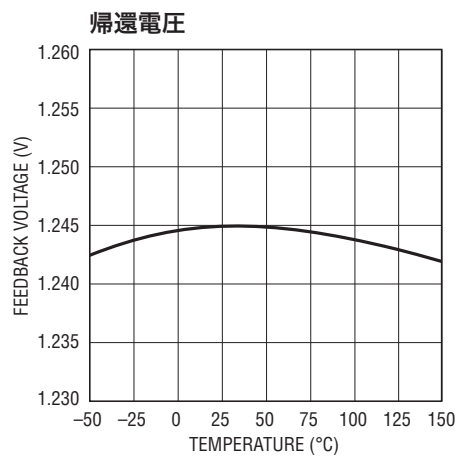
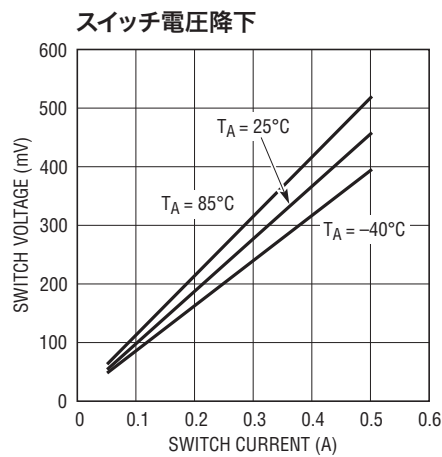
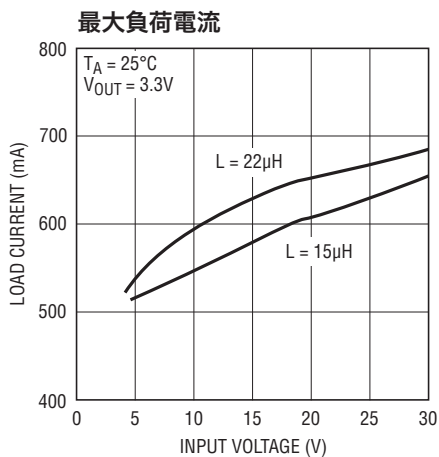
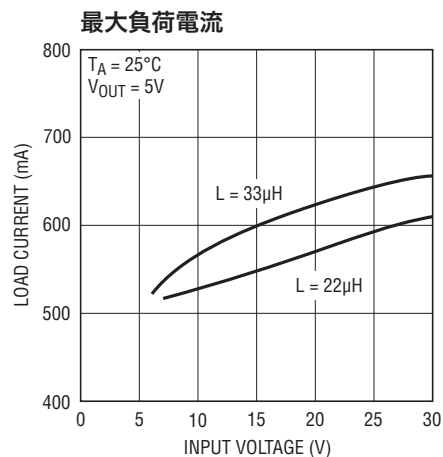
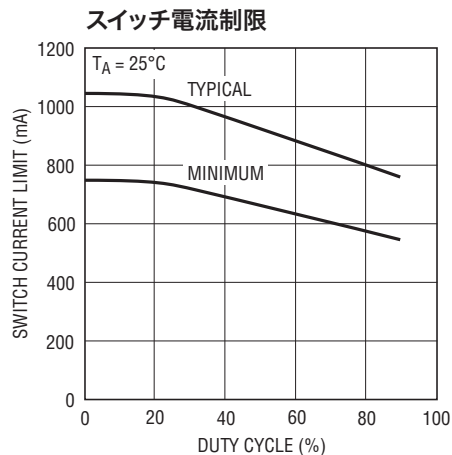
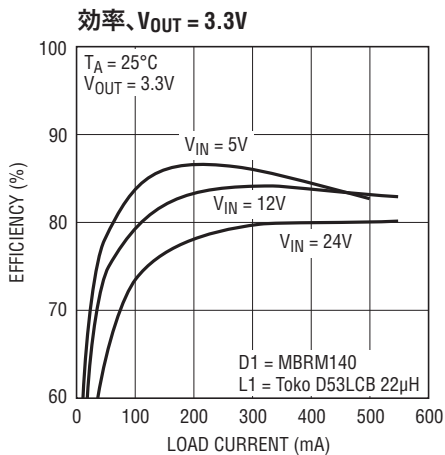
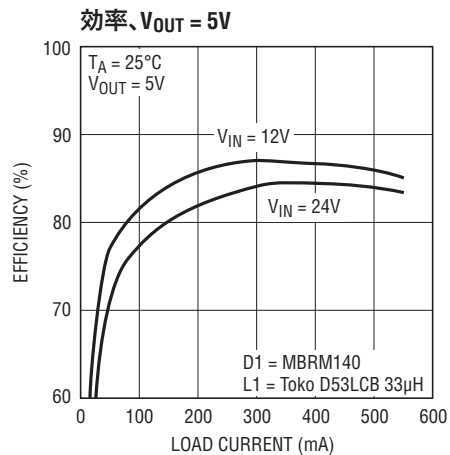
**Note 2:** LT1933Eは $0^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$ の温度範囲で性能仕様に適合することが保証されている。 $-40^\circ\text{C} \sim 85^\circ\text{C}$ の動作温度範囲での仕様は設計、特性評価および統計学的なプロセス・コントロールとの相関で確認されている。LT1933Iの仕様は $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ の温度範囲で保証されている。LT1933Hの仕様は $-40^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ 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減少する。

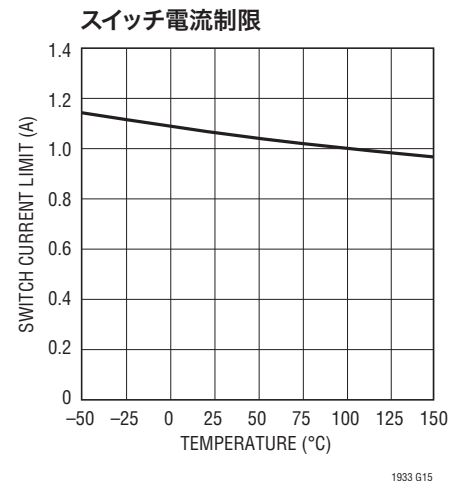
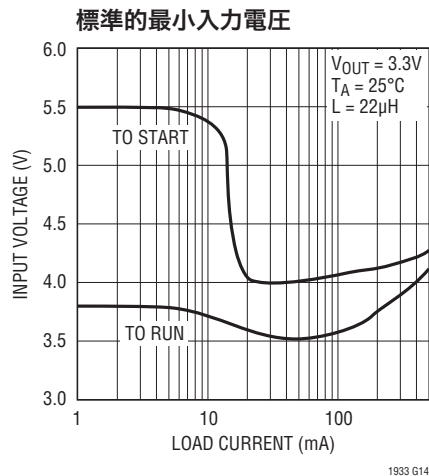
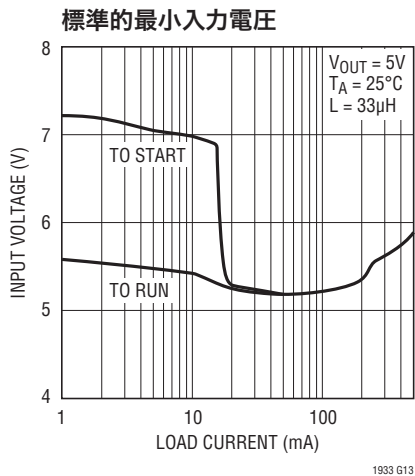
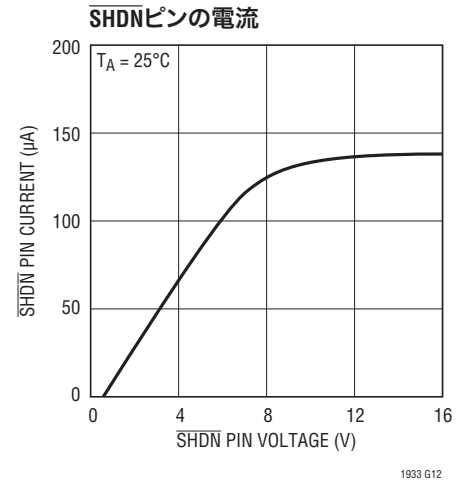
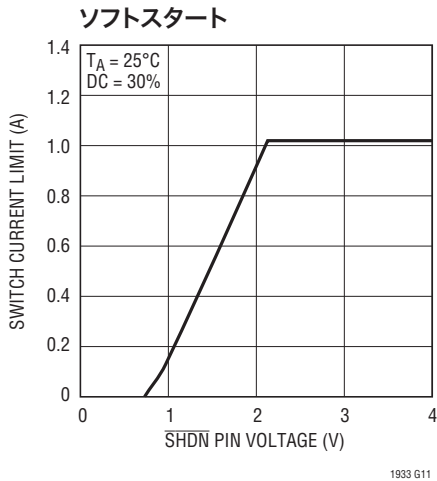
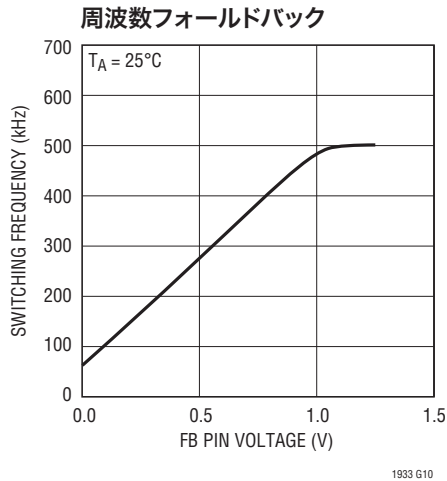
**Note 4:** 電流はピンから流れ出す。

**Note 5:** 電流はピンへ流れ込む。

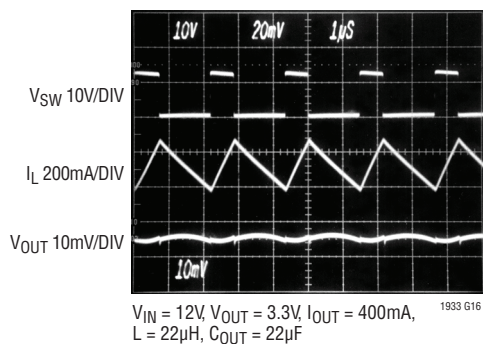
標準的性能特性



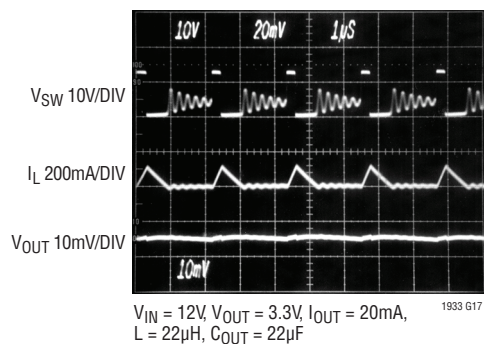
## 標準的性能特性



動作時の波形



動作時の波形、不連続モード



# LT1933

## ピン機能 (SOT-23/DFN)

**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部バイポーラNPNパワー・スイッチに供給するのに使います。

**GND (ピン2/ピン5および露出パッド、ピン7)**: GNDピンはLT1933および回路部品の下のローカル・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。

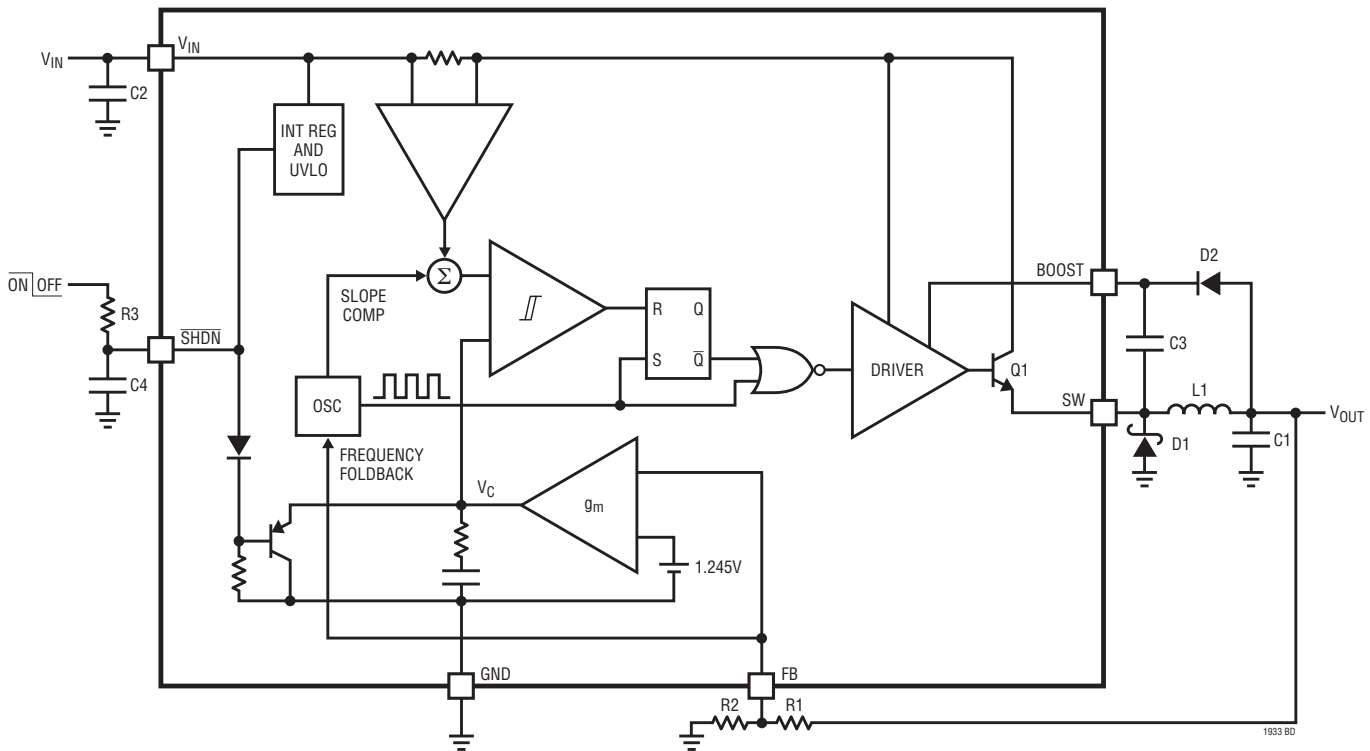
**FB (ピン3/ピン6)**: LT1933はその帰還ピンを1.245Vに安定化します。帰還抵抗分割器のタップはこのピンに接続します。 $V_{OUT} = 1.245V(1 + R1/R2)$ に従って出力電圧を設定します。R2の適切な値は10kです。

**SHDN (ピン4)**: このピンを使ってLT1933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LT1933はシャットダウンします。通常動作にするには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実行されます。「アプリケーション情報」を参照してください。

**$V_{IN}$  (ピン5/ピン2)**:  $V_{IN}$ ピンはLT1933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6)**: 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。

## ブロック図



## 動作 (ブロック図を参照)

LT1933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750mA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<sub>IN</sub>ピンとSWピン間を流れる電流をモニタし、この電流がV<sub>C</sub>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。エラーアンプはFBピンに接続された外付け抵抗分割器を使用して出力電圧を測定し、V<sub>C</sub>ノードをサーボ制御します。エラーアンプの出力が上昇すると出力に供給される電流が増えます。エラーアンプの出力が低下すると供給される電流は減ります。V<sub>C</sub>ノードのアクティブ・クランプ(示されていない)によって電流制限がおこなわれます。V<sub>C</sub>ノードは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<sub>IN</sub>が約3.35Vより低くなるとスイッチングを停止する低電圧ロックアウトが備わっています。SHDNピンはLT1933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2μA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ピンのいずれかで動作します。外付けのコンデンサとダイオードを使用して、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て高い効率を実現できます。

FBピンの電圧が低いと発振器はLT1933の動作周波数を下げます。この周波数フォールドバックにより、起動時および過負荷時の出力電流を制御することができます。

## 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ピン間に接続した抵抗分割器を使って設定します。次式にしたがって1%抵抗を選択します。

$$R1 = R2(V_{OUT}/1.245 - 1)$$

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

LT1933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<sub>IN</sub>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LT1933の約3.35V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。

$$DC = (V_{OUT} + V_D) / (V_{IN} - V_{SW} + V_D)$$

ここで、V<sub>D</sub>はキャッチ・ダイオードの順方向電圧降下(約0.4V)、V<sub>SW</sub>は内部スイッチの電圧降下(最大負荷で約0.4V)です。したがって、最小入力電圧は次のようになります。

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

ここで、DC<sub>MAX</sub> = 0.88

最大入力電圧はV<sub>IN</sub>ピンとBOOSTピンの絶対最大定格および(130nsの最小オン時間に対応する)最小デューティ・サイクルルDC<sub>MIN</sub> = 0.08によって決まります。

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

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<sub>IN</sub>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次の値が適しています。

$$L = 5 (V_{OUT} + V_D)$$

ここでV<sub>D</sub>はキャッチ・ダイオードの電圧降下(約0.4V)で、Lの単位はμHです。この値を使うと最大負荷電流は500mA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。フォールト状態で堅牢な動作を保つには、飽和電流を約

## アプリケーション情報

1Aにします。効率を高く保つには、直列抵抗(DCR)を0.2Ωより小さくします。適応するインダクタのタイプと製造販売元のリストを表1に示します。

もちろん、このようにシンプルなデザイン・ガイドでは、個々のアプリケーションで最適のインダクタが常に得られ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500mAより小さい場合、インダクタの値を小さくして高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。このデータシートの「標準的性能特性」のいくつかのグラフには、一般的な出力電圧に対する、入力電圧およびインダクタ値と最大負荷電流との関係が示されています。インダクタンスが小さいと不連続モード動作になることがあります。問題はあります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、リアテクノロジー社の「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%を超える( $V_{OUT}/V_{IN} > 0.5$ )場合、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。3( $V_{OUT} + V_D$ )μH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0.5Aまたは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でなければなりません。ON SemiconductorのMBR0540は良い選択といえます。このダイオードの定格は順方向電流が0.5Aで、最大逆電圧が40Vです。MBRM140は効率を上げ、広い負荷条件で使えます。

### 入力コンデンサ

X7RまたはX5Rタイプの2.2μF以上のセラミック・コンデンサを使ってLT1933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。2.2μFのセラミック・コンデンサはLT1933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大きい場合、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。これには高性能で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立上りと立下りが非常に高速なパルス電流が流れます。その結果LT1933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を最小限に抑え

表1. インダクタの製造販売元

Vendor	URL	Part Series	Inductance Range (μH)	Size (mm)
Coilcraft	www.coilcraft.com	D01608C	10 to 22	2.9 × 4.5 × 6.6
		MSS5131	10 to 22	3.1 × 5.1 × 5.1
		MSS6122	10 to 33	2.2 × 6.1 × 6.1
Sumida	www.sumida.com	CR43	10 to 22	3.5 × 4.3 × 4.8
		CDRH4D28	10 to 33	3.0 × 5.0 × 5.0
		CDRH5D28	22 to 47	3.0 × 5.7 × 5.7
Toko	www.toko.com	D52LC	10 to 22	2.0 × 5.0 × 5.0
		D53LC	22 to 47	3.0 × 5.0 × 5.0
Würth Elektronik	www.we-online.com	WE-TPC MH	10 to 22	2.8 × 4.8 × 4.8
		WE-PD4 S	10 to 22	2.9 × 4.5 × 6.6
		WE-PD2 S	10 to 47	3.2 × 4.0 × 4.5



## アプリケーション情報

るために入力コンデンサが必要です。2.2 $\mu$ Fのコンデンサはこの役目を果たしますが、それがLT1933とキャッチ・ダイオードの近くに配置される場合に限られます。「PCBレイアウト」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LT1933の最大入力電圧定格の関係に関するものです。入力セラミック・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)タンク回路を形成します。LT1933の回路を通电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、LT1933の電圧定格を超えるおそれがあります。この状況は容易に避けられます。「安全な活線挿入」を参照してください。

### 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LT1933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は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小さいことが重要です。2番目の機能は、過渡負荷に電流を供給してLT1933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が得られます。十分な値は次のとおりです。

$$C_{OUT} = 60/V_{OUT}$$

ここで $C_{OUT}$ の単位は $\mu$ Fです。X5RまたはX7Rのタイプを使いますが、 $V_{OUT}$ でバイアスされているセラミック・コンデンサの容量は公称値よりも小さくなることを忘れないでください。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。値の大きなコンデンサを使うと過渡性能を改善することができますが、利点を十分引き出すには帰還抵抗 $R_1$ の両端に位相リード・コンデンサを接続する必要があるかもしれません(「周波数補償」を参照)。

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なので、スイッチング・レギュレータ用のものを選択します。製造販売元によってESRが規定されている必要があり、0.1 $\Omega$ 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るので、コンデンサの製造販売元のリストを表2に示します。

表2. コンデンサの製造販売元

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	

アプリケーション情報

いくつかのコンデンサを選択した場合のLT1933の過渡応答を図1に示します。出力は3.3Vです。負荷電流は100mAから400mAにステップさせ、100mAに戻っています。オシロスコプのトレースは出力電圧を示しています。上の写真は推奨値を示しています。2番目の写真は、出力コンデンサが大きくなり、位相リード・コンデンサが追加された結果改善された応

答(電圧降下が小さい)を示しています。最後の写真は高性能電解コンデンサの場合の応答を示しています。過渡応答は大きな出力容量によって改善されていますが、このコンデンサのESRが大きいため出力リップルは(トレースの線幅が広がっていることから分かるように)増加しています。

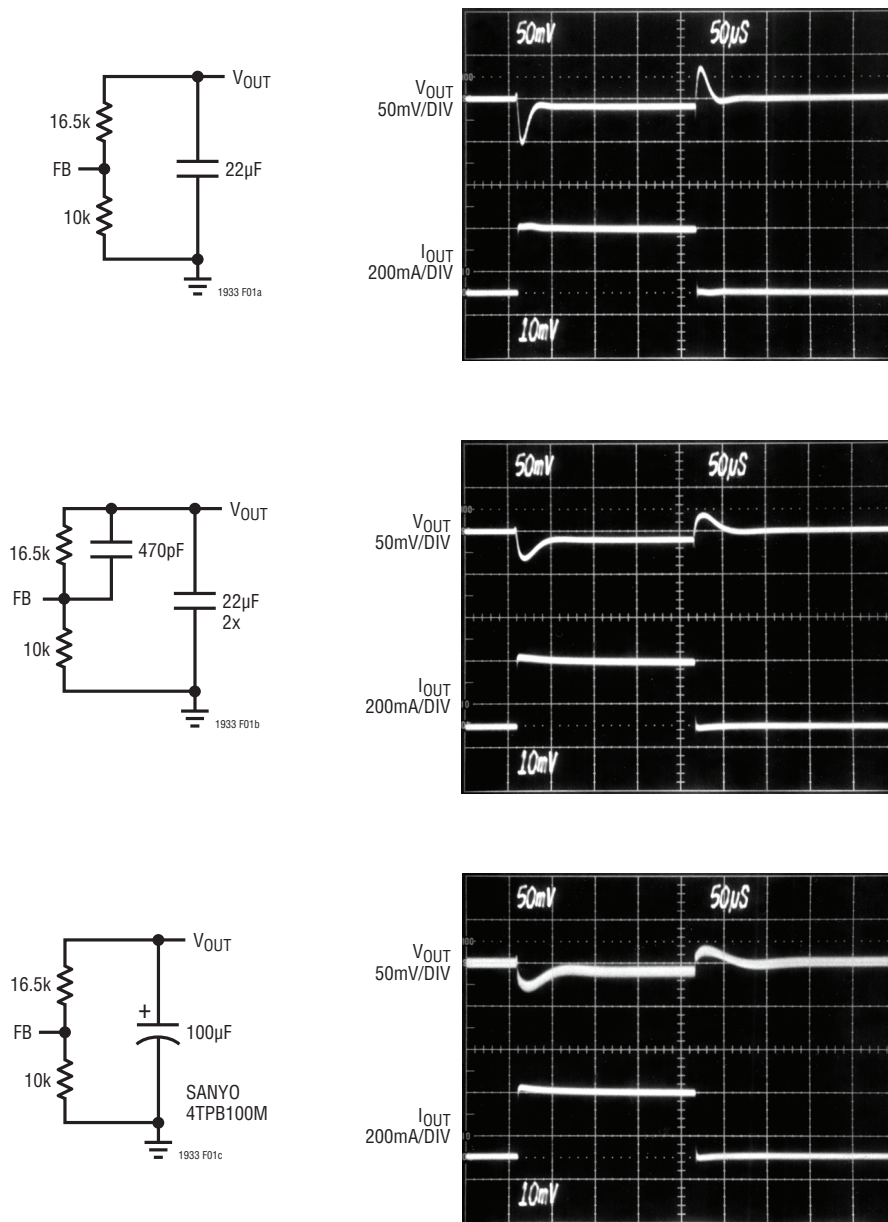


図1. 負荷電流を100mAから400mAにステップさせたときの異なる出力コンデンサを使ったLT1933の過渡負荷応答。  
 $V_{IN} = 12V$ 、 $V_{OUT} = 3.3V$ 、 $L = 22\mu H$ 。

## 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、0.1μF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)で良好に動作します。昇圧回路の2つの構成方法を図2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2a)が最適です。2.5V~3Vの出力の場合、0.47μFのコンデンサと小型のショットキー・ダイオード(BAT-54など)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に接続することができます(図2b)。電圧の低い方の電圧源からBOOSTピンの電流が供給されるので、図2aの回路の方が効率が高くなります。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。

先に説明したとおり、LT1933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3.35V)および最大デューティ・サイクルによって制限されます。正しく起動するために、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LT1933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。回路が起動したあと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と入力電圧の関係をプロットしたものを図3に示します。多くの場合、放電しきった出力コンデンサがスイッチャの負荷

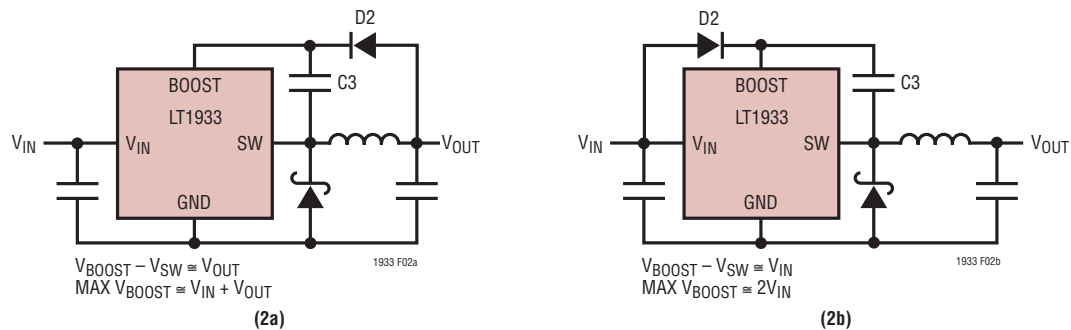


図2. 昇圧電圧を発生させる2つの回路

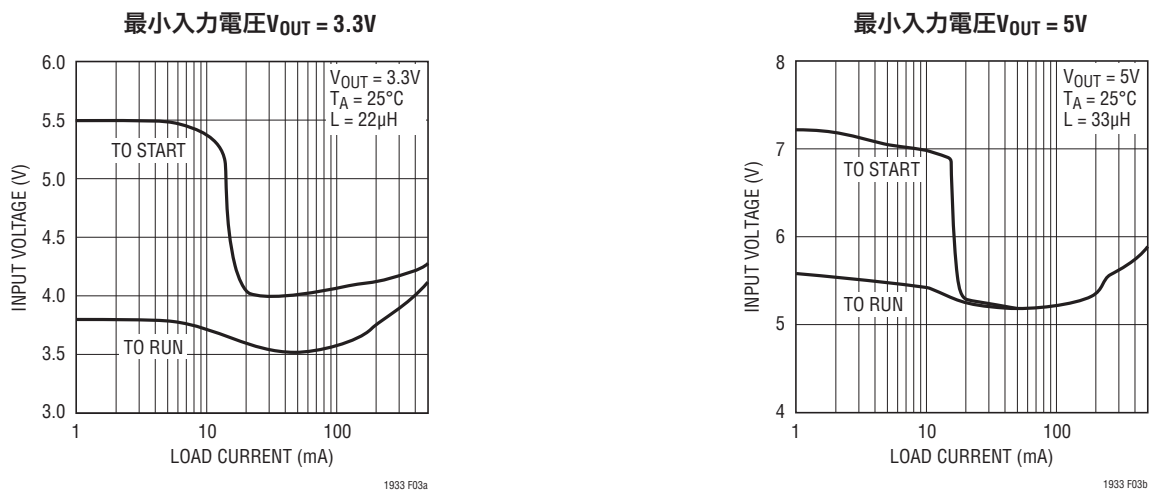


図3. 最小入力電圧は出力電圧、負荷電流、および昇圧回路に依存する

アプリケーション情報

となるので、スイッチャは起動できます。プロットは $V_{IN}$ 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 $V_{IN}$ 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 $V_{OUT}$ より約300mV高い電圧にまで低下します。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LT1933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

$\overline{SHDN}$ ピンを使ってLT1933をソフトスタートさせることにより、起動時の最大入力電流を低減することができます。 $\overline{SHDN}$ ピンの電圧をランプアップするため、このピンは外付けのRCフィルタを介してドライブされます。ソフトスタート回路がある場合とない場合の起動波形を図4に示します。大きなRC時定数を選択することにより、オーバーシュートなしに、ピーク起動電流を出力を安定化するのに必要な電流まで減らすことができます。 $\overline{SHDN}$ ピンが2.3Vに達したとき60 $\mu$ Aを供給できるように抵抗の値を選択します。

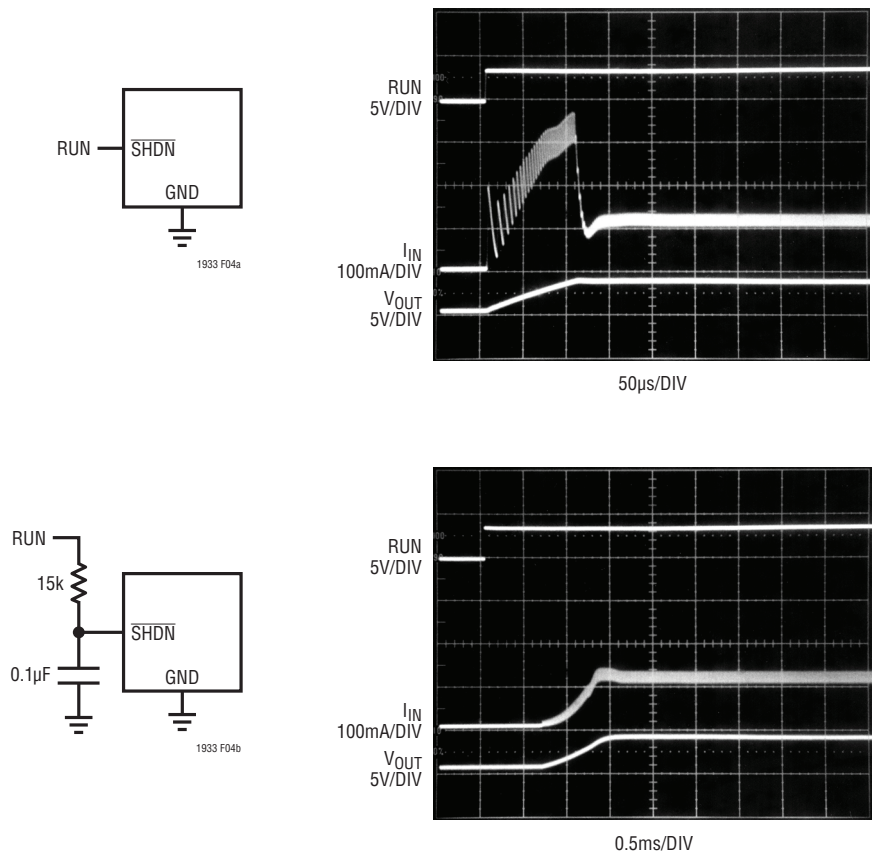


図4. LT1933をソフトスタートさせるには抵抗とコンデンサをSHDNピンに追加する。 $V_{IN} = 12V$ 、 $V_{OUT} = 3.3V$ 、 $C_{OUT} = 22\mu F$ 、 $R_{LOAD} = 10\Omega$ 。

## アプリケーション情報

### 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、LT1933降圧レギュレータは出力の短絡に耐えます。LT1933に入力がかわっていないときに出力が高く保持されるシステムで考慮すべき別の状況があります。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LT1933の出力とダイオードOR接続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。V<sub>IN</sub>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V<sub>IN</sub>に接続されて)“H”に保持されていると、SWピンを通してLT1933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。SHDNピンを接地すると、SWピンの電流は実質的にゼロまで低下します。ただし、出力を高く保持した状態でV<sub>IN</sub>ピンを接地すると、出力からSWピンとV<sub>IN</sub>ピンを通してLT1933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。入力電圧が印加さ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5に示します。

### 安全な活線挿入

セラミック・コンデンサは小型で、堅牢で低インピーダンスなので、LT1933の回路の入力バイパス・コンデンサに最適です。ただし、LT1933が通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、LT1933のV<sub>IN</sub>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ます。LT1933の定格を超えてデバイスを傷め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LT1933を通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。

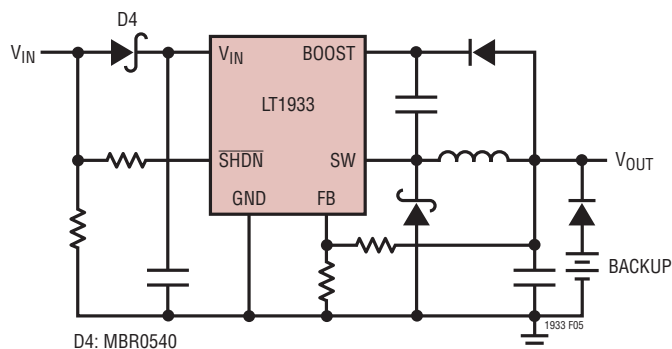
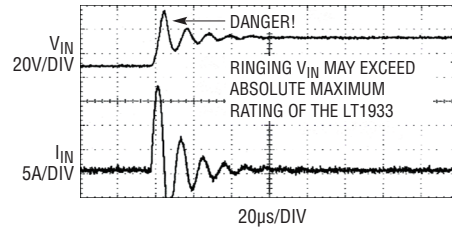
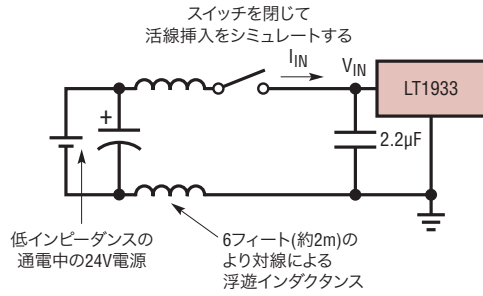
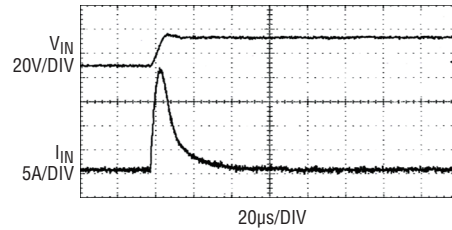
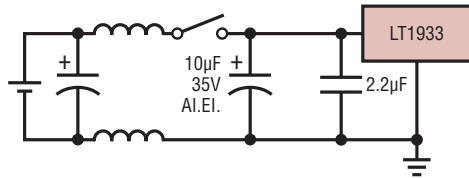


図5. ダイオードD4は出力に接続されたバックアップ用バッテリーが短絡入力によって放電するのを防ぐ。逆入力に対しても回路を保護する。LT1933は入力が印加されているときだけ動作する

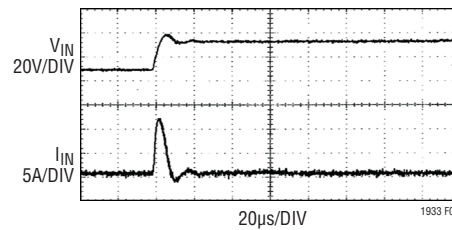
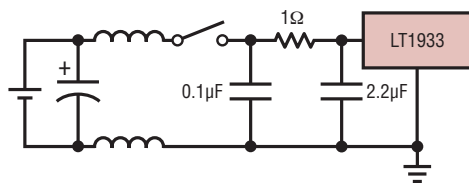
アプリケーション情報



(6a)



(6b)



(6c)

図6. 入力ネットワークを正しく選択すると、LT1933を通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

LT1933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6に示します。最初のプロットは入力に2.2 $\mu$ 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35Vに達するリングングを生じ、入力電流のピークは20Aに達します。タンク回路を減衰させるひとつの方法としては、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6b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タンク回路を減衰させ、電圧オーバーシュートを抑えます。追加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が、この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。代替ソリューションを図6cに示します。電圧オーバーシュートを抑えるため1 $\Omega$ 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 $\mu$ 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出力の効率低下は0.5%以下です。

### 周波数補償

LT1933は電流モード制御を使って出力を制御します。そのためループ補償が簡素化されます。特に、LT1933は安定動作のための出力コンデンサのESRを必要としないので、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。

LT1933の制御ループの等価回路を図7に示します。エラー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 $V_C$ ノード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ています。出力コンデンサはこの電流を積分し、 $V_C$ ノードのコンデンサ( $C_C$ )はエラー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。 $R_C$ はゼロを1つ生じます。推奨出力コンデンサを使うとループのクロスオーバは $R_C C_C$ のゼロより上に生じます。このシンプル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周波数がスイッチング周波数よりはるかに低いかぎり良好に動作します。大きなセラミック・コンデンサ(ESRが非常に小さい)を使うとクロスオーバを下げることができ、帰還分割器の両端に位相リード・コンデンサ( $C_{PL}$ )を使うと位相マージンと過渡応答を改善することができます。大きな電解コンデンサのESRは追加のゼロを生じるのに十分なほど大きいことがあり、位相リード・コンデンサは不要かもしれません。

出力コンデンサが推奨コンデンサと異なる場合、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。

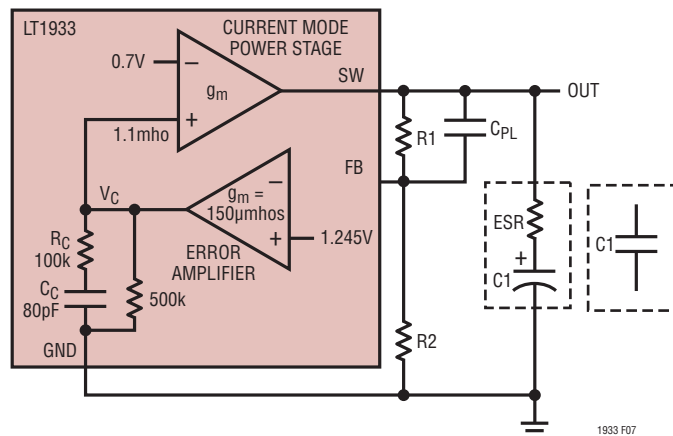


図7. ループ応答モデル

# LT1933

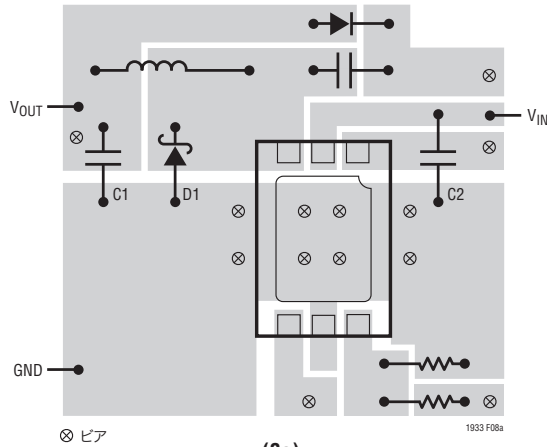
## アプリケーション情報

### PCBのレイアウト

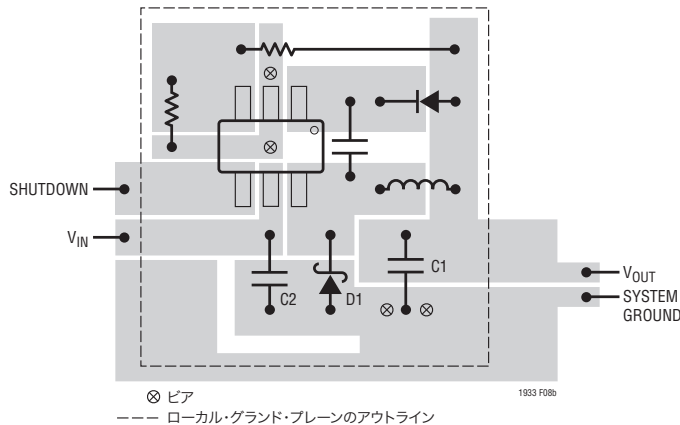
動作を最適化し、EMIを最小にするには、プリント回路基板のレイアウト時に注意が必要です。推奨部品配置とトレース、グラウンド・プレーン、およびビアの位置を図8に示します。大きなスイッチング電流がLT1933の $V_{IN}$ ピンとSWピン、キャッチ・ダイオード(D1)および入力コンデンサ(C2)を流れることに注意してください。これらの部品が形成するループはできるだけ小さくし、1箇所ですべてシステム・グラウンドに接続します。これらの部品とインダクタおよび出力コンデンサは回路基板の同じ側に配置し、それらの接続はその層でおこないます。これらの部品の下には切れ目のないローカル・グラウンド・プレーンを配置し、この

グラウンド・プレーンを1箇所ですべてシステム・グラウンドに(理想的には出力コンデンサC1のグラウンド端子に)接続します。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・ピンとグラウンド・トレースがSWノードとBOOSTノードからFBノードをシールドするようにFBノードを小さくします。LT1933のGNDピンの近くに2個のビアを置き、LT1933からの熱がグラウンド・プレーンに放散しやすくします。

DFNパッケージのレイアウトを図8aに示します。露出しているダイパッドの近くと下側のビアにより、LT1933の熱抵抗が最小限に抑えられます。



(8a)  
DFNパッケージ



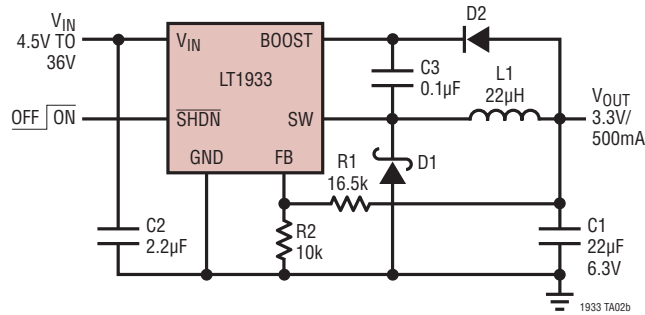
(8b)  
SOT-23パッケージ

図8. すぐれたPCBレイアウトによる適切な低EMI動作の保証

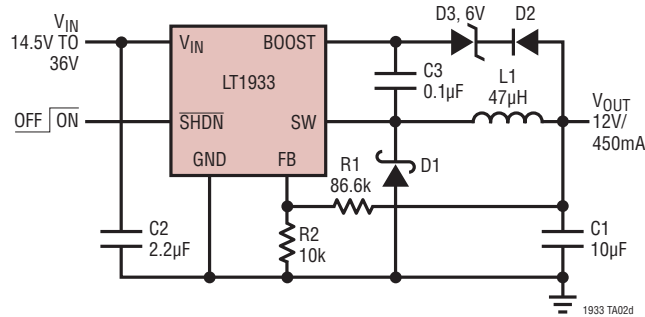


標準的応用例

3.3V降圧コンバータ

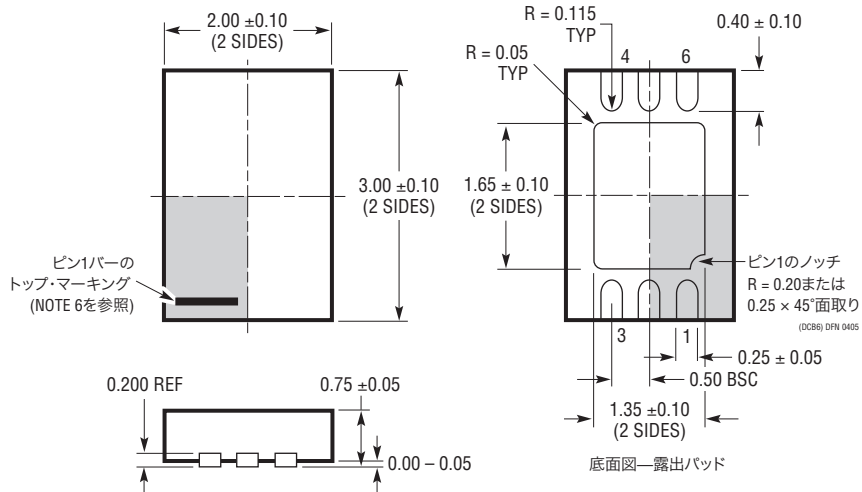
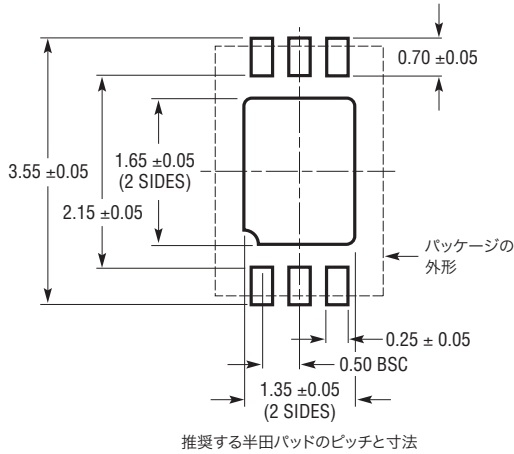


12V降圧コンバータ



パッケージ

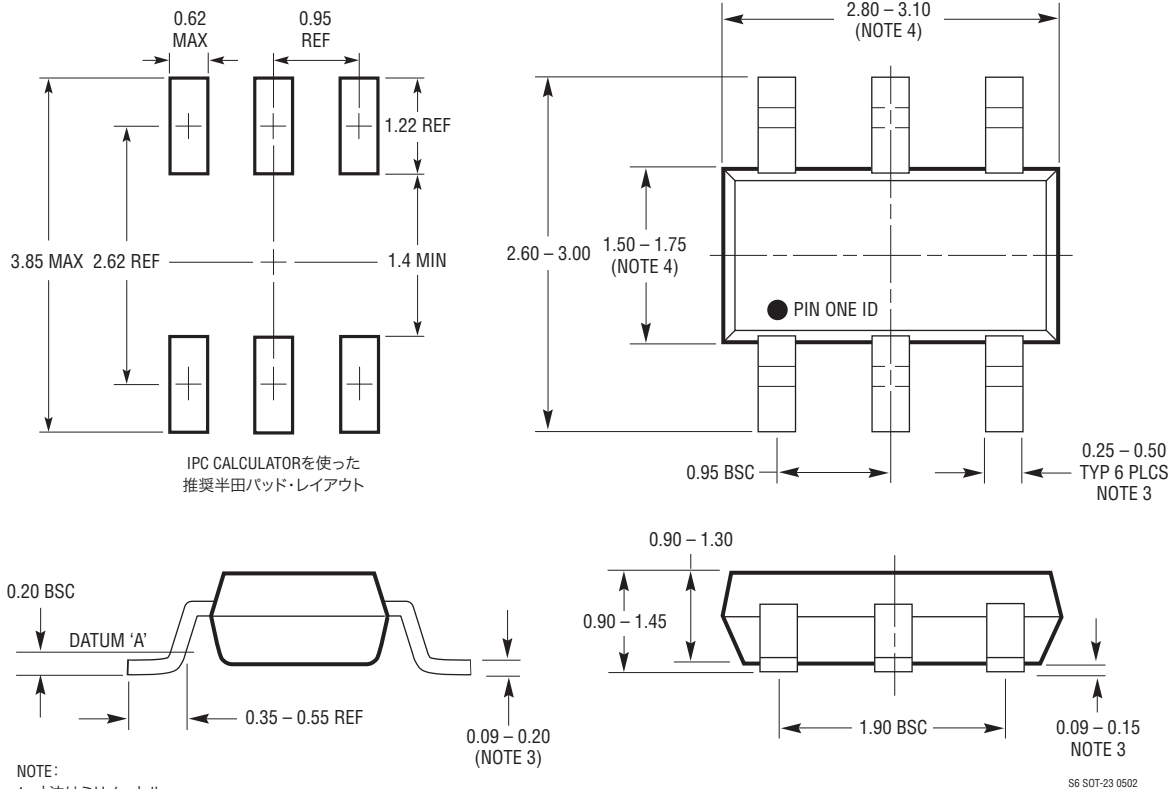
DCBパッケージ  
6ピン・プラスチックDFN (2mm × 3mm)  
(Reference LTC DWG # 05-08-1715)



- NOTE:
1. 図はJEDECパッケージ外形MO-229のバリエーションになる予定
  2. 図は実寸とは異なる
  3. 全ての寸法はミリメートル
  4. パッケージ底面の露出パッドの寸法にはモールドのバリを含まない。  
モールドのバリは(もしあれば)各サイドで0.15mmを超えないこと
  5. 露出パッドは半田メッキとする
  6. 網掛けの部分はパッケージの上面と底面のピン1の位置の参考に過ぎない

パッケージ

S6パッケージ  
6ピン・プラスチックSOT-23  
(Reference LTC DWG # 05-08-1634)



NOTE:

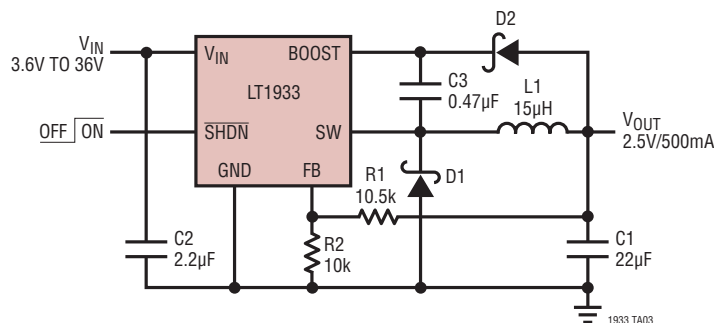
1. 寸法はミリメートル
2. 図は実寸とは異なる
3. 寸法にはメッキを含む
4. 寸法にはモールドのバリや金属のバリを含まない
5. モールドのバリは0.254mmを超えてはならない
6. パッケージのEIAJ参照番号はSC-74A (EIAJ)

注意:元のSOT23-6Lパッケージ

ほとんどのSOT23-6L製品は、およそ2001年4月の出荷日以降、  
薄型SOT23パッケージ(DRAWING # 05-08-1636)に替えられている

標準的応用例

2.5V降圧コンバータ



関連製品

製品番号	説明	注釈
LT1074/LT1074HV	4.4A I <sub>OUT</sub> 、100kHz高効率降圧DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> : 7.3V~45V/64V、V <sub>OUT(MIN)</sub> = 2.21V、I <sub>Q</sub> = 8.5mA、I <sub>SD</sub> = 10µA、DD-5/DD-7、TO220-5/TO220-7パッケージ
LT1076/LT1076HV	1.6A I <sub>OUT</sub> 、100kHz高効率降圧DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> : 7.3V~45V/64V、V <sub>OUT(MIN)</sub> = 2.21V、I <sub>Q</sub> = 8.5mA、I <sub>SD</sub> = 10µA、DD-5/DD-7、TO220-5/TO220-7パッケージ
LT1676	60V、440mA I <sub>OUT</sub> 、100kHz高効率降圧DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> : 7.4V~60V、V <sub>OUT(MIN)</sub> = 1.24V、I <sub>Q</sub> = 3.2mA、I <sub>SD</sub> = 2.5µA、S8パッケージ
LT1765	25V、2.75A I <sub>OUT</sub> 、1.25MHz高効率降圧DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> : 3V~25V、V <sub>OUT(MIN)</sub> = 1.2V、I <sub>Q</sub> = 1mA、I <sub>SD</sub> = 15µA、S8、TSSOP16Eパッケージ
LT1766	60V、1.2A I <sub>OUT</sub> 、200kHz高効率降圧DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> : 5.5V~60V、V <sub>OUT(MIN)</sub> = 1.2V、I <sub>Q</sub> = 2.5mA、I <sub>SD</sub> = 25µA、TSSOP16/TSSOP16Eパッケージ
LT1767	25V、1.2A I <sub>OUT</sub> 、1.25MHz高効率降圧DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> : 3V~25V、V <sub>OUT(MIN)</sub> = 1.2V、I <sub>Q</sub> = 1mA、I <sub>SD</sub> = 6µA、S8、MS8/MS8Eパッケージ
LT1776	40V、550mA I <sub>OUT</sub> 、200kHz高効率降圧DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> : 7.4V~40V、V <sub>OUT(MIN)</sub> = 1.24V、I <sub>Q</sub> = 3.2mA、I <sub>SD</sub> = 30µA、S8、N8パッケージ
LT1940	25V、デュアル出力1.4A I <sub>OUT</sub> 、1.1MHz高効率降圧DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> : 3.6V~25V、V <sub>OUT(MIN)</sub> = 1.25V、I <sub>Q</sub> = 3.8mA、I <sub>SD</sub> < 30µA、TSSOP16Eパッケージ
LT1956	60V、デュアル1.2A I <sub>OUT</sub> 、500kHz高効率降圧DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> : 5.5V~60V、V <sub>OUT(MIN)</sub> = 1.2V、I <sub>Q</sub> = 2.5mA、I <sub>SD</sub> = 25µA、TSSOP16/TSSOP16Eパッケージ
LT1976	60V、デュアル1.2A I <sub>OUT</sub> 、Burst Mode <sup>®</sup> 付き200kHz高効率降圧DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> : 3.3V~60V、V <sub>OUT(MIN)</sub> = 1.2V、I <sub>Q</sub> = 100µA、I <sub>SD</sub> < 1µA、TSSOP16Eパッケージ
LT3010	80V、50mA、低ノイズ・リニア・レギュレータ	V <sub>IN</sub> : 1.5V~80V、V <sub>OUT(MIN)</sub> = 1.28V、I <sub>Q</sub> = 30µA、I <sub>SD</sub> < 1µA、MS8Eパッケージ
LT3407	デュアル600mA I <sub>OUT</sub> 、1.5MHz同期整流式降圧DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> : 2.5V~5.5V、V <sub>OUT(MIN)</sub> = 0.6V、I <sub>Q</sub> = 40µA、I <sub>SD</sub> < 1µA、MS10Eパッケージ
LT3412	2.5A I <sub>OUT</sub> 、4MHz同期整流式降圧DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> : 2.5V~5.5V、V <sub>OUT(MIN)</sub> = 0.8V、I <sub>Q</sub> = 60µA、I <sub>SD</sub> < 1µA、TSSOP16Eパッケージ
LTC3414	4A I <sub>OUT</sub> 、4MHz同期整流式降圧DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> : 2.3V~5.5V、V <sub>OUT(MIN)</sub> = 0.8V、I <sub>Q</sub> = 64µA、I <sub>SD</sub> < 1µA、TSSOP20Eパッケージ
LT3430/LT3431	60V、2.75A I <sub>OUT</sub> 、200kHz/500kHz同期整流式降圧DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> : 5.5V~60V、V <sub>OUT(MIN)</sub> = 1.2V、I <sub>Q</sub> = 2.5mA、I <sub>SD</sub> = 30µA、TSSOP16E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。