

# LM2700

*LM2700 600kHz/1.25MHz, 2.5A, Step-up PWM DC/DC Converter*



Literature Number: JAJ959

## LM2700

### 600kHz/1.25MHz、2.5A、昇圧型 PWM 制御 DC/DC コンバータ

#### 概要

LM2700は昇圧型のDC/DCコンバータで、スイッチング電流3.6A、オン抵抗 80mΩ の内部スイッチを有し、スイッチング周波数を切り替える機能を備えています。単一のリチウムイオン・バッテリーから、8V、500mA の出力を生成する能力を備えた LM2700 は、LCD ディスプレイのバイアス用途に最適です。LM2700 のスイッチング周波数は 600kHz または 1.25MHz を選択でき、低ノイズで、ノイズのフィルタリングも容易です。また、外部補償ピンを備えているので、位相補償を設定でき、これにより出力に小型で低 ESR のセラミック・コンデンサを使用することが可能になりました。LM2700 は負荷が軽い状態で連続スイッチング動作を行います。スイッチング待機時電流は、600kHz にて 2.0mA、1.25MHz にて 3.0mA です。LM2700 は、高さの低い 14 ピン TSSOP パッケージか 14 ピン LLP パッケージで供給されます。

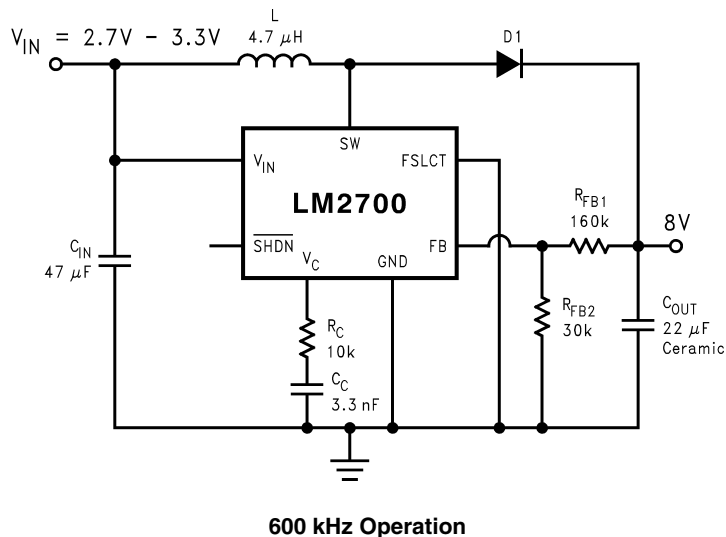
#### 特長

- スイッチング電流 3.6A、オン抵抗 0.08Ω の内部スイッチ
- 動作入力電圧範囲：2.2V ~ 12V
- 入力アンダーボルテージ保護
- 出力電圧は最高 17.5V まで対応
- スイッチング周波数 600kHz または 1.25MHz をピンにより切り替え可能
- 過熱保護内蔵
- 小型 14 ピン TSSOP パッケージ、LLP パッケージで供給

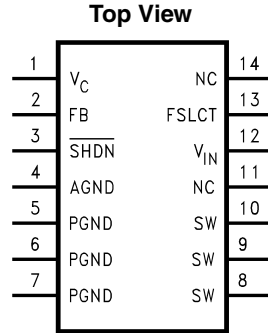
#### アプリケーション

- LCD バイアス電源
- ハンドヘルド機器
- 携帯型機器
- GSM/CDMA 携帯電話端末
- デジタル・カメラ

#### 代表的なアプリケーション回路



## ピン配置図



14-Lead TSSOP or LLP

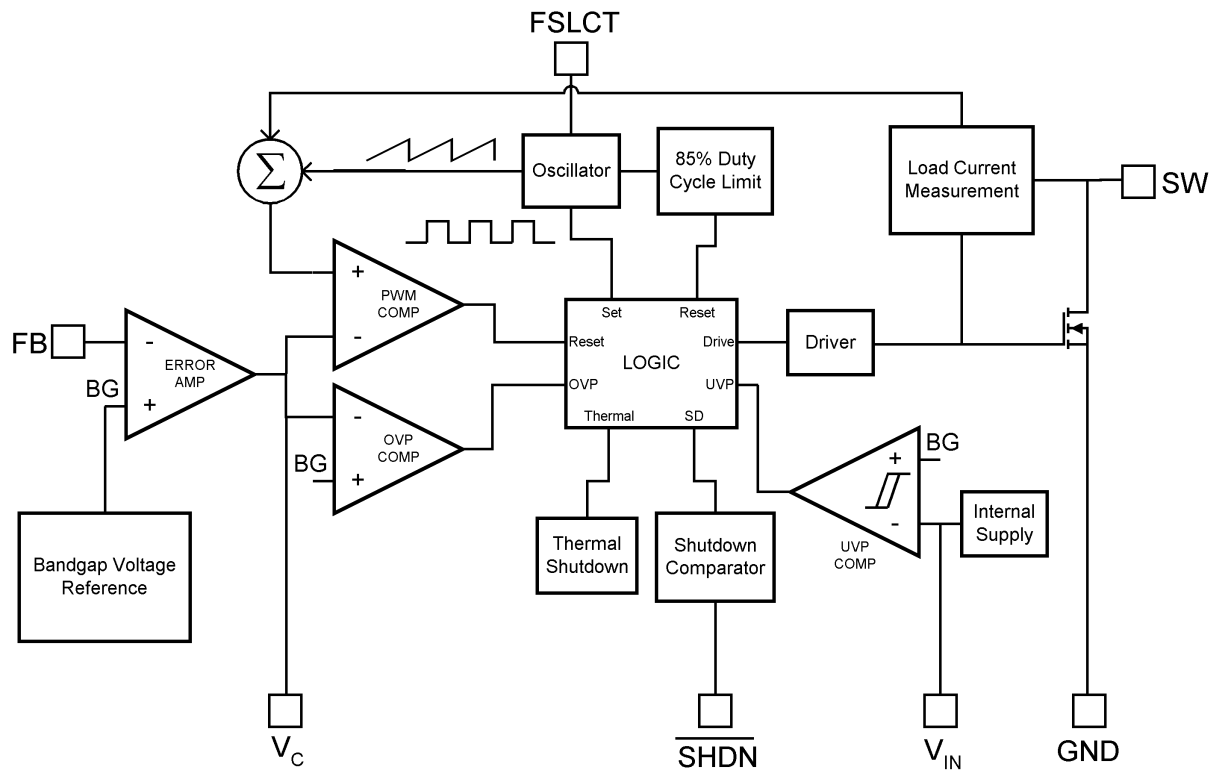
## 製品情報

Order Number	Package Type	NSC Package Drawing	Supplied As
LM2700MT-ADJ	TSSOP-14	MTC14	94 Units, Rail
LM2700MTX-ADJ	TSSOP-14	MTC14	2500 Units, Tape and Reel
LM2700LD-ADJ	LLP-14	LDA14A	1000 Units, Tape and Reel
LM2700LDX-ADJ	LLP-14	LDA14A	4500 Units, Tape and Reel

## ピン配置図

ピン番号	名称	機能
1	V <sub>C</sub>	位相補償回路網の接続ピン。内部でエラー・アンプの出力に接続されています。
2	FB	出力電圧のフィードバック入力。
3	SHDN	アクティブ Low のシャットダウン制御入力。
4	AGND	アナログ・グラウンド
5	PGND	電源グラウンド。すべての PGND ピンはデバイス部分で結線してください。
6	PGND	電源グラウンド。すべての PGND ピンはデバイス部分で結線してください。
7	PGND	電源グラウンド。すべての PGND ピンはデバイス部分で結線してください。
8	SW	パワー・スイッチ入力。内部のスイッチは SW ピンと PGND の間に接続されています。
9	SW	パワー・スイッチ入力。内部のスイッチは SW ピンと PGND の間に接続されています。
10	SW	パワー・スイッチ入力。内部のスイッチは SW ピンと PGND の間に接続されています。
11	NC	ピンは内部で未接続です。
12	電源電圧 V <sub>IN</sub>	アナログ回路の電源です。
13	FSLCT	スイッチング周波数の切り替え入力です。V <sub>IN</sub> = 1.25MHz、GND = 600kHz
14	NC	GND に接続してください。

## ブロック図



## 動作の詳細説明

LM2700 は、PWM 制御方式を採用し、あらゆる負荷条件にわたって出力電圧のレギュレーションを行います。その動作は、ブロック図と「動作原理」セクションの Figure 1 を参照すると理解が容易です。各サイクルの開始時点で、Figure 1 (a) のサイクル 1 に示すように、発振器がドライバ・ロジックを設定するとともに NMOS パワー・デバイスをターンオンして、インダクタに電流が流れます。このサイクルの期間、 $V_C$  ピンは電圧がピーク・インダクタ電流を制御します。 $V_C$  電圧は、負荷が重いほど高くなり、負荷が軽いほど低くなります。 $V_C$  電圧は SW 電圧とランプ補償電圧の合計値と比較されます。ランプ補償は PWM アーキテクチャで使用されるもので、50%を超えるデューティサイクルで起こる低調波発振を防止します。ランプ補償とスイッチ電圧の合計値が  $V_C$  に等しくなると、PWM コンパレータはドライバ・ロジックをリセットし、NMOS パワー・デバイスはターンオフされます。次にインダクタ電

流は、Figure 1 (b) のサイクル 2 に示すように、ショットキ・ダイオードから負荷および出力コンデンサに流れます。次に NMOS パワー・デバイスは、サイクルの最後に発振器によってセットされ、再びインダクタに電流が流れます。

LM2700 は通常動作中に機能する専用の保護回路によって IC を保護しています。熱シャットダウン回路はダイ温度が過度のレベルに到達すると NMOS パワーデバイスをオフにします。UVP (アンダー・ボルテージ・プロテクション) コンパレータは、電源投入時と、入力電圧が最小入力電圧に満たないときにデバイスをシャットダウンして、NMOS パワーデバイスを保護します。OVP (オーバー・ボルテージ・プロテクション) コンパレータは、負荷がないときに出力電圧の上昇を防ぐ目的で使用され、すべての負荷条件で完全な PWM 動作を実現します。また LM2700 は、電源電流を 5mA に削減するシャットダウン・モードを備えています。

## 絶対最大定格 (Note 1)

本データシートには軍用・航空宇宙用の規格は記載されていません。  
 関連する電気的信頼性試験方法の規格を参照ください。

$V_{IN}$	12V
SW 電圧	18V
FB 電圧	7V
$V_C$ 電圧	$0.965V < V_C < 1.565V$
$\overline{SHDN}$ 電圧 (Note 1)	7V
FSLCT (Note 1)	12V
最大接合部温度	150
消費電力 (Note 3)	内部制限

リード温度 (ハンダ付け)

300

ペーパー・フェーズ (60 秒)

215

赤外線 (15 秒)

220

ESD 定格 (Note 4)

人体モデル

2kV

マシン・モデル

200V

## 動作条件

動作接合部温度範囲 (Note 5)

- 40 ~ + 125

保存温度

- 65 ~ + 150

電源電圧

2.2V ~ 12V

SW 電圧

17.5V

## 電気的特性

特記のない限り、標準字体で記載された仕様は  $T_J = 25$  の場合であり、太字で記載された上限または下限値は「動作条件」に記載の「動作温度範囲」( $T_J = -40 \sim +125$ ) に適用されます。特記のない限り、 $V_{IN} = 2.2V$  および  $I_L = 0A$  です。

Symbol	Parameter	Conditions	Min (Note 5)	Typ (Note 6)	Max (Note 5)	Units
$I_Q$	Quiescent Current	FB = 2.2V (Not Switching) FSLCT = 0V		1.2	<b>2</b>	mA
		FB = 2.2V (Not Switching) FSLCT = $V_{IN}$		1.3	<b>2</b>	mA
		$\overline{V_{SHDN}} = 0V$		5	<b>20</b>	$\mu A$
$V_{FB}$	Feedback Voltage		<b>1.2285</b>	1.26	<b>1.2915</b>	V
$I_{CL}$ (Note 7)	Switch Current Limit	$V_{IN} = 2.7V$ (Note 8)	<b>2.55</b>	3.6	<b>4.3</b>	A
$\%V_{FB}/\Delta V_{IN}$	Feedback Voltage Line Regulation	$2.2V \leq V_{IN} \leq 12.0V$		0.02	<b>0.07</b>	%/V
$I_B$	FB Pin Bias Current (Note 9)			0.5	<b>40</b>	nA
$V_{IN}$	Input Voltage Range		<b>2.2</b>		<b>12</b>	V
$g_m$	Error Amp Transconductance	$\Delta I = 5\mu A$	<b>40</b>	155	<b>290</b>	$\mu mho$
$A_V$	Error Amp Voltage Gain			135		V/V
$D_{MAX}$	Maximum Duty Cycle	FSLCT = Ground	<b>78</b>	85		%
$D_{MIN}$	Minimum Duty Cycle	FSLCT = Ground		15		%
		FSLCT = $V_{IN}$		30		
$f_s$	Switching Frequency	FSLCT = Ground	<b>480</b>	600	<b>720</b>	kHz
		FSLCT = $V_{IN}$	<b>1</b>	1.25	<b>1.5</b>	
$\overline{I_{SHDN}}$	Shutdown Pin Current	$\overline{V_{SHDN}} = V_{IN}$		0.008	<b>1</b>	$\mu A$
		$\overline{V_{SHDN}} = 0V$		-0.5	<b>-1</b>	
$I_L$	Switch Leakage Current	$V_{SW} = 18V$		0.02	<b>20</b>	$\mu A$
$R_{DSON}$	Switch $R_{DSON}$ (Note 10)	$V_{IN} = 2.7V, I_{SW} = 2A$		80	<b>150</b>	m $\Omega$
$Th_{SHDN}$	SHDN Threshold	Output High	<b>0.9</b>	0.6		V
		Output Low		0.6	<b>0.3</b>	V
UVP	On Threshold		<b>1.95</b>	2.05	<b>2.2</b>	V
	Off Threshold		<b>1.85</b>	1.95	<b>2.1</b>	V
$\theta_{JA}$	Thermal Resistance (Note 11)	TSSOP, package only		150		$^{\circ}C/W$
		LLP, package only		45		

**Note 1:** この電圧はいかなる場合も  $V_{IN}$  を上回ってはなりません。

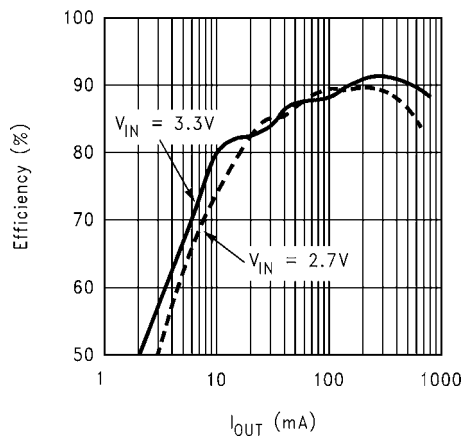
**Note 2:** 絶対最大定格とは、デバイスに破壊を生じさせる可能性がある上限または下限値のことです。動作定格はデバイスが機能する条件を示していますが、デバイスの仕様パラメータは保証されることがあります。保証された仕様とそのテスト条件については「電気的特性」を参照してください。

## 電気的特性

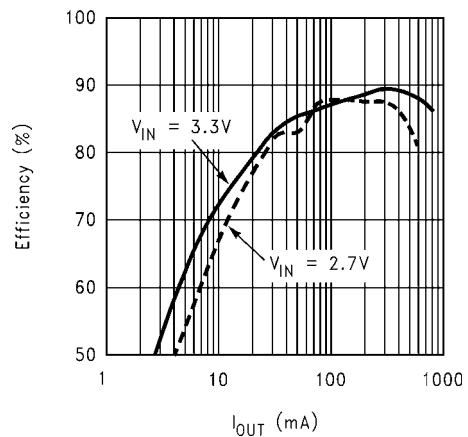
- Note 3:** 最大許容消費電力は、最大接合部温度  $T_{J(MAX)}$ 、接合部から周囲への熱抵抗  $\theta_{JA}$ 、周囲温度  $T_A$  の関数です。プリント基板の銅箔パターンに対する熱抵抗  $\theta_{JA}$  については「電気的特性」の表を参照してください。任意の周囲温度での最大許容消費電力は、 $P_{D(MAX)} = (T_{J(MAX)} - T_A) / \theta_{JA}$  の式から求めます。最大許容消費電力を超えると、ダイ温度の上昇を招き、レギュレータはサーマル・シャットダウン状態になります。
- Note 4:** 人体モデルでは、100pFのコンデンサから1.5kΩの抵抗を介して各ピンへ放電させます。マシン・モデルは、200pFのコンデンサから直接各ピンに放電します。
- Note 5:** すべての上限値および下限値は、室温に対する保証（標準字体）、もしくは「動作条件」の「接合部温度範囲」に対する保証（太字体）です。室温でのすべてのリミット値は、全数試験または統計的解析により保証されています。「動作接合部温度範囲」保証に対する各項目は、統計的品質管理 (SQC: Statistical Quality Control) を用いた相関により保証されています。平均出荷品質水準 (AOQL: Average Outgoing Quality Level) の計算にはすべてのリミット値が使用されています。
- Note 6:** Typ 値は 25°C における値であり、最も標準的な値を示しています。
- Note 7:** ランプ・ジェネレータによって電流制限はデューティ比で変わります。
- Note 8:** デューティ比 0% における電流制限値です。スイッチの電流制限と電源電圧  $V_{IN}$  の関係は、「代表的な性能特性」の "Switch Current Limit vs.  $V_{IN}$ " のグラフを参照してください。
- Note 9:** バイアス電流は FB ピンを流れます。
- Note 10:** ボンディング・ワイヤは含まれていません。ダイにて直接測定した値です。
- Note 11:** LLP パッケージと TSSOP パッケージの熱情報および実装方法の詳細については、ナショナル セミコンダクターのパッケージに関するウェブページを参照してください。

## 代表的な性能特性

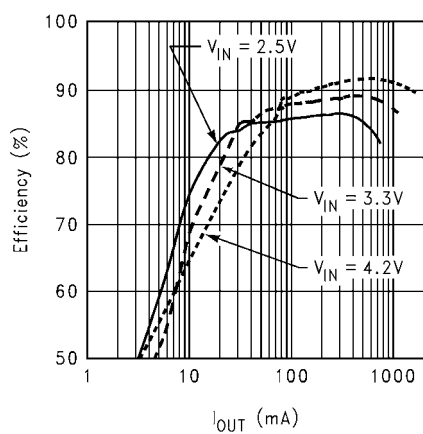
**Efficiency vs. Load Current**  
( $V_{OUT} = 8V, f_S = 600 \text{ kHz}$ )



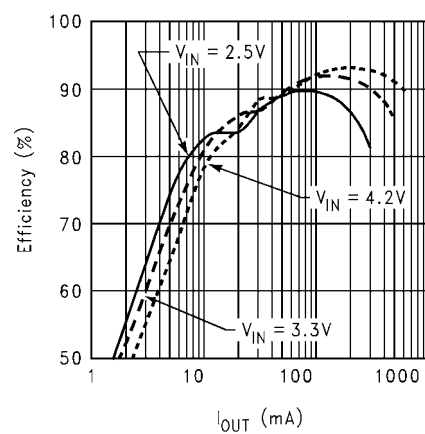
**Efficiency vs. Load Current**  
( $V_{OUT} = 8V, f_S = 1.25 \text{ MHz}$ )



**Efficiency vs. Load Current**  
( $V_{OUT} = 5V, f_S = 600 \text{ kHz}$ )

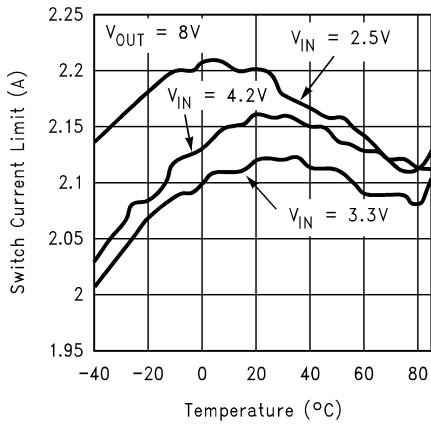


**Efficiency vs. Load Current**  
( $V_{OUT} = 12V, f_S = 600 \text{ kHz}$ )

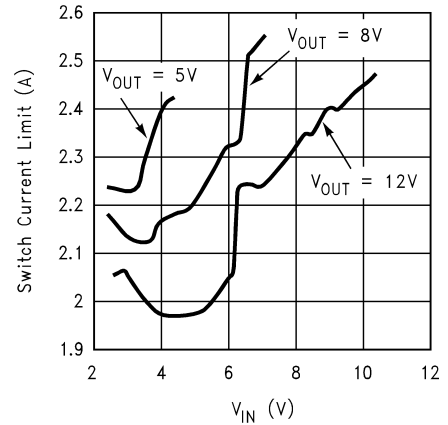


代表的な性能特性 (つぎ)

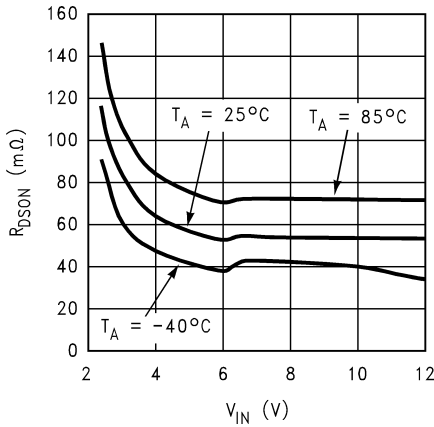
Switch Current Limit vs. Temperature



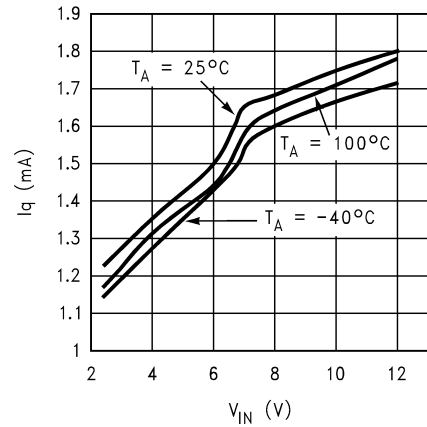
Switch Current Limit vs.  $V_{IN}$



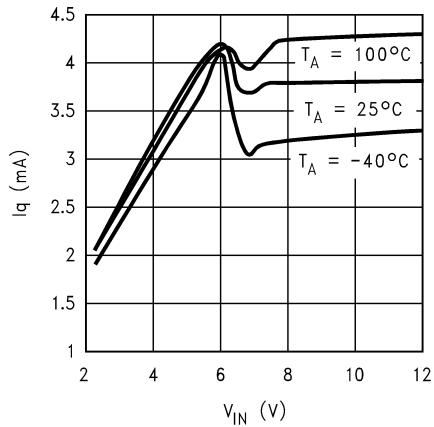
$R_{DS(on)}$  vs.  $V_{IN}$   
( $I_{SW} = 2A$ )



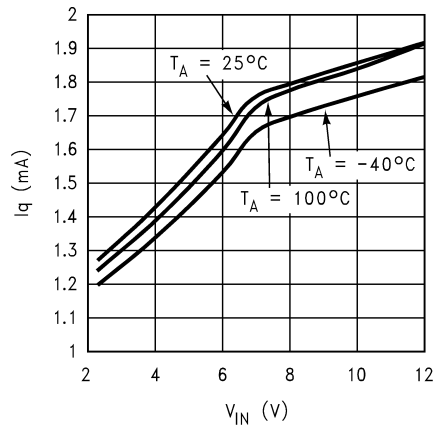
$I_Q$  vs.  $V_{IN}$   
(600 kHz, not switching)



$I_Q$  vs.  $V_{IN}$   
(600 kHz, switching)

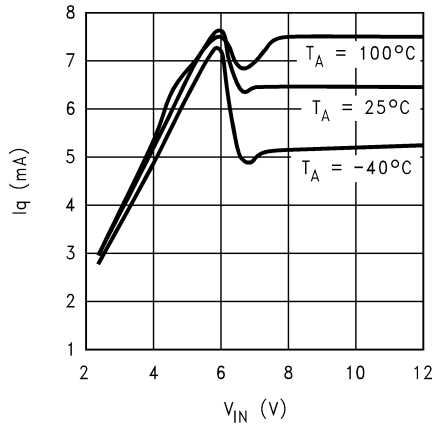


$I_Q$  vs.  $V_{IN}$   
(1.25 MHz, not switching)

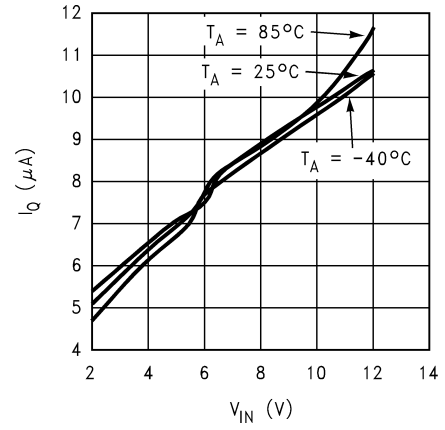


代表的な性能特性 (つづき)

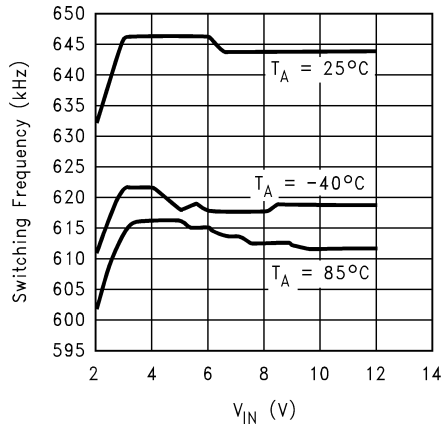
**$I_Q$  vs.  $V_{IN}$**   
(1.25 MHz, switching)



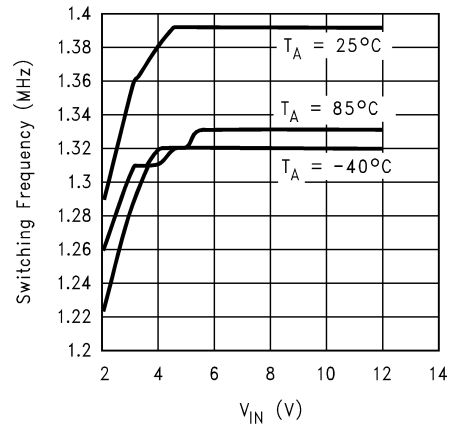
**$I_Q$  vs.  $V_{IN}$**   
(In shutdown)



**Frequency vs.  $V_{IN}$**   
(600 kHz)



**Frequency vs.  $V_{IN}$**   
(1.25 MHz)





動作原理

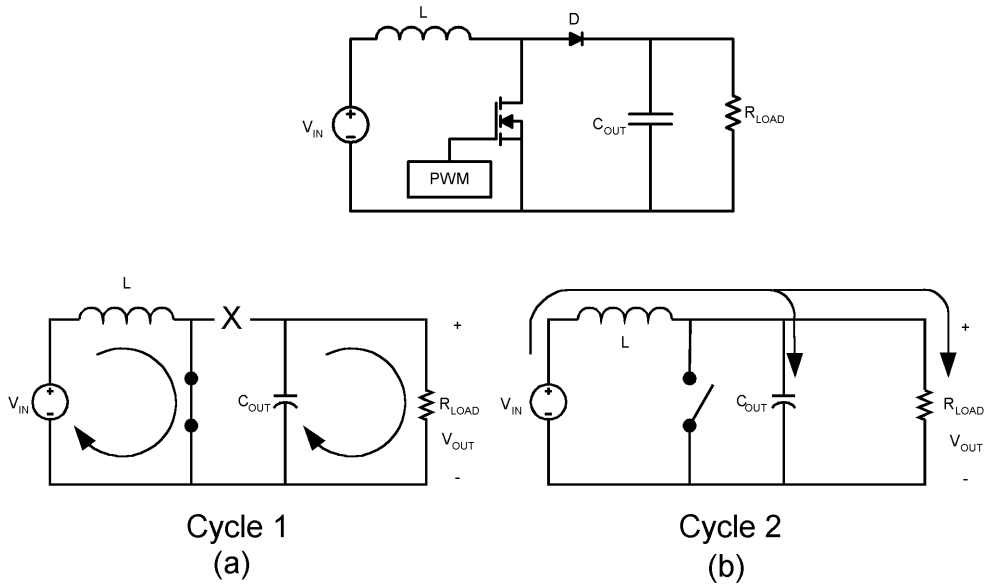


FIGURE 1. Simplified Boost Converter Diagram  
(a) First Cycle of Operation (b) Second Cycle Of Operation

連続モード (CCM)

LM2700 は電流モードの PWM 制御昇圧コンバータです。昇圧コンバータは入力電圧をより高い電圧に変換します。連続導通モード（定常状態ではインダクタ電流がゼロにならない）の場合、昇圧レギュレータは 2 回のサイクルで作動します。

第 1 のサイクルでは、Figure 1 (a) に示すように、トランジスタは ON となり、ダイオードは逆バイアスがかかります。エネルギーはインダクタに蓄積され、負荷電流は C<sub>OUT</sub> から供給されます。

第 2 のサイクルを Figure 1 (b) に示します。このサイクルでは、トランジスタは OFF となり、ダイオードは順方向バイアスとなります。インダクタに蓄えられていたエネルギーが負荷と出力コンデンサに出されます。

出力電圧は、これら 2 つのサイクルの時間比によって決まり、およそ次式で表されます。

$$V_{OUT} = \frac{V_{IN}}{1-D}, D' = (1-D) = \frac{V_{IN}}{V_{OUT}}$$

D はスイッチのデューティ比です。D と D' は後述する設計定数の算出で使用します。

出力電圧の設定

出力電圧は Figure 3 に示されるように、出力電圧を抵抗で分圧し FB ピンへ帰還することによって設定します。FB ピン電圧は 1.26V なので、出力電圧は帰還抵抗の比から次式で表されます。

$$R_{FB1} = R_{FB2} \times \frac{V_{OUT} - 1.26}{1.26} \Omega$$

補償についての序論

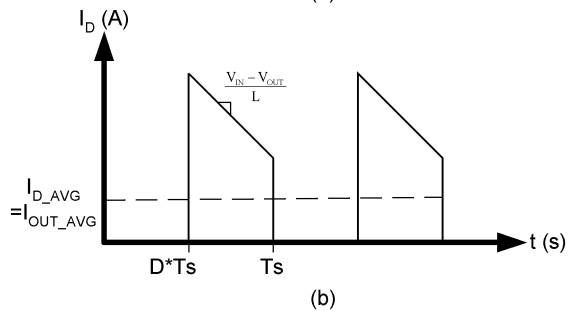
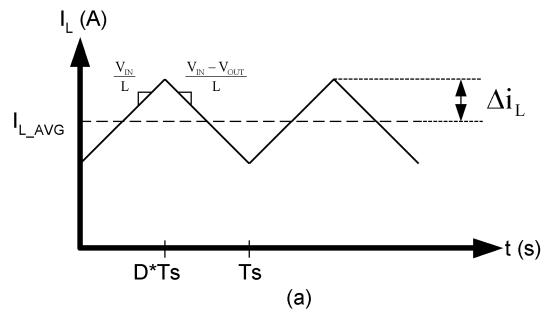


FIGURE 2. (a) Inductor current. (b) Diode current.

## 動作原理 (つづき)

LM2700 は電流モードの PWM 制御昇圧コンバータです。スイッチ電流センスと出力電圧センスの 2 つの帰還ループを持ちます。

電流モードで制御されているコンバータを、50%を超えるスイッチング・デューティ・サイクルでも安定させるには、インダクタが設計上の基準に適合している必要があります。インダクタを流れる電流の勾配は、インダクタンスと入出力電圧で決まります (Figure 2 (a)を参照)。インダクタを流れる電流勾配が大きすぎると、デューティ・サイクル 50%以上のときに回路が不安定となる恐れがあります。そのため通常は、LM2700 を 600kHz で動作させるアプリケーションでは 10 $\mu$ H を、また 1.25MHz で動作させるアプリケーションでは 2.2 $\mu$ H を推奨します。ただし、デューティ・サイクルが最大 85%程度まで達することが想定される場合は、インダクタンス値を 2 倍程度に増やす必要があります。インダクタ値の選択の詳細については、「インダクタとダイオードの選択」を参照してください。

LM2700 は、電圧帰還ループの位相補償を行うために補償ピン ( $V_C$ ) を持っています。Figure 3 に示すように、補償ネットワークには  $R_C$  と  $C_C$  を直列で用いることを推奨します。どのようなアプリケーションでも、過渡応答に関して、LM2700 回路の性能を最適化する個別の  $R_C$  と  $C_C$  の組み合わせが存在します。 $R_C$  と  $C_C$  を直列接続した場合、ポールをゼロにする  $R_C$  と  $C_C$  のペアが次の式から導かれます。

$$f_{zc} = \frac{1}{2\pi R_C C_C} \text{ Hz}$$

$$f_{pc} = \frac{1}{2\pi(R_C + R_O)C_C} \text{ Hz}$$

$R_O$  はエラー・アンプの出力インピーダンスでおよそ 850k  $\Omega$  です。5k  $\Omega$   $R_C$  20k  $\Omega$ 、680pF  $C_C$  4.7nF の範囲で値を選択すれば、ほとんどのアプリケーションで最適な性能が得られます ( $C_C$  を用いる場合は、 $R_C$  は最大 200k  $\Omega$  まで選択可能です。「高 ESR 出力コンデンサの補償」を参照してください)。特定の回路と条件下での推奨値については、「アプリケーション情報」セクションを参照してください。また、その他の設計上の要求仕様については「補償」を参照してください。

### 位相補償

このセクションでは、回路の安定性を高め、かつ正常な機能の維持に必要な一般的な設計手順を示します。本データシートの回路例は特定のアプリケーションに最適化されています。異なるアプリケーションに対するレギュレーションでは、安定度を高めるため、部品定数の変更が必要となる場合があります。以下は、負荷電流がおよそ 100mA かそれ以上の連続モードに対応する、安定性の高い回路を設計する上での一般的なガイドラインです。このガイドラインに従えば、不連続モードでもほとんどの場合安定性が得られます。設計では、まず電源部品と効率を決定し、次に安定性を確保するために補償部品を選択します。

### インダクタとダイオードの選択

「補償についての序論」の項で述べたインダクタの推奨値はほとんどのアプリケーションに適用可能ですが、より正確なインダクタンス値の算出について説明します。50%以上のスイッチング・デューティ・サイクルでも安定性を維持するためには、インダクタンス値は最小入力電圧と最大出力電圧から求められる値より大きくなければなりません。その算出式は次のようになります。

$$L > \frac{V_{IN} R_{DS(on)}}{0.144 f_s} \left[ \left( \frac{D}{D'} \right)^2 - 1 \right] \quad (\text{in H})$$

$f_s$  はスイッチング周波数、 $D$  はデューティ・サイクル、 $R_{DS(on)}$  は内部スイッチのオン抵抗で、「代表的な性能特性」の “ $R_{DS(on)}$  vs.  $V_{IN}$ ” のグラフから求めます。上式はスイッチング・デューティ比が 50%を超える ( $D > 0.5$ ) 場合にのみ適用可能であり、デューティ比が 50%以下の場合は前述の推奨値を使用してください。求めたインダクタンス値から、Figure 2 (a) に示されるインダクタのリプル電流は次式により与えられます。

$$\Delta i_L = \frac{V_{IN} D}{2L f_s} \quad (\text{in Amps})$$

インダクタのリプル電流は次の理由により重要です。まず、スイッチ電流のピーク値は、平均インダクタ電流 (入力電流または  $I_{LOAD}/D'$ ) にリプル電流  $i_L$  を加えたものとなるからです。もう 1 つの理由は、スイッチング・サイクル中にインダクタ電流がゼロに下がるか、またはリプル電流  $i_L$  が平均インダクタ電流より大きくと、不連続動作モードになってしまうためです。したがって、 $i_L$  が平均インダクタ電流より小さくなければ連続モードにはなりません。通常動作時には、スイッチ電流が電流制限値に届かないよう十分な注意が必要です。したがって、インダクタもそれに応じてインダクタンス値を決めなければなりません。見込まれるピーク・インダクタ電流より大きな飽和電流定格を持つインダクタを選択します。全体のリプル電流は出力リップル電圧にも影響します。

昇圧レギュレータにおける出力ダイオードは、出力電圧と出力電流に応じて適切に選択する必要があります。連続モードにおけるダイオードの代表的な電流波形を Figure 2 (b) に示します。ダイオードの逆方向電圧定格は、出力電圧より同じか大きくなければなりません。また、平均電流定格は見込まれる最大負荷電流より大きくなければならず、ピーク電流定格はピーク・インダクタ電流より大きくなければなりません。出力短絡試験時またはアプリケーションで出力短絡が起こり得る場合は、ダイオードの電流定格はスイッチの電流制限値を上回っている必要があります。消費電力を低減し効率を向上させるために、順方向電圧降下の小さいショットキ・ダイオードを使用してください。

### DC ゲインと開ループ・ゲイン

コンバータ制御段は外付け部品との組み合わせで完全な帰還ループを構成しますが、正帰還となって動作が不安定にならないよう、構成される開ループは安定でなければなりません。開ループ DC ゲインは、クロスオーバー周波数と位相マージンを決めるポールとゼロを用いて、計算またはグラフを使用して求められます。高い安定性と良好な遷移応答性を得るためには 45 度より大きな位相マージンが必要です。LM2700 を安定させるにあたって、右半平面 (RHP) ゼロの位置の下にクロスオーバー点をうまく設定すれば、十分な位相マージンが得られます。RHP ゼロと DC ゲインを用いたクロスオーバー点の確認については後述します。

### 入出力コンデンサの選択

昇圧レギュレータでは、スイッチング動作によって入力に三角波の電圧が発生します。レギュレータを正しく機能させるには、入力コンデンサを設けて入力リップル電圧とノイズを吸収させる必要があります。その容量はアプリケーションと基板レイアウトに依存します。レギュレータの負荷が一定で負荷変動が少なく、かつ出力電流が小さい場合は、入力コンデンサ容量は小さくて済みます。

## 動作原理 (つづき)

また、レギュレータが電圧源に極めて近い場合も小さな容量で対応できます。しかし、レギュレータが最大出力定格に近い電力供給を行う場合、または負荷変動が大きい場合、入力コンデンサは一般的に大きな容量を必要とします。負荷が軽い条件では  $10\mu\text{F}$  以上、高出力または負荷変動が大きい場合は  $33\mu\text{F} \sim 47\mu\text{F}$  のコンデンサを使用してください。また、入力リップル電圧を小さく抑えなければならないアプリケーションでは、大容量で低 ESR のコンデンサを選定するとよいでしょう。

出力コンデンサの容量は出力リップル電圧に対する設計要件に依存し、加えて入力コンデンサの選択と同様に、設計者の裁量を加味して選択します。出力コンデンサにはセラミック・コンデンサ、導電性高分子電解コンデンサ、または低 ESR のタンタル・コンデンサなど、低 ESR (等価直列抵抗、 $R_{\text{ESR}}$  で示す) 特性を持つコンデンサを推奨します。ESR が高いコンデンサも使用できますが、後述するように追加補償が必要となります。ESR は、次式で概算されるように出力リップル電圧のピーク・ツー・ピーク値を決める点からも重要です。

$$V_{\text{OUT}} \approx 2 I_L R_{\text{ESR}} \quad (\text{V 単位です})$$

出力コンデンサの推奨値は  $10\mu\text{F}$  以上です。出力コンデンサの容量が決まったら、制御ループに適用されるポールとゼロのペアを次式によって求めます。

$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi(R_{\text{ESR}} + R_L)C_{\text{OUT}}} \quad (\text{in Hz})$$

$$f_{z1} = \frac{1}{2\pi R_{\text{ESR}} C_{\text{OUT}}} \quad (\text{in Hz})$$

$R_L$  は負荷電流が最大となる最小負荷抵抗です。ゼロの算出式の分母には出力コンデンサの ESR が含まれているため、ESR が低いほどゼロの周波数は高くなります。低 ESR のコンデンサの場合は無視することもできます。ただし、高 ESR のコンデンサを使用する場合は、「高 ESR 出力コンデンサの補償」を参照してください。

### 右半平面ゼロ

電流モード制御の昇圧レギュレータは、固有の右半平面ゼロ (RHP ゼロ) を持ちます。このゼロは、ゲイン・グラフではゼロの働きを持ち、ロールオフで  $+20\text{dB}/\text{dec}$  (デケード) の特性を生じさせますが、位相ではポールの働きを持ち、位相グラフからさらに  $90$  度を引いたものになります。このゼロが制御ループに作用すると、好ましくない結果を引き起こします。RHP ゼロによる不安定動作を防ぐには、制御ループの帯域を RHP ゼロの周波数の  $1/2$  以下にしなければなりません。RHP ゼロは次の周波数となります。

$$\text{RHPzero} = \frac{V_{\text{OUT}}(D)^2}{2\pi I_{\text{LOAD}} L} \quad (\text{in Hz})$$

$I_{\text{LOAD}}$  は最大負荷電流です。

### 補償部品の選択

補償部品  $R_C$  と  $C_C$  の選択では、まず制御ループの低周波ポールを設定します。「補償についての序論」で説明した  $R_C$  と  $C_C$  の範囲で単純に値を選び、ポールを  $10\text{Hz} \sim 500\text{Hz}$  の範囲に設定します。生成されるポール周波数は次式によって求められます。

$$f_{pC} = \frac{1}{2\pi(R_C + R_O)C_C} \quad (\text{in Hz})$$

$R_O$  はエラー・アンプの出力インピーダンスでおよそ  $850k$  です。 $R_C$  は一般に  $R_O$  に比べてかなり小さいため、上式でそれほどの影響は与えず、 $f_{zC}$  の算出では無視してかまいません。 $f_{zC}$  は出力コンデンサによって作られるポール  $f_{p1}$  をキャンセルするために生成します。 $f_{p1}$  の算出式に示されるように、出力コンデンサのポール  $f_{p1}$  は負荷電流  $R_L$  に伴って変わるので、ゼロは正確に設定できません。見込まれる負荷電流の変化に応じて  $f_{p1}$  の周波数範囲を求め、その中央付近に  $f_{zC}$  を設定します。このゼロの周波数は次式から求められます。

$$f_{zC} = \frac{1}{2\pi C_C R_C} \quad (\text{in Hz})$$

$R_C$  の値は  $C_C$  で選択した値に応じて選びます。ポール  $f_{pC}$  が  $10\text{Hz} \sim 500\text{Hz}$  の範囲に収まるように、必要に応じて推奨値の範囲で両素子の各定数を変更します。さらに、本データシートの後半にある「設計の検証」を行った後、性能を最適化するために各定数を若干変更します。負荷変動時に出力電圧に現れるリングとオーバーシュートが最小になるように、試作ハードウェアに対して定数を変えて負荷変動に対する遷移応答を調べれば最適な定数が得られます。このような実験によって、安定でかつ高性能な回路を設計するようにしてください。過渡応答を改善するには  $R_C$  の値を大きくします。これにより、全体の周波数帯域が改善され、過渡に対するレギュレータの応答性がより高速になります。より詳しい内容やさらなる最適化が必要な場合は、電流モード DC/DC スイッチング・レギュレータの電流補償に関してより深い検討を行ってください。

### 高 ESR 出力コンデンサの補償

使用する出力コンデンサの ESR が高い場合、または制御ループ全体の位相マージンを改善したい場合は、ESR が作り出すゼロをキャンセルするポールを新しく生成します。 $R_C$  と  $C_C$  の直列ペアに対して並列となるように、もう 1 つのコンデンサ  $C_{C2}$  を補償ピン  $V_C$  とグラウンド間に接続します。これによって作り出されるポールの周波数が、ESR 項を含むゼロ  $f_{z1}$  の周波数と同じになるように  $C_{C2}$  を決めます。ポールの周波数は次式で与えられます。

$$f_{pC2} = \frac{1}{2\pi C_{C2}(R_C/R_O)} \quad (\text{in Hz})$$

$f_{pC2}$  が  $f_{zC}$  の 10 倍以上の周波数でない限り本式は有効とはならず、また  $R_C$  と  $C_C$  の効果にも影響を与えてしまいます。

### 設計の検証

最後に設計の検証を行います。検証では、RHP ゼロの周波数に比べ帯域が  $1/2$  以下であることを確認します。これを行うために開ループ DC ゲイン  $A_{\text{DC}}$  を求めます。開ループ・ゲインがわかれば、 $-20\text{dB}/\text{dec}$  のスロープを各ポールに引き、 $+20\text{dB}/\text{dec}$  のスロープを各ゼロに引いてクロスオーバー周波数を視覚的に求められます。ユニティ・ゲインすなわちゲイン  $0\text{dB}$  の点でスロープは交差するので、そこがクロスオーバー周波数になります。クロスオーバー周波数が RHP ゼロ周波数の  $1/2$  以下であれば、安定動作に必要な十分な位相マージンを持っていることを意味します。前項で述べたように、 $C_{C2}$  を追加することによって位相マージンを改善できます。 $A_{\text{DC}}$  の算出式と計算に必要な式を次に示します。

## 動作原理 (つづき)

$$A_{DC(DB)} = 20 \log_{10} \left( \left( \frac{R_{FB2}}{R_{FB1} + R_{FB2}} \right) \frac{g_m R_o D'}{R_{DSON}} \left\{ \left[ \omega c L_{eff} \right] / R_L \right\} \right) \text{ (in dB)}$$

$$\omega c \cong \frac{2f_s}{nD'} \text{ (in rad/s)}$$

$$L_{eff} = \frac{L}{(D')^2}$$

$$n = 1 + \frac{2mc}{m1} \text{ (no unit)}$$

$$mc = 0.072fs \text{ (in V/s)}$$

$$m1 \cong \frac{V_{IN} R_{DSON}}{L} \text{ (in V/s)}$$

$R_L$  は最小負荷抵抗、 $V_{IN}$  は最小入力電圧、 $g_m$  はエラー・アンプの相互コンダクタンスで「電気的特性」の表に記載されています。また、 $R_{DSON}$  は内部スイッチのオン抵抗で「代表的な性能特性」の“ $R_{DSON}$  vs.  $V_{IN}$ ” のグラフから求めます。

## アプリケーション情報

## 基板レイアウトの考慮事項

LM2700 のグラウンドは 2 系統に分かれています。PGND はドライバと NMOS パワー・デバイスのグラウンドで、AGNND はノイズに敏感なアナログ制御回路のグラウンドです。AGND と PGND ピンは、LM2700 に示すようにプリント基板のパッケージ部分で相互に接続しなければなりません。帰還、補償ネットワークは、示すように AGND ピンに接続されているアナログ・グラウンド層に接続しなければなりません。アナログ・グラウンド層を持たないプリント基板の場合は、帰還、補償ネットワークは、AGND ピンに直接接続します。PGND プレーンにこれらのネットワークを接続するとシステム内にノイズを混入させる原因となり性能に影響を与えます。

Figure 3 に示される入力バイパス・コンデンサ  $C_{IN}$  は、レギュレータ IC の近くに配置しなければなりません。レギュレータ IC の入力リップル電圧の要因となる配線パターンによる抵抗成分を小さくするためです。さらに入力電圧の平滑化が必要な場合は、高周波ノイズをグラウンドにバイパスするため、 $C_{IN}$  と並列に 100nF のバイパス・コンデンサを  $V_{IN}$  の近くに追加します。同様に、出力コンデンサ  $C_{OUT}$  もレギュレータ IC の近くに配置しなければなりません。 $C_{OUT}$  の配線パターンは直列抵抗を増加させ、出力リップル電圧に直接影響します。帰還ネットワーク抵抗  $R_{FB1}$  と  $R_{FB2}$  は、FB ピンの近くに配置する一方、帰還信号の配線パターンに対するノイズ・カップリングを最小に抑えるためインダクタからは離して置きます。インダクタとショットキ・ダイオード間の配線は、消費電力の低減と全体の効率向上のために短くします。スイッチング電源のレイアウト問題の詳細については、アプリケーション・ノート AN-1149、AN-1229 (いずれも和文あり) を参照してください。

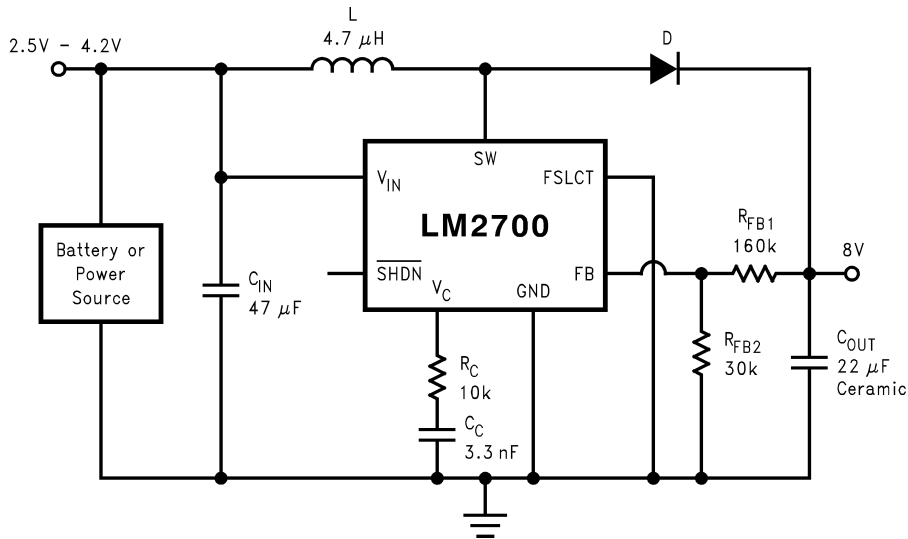


FIGURE 3. 600 kHz operation, 8V output

アプリケーション情報 (つづき)

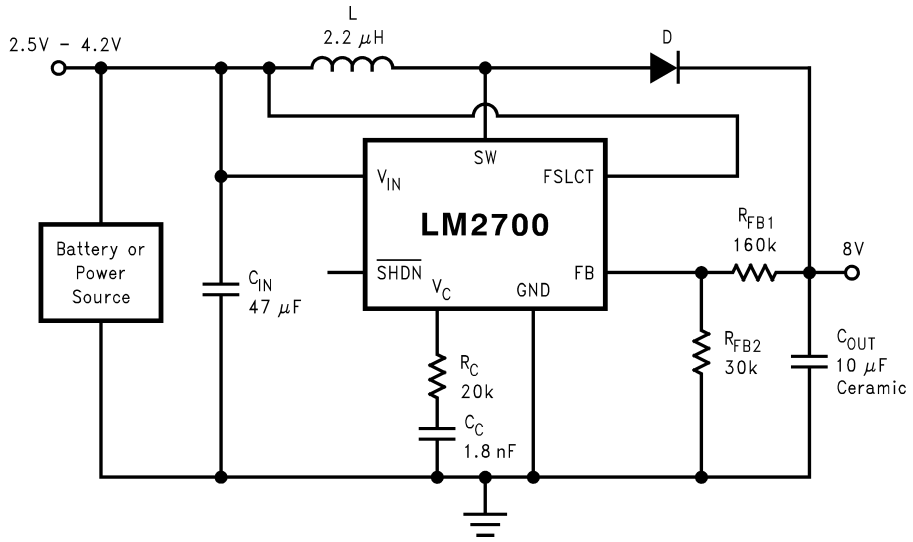


FIGURE 4. 1.25 MHz operation, 8V output

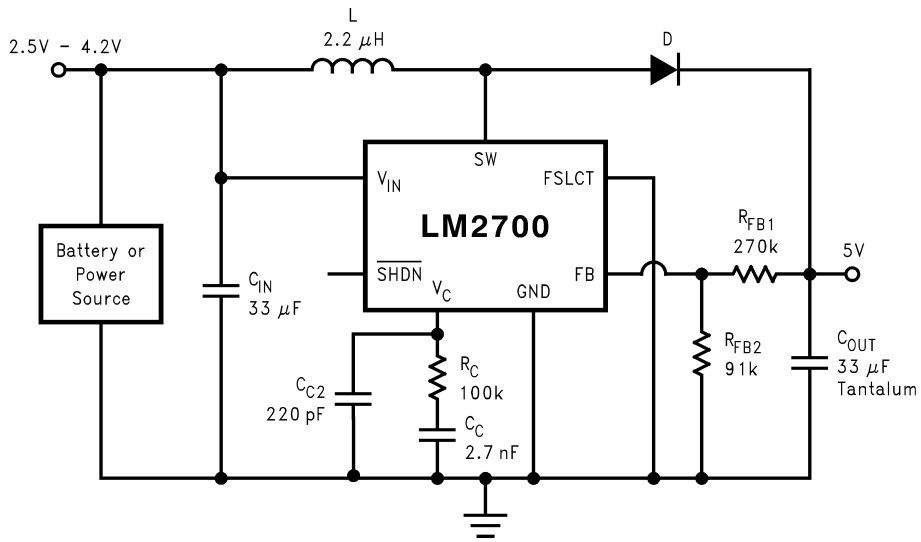
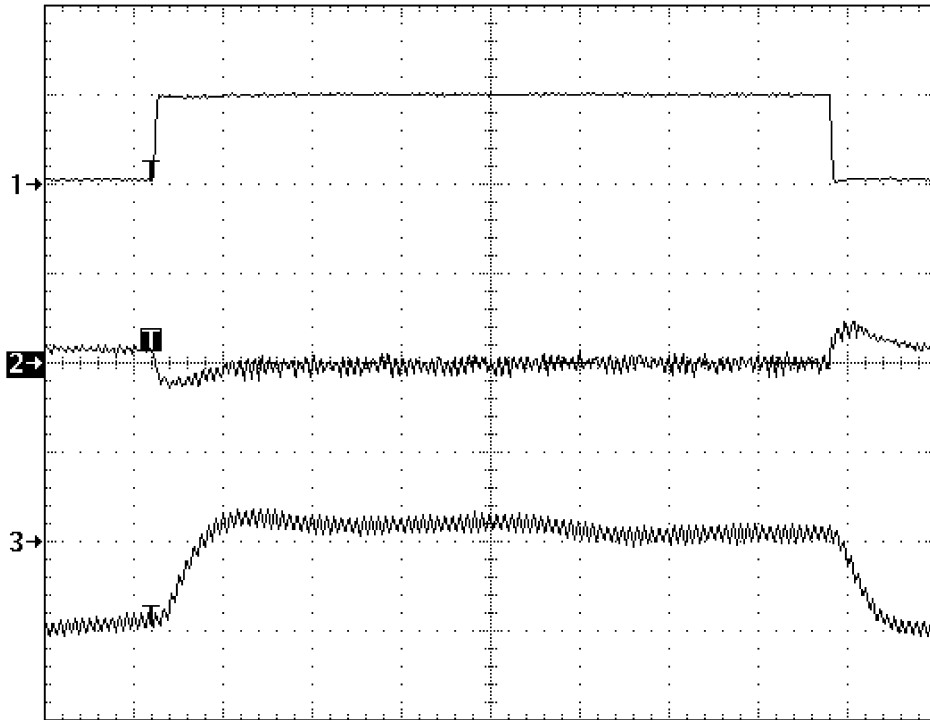


FIGURE 5. 600 kHz operation, 5V output

アプリケーション情報 (つづき)



$V_{IN} = 3.3V, I_{OUT} = 200mA \quad 700mA \quad 200mA$   
 CH1:  $I_{OUT}$  0.5A/div DC Coupled  
 CH2:  $V_{OUT}$  500mV/div AC Coupled  
 CH3: Inductor Current 1A/div DC Coupled  
 20 $\mu$ s/div

Load Transient for Figure 5

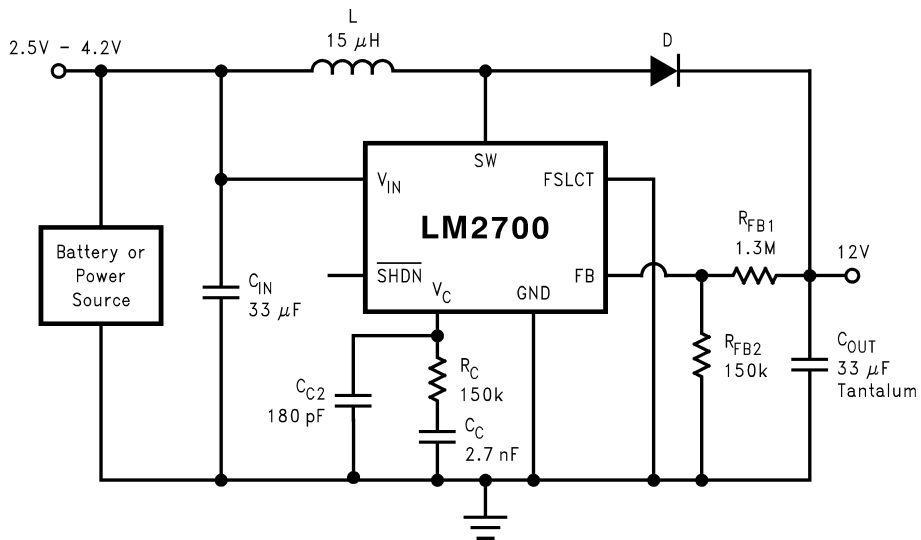
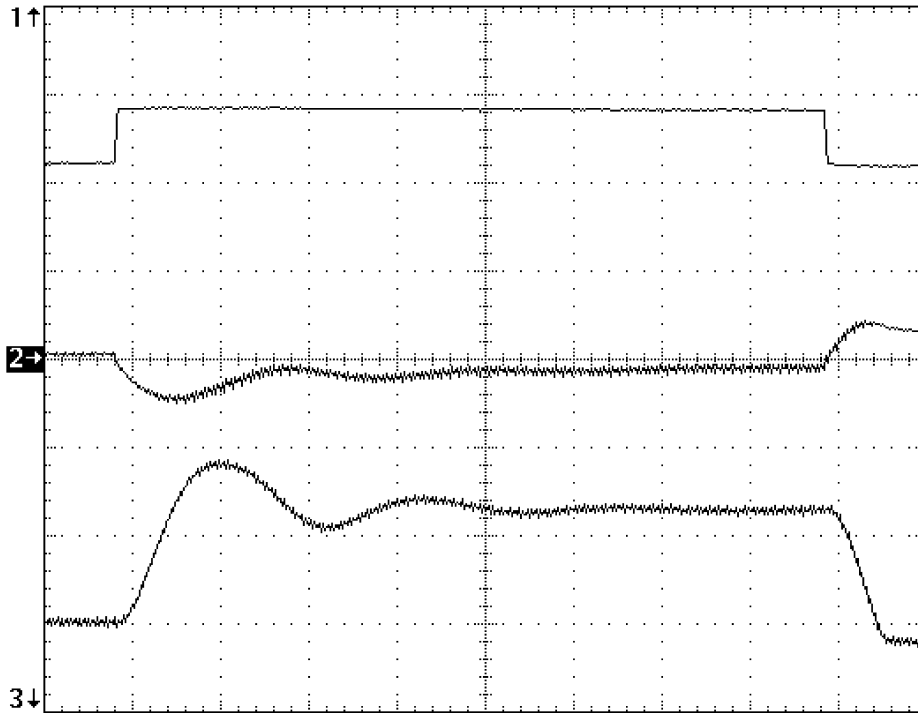


FIGURE 6. 600 kHz operation, 12V output

アプリケーション情報 (つぎ)



$V_{IN} = 3.3V$ ,  $I_{OUT} = 50mA$  350mA 50mA  
 CH1:  $I_{OUT}$  0.5A/div DC Coupled  
 CH2:  $V_{OUT}$  500mV/div AC Coupled  
 CH3: Inductor Current 1A/div DC Coupled  
 50 $\mu$ s/div

Load Transient for Figure 6

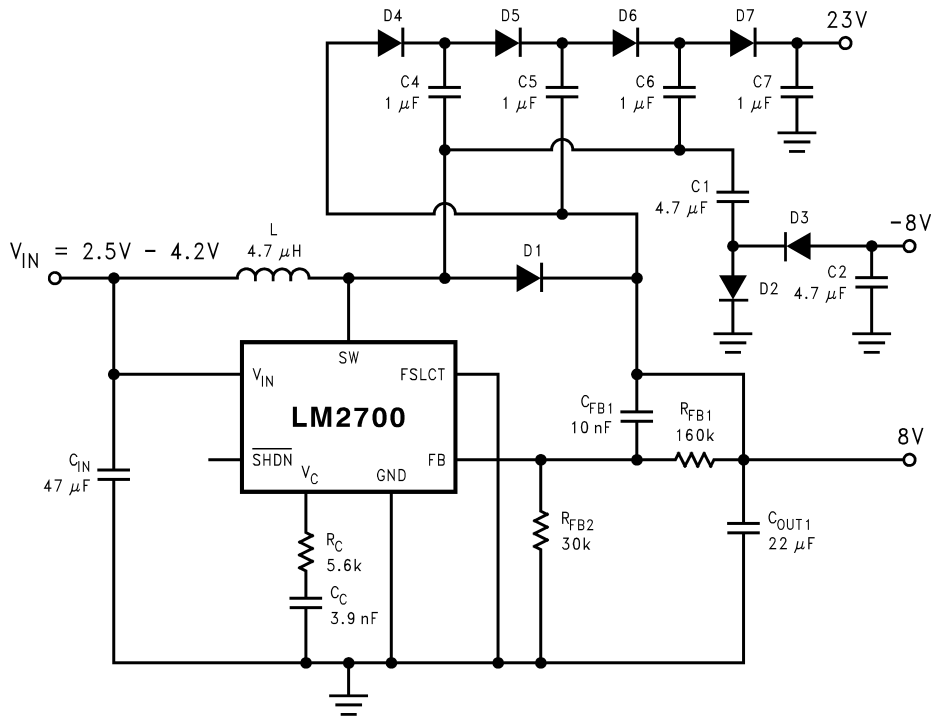
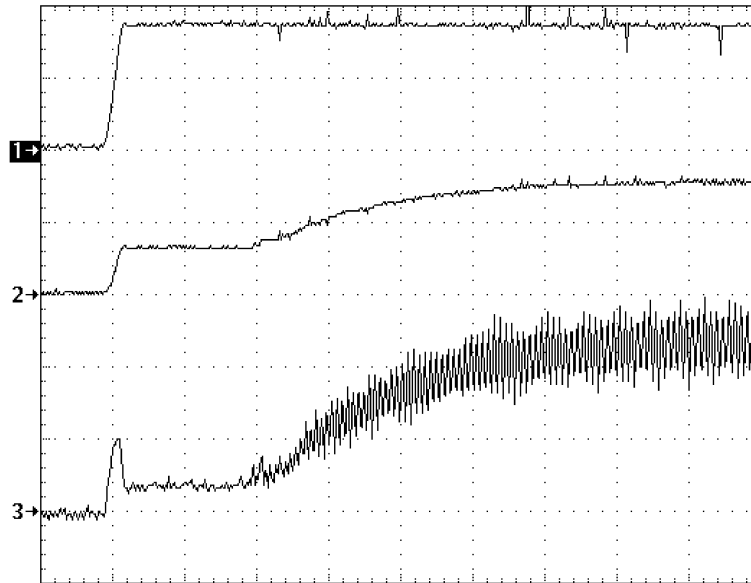


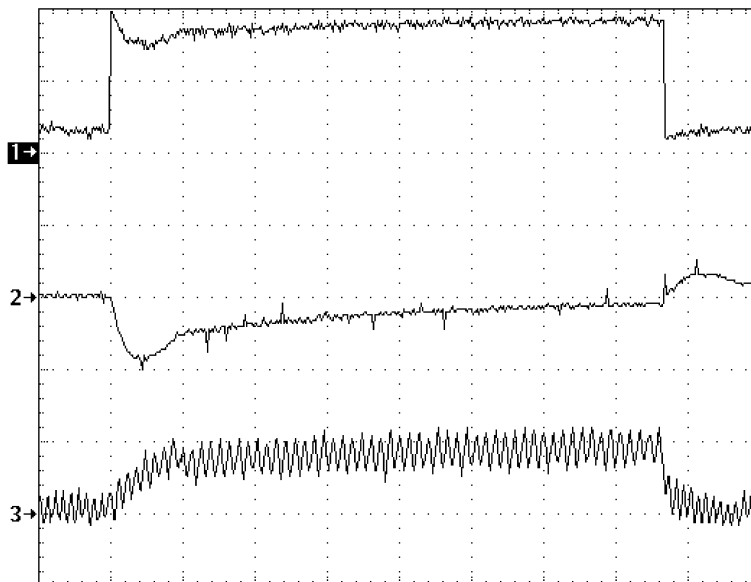
FIGURE 7. Triple Output TFT Bias (600 kHz operation)

## アプリケーション情報 (つづき)



$V_{IN} = 3.3V$ ,  $I_{OUT} = 500mA$   
 CH1:  $V_{IN}$  2V/div DC Coupled  
 CH2:  $V_{OUT}$  5V/div DC Coupled  
 CH3: Inductor Current 500mA/div DC Coupled  
 1ms/div

Start Up Waveform for Figure 7

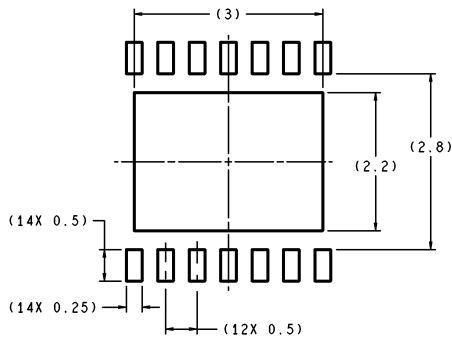


$V_{IN} = 3.3V$ ,  $I_{OUT} = 50mA$  375mA 50mA  
 CH1:  $I_{OUT}$  0.2A/div DC Coupled  
 CH2:  $V_{OUT}$  2V/div AC Coupled  
 CH3: Inductor Current 1A/div DC Coupled  
 500 $\mu$ s/div

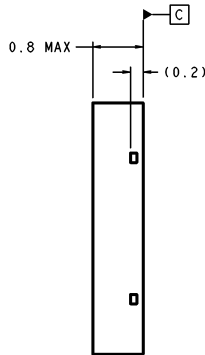
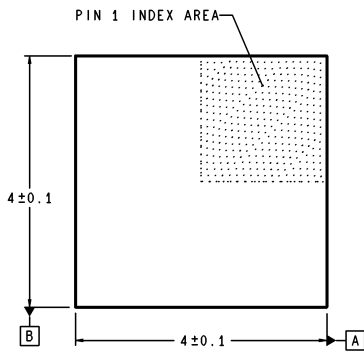
Load Transient for Figure 7, 8V Output



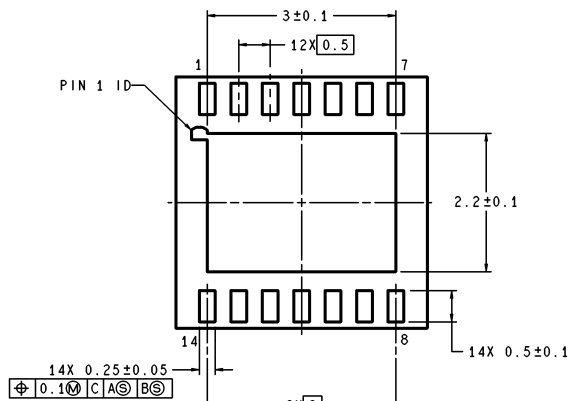
外形寸法図 単位は millimeters



RECOMMENDED LAND PATTERN  
1:1 RATION WITH PKG SOLDER PADS

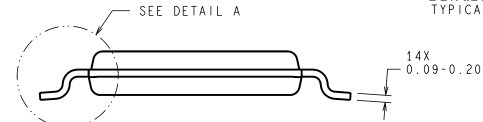
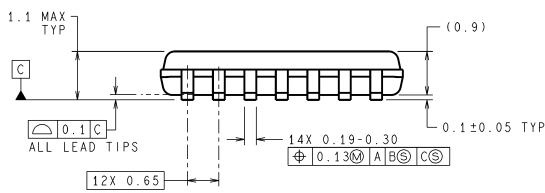
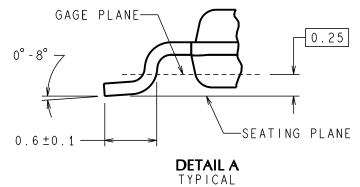
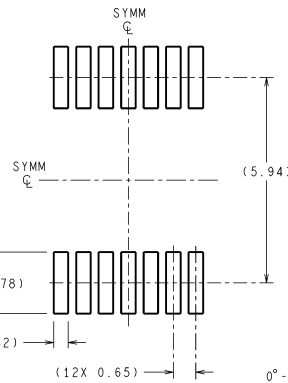
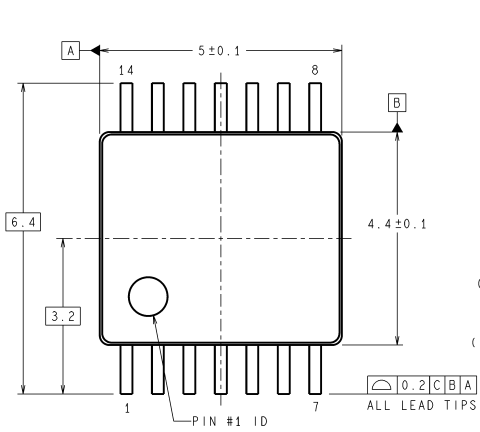


DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS



LDA14A (Rev A)

**LLP-14 Pin Package (LDA)**  
For Ordering, Refer to Ordering Information Table  
NS Package Number LDA14A



DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
DIMENSIONS IN ( ) FOR REFERENCE ONLY

MTC14 (Rev D)

**TSSOP-14 Pin Package (MTC)**  
For Ordering, Refer to Ordering Information Table  
NS Package Number MTC14

このドキュメントの内容はナショナル セミコンダクター社製品の関連情報として提供されます。ナショナル セミコンダクター社は、この発行物の内容の正確性または完全性について、いかなる表明または保証もいたしません。また、仕様と製品説明を予告なく変更する権利を有します。このドキュメントはいかなる知的財産権に対するライセンスも、明示的、黙示的、禁反言による惹起、またはその他を問わず、付与するものではありません。

試験や品質管理は、ナショナル セミコンダクター社が自社の製品保証を維持するために必要と考える範囲に用いられます。政府が課す要件によって指定される場合を除き、各製品のすべてのパラメータの試験を必ずしも実施するわけではありません。ナショナル セミコンダクター社は製品適用の援助や購入者の製品設計に対する義務は負いかねます。ナショナル セミコンダクター社の部品を使用した製品および製品適用の責任は購入者にあります。ナショナル セミコンダクター社の製品を用いたいかなる製品の使用または供給に先立ち、購入者は、適切な設計、試験、および動作上の安全手段を講じなければなりません。

それら製品の販売に関するナショナル セミコンダクター社との取引条件で規定される場合を除き、ナショナル セミコンダクター社は一切の義務を負わないものとし、また、ナショナル セミコンダクター社の製品の販売が使用、またはその両方に関連する特定目的への適合性、商品の機能性、ないしは特許、著作権、または他の知的財産権の侵害に関連した義務または保証を含むいかなる表明または黙示的保証も行いません。

#### 生命維持装置への使用について

ナショナル セミコンダクター社の製品は、ナショナル セミコンダクター社の最高経営責任者 (CEO) および法務部門 (GENERAL COUNSEL) の事前の書面による承諾がない限り、生命維持装置または生命維持システム内のきわめて重要な部品に使用することは認められていません。

ここで、生命維持装置またはシステムとは (a) 体内に外科的に使用されることを意図されたもの、または (b) 生命を維持あるいは支持するものをいい、ラベルにより表示される使用方法に従って適切に使用された場合に、これの不具合が使用者に身体的障害を与えると予想されるものをいいます。重要な部品とは、生命維持にかかわる装置またはシステム内のすべての部品をいい、これの不具合が生命維持用の装置またはシステムの不具合の原因となりそれらの安全性や機能に影響を及ぼすことが予想されるものをいいます。

National Semiconductor とナショナル セミコンダクターのロゴはナショナル セミコンダクター コーポレーションの登録商標です。その他のブランドや製品名は各権利所有者の商標または登録商標です。

Copyright © 2007 National Semiconductor Corporation  
製品の最新情報については [www.national.com](http://www.national.com) をご覧ください。

## ナショナル セミコンダクター ジャパン株式会社

本社 / 〒 135-0042 東京都江東区木場 2-17-16 TEL.(03)5639-7300

技術資料 (日本語 / 英語) はホームページより入手可能です。

[www.national.com/jpn/](http://www.national.com/jpn/)

# ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社（以下TIJといいます）及びTexas Instruments Incorporated (TIJの親会社、以下TIJないしTexas Instruments Incorporatedを総称してTIといいます)は、その製品及びサービスを任意に修正し、改善、改良、その他の変更をし、もしくは製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。従いまして、お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかご確認下さい。全ての製品は、お客様とTIJとの間取引契約が締結されている場合は、当該契約条件に基づき、また当該取引契約が締結されていない場合は、ご注文の受諾の際に提示されるTIJの標準販売契約約款に従って販売されます。

TIは、そのハードウェア製品が、TIの標準保証条件に従い販売時の仕様に対応した性能を有していること、またはお客様とTIJとの間で合意された保証条件に従い合意された仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査およびその他の品質管理技法は、TIが当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメーターに関する固有の検査は、政府がそれ等の実行を義務づけている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TIは、製品のアプリケーションに関する支援もしくはお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションについて想定される危険を最小のものとするため、適切な設計上および操作上の安全対策は、必ずお客様にてお取り下さい。

TIは、TIの製品もしくはサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、もしくは方法に関連しているTIの特許権、著作権、回路配置利用権、その他のTIの知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾するということは明示的にも黙示的にも保証も表明もしておりません。TIが第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TIが当該製品もしくはサービスを使用することについてライセンスを与えたり、保証もしくは是認するということを含みません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない場合もあり、またTIの特許その他の知的財産権に基づきTIからライセンスを得て頂かなければならない場合もあります。

TIのデータブックもしくはデータシートの中にある情報を複製することは、その情報に一切の変更を加えること無く、かつその情報と結び付けられた全ての保証、条件、制限及び通知と共に複製がなされる限りにおいて許されるものとします。当該情報に変更を加えて複製することは不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような変更された情報や複製については何の義務も責任も負いません。

TIの製品もしくはサービスについてTIにより示された数値、特性、条件その他のパラメーターと異なる、あるいは、それを超えてなされた説明で当該TI製品もしくはサービスを再販売することは、当該TI製品もしくはサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、かつ不正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような説明については何の義務も責任もありません。

TIは、TIの製品が、安全でないことが致命的となる用途ないしアプリケーション(例えば、生命維持装置のように、TI製品に不良があった場合に、その不良により相当な確率で死傷等の重篤な事故が発生するようなもの)に使用されることを認めておりません。但し、お客様とTIの双方の権限有る役員が書面でそのような使用について明確に合意した場合は除きます。たとえTIがアプリケーションに関連した情報やサポートを提供したとしても、お客様は、そのようなアプリケーションの安全面及び規制面から見た諸問題を解決するために必要とされる専門的知識及び技術を持ち、かつ、お客様の製品について、またTI製品をそのような安全でないことが致命的となる用途に使用することについて、お客様が全ての法的責任、規制を遵守する責任、及び安全に関する要求事項を満足させる責任を負っていることを認め、かつそのことに同意します。さらに、もし万一、TIの製品がそのような安全でないことが致命的となる用途に使用されたことによって損害が発生し、TIないしその代表者がその損害を賠償した場合は、お客様がTIないしその代表者にその全額の補償をするものとします。

TI製品は、軍事的用途もしくは宇宙航空アプリケーションないし軍事的環境、航空宇宙環境にて使用されるようには設計もされていませんし、使用されることを意図されておられません。但し、当該TI製品が、軍需対応グレード品、若しくは「強化プラスチック」製品としてTIが特別に指定した製品である場合は除きます。TIが軍需対応グレード品として指定した製品のみが軍需品の仕様書に合致いたします。お客様は、TIが軍需対応グレード品として指定していない製品を、軍事的用途もしくは軍事的環境下で使用することは、もっぱらお客様の危険負担においてなされるということ、及び、お客様がもっぱら責任をもって、そのような使用に関して必要とされる全ての法的要求事項及び規制上の要求事項を満足させなければならないことを認め、かつ同意します。

TI製品は、自動車用アプリケーションないし自動車の環境において使用されるようには設計されていませんし、また使用されることを意図されておられません。但し、TIがISO/TS 16949の要求事項を満たしていると特別に指定したTI製品は除きます。お客様は、お客様が当該TI指定品以外のTI製品を自動車用アプリケーションに使用しても、TIは当該要求事項を満たしていなかったことについて、いかなる責任も負わないことを認め、かつ同意します。

Copyright © 2012, Texas Instruments Incorporated  
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

## 弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

### 1. 静電気

- 素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。
- 弊社出荷梱包単位（外装から取り出された内装及び個装）又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で（導電性マットにアースをとったもの等）、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。
- マウンタやはんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。
- 前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

### 2. 温・湿度環境

- 温度：0～40℃、相対湿度：40～85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。（但し、結露しないこと。）

- 直射日光があたる状態で保管・輸送しないこと。
3. 防湿梱包
    - 防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従い基板実装すること。
  4. 機械的衝撃
    - 梱包品（外装、内装、個装）及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。
  5. 熱衝撃
    - はんだ付け時は、最低限260℃以上の高温状態に、10秒以上さらさないこと。（個別推奨条件がある時はそれに従うこと。）
  6. 汚染
    - はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質（硫黄、塩素等ハロゲン）のある環境で保管・輸送しないこと。
    - はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。（不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。）

以上