

# 静止電流が2.5µAの42V、 5A同期整流式 降圧 Silent Switcher

## 特長

- Silent Switcher® アーキテクチャ
  - 超低 EMI/EMC 放射
  - スペクトラム拡散周波数変調
- 高周波で高効率
  - 効率: 最大 96% (1MHz 時)
  - 効率: 最大 95% (2MHz 時)
- 広い入力電圧範囲: 3.4V ~ 42V
- 最大連続出力電流: 5A、ピーク・トランジェント出力電流: 7A
- 超低静止電流の Burst Mode® 動作
  - 12V 入力で 3.3V 出力を安定化時の  $I_Q = 2.5\mu A$
  - 出力リップル < 10mV<sub>P-P</sub>
- 短い最小スイッチ・オン時間: 35ns
- すべての条件で低ドロップアウト: 100mV (1A 時)
- 強制連続モード (LT8640-1のみ)
  - 過負荷時にインダクタの飽和を安全に許容
  - 調整可能および同期可能な周波数: 200kHz ~ 3MHz
  - ピーク電流モード動作
  - 出力ソフトスタートおよび出力トラッキング
  - 小型 18 ピン (3mm × 4mm) QFN

## アプリケーション

- 自動車用電源および産業用電源
- 汎用の降圧電源
- GSM 電源

## 概要

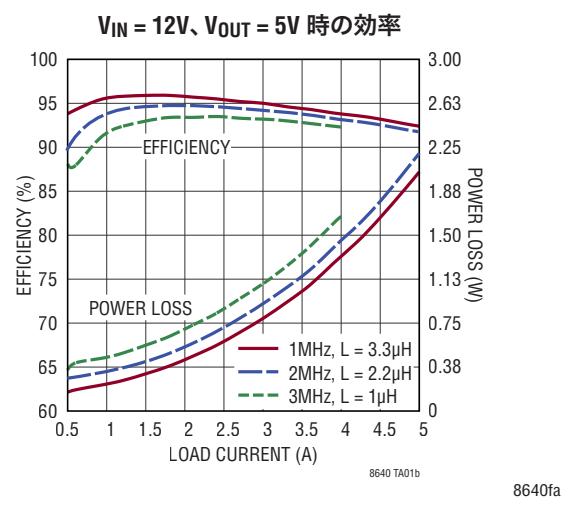
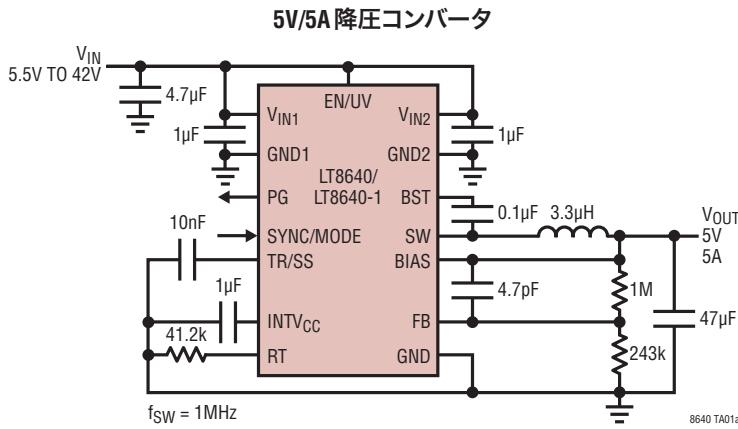
LT®8640/LT8640-1 は Silent Switcher アーキテクチャを備えた降圧レギュレータで、EMI/EMC 放射を最小限に抑えながら最大 3MHz の周波数で高い効率を実現するよう設計されています。パワー・スイッチを内蔵し、必要なすべての回路が組み込まれたモノリシック構造で、3mm × 4mm の QFN パッケージに組み立てられているので、PCB 実装面積が最小のソリューションが得られます。出力が完全なレギュレーション状態で 2.5µA という超低静止電流なので、非常に小さい負荷電流で最高の効率が要求されるアプリケーションが可能です。トランジェント応答は優れた性能を維持しており、出力電圧のリップルは 0 から最大までのあらゆる負荷電流で 10mV<sub>P-P</sub> 未満です。

LT8640/LT8640-1 では、高い  $V_{IN}$  から低い  $V_{OUT}$  への変換が高周波で可能である上に、上側スイッチの最小オン時間を 35ns と短くすることができます。過負荷での動作は、インダクタが飽和した状態でも安全です。

以下に示す不可欠な機能が組み込まれており、手軽に使用できます。出力がレギュレーション状態になると、オーブンドラインの PG ピンの信号によって通知します。SYNC/MODE ピンにより、Burst Mode 動作、スペクトラム拡散モード、外部クロックへの同期、パルス・スキップ・モード (LT8640)、強制連続モード (LT8640-1) のいずれかを選択することができます。ソフトスタート機能とトラッキング機能には TR/SS ピンを介してアクセスします。高精度のイネーブル電圧しきい値は EN/UV ピンを使用して設定可能であり、スイッチ周波数は RT ピンに接続する抵抗で設定します。

**LT**、**LT**、**LTC**、**LTM**、**Linear Technology**、**Linear** のロゴ、**Silent Switcher**、および **Burst Mode** はリニアテクノロジー社の登録商標です。その他全ての商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。

## 標準的応用例



# LT8640/LT8640-1

## 絶対最大定格

(Note 1)

V<sub>IN</sub>、EN/UV、PG ..... 42V

BIAS ..... 25V

FB、TR/SS ..... 4V

SYNCの電圧 ..... 6V

動作接合部温度範囲(Note 2)

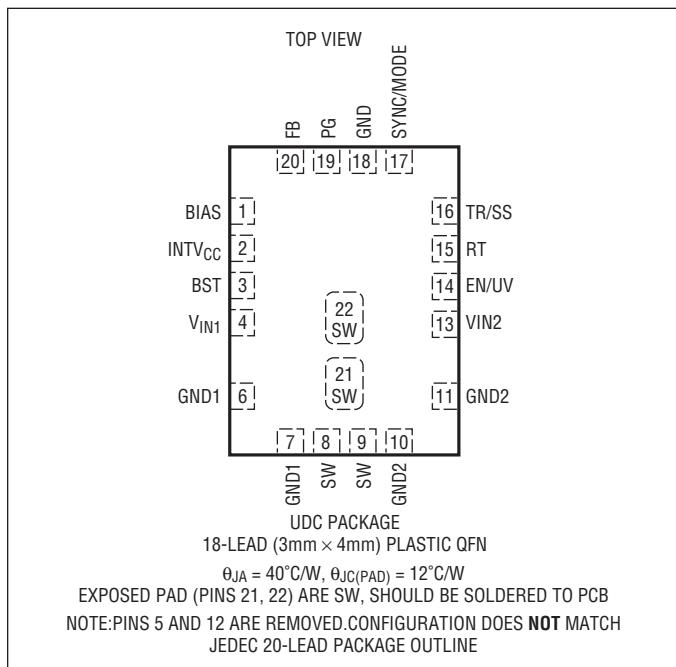
LT8640E/LT8640-1E ..... -40°C ~ 125°C

LT8640I/LT8640-1I ..... -40°C ~ 125°C

LT8640H ..... -40°C ~ 150°C

保存温度範囲 ..... -65°C ~ 150°C

## ピン配置



## 発注情報

無鉛仕上げ	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
LT8640EUDC#PBF	LT8640EUDC#TRPBF	LGNJ	18-Lead (3mmx4mm) Plastic QFN	-40°C to 125°C
LT8640IUDC#PBF	LT8640IUDC#TRPBF	LGNJ	18-Lead (3mmx4mm) Plastic QFN	-40°C to 125°C
LT8640HUDC#PBF	LT8640HUDC#TRPBF	LGNJ	18-Lead (3mmx4mm) Plastic QFN	-40°C to 150°C
LT8640EUDC-1#PBF	LT8640EUDC-1#TRPBF	LGVT	18-Lead (3mmx4mm) Plastic QFN	-40°C to 125°C
LT8640IUDC-1#PBF	LT8640IUDC-1#TRPBF	LGVT	18-Lead (3mmx4mm) Plastic QFN	-40°C to 125°C

更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。\* 温度グレードは出荷時のコンテナのラベルで識別されます。

無鉛仕上げ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/tapeandreel/> をご覧ください。

8640fa

## 電気的特性

●は全動作温度範囲での規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Minimum Input Voltage		●	2.9	3.4	V	
$V_{IN}$ Quiescent Current	$V_{EN/UV} = 0V$	●	0.75	3	$\mu\text{A}$	
		●	0.75	10	$\mu\text{A}$	
	$V_{EN/UV} = 2V$ , Not Switching, $V_{SYNC} = 0V$	●	1.7	4	$\mu\text{A}$	
		●	1.7	10	$\mu\text{A}$	
$V_{IN}$ Current in Regulation	$V_{OUT} = 0.97V$ , $V_{IN} = 6V$ , Output Load = $100\mu\text{A}$	●	21	50	$\mu\text{A}$	
	$V_{OUT} = 0.97V$ , $V_{IN} = 6V$ , Output Load = $1\text{mA}$	●	220	350	$\mu\text{A}$	
Feedback Reference Voltage	$V_{IN} = 6V$ , $I_{LOAD} = 0.5\text{A}$	●	0.964	0.970	0.976	V
	$V_{IN} = 6V$ , $I_{LOAD} = 0.5\text{A}$	●	0.958	0.970	0.982	V
Feedback Voltage Line Regulation	$V_{IN} = 4.0\text{V}$ to $42\text{V}$ , $I_{LOAD} = 0.5\text{A}$	●	0.004	0.02	%/V	
Feedback Pin Input Current	$V_{FB} = 1V$		-20	20	nA	
BIAS Pin Current Consumption	$V_{BIAS} = 3.3V$ , $I_{LOAD} = 1\text{A}$ , 2MHz		11		mA	
Minimum On-Time	$I_{LOAD} = 1\text{A}$ , $SYNC = 0V$	●	35	50	ns	
	$I_{LOAD} = 1\text{A}$ , $SYNC = 3.3V$	●	35	50	ns	
Minimum Off-Time			80	110	ns	
Oscillator Frequency	$R_T = 221\text{k}$ , $I_{LOAD} = 1\text{A}$	●	180	210	240	kHz
	$R_T = 60.4\text{k}$ , $I_{LOAD} = 1\text{A}$	●	665	700	735	kHz
	$R_T = 18.2\text{k}$ , $I_{LOAD} = 1\text{A}$	●	1.85	2.00	2.15	MHz
Top Power NMOS On-Resistance	$I_{SW} = 1\text{A}$		67		$\text{m}\Omega$	
Top Power NMOS Current Limit		●	7.5	10	12.5	A
Bottom Power NMOS On-Resistance	$V_{INTVCC} = 3.4V$ , $I_{SW} = 1\text{A}$		28		$\text{m}\Omega$	
SW Leakage Current	$V_{IN} = 42V$ , $V_{SW} = 0V$ , $42V$		-15	15	$\mu\text{A}$	
EN/UV Pin Threshold	EN/UV Rising	●	0.94	1.0	1.06	V
EN/UV Pin Hysteresis			40		mV	
EN/UV Pin Current	$V_{EN/UV} = 2V$		-20	20	nA	
PG Upper Threshold Offset from $V_{FB}$	$V_{FB}$ Falling	●	5	7.5	10.25	%
PG Lower Threshold Offset from $V_{FB}$	$V_{FB}$ Rising	●	-5.25	-8	-10.75	%
PG Hysteresis			0.2		%	
PG Leakage	$V_{PG} = 3.3V$		-40	40	nA	
PG Pull-Down Resistance	$V_{PG} = 0.1V$	●	700	2000	$\Omega$	
SYNC/MODE Threshold	SYNC/MODE DC and Clock Low Level Voltage		0.7	0.9	1.1	V
	SYNC/MODE Clock High Level Voltage		1.0	1.2	1.4	V
	SYNC/MODE DC High Level Voltage		2.3	2.6	2.9	V
Spread Spectrum Modulation Frequency Range	$R_T = 60.4\text{k}$ , $V_{SYNC} = 3.3V$		22		%	
Spread Spectrum Modulation Frequency	$V_{SYNC} = 3.3V$		3		kHz	
TR/SS Source Current		●	1.2	1.9	2.6	$\mu\text{A}$
TR/SS Pull-Down Resistance	Fault Condition, TR/SS = $0.1V$		200		$\Omega$	

# LT8640/LT8640-1

## 電気的特性

●は全動作温度範囲での規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
LT8640-1 Output Sink Current in Forced Continuous Mode	$V_{FB} = 1.01\text{V}$ , $L = 6.8\mu\text{H}$ , $R_T = 60.4\text{k}\Omega$	0.25	0.6	1	A
LT8640-1 $V_{IN}$ to Disable Forced Continuous Mode	$V_{IN}$ Rising	35	37	39	V
LT8640-1 $V_{FB}$ Offset from Feedback Reference Voltage to Disable Forced Continuous Mode	$V_{FB}$ Rising	7	9.5	12	%

**Note 1:** 絶対最大定格に記載された値を超えるストレスはデバイスに永続的損傷を与える可能性がある。また、長期にわたって絶対最大定格条件に曝すと、デバイスの信頼性と寿命に悪影響を与えるおそれがある。

**Note 2:** LT8640E/LT8640-1Eは、 $0^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ の接合部温度で性能仕様に適合することが保証されている。 $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ の動作接合部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。LT8640I/LT8640-1Iは $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ の全動作接合部温度範囲で保証されている。LT8640H/LT8640-1Hは、 $-40^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ の全動作接合部温度範囲で保証されている。接合部温度が高いと、動作寿命は短くなる。 $125^\circ\text{C}$ を超える接合部温度では動作寿命がディレーティングされる。接合部温度( $T_J$  ( $^\circ\text{C}$ ))は周囲温度( $T_A$  ( $^\circ\text{C}$ ))および電力損失(PD (W))から次式に従って計算される。

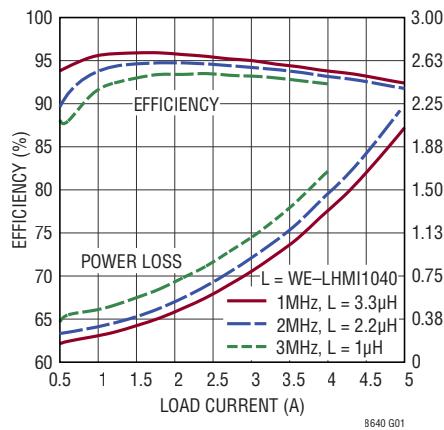
$$T_J = T_A + (PD \bullet \theta_{JA})$$

ここで、 $\theta_{JA}$  ( $^\circ\text{C/W}$ ) はパッケージの熱インピーダンス。

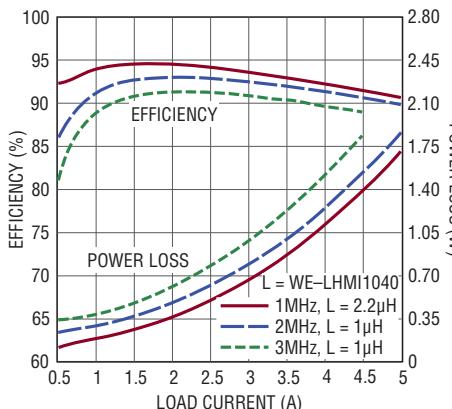
**Note 3:** このデバイスには過負荷状態の間デバイスを保護するための過熱保護機能が備わっている。過熱保護機能が動作しているとき接合部温度は  $150^\circ\text{C}$  を超える。規定されている最大動作接合部温度を超えた状態で動作が継続すると、寿命が短くなる。

## 標準的性能特性

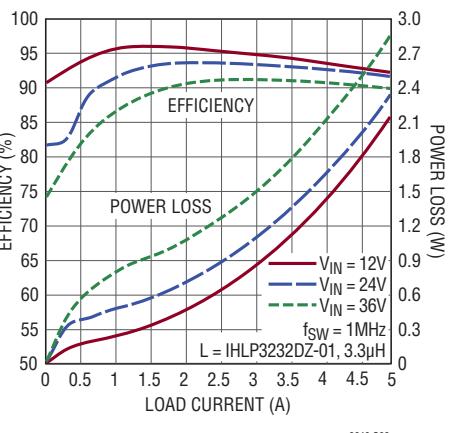
$V_{IN} = 12V, V_{OUT} = 5V$  時の  
効率と周波数



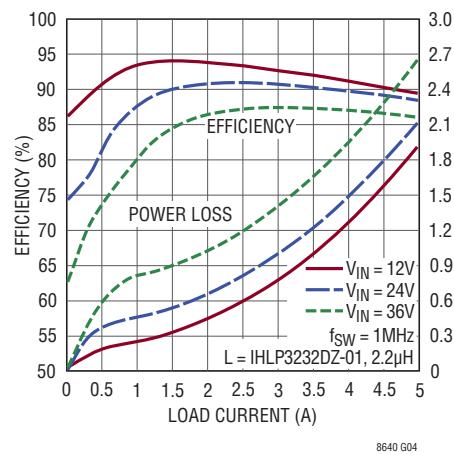
$V_{IN} = 12V, V_{OUT} = 3.3V$  時の  
効率と周波数



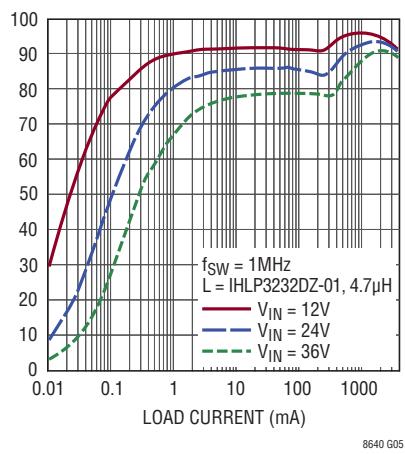
$V_{OUT} = 5V$  時の効率



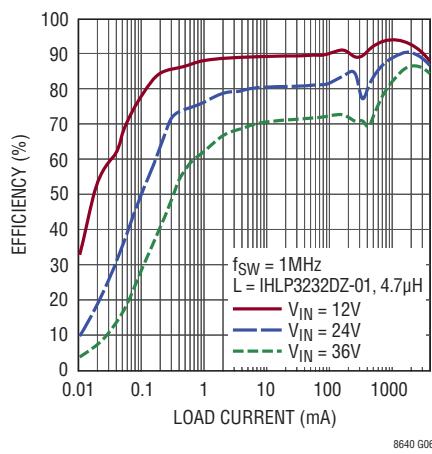
$V_{OUT} = 3.3V$  時の効率



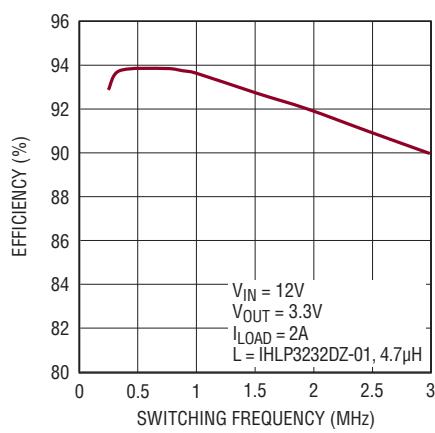
$V_{OUT} = 5V$  時の効率



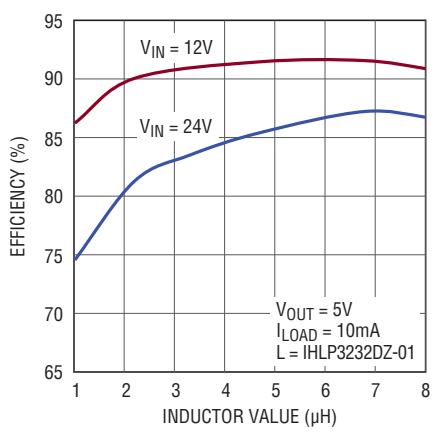
$V_{OUT} = 3.3V$  時の効率



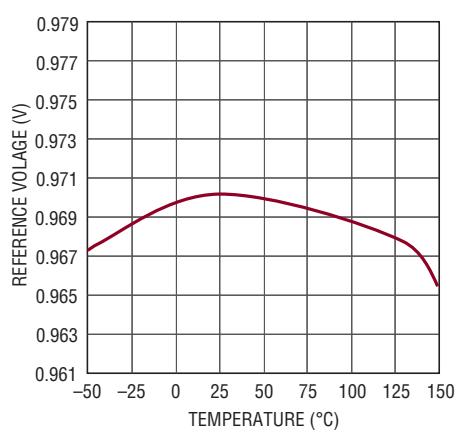
効率と周波数



Burst Mode動作の  
効率とインダクタ値



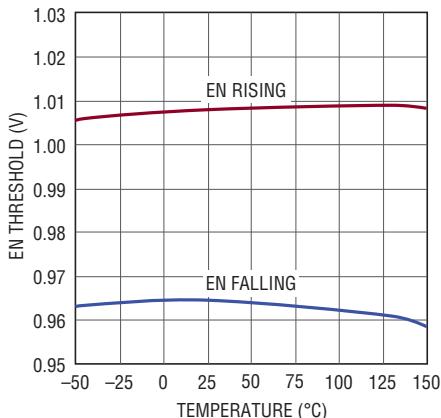
リファレンス電圧



# LT8640/LT8640-1

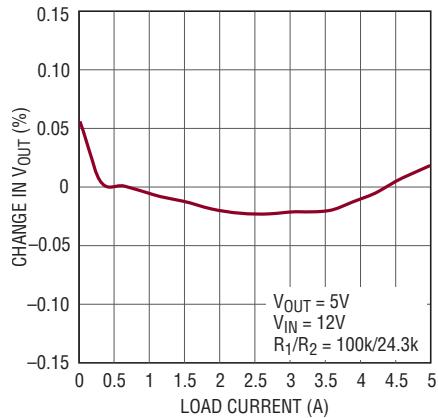
## 標準的性能特性

ENピンのしきい値



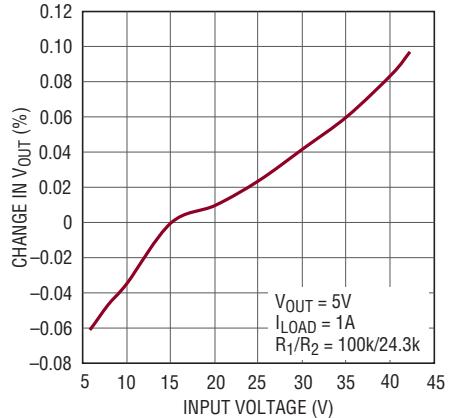
8640 G10

負荷レギュレーション



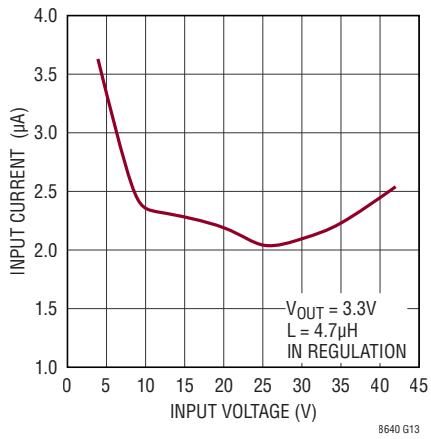
8640 G11

入力レギュレーション



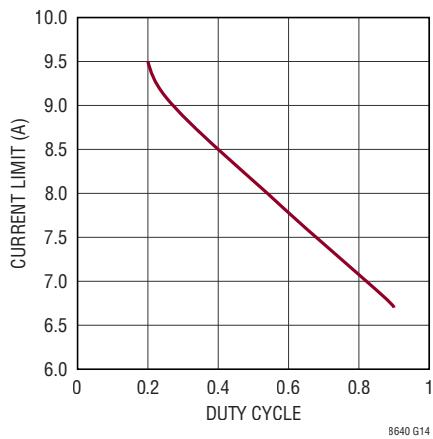
8640 G12

無負荷時電源電流



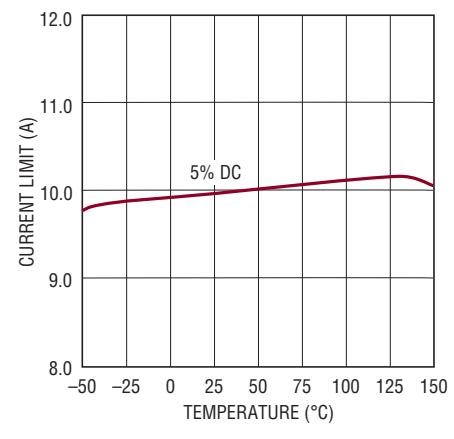
8640 G13

上側FETの電流制限と  
デューティ・サイクル



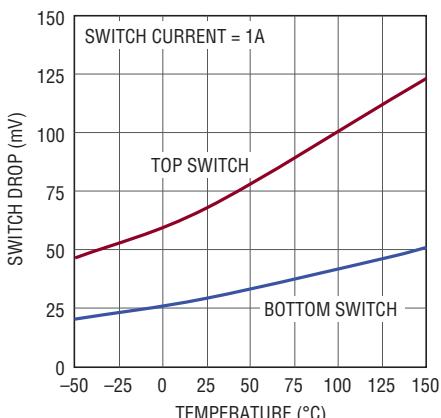
8640 G14

上側FETの電流制限



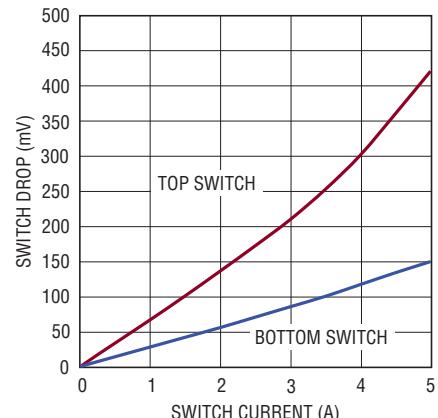
8640 G15

スイッチの電圧降下



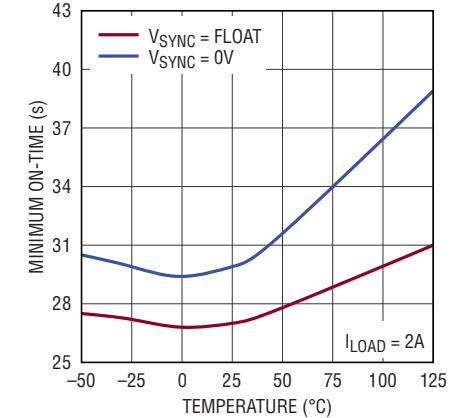
8640 G16

スイッチの電圧降下



8640 G17

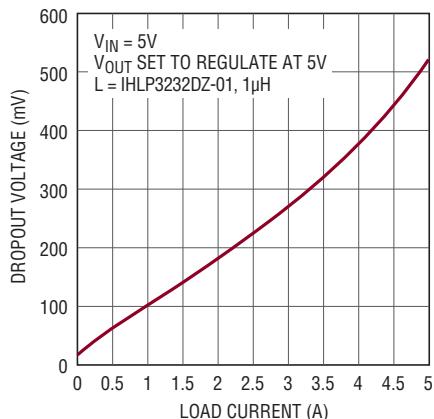
最小オン時間



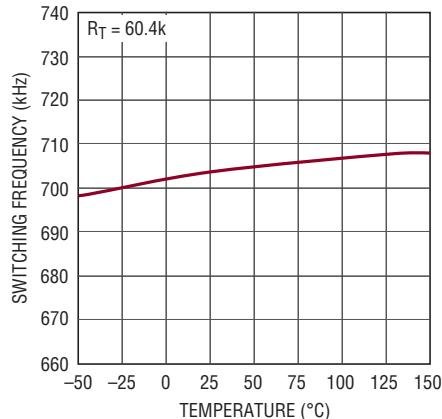
8640fa

## 標準的性能特性

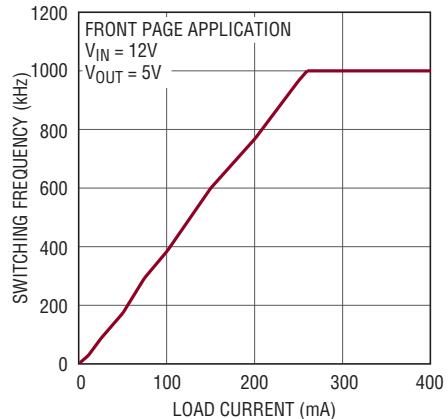
ドロップアウト電圧



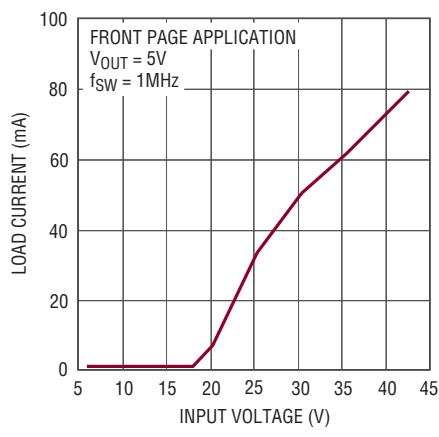
スイッチング周波数



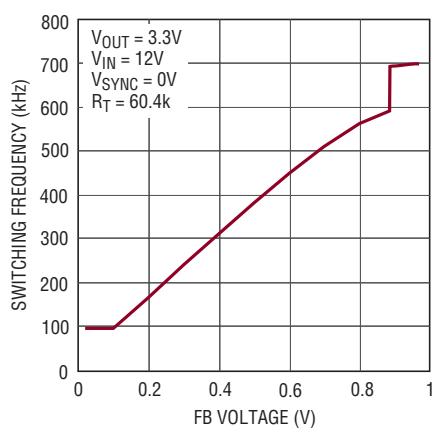
バースト周波数



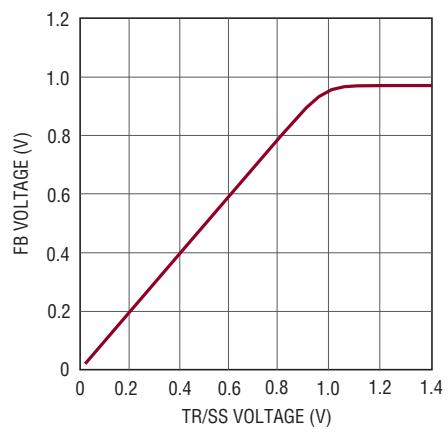
最大周波数に達する最小負荷  
(パルス・スキップ・モード)



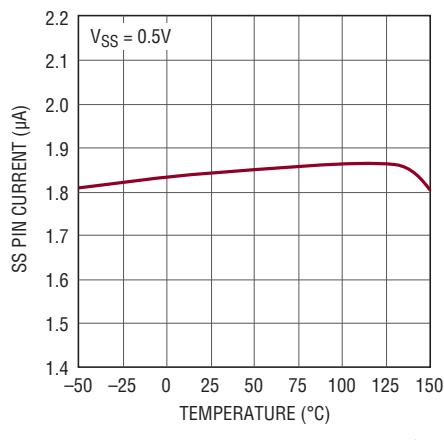
周波数フォールドバック



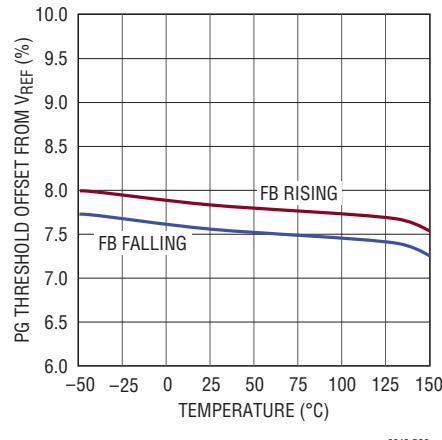
ソフトスタートのトラッキング電圧



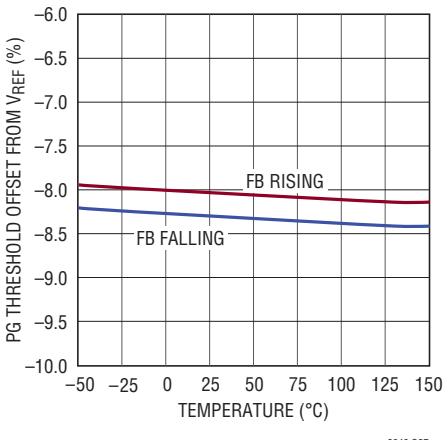
ソフトスタートの電流



PGピンの“H”しきい値



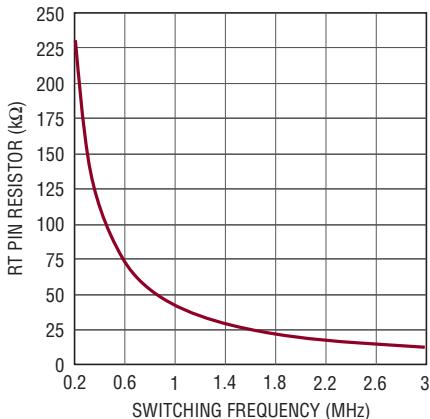
PGピンの“L”しきい値



# LT8640/LT8640-1

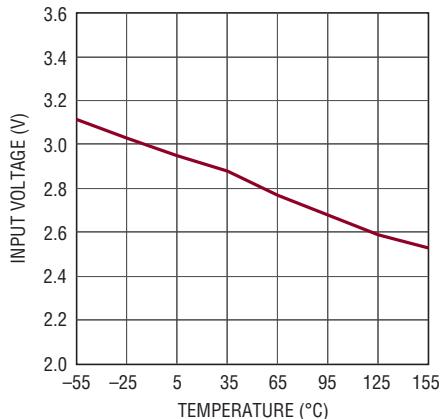
## 標準的性能特性

RTで設定したスイッチング周波数



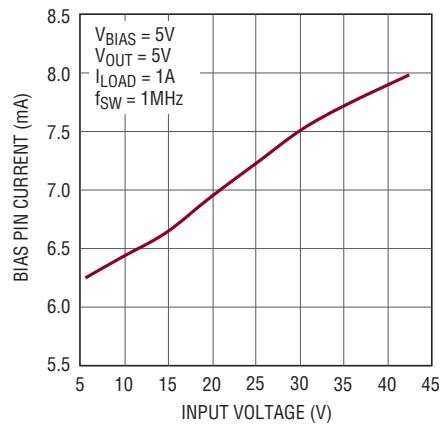
8640 G28

V<sub>IN</sub>の低電圧ロックアウト



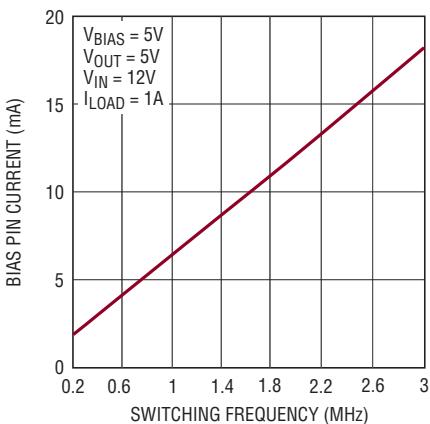
8640 G29

BIASピンの電流



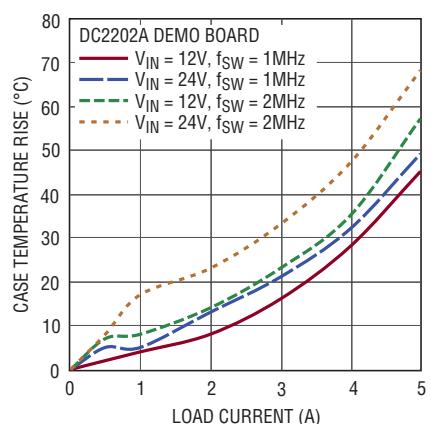
8640 G30

BIASピンの電流



8640 G31

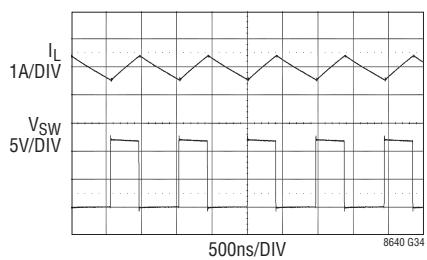
ケース温度の上昇



8640 G32

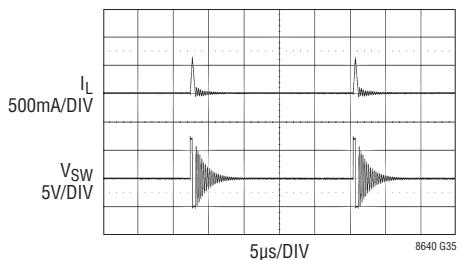
8640 G33

スイッチング波形、  
最大周波数での連続動作



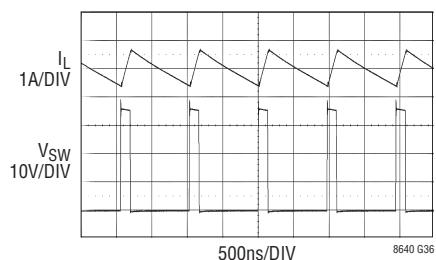
FRONT PAGE APPLICATION  
12V<sub>IN</sub> TO 5V<sub>OUT</sub> AT 1A

スイッチング波形、  
Burst Mode動作



FRONT PAGE APPLICATION  
12V<sub>IN</sub> TO 5V<sub>OUT</sub> AT 10mA  
V<sub>SYNC</sub> = 0V

スイッチング波形

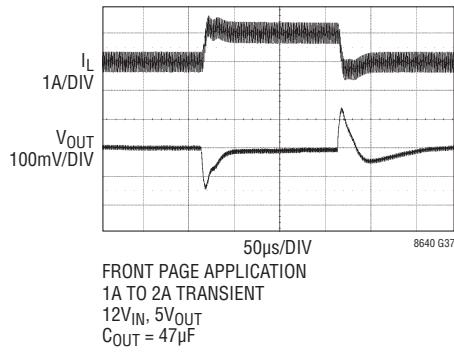


FRONT PAGE APPLICATION  
36V<sub>IN</sub> TO 5V<sub>OUT</sub> AT 1A

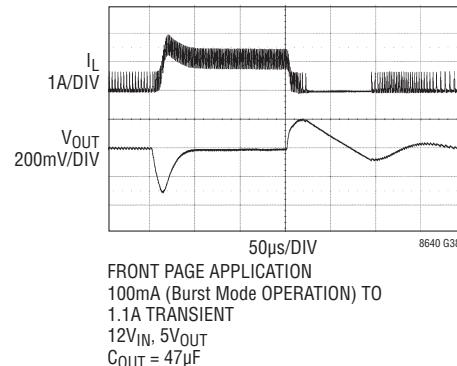
8640fa

## 標準的性能特性

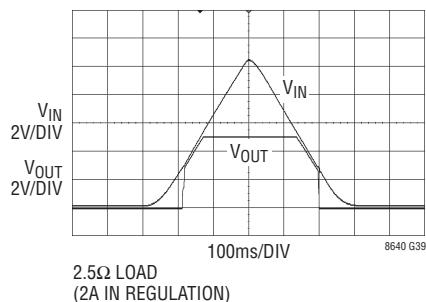
トランジエント応答:負荷電流が  
1Aから2Aまで階段状に変化



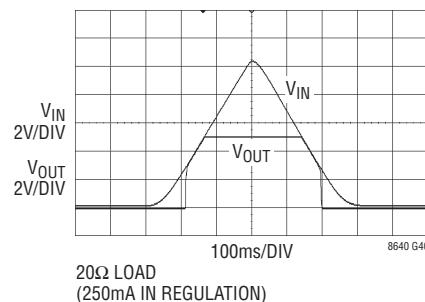
負荷トランジエント応答:負荷電流が  
100mA(Burst Mode動作)から  
1.1Aまで階段状に変化



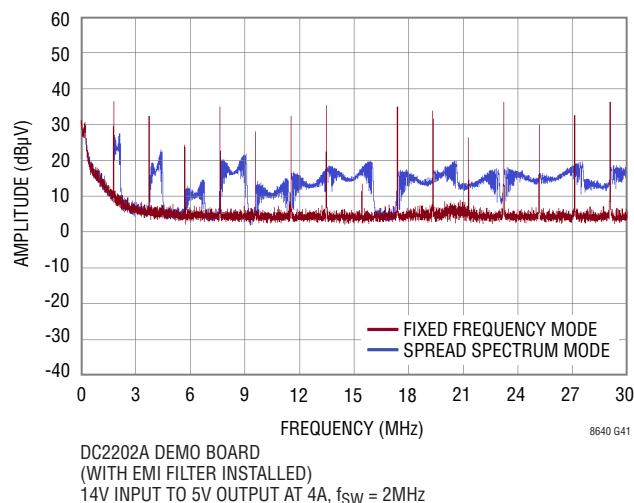
### 起動時のドロップアウト性能



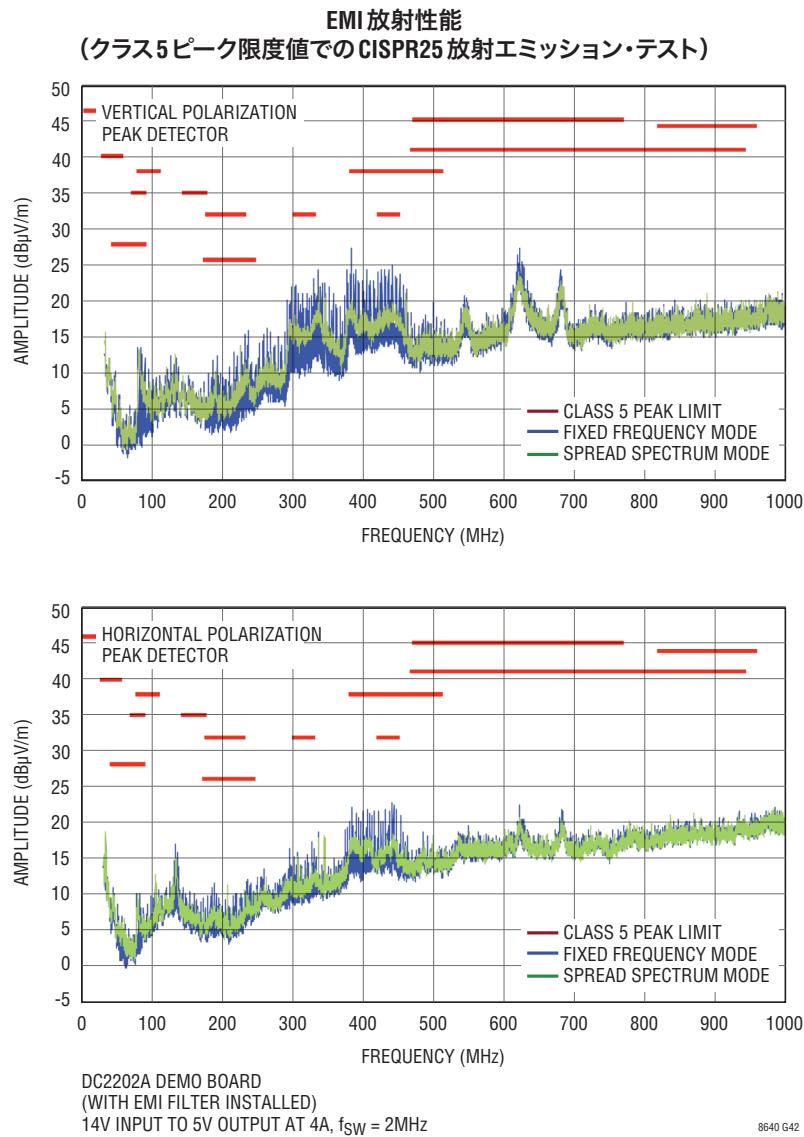
### 起動時のドロップアウト性能



### 伝導EMI性能



## 標準的性能特性



## ピン機能

**BIAS(ピン1)**: BIASピンを3.1Vより高い電圧に接続すると、内部レギュレータにはBIASピンから電流が流れ、VINピンからは流れません。出力電圧が3.3V～25Vの場合、このピンはV<sub>OUT</sub>に接続してください。このピンをV<sub>OUT</sub>以外の電源に接続する場合は、このピンの近くに1μFのバイパス・コンデンサを使用してください。電源を接続しない場合は、GNDに接続します。

**INTV<sub>CC</sub>(ピン2)**: 内蔵の3.4Vレギュレータのバイパス・ピン。内部パワー・ドライバおよび制御回路はこの電圧から電力を供給されます。INTV<sub>CC</sub>の最大出力電流は20mAです。INTV<sub>CC</sub>ピンには外部回路による負荷をかけないでください。INTV<sub>CC</sub>の電流は、BIAS > 3.1Vの場合はBIASピンから供給され、そうでない場合はVINピンから供給されます。BIASが3.0V～3.6Vの範囲の場合、INTV<sub>CC</sub>ピンの電圧は2.8V～3.4Vの範囲で変化します。このピンは、デバイスの近くに設置した1μF以上の低ESRセラミック・コンデンサで電源グランドにデカップリングします。

**BST(ピン3)**: このピンは、入力電圧より高い駆動電圧を上側のパワー・スイッチに供給するために使用します。0.1μFの昇圧コンデンサをできるだけデバイスの近くに配置してください。

**V<sub>IN1</sub>(ピン4)**: LT8640/LT8640-1には1μFの小型入力バイパス・コンデンサが2個必要です。1つの1μFコンデンサをV<sub>IN1</sub>とGND1の間に配置します。もう1つの1μFコンデンサをV<sub>IN2</sub>とGND2の間に配置します。これらのコンデンサはできるだけLT8640/LT8640-1に近づけて配置する必要があります。3つ目の、容量が2.2μF以上の大きいコンデンサは、正端子をV<sub>IN1</sub>およびV<sub>IN2</sub>に、負端子をグランドに接続してLT8640/LT8640-1の近くに配置します。レイアウト例については「アプリケーション情報」のセクションを参照してください。

**GND1(ピン6、7)**: パワー・スイッチのグランド。これらのピンは内蔵の下側パワー・スイッチの帰路であり、互いに接続する必要があります。入力コンデンサの負端子はGND1ピンのできるだけ近くに配置してください。また、GND1ピンは必ずグランド・プレーンに接続してください。レイアウト例については「アプリケーション情報」のセクションを参照してください。

**SW(ピン8、9)**: SWピンは内部パワー・スイッチの出力です。これらのピンは互いに接続し、インダクタおよび昇圧コンデンサに接続します。優れた性能と低いEMIを得るために、プリント回路基板上でのこのノードの面積が小さくなるようにしてください。

**GND2(ピン10、11)**: パワー・スイッチのグランド。これらのピンは内蔵の下側パワー・スイッチの帰路であり、互いに接続する必要があります。入力コンデンサの負端子はGND2ピンのできるだけ近くに配置してください。また、GND2ピンは必ずグラ

ンド・プレーンに接続してください。レイアウト例については「アプリケーション情報」のセクションを参照してください。

**V<sub>IN2</sub>(ピン13)**: LT8640/LT8640-1には1μFの小型入力バイパス・コンデンサが2個必要です。1つの1μFコンデンサをV<sub>IN1</sub>とGND1の間に配置します。もう1つの1μFコンデンサをV<sub>IN2</sub>とGND2の間に配置します。これらのコンデンサはできるだけLT8640/LT8640-1に近づけて配置する必要があります。3つ目の、容量が2.2μF以上の大きいコンデンサは、正端子をV<sub>IN1</sub>およびV<sub>IN2</sub>に、負端子をグランドに接続してLT8640/LT8640-1の近くに配置します。レイアウト例については「アプリケーション情報」のセクションを参照してください。

**EN/UV(ピン14)**: LT8640/LT8640-1は、このピンが“L”的ときシャットダウン状態になり、このピンが“H”的ときアクティブになります。ヒステリシスのあるしきい値電圧は上昇時1.00V、下降時0.96Vです。シャットダウン機能を使用しない場合は、VINに接続してください。VINとの間に外付け抵抗分割器を使用して、その値より低くなるとLT8640/LT8640-1がシャットダウンするVINしきい値を設定できます。

**RT(ピン15)**: RTピンとグランドの間に抵抗を接続して、スイッチング周波数を設定します。

**TR/SS(ピン16)**: 出力トラッキングおよびソフトスタート・ピン。このピンを使用すると、起動時にユーザーが出力電圧の上昇速度を制御できます。TR/SSピンの電圧が0.97Vより低くなると、LT8640/LT8640-1はFBピンの電圧をTR/SSピンの電圧と等しくなるよう制御します。TR/SSピンの電圧が0.97Vより高くなると、トラッキング機能がディスエーブルされ、内部リファレンスによってエラーアンプの制御が再開されます。このピンにはINTV<sub>CC</sub>から1.9μAの内部プルアップ電流が流れるので、コンデンサを接続して出力電圧のスルーレートを設定できます。このピンは、シャットダウン時およびフォルト状態では内部の200Ω MOSFETによってグランド電位になるので、低インピーダンス出力で駆動する場合は直列抵抗を使用してください。トラッキング機能が必要ない場合は、このピンをフロート状態のままにしておいてもかまいません。

**SYNC/MODE(ピン17, LT8640のみ)**: このピンでは、以下に示す4つの異なる動作モードを設定します。1) Burst Mode動作。低出力負荷の場合は、このピンをグランドに接続してBurst Mode動作に設定します。こうすると、超低静止電流になります。2) パルス・スキップ・モード。このモードでは、パルス・スキップ動作が始まる低出力負荷まで最大周波数で動作します。パルス・スキップ・モードにする場合は、このピンをフロート状態にします。フロート状態では、ピンの漏れ電流を1μA未満に抑

## ピン機能

えます。3)スペクトラム拡散モード。スペクトラム拡散変調ありのパルス・スキップ・モードにする場合は、このピンをINTV<sub>CC</sub>(約3.4V)に接続して“H”にします。4)同期モード。外部周波数に同期させるには、このピンをクロック信号源で駆動します。同期中、デバイスはパルス・スキップ・モードで動作します。

**SYNC/MODE(ピン17、LT8640-1のみ)**: LT8640-1の場合、このピンでは、以下に示す4つの異なる動作モードを設定します。1)Burst Mode動作。低出力負荷の場合は、このピンをグランドに接続してBurst Mode動作に設定します。こうすると、超低静止電流になります。2)強制連続モード(FCM)。このモードでは、広い負荷範囲にわたって高速トランジエント応答および最大周波数動作が可能です。強制連続モードにする場合は、このピンをフロート状態にします。フロート状態では、ピンの漏れ電流を1μA未満に抑えます。3)スペクトラム拡散モード。スペクトラム拡散変調ありの強制連続モードにする場合は、このピンをINTV<sub>CC</sub>(約3.4V)に接続して“H”にします。4)同期モード。外部周波数に同期させるには、このピンをクロック信号源で駆動します。同期中、デバイスは強制連続モードで動作します。

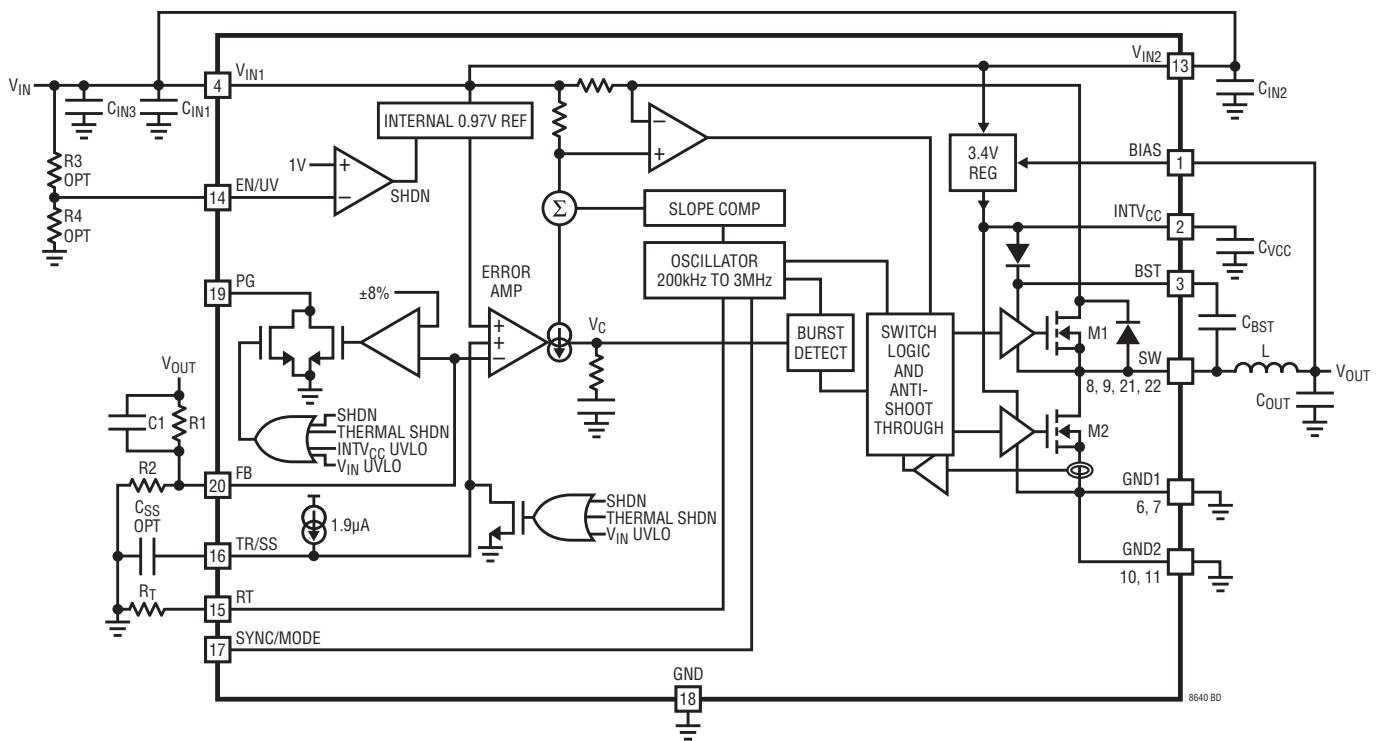
**GND(ピン18)**: LT8640/LT8640-1のグランド・ピン。このピンはシステム・グランドおよびグランド・プレーンに接続します。

**PG(ピン19)**: PGピンは内部コンパレータのオーブンドレイン出力です。PGはFBピンが最終レギュレーション電圧の±8%以内になるまで“L”的ままであり、フォルト状態にはなりません。PGピンのレベルは、EN/UVピンの状態に関係なく、V<sub>IN</sub>ピンの電圧が3.4Vより高い場合に有効です。

**FB(ピン20)**: LT8640/LT8640-1はFBピンの電圧を0.970Vに安定化します。帰還抵抗分割器のタップをこのピンに接続します。また、位相進みコンデンサをFBピンとV<sub>OUT</sub>の間に接続します。通常、このコンデンサの値は4.7pF～22pFです。

**SW(露出パッド・ピン21、22)**: 優れた熱性能を得るために、露出パッドはSWトレースに接続し、半田付けします。製造上の制限により必要な場合は、ピン21とピン22を未接続のままにできますが、熱性能は低下します。

## ブロック図



8640 BD

## 動作

LT8640/LT8640-1はモノリシック、固定周波数、電流モードの降圧DC/DCコンバータです。RTピンに接続する抵抗を使用して周波数を設定する発振器により、各クロック・サイクルの開始時に内蔵の上側パワー・スイッチがオンします。次に、インダクタを流れる電流が増加して上側スイッチの電流コンパレータが作動し、上側のパワー・スイッチがオフします。上側スイッチがオフするときのピーク・インダクタ電流は、内部VCノードの電圧によって制御されます。エラーアンプは、VFBピンの電圧を0.97Vの内部リファレンスと比較することによってVCノードをサーボ制御します。負荷電流が増加すると、帰還電圧はリファレンスと比較して低くなるので、エラーアンプによってVCの電圧が上昇し、平均インダクタ電流が新たな負荷電流に釣り合うまで上昇し続けます。上側パワー・スイッチがオフすると、同期パワー・スイッチがオンし、次のクロック・サイクルが始まるか、インダクタ電流が0に減少するまでオフのままになります。過負荷状態によって10Aを超える電流が下側スイッチに流れると、スイッチ電流が安全なレベルに戻るまで次のクロック・サイクルは遅延します。

EN/UVピンが“L”的場合、LT8640/LT8640-1はシャットダウンし、入力から $1\mu A$ が流れます。EN/UVピンの電圧が1Vを超えると、スイッチング・レギュレータはアクティブになります。

軽負荷での効率を最適化するため、LT8640/LT8640-1は軽負荷の状態ではBurst Modeで動作します。バーストとバーストの間は、出力スイッチの制御に関連した全ての回路がシャットダウンし、入力電源電流が $1.7\mu A$ に減少します。標準的なアプリケーションでは、無負荷で安定化する場合、入力電源から $2.5\mu A$ を消費します。SYNC/MODEピンは、Burst Mode動作で使用するには“L”に接続します。また、フロート状態にして、パルス・スキップ・モード(LT8640)または強制連続モード(FCM)(LT8640-1)で使用することができます。SYNC/MODEピンにクロックを入力すると、デバイスは外部クロックの周波数に同期し、パルス・スキップ・モード(LT8640)または強制連続モード(LT8640-1)で動作します。

パルス・スキップ・モード(LT8640のみ)の間、発振器は連続して動作し、スイッチング波形の正の遷移がクロックに揃えられます。軽負荷時は、スイッチ・パルスがスキップされて出力が安定化され、静止電流は数百 $\mu A$ になります。

LT8640-1は強制連続モード(FCM)で動作できるので、広い負荷範囲にわたって高速トランジエント応答および最大周波数での動作に対応します。強制連続モードでは、発振器が連続して動作し、スイッチング波形の正の遷移がクロックに揃えられます。負のインダクタ電流が可能です。LT8640-1は出力から電流を流し込み、この電荷をこのモードで入力に戻すことができる所以、負荷ステップのトランジエント応答が改善されます。

EMI/EMCを改善するため、LT8640/LT8640-1はスペクトラム拡散モードで動作することができます。この機能では、+20%の三角波周波数変調により、クロックの周波数が変わります。例えば、LT8640/LT8640-1の周波数が2MHzで切り替わるように設定されている場合、スペクトラム拡散モードでは、発振器の周波数が2MHz～2.4MHzの範囲で変調されます。SYNC/MODEピンはINTV<sub>CC</sub>(約3.4V)に接続して“H”レベルにすることにより、パルス・スキップ・モード(LT8640)または強制連続モード(LT8640-1)でスペクトラム拡散変調をイネーブルします。

あらゆる負荷にわたって効率を改善するため、BIASピンのバイアス電圧を3.3V以上にする場合は、内部回路に流れる電源電流をBIASピンから供給することができます。そうではない場合、内部回路に流れる電流はV<sub>IN</sub>から供給されます。LT8640/LT8640-1の出力を3.3V～25Vに設定する場合は、BIASピンをV<sub>OUT</sub>に接続してください。

出力電圧が設定値から±8%(標準)より大きく変化する場合や、フォルト状態が存在する場合は、FBピンの電圧をモニタするコンパレータによってPGピンは“L”になります。

FBピンの電圧が低いと、発振器はLT8640/LT8640-1の動作周波数を下げます。この周波数フォールドバック機能により、起動時や過電流状態の間に出力電圧が設定値より低くなると、インダクタ電流を制御することができます。SYNC/MODEピンにクロックを入力するか、SYNC/MODEピンをフロート状態にするか、DC“H”的状態に保持すると、周波数フォールドバックはディスエーブルされ、スイッチング周波数は過電流状態のときにのみ低下するようになります。

# LT8640/LT8640-1

## アプリケーション情報

### EMIを低く抑えるPCBレイアウト

LT8640/LT8640-1は、特にEMI/EMC放射を最小限に抑え、高周波数でのスイッチング時に効率を最大限に高めるように設計されています。最適な性能を得るために、LT8640/LT8640-1ではVINのバイパス・コンデンサを複数使用する必要があります。

1μFの小型コンデンサ2個をLT8640/LT8640-1にできるだけ近づけて配置します。一方のコンデンサはVIN1とGND1の間に接続し、もう一方のコンデンサはVIN2とGND2の間に接続します。3つ目の、容量が2.2μF以上の大いきいコンデンサは、VIN1またはVIN2の近くに配置します。

PCBの推奨レイアウトについては図1を参照してください。

詳細およびPCBデザイン・ファイルについては、LT8640/LT8640-1のデモボード・ガイドを参照してください。

LT8640/LT8640-1のVIN1、VIN2、GND1、GND2の各ピンおよび入力コンデンサ(C<sub>IN1</sub>、C<sub>IN2</sub>)には、大量のスイッチング電流が流れることに注意してください。入力コンデンサによって形成されるループは、これらのコンデンサをVIN1/2ピンおよびGND1/2ピンの近くに配置することにより、できるだけ小さくしてください。ケースサイズが0603のように小さいコンデンサは、寄生インダクタンスが小さいので最適です。

これらの入力コンデンサに加えて、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、その層で接続を行うようにしてください。表面層に最も近い層のアプリケーション回路の下には、デバイス付近にある切れ目のないグランド・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、グランド・トレースがSWノードとBOOSTノードからFBノードとRTノードをシールドするように、FBノードとRTノードは小さく保ちます。周囲温度に対する熱抵抗を小

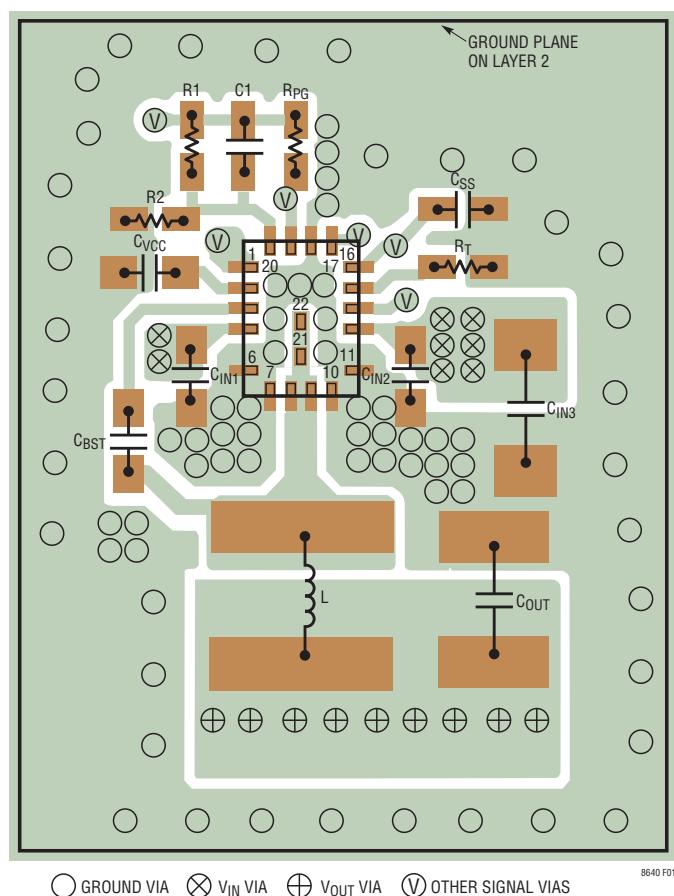


図1. LT8640/LT8640-1の推奨PCBレイアウト

## アプリケーション情報

さくするために、パッケージ底面の露出パッドはSWに半田付けします。熱抵抗を小さく保つには、GND1からGND2までのグランド・プレーンをできるだけ拡大し、回路基板内に底辺側に追加されているグランド・プレーンに対しサーマル・ビアを加えます。

### 超低静止電流の実現(Burst Mode動作)

軽負荷での効率を高めるため、LT8640/LT8640-1は低リップルのBurst Modeで動作し、入力静止電流と出力電圧リップルを最小限に抑えながら、出力コンデンサを目的の出力電圧に充電した状態に保ちます。Burst Mode動作では、LT8640/LT8640-1は単一の小電流パルスを出力コンデンサに供給し、それに続くスリープ期間には出力コンデンサから出力電力が供給されます。スリープ・モード時にLT8640/LT8640-1が消費する電流は $1.7\mu A$ です。

出力負荷が減少すると、单一電流パルスの周波数が低下し(図2aを参照)、LT8640/LT8640-1がスリープ・モードで動作する時間の割合が高まるので、軽負荷での効率が標準的なコ

ンバータよりもはるかに高くなります。パルス間の時間を最大にすると、出力負荷がない場合、標準的なアプリケーションでのコンバータの静止電流は $2.5\mu A$ に近づきます。したがって、軽負荷時の静止電流の性能を最適化するには、帰還抵抗分割器の電流を最小限に抑える必要があります。この電流は負荷電流として出力に現れるからです。

軽負荷時の効率を高めるため、Burst Mode動作では1回の小パルスの間に供給するエネルギーを増やして、LT8640/LT8640-1が各パルス間でより長い時間スリープ・モードにとどまることができるようになります。より大きな値のインダクタ(例： $4.7\mu H$ )を使用すれば効率を高めることができます。インダクタを選択するときには、スイッチング周波数と切り離して効率を検討します。たとえば、通常、スイッチング周波数の高いアプリケーションには値の小さいインダクタを使用しますが、軽負荷時の効率を高めたい場合には値の大きいインダクタを選択します。「標準的性能特性」の曲線を参照してください。

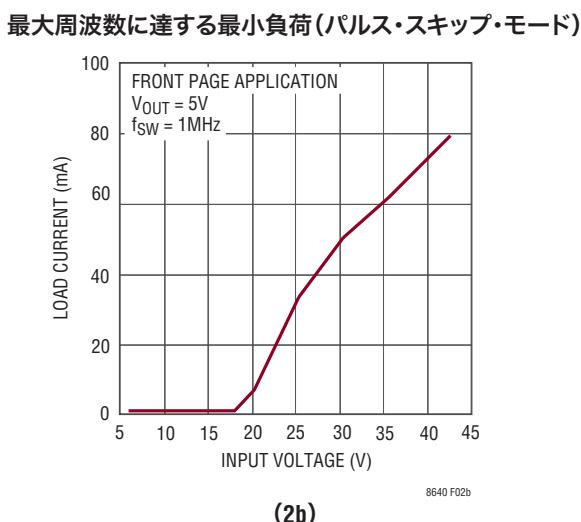
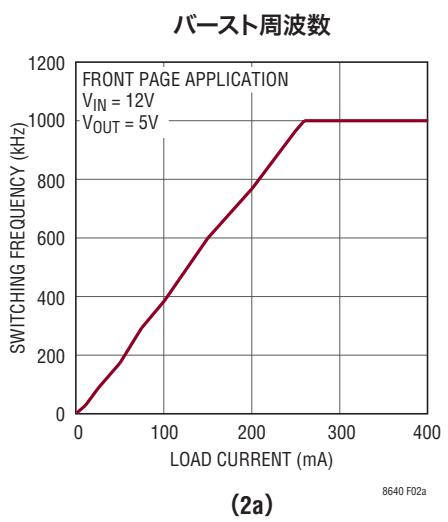


図2. スイッチング周波数と負荷の情報、Burst Mode動作時(2a)およびパルス・スキップ・モード時(2b)

# LT8640/LT8640-1

## アプリケーション情報

Burst Mode動作時は上側スイッチの電流制限値が(図3に示すように)約900mAなので、出力電圧のリップルが低くなります。出力リップルは、出力容量を大きくするとそれに比例して減少します。負荷が0から次第に増加すると、それに応じてスイッチング周波数も増加しますが、図2aに示すように、RTピンに接続した抵抗で設定されるスイッチング周波数が上限です。

LT8640/LT8640-1が設定周波数に達する出力負荷は、入力電圧、出力電圧、およびインダクタをどう選択するかによって変わります。低リップルのBurst Mode動作を選択するには、SYNC/MODEピンを0.4Vより低い電圧に接続します(これはグランドまたはロジック“L”的出力のいずれでもかまいません)。

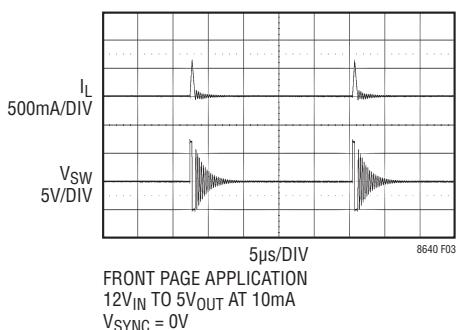


図3. Burst Mode動作

## パルス・スキップ・モード(LT8640のみ)

アプリケーションによっては、LT8640がパルス・スキップ・モードで動作することが望ましい場合があります。Burst Mode動作と大きく異なる点が2つあるからです。1つ目は、クロックが常時動作していて、全てのスイッチング・サイクルがクロックに同期していることです。このモードでは、内部回路の多くが常時動作しているので、静止電流が数百μAまで増加します。2つ目は、Burst Mode動作よりも軽い出力負荷で最大スイッチング周波数に達することです(図2b参照)。パルス・スキップ・モードをイネーブルするには(LT8640のみ)、SYNC/MODEピンをフロート状態にします。このピンの漏れ電流は1μA未満に抑えてください。

## 強制連続モード(LT8640-1のみ)

LT8640-1は強制連続モード(FCM)で動作できるので、広い負荷範囲にわたって高速トランジェント応答および最大周波数での動作に対応します。強制連続モードでは、発振器が連続して動作し、スイッチング波形の正の遷移がクロックに揃えられます。軽負荷時や大きなトランジェント状態では、負のインダクタ電流が可能です。LT8640-1は出力から電流を流し込み、この電荷をこのモードで入力に戻すことができる所以、負荷ステップのトランジェント応答が改善されます(図4参照)。軽負荷時は強制連続モード動作の方がBurst Mode動作やパルス・スキップ・モードより低効率になりますが、スイッチングの高調波成分を信号帯域外に保つ必要があるアプリケーションでは強制連続モード動作が望ましい場合があります。出力に電流を流し込むことが要求される場合は、強制連続モードを使用する必要があります。強制連続モードをイネーブルするには(LT8640-1のみ)、SYNC/MODEピンをフロート状態にします。このピンの漏れ電流は1μA未満に抑えてください。

VINピンが37Vより高い電圧に保持されるか、FBピンが帰還リファレンス電圧より9.5%以上高い電圧に保持される場合、強制連続モードはディスエーブルされます。また、強制連続モードは、ソフトスタート・コンデンサが満充電されるまでのソフトスタート時にもディスエーブルされます。これらの方法で強制連続モードをディスエーブルした場合、負のインダクタ電流を流すことができないので、LT8640-1はパルス・スキップ・モードで動作します。

広い範囲のVINおよびVOUTにわたって堅牢な動作を確保するには、次式で得られるLMINより大きい値のインダクタを使用します。

$$L_{MIN} = \frac{V_{OUT}}{2 \cdot f_{SW}} \cdot \left( 1 - \frac{V_{OUT}}{40} \right)$$

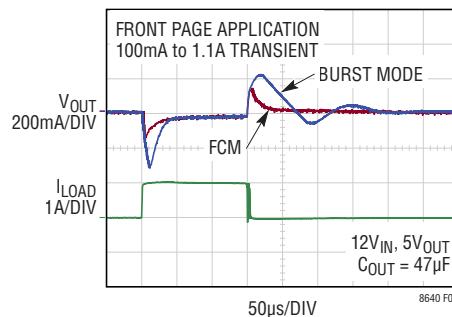


図4. 強制連続モードを使用した場合と使用しない場合の負荷ステップのトランジェント応答

8640fa

## アプリケーション情報

### スペクトラム拡散モード

LT8640/LT8640-1は、EMI/EMC放射を一段と低減するスペクトラム拡散動作を特長としています。スペクトラム拡散動作をイネーブルするには、SYNC/MODEピンをINTV<sub>CC</sub>(約3.4V)に接続して“H”にします。このモードでは、三角波周波数変調を使用して、RTによる設定値から設定値より約20%高い値までの範囲でスイッチング周波数を変化させます。変調周波数は約3kHzです。例えば、LT8640/LT8640-1の周波数を2MHzに設定している場合、周波数は3kHzの割合で2MHzから2.4MHzまで変化します。スペクトラム拡散動作を選択した場合、Burst Mode動作はディスエーブルされ、デバイスはパルス・スキップ・モード(LT8640)または強制連続モード(LT8640-1)で動作します。

### 同期

LT8640/LT8640-1の発振器を外部周波数に同期させるには、(デューティ・サイクルが20%～80%)方形波をSYNC/MODEピンに接続します。方形波の振幅には、0.4Vより低い谷と1.5Vより高い山(最大6V)が必要です。

LT8640/LT8640-1は外部クロックに同期しているときは低出力負荷時にBurst Mode動作に移行せず、代わりにパルス・スキップ・モード(LT8640)または強制連続モード(LT8640-1)で動作してレギュレーションを維持します。LT8640/LT8640-1は200kHz～3MHzの範囲にわたって同期させることができます。RTの抵抗は、LT8640/LT8640-1のスイッチング周波数を最低同期入力以下に設定するように選択します。例えば、同期信号が500kHz以上になる場合は、(スイッチング周波数が)500kHzになるようにRTを選択します。スロープ補償はRTの値によって設定され、低調波発振を防ぐのに必要な最小スロープ補償はインダクタのサイズ、入力電圧、および出力電圧によって決まります。同期周波数はインダクタの電流波形のスロープを変えないので、インダクタがRTで設定される周波数での低調波発振を防ぐのに十分な大きさであれば、スロープ補償は全同期周波数で十分です。

### FBピンの抵抗回路網

出力電圧は、出力とFBピンの間に接続した抵抗分割器を使用して設定します。次式に従って抵抗の値を選択します。

$$R1 = R2 \left( \frac{V_{OUT}}{0.970V} - 1 \right) \quad (1)$$

参照名については「ブロック図」を参照してください。出力電圧の精度を保つため、誤差1%の抵抗を推奨します。

入力静止電流を小さくして軽負荷時の効率を良好にする場合は、FBピンの抵抗分割器に大きな値の抵抗を使用します。分割器に流れる電流は負荷電流として機能し、コンバータへの無負荷時入力電流が増加します。この値は次のように概算されます。

$$I_Q = 1.7\mu A + \left( \frac{V_{OUT}}{R1+R2} \right) \left( \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \right) \left( \frac{1}{n} \right) \quad (2)$$

ここで、 $1.7\mu A$ はLT8640/LT8640-1の静止電流、第2項は軽負荷時の効率が $n$ のとき降圧動作の入力に反映される帰還抵抗分割器の電流です。 $R1 = 1M$ 、 $R2 = 412k$ の3.3Vアプリケーションでは、帰還抵抗分割器に $2.3\mu A$ が流れます。 $V_{IN} = 12V$ および $n = 80\%$ の場合は、 $1.7\mu A$ の静止電流に $0.8\mu A$ が加わるので、12V電源から流れる無負荷時電流は $2.5\mu A$ になります。この式は無負荷時電流が $V_{IN}$ の関数であることを意味します。このグラフは「標準的性能特性」のセクションに示してあります。

大きなFB抵抗を使用する場合は、4.7pF～22pFの位相進みコンデンサを $V_{OUT}$ とFBピンの間に接続してください。

## アプリケーション情報

### スイッチング周波数の設定

LT8640/LT8640-1では、RTピンとグランドの間に接続した1本の抵抗を使用して200kHz～3MHzの範囲でスイッチングするよう設定できる固定周波数のPWMアーキテクチャが採用されています。目的のスイッチング周波数に必要な $R_T$ の値を表1に示します。

目的のスイッチング周波数を得るために必要な $R_T$ の抵抗値は次式を使用して計算できます。

$$R_T = \frac{46.5}{f_{SW}} - 5.2 \quad (3)$$

ここで、 $R_T$ の単位はkΩ、 $f_{SW}$ は目的のスイッチング周波数で単位はMHzです。

表1. スイッチング周波数と $R_T$ の値

$f_{SW}$ (MHz)	$R_T$ (kΩ)
0.2	232
0.3	150
0.4	110
0.5	88.7
0.6	71.5
0.7	60.4
0.8	52.3
1.0	41.2
1.2	33.2
1.4	28.0
1.6	23.7
1.8	20.5
2.0	18.2
2.2	15.8
3.0	10.7

### 動作周波数の選択と交換条件

動作周波数の選択には、効率、部品サイズ、および入力電圧範囲の間の交換条件が存在します。高周波数動作の利点は、小さな値のインダクタとコンデンサを使用できることです。欠点は効率が低いこと、入力電圧範囲が狭いことです。

与えられたアプリケーションでの最大スイッチング周波数( $f_{SW(MAX)}$ )は、次のように計算することができます。

$$f_{SW(MAX)} = \frac{V_{OUT} + V_{SW(BOT)}}{t_{ON(MIN)}(V_{IN} - V_{SW(TOP)} + V_{SW(BOT)})} \quad (4)$$

ここで、 $V_{IN}$ は標準の入力電圧、 $V_{OUT}$ は出力電圧、 $V_{SW(TOP)}$ および $V_{SW(BOT)}$ は内蔵スイッチの電圧降下(最大負荷時にそれぞれ約0.3V、0.15V)、 $t_{ON(MIN)}$ は上側スイッチの最小オン時間です(「電気的特性」を参照)。この式は、高い $V_{IN}/V_{OUT}$ 比に対応するには、スイッチング周波数を下げる必要があることを示しています。

トランジエント動作では、 $R_T$ の値に関係なく、 $V_{IN}$ が42Vの絶対最大定格まで上昇する可能性がありますが、LT8640/LT8640-1では、必要に応じてスイッチング周波数を減少することにより、インダクタ電流の制御を維持して安全な動作を保証します。

LT8640/LT8640-1は最大で約99%のデューティ・サイクルが可能であり、 $V_{IN}-V_{OUT}$ 間のドロップアウト電圧は上側スイッチの $R_{DS(on)}$ で制限されます。このモードでは、LT8640/LT8640-1はスイッチ・サイクルをスキップするので、スイッチング周波数は $RT$ で設定した周波数よりも低くなります。

$V_{IN(MIN)}$ 比が低いときに、設定スイッチング周波数からの偏差を許容できないアプリケーションの場合は、次式を使用してスイッチング周波数を設定します。

$$V_{IN(MIN)} = \frac{V_{OUT} + V_{SW(BOT)}}{1 - f_{SW} \cdot t_{OFF(MIN)}} - V_{SW(BOT)} + V_{SW(TOP)} \quad (5)$$

ここで、 $V_{IN(MIN)}$ はサイクルをスキップしない場合の最小入力電圧、 $V_{OUT}$ は出力電圧、 $V_{SW(TOP)}$ および $V_{SW(BOT)}$ は内部スイッチの電圧降下(最大負荷時にそれぞれ約0.3V、約0.15V)、 $f_{SW}$ は( $RT$ で設定した)スイッチング周波数、 $t_{OFF(MIN)}$ は最小スイッチ・オフ時間です。スイッチング周波数が高くなると、サイクル数を減少させて高いデューティ・サイクルを実現できる入力電圧の最小値が高くなることに注意してください。

## アプリケーション情報

### インダクタの選択と最大出力電流

LT8640/LT8640-1は、アプリケーションの出力負荷要件に基づいてインダクタを選択できるようにすることで、ソリューション・サイズを最小限に抑えるよう設計されています。LT8640/LT8640-1では、高速ピーク電流モード・アーキテクチャの採用により、過負荷状態または短絡状態のときに、インダクタが飽和した動作に支障なく耐えられます。

最初に選択するインダクタの値としては、次の値が適切です。

$$L = \frac{V_{OUT} + V_{SW(BOT)}}{f_{SW}} \quad (6)$$

ここで、 $f_{SW}$ はスイッチング周波数(MHz)、 $V_{OUT}$ は出力電圧、 $V_{SW(BOT)}$ は下側スイッチの電圧降下(約0.15V)、 $L$ はインダクタの値( $\mu$ H)です。

過熱や効率低下を防ぐため、インダクタは、その実効値電流定格がアプリケーションの予想最大出力負荷より大きいものを選択する必要があります。更に、(通常は $I_{SAT}$ と表示される)インダクタの飽和電流定格は、負荷電流にインダクタのリップル電流の1/2を加えた値より大きくなければなりません。

$$I_{L(Peak)} = I_{LOAD(MAX)} + \frac{1}{2} \Delta I_L \quad (7)$$

ここで、 $\Delta I_L$ は式9で計算されるインダクタのリップル電流、 $I_{LOAD(MAX)}$ は所定のアプリケーションの最大出力負荷です。

簡単な例として、3Aの出力を必要とするアプリケーションでは、実効値定格が3Aより大きく $I_{SAT}$ が4Aより大きいインダクタを使用します。過負荷状態または短絡状態が長時間に及ぶ場合は、インダクタの過熱を防ぐため、インダクタの実効値定格要件が大きくなります。高い効率を保つには、直列抵抗(DCR)が $0.04\Omega$ より小さく、コア材が高周波アプリケーション向けのものにする必要があります。

LT8640/LT8640-1は、スイッチとシステムを過負荷フォルトから保護するためにピーク・スイッチ電流を制限します。上側スイッチの電流制限値( $I_{LIM}$ )は、デューティ・サイクルが低いときは10Aですが、デューティ・サイクルが80%になると、直線的に減少して7Aになります。したがって、インダクタの値は目的の最大出力電流( $I_{OUT(MAX)}$ )を供給するのに十分な大きさにする必要があります。この電流は、スイッチ電流制限値( $I_{LIM}$ )およびリップル電流の関数です。

$$I_{OUT(MAX)} = I_{LIM} - \frac{\Delta I_L}{2} \quad (8)$$

インダクタのピーク・トゥ・ピークのリップル電流は次のように計算できます。

$$\Delta I_L = \frac{V_{OUT}}{L \cdot f_{SW}} \cdot \left( 1 - \frac{V_{OUT}}{V_{IN(MAX)}} \right) \quad (9)$$

ここで、 $f_{SW}$ はLT8640/LT8640-1のスイッチング周波数で、 $L$ はインダクタの値です。したがって、LT8640/LT8640-1が供給できる最大出力電流は、スイッチ電流制限値、インダクタの値、入力電圧、および出力電圧に依存します。目的のアプリケーションで使用されるスイッチング周波数と最大入力電圧が与えられているとき、インダクタのリップル電流が十分な最大出力電流( $I_{OUT(MAX)}$ )を許容しない場合は、インダクタの値を大きくする必要が生じる可能性があります。

軽負荷時の効率を高めるため、Burst Mode動作では1回の小パルスの間に供給するエネルギーを増やして、LT8640/LT8640-1が各パルス間でより長い時間スリープ・モードにとどまることができるようになります。より大きな値のインダクタ(例: 4.7 $\mu$ H)を使用すれば効率を高めることができます。インダクタを選択するときには、スイッチング周波数と切り離して効率を検討します。例えば、通常、スイッチング周波数の高いアプリケーションには値の小さいインダクタを使用しますが、軽負荷時の効率を高めたい場合には値の大きいインダクタを選択します。「標準的性能特性」の曲線を参照してください。

## アプリケーション情報

特定のアプリケーションに最適なインダクタは、この設計ガイドで示されているものとは異なる場合があります。インダクタの値を大きくすると最大負荷電流が増加し、出力電圧リップルが減少します。必要な負荷電流が小さいアプリケーションでは、インダクタの値を小さくすることが可能であり、LT8640/LT8640-1を大きいリップル電流で動作させることができます。このため、物理的に小さいインダクタを使用することや、DCRの小さいものを使用して効率を高めることができます。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。最大負荷電流がさらに減少するので注意してください。

最大出力電流と不連続動作の詳細については、弊社の「アプリケーションノート44」を参照してください。

デューティ・サイクルが50%を超える場合( $V_{OUT}/V_{IN} > 0.5$ )は、低調波発振を防ぐためにインダクタンスを最小限に抑える必要があります。「アプリケーションノート19」を参照してください。

### 入力コンデンサ

最高の性能を得るには、3つ以上のセラミック・コンデンサを使用してLT8640/LT8640-1の $V_{IN}$ ピンをバイパスする必要があります。1μFの小型セラミック・コンデンサ2個は、1つを $V_{IN1}$ ピンとGND1ピンの間、もう1つを $V_{IN2}$ ピンとGND2ピンの間に接続し、デバイスの近くに配置します。これらのコンデンサのサイズは0402または0603にします。2個の直列入力コンデンサが必要な自動車用アプリケーションの場合、0402または0603の小型コンデンサ2個をLT8640/LT8640-1の両側の $V_{IN1}/GND1$ ピンおよび $V_{IN2}/GND2$ ピンの近くに配置できます。

3つ目の、容量が2.2μF以上の大いセラミック・コンデンサは、 $V_{IN1}$ または $V_{IN2}$ の近くに配置します。詳細についてはレイアウトのセクションを参照してください。温度変動と入力電圧の変化に対して最高の性能を得るために、X7RまたはX5Rコンデンサを推奨します。

低いスイッチング周波数を使用すると、大きな入力容量が必要になることに注意してください。入力電源のインピーダンスが高いか、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電解コンデンサを使用することができます。

セラミックの入力コンデンサは、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(減衰の小さな)タンク回路を形成します。LT8640/LT8640-1の回路を通電中の電源に差し込むと、入力電圧に公称値の2倍のリングが生じてLT8640/LT8640-1の電圧定格を超える恐れがあります。ただし、この状況は簡単に回避できます(弊社の「アプリケーションノート88」を参照)。

### 出力コンデンサと出力リップル

出力コンデンサには2つの基本機能があります。出力コンデンサは、インダクタとの併用により、LT8640/LT8640-1が発生する方形波をフィルタで除去して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、トランジエント負荷に電流を供給してLT8640/LT8640-1の制御ループを安定させるためにエネルギーを蓄えます。セラミック・コンデンサの等価直列抵抗(ESR)は非常に小さいため、最良のリップル性能が得られます。出発点にふさわしい値については、「標準的応用例」のセクションを参照してください。

X5RまたはX7Rのタイプを使用してください。この選択により、出力リップルが小さくなり、トランジエント応答が良くなります。大きな値の出力コンデンサを使用し、 $V_{OUT}$ とFBピンの間にフィードフォワード・コンデンサを追加することにより、トランジエント性能を改善することができます。また、出力容量を大きくすると出力電圧リップルが減少します。値の小さい出力コンデンサを使用すればスペースとコストを節約できますが、トランジエント性能が低下し、ループが不安定になる可能性があります。コンデンサの推奨値については、このデータシートの「標準的応用例」を参照してください。

コンデンサを選択するときには、データシートに特に注意して、電圧バイアスと温度の該当する動作条件での実効容量を計算してください。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。

## アプリケーション情報

### セラミック・コンデンサ

セラミック・コンデンサは小さく堅牢で、ESRが非常に小さいコンデンサです。ただし、セラミック・コンデンサには圧電特性があるため、LT8640/LT8640-1に使用すると問題を生じることがあります。Burst Mode動作のとき、LT8640/LT8640-1のスイッチング周波数は負荷電流に依存し、非常に軽い負荷ではLT8640/LT8640-1はセラミック・コンデンサを可聴周波数で励起し、可聴ノイズを発生することがあります。LT8640/LT8640-1はBurst Mode動作では低い電流制限値で動作するので、通常は非常に静かでノイズが気になることはありません。これが許容できない場合は、高性能のタンタル・コンデンサまたは電解コンデンサを出力に使用してください。低ノイズ・セラミック・コンデンサも使用できます。

セラミック・コンデンサに関する最後の注意点は、LT8640/LT8640-1の最大入力電圧定格に関することです。前述のように、セラミック入力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、高品質の(減衰の小さな)タンク回路を形成します。LT8640/LT8640-1の回路を通電中の電源に差し込むと、入力電圧に公称値の2倍のリングが生じてLT8640/LT8640-1の定格を超える恐れがあります。ただし、この状況は簡単に回避できます(弊社の「アプリケーションノート88」を参照)。

### イネーブル・ピン

LT8640/LT8640-1は、ENピンが“L”的ときシャットダウン状態になり、ENピンが“H”的ときアクティブになります。ENコンパレータの上昇時しきい値は1.0Vで、40mVのヒステリシスがあります。ENピンは、シャットダウン機能を使用しない場合には $V_{IN}$ に接続できます。シャットダウン制御が必要な場合は、ロジック・レベルに接続できます。

抵抗分割器を $V_{IN}$ とENピンの間に追加すると、LT8640/LT8640-1は、 $V_{IN}$ が目的の電圧より高くなつた場合にのみ出力を安定化するように設定されます(「ブロック図」を参照)。通常、このしきい値( $V_{IN(EN)}$ )は、入力電源が電流制限されているか、または入力電源の信号源抵抗が比較的高い状況で使用されます。スイッチング・レギュレータは電源から一定の電力を引き出すため、電源電圧が低下するにつれて電源電流が増加します。この現象は電源からは負の抵抗負荷のように見えるため、電源電圧が低い状態では、電源が電流を制限するか、または低電圧にラッチする原因になることがあります。

$V_{IN(EN)}$ しきい値は、これらの問題が発生する恐れのある電源電圧でレギュレータが動作するのを防ぎます。このしきい値は、次式を満足するようにR3とR4の値を設定することにより調整することができます。

$$V_{IN(EN)} = \left( \frac{R3}{R4} + 1 \right) \cdot 1.0V \quad (10)$$

この場合は、 $V_{IN}$ が $V_{IN(EN)}$ を超えるまでLT8640/LT8640-1はオフのままで。コンパレータのヒステリシスのため、入力が $V_{IN(EN)}$ よりわずかに低くなるまでスイッチングは停止しません。

軽負荷電流に対してBurst Modeで動作しているとき、 $V_{IN(EN)}$ の抵抗回路網を流れる電流はLT8640/LT8640-1が消費する電源電流より簡単に大きくなることがあります。したがって、 $V_{IN(EN)}$ の抵抗を大きくして軽負荷での効率に対する影響を最小限に抑えてください。

### INTVccレギュレータ

内部の低ドロップアウト(LDO)レギュレータは、 $V_{IN}$ を基にして、ドライバと内部バイアス回路に電力を供給する3.4V電源を生成します。INTVccは、LT8640/LT8640-1の回路に十分な電流を供給可能であり、1μF以上のセラミック・コンデンサを使用してグランドにバイパスする必要があります。パワーMOSFETのゲート・ドライバが必要とする大量のトランジエント電流を供給するには、十分なバイパスが必要です。効率を向上するため、BIASピンの電圧が3.1V以上の場合は、内蔵のLDOによってBIASピンから電流を流すこともできます。通常、BIASピンはLT8640/LT8640-1の出力に接続できますが、3.3V以上の外部電源に接続してもかまいません。BIASピンを $V_{OUT}$ 以外の電源に接続する場合は、デバイスの近くにセラミック・コンデンサを接続してバイパスするようにしてください。BIASピンの電圧が3.0Vより低い場合は、 $V_{IN}$ から流れる電流が内蔵のLDOによって消費されます。入力電圧が高く、スイッチング周波数が高いアプリケーションで、 $V_{IN}$ からの電流が内蔵のLDOに流れ込むアプリケーションでは、LDOでの電力損失が大きいためダイ温度が上昇します。INTVccピンには外部負荷を接続しないでください。

## アプリケーション情報

### 出力電圧トラッキングとソフトスタート

LT8640/LT8640-1では、TR/SSピンによって出力電圧のランプ・レートを設定できます。内蔵の $1.9\mu A$ 電流源により、TR/SSピンの電圧は $INTV_{CC}$ になります。外付けコンデンサをTR/SSピンに接続すると、出力をソフトスタートさせて入力電源の電流サーボを防ぐことができます。ソフトスタート・ランプの間、出力電圧はTR/SSピンの電圧に比例して追従します。出力トラッキング・アプリケーションでは、別の電圧源によってTR/SSピンを外部から駆動することができます。 $0V \sim 0.97V$ の範囲では、エラーアンプに入力される $0.97V$ の内部リファレンスよりTR/SSピンの電圧の方が優先されるので、FBピンの電圧はTR/SSピンの電圧に安定化されます。TR/SSピンの電圧が $0.97V$ より高くなるとトラッキングはディスエーブルされ、帰還電圧は内部リファレンス電圧に安定化されるようになります。この機能が必要ない場合は、TR/SSピンをフロート状態のままにしておいてもかまいません。

TR/SSピンにはアクティブなプルダウン回路が接続されています。この回路は、フォルト状態が発生すると外付けのソフトスタート・コンデンサを放電し、フォルト状態が解消すると電圧の上昇を再開します。ソフトスタート・コンデンサが放電されるフォルト状態になるのは、EN/UVピンが“L”へ遷移した場合、 $V_{IN}$ の電圧が低下しそうな場合、またはサーマル・シャットダウンが発生した場合です。

### 出力パワーグッド

LT8640/LT8640-1の出力電圧がレギュレーション点から $\pm 8\%$ の範囲内にある場合、出力電圧は良好な状態であるとみなされ、オーペンドレインのPGピンは高インピーダンスになり、通常は外付け抵抗によって“H”になります。そうでない場合は、内部のプルダウン・デバイスにより、PGピンは“L”になります。グリッチの発生を防ぐため、上側と下側のしきい値には、どちらも $0.2\%$ のヒステリシスが含まれています。

PGピンは、以下のフォルト状態の間も自動的に“L”になります。それは、EN/UVピンの電圧が $1V$ より低い、 $INTV_{CC}$ が低下しそうな場合、 $V_{IN}$ が低すぎると、サーマル・シャットダウンが発生しているというフォルト状態です。

### 短絡入力保護と逆入力保護

LT8640/LT8640-1は、出力の短絡に耐えることができます。出力短絡状態や出力電圧低下状態時の保護のため、いくつかの機能が使用されています。1つ目は、インダクタ電流制御を維持するために、出力が設定値より低い間はスイッチング周波数が折り返されることです。2つ目は、インダクタ電流が安全なレベルを超えた場合は、インダクタ電流が安全なレベルに減少する時点まで上側スイッチのスイッチングが遅れるように、下側スイッチの電流がモニタされることです。

周波数フォールドバック動作は、以下に示すようにSYNCピンの状態に依存します。SYNCピンが“L”的場合は、スイッチング周波数が低下すると同時に、出力電圧が設定レベルより低くなります。SYNCピンをクロック信号源または“H”に接続するかフロート状態にすると、LT8640/LT8640-1は設定周波数に留まってフォールドバックは発生せず、インダクタ電流が安全なレベルを超えた場合にのみスイッチング速度を低下させます。

LT8640/LT8640-1に入力が加わっていなくても出力が高い電圧に保たれるシステムでは、考慮すべき状況がもう1つあります。その状況が発生する可能性があるのは、バッテリや他の電源がLT8640/LT8640-1の出力とダイオードOR接続されている、バッテリ充電アプリケーションやバッテリ・バックアップ・システムです。 $V_{IN}$ ピンをフロート状態にできる場合で、ENピンが(ロジック信号によって、あるいは $V_{IN}$ に接続されているために)“H”に保持されていると、LT8640/LT8640-1の内部回路にSWピンを介して静止電流が流れます。このことは、システムがこの状態で数 $\mu A$ に耐えられる場合は許容できます。ENピンを接地している場合、SWピンの電流は $1\mu A$ 近くまで減少します。ただし、出力を高く保持した状態で $V_{IN}$ ピンを接地すると、ENピンの状態に関係なく、出力からSWピンおよび $V_{IN}$ ピンを通じて、LT8640/LT8640-1内部の寄生ボディ・ダイオードに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場合にのみLT8640/LT8640-1が動作可能になり、短絡入力や逆入力に対しては保護する $V_{IN}$ ピンとEN/UVピンの接続を図5に示します。

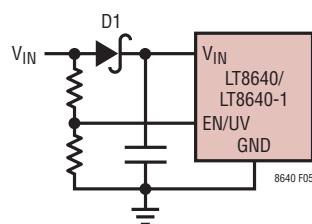


図5. 逆入力電圧保護

## アプリケーション情報

### 熱に関する検討事項とピーク出力電流

周囲温度が高めの場合は、プリント回路基板のレイアウトに注意して、LT8640/LT8640-1が十分放熱できるようにします。パッケージ底面のグランド・ピンはグランド・プレーンに半田付けする必要があります。このグランドは、サーマル・ビアを使用して、下にある広い銅層に接続してください。これらの層は、LT8640/LT8640-1が発生する熱を放散します。ビアを追加すると、熱抵抗を更に減らすことができます。周囲温度が最大接合部温度の定格に近づくにつれ、最大負荷電流をディレーティングします。LT8640/LT8640-1内部の電力損失は、効率の測定結果から全電力損失を計算し、それからインダクタの損失を減じることによって推定することができます。ダイの温度は、LT8640/LT8640-1の電力損失に、接合部から周囲までの熱抵抗を掛けて計算します。

内蔵の過熱保護回路は、LT8640/LT8640-1の接合部温度をモニタします。接合部温度が約170°Cに達すると、LT8640/LT8640-1はスイッチングを停止し、温度が約10°C低下するまでフォルト状態を示します。

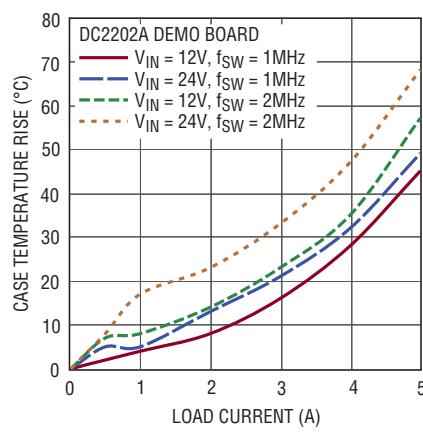


図6. ケース温度の上昇

LT8640/LT8640-1の温度上昇が最悪になるのは、負荷が重く、V<sub>IN</sub>とスイッチング周波数が高いときです。与えられたアプリケーションでのケース温度が高すぎる場合は、V<sub>IN</sub>、スイッチング周波数、負荷電流のいずれかを減らして許容可能なレベルまで温度を下げることができます。V<sub>IN</sub>、スイッチング周波数、または負荷電流を減らすことでケース温度の上昇に対応する方法の例を図6に示します。

LT8640/LT8640-1の内部パワー・スイッチは、最大7Aのピーク出力電流を安全に供給することができます。ただし、熱制限により、パッケージが対応できる負荷は短時間でも7Aに過ぎません。この時間は、ケース温度が接合部温度の最大定格にどの程度急速に近づくかによって決まります。1kHzパルスの7A負荷のデューティ・サイクルによってケース温度の上昇がどのように変化するかを示す例を図7に示します。

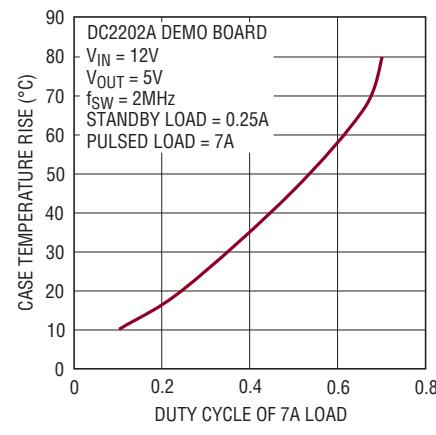
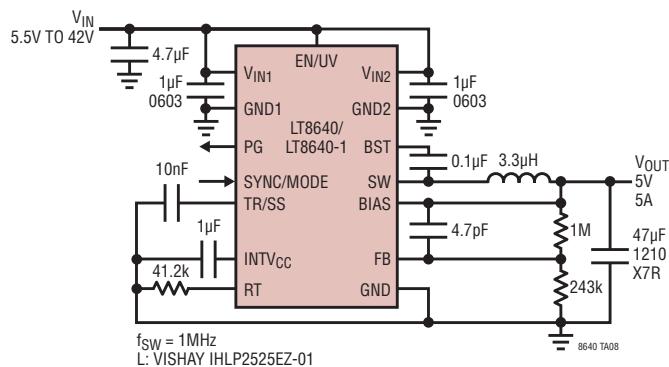


図7. ケース温度の上昇と7Aのパルス負荷

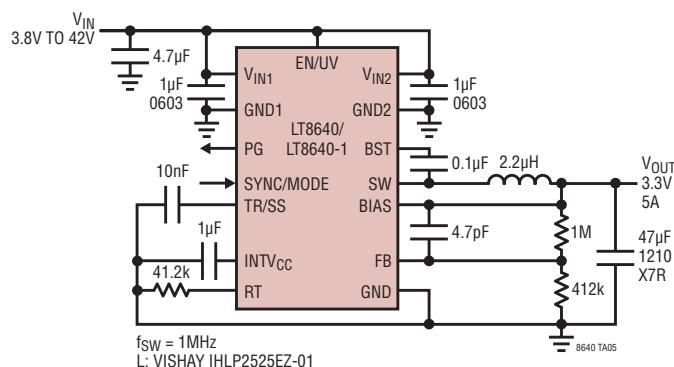
# LT8640/LT8640-1

## 標準的応用例

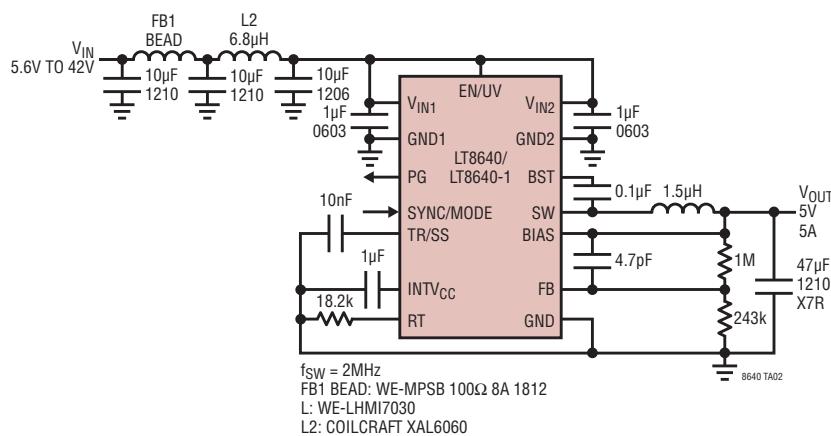
5V/5A 降圧コンバータ



3.3V/5A 降圧コンバータ

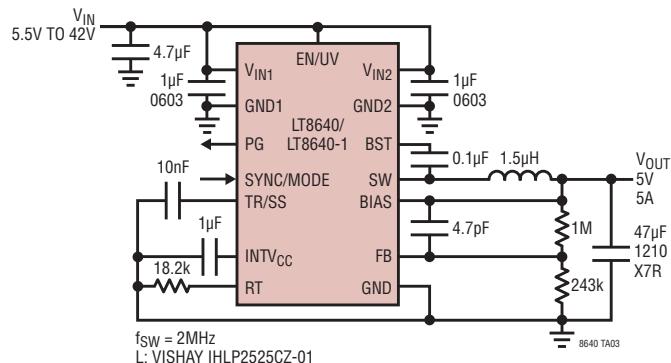


超低EMIの5V/5A 降圧コンバータ

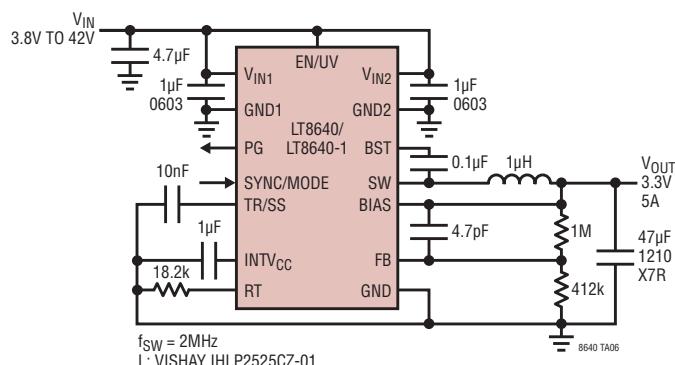


## 標準的応用例

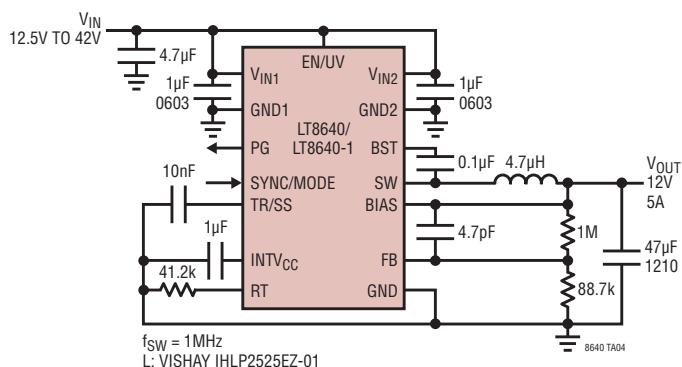
## 2MHz、5V、5Aの降圧コンバータ



## 2MHz、3.3V、5Aの降圧コンバータ

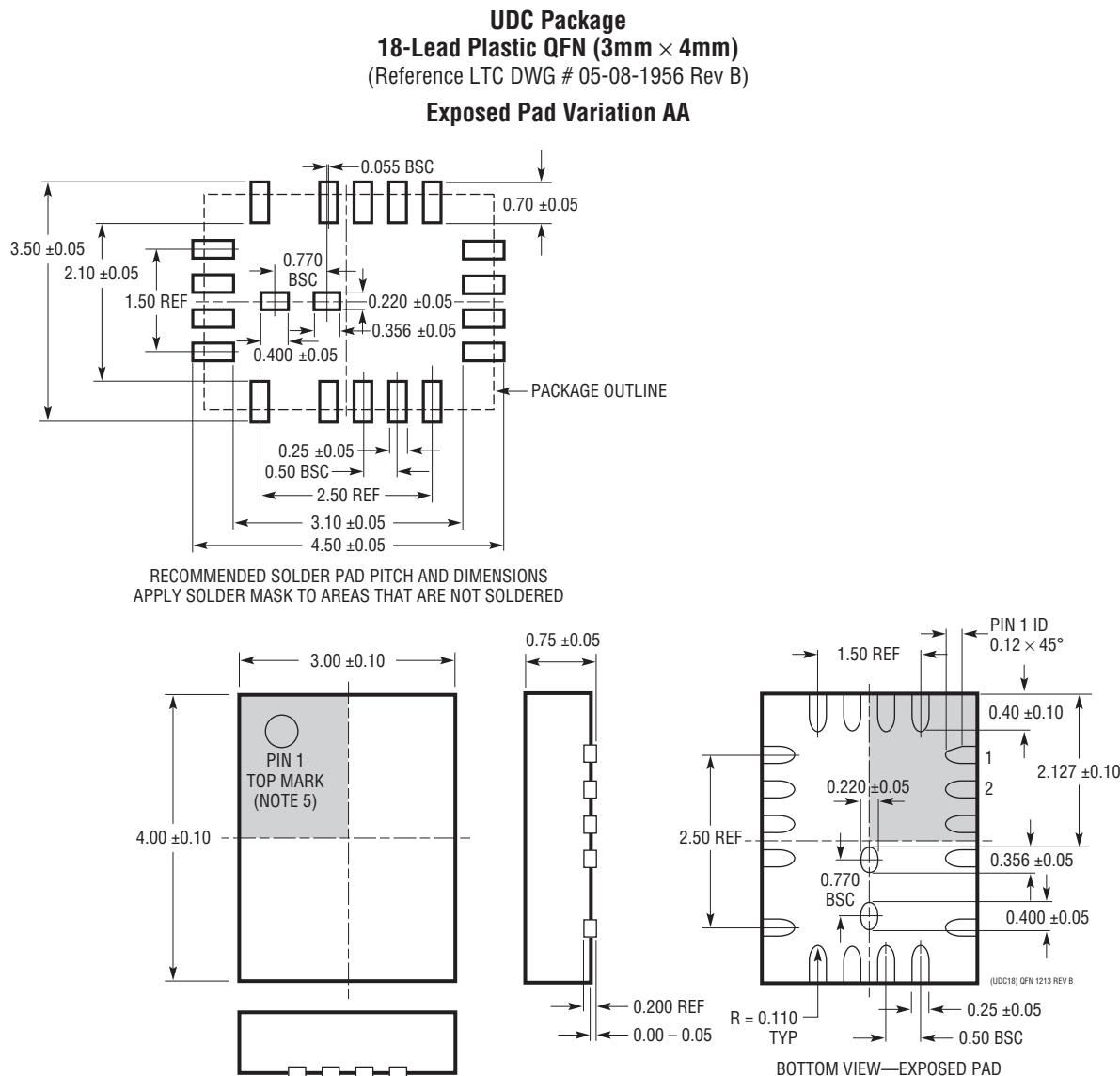


## 12V/5A 降圧コンバータ



## パッケージ

最新のパッケージ図面については、<http://www.linear-tech.co.jp/designtools/packaging/> を参照してください。



注記：

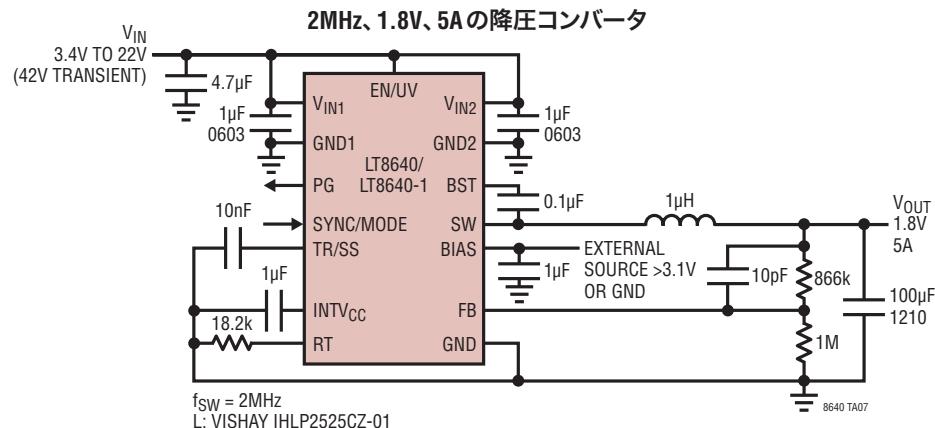
1. 図は JEDEC のパッケージ外形ではない
2. 図は実寸とは異なる
3. 全ての寸法はミリメートル
4. パッケージ底面の露出パッドの寸法にはモールドのバリを含まない  
モールドのバリは（もしあれば）各サイドで 0.15mm を超えないこと
5. 灰色の部分はパッケージの上面と底面のピン 1 の位置の参考に過ぎない

## 改訂履歴

REV	日付	概要	ページ番号
A	10/15	LT8640-1バージョンを表題に追加 最小オン時間と35nsを明記 LT8640-1バージョンを追加 SYNC/MODEしきい値を明記 LT8640-1バージョンの規格を追加 最小負荷のグラフがパルス・スキップ・モード時であることを明記 LT8640-1バージョンを追加	全ページ 1、3 1、2、4 3 4 7 11～25

# LT8640/LT8640-1

## 標準的応用例



## 関連製品

製品番号	概要	注釈
LT8609	効率が94%の42V、2A、2.2MHz同期整流式マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ( $I_Q = 2.5\mu\text{A}$ )	$V_{IN(\text{MIN})} = 3\text{V}$ 、 $V_{IN(\text{MAX})} = 42\text{V}$ 、 $V_{OUT(\text{MIN})} = 0.8\text{V}$ 、 $I_Q = 2.5\mu\text{A}$ 、 $I_{SD} < 1\mu\text{A}$ 、MSOP-10E
LT8610A/AB	効率が96%の42V、3.5A、2.2MHz同期整流式マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ( $I_Q = 2.5\mu\text{A}$ )	$V_{IN(\text{MIN})} = 3.4\text{V}$ 、 $V_{IN(\text{MAX})} = 42\text{V}$ 、 $V_{OUT(\text{MIN})} = 0.97\text{V}$ 、 $I_Q = 2.5\mu\text{A}$ 、 $I_{SD} < 1\mu\text{A}$ 、MSOP-16E
LT8610AC	効率が96%の42V、3.5A、2.2MHz同期整流式マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ( $I_Q = 2.5\mu\text{A}$ )	$V_{IN(\text{MIN})} = 3\text{V}$ 、 $V_{IN(\text{MAX})} = 42\text{V}$ 、 $V_{OUT(\text{MIN})} = 0.8\text{V}$ 、 $I_Q = 2.5\mu\text{A}$ 、 $I_{SD} < 1\mu\text{A}$ 、MSOP-16E
LT8610	効率が96%の42V、2.5A、2.2MHz同期整流式マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ( $I_Q = 2.5\mu\text{A}$ )	$V_{IN(\text{MIN})} = 3.4\text{V}$ 、 $V_{IN(\text{MAX})} = 42\text{V}$ 、 $V_{OUT(\text{MIN})} = 0.97\text{V}$ 、 $I_Q = 2.5\mu\text{A}$ 、 $I_{SD} < 1\mu\text{A}$ 、MSOP-16E
LT8611	効率が96%の42V、2.5A、2.2MHz同期整流式マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ( $I_Q = 2.5\mu\text{A}$ および入力/出力電流制限/モニタ回路内蔵)	$V_{IN(\text{MIN})} = 3.4\text{V}$ 、 $V_{IN(\text{MAX})} = 42\text{V}$ 、 $V_{OUT(\text{MIN})} = 0.97\text{V}$ 、 $I_Q = 2.5\mu\text{A}$ 、 $I_{SD} < 1\mu\text{A}$ 、3mm×5mm QFN-24
LT8616	効率が95%の42V、デュアル2.5A+1.5A、2.2MHz同期整流式マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ( $I_Q = 5\mu\text{A}$ )	$V_{IN(\text{MIN})} = 3.4\text{V}$ 、 $V_{IN(\text{MAX})} = 42\text{V}$ 、 $V_{OUT(\text{MIN})} = 0.8\text{V}$ 、 $I_Q = 5\mu\text{A}$ 、 $I_{SD} < 1\mu\text{A}$ 、TSSOP-28E、3mm×6mm QFN-28
LT8620	効率が94%の65V、2.5A、2.2MHz同期整流式マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ( $I_Q = 2.5\mu\text{A}$ )	$V_{IN(\text{MIN})} = 3.4\text{V}$ 、 $V_{IN(\text{MAX})} = 65\text{V}$ 、 $V_{OUT(\text{MIN})} = 0.97\text{V}$ 、 $I_Q = 2.5\mu\text{A}$ 、 $I_{SD} < 1\mu\text{A}$ 、MSOP-16E、3mm×5mm QFN-24
LT8614	効率が96%の42V、4A、2.2MHz同期整流式Silent Switcher降圧DC/DCコンバータ( $I_Q = 2.5\mu\text{A}$ )	$V_{IN(\text{MIN})} = 3.4\text{V}$ 、 $V_{IN(\text{MAX})} = 42\text{V}$ 、 $V_{OUT(\text{MIN})} = 0.97\text{V}$ 、 $I_Q = 2.5\mu\text{A}$ 、 $I_{SD} < 1\mu\text{A}$ 、3mm×4mm QFN-18
LT3975	高効率の42V、2.5A、2MHzマイクロパワー降圧DC/DCコンバータ( $I_Q = 2.7\mu\text{A}$ )	$V_{IN(\text{MIN})} = 4.3\text{V}$ 、 $V_{IN(\text{MAX})} = 42\text{V}$ 、 $V_{OUT(\text{MIN})} = 1.2\text{V}$ 、 $I_Q = 2.7\mu\text{A}$ 、 $I_{SD} < 1\mu\text{A}$ 、MSOP-16E
LT3976	高効率の40V、5A、2MHzマイクロパワー降圧DC/DCコンバータ( $I_Q = 3.3\mu\text{A}$ )	$V_{IN(\text{MIN})} = 4.3\text{V}$ 、 $V_{IN(\text{MAX})} = 40\text{V}$ 、 $V_{OUT(\text{MIN})} = 1.2\text{V}$ 、 $I_Q = 3.3\mu\text{A}$ 、 $I_{SD} < 1\mu\text{A}$ 、MSOP-16E
LT8612	効率が96%の42V、6A、2.2MHz同期整流式マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ( $I_Q = 2.5\mu\text{A}$ )	$V_{IN(\text{MIN})} = 3.4\text{V}$ 、 $V_{IN(\text{MAX})} = 42\text{V}$ 、 $V_{OUT(\text{MIN})} = 0.97\text{V}$ 、 $I_Q = 3.0\mu\text{A}$ 、 $I_{SD} < 1\mu\text{A}$ 、3mm×6mm QFN-28
LT8613	電流制限回路を内蔵した効率が96%の42V、6A、2.2MHz同期整流式マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ	$V_{IN(\text{MIN})} = 3.4\text{V}$ 、 $V_{IN(\text{MAX})} = 42\text{V}$ 、 $V_{OUT(\text{MIN})} = 0.97\text{V}$ 、 $I_Q = 3.0\mu\text{A}$ 、 $I_{SD} < 1\mu\text{A}$ 、3mm×6mm QFN-28
LT8602	効率が95%の42V、クワッド出力(2.5A+1.5A+1.5A+1.5A)、2.2MHz同期整流式マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ( $I_Q = 25\mu\text{A}$ )	$V_{IN(\text{MIN})} = 3\text{V}$ 、 $V_{IN(\text{MAX})} = 42\text{V}$ 、 $V_{OUT(\text{MIN})} = 0.8\text{V}$ 、 $I_Q = 2.5\mu\text{A}$ 、 $I_{SD} < 1\mu\text{A}$ 、6mm×6mm QFN-40

8640fa