

静止電流が2.5 μ Aの
42V、2.5A同期整流式降圧
レギュレータ

特長

- 広い入力電圧範囲: 3.4V ~ 42V
- 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IQ = 2.5 μ A
 - 出力リップル < 10mV_{P-P}
- 高効率の同期動作:
 - 12V入力、5V/1A出力時の効率: 96%
 - 12V入力、3.3V/1A出力時の効率: 94%
- 短い最小スイッチ・オン時間: 50ns
- すべての条件で低ドロップアウト: 200mV(1A時)
- 小型のインダクタを使用可能
- 低EMI
- 調整可能および同期可能な周波数: 200kHz ~ 2.2MHz
- 電流モード動作
- 高精度のイネーブル・ピンしきい値: 1V
- 内部補償
- 出力ソフトスタートおよび出力トラッキング
- 熱特性が改善された小型16ピンMSOPパッケージ

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

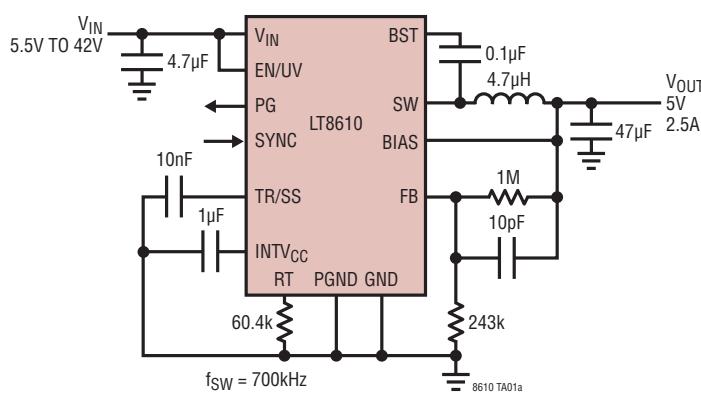
概要

LT®8610は、小型、高効率、高速の同期整流式モノリシック降圧スイッチング・レギュレータで、消費する静止電流はわずか2.5 μ Aです。必要な外付け部品が最小限で済むように、上側および下側のパワー・スイッチの他に、必要なすべての回路が内蔵されています。低リップルのBurst Mode動作により、非常に小さい出力電流まで高い効率が可能であると同時に、出力リップルを10mV_{P-P}未満に維持します。SYNCピンにより、外部クロックへの同期が可能です。ピーク電流モード方式を採用した内部補償により、小型のインダクタを使用できるので、高速トランジエント応答と優れたループ安定性が得られます。EN/UVピンのしきい値は高精度の1Vであり、EN/UVピンを使用して入力電圧の低電圧ロックアウトを設定することができます。LT8610をシャットダウンして入力電源電流を1 μ Aまで減らすことができます。TR/SSピンに接続するコンデンサにより、起動時の出力電圧上昇速度を設定できます。V_{OUT}が設定出力電圧の±9%以内に入るか、フォルト状態になると、PGフラグで通知します。LT8610は、熱抵抗を低く抑えるための露出パッドを備えた小型16ピンMSOPパッケージで供給されます。

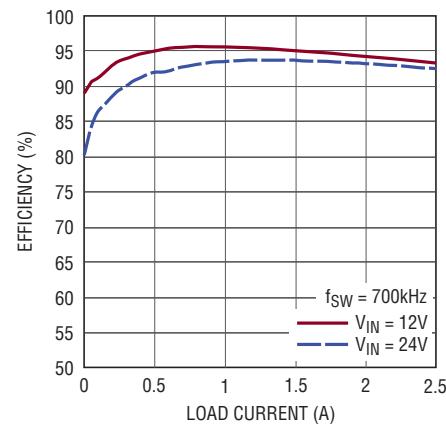
LT、LT、LTC、LTM、Burst Mode、Linear Technologyおよびリニアのロゴはリニアテクノロジー社の登録商標です。その他すべての商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。

標準的応用例

5V/2.5A降圧コンバータ



12V_{IN}から5V_{OUT}の効率



8610 G01

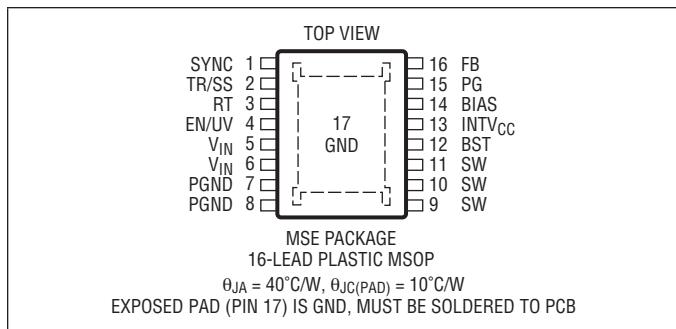
8610fa

絶対最大定格

(Note 1)

V_{IN} 、EN/UV、PG	42V
BIAS	30V
SW ピンを超える BST ピンの電圧	4V
FB、TR/SS、RT、INTV _{CC}	4V
SYNC の電圧	6V
動作接合部温度範囲 (Note 2)	
LT8610E	-40 ~ 125°C
LT8610I	-40 ~ 125°C
LT8610H	-40 ~ 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
LT8610EMSE#PBF	LT8610EMSE#TRPBF	8610	16-Lead Plastic MSOP	-40°C to 125°C
LT8610IMSE#PBF	LT8610IMSE#TRPBF	8610	16-Lead Plastic MSOP	-40°C to 125°C
LT8610HMSE#PBF	LT8610HMSE#TRPBF	8610	16-Lead Plastic MSOP	-40°C to 150°C

さらに広い動作温度範囲で規定されるデバイスについては、弊社または弊社代理店にお問い合わせください。* 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。
非標準の鉛仕上げの製品の詳細については、弊社または弊社代理店にお問い合わせください。

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。

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	$V_{EN/UV} = 0\text{V}$, $V_{SYNC} = 0\text{V}$	●	1.0	3	μA
		●	1.0	8	μA
	$V_{EN/UV} = 2\text{V}$, Not Switching, $V_{SYNC} = 0\text{V}$	●	1.7	4	μA
		●	1.7	10	μA
V_{IN} Current in Regulation	$V_{OUT} = 0.97\text{V}$, $V_{IN} = 6\text{V}$, Output Load = $100\mu\text{A}$	●	24	50	μA
	$V_{OUT} = 0.97\text{V}$, $V_{IN} = 6\text{V}$, Output Load = 1mA	●	210	350	μA
	$V_{IN} = 6\text{V}$, $I_{LOAD} = 0.5\text{A}$	●	0.964	0.970	0.976
	$V_{IN} = 6\text{V}$, $I_{LOAD} = 0.5\text{A}$	●	0.958	0.970	0.982
Feedback Voltage Line Regulation	$V_{IN} = 4.0\text{V}$ to 42V , $I_{LOAD} = 0.5\text{A}$	●	0.004	0.02	%/V
Feedback Pin Input Current	$V_{FB} = 1\text{V}$		-20	20	nA
INTV _{CC} Voltage	$I_{LOAD} = 0\text{mA}$, $V_{BIAS} = 0\text{V}$		3.23	3.4	3.57
	$I_{LOAD} = 0\text{mA}$, $V_{BIAS} = 3.3\text{V}$		3.25	3.29	3.35
INTV _{CC} Undervoltage Lockout			2.5	2.6	2.7
BIAS Pin Current Consumption	$V_{BIAS} = 3.3\text{V}$, $I_{LOAD} = 1\text{A}$, 2MHz		8.5		mA
Minimum On-Time	$I_{LOAD} = 1\text{A}$, $SYNC = 0\text{V}$	●	30	50	70
	$I_{LOAD} = 1\text{A}$, $SYNC = 3.3\text{V}$	●	30	45	65
Minimum Off-Time			50	80	110

8610fa

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	
Oscillator Frequency	$R_T = 221\text{k}\Omega, I_{LOAD} = 1\text{A}$	● ● ●	180	210	240	kHz
	$R_T = 60.4\text{k}\Omega, I_{LOAD} = 1\text{A}$		665	700	735	kHz
	$R_T = 18.2\text{k}\Omega, I_{LOAD} = 1\text{A}$		1.85	2.00	2.15	MHz
Top Power NMOS On-Resistance	$I_{SW} = 1\text{A}$			120	$\text{m}\Omega$	
Top Power NMOS Current Limit		●	3.5	4.8	5.8	A
Bottom Power NMOS On-Resistance	$V_{INTVCC} = 3.4\text{V}, I_{SW} = 1\text{A}$			65	$\text{m}\Omega$	
Bottom Power NMOS Current Limit	$V_{INTVCC} = 3.4\text{V}$		2.5	3.3	4.8	A
SW Leakage Current	$V_{IN} = 42\text{V}, V_{SW} = 0\text{V}, 42\text{V}$		-1.5	1.5	μA	
EN/UV Pin Threshold	EN/UV Rising	●	0.94	1.0	1.06	V
EN/UV Pin Hysteresis				40	mV	
EN/UV Pin Current	$V_{EN/UV} = 2\text{V}$		-20	20	nA	
PG Upper Threshold Offset from V_{FB}	V_{FB} Falling	●	6	9.0	12	%
PG Lower Threshold Offset from V_{FB}	V_{FB} Rising	●	-6	-9.0	-12	%
PG Hysteresis				1.3	%	
PG Leakage	$V_{PG} = 3.3\text{V}$		-40	40	nA	
PG Pull-Down Resistance	$V_{PG} = 0.1\text{V}$	●	680	2000	Ω	
SYNC Threshold	SYNC Falling SYNC Rising		0.8 1.6	1.1 2.0	1.4 2.4	V
SYNC Pin Current	$V_{SYNC} = 2\text{V}$		-40	40	nA	
TR/SS Source Current		●	1.2	2.2	3.2	μA
TR/SS Pull-Down Resistance	Fault Condition, TR/SS = 0.1V			230	Ω	

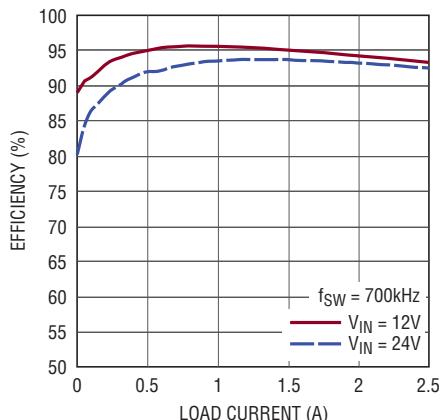
Note 1: 絶対最大定格に記載された値を超えるストレスはデバイスに永続的損傷を与える可能性がある。また、長期にわたって絶対最大定格条件に曝すと、デバイスの信頼性と寿命に悪影響を与える恐れがある。

Note 2: LT8610E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。LT8610I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。LT8610H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。接合部温度が 125°C を超えると、動作寿命が短くなる。

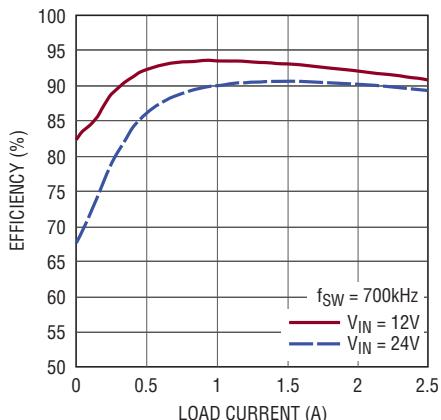
Note 3: このデバイスには過負荷状態の間デバイスを保護するための過熱保護機能が備わっている。過熱保護機能がアクティブなとき接合部温度は 150°C を超える。規定されている最大動作接合部温度を超えた状態で動作が継続すると、寿命が短くなる。

標準的性能特性

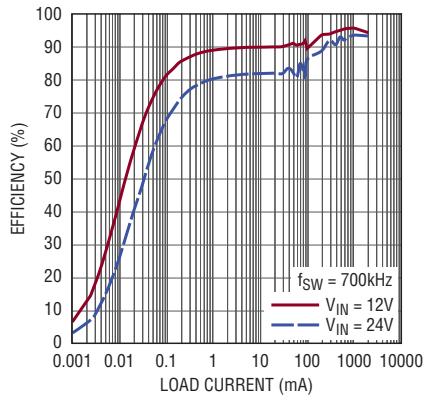
5V_{OUT}の効率



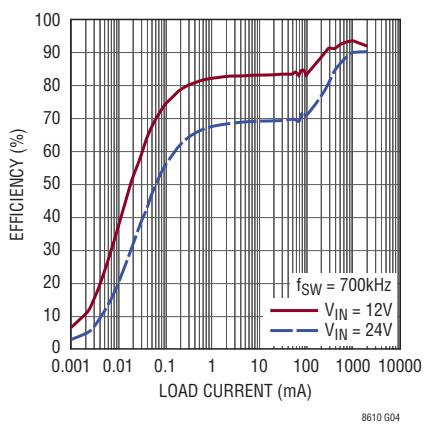
3.3V_{OUT}の効率



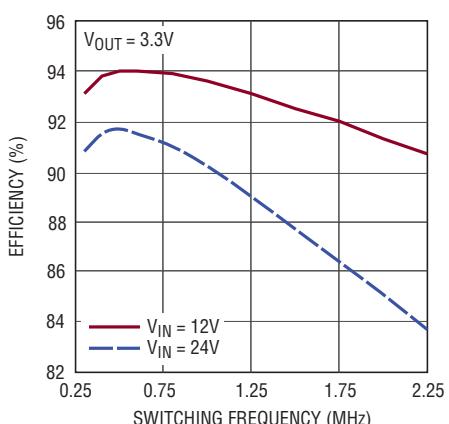
5V_{OUT}の効率



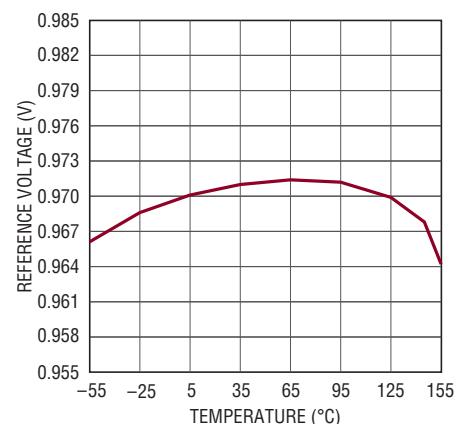
3.3V_{OUT}の効率



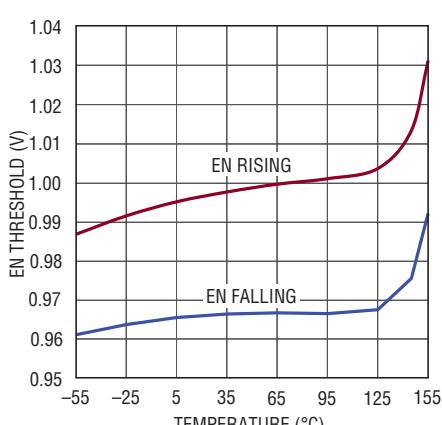
効率と周波数



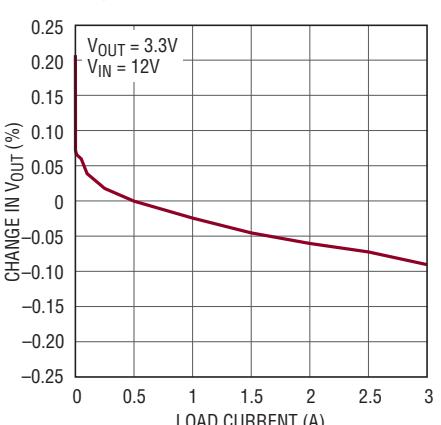
リファレンス電圧



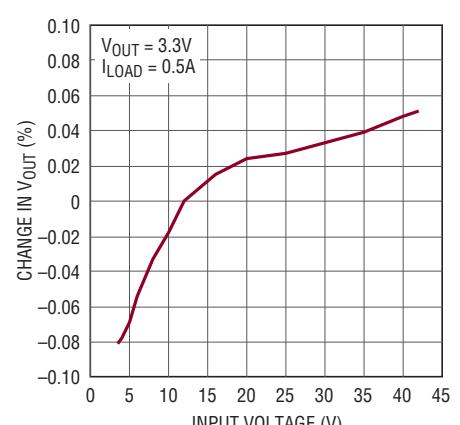
ENピンのしきい値



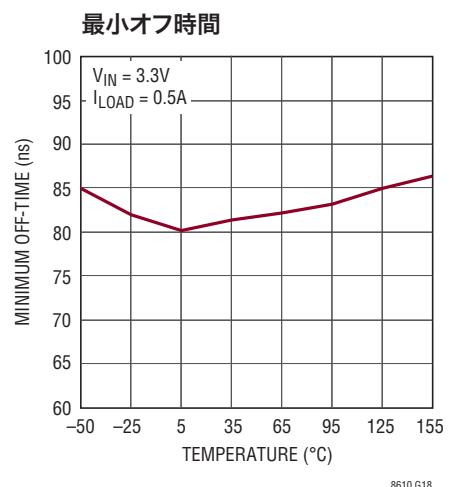
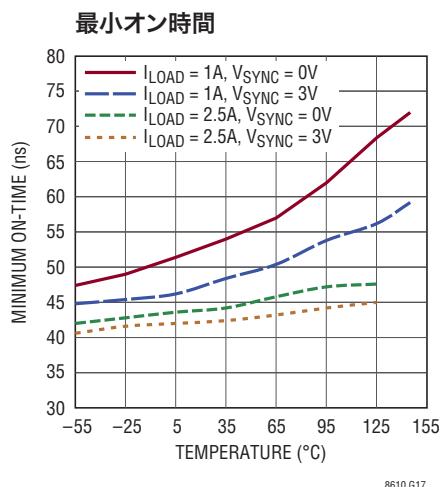
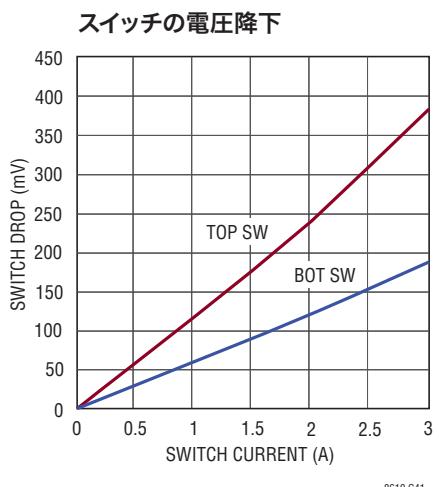
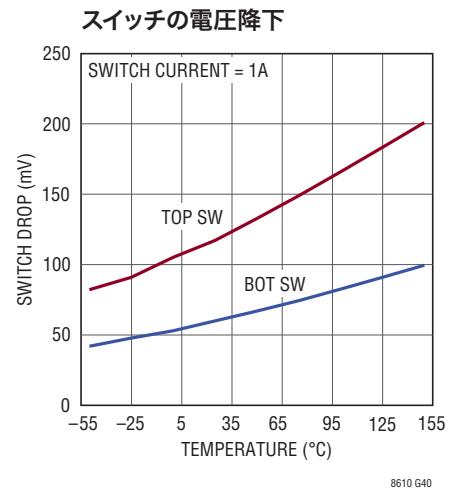
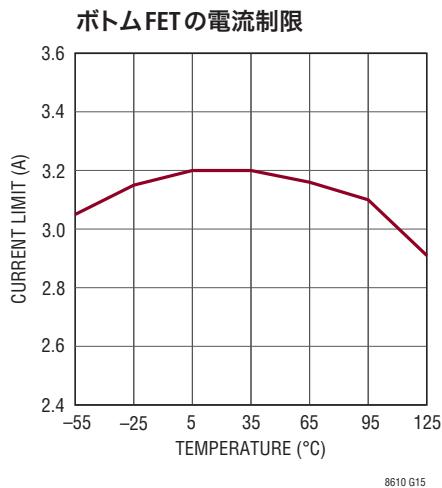
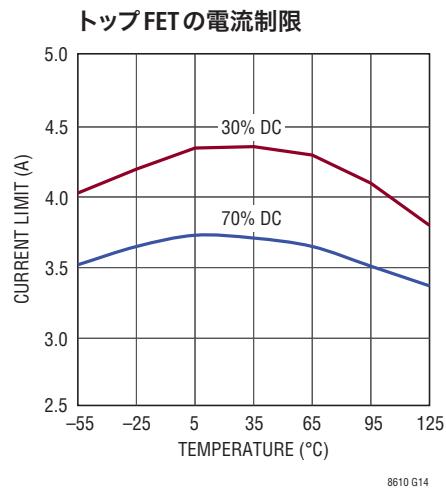
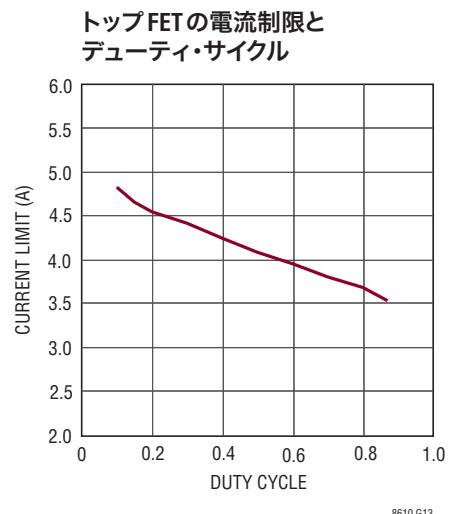
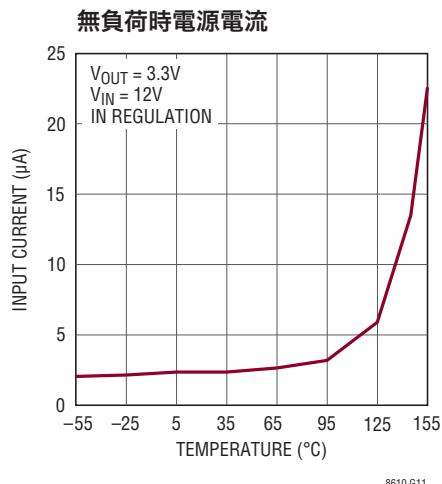
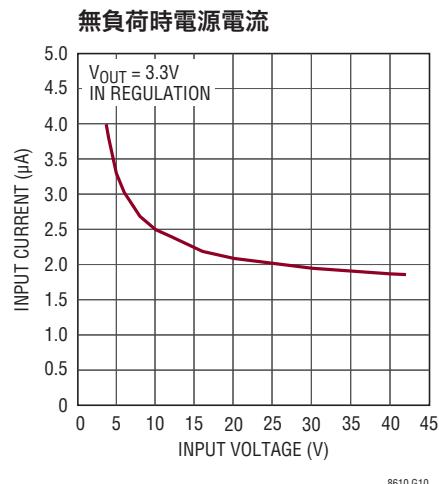
負荷レギュレーション



入力レギュレーション

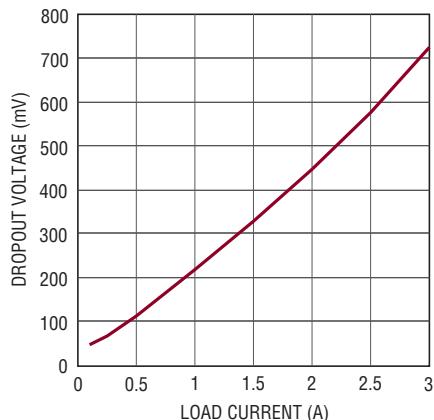


標準的性能特性

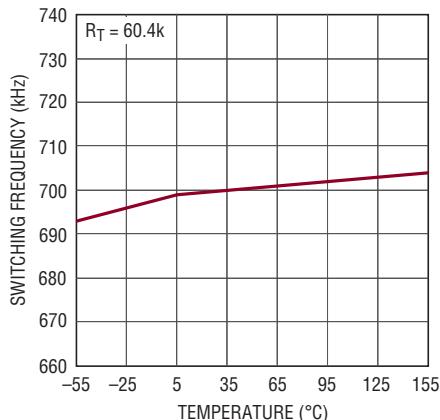


標準的性能特性

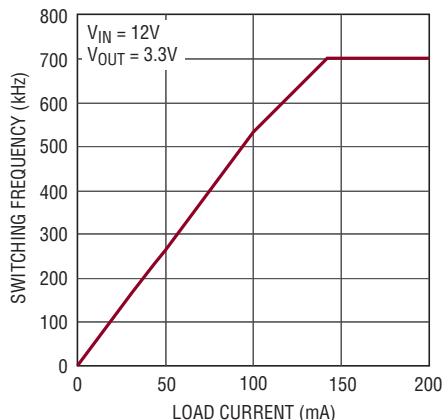
ドロップアウト電圧



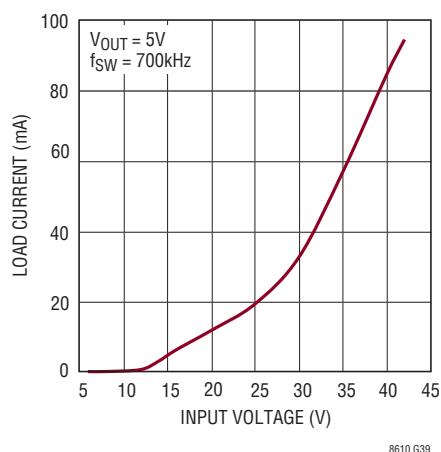
スイッチング周波数



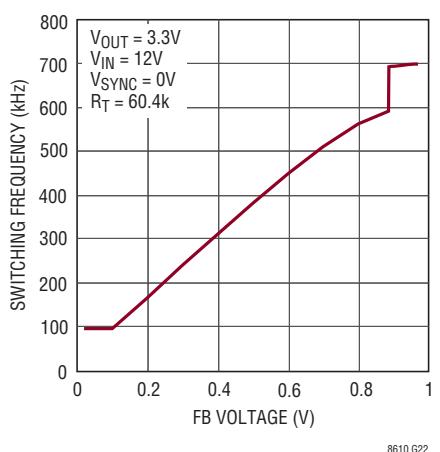
バースト周波数



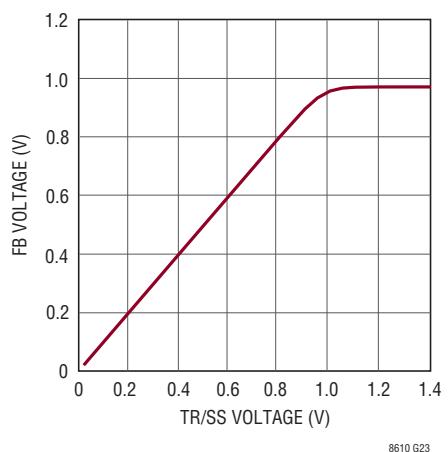
最大周波数への最小負荷
(SYNC が DC "H")



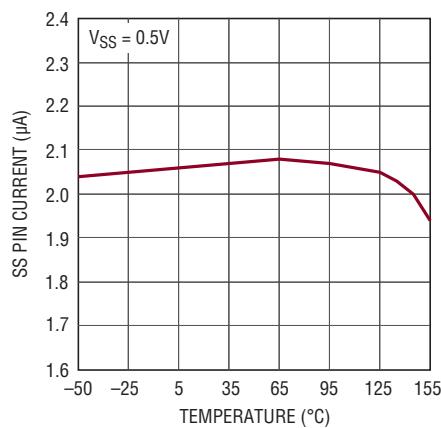
周波数フォールドバック



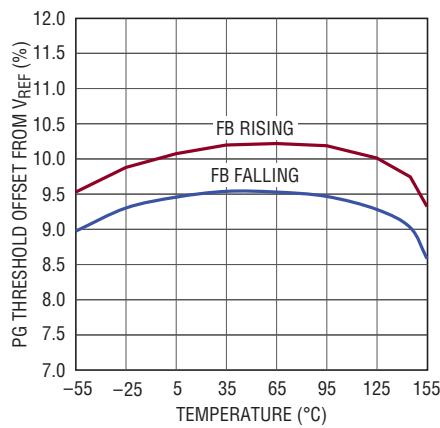
ソフトスタート・トラッキング



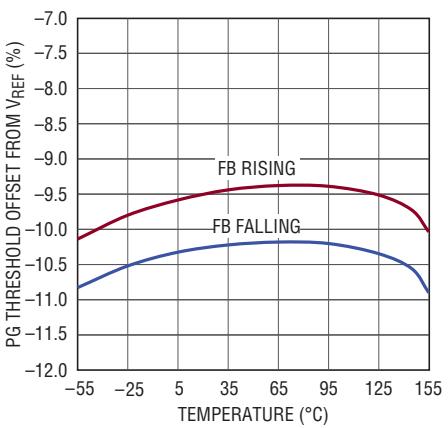
ソフトスタート電流



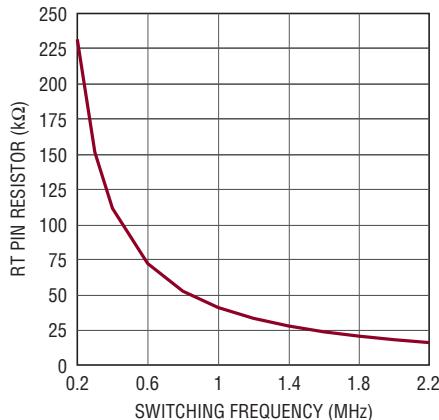
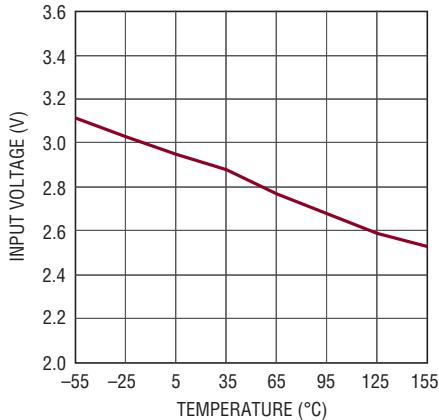
PG "H"しきい値



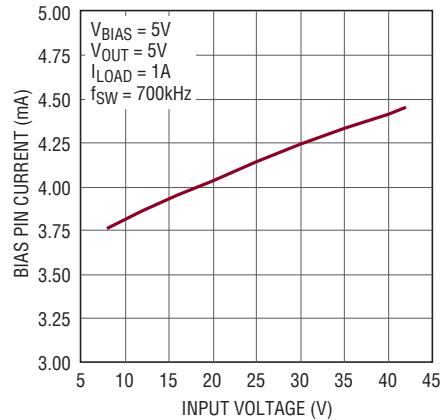
PG "L"しきい値



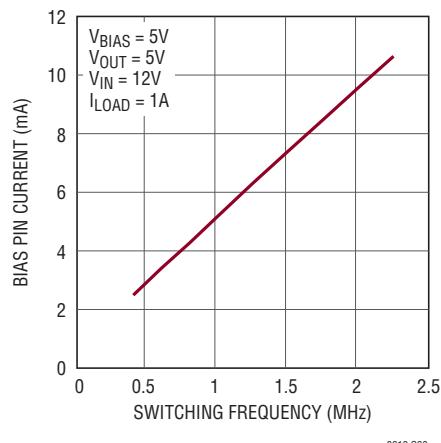
標準的性能特性

RTによって設定される
スイッチング周波数V_{IN} UVLO

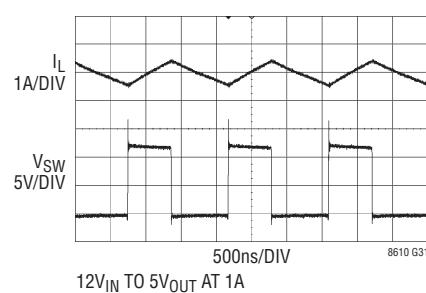
バイアス・ピンの電流



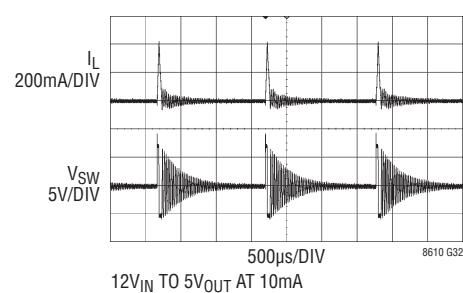
バイアス・ピンの電流



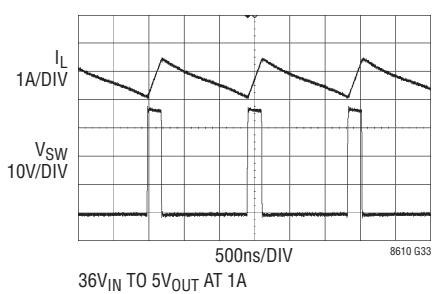
スイッチング波形



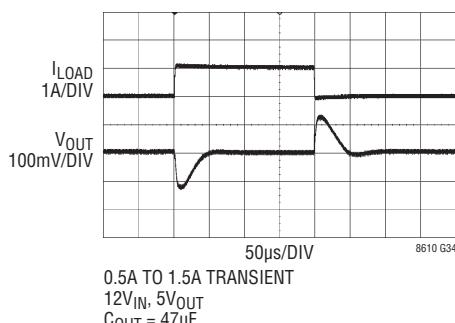
スイッチング波形



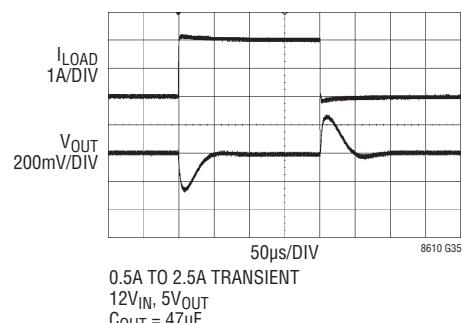
スイッチング波形



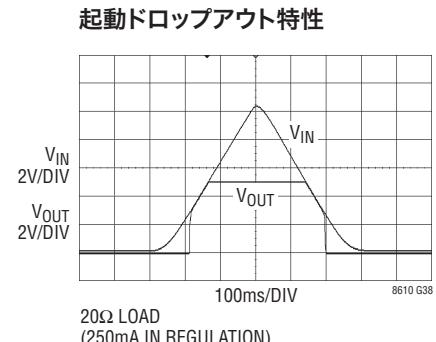
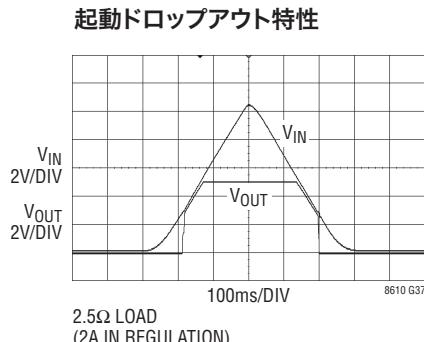
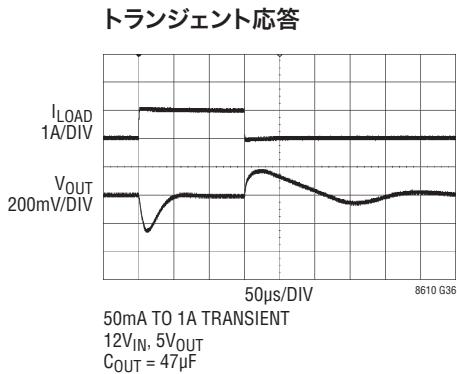
トランジエント応答



トランジエント応答



標準的性能特性



ピン機能

SYNC (ピン1)：外部クロックの同期入力。低出力負荷での低リップルBurst Mode動作では、このピンを接地します。外部周波数に同期させるには、クロック・ソースに接続します。パルス・スキップ・モードにするには、3V以上のDC電圧を印加するか、またはINTV_{CC}に接続します。パルス・スキップ・モード時には、静止電流が数百μAまで増加します。このピンはフロート状態にしないでください。

TR/SS (ピン2)：出力トラッキングおよびソフトスタート・ピン。このピンにより、起動時の出力電圧のランプレートを制御できます。TR/SSの電圧が0.97Vを下回ると、LT8610はFBピンをTR/SSピンの電圧に等しくするように制御します。TR/SSが0.97Vを上回ると、トラッキング機能はディスエーブルされ、内部リファレンスがエラーアンプの制御を再開します。このピンにはINTV_{CC}からの2.2μAの内部プルアップ電流が流れるので、コンデンサで出力電圧のスルーレートを設定できます。シャットダウンおよびフォルト状態のときには、このピンは230Ωの内部MOSFETでグランドに引き下げられるので、低インピーダンス出力からドライブする場合には直列抵抗を使用します。トラッキング機能が不要な場合、このピンをフロート状態のままにすることができます。

RT (ピン3)：RT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。

EN/UV (ピン4)：このピンが“L”的ときLT8610はシャットダウンし、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、VINに接続します。VINからの外付け抵抗分割器を使って、その値を下回るとLT8610がシャットダウンするVINしきい値を設定できます。

V_{IN} (ピン5、6)：V_{IN}ピンはLT8610の内部回路と内部のトップサイド・パワー・スイッチに電流を供給します。これらのピンは互いに接続してローカルにバイパスする必要があります。入力コンデンサの正端子はV_{IN}ピンにできるだけ近づけて設置し、コンデンサの負端子はPGNDピンにできるだけ近づけて設置するようにしてください。

PGND (ピン7、ピン8)：パワースイッチのグランド。これらのピンは内部ボトムサイド・パワースイッチのリターン・パスなので、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PGNDピンにできるだけ近づけて設置します。

SW (ピン9、10、11)：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、インダクタと昇圧コンデンサに接続します。優れた性能を引き出すため、このノードはPCB上の小さな面積に抑えます。

BST (ピン12)：このピンを使って、入力電圧より高いドライブ電圧をトップサイド・パワースイッチに与えます。0.1μFの昇圧コンデンサをデバイスにできるだけ近づけて設置します。

INTV_{CC} (ピン13)：3.4Vの内部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源から給電されます。INTV_{CC}の最大出力電流は20mAです。INTV_{CC}ピンには外部回路による負荷を掛けないでください。V_{BIAS} > 3.1Vの場合にはINTV_{CC}電流はBIASから供給され、そうでなければ電流はVINから供給されます。V_{BIAS}が3.0V～3.6Vの範囲では、INTV_{CC}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。

ピン機能

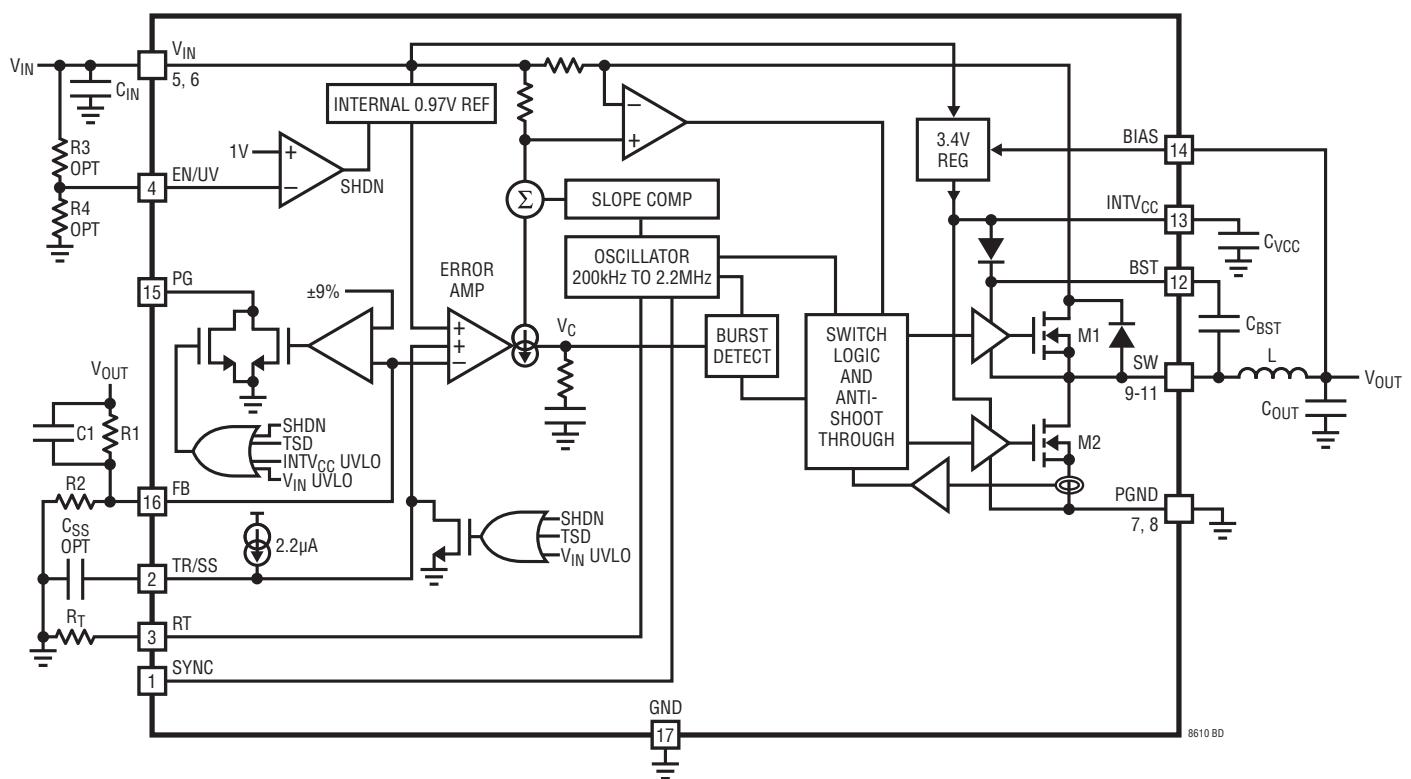
BIAS (ピン14) : BIAS が3.1Vより高い電圧に接続されていると、内部レギュレータには V_{IN} ではなくBIASから電流が流れます。3.3V以上の出力電圧の場合、このピンは V_{OUT} に接続します。このピンを V_{OUT} 以外の電源に接続する場合、このピンに1 μ Fのローカル・バイパス・コンデンサを接続します。

PG (ピン15) : PG ピンは内部コンパレータのオープ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±9% 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 は、EN/UV ピンの状態に関係なく、 V_{IN} が3.4Vより高いと有効です。

FB (ピン16) : LT8610はFB ピンを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、FBと V_{OUT} の間に位相リード・コンデンサを接続します。一般に、このコンデンサの値は4.7pF～10pFの範囲です。

GND (露出パッドのピン17) : グラウンド。露出パッドは、入力コンデンサの負端子に接続し、熱抵抗を小さくするためにPCBに半田付けする必要があります。

ブロック図



動作

LT8610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ピンの抵抗を使って周波数が設定される発振器が、各クロック・サイクルの開始時に内部トップ・パワースイッチをオンします。次いで、トップ・スイッチの電流コンパレータがトリップしてトップ・パワースイッチをオフするまで、インダクタを流れる電流が増加します。トップ・スイッチがオフするピーク・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、V_{FB}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、リファレンスに対して帰還電圧が低下するので、平均インダクタ電流が新たな負荷電流と釣り合うまでエラーアンプがVC電圧を上昇させます。トップ・パワースイッチがオフすると、次のクロック・サイクルが開始されるか、またはインダクタ電流がゼロになるまで同期パワースイッチがオンします。過負荷状態によってボトム・スイッチに3.3A以上流れると、スイッチ電流が安全なレベルに戻るまでのクロック・サイクルが遅延されます。

EN/UVピンが“L”的とき、LT8610はシャットダウンし、入力から1μAが流れます。EN/UVピンが1Vを超えると、スイッチング・レギュレータがアクティブになります。

軽負荷時の効率を最適化するため、LT8610は軽負荷状態でBurst Mode動作を行います。バーストとバーストの間は、出力スイッチ制御関連の全回路がシャットダウンし、入力電源電流が1.7μA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と入力電源から2.5μAが消費されます。

SYNCピンを“L”に接続してBurst Mode動作を使用し、ロジック“H”に接続してパルス・スキップ・モードを使用することができます。SYNCピンにクロックを与えると、デバイスは外部クロック周波数に同期し、パルス・スキップ・モードで動作します。パルス・スキップ・モードの間、発振器は継続的に動作し、SWの正方向の遷移がクロックに揃えられます。軽負荷の間、スイッチ・パルスがスキップされて出力が安定化され、静止電流が数百μAになります。

あらゆる負荷での効率を改善するため、内部回路への電源電流は、3.3V以上にバイアスされる場合にBIASピンからソースすることができます。そうでない場合、内部回路にはV_{IN}から電流が流れます。LT8610の出力が3.3V以上に設定されている場合、BIASピンをV_{OUT}に接続します。

FBピンの電圧をモニタするコンパレータは、出力電圧が設定ポイントから±9%（標準）以上変化するか、またはフォルト状態が生じると、PGピンを“L”に引き下げます。

FBピンの電圧が低いとき、発振器はLT8610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输出電圧が設定値より低くなるとき、インダクタ電流を制御することができます。SYNCピンにクロックが与えられるか、またはSYNCピンがDC“H”に保たれると、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間だけ減少します。

アプリケーション情報

超低静止電流の達成

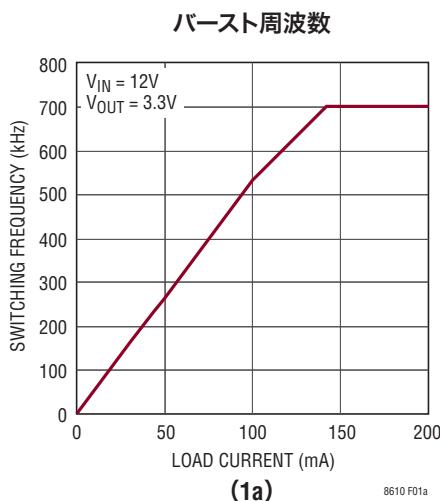
軽負荷時の効率を上げるために、LT8610は低リップル Burst Mode動作を行い、入力静止電流を最小限に抑え、出力電圧リップルを最小限に抑えながら、出力コンデンサを望みの出力電圧に充電された状態に保ちます。LT8610はBurst Mode動作では小さな単一電流パルスを出力コンデンサに供給し、それに続いてスリープ期間に出力コンデンサから出力電力が供給されます。スリープ・モード時には、LT8610は $1.7\mu\text{A}$ を消費します。

出力負荷が減少すると、単一電流パルスの周波数が減少し（図1aを参照）、LT8610がスリープ・モードになる割合が増加するので、一般的なコンバータよりも軽負荷での効率がは

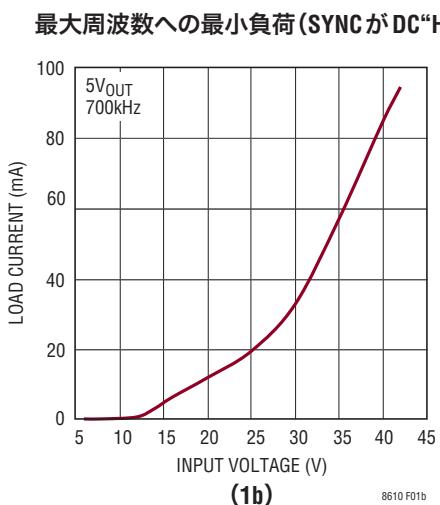
るかに高くなります。パルスの間隔を最大にすると、出力負荷がないときの標準的なアプリケーションに対して、コンバータの静止電流が $2.5\mu\text{A}$ に近づきます。したがって、軽負荷時の静止電流性能を最適化するには、帰還抵抗分割器の電流を最小限に抑える必要があります。この電流は負荷電流として出力に現れるからです。

Burst Mode動作ではトップ・スイッチの電流制限が約 400mA になるので、出力電圧リップルは図2に示すようになります。出力容量を大きくすると、それに比例して出力リップルは減少します。負荷がゼロから次第に増加するに従ってスイッチング周波数が増加しますが、図1aに示すように、RTピンの抵抗によって設定されるスイッチング周波数までしか増加しません。LT8610が設定された周波数に達する出力負荷は、入力電圧、出力電圧、および選択するインダクタによって変わります。

アプリケーションによっては、LT8610をパルス・スキップ・モードで動作させることが望ましい場合があります。このモードにはBurst Mode動作とは2つの大きな違いがあります。1つ目は、クロックが常時動作状態で、すべてのスイッチング・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大部分が常時動作状態なので、静止電流が数百 μA まで増加します。2つ目は、Burst Mode動作よりも小さ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1bを参照）。パルス・スキップ・モードをイネーブルするには、SYNCピンをロジック出力またはINTVCCピンの“H”レベルに接続します。SYNCピンにクロックが与えられた場合にも、LT8610はパルス・スキップ・モードで動作します。



(1a) 8610 F01a



(1b) 8610 F01b

図1.Burst Mode動作(1a)とパルススキップ・モード(1b)のSW周波数と負荷情報

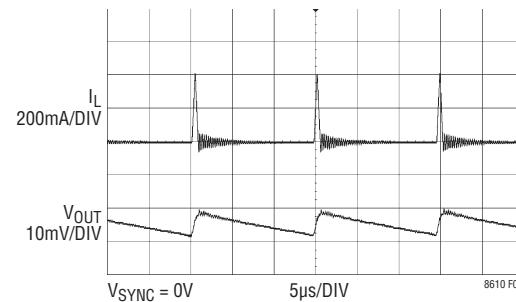


図2.Burst Mode動作

アプリケーション情報

FBの抵抗ネットワーク

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、1% 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必要がある場合、FBの抵抗分割器に大きな抵抗値を使用します。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 LT8610 の静止電流、2つ目の項は、軽負荷時の効率が n のときの降圧動作の入力に反映される帰還分割器の電流です。 $R1 = 1M$ および $R2 = 412k$ での 3.3V アプリケーションの場合、帰還分割器には $2.3\mu A$ が流れます。 $V_{IN} = 12V$ および $n = 80\%$ では、 $1.7\mu A$ の静止電流に $0.8\mu A$ が加算される結果、12V 電源からの無負荷電流は $2.5\mu A$ になります。この式は無負荷電流が V_{IN} と相関関係があることを表していることに注意してください。これは「標準的性能特性」のセクションに示されています。

大きなFB抵抗を使用するときは、 $4.7pF \sim 10pF$ の位相リード・コンデンサを V_{OUT} から FB に接続します。

スイッチング周波数の設定

LT8610 には固定周波数 PWM アーキテクチャが使用されており、RT ピンとグランドの間に接続した 1 本の抵抗を使って 200KHz ~ 2.2MHz の範囲でスイッチングするように設定することができます。望み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。

望みのスイッチング周波数を得るための R_T 抵抗は次式を使って計算することができます。

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

ここで、 R_T の単位は $k\Omega$ 、 f_{SW} は望みのスイッチング周波数(単位:MHz)です。

表1. スイッチング周波数と R_T 値

f_{SW} (MHz)	R_T (k Ω)
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
14	28.0
1.6	23.7
1.8	20.5
2.0	18.2
2.2	15.8

動作周波数の選択とトレードオフ

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トレードオフが必要です。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、効率が低くなることと入力電圧範囲が小さくなることです。

与えられたアプリケーション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} は標準入力電圧、 V_{OUT} は出力電圧、 $V_{SW(TOP)}$ と $V_{SW(BOT)}$ は内部スイッチの電圧降下(最大負荷でそれぞれ約 0.3V と約 0.15V)、 $t_{ON(MIN)}$ はトップ・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、 V_{IN} が R_T 値に関係なく 42V の絶対最大定格まで上昇する可能性がありますが、LT8610 は必要に応じてスイッチング周波数を下げることによってインダクタ電流の制御を維持し、安全動作を保証します。

アプリケーション情報

LT8610は99%以上の最大デューティ・サイクルが可能であり、VIN-VOUT間のドロップアウトがトップ・スイッチのRDS(ON)によって制限されます。このモードではLT8610はスイッチング・サイクルをスキップするので、スイッチング周波数がRTによって設定される値よりも低くなります。

低いVIN/VOUT比で設定された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では、次式を使っ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最小入力電圧、 V_{OUT} は出力電圧、 $V_{SW(TOP)}$ と $V_{SW(BOT)}$ は内部スイッチの電圧降下(最大負荷でそれぞれ約0.3Vと約0.15V)、 f_{SW} はスイッチング周波数(RTによって設定)、 $t_{OFF(MIN)}$ は最小スイッチ・オフ時間です。スイッチング周波数が高いほど最小入力電圧が高くなり、この電圧を下回るとサイクルが減少して高いデューティ・サイクルになることに注意してください。

インダクタの選択と最大出力電流

LT8610は、インダクタをアプリケーションの出力負荷要件に基づいて選択可能にすることにより、ソリューション・サイズを最小限に抑えるように設計されています。過負荷状態や短絡状態の間、LT8610は高速ピーク電流モード・アーキテクチャを使用することにより、インダクタが飽和した動作に耐えられます。

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(単位:MHz)、 V_{OUT} は出力電圧、 $V_{SW(BOT)}$ はボトム・スイッチの電圧降下(約0.15V)、 L はインダクタ値(単位: μ H)です。

過熱や効率低下を防ぐため、インダクタは、アプリケーションで予想される最大出力負荷より大きいRMS電流定格のものを選択する必要があります。さらに、インダクタの(一般に I_{SAT} と表記される)飽和電流定格は、負荷電流にインダクタ・リップル電流の1/2を加算し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、 ΔI_L は式9で計算されるインダクタ・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、1Aの出力を必要とするアプリケーションでは、RMS定格が1Aより大きくて I_{SAT} が1.3Aより大きいインダクタを使用します。過負荷状態や短絡状態の期間が長いときは、インダクタの過熱を防ぐため、インダクタのRMS配線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 Ω 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なります。

LT8610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。トップ・スイッチの電流制限(I_{LIM})は、デューティ・サイクルが低いときは3.5A以上であり、デューティ・サイクルが80%のときは直線的に2.8Aまで減少します。したがって、インダクタは望みの最大出力電流($I_{OUT(MAX)}$)を供給するのに十分な値でなければなりません。この電流はスイッチ電流制限(I_{LIM})およびリップル電流と相関関係があります。

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

インダクタのピーク・トゥ・ピーク・リップル電流は次のように計算することができます。

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

ここで、 f_{SW} はLT8610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、LT8610が供給できる最大出力電流は、スイッチ電流制限、インダクタの値、入力電圧、および出力電圧に依存します。望み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、インダクタの値を大きくしなければならないことがあります。

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。必要とする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でき、LT8610を大きな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

アプリケーション情報

的に小さいインダクタを使用するか、またはDCRの小さいものを使って効率を上げることができます。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ことに注意してください。

最大出力電流と不連続動作の詳細については、リニアテクノロジーの「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%を超える場合($V_{OUT}/V_{IN} > 0.5$)、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

LT8610の回路の入力は、 V_{IN} ピンと $PGND$ ピンのできるだけ近くに設置したX7RまたはX5Rタイプのセラミック・コンデンサでバイパスします。Y5Vタイプは温度や加えら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。LT8610をバイパスするには $4.7\mu F \sim 10\mu F$ のセラミック・コンデンサが適切で、リップル電流を容易に処理します。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かったり、長い配線やケーブルによる大きなインダクタンスが存在する場合、追加のバルク容量が必要になることがあります。これには性能の高くない電解コンデンサを使用することができます。

降圧レギュレータには、立ち上がり時間と立ち下がり時間が非常に高速のパルス電流が入力電源から流れます。その結果生じるLT8610の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範囲のループに押し込めてEMIを抑えるために、入力コンデンサが必要です。 $4.7\mu F$ のコンデンサをこの用途に使用できますが、LT8610の近くに配置できる場合に限ります(「PCBレイアウト」のセクションを参照)。セラミック入力コンデンサに関する2つ目の注意点は、LT8610の最大入力電圧定格に関するものです。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、質の良い(減衰の小さな)共振タンク回路を形成します。LT8610の回路を通電中の電源に差し込むと、入力電圧に正常値の2倍のリンクギングが生じてLT8610の電圧定格を超える恐れがあります。この状況は簡単に回避できます(リニアテクノロジーの「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つの基本的な機能があります。出力コンデンサは、インダクタとともに、LT8610が発生する方形波をフィルタして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LT8610の制御ループを安定化するためにエネルギーを蓄えることです。セラミック・コンデンサの等価直列抵抗(ESR)は非常に小さいため、最良のリップル性能が得られます。出発点として最適な値については、「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 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。スペースとコストを節約するため、もっと小さな値の出力コンデンサを使用することもできますが、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。推奨するコンデンサの値については、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際には、データシートに特に注意して、関係する電圧バイアスと温度の動作条件での実効容量を計算します。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。

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、LT8610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、LT8610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LT8610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。LT8610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。それでも許容できない場合、高性能のタル・コンデンサまたは電解コンデンサを出力に使用します。低ノイズ・セラミック・コンデンサも使用できます。

アプリケーション情報

セラミック・コンデンサに関する最後の注意点はLT8610の最大入力電圧定格に関係します。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)共振タンク回路を形成します。LT8610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LT8610の定格を超える恐れがあります。この状況は簡単に回避できます(リニアテクノロジーの「アプリケーションノート88」を参照)。

イネーブル・ピン

ENピンが“L”的ときLT8610は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。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} に接続し、シャットダウン制御が必要な場合にはロジック・レベルに接続することができます。

抵抗分割器を V_{IN} とENの間に追加すると、 V_{IN} が望みの電圧より高くなった場合にのみLT8610が出力を安定化するようになります(「ブロック図」を参照)。このしきい値 $V_{IN(EN)}$ は通常、入力電源が電流制限されているか、または入力電源のソース抵抗が比較的大きい状況で使用されます。スイッチング・レギュレータはソースから一定の電力を引き出すので、ソース電圧が低下するにつれ、ソース電流が増加します。この現象はソースからは負の抵抗負荷のように見えるため、低いソース電圧状態では、ソースが電流制限したり、あるいは低電圧にラッチすることができます。 $V_{IN(EN)}$ しきい値はこの問題が発生する恐れのあるソース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、 V_{IN} が $V_{IN(EN)}$ を超えるまでLT8610はオフのままです。コンパレータのヒステリシスのため、入力が $V_{IN(EN)}$ をわずかに下回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動作を行っているとき、 $V_{IN(EN)}$ の抵抗ネットワークを流れる電流はLT8610の電源電流を容易に超えることがあります。したがって、 $V_{IN(EN)}$ の抵抗を大きくして低負荷での効率に対する影響を最小限に抑えます。

INTV_{CC}レギュレータ

内部低ドロップアウト(LDO)レギュレータは V_{IN} から3.4V電源を生成し、ドライバと内部バイアス回路に電力を供給します。INTV_{CC}はLT8610の回路に十分な電流を供給することができる、最小1μFのセラミック・コンデンサを使っ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きな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。効率を改善するため、BIASピンが3.1V以上の場合、内部LDOはBIASピンから電流を引き出することができます。通常、BIASピンはLT8610の出力に接続するか、または3.3V以上の外部電源に接続することができます。BIASを V_{OUT} 以外の電源に接続する場合、必ずローカルのセラミック・コンデンサを使ってバイパスしてください。BIASピンが3.0Vより低いと、内部LDOは V_{IN} からの電流を消費します。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、内部LDOが V_{IN} から電流を引き出す場合、LDO内の電力損失が大きいためダイ温度が上昇します。INTV_{CC}ピンには外部負荷を接続しないでください。

出力電圧トラッキングとソフトスタート

LT8610はTR/SSピンによってその出力電圧のランプレートを設定することができます。2.2μAの内部電流源がTR/SSピンをINTV_{CC}にプルアップしています。外付けコンデンサをTR/SS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ジ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変わります。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を外部からドライブすることができます。0V～0.97Vでは、TR/SSの電圧がエラーアンプへの0.97Vの内部リファレンス入力より優先されるので、FBピンの電圧をTR/SSピンの電圧に安定化します。TR/SSが0.97Vを超えると、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ます。トラッキング機能が不要な場合、TR/SSピンをフロート状態のままにすることができます。

TR/SSピンにはアクティブ・プルダウン回路が接続されており、フォルト状態が生じると外付けソフトスタート・コンデンサを放電し、フォルトが解除されると再びランプし始めます。ソフトスタート・コンデンサを放電するフォルト状態になるのは、EN/UVピンが“L”に遷移する、 V_{IN} 電圧が低すぎる、またはサマリ・シャットダウンが生じる場合です。

アプリケーション情報

出力パワーグッド

LT8610の出力電圧がレギュレーション・ポイントの±9%の範囲内(V_{FB} の電圧が0.883V～1.057V(標準)の範囲内)の場合、出力電圧は良好とみなされ、オープンドレインのPGピンが高インピーダンスになり、通常、外付け抵抗によって“H”に引き上げられます。そうでない場合、内部のプルダウン・デバイスがPGピンを“L”に引き下げます。グリッチを防ぐため、上側と下側のどちらのしきい値も1.3%のヒステリシスを含んでいます。

PGピンは、EN/UVピンが1Vより低い、 $INTV_{CC}$ が低下しすぎている、 V_{IN} が低すぎる、サーマル・シャットダウンが生じているなどのフォルト状態の間にも、アクティブに“L”に引き下げられます。

同期

低リップルBurst Mode動作を選択するには、SYNCピンを0.4Vより低い電圧に接続します(これにはグランドまたはロジック“L”的出力を使用することができます)。LT8610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%の方形波をSYNCピンに接続します。方形波の振幅には、0.4Vより低い谷と2.4Vより高い山(最大6V)が必要です。

LT8610は外部クロックに同期しているときは低出力負荷でBurst Mode動作にならず、代わりにパルスをスキップしてレギュレーションを維持します。LT8610は200kHz～2.2MHzの範囲にわたって同期させることができます。 R_T 抵抗は、LT8610のスイッチング周波数を最小同期入力以下に設定するように選択します。たとえば、同期信号が500kHz以上であれば、500kHzに設定する R_T を選択します。スロープ補償は R_T 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、 R_T によって設定される周波数での低調波発振を防ぐのに十分インダクタが大きいのであれば、スロープ補償は全同期周波数で十分なものになります。

アプリケーションによっては、LT8610をパルス・スキップ・モードで動作させることができます。このモードにはBurst Mode動作とは2つの大きな違いがあります。1つ目は、クロックが常時動作状態で、すべてのスイッチング・サイクルがクロックに同期していることです。2つ目は、Burst Mode動作よりも小さ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。これらの違いが生じる代わりに静止電流が増加します。パルス・スキップ・モードをイネーブルするには、SYNCピンをロジック出力または $INTV_{CC}$ ピンの“H”レベルに接続します。

LT8610はSYNC信号に関係なく強制連続モードでは動作しません。SYNCピンはフロート状態にしないでください。

短絡と逆入力に対する保護

LT8610は出力の短絡に耐えます。出力短絡やブラウンアウト状態の間の保護のため、複数の機能が使用されています。1つ目は、出力が設定ポイントより低い間にスイッチング周波数がフォールドバックし、インダクタ電流の制御を維持することです。2つ目は、インダクタ電流が安全なレベルを超えると、インダクタ電流が安全なレベルに減少する時点までトップ・スイッチのスイッチングが遅延されるように、ボトム・スイッチ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次のようにSYNCピンの状態に依存します。SYNCピンが“L”的場合、スイッチング周波数が低下すると同時に、出力電圧が設定されたレベルより低くなります。SYNCピンがクロック・ソースに接続されているか、または“H”に接続されている場合、LT8610はフォールドバックすることなく設定された周波数に留まり、インダクタ電流が安全なレベルを超えたときのみスイッチングを遅くします。

LT8610に入力が加わっていないときに出力が高く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LT8610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、または V_{IN} に接続されているために)“H”に保持されると、LT8610のSWピンを介してその内部回路に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 μ 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 μ 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} を接地すると、ENに関係なく、出力からSWピンおよび V_{IN} ピンを介して、LT8610内部の寄生ボディー・ダイオードに電流が流れれる可能性があります。入力電圧が印加されているときのみLT8610を動作させ、短絡や逆入力に対して保護する、 V_{IN} ピンとEN/UVピンの接続を図3に示します。

アプリケーション情報

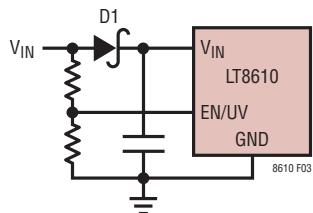


図3. 逆 V_{IN} 保護

PCB レイアウト

適切に動作させ、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、グランド・プレーン、およびビアの位置を図4に示します。大きなスイッチング電流がLT8610の V_{IN} ピン、PGND ピン、および入力コンデンサ(C_1)に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、コンデンサを V_{IN} ピンと PGND ピンの近くに設置することにより、できるだけ小さくする必要があります。物理的に大きな入力コンデンサを使用すると、ループが大きくなりすぎる可能性があります。この場合、小さなケース/値のコンデンサを V_{IN} ピンと PGND ピンの近くに設置し、大きなコンデンサを遠くに設置することを推奨します。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、その層で接続を行なうようします。表面層に最も近い層のアプリケーション回路の下には、ローカルな切れ目のないグランド・プレーンを設置します。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 ノードを小さく保ちます。パッケージ底面の露出パッドは、パッドがグランドに電気的に接続されるとともに、ヒートシンクとして機能するように、グランドに半田付けする必要があります。熱抵抗を低く保つには、グランド・プレーンをできるだけ広げ、LT8610の下や近くから回路基板内および底面の追加グランド・プレーンまでサーマル・ビアを追加します。

高温に関する検討事項

もっと高い周囲温度では、PCBのレイアウトに注意を払い、LT8610に十分なヒートシンクを与えます。パッケージ底面の露出パッドをグランド・プレーンに半田付けする必要がありま

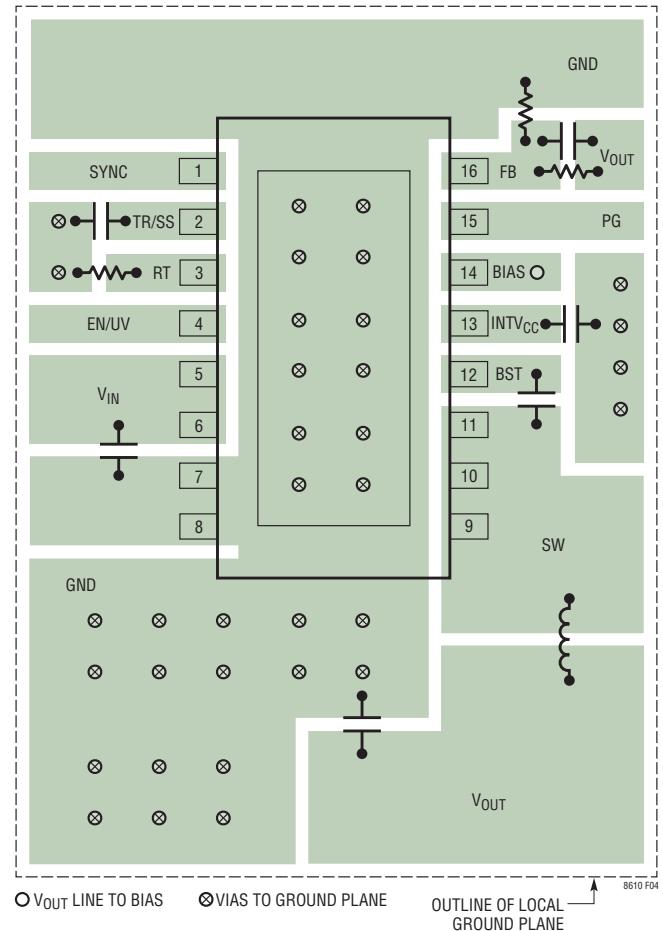
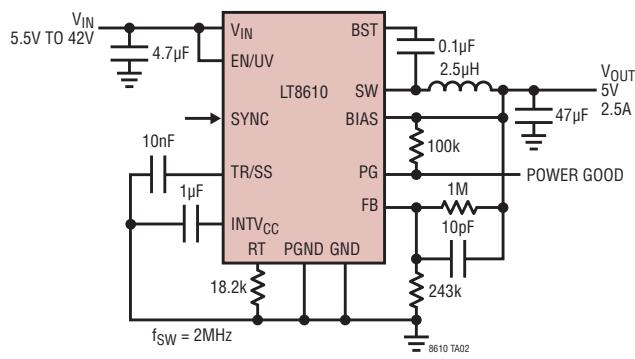


図4. LT8610 の推奨 PCB レイアウト

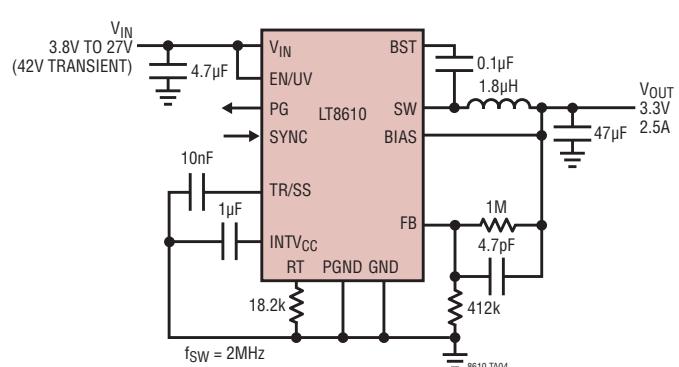
す。このグランドはサーマル・ビアを使って下の大きな銅箔層に接続します。これらの層はLT8610が発生する熱を放散します。ビアを追加すると、熱抵抗をさらに減らすことができます。周囲温度が最大接合部温度の定格に近づくにつれ、最大負荷電流をディレーティングします。LT8610内部の電力損失は、効率の測定結果から総電力損失を計算し、それからインダクタの損失を差し引くことによって推定することができます。ダイ温度は、LT8610の電力損失に、接合部から周囲までの熱抵抗を掛けて計算します。LT8610は、安全な接合部温度を超えると、スイッチングを停止してフルト状態を知らせます。

標準的応用例

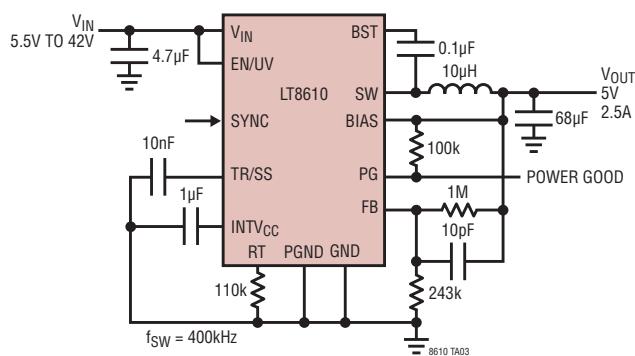
5V 降圧コンバータ



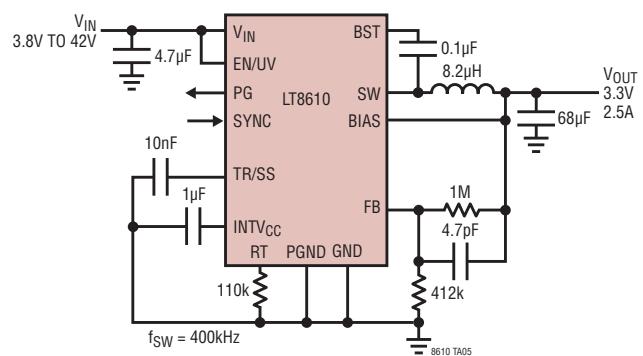
3.3V 降圧コンバータ



5V 降圧コンバータ

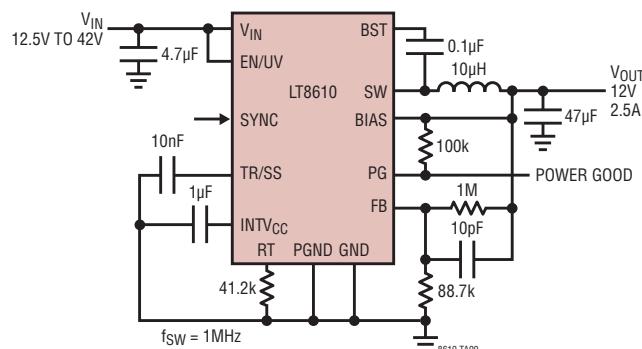


3.3V 降圧コンバータ

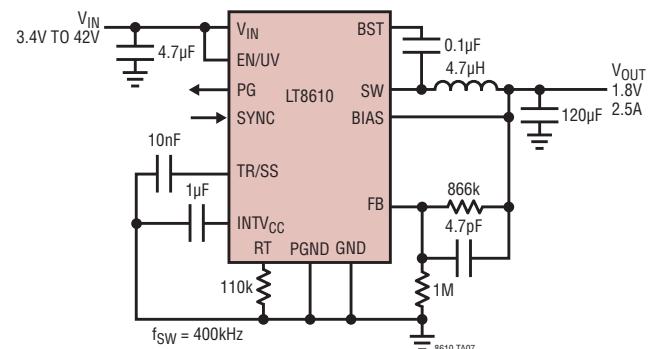


標準的応用例

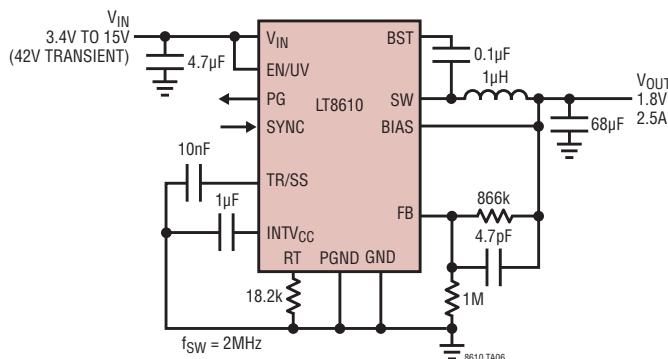
12V 降圧コンバータ



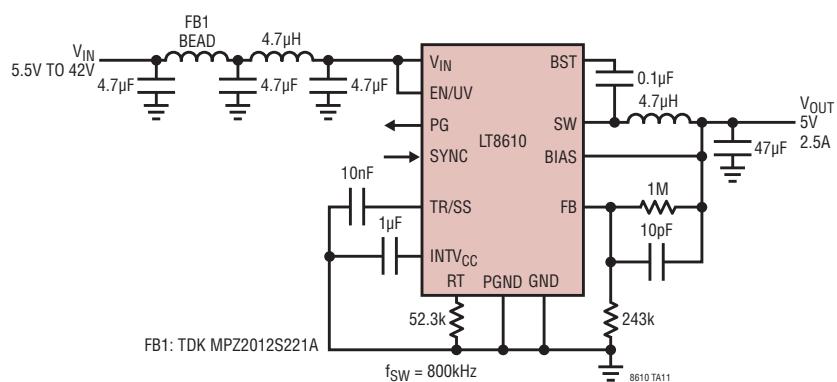
1.8V 降圧コンバータ



1.8V、2MHz 降圧コンバータ



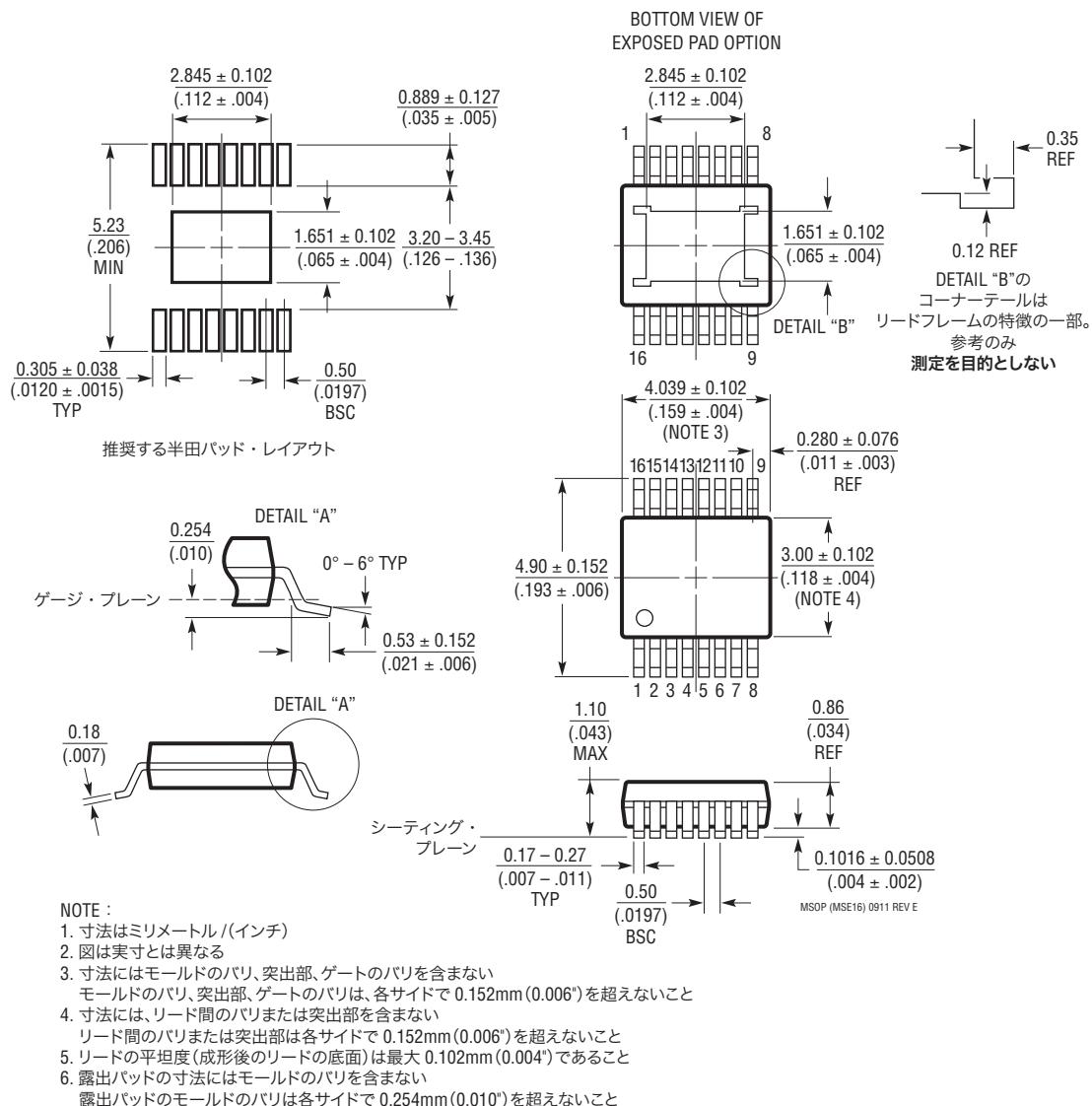
超低EMIの5V/2.5A 降圧コンバータ



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。

MSE Package 16-Lead Plastic MSOP, Exposed Die Pad (Reference LTC DWG # 05-08-1667 Rev E)

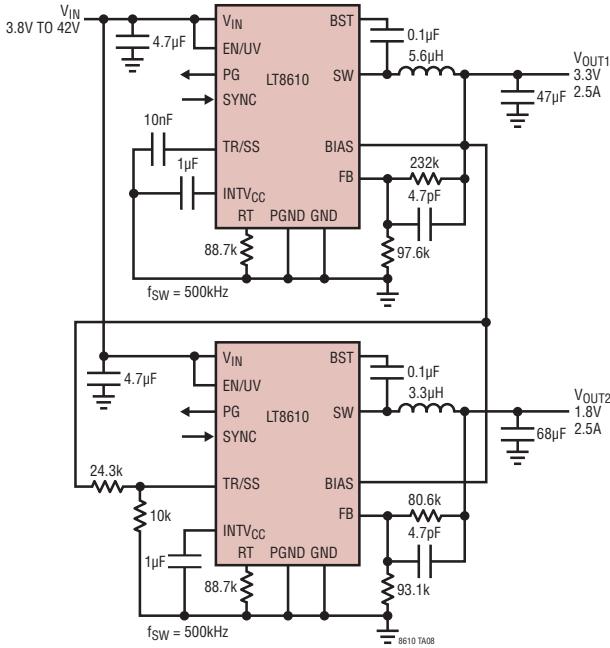


改訂履歴

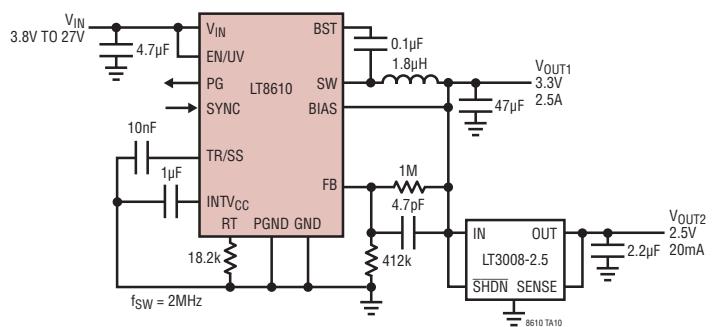
REV	日付	概要	ページ番号
A	10/13	「絶対最大定格」と「発注情報」の表にHグレードバージョンを追加。 150°CまでのFeedback Voltage仕様を明確化。 「3.3V _{OUT} の効率」と「5V _{OUT} の効率」のグラフを明確化。 「RTIによって設定されるスイッチング周波数」のグラフを明確化。	2 2 4 7

標準的応用例

3.3V、1.8V 降圧コンバータ(比例トラッキング付き)



超低静止電流の2.5V、3.3V 降圧コンバータ(LDO付き)



関連製品

製品番号	説明	注釈
LT8611	$I_Q = 2.5\mu A$ の、42V、2.5A、96% 効率、2.2MHz 同期整流式マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ、および入力/出力電流制限/モニタ	$V_{IN}: 3.4V \sim 42V$ 、 $V_{OUT(MIN)} = 0.97V$ 、 $I_Q = 2.5\mu A$ 、 $I_{SD} < 1\mu A$ 、3mm×5mm QFN-24パッケージ
LT3690	$I_Q = 70\mu A$ の、60Vまでのトランジエント保護付き、36V、4A、92% 効率、1.5MHz 同期整流式マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ	$V_{IN}: 3.9V \sim 36V$ 、 $V_{OUT(MIN)} = 0.985V$ 、 $I_Q = 70\mu A$ 、 $I_{SD} < 1\mu A$ 、4mm×6mm QFN-26パッケージ
LT3971	$I_Q = 2.8\mu A$ の、38V、1.2A、2.2MHz高効率マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ	$V_{IN}: 4.2V \sim 38V$ 、 $V_{OUT(MIN)} = 1.21V$ 、 $I_Q = 2.8\mu A$ 、 $I_{SD} < 1\mu A$ 、3mm×3mm DFN-10およびMSOP-10Eパッケージ
LT3991	$I_Q = 2.8\mu A$ の、55V、1.2A、2.2MHz高効率マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ	$V_{IN}: 4.2V \sim 55V$ 、 $V_{OUT(MIN)} = 1.21V$ 、 $I_Q = 2.8\mu A$ 、 $I_{SD} < 1\mu A$ 、3mm×3mm DFN-10およびMSOP-10Eパッケージ
LT3970	$I_Q = 2.5\mu A$ の、40V、350mA、2.2MHz高効率マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ	$V_{IN}: 4.2V \sim 40V$ 、 $V_{OUT(MIN)} = 1.21V$ 、 $I_Q = 2.5\mu A$ 、 $I_{SD} < 1\mu A$ 、3mm×2mm DFN-10およびMSOP-10Eパッケージ
LT3990	$I_Q = 2.5\mu A$ の、62V、350mA、2.2MHz高効率マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ	$V_{IN}: 4.2V \sim 62V$ 、 $V_{OUT(MIN)} = 1.21V$ 、 $I_Q = 2.5\mu A$ 、 $I_{SD} < 1\mu A$ 、3mm×3mm DFN-10およびMSOP-6Eパッケージ
LT3480	60Vまでのトランジエント保護付き、36V、2A(I_{OUT})、2.4MHz高効率降圧DC/DCコンバータ(Burst Mode動作付き)	$V_{IN}: 3.6V \sim 36V$ 、60Vまでのトランジエント保護、 $V_{OUT(MIN)} = 0.78V$ 、 $I_Q = 70\mu A$ 、 $I_{SD} < 1\mu A$ 、3mm×3mm DFN-10およびMSOP-10Eパッケージ
LT3980	80Vまでのトランジエント保護付き、58V、2A(I_{OUT})、2.4MHz高効率降圧DC/DCコンバータ(Burst Mode動作付き)	$V_{IN}: 3.6V \sim 58V$ 、80Vまでのトランジエント保護、 $V_{OUT(MIN)} = 0.78V$ 、 $I_Q = 85\mu A$ 、 $I_{SD} < 1\mu A$ 、3mm×4mm DFN-16およびMSOP-16Eパッケージ