

高効率 42V/120mA 同期整流式降圧レギュレータ

特長

- 高効率の 2MHz 同期動作
 - 12V 入力、5V/50mA 出力時の効率: 90% 以上
- 超低静止電流の Burst Mode® 動作
 - 24V 入力で 3.3V 出力を安定化時の I_Q : 2.5 μ A 未満
 - 出力リップル: 10mV_{p-p} 未満
- 広い入力電圧範囲: 3.2V~42V
- 短い最小スイッチオン時間: 35ns
- 調整可能なスイッチング周波数: 200kHz~2.2MHz
- 小型インダクタを使用可能
- 高精度のイネーブル・ピン閾値: 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
- 小型の 10ピン (3mm × 2mm) サイド・ウェットプル DFN パッケージ
- オートモティブ・アプリケーション向けの AEC-Q100 認証を取得

アプリケーション

- 工業用センサー
- 工業用モノのインターネット
- 4mA~20mA の電流ループ
- 流量計
- オートモティブ電源およびハウスキーピング電源

概要

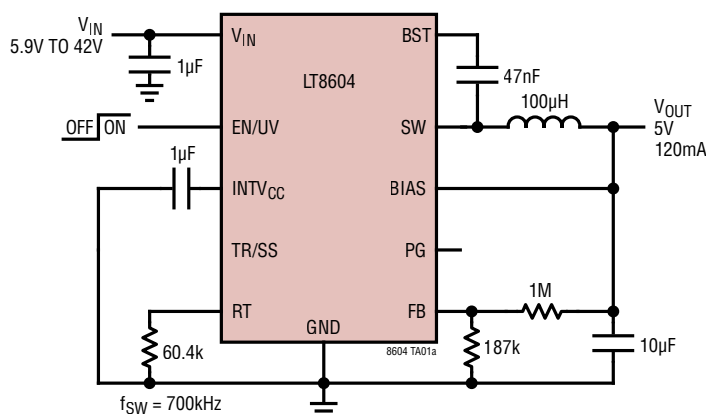
LT®8604 は、小型、高速の同期整流式モノリシック降圧スイッチング・レギュレータで、一定のスイッチング周波数 (最大 2.2MHz) で最大 120mA を高い効率で供給します。42V までの広い入力電圧範囲で使用でき、静止電流がわずか 2.5 μ A です。必要なすべての回路と共に上側と下側のパワー・スイッチが内蔵されているため、外付け部品数が最小限に抑えられます。低リップルの Burst Mode 動作により、非常に少量の出力電流まで高い効率を維持できると同時に、出力リップルを 10mV_{p-p} 未満に維持できます。

柔軟かつ堅牢に動作させるための機能も備えています。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ため、高速過渡応答と優れたループ安定性が得られます。EN/UVピンの閾値は高精度の 1V であるため、EN/UVピンを使用して入力電圧 V_{IN} の低電圧ロックアウトを設定することや、LT8604 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。 V_{OUT} が出力電圧設定値の $\pm 7.5\%$ 以内に入った場合、および故障状態になった場合に PG フラグで通知します。更に、サーマル・シャットダウンによっても保護されます。LT8604 は、熱抵抗を低く抑えるための露出パッドを備えた小型の 10ピン (3mm × 2mm) DFN パッケージで供給されます。

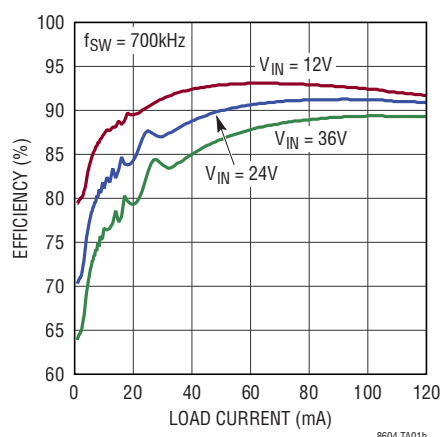
全ての登録商標および商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。

標準的応用例

5V、降圧コンバータ



$V_{OUT} = 5V$ での効率

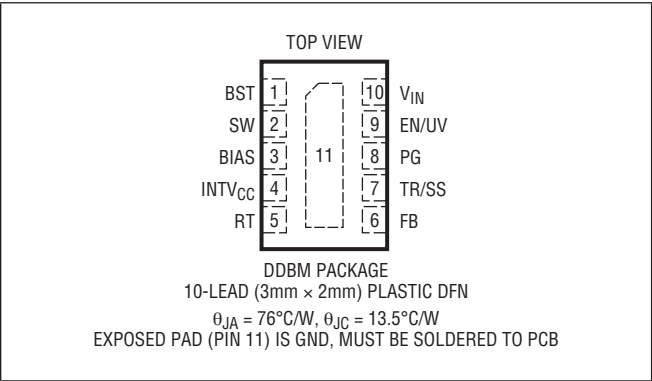


LT8604

絶対最大定格 (Note 1)

V _{IN} 、EN/UV 電圧	−0.3V〜42V
PG 電圧	−0.3V〜42V
BIAS 電圧	−0.3V〜25V
FB、TR/SS 電圧	−0.3V〜4V
動作ジャンクション温度範囲 (Note 2)	
LT8604E、LT8604I	−40°C〜125°C
LT8604J	−40°C〜150°C
保存温度範囲	−65°C〜150°C

ピン配置



発注情報

鉛フリー仕上げ

テープ&リール(ミニ)	テープ&リール	部品マーキング*	パッケージの説明	温度範囲
LT8604EDDBM#TRMPBF	LT8604EDDBM#TRPBF	LHNB	10ピン(3mm × 2mm)プラスチック・サイド・ウェットプルDFNパッケージ	−40°C to 125°C
LT8604IDDBM#TRMPBF	LT8604IDDBM#TRPBF	LHNB	10ピン(3mm × 2mm)プラスチック・サイド・ウェットプルDFNパッケージ	−40°C to 125°C
LT8604JDBM#TRMPBF	LT8604JDBM#TRPBF	LHNB	10ピン(3mm × 2mm)プラスチック・サイド・ウェットプルDFNパッケージ	−40°C to 150°C

オートモーティブ製品**

LT8604EDDBM#WTRMPBF	LT8604EDDBM#WTRPBF	LHNB	10ピン(3mm × 2mm)プラスチック・サイド・ウェットプルDFNパッケージ	−40°C to 125°C
LT8604IDDBM#WTRMPBF	LT8604IDDBM#WTRPBF	LHNB	10ピン(3mm × 2mm)プラスチック・サイド・ウェットプルDFNパッケージ	−40°C to 125°C
LT8604JDBM#WTRMPBF	LT8604JDBM#WTRPBF	LHNB	10ピン(3mm × 2mm)プラスチック・サイド・ウェットプルDFNパッケージ	−40°C to 150°C

TRM = 500 個。* 温度グレードは出荷容器のラベルに示されています。

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。

鉛仕上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。

テープ&リール仕様。一部のパッケージは、指定販売チャンネルを通じ500個入りのリールで購入できます。末尾に#TRMPBFという記号が付きます。

** このデバイスの各バージョンは、オートモーティブ・アプリケーションの品質と信頼性の条件に対応するよう管理された製造により提供されています。これらのモデルは「#W」というサフィックスで指定されます。オートモーティブ・アプリケーション向けには、上記のオートモーティブ・グレード製品のみを提供しています。特定製品のオーダー情報とこれらのモデルに特有のオートモーティブ信頼性レポートについては、最寄りのアナログ・デバイスまでお問い合わせください。

電氣的特性

●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	3.2	V
V_{IN} Quiescent Current	$V_{EN/UV} = 0\text{V}$ $V_{EN/UV} = 2\text{V}$, Not Switching	●		1 1.7	4 12	μA μA
V_{IN} Current in Regulation	$V_{IN} = 12\text{V}$, $V_{OUT} = 3.3\text{V}$, $I_{LOAD} = 100\mu\text{A}$ $V_{IN} = 12\text{V}$, $V_{OUT} = 3.3\text{V}$, $I_{LOAD} = 1\text{mA}$			56 400		μA μA
Feedback Reference Voltage		●	0.762	0.778	0.798	V
FB Voltage Line Regulation	$V_{IN} = 4\text{V}$ to 42V	●		± 0.002	± 0.04	%/V
FB Pin Input Current	$V_{FB} = 0.8\text{V}$	●			± 20	nA
BIAS Pin Current Consumption	$V_{BIAS} = 3.3\text{V}$, $I_{LOAD} = 30\text{mA}$, 700kHz			0.9		mA
Minimum On-Time		●		35	65	ns
Minimum Off-Time				90	120	ns
Oscillator Frequency	$R_T = 221\text{k}$ $R_T = 18.2\text{k}$	● ●	140 1.85	200 2.00	260 2.15	kHz MHz
Top Power NMOS On-Resistance				3.2		Ω
Top Power NMOS Current Limit		●	185	230	275	mA
Bottom Power NMOS On-Resistance				1.2		Ω
SW Leakage Current	$V_{IN} = 24\text{V}$	●			15	μA
EN/UV Pin Threshold	Pin Voltage Rising	●	0.98	1.04	1.11	V V
EN/UV Pin Hysteresis				40		mV
EN/UV Pin Current	$V_{EN/UV} = 2\text{V}$				± 20	nA
PG Upper Threshold Offset from $V_{FB/OUT}$	$V_{FB/OUT}$ Rising	●	5.0	7.5	10.0	%
PG Lower Threshold Offset from $V_{FB/OUT}$	$V_{FB/OUT}$ Falling	●	-5.0	-7.5	-10.0	%
PG Hysteresis				0.5		%
PG Leakage	$V_{PG} = 42\text{V}$	●			± 200	nA
PG Pull-Down Resistance	$V_{PG} = 0.1\text{V}$			550	1200	Ω
TR/SS Source Current	$V_{TR/SS} = 0.1\text{V}$	●	1	2	3.5	μA
TR/SS Pull-Down Resistance	Fault Condition, $V_{TR/SS} = 0.1\text{V}$			300	900	Ω

Note 1: 上記の絶対最大定格を超えるストレスを加えるとデバイスに恒久的な損傷を与えることがあります。デバイスを長時間絶対最大定格状態に置くと、デバイスの信頼性と寿命に影響を与えることがあります。

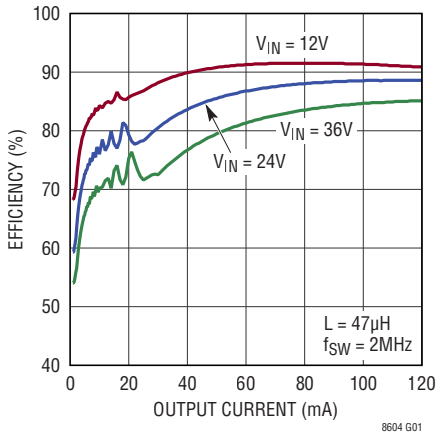
Note 2: LT8604E は、 0°C ~ 125°C のジャンクション温度範囲で性能仕様を確実に満たします。 -40°C ~ 125°C の動作ジャンクション温度範囲における仕様は、設計、特性評価、および統計的プロセス制御との相関付けによって確保されています。LT8604I は、 -40°C ~ 125°C の動作ジャンクション温度範囲で性能仕様を確実に満たします。LT8604J は、 -40°C ~ 150°C の動作

ジャンクション温度範囲で性能仕様を確実に満たします。ジャンクション温度が高い場合は、動作寿命が短くなります。ジャンクション温度が 125°C を超えると、動作寿命が定格値より短くなります。

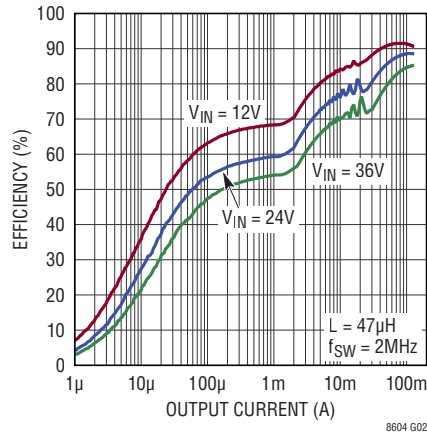
Note 3: このICは、過負荷状態の間デバイスを保護するための過熱保護機能を備えています。ジャンクション温度が 150°C を超えると、過熱保護機能が作動します。仕様規定されている最大動作ジャンクション温度を超えた状態で動作が継続すると、寿命が短くなります。

代表的な性能特性

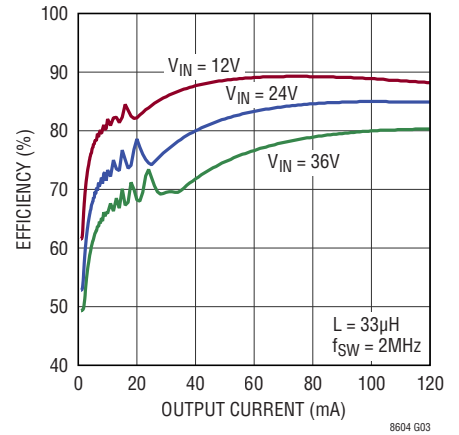
効率 (5V 出力)



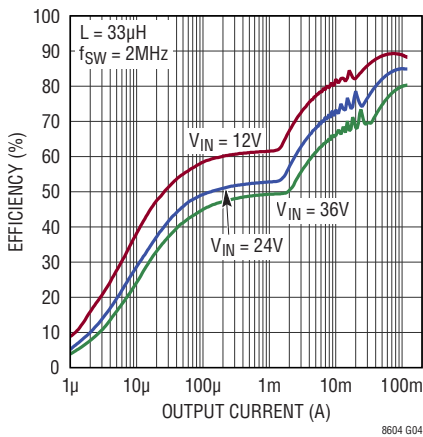
効率 (5V 出力)



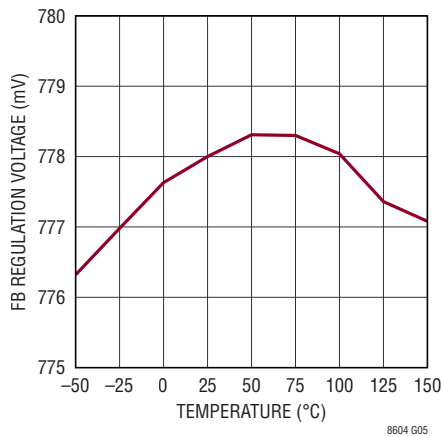
効率 (3.3V 出力)



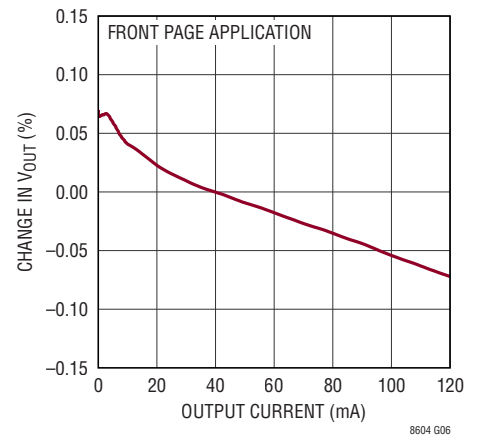
効率 (3.3V 出力)



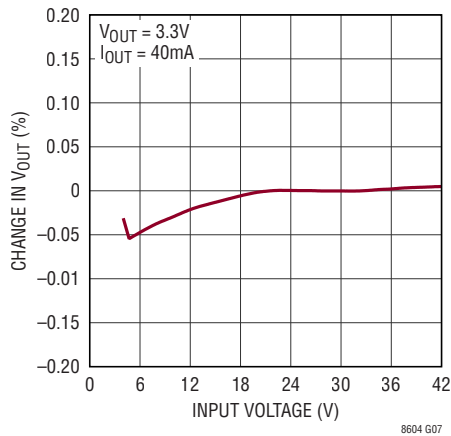
FB ピンの電圧



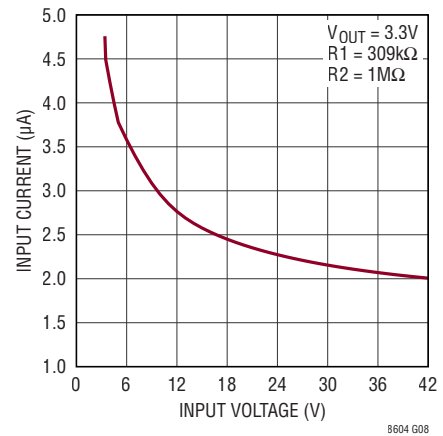
負荷レギュレーション



ライン・レギュレーション

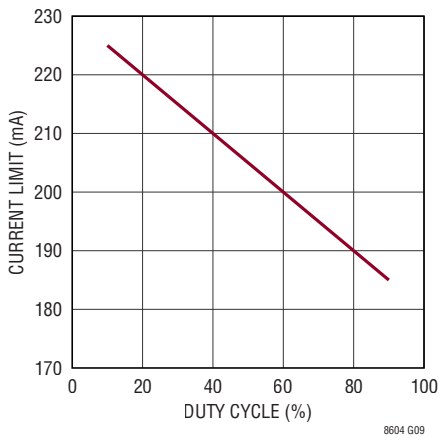


無負荷時電源電流

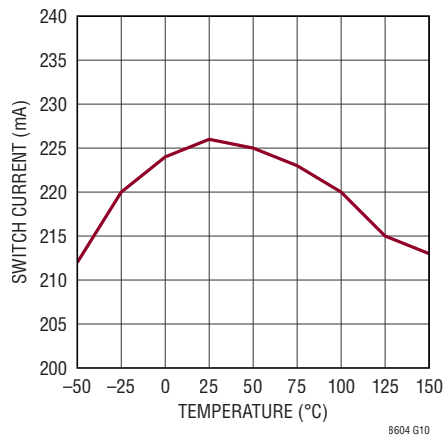


代表的な性能特性

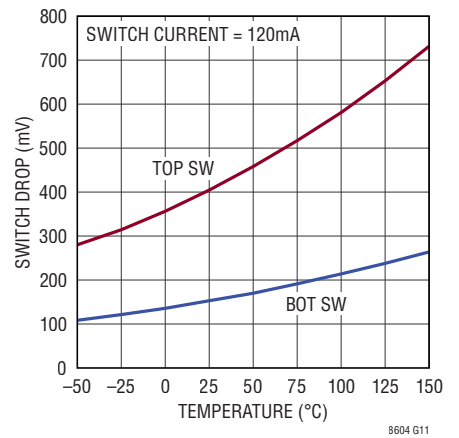
上側FETの電流制限と
デューティ・サイクルの関係



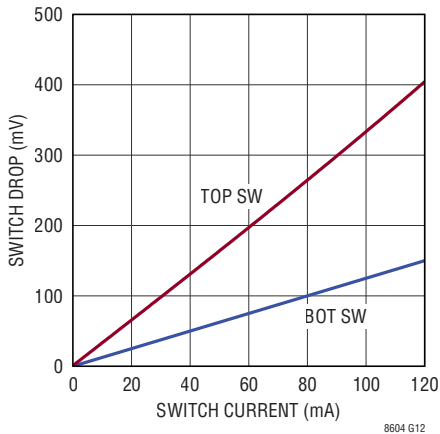
上側FETの電流制限と温度の関係



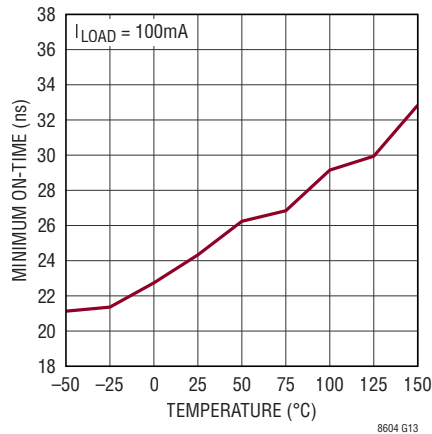
スイッチの電圧降下と温度の関係



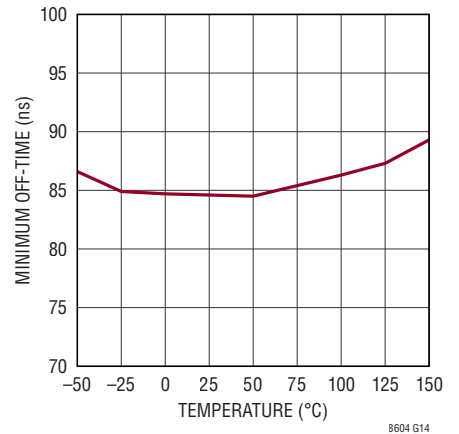
スイッチの電圧降下と
スイッチ電流の関係



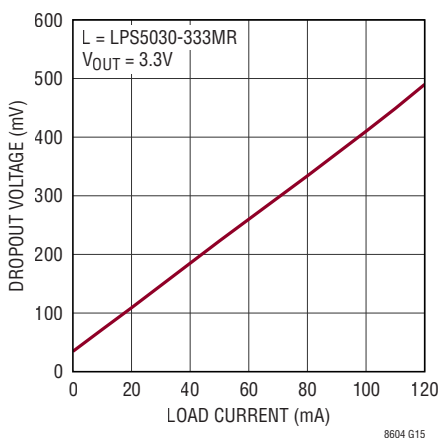
最小オン時間と温度の関係



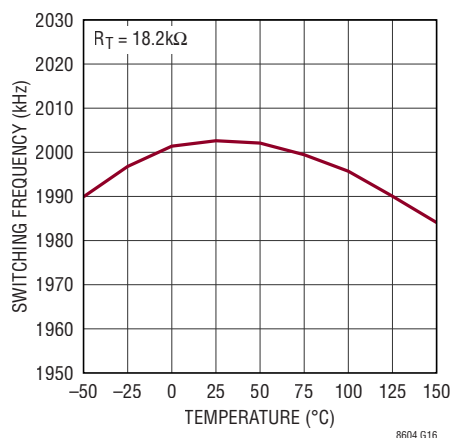
最小オフ時間と温度の関係



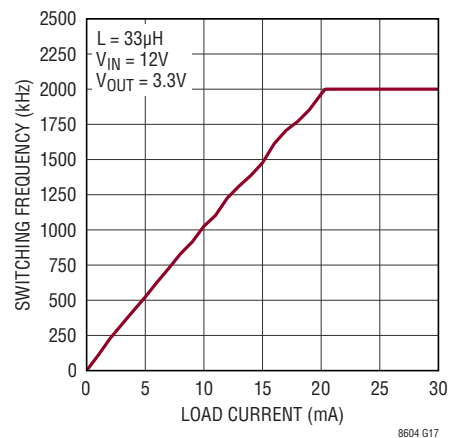
ドロップアウト電圧と
負荷電流の関係



スイッチング周波数と温度の関係

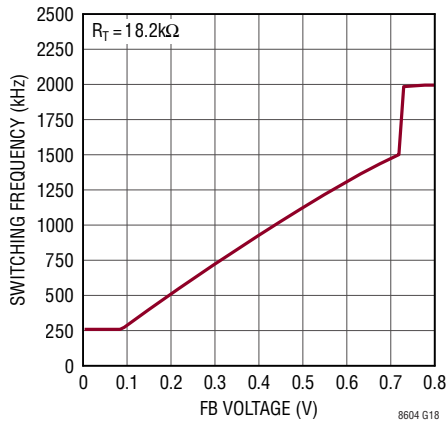


バースト周波数と負荷電流の関係

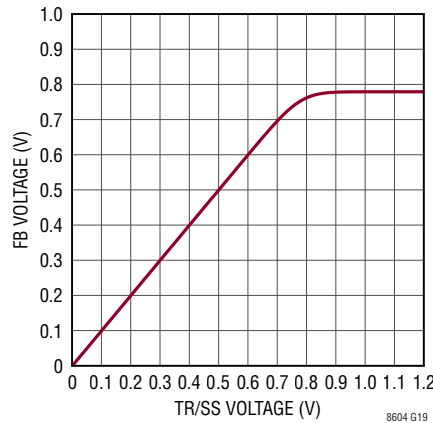


代表的な性能特性

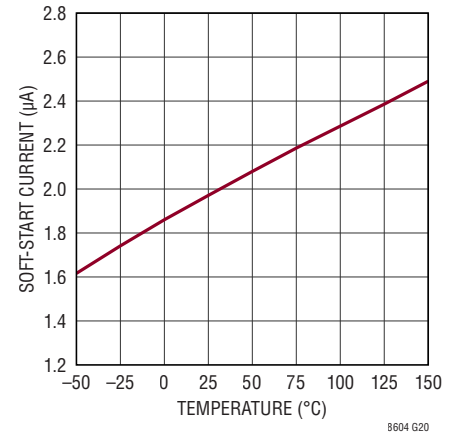
周波数フォールドバック



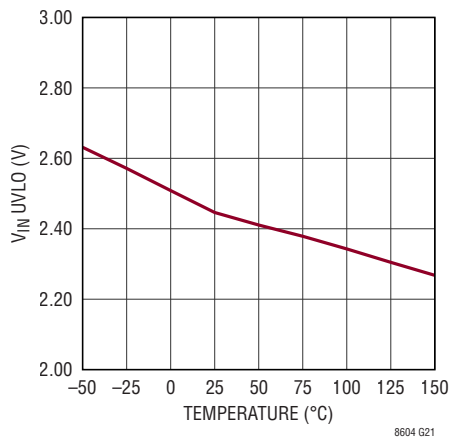
ソフトスタートのトラッキング



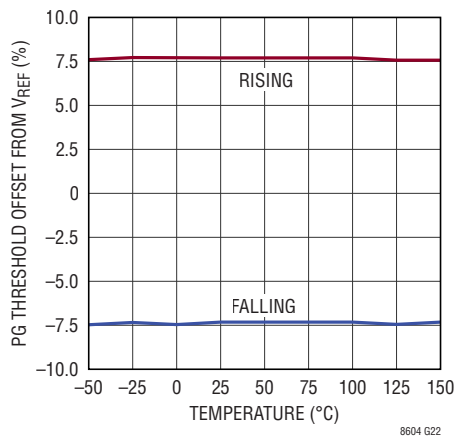
ソフトスタート・ピンの電流と温度の関係



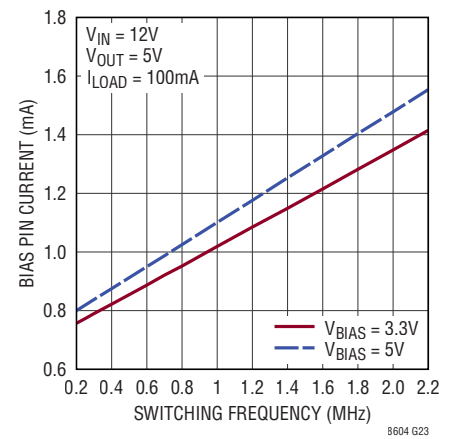
V_{IN} UVLO



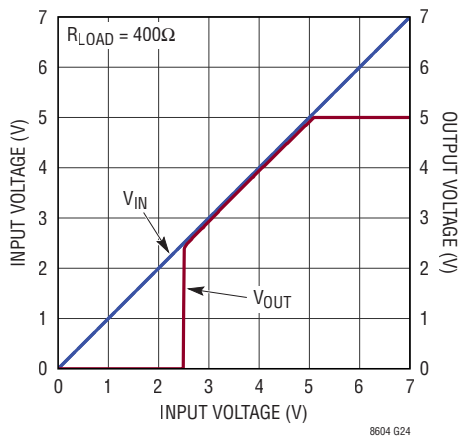
PG ピンの閾値



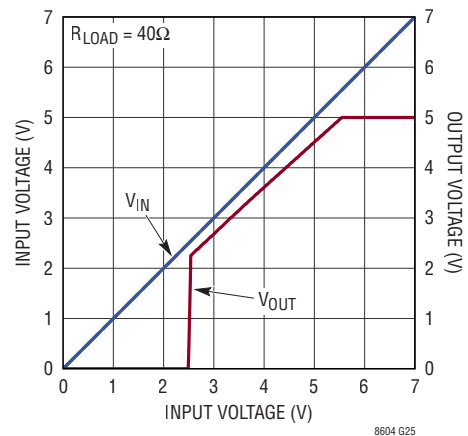
BIAS ピンの電流



起動時のドロップアウト

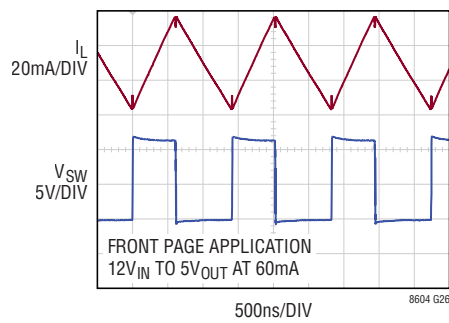


起動時のドロップアウト

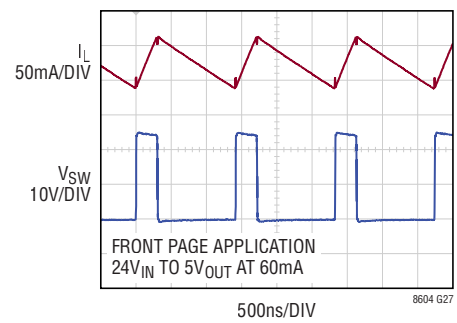


代表的な性能特性

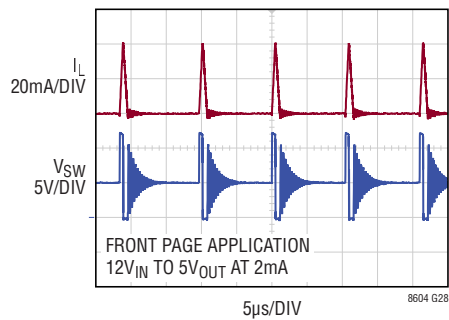
スイッチング波形



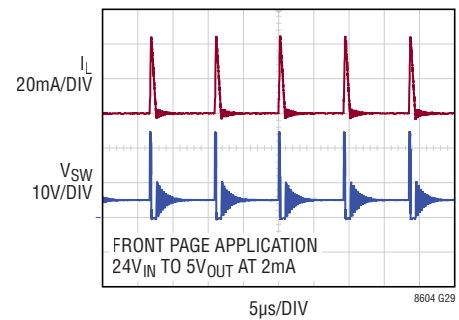
スイッチング波形



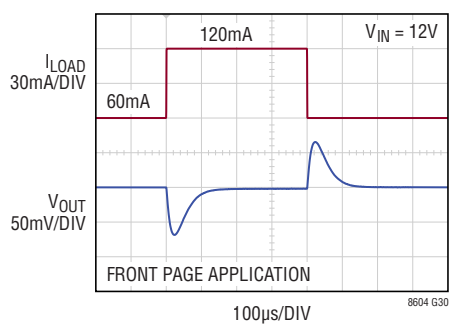
スイッチング波形



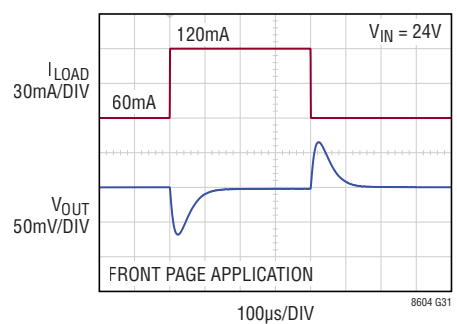
スイッチング波形



スイッチング波形



スイッチング波形



ピン機能

BST (ピン1) : 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。デバイスのできるだけ近くに47nFの昇圧コンデンサを配置してください。このピンと抵抗を直列に配置しないでください。

SW (ピン2) : SWピンは内部パワー・スイッチの出力です。このピンをインダクタに接続します。優れた性能を得るためには、PCB上でこのノードの面積を小さく抑える必要があります。

BIAS (ピン3) : BIASピンを3.2Vより高い電圧に接続すると、内部レギュレータには、 V_{IN} ピンではなくBIASピンから電流が流れ込みます。出力電圧が3.3V~25Vの場合、このピンは V_{OUT} に接続する必要があります。このピンを V_{OUT} 以外の電源に接続する場合は、このピンの近くに1 μ Fのバイパス・コンデンサを配置してください。利用可能な電源がない場合は、このピンをGNDに接続します。

INTV_{CC} (ピン4) : 内部の3.4Vレギュレータのバイパス・ピン。内蔵のパワー・ドライバと制御回路は、この電圧を電力源としています。INTV_{CC}の最大出力電流は2mAです。INTV_{CC}ピンには外部回路から負荷をかけないでください。INTV_{CC}の電流は、BIAS > 3.2Vの場合はBIASピンから供給され、そうでない場合は V_{IN} ピンから供給されます。 V_{BIAS} が3.0V~3.6Vの範囲の場合、INTV_{CC}ピンの電圧は2.8V~3.4Vの範囲で変化します。デバイスの近くに1 μ F以上の低ESRセラミック・コンデンサを配置して、このピンを電源グラウンドからデカップリングしてください。

RT (ピン5) : RTピンとグラウ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。

FB (ピン6) : LT8604はFBピンの電圧を0.778Vに安定化します。帰還抵抗分圧器のタップをこのピンに接続します。

TR/SS (ピン7) : 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、起動時に出力電圧の上昇率/下降率を制御できます。TR/SSピンの電圧が0.778Vより低くなる

と、LT8604はFBピンの電圧をTR/SSピンの電圧と等しくなるように調整します。TR/SSピンの電圧が0.778Vより高くなると、トラッキング機能がデイスエーブルされ、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2 μ Aの内部プルアップ電流が流れるため、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、シャットダウン時や故障状態になったときに300 Ω MOSFETによってグラウンド電位になるため、低インピーダンスの出力で駆動する場合は直列抵抗を使用してください。

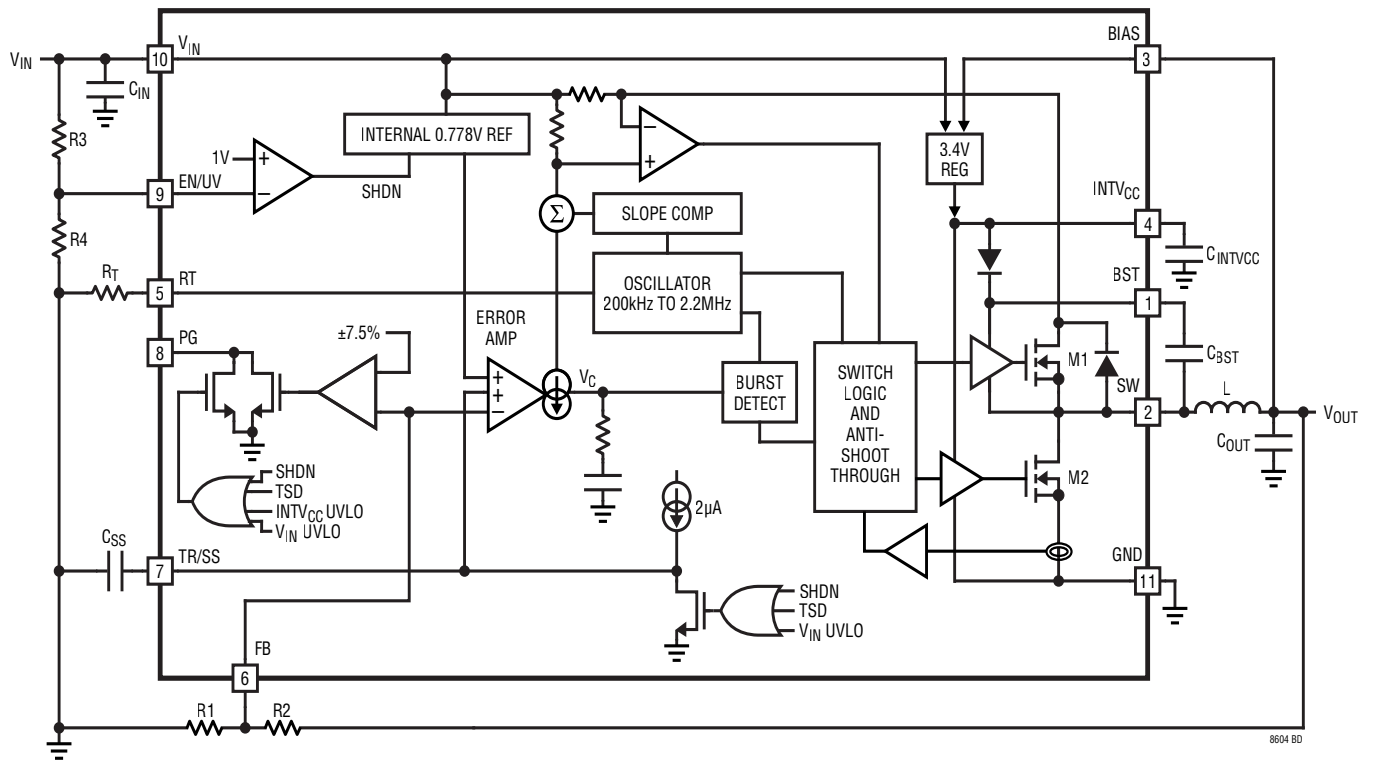
PG (ピン8) : PGピンは内部コンパレータのオープンドレイン出力です。PGピンはFBピンが最終レギュレーション電圧の $\pm 7.5\%$ 以内になるまでローのままであり、故障状態にはなりません。PGピンのレベルは、EN/UVピンの状態に関係なく、 V_{IN} ピンの電圧が3.2Vより高い場合に有効です。

EN/UV (ピン9) : LT8604は、このピンがローのときにシャットダウン状態になり、このピンがハイのときにアクティブになります。ヒステリシスのある閾値電圧は、上昇時に1.05Vで、下降時に1.00Vです。シャットダウン機能を使用しない場合は、 V_{IN} に接続してください。 V_{IN} ピンに抵抗分圧器を外付けすることで、その値を下回るとLT8604がシャットダウンする V_{IN} 閾値を設定できます。

V_{IN} (ピン10) : V_{IN} ピンによって、電流がLT8604の内部回路と内部の上側パワー・スイッチに供給されます。このピンは短い距離でバイパスする必要があります。 V_{IN} ピンのできるだけ近くに入力コンデンサの正端子を配置し、GNDピンのできるだけ近くにこの入力コンデンサの負端子を配置するようにしてください。

GND (露出パッド・ピン11) : 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にハンダ付けする必要があります

ブロック図



8604 BD

動作

LT8604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。ブロック図を参照すると、動作をよりよく理解できます。各クロック・サイクルの開始時に、内部の発振器が内蔵の上側パワー・スイッチをオンします。その後、上側スイッチの電流コンパレータがトリップするまでインダクタを流れる電流は増加し、トリップすると上側パワー・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、内部の V_C ノードの電圧によって制御されます。エラー・アンプは、FBピンの電圧と内部リファレンスを比較することによって、 V_C 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に対して低くなるため、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 V_C 電圧を引き上げます。上側パワー・スイッチがオフすると、次のクロック・サイクルが始まるまで、またはインダクタ電流がゼロに低下するまで、同期パワー・スイッチがオンになります。過負荷状態となって下側スイッチに流れる電流が超過した場合は、スイッチ電流が安全なレベルに戻るまで次のクロック・サイクルの開始が遅れます。

効率を最適化するために、LT8604は軽負荷状態ではBurst Mode動作になります。バーストとバーストの間は、出力スイッチの制御に関連するすべての回路がシャットダウンし、入力電源電流が $1.7\mu\text{A}$ に減少します。入力が24Vの代表的なア

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 $2.5\mu\text{A}$ が消費されます。

すべての負荷で効率を向上させるために、3.2V以上でバイアスすると、BIASピンから内部回路に電源電流を供給することができます。そうでない場合は、内部回路には V_{IN} から電流が流れ込みます。LT8604の出力を3.3V~25Vの電圧範囲に設定する場合は、BIASピンを V_{OUT} に接続する必要があります。

出力電圧が設定値から $\pm 7.5\%$ (代表値)以上変化したり、故障状態になったりすると、FBピンの電圧をモニタするコンパレータによってPGピンはローになります。

FBピンの電圧が低いと、発振器がLT8604の動作周波数を低下させます。この周波数フォールドバック機能は、起動時に出力電圧が設定値より低くなった場合に、インダクタ電流の制御に役立ちます。

EN/UVピンがローになると、LT8604はシャットダウンされ、入力から流れこむ電流は $1\mu\text{A}$ になります。EN/UVピンが1.05V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。

アプリケーション情報

超低静止電流を実現

軽負荷時の効率を上げるため、LT8604は低リップルのBurst Mode動作になり、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、出力コンデンサを充電し続け、目的の出力電圧に保ちます。Burst Mode動作では、LT8604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LT8604が消費する電流は1.7μAです。

出力負荷が減少すると、単一電流パルスの周波数が低下し(図1を参照)、LT8604がスリープ・モードで動作する時間の割合が増加するため、軽負荷での効率が代表的なコンバータよりもはるかに高くなります。パルスの間隔を最大にすると、出力負荷がない代表的なアプリケーションでは、コンバータの静止電流が2.5μA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、帰還抵抗分圧器の電流を最小限に抑える必要があります。この電流が負荷電流として出力に現れるためです。

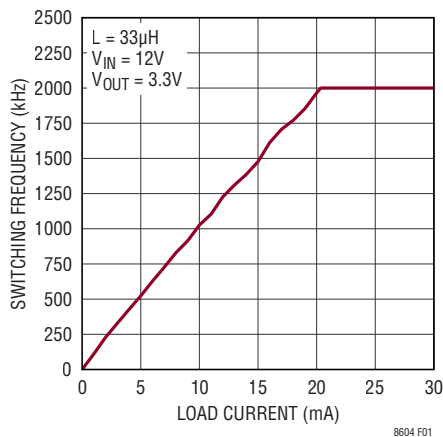


図1. SW Burst Mode 周波数と負荷の関係

Burst Mode動作時は上側スイッチの電流制限値が約40mAであるため、図2に示すような出力電圧リップルが現れます。負荷がゼロから増加するにつれて、スイッチング周波数も増加しますが、図1に示すように、RTピンの抵抗で設定された

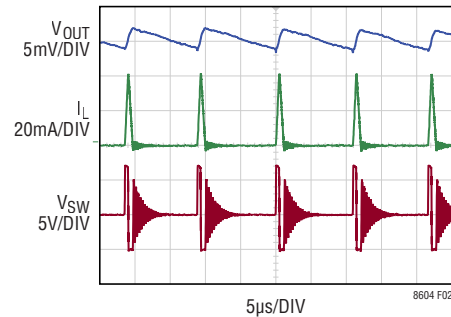


図2. Burst Mode 動作

スイッチング周波数までしか増加しません。LT8604が設定周波数に達するときの出力負荷は、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。

FBピンの抵抗ネットワーク

出力電圧は、出力とFBピンの間に抵抗分圧器を接続することで設定されます。次式に従って抵抗値を選択します。

$$R2 = R1 \left(\frac{V_{OUT}}{0.778V} - 1 \right)$$

出力電圧の精度を保つため、1%精度の抵抗を推奨します。

軽負荷での効率を良好にする必要がある場合は、FBピンに接続する抵抗分圧器の全抵抗値をできるだけ大きくする必要があります。抵抗分圧器によって出力に小さな負荷が生じるため、この小さな負荷を最小限に抑えて、軽負荷での静止電流を最適化する必要があります。

スイッチング周波数の設定

LT8604では固定周波数のPWMアーキテクチャが採用されており、RTピンとグラウンドの間に接続した1個の抵抗を使用することで、200kHz~2.2MHzの範囲でスイッチングするように設定できます。目的のスイッチング周波数に必要なRTの値を表1に示します。

表 1. SW 周波数と RT 値の関係

f _{sw} (MHz)	R _T (kΩ)
0.2	221
0.3	143
0.4	110
0.5	86.6
0.6	71.5
0.7	60.4
0.8	52.3
0.9	46.4
1.0	40.2
1.2	33.2
1.4	27.4
1.6	23.7
1.8	20.5
2.0	18.2
2.2	16.2

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と、入力電圧範囲が狭いことです。

特定の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、次式で計算することができます。

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

ここで、V_{IN} は入力電圧の代表値、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 (最大負荷時にそれぞれ約 0.38V、約 0.14V)、t_{ON(MIN)} は上側スイッチの最小オン時間です (電氣的特性を参照)。この式から、高い V_{IN}/V_{OUT} 比に対応するためには、スイッチング周波数を下げる必要があることが分かります。

トランジェント動作では、R_T の値に関係なく、V_{IN} が絶対最大定格まで上昇する可能性があります。LT8604 は必要に応じてスイッチング周波数を下げ、インダクタ電流を制御し続けて安全な動作を確保します。

LT8604 は最大デューティ・サイクルを 100% に近づけることができ、また、V_{IN} と V_{OUT} の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、LT8604 はスイッチ・サイクルをスキップするため、スイッチング周波数は R_T で設定した周波数よりも低くなります。

V_{IN}/V_{OUT} 比が低いときに、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。

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

ここで、V_{IN(MIN)} はスキップされたサイクルがない場合の最小入力電圧、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 (最大負荷時にそれぞれ約 0.38V、約 0.14V)、f_{sw} は (R_T によって設定された) スwitch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デューティ・サイクルを高める場合の最小入力電圧が高く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

LT8604 は、アプリケーションの出力負荷条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に設計されています。LT8604 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ていても支障なく動作できます。

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。

$$L = \frac{V_{OUT} + V_{SW(BOT)}}{f_{sw}} \cdot 20$$

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 0.14V)、L はインダクタの値 (μH) です。

過熱や効率低下を防ぐためには、アプリケーションにおける予想最大出力負荷よりも大きな実効値電流定格を持つインダクタを選択する必要があります。更に、(通常は I_{SAT} と表示

アプリケーション情報

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を加算した値よりも大きくする必要があります。

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

ここで、 ΔI_L は数段落下で計算されるインダクタのリップル電流、また、 $I_{LOAD(MAX)}$ はある特定のアプリケーションにおける最大出力負荷です。

簡単な例として、120mA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120mAより大きく、 I_{SAT} が180mAより大きいインダクタを使用する必要があります。高い効率を保つには、直列抵抗(DCR)が1Ω未満で、コア材が高周波アプリケーション向けのものを使用する必要があります。

LT8604は、スイッチとシステムを過負荷による故障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、185mA以上になりますが、 $D = 0.8$ のとき、137mAまで直線的に減少します。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})とリップル電流の関数です。

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

インダクタのピークtoピークのリップル電流は次式で計算できます。

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

ここで、 f_{SW} はLT8604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、LT8604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。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($I_{OUT(MAX)}$)を許容できない場合は、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。

最大出力電流と不連続動作の詳細については、アナログ・デバイセズ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。

$$L_{MIN} = \frac{V_{OUT} + V_{SW(BOT)}}{f_{SW}} \cdot 12.5$$

ここで、 f_{SW} はスイッチング周波数、 V_{OUT} は出力電圧、 $V_{SW(BOT)}$ は下側スイッチの電圧降下(約0.14V)、 L_{MIN} はインダクタの値です。

入力コンデンサ

LT8604回路の入力は、X7RタイプまたはX5Rタイプのセラミック・コンデンサを使ってバイパスします。Y5Vタイプは温度や印加される電圧が変化すると性能が低下するため、使用しないでください。LT8604をバイパスするには1μF～2.2μFのセラミック・コンデンサが適しており、リップル電流を容易に処理できます。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。これには性能の低い電解コンデンサを使用できます。

降圧レギュレータには、立上がり時間と立下がり時間の非常に短いパルス電流が入力電源から流れ込みます。その結果として生じるLT8604での電圧リップルを減らし、周波数が非常に高いこのスイッチング電流を狭い局所的なループに閉じ込めてEMIを最小限に抑えるには、入力コンデンサが必要です。1μFのコンデンサがこの役割を果たすことができますが、LT8604の近くに配置した場合にのみ有効です(PCBレイアウトのセクションを参照)。セラミックの入力コンデンサに関する2つ目の注意点は、LT8604の最大入力電圧定格に関することです。セラミックの入力コンデンサは、パターン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。LT8604の回路を通電中の電源に接続すると、入力電圧にリングングが生じ、この電圧が公称値の2倍になってLT8604の電圧定格を超えるおそれがあります。この状況は簡単に回避できます(アナログ・デバイセズ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、インダクタと共に、LT8604で発生する方形波をフィルタリングしてDC出力を生成します。この機能では、出力コンデンサによって出力リップルが決まるため、スイッチング周波数でインピーダンスが低いことが重要です。2番目の

アプリケーション情報

機能は、トランジェント負荷に適合し、LT8604の制御ループを安定させるために、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、最高のリップル性能が得られます。適切な初期値は次式で求められます。

$$C_{OUT} = \frac{50}{V_{OUT} f_{SW}}$$

ここで、 f_{SW} はスイッチング周波数(MHz)、 V_{OUT} は出力電圧、 C_{OUT} は推奨する出力容量(μF)です。X5RタイプまたはX7Rタイプを使用してください。このタイプを選択すると、出力リップルが小さくなり、過渡応答が向上します。大きな値の出力コンデンサを使用し、 V_{OUT} ピンとFBピンの間にフィードフォワード・コンデンサを付加することにより、トランジェント性能を改善できます。また、出力容量を大きくすると出力電圧リップルが小さくなります。値の小さな出力コンデンサを使用するとスペースとコストを節約できますが、トランジェント性能が低下し、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、データシートに特別な注意を払い、電圧バイアスと温度に関連する動作条件下で実効容量を計算する必要があります。物理的に大きなコンデンサまたは電圧定格の高いコンデンサが必要になることがあります。

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が非常に低いコンデンサです。ただし、セラミック・コンデンサには圧電特性があるため、LT8604と共に使用すると問題が発生することがあります。Burst Mode動作のとき、LT8604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、LT8604はオーディオ周波数でセラミック・コンデンサを励起し、オーディオ・ノイズを発生させることがあります。LT8604はBurst Mode動作時に低い電流制限値で動作するため、ノイズは一般的に非常に低くなっています。これが許容できない場合は、出力に高性能のタンタル・コンデンサまたは電解コンデンサを使用してください。

セラミック・コンデンサに関する最後の注意点は、LT8604の最大入力電圧定格に関することです。前述のように、セラミックの入力コンデンサはパターン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。LT8604の回路を通電中の電源に接続すると、入力電圧にリンギングが生じ、この電圧が公称値の2倍になってLT8604の電圧定格を超えるおそれがあります。この状況

は簡単に回避できます(アナログ・デバイセズのアプリケーション・ノート88を参照)。

EN/UVピン

LT8604は、EN/UVピンがローのときにシャットダウン状態になり、このピンがハイのときにアクティブになります。EN/UVコンパレータの立上がり閾値は1.05Vで、50mVのヒステリシスがあります。シャットダウン機能を使用しない場合、EN/UVピンは V_{IN} に接続できます。また、シャットダウン制御が必要な場合、このピンはロジック・レベルに接続できます。

抵抗分圧器を V_{IN} とEN/UVピンの間に付加すると、 V_{IN} が目的の電圧より高くなった場合にのみ、LT8604が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、この閾値 $V_{IN(EN/UV)}$ は、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高い場合に使用されます。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。 $V_{IN(EN/UV)}$ 閾値は、これらの問題が発生するおそ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。この閾値は、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。

$$R3 = \left(\frac{V_{IN(EN/UV)}}{1V} - 1 \right) \cdot R4$$

この場合は、 V_{IN} が $V_{IN(EN/UV)}$ を超えるまでLT8604はオフを維持します。コンパレータのヒステリシスのため、入力が $V_{IN(EN/UV)}$ よりわずかに低くなって初めてスイッチングが停止します。

軽負荷電流の場合、 $V_{IN(EN/UV)}$ の抵抗ネットワークを流れる電流が、LT8604の消費する電源電流を簡単に超えることがあります。したがって、 $V_{IN(EN/UV)}$ の抵抗を大きくして、軽負荷での効率に及ぼす影響を最小限に抑える必要があります。

INTV_{CC}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} 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、LT8604の回路に十分な電流を供給可能であり、1 μF 以上のセラミック・コンデンサを使用してグラウンドにバイパスする必要があります。パワー MOSFET ゲート・ドライバに必要な高過渡電流を供給するには、良好なバイパスが必要です。効率を向上させるために、BIASピンの電圧が3.2V以上の場合には、内部のLDOにはBIASピンか

アプリケーション情報

ら電流を供給することもできます。通常、BIASピンはLT8604の出力、または3.3V以上の外部電源に接続できます。BIASピンを V_{OUT} 以外の電源に接続する場合は、必ずこのピンの近くにセラミック・コンデンサを配置してバイパスしてください。BIASピンの電圧が3.0Vより低い場合は、内部のLDOは V_{IN} から流れ込む電流を消費します。 V_{IN} からの電流が内部のLDOに流れ込むアプリケーションで、入力電圧が高く、スイッチング周波数が高い場合は、LDOで消費電力が大きくなるため、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

LT8604では、TR/SSピンによって出力電圧の上昇率／下降率を設定できます。内部の2 μ A電流源により、TR/SSピンの電圧はINTV_{CC}に引き上げられます。コンデンサをTR/SSピンに外付けすると、出力がソフトスタートするため、入力電源の電流サージを防ぐことができます。ソフトスタートによる電圧上昇時に、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。TR/SSピンの電圧が0V～0.778Vの範囲では、TR/SSピンの電圧がエラー・アンプへの0.778Vの内部リファレンス入力より優先されるので、FBピンの電圧はTR/SSピンの電圧になるように調整されます。TR/SSピンの電圧が0.778V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なるように調整されます。

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おり、この回路は、故障状態になると外付けのソフトスタート・コンデンサを放電し、故障状態が解消され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ような故障状態になるのは、EN/UVピンがローに遷移した場合、 V_{IN} の電圧が低下しすぎた場合、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

LT8604の出力電圧がレギュレーション・ポイントの $\pm 7.5\%$ の範囲内(つまり、 V_{FB} の電圧が0.720V～0.836V(代表値)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、オープンドレインの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ハイになります。そうでない場合は、内部のドレイン・プルダウン・デバイスにより、PGピンはローになります。グリッチの発生を防ぐため、上側と下側の両閾値には0.5%のヒステリシスが含まれています。

PGピンは、以下のいくつかの故障状態になった場合にも自動的にローになります。つまり、EN/UVピンの電圧が1V未満になった場合、INTV_{CC}が低下しすぎた場合、 V_{IN} が低下しすぎた場合、またはサーマル・シャットダウンが発生した場合です。

短絡入力と逆入力に対する保護

LT8604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に、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、スイッチング周波数をフォールドバックする機能です。2つ目は、インダクタ電流が安全なレベルを超えた場合に、インダクタ電流が安全なレベルに減少するまで、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をモニタする機能です。この機能によって、LT8604を個々のアプリケーションに適合させたり、短絡状態のときに放熱を制限したりすることができます。

LT8604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。この状況が発生する可能性があるのは、バッテリーや他の電源がLT8604の出力とダイオードOR接続されている場合で、バッテリー充電アプリケーションやバッテリー・バックアップ・システムなどが挙げられます。 V_{IN} ピンをフロート状態にすることができる場合で、EN/UV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)ハイに保持されていると、LT8604のSWピンを介してLT8604の内部回路に静止電流が流れ込みます。この状態でシステムが数 μ Aに耐えられる場合は許容できます。EN/UVピンを接地している場合、SWピンの電流は0.7 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} ピンを接地すると、EN/UVピンの状態に関係なく、出力からSWピンと V_{IN} ピンを通して、LT8604内部の寄生ボディ・ダイオードに電流が流れ込む可能性があります。入力電圧が印加されている場合にのみLT8604が動作でき、短絡入力や逆入力からLT8604を保護するための V_{IN} ピンとEN/UVピンの接続を図3に示します。

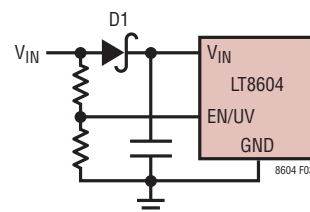


図3. 逆入力電圧 (V_{IN}) 保護

アプリケーション情報

PCBレイアウト

正常に動作させ、EMIを最小限に抑えるには、プリント回路基板のレイアウト時に注意を払う必要があります。推奨部品配置と、パターン、グラウンド・プレーン、およびビアの位置を図4に示します。LT8604の V_{IN} ピン、GNDピン、および入力コンデンサ(C_{IN})に大量のスウィッチング電流が流れることに注意してください。入力コンデンサを V_{IN} ピンとGNDピンの近くに配置することにより、入力コンデンサによって形成されるループを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、形成されるループが大きくなりすぎる可能性があります。この場合には、小型で値の小さなコンデンサを V_{IN} ピンとGNDピンの近くに配置して、大型のコンデンサを遠くに配置することを推奨します。これらの部品に加えて、インダクタと出力コンデンサも回路基板の同じ側に配置し、それらの接続も同じ層上で行う必

要があります。表面層に最も近い層に構成されたアプリケーション回路の下には、グラウンド・プレーンを局所的に切れ目なく配置します。SWノードとBOOSTノードは、できるだけ小さくする必要があります。最後に、FBノードとRTノードを小さくしておくことで、グラウンド・パターンがそれらのノードをシールドして、SWノードとBOOSTノードからの影響を受けないようにします。パッケージ底面の露出パッドは、電氣的にグラウンドに接続され、熱的にヒート・シンクとして機能するように、グラウンドにハンダ付けする必要があります。熱抵抗を小さく保つために、グラウンド・プレーンをできるだけ広げ、LT8604の近くから回路基板内および裏側の別のグラウンド・プレーンまでサーマル・ビアを複数配置します。

レイアウト例についての基本的なガイドラインを図4に示します。

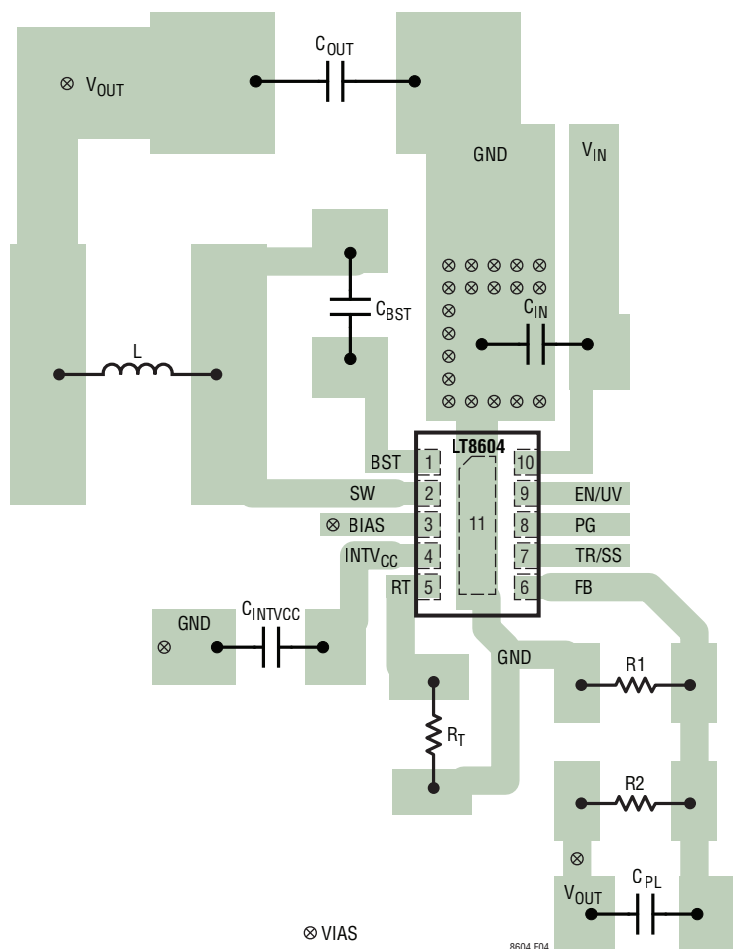
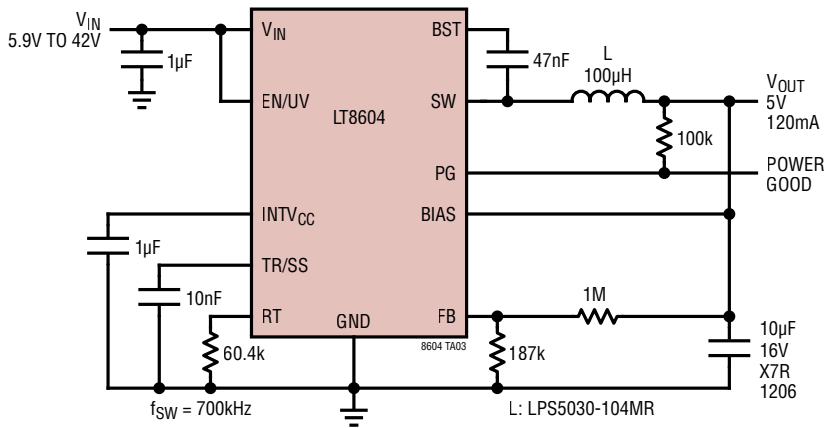


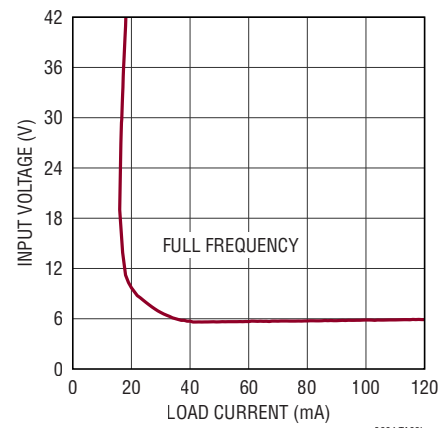
図4. PCB 推奨レイアウト(実物大ではありません)

標準的応用例

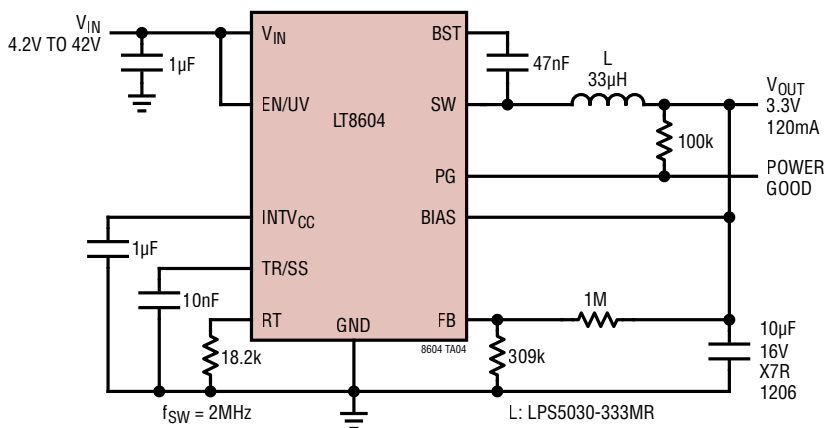
5V 降圧コンバータ



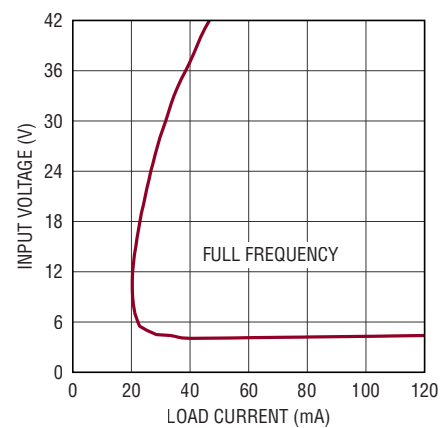
最大周波数に達する最小負荷 (代表的な性能)



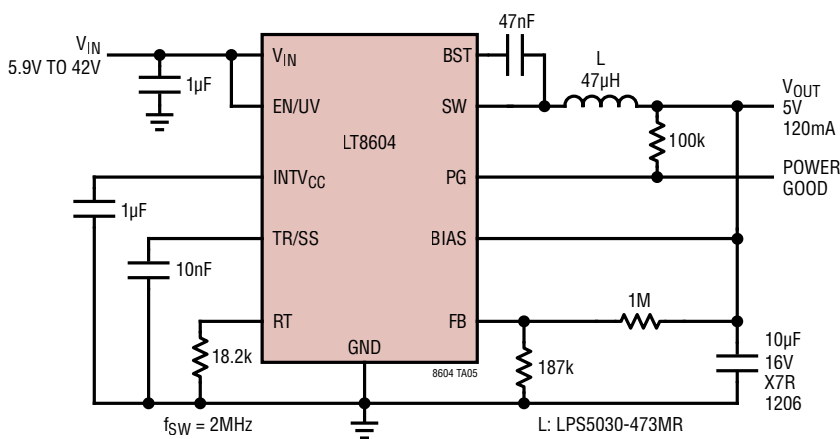
3.3V 2MHz 降圧コンバータ



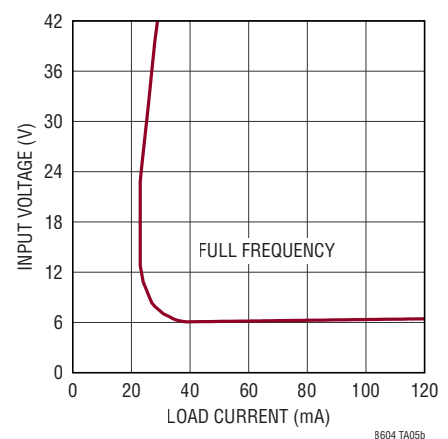
最大周波数に達する最小負荷 (代表的な性能)



5V 2MHz 降圧コンバータ

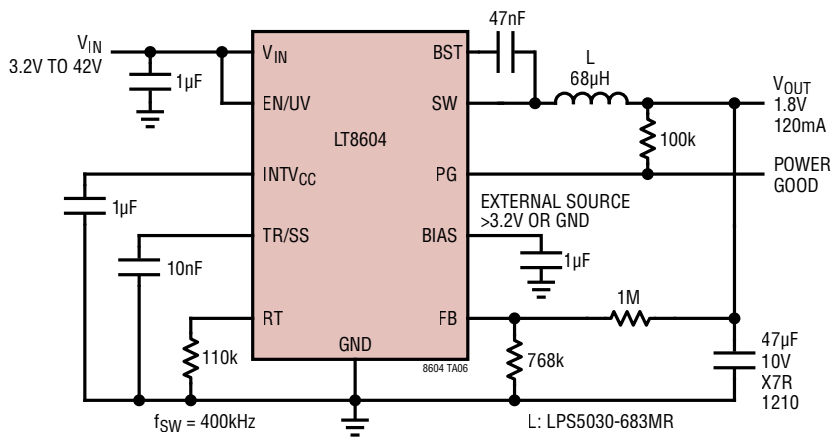


最大周波数に達する最小負荷 (代表的な性能)

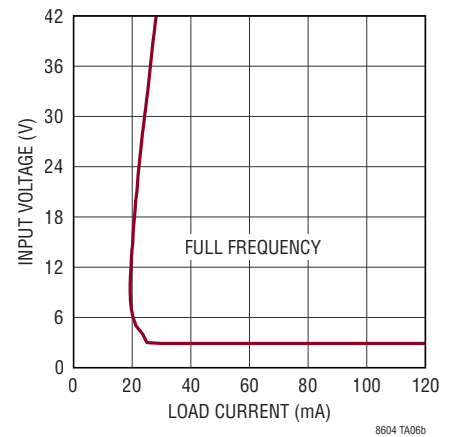


標準的応用例

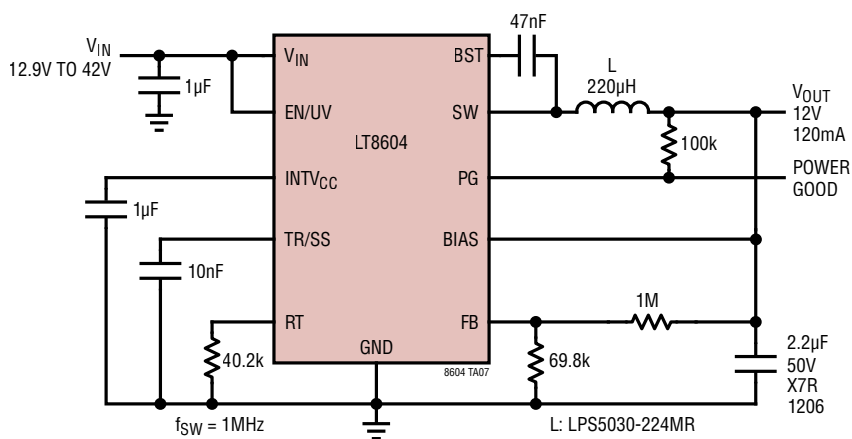
1.8V 降圧コンバータ



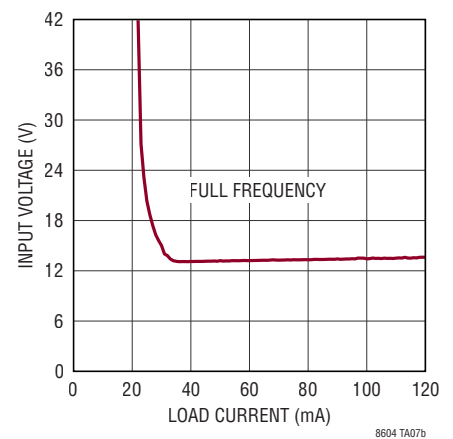
最大周波数に達する最小負荷 (代表的な性能)



12V 降圧コンバータ

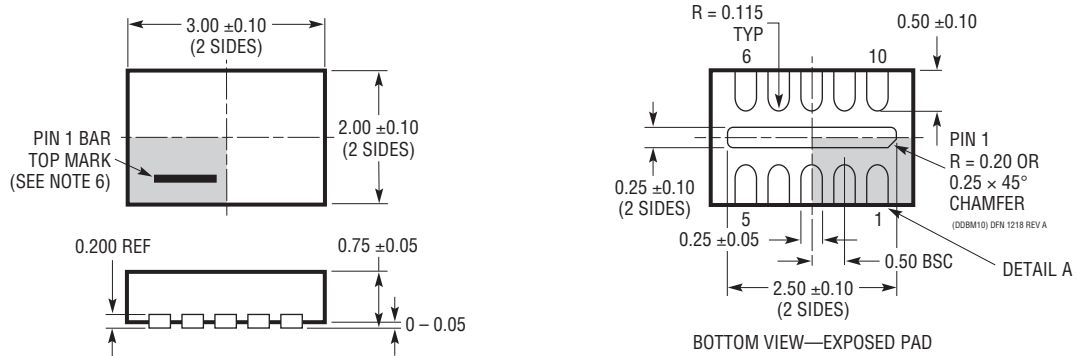


最大周波数に達する最小負荷 (代表的な性能)



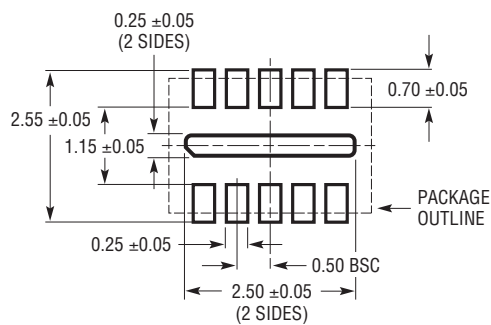
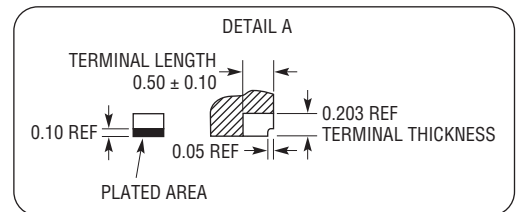
パッケージ

DDBM Package
10-Lead Plastic SIDE WETTABLE DFN (3mm × 2mm)
 (Reference LTC DWG # 05-08-1655 Rev A)



NOTE:

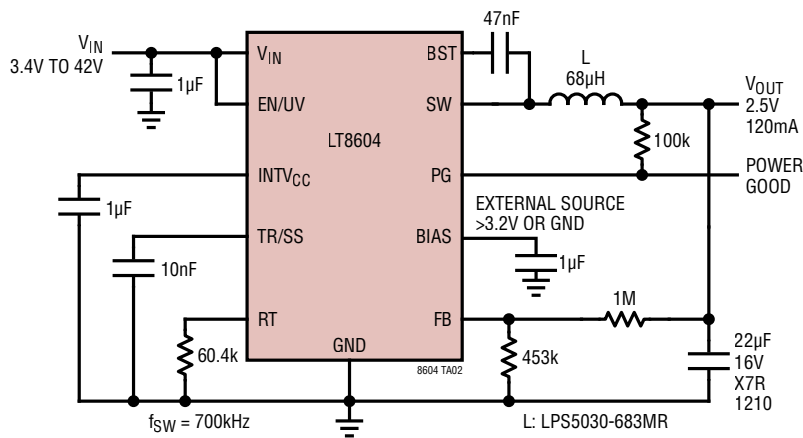
1. DRAWING CONFORMS TO VERSION (WECD-1) IN JEDEC PACKAGE OUTLINE M0-229
2. DRAWING NOT TO SCALE
3. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
4. DIMENSIONS OF EXPOSED PAD ON BOTTOM OF PACKAGE DO NOT INCLUDE MOLD FLASH. MOLD FLASH, IF PRESENT, SHALL NOT EXCEED 0.15mm ON ANY SIDE
5. EXPOSED PAD SHALL BE SOLDER PLATED
6. SHADED AREA IS ONLY A REFERENCE FOR PIN 1 LOCATION ON THE TOP AND BOTTOM OF PACKAGE



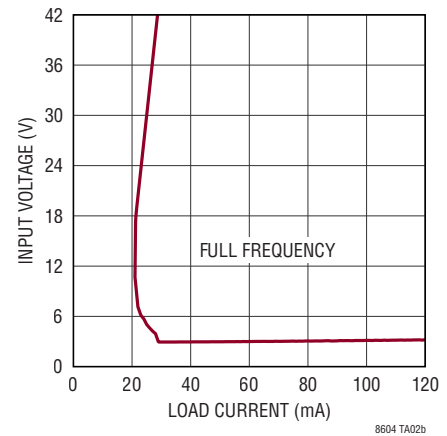
RECOMMENDED SOLDER PAD PITCH AND DIMENSIONS

標準的応用例

2.5V 降圧コンバータ



最大周波数に達する最小負荷 (代表的な性能)



関連製品

製品番号	概要	注釈
LT8618	効率が90%の65V、100mA、2.2MHz同期整流式マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ ($I_Q = 2.5\mu A$)	$V_{IN} = 3.4V \sim 60V$ (絶対最大定格65V)、 $V_{OUT(MIN)} = 0.778V$ 、 $I_Q = 2.5\mu A$ 、 $I_{SD} < 1\mu A$ 、2mm × 3mm DFN-10パッケージ
LT8609/ LT8609A	効率が93%の42V、2A/3A (ピーク電流)、2.2MHz同期整流式マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ ($I_Q = 2.5\mu A$)	$V_{IN} = 3.2V \sim 42V$ 、 $V_{OUT(MIN)} = 0.8V$ 、 $I_Q = 2.5\mu A$ 、 $I_{SD} < 1\mu A$ 、MSOP-10Eパッケージ
LT8610A/ LT8610AB	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 ($I_Q = 2.5\mu A$)	$V_{IN} = 3.4V \sim 42V$ 、 $V_{OUT(MIN)} = 0.97V$ 、 $I_Q = 2.5\mu A$ 、 $I_{SD} < 1\mu A$ 、MSOP-16Eパッケージ
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 ($I_Q = 2.5\mu A$)	$V_{IN} = 3V \sim 42V$ 、 $V_{OUT(MIN)} = 0.8V$ 、 $I_Q = 2.5\mu A$ 、 $I_{SD} < 1\mu A$ 、MSOP-16Eパッケージ
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 ($I_Q = 2.5\mu A$)	$V_{IN} = 3.4V \sim 42V$ 、 $V_{OUT(MIN)} = 0.97V$ 、 $I_Q = 2.5\mu A$ 、 $I_{SD} < 1\mu A$ 、MSOP-16Eパッケージ
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 ($I_Q = 2.5\mu A$ 、入出力電流制限/モニタ機能あり)	$V_{IN} = 3.4V \sim 42V$ 、 $V_{OUT(MIN)} = 0.97V$ 、 $I_Q = 2.5\mu A$ 、 $I_{SD} < 1\mu A$ 、3mm × 5mm QFN-24パッケージ
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 ($I_Q = 5\mu A$)	$V_{IN} = 3.4V \sim 42V$ 、 $V_{OUT(MIN)} = 0.8V$ 、 $I_Q = 5\mu A$ 、 $I_{SD} < 1\mu A$ 、TSSOP-28E、3mm × 6mm QFN-28パッケージ
LT8620	効率が96%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 ($I_Q = 2.5\mu A$)	$V_{IN} = 3.4V \sim 65V$ 、 $V_{OUT(MIN)} = 0.97V$ 、 $I_Q = 2.5\mu A$ 、 $I_{SD} < 1\mu A$ 、MSOP-16E、3mm × 5mm QFN-24パッケージ
LT8614	効率が96%の42V、4A、2.2MHz同期整流式マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ ($I_Q = 2.5\mu A$)	$V_{IN} = 3.4V \sim 42V$ 、 $V_{OUT(MIN)} = 0.97V$ 、 $I_Q = 2.5\mu A$ 、 $I_{SD} < 1\mu A$ 、3mm × 4mm QFN-18パッケージ
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 ($I_Q = 2.5\mu A$)	$V_{IN} = 3.4V \sim 42V$ 、 $V_{OUT(MIN)} = 0.97V$ 、 $I_Q = 3.0\mu A$ 、 $I_{SD} < 1\mu A$ 、3mm × 6mm QFN-28パッケージ
LT8640	効率が96%の42V、5A/7A (ピーク電流)、3MHz同期整流式マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ ($I_Q = 2.5\mu A$)	$V_{IN} = 3.4V \sim 42V$ 、 $V_{OUT(MIN)} = 0.97V$ 、 $I_Q = 2.5\mu A$ 、 $I_{SD} < 1\mu A$ 、3mm × 4mm QFN-18パッケージ
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 ($I_Q = 25\mu A$)	$V_{IN} = 3V \sim 42V$ 、 $V_{OUT(MIN)} = 0.8V$ 、 $I_Q = 25\mu A$ 、 $I_{SD} < 1\mu A$ 、6mm × 6mm QFN-40パッケージ