42V、10A/12Aピーク、同期整流式降圧Silent Switcher 2

特長

- **Silent Switcher®2（サイレント・スイッチャ2）アーキテクチャ**
  - **あらゆるPCB上で超低EMI放出を実現**
  - **PCBレイアウト感度の影響を排除**
  - **内蔵バイパス・コンデンサが放射EMIを低減**
  - **オプションのスペクトラム拡散変調**
- **高周波数で高い効率**
  - **1MHz、12V_{IN}～5V_{OUT}で最大96%の効率**
  - **2MHz、12V_{IN}～5V_{OUT}で最大94%の効率**
- **広い入力電圧範囲：2.8V～42V**
- **最大連続出力10A、ピーク・トランジェント出力12A**
- 外部補償による高速過渡応答
- 低静止電流のBurst Mode®動作
  - I_Q = 90µAで12V_{IN}から5V_{OUT}へのレギュレーション
  - 出力リップル < 10mV_{P-P}
- リファレンス精度：全温度範囲で±1%
- 高速最小スイッチオン時間：25ns
- PolyPhase®動作：最大12相
- すべての条件下で低ドロップアウト：45mV/1A
- 調整と同期が可能：200kHz～3MHz
- 出力ソフトスタートとパワーグッド
- 逆方向の大電流にも安全に対応可能
- 28ピン、5mm × 4mm LQFNパッケージ
- オートモーティブ・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

- オートモーティブ用および工業用電源
- 汎用降圧

概要

LT®8638S同期整流式降圧レギュレータは、EMI放出を最小限に抑えながら高スイッチング周波数で高い効率を実現するように設計された、第2世代のSilent Switcher（サイレント・スイッチャ）アーキテクチャを採用しています。このアーキテクチャは、内部のすべての高速電流ループを最適化する入力コンデンサを内蔵しています。また、レイアウト感度を低減することによって、公称EMI性能の実現を容易にします。この性能により、LT8638Sはノイズに敏感なアプリケーションと環境に最適なデバイスとなっています。

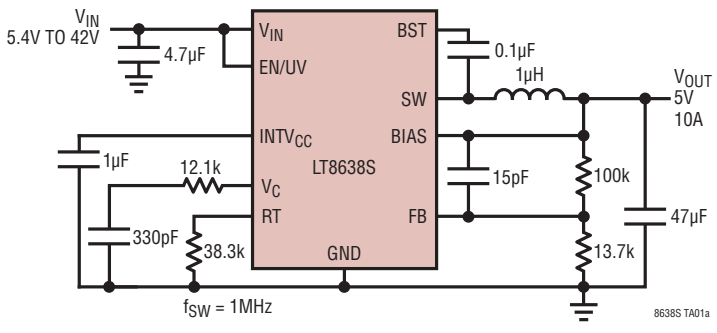
高速でクリーンな上にオーバーシュートの小さいスイッチング・エッジにより、高スイッチング周波数でも高効率の動作が可能で、全体的なソリューション・サイズを小さく抑えることができます。また、25nsという極めて低い最小オン時間のピーク電流モード制御により、高スイッチング周波数でも高い降圧比を実現します。V_Cピンからの外部補償により、高速の過渡応答が可能です。PolyPhase動作を使用すれば、位相シフトをインターリーブして複数のLT8638Sレギュレータを動作させ、より大きな出力電流を得ることができます。

Burst Mode動作はスタンバイ時の消費電流を低く抑え、強制連続モードは全出力負荷範囲を通じて高調波を制御できます。また、スペクトラム拡散動作時にはEMI放射を更に低減することが可能です。SSピンを通じてソフトスタートおよびトラッキング機能にアクセスできるほか、EN/UVピンを使って高精度の入力電圧UVLO閾値を設定することができます。

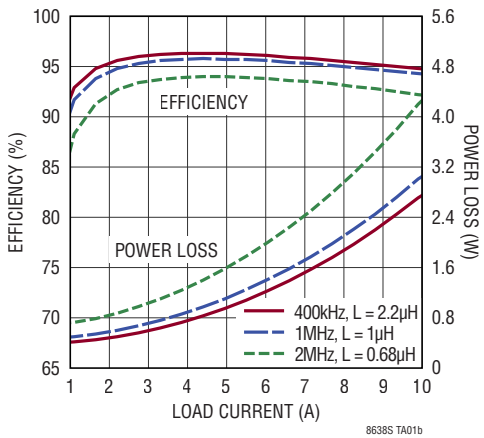
全ての登録商標および商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。第8823345号を含む米国特許により保護されています。

標準的応用例

5V/10A降圧コンバータ



12V_{IN}、5V_{OUT}時の効率

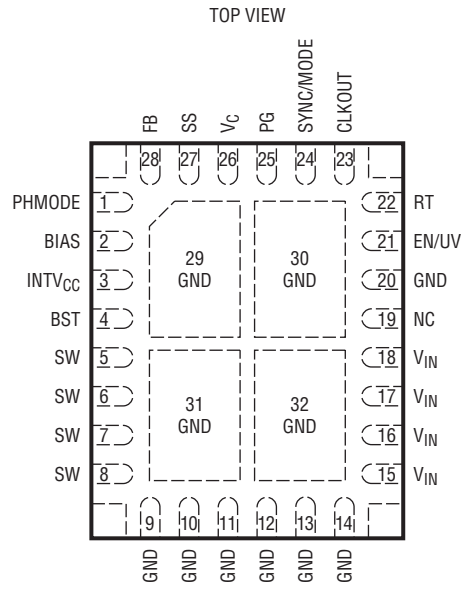


絶対最大定格

(Note 1)

V_{IN}、EN/UV、PG.....42V
BIAS 25V
FB、SS、PHMODE.....4V
SYNC/MODE 電圧 6V
動作ジャンクション温度範囲(Note 2)
　LT8638SE .....–40°C～125°C
　LT8638SJ .....–40°C～150°C
保存温度範囲 .....–65°C～150°C
最大リフロー(パッケージ・ボディ)温度.....260°C

ピン配置



LQFN PACKAGE
28-LEAD (5mm × 4mm × 0.94mm)
JEDEC BOARD: θ_{JA} = 30°C/W, $\theta_{JC(TOP)}$ = 14.7°C/W, $\theta_{JC(PAD)}$ = 2.7°C/W (Note 3)
DEMO BOARD: θ_{JA} = 19°C/W, Ψ_{JT} = 0.1°C/W
EXPOSED PAD (PINS 29-32) ARE GND, SHOULD BE SOLDERED TO PCB

発注情報

部品番号	パッドまたはボール仕上げ	部品マーキング*		パッケージタイプ**	MSLレーティング	温度範囲(Note 2)
		デバイス	仕上げコード			
LT8638SEV#PBF	Au (RoHS)	8638S	e4	LQFN(QFNフットプリントの積層パッケージ)	3	–40°C～125°C
LT8638SJV#PBF						–40°C～150°C
オートモーティブ製品* **						
LT8638SEV#WPBF	Au (RoHS)	8638S	e4	LQFN(QFNフットプリントの積層パッケージ)	3	–40°C～125°C
LT8638SJV#WPBF						–40°C～150°C

- 拡張動作温度範囲仕様の部品についてはアナログ・デバイセズまでお問い合わせください。
  *パッドまたはボールの仕上げコードはIPC/JEDEC J-STD-609によります。
- デバイスの温度グレードは出荷容器のラベルに表示されています。

- 推奨されるLGAおよびBGA PCBのアセンブリおよび製造手順
- LGAおよびBGAのパッケージ図面とトレイ図面

製品番号末尾がPBFで終わっている製品は、RoHSおよびWEEEに準拠しています。 ** LT8638Sのパッケージ寸法は、標準の5mm × 4mm QFNパッケージと同じです。

*** このデバイスの各種バージョンは、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工程を通じて提供されています。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・デバイセズまでお問い合わせください。

電気的特性

● は、全動作温度範囲に適用される仕様であることを示します。それ以外の仕様は T_A = 25°C での値です。

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Minimum Input Voltage	f_{SW} = 2MHz	●		2.6	2.8	V
V_{IN} Quiescent Current in Shutdown	$V_{EN/UV}$ = 0V, V_{IN} = 12V			6	9	µA
V_{IN} Quiescent Current in Sleep	$V_{EN/UV}$ = 2V, V_{FB} > 0.6V, V_{SYNC} = 0V, V_{BIAS} = 0V	 ●		125 125	195 245	µA µA
	$V_{EN/UV}$ = 2V, V_{FB} > 0.6V, V_{SYNC} = 0V, V_{BIAS} = 5V			20	29	µA
BIAS Quiescent Current in Sleep	$V_{EN/UV}$ = 2V, V_{FB} > 0.6V, V_{SYNC} = 0V, V_{BIAS} = 5V			100	145	µA
Feedback Reference Voltage	V_{IN} = 12V V_{IN} = 12V	 ●	0.598 0.594	0.6 0.6	0.602 0.604	V V
Feedback Voltage Line Regulation	V_{IN} = 4.0V to 40V, V_{CC} = 1.25V	●		0.004	0.03	%/V
Feedback Pin Input Current	V_{FB} = 0.6V		–20		20	nA
Error Amp Transconductance	V_C = 1.25V		1.05	1.4	1.75	mS
Error Amp Gain				700		
V_C Source Current	V_{FB} = 0.4V, V_C = 1.25V			320		µA
V_C Sink Current	V_{FB} = 0.8V, V_C = 1.25V			320		µA
V_C Pin to Switch Current Gain				12		A/V
V_C Clamp Voltage				2.3		V
BIAS Pin Current Consumption	V_{BIAS} = 3.3V, f_{SW} = 2MHz, V_{IN} = 12V			45		mA
Minimum On-Time	I_{LOAD} = 3A, FCM	●		25	40	ns
Minimum Off-Time				80	100	ns
Oscillator Frequency	R_T = 226k R_T = 38.3k R_T = 16.9k	● ● ●	170 0.96 1.85	200 1 2	230 1.04 2.15	kHz MHz MHz
Top Power NMOS On-Resistance	I_{SW} = 1A			20		mΩ
Top Power NMOS Current Limit		●	17	20	23	A
Bottom Power NMOS On-Resistance	V_{INTVCC} = 3.4V, I_{SW} = 1A			8		mΩ
Bottom Power NMOS Current Limit	V_{INTVCC} = 3.4V		12	15.5	19	A
SW Leakage Current	V_{IN} = 42V, V_{SW} = 0V, 42V		–1.5		1.5	µA
EN/UV Pin Threshold	EN/UV Rising	●	0.93	0.98	1.03	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} Rising	●	6	7.75	9.5	%
PG Lower Threshold Offset from V_{FB}	V_{FB} Falling	●	–9.5	–7.75	–6	%
PG Hysteresis				0.4		%
PG Leakage	V_{PG} = 3.3V		–80		80	nA
PG Pull-Down Resistance	V_{PG} = 0.1V	●		600	2000	Ω
SYNC/MODE Threshold	SYNC/MODE DC and Clock Low Level Voltage SYNC/MODE Clock High Level Voltage SYNC/MODE DC High Level Voltage	● ● ●	0.7 2.2		 1.5 2.9	V V V
Spread Spectrum Modulation Frequency Range	R_T = 38.3k			24		%

電気的特性

● は、全動作温度範囲に適用される仕様であることを示します。それ以外の仕様は T_A = 25°C での値です。

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Spread Spectrum Modulation Frequency				3		kHz
SS Source Current		●	1.3	2.0	2.7	µA
SS Pull-Down Resistance	Fault Condition, SS = 0.1V			200		Ω
V_{IN} to Disable Forced Continuous Mode	V_{IN} Rising		35	37	39	V
PHMODE Thresholds	Between 180° and 120° Between 120° and 90°		0.7 2.2		1.5 2.9	V V

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：LT8638SE は、0°C～125°C のジャンクション温度で性能仕様を満たすことが保証されています。–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認されています。LT8638SJ は -40°C～150°C の全動作ジャンクション温度範囲での動作が確保されています。ジャンクション温度が高い場合は動作寿命が低下します。このような寿命の低下は 125°C を超えると始まります。ジャンクション温度（T_J、°C）は、次式を使って周囲温度（T_A、°C）と消費電力（PD、ワット）から計算します。

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

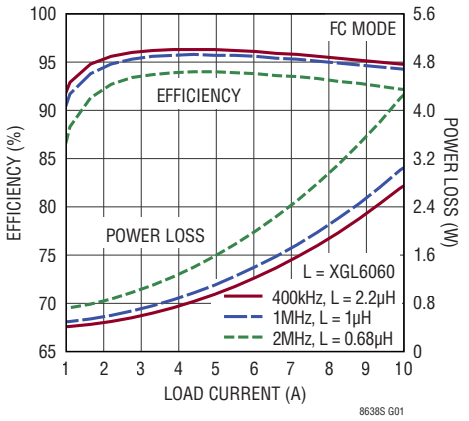
ここで、θ_{JA}（°C/W）はパッケージの熱抵抗です。

Note 3：θ の値は JEDEC 51-7、51-12 に従って決定されます。熱抵抗の改善と、代表的な動作条件下におけるデモ・ボードの実際の温度測定値については、Applications Information のセクションを参照してください。

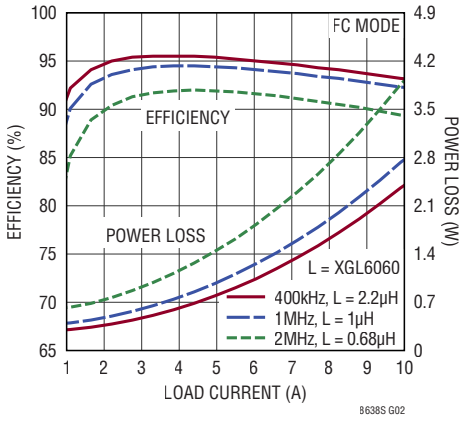
Note 4：この IC は、過負荷状態からデバイスを保護することを目的とした過熱保護機能を備えています。ジャンクション温度が 150°C を超えると、加熱保護機能がアクティブになります。仕様規定された最大動作ジャンクション温度を超えてデバイスを連続動作させると、寿命が短くなります。

代表的な性能特性

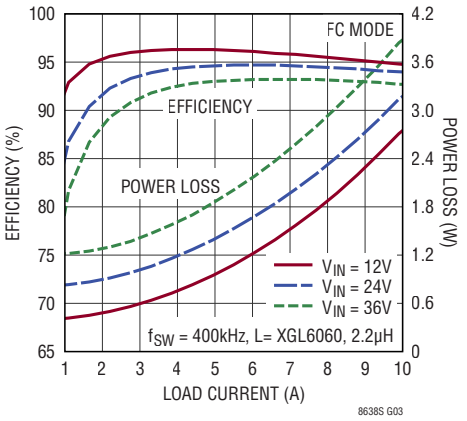
効率と周波数の関係
12V_{IN}、5V_{OUT}



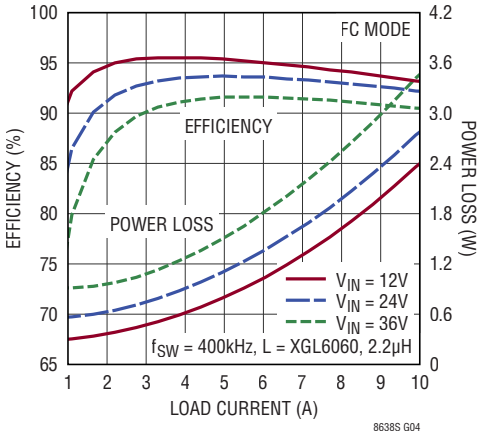
効率と周波数の関係
12V_{IN}、3.3V_{OUT}



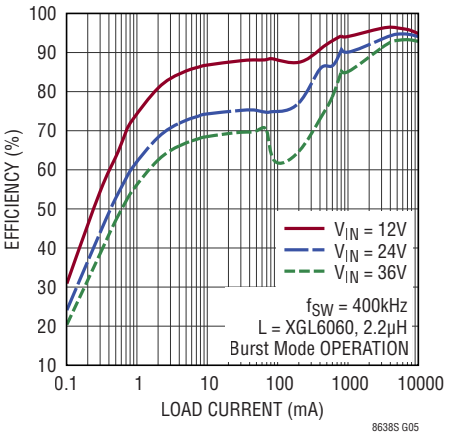
効率、5V_{OUT} 時



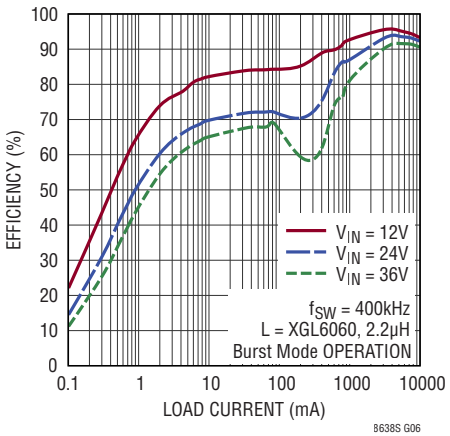
効率、3.3V_{OUT} 時



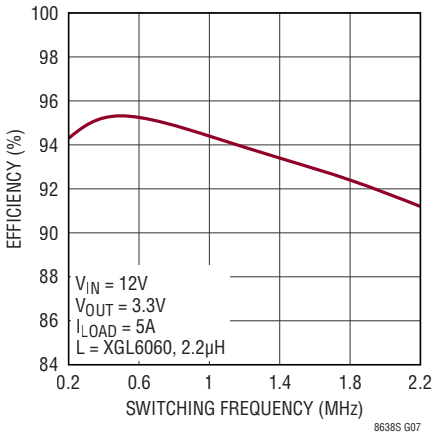
軽負荷時の効率、5V_{OUT}



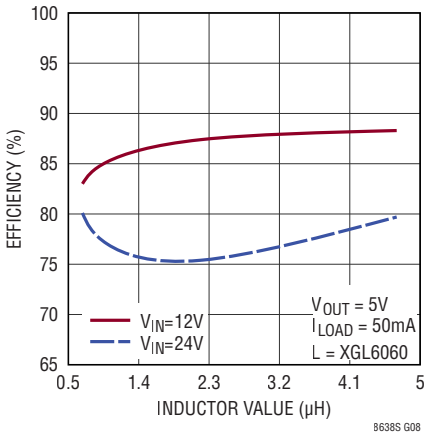
軽負荷時の効率、3.3V_{OUT}



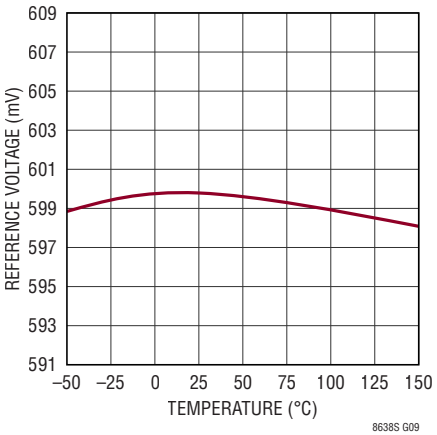
効率と周波数の関係



Burst Mode動作の効率と
インダクタ値の関係

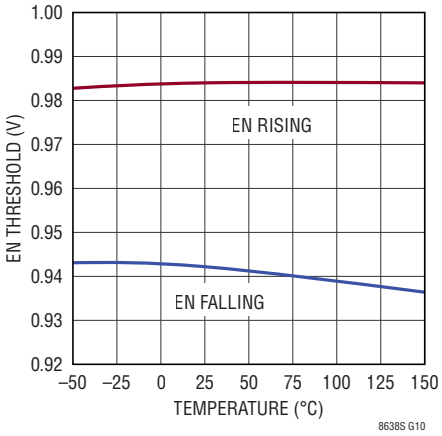


リファレンス電圧

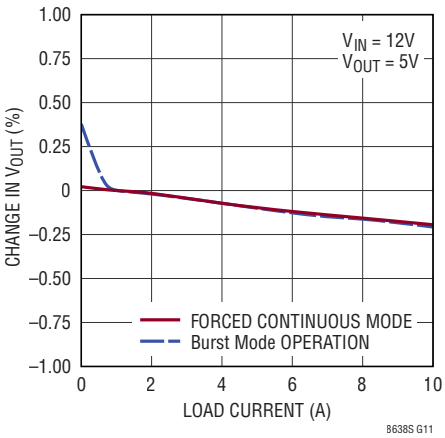


代表的な性能特性

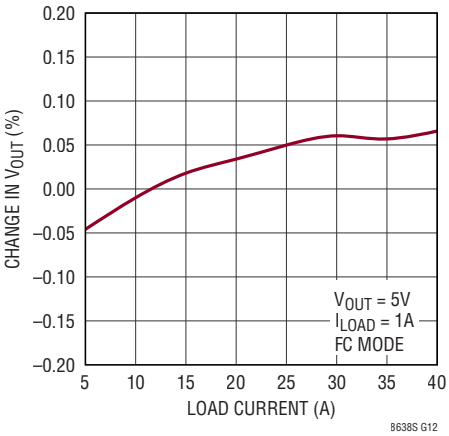
ENピン閾値



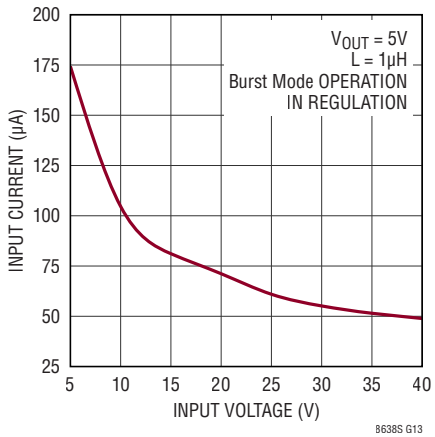
負荷レギュレーション



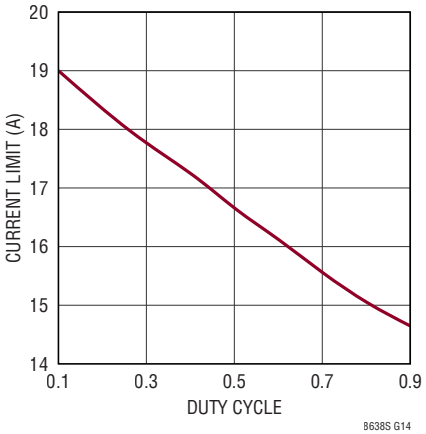
ライン・レギュレーション



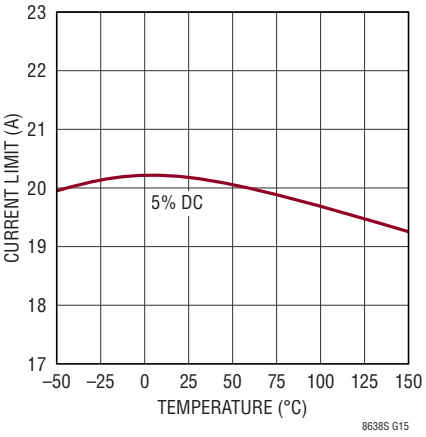
無負荷時の電源電流



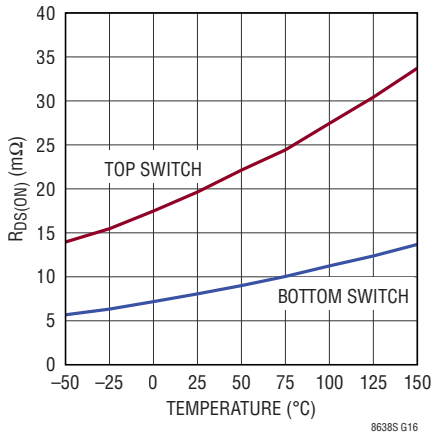
上側FET電流制限値とデューティ・サイクルの関係



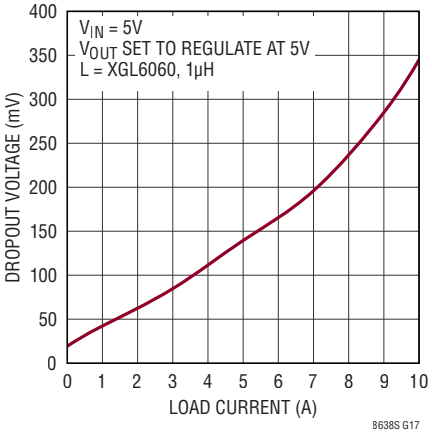
上側FET電流制限と温度の関係



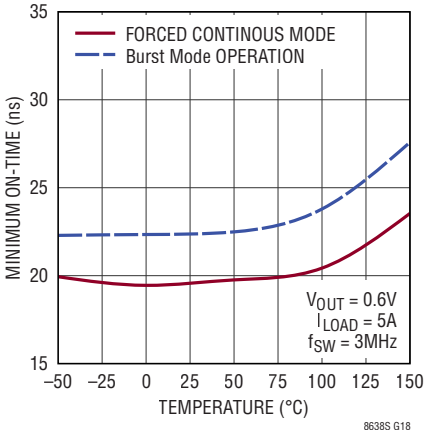
スイッチの $R_{DS(ON)}$ と温度の関係



ドロップアウト電圧



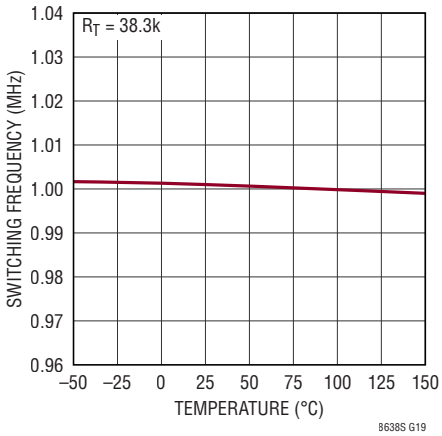
最小オン時間



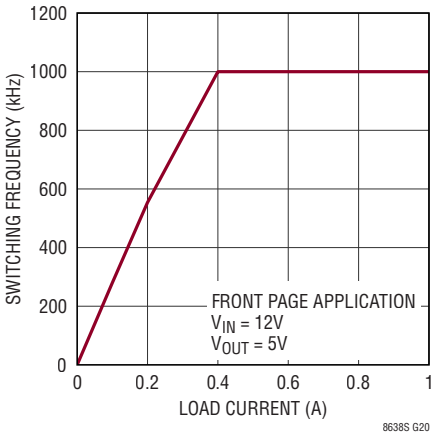
Rev. 0

代表的な性能特性

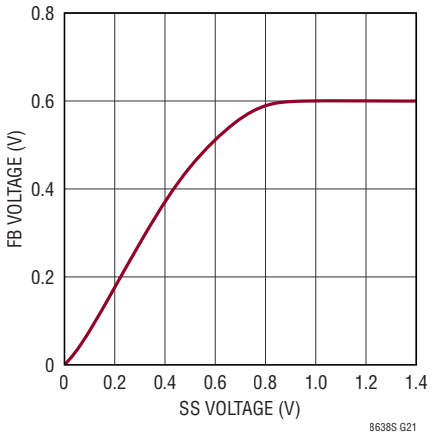
スイッチング周波数



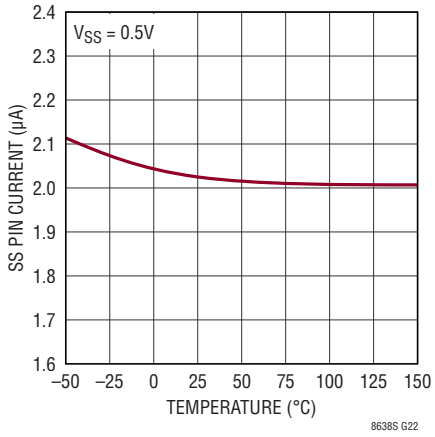
バースト周波数



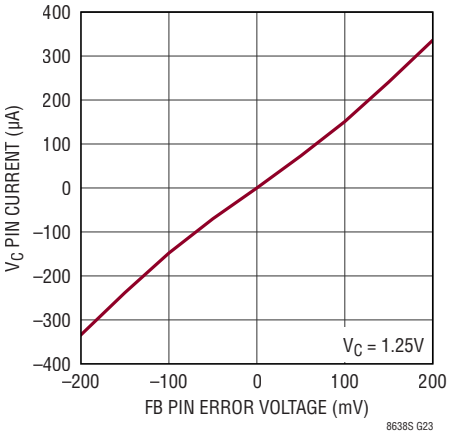
ソフトスタート・トラッキング



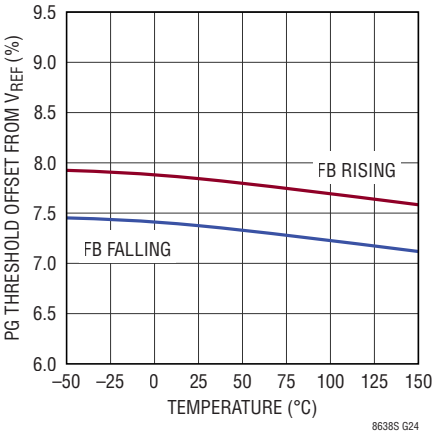
ソフトスタート電流



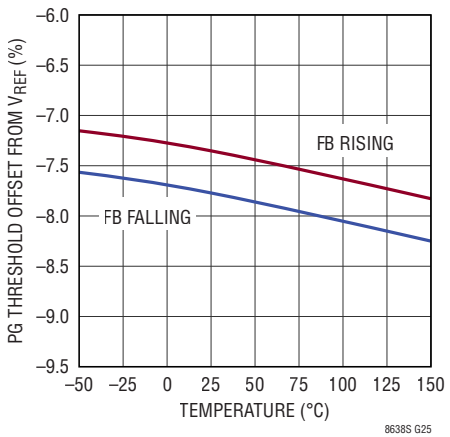
エラー・アンプ出力電流



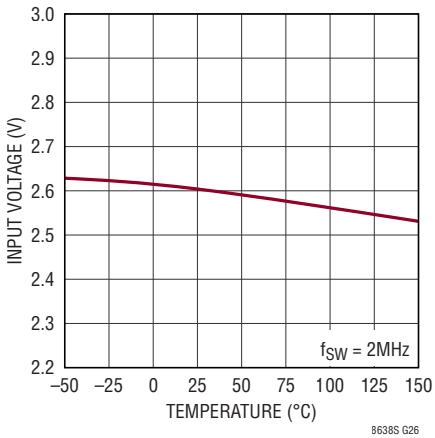
PG 閾値、V_{REF} 上側



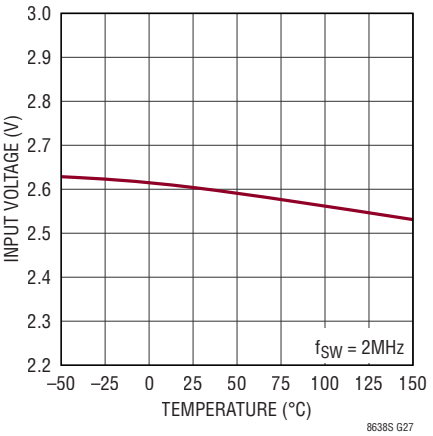
PG 閾値、VREF 下側



R_T 設定によるスイッチング周波数

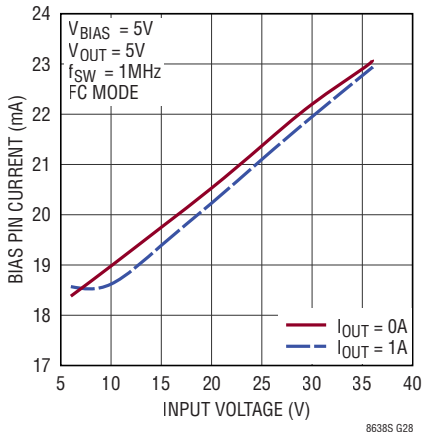


最小入力電圧

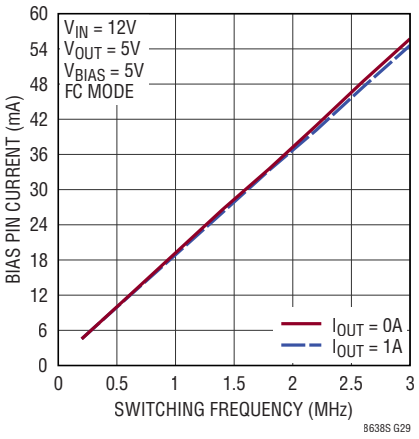


代表的な性能特性

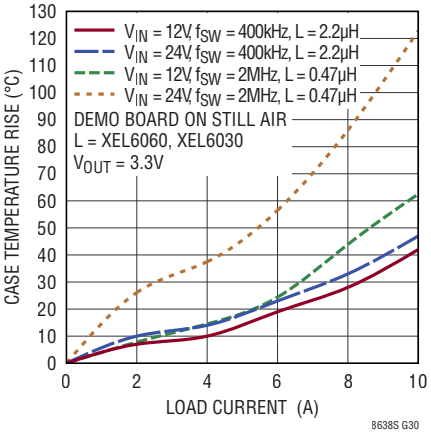
バイアス・ピン電流と入力電圧の関係



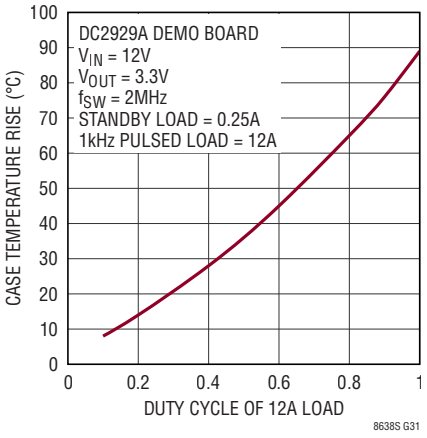
バイアス・ピン電流とスイッチング周波数の関係



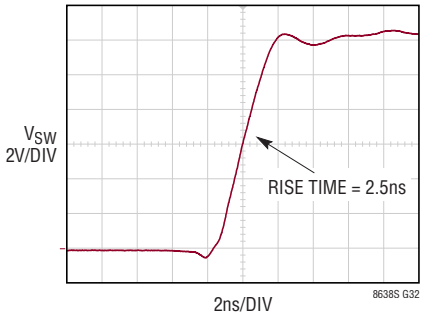
ケース温度の上昇



ケースの温度上昇と 12Aパルス負荷の関係

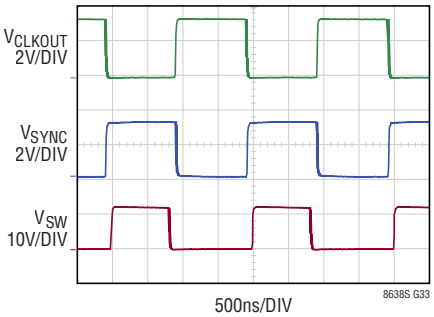


スイッチの立上がりエッジ



VIN = 12V
ILOAD = 3A

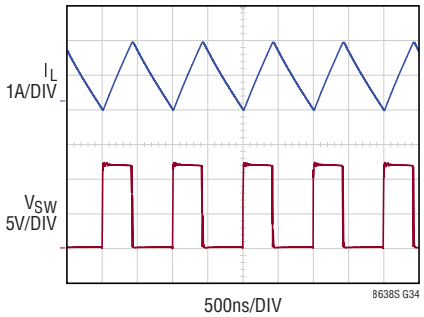
CLKOUT 波形



fSW = 500kHz
PHMODE = 0V
SYNCHRONIZATION MODE

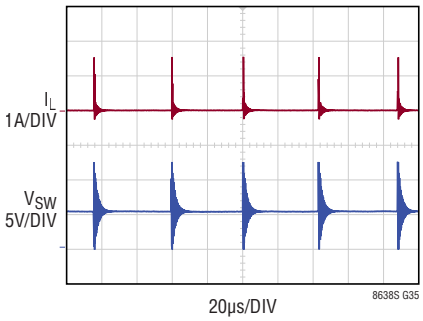
代表的な性能特性

スイッチング波形、全周波数連続動作時



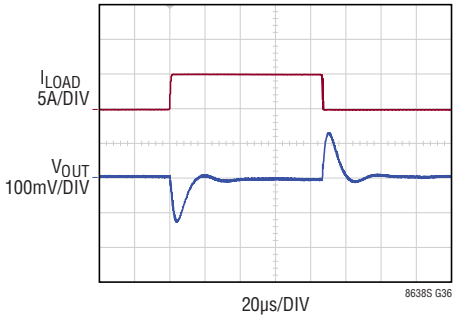
FRONT PAGE APPLICATION
$12V_{IN}$ TO $5V_{OUT}$ AT 1A
FC MODE

スイッチング波形、Burst Mode動作時



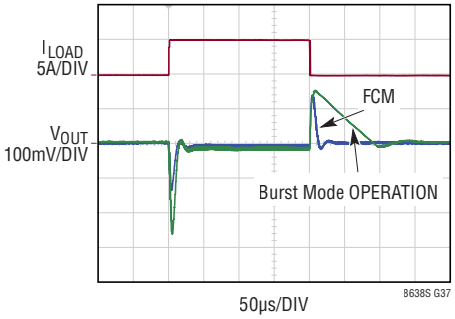
FRONT PAGE APPLICATION
$12V_{IN}$ to $5V_{OUT}$ AT 10mA
Burst Mode OPERATION

過渡応答、2.5A～7.5A負荷ステップ



FRONT PAGE APPLICATION
2.5A to 7.5A TRANSIENT
$12V_{IN}$, $5V_{OUT}$, f_{SW} = 1MHz
C_C = 220pF, R_C = 12.1k
C_{OUT} = 47µF, C_{LEAD} = 15pF

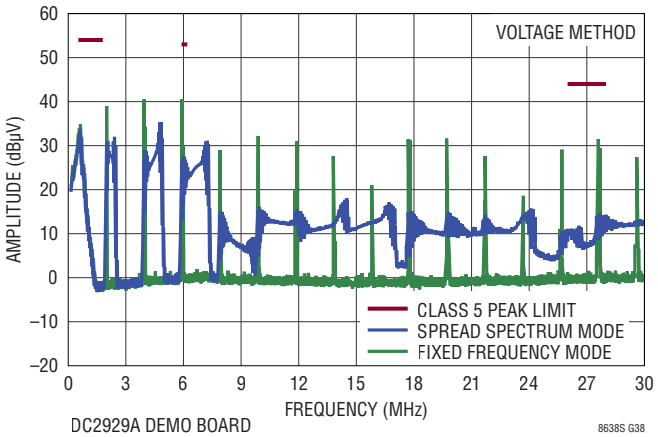
過渡応答、100mA～5.1A負荷ステップ



FRONT PAGE APPLICATION
100mA to 5.1A TRANSIENT
$12V_{IN}$, $5V_{OUT}$, f_{SW} = 1MHz
C_C = 220pF, R_C = 12.1k
C_{OUT} = 47µF, C_{LEAD} = 15pF

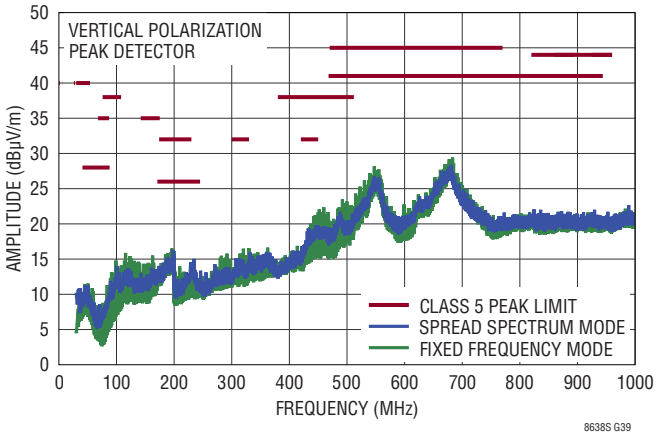
代表的な性能特性

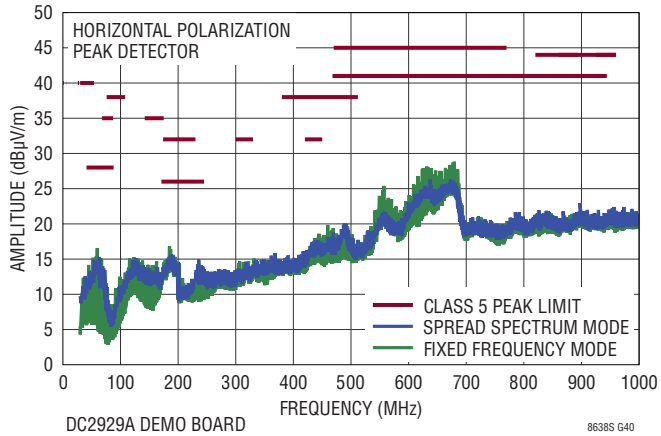
伝導EMI性能
(CISPR25伝導妨害波テスト、Class 5ピーク限界値)



DC2929A DEMO BOARD
(WITH EMI FILTER INSTALLED)
14V INPUT TO 3.3V OUTPUT AT 10A, f_{SW} = 2MHz

放射EMI性能
(CISPR25放射妨害波テスト、Class 5ピーク限界値)





DC2929A DEMO BOARD
(WITH EMI FILTER INSTALLED)
14V INPUT TO 3.3V OUTPUT AT 10A, f_{SW} = 2MHz

ピン機能

PHMODE（ピン1）：このピンは、LT8638Sの内部クロックとCLKOUTの位相関係を決定します。2相動作の場合はこのピンをGNDに接続してください。3相動作の場合はフロート状態にし、4相動作の場合は$INTV_{CC}$に接続します。内部プルアップ抵抗とプルダウン抵抗についてはBlock Diagramを参照してください。

BIAS（ピン2）：BIASを3.1Vを超える電圧に接続すると、内部レギュレータへの電流はV_{IN}ではなくBIASから供給されます。出力電圧が3.3V～25Vの場合は、このピンを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、このピンに1µFの局所的なバイパス・コンデンサを接続してください。使用できる電源がない場合はGNDに接続します。ただし、特に高入力アプリケーションや高周波数アプリケーションでは、出力または3.3V以上の外部電源にBIASを接続する必要があります。

$INTV_{CC}$（ピン3）：内部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への電力は、この電圧から供給されます。$INTV_{CC}$ピンには外部回路からの負荷をかけないでください。BIAS > 3.1Vの場合$INTV_{CC}$の電流はBIASから供給され、それ以外の場合はV_{IN}から供給されます。BIASが3.0V～3.6Vの場合、$INTV_{CC}$ピンの電圧は2.8V～3.4Vの範囲で変化します。このピンとグラウンドの間には、1µF以上の低ESRセラミック・コンデンサを接続します。コンデンサはできるだけデバイスに近付けてください。

BST（ピン4）：このピンは、入力電圧より高い駆動電圧を上側パワー・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デバイスにできるだけ近付けて接続してください。

SW（ピン5～8）：SWピンは内蔵パワー・スイッチの出力です。これらのピンは互いに接続してインダクタに接続します。優れた性能と低いEMIを実現するために、プリント回路基板上ではこのノードの面積をできるだけ小さくしてください。

GND（ピン9～14、20、露出パッド・ピン29～32）：グラウンド。入力コンデンサの負端子は、できるだけGNDピンに近付けて接続してください。良好な熱的性能を実現するには、露出パッドをPCBにハンダ付けする必要があります。製造上の制約によって必要になる場合はピン29～32を未接続のままにできますが、熱性能は低下します。

V_{IN}（ピン15～18）：V_{IN}ピンはLT8638Sの内部回路と上側パワー・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、4.7µF以上のローカル・コンデンサを使って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付けて接続し、負端子はGNDピンにできるだけ近付けて接続してください。

NC（ピン19）：接続なし。このピンは内部回路に接続されておらず、PCB上の任意の場所（通常はグラウンド）に接続できます。

EN/UV（ピン21）：LT8638Sはこのピンがローになるとシャットダウンされ、ハイになるとアクティブになります。閾値電圧にはヒステリシスがあります。上昇時は0.98V、下降時は0.94Vです。このシャットダウン機能を使わない場合は、V_{IN}に接続してください。V_{IN}との間に抵抗分圧器を外付けすれば、V_{IN}の閾値をプログラムして、その閾値未満ではLT8638Sをシャットダウンさせることができます。

RT（ピン22）：RTとグラウンドの間に抵抗を接続すると、スイッチング周波数を設定できます。

CLKOUT（ピン23）：PolyPhase動作用の出力クロック信号。強制連続モード、スペクトラム拡散モード、および同期モードでは、CLKOUTピンはスイッチング周波数の50%デューティ・サイクル矩形波を出力します。LT8638Sの内部クロックに対するCLKOUTの位相は、PHMODEピンの状態によって決まります。CLKOUTのピークtoピーク振幅は$INTV_{CC}$～GNDです。Burst Mode動作時、CLKOUTピンはローになります。CLKOUT機能を使わない場合は、このピンをフロート状態にしてください。

SYNC/MODE（ピン24）：LT8638Sでは、このピンは4種類の動作モードを設定します。1）Burst Mode動作。低出力負荷でのBurst Mode動作の場合は、このピンをグラウンドに接続します。これにより、静止電流が低く抑えられます。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過渡応答が得られると共に、最大周波数での動作が可能になります。FCMモードにするには、このピンをフロート状態にします。フロート状態では、ピンのリーク電流を1µA未満にする必要があります。3）スペクトラム拡散モード。スペクトラム拡散変調を使用する強制連続モードにするには、このピンを$INTV_{CC}$（または3Vを超える電圧）に接続してハイにします。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。

ピン機能

PG（ピン25）：PGピンは、内蔵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±7.75%以内になるまでローのままです。障害状態にはなりません。PGは、EN/UVが1V未満になった場合、$INTV_{CC}$が低くなりすぎた場合、V_{IN}が低くなり過ぎた場合、あるいはサーマル・シャットダウンが発生した場合もローになります。V_{IN}が2.8Vより高い場合はPGが有効です。

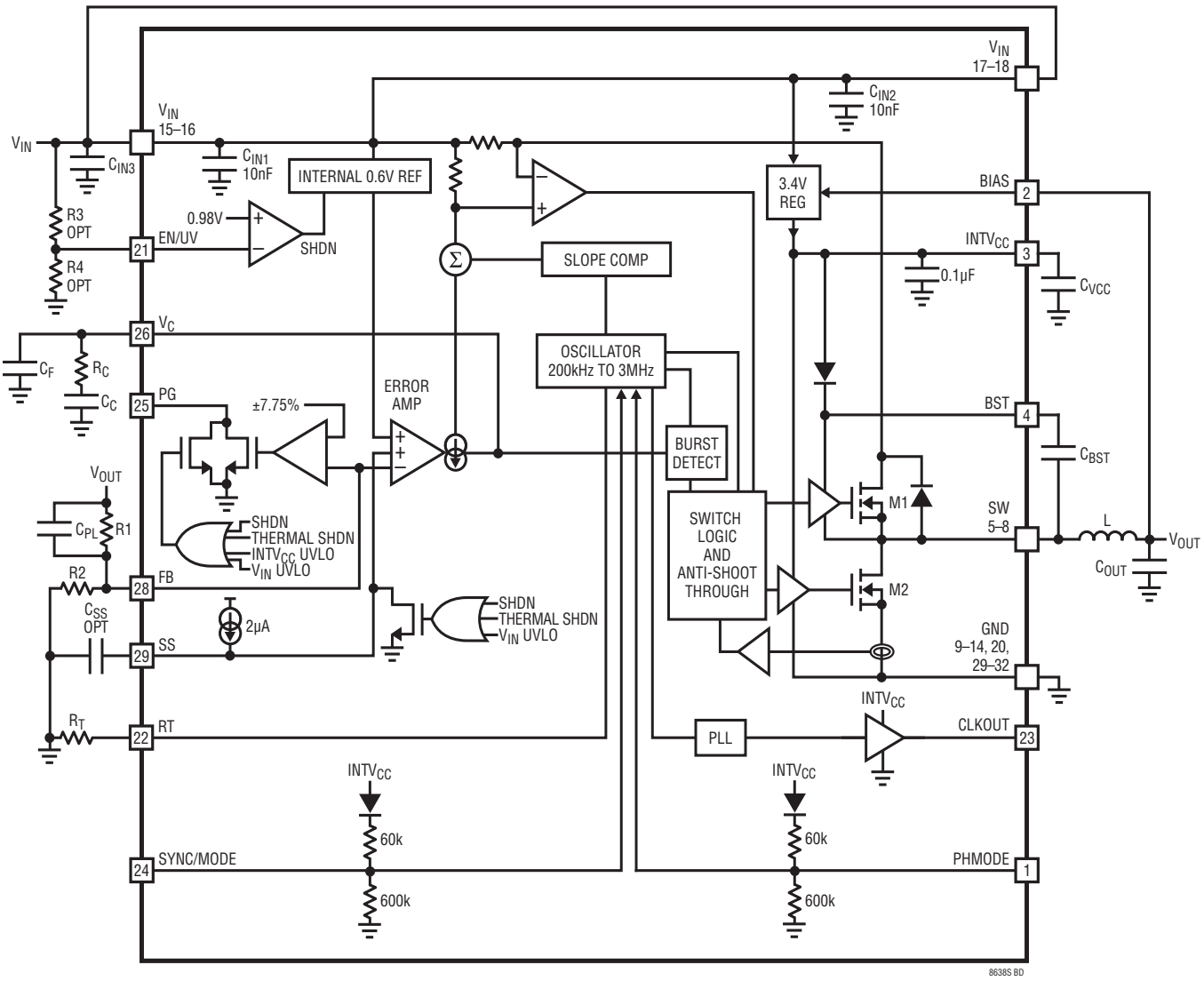
V_C（ピン26）：V_Cピンは内部エラー・アンプの出力です。このピンの電圧はピーク・スイッチ電流を制御します。制御ループの補償を行うには、このピンとグラウンドの間にRC回路を接続します。

SS（ピン27）：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を制御することができます。SSピンの電圧が1V未満になると、LT8638SはSSピン電圧に応じてFBピンの電圧をレギュレーションします。Typical Performance Characteristicsセクションのグラフを参照してください。SSピンの電圧が1Vを超え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るエラー・アンプの制御が再開されます。このピンには$INTV_{CC}$から2µAの内部プルアップ電流が流れるので、コンデンサを使って出力電圧のスルー・レートを設定できます。このピンは、シャットダウン時と障害状態では内部200Ω MOSFETによってグラウンド電位になります。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。ソフトスタート機能を使わない場合は、このピンをフロート状態のままにしておくことができます。

FB（ピン28）：LT8638Sは、FBピンを0.6Vにレギュレーションします。帰還抵抗分圧器のタップをこのピンに接続してください。また、FBピンとV_{OUT}の間には進相コンデンサを接続してください。通常は4.7pF～47pFのコンデンサを使用します。

コーナー・ピン：これらのピンは物理的な支持のためだけに使われるもので、PCB上の任意の場所（通常はグラウンド）に接続できます。

ブロック図


VIN
17–18
CIN2
10nF
VIN
15–16
VIN
CIN3
CIN1
10nF
INTERNAL 0.6V REF
3.4V
REG
BIAS
2
R3
OPT
0.98V
EN/UV
SHDN
SLOPE COMP
INTVCC
3
0.1µF
CVCC
R4
OPT
VC
26
OSCILLATOR
200kHz TO 3MHz
CF
RC
CC
PG
25
±7.75%
ERROR
AMP
BST
4
CBST
BURST
DETECT
VOUT
CPL
R1
SHDN
THERMAL SHDN
INTVCC UVLO
VIN UVLO
SWITCH
LOGIC
AND
ANTI-SHOOT
THROUGH
M1
SW
5–8
L
VOUT
COUT
R2
FB
28
M2
CSS
OPT
2µA
SS
29
SHDN
THERMAL SHDN
VIN UVLO
GND
9–14, 20,
29–32
RT
22
PLL
INTVCC
CLKOUT
23
INTVCC
INTVCC
60k
60k
SYNC/MODE
24
600k
600k
PHMODE
1
8638S BD

動作

LT8638Sは、モノリシック、固定周波数の電流モード降圧DC/DCコンバータです。RTピンの抵抗を使って周波数を設定された発振器が、各クロック・サイクルの開始時点で内蔵の上側パワー・スイッチをオンにします。インダクタを流れる電流は上側スイッチの電流コンパレータがトリップするまで増加し、トリップすると上側パワー・スイッチがオフになります。上側スイッチがオフになるときのピーク・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、V_{FB}ピンの電圧と内部0.6Vリファレンスを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基準の帰還電圧が減少し、平均インダクタ電流が新しい負荷電流に見合った値となるまでエラー・アンプがVC電圧を上げます。上側パワー・スイッチがオフになると、次のクロック・サイクルが始まるまで(Burst Modeの場合はインダクタ電流が0になるまで)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のスイッチに流れる電流が15.5Aを超えると、スイッチ電流が安全なレベルに戻るまで次のクロック・サイクルの開始が遅延されます。

LT8638Sの「S」は、第2世代Silent Switcher技術が使われていることを表しています。この技術は、高スイッチング周波数で高効率を実現する高速スイッチング・エッジの実現を可能にし、同時に良好なEMI性能を実現します。これには、V_{IN}用のセラミック・コンデンサをパッケージ内に組み込むことが含まれています(Block Diagramを参照)。これらのコンデンサはすべての高速AC電流ループを小さく保ち、それによってEMI性能を改善します。

EN/UVピンがローになるとLT8638Sはシャットダウンし、入力から供給される電流が約6μAになります。EN/UVピンが0.98V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、LT8638Sは軽負荷状態ではBurst Modeで動作します。バーストとバーストの間で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され、入力電源電流が125μAに減少します(BIAS = 0)。標準的なアプリケーションの場合、無負荷状態のレギュレーションで消費される入力電源電流は90μA (V_{IN} = 12V、BIAS = 5V_{OUT})です。Burst Mode動作を使用するには、SYNC/MODEピンをローに接続します。フロート状態にすると、強制連続モード(FCM)を使用できます。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周波数に同期してFCMで動作します。

LT8638Sを強制連続モード(FCM)で動作させると、広い負荷範囲にわたって高速過渡応答を得ることができます。また、最大周波数での動作が可能です。FCMでは発振器が連続的に動作し、正のSW遷移がクロックに同期されます。負のインダクタ電流も許容されます。このモードでは、LT8638Sが出力から電流をシンクしてその電荷を入力に戻せるので、負荷ステップ過渡応答が改善されます。

LT8638Sは、EMIを改善するためにスペクトラム拡散モードで動作させることができます。この機能は、+24%の三角波周波数変調によってクロックを変化させます。例えば、LT8638Sの周波数を2MHzでスイッチングするように設定した場合、スペクトラム拡散モードでは2MHz～約2.5MHzの範囲で発振器が変調されます。強制連続モードでスペクトラム拡散変調をイネーブルするには、SYNC/MODEピンを$INTV_{CC}$(または3Vを超える電圧)に接続して、ハイにする必要があります。

すべての負荷に対する効率を改善するために、バイアス電圧が3.3V以上の場合は、内部回路への電源電流をBIASピンから供給することができます。それ以外の場合、内部回路への電流はV_{IN}から供給されます。LT8638Sの出力を3.3V～25Vに設定する場合は、BIASピンをV_{OUT}に接続してください。

V_Cピンを使用すれば、事前に設定されたスイッチング周波数に基づいてスイッチング・レギュレータのループ補償を最適化できるので、高速過渡応答に対応することができます。また、V_CピンとCLKOUTピンを使用すれば、位相シフトをインターリーブして複数のLT8638Sレギュレータを動作させ、必要な入力コンデンサと出力コンデンサの数を減らすことができます。PHMODEピンは、様々なマルチフェーズ・アプリケーションに合わせてCLKOUTの位相設定を選択します。

出力電圧の変動幅が設定値の±7.75%(代表値)を超える場合や、障害状態が存在する場合は、FBピン電圧をモニタするコンパレータがPGピンをローにします。

FBピンがローの場合は、発振器がLT8638S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は、起動時や過電流状態時に出力電圧が設定値より低くなった場合に、インダクタ電流を制御する助けとなります。SYNC/MODEピンにクロックを入力した場合、SYNC/MODEピンをフロート状態にした場合、またはDCハイに保持した場合は、周波数フォールドバック機能が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のみ低下するようになります。

アプリケーション情報

低EMIのPCBレイアウト

LT8638SはEMIの放出を最小限に抑えながら、高周波数でのスイッチング時に最大限の効率が得られるよう特別に設計されています。LT8638Sの性能を最大限に引き出すには、複数のV_{IN}バイパス・コンデンサを使用する必要があります。

例えば、1µF未満の小型コンデンサ2個(C_{OPT1}、C_{OPT2})をLT8638Sにできるだけ近付けて配置し、容量の大きい(4.7µF以上の)3番目のコンデンサをそのすぐ近くに配置します。

推奨PCBレイアウトについては図1を参照してください。

PCBレイアウトに関する詳細とPCB設計ファイルについては、LT8638Sのデモ・ボード・ガイドを参照してください。

LT8638SのV_{IN}ピンとGNDピン、および入力コンデンサには大きいスイッチ電流が流れるので、注意が必要です。また、入力コンデンサによって形成されるループは、V_{IN}ピンとGNDピンに隣接させてコンデンサを置くことにより、できるだけ小さくする必要があります。0603などのケース・サイズの小さいコンデンサは寄生インダクタンスが小さいので、この用途に最適です。

入力コンデンサは、インダクタや出力コンデンサと共に回路基板の同じ側に配置し、その接続も同じ層上で行います。局部的な切れ目のないグランド・プレーンを、表面層に最も近い層にあるアプリケーション回路の下に配置してください。SWおよび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ノードは小さく保ち、それらのノードが、グランド・パターンによってSWノードやBOOSTノードによって生じるノイズから遮蔽されるようにしてください。パッケージから周囲への熱抵抗を減らすために、パッケージ底面にある露出パッドをPCBにハンダ付けする必要があります。熱抵抗を小さく保つには、GNDからのグランド・プレーンをできるだけ広くして、回路基板内と底面側の広くなった電源グランド・プレーンに、サーマル・ビアを追加します。

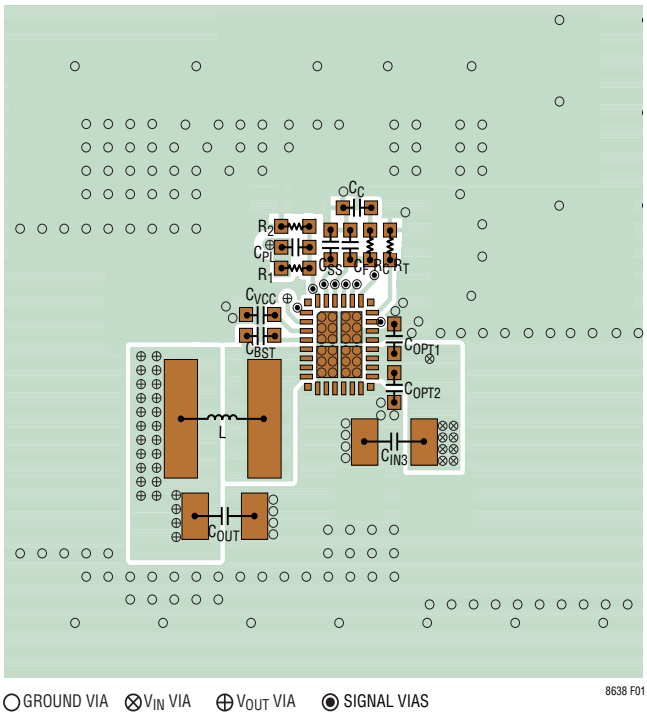


図1. 推奨プリントPCBレイアウト

アプリケーション情報

Burst Mode 動作

軽負荷時の効率を上げるために、LT8638S は低リップルの Burst Mode で動作します。このモードは、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、出力コンデンサを必要出力電圧まで充電した状態に保ちます。Burst Mode 動作では、LT8638S は単一の小電流パルスを出力コンデンサに送り、その後はスリープ期間とします。スリープ期間内の電力は出力コンデンサから供給されます。スリープ・モードで LT8638S が消費する電流は 125µA です。

出力負荷が低下するにつれて単一電流パルスの周波数も減少し(Figure 2 を参照)、LT8638S がスリープ・モードになっている時間のパーセンテージは増加します。この結果、軽負荷時の効率は標準的なコンバータよりはるかに高くなります。パルスの間隔を最大限まで延ばすことにより、出力負荷のない場合、標準的なアプリケーションでは静止電流が 90µA に近付きます。したがって、軽負荷時の静止電流性能を最適化するには、負荷電流として出力に現れる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。

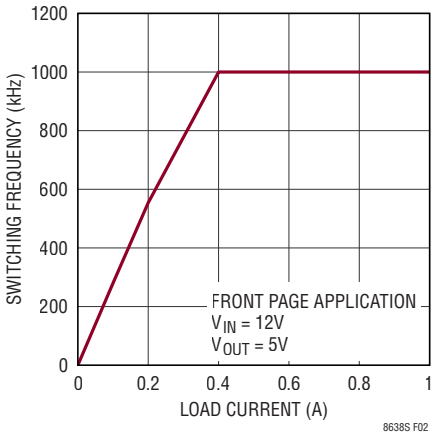


図 2. SW 周波数と負荷の関係(Burst Mode 動作時)

軽負荷時の効率を向上させるには、各パルス間で LT8638S がより長くスリープ・モードに止まることができるように、Burst Mode 動作時の小さい単一パルスで、より多くのエネルギーを出力に供給する必要があります。これは値の大きいインダクタ(4.7µH)を使用することによって実現できますが、このインダクタを選択するときは、スイッチング周波数と分けて考える必要があります。例えば、スイッチング周波数の高いアプリケーションでは、普通、より低い値のインダクタを使用しますが、軽負荷時の効率を上げたい場合は高い値のインダクタを選ぶ必要があります。代表的な性能特性に示すグラフを参照してください。

Burst Mode 動作時は(図 3 に示すように)上側スイッチの電流制限値が約 2A なので、出力電圧リップルは小さくなります。出力容量を大きくすると、それに応じて出力リップルが小さくなります。負荷がゼロからランプ・アップするときはスイッチング周波数も増加しますが、図 2 に示すように、RT ピンの抵抗によってプログラムされた値が上限値となります。

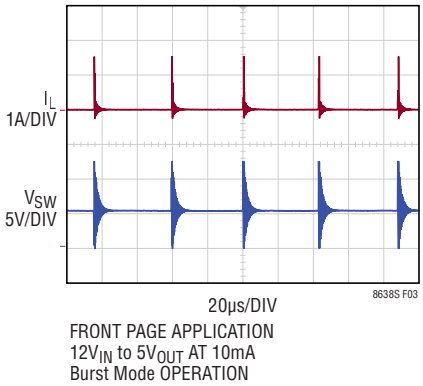


図 3. Burst Mode 動作

LT8638S 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の選択に基づいて変化します。低リップルの Burst Mode 動作を選択するには、SYNC/MODE ピンを 0.7V 未満の電圧に接続します(グラウンドまたはロジック・ローのどちらかとすることができます)。

強制連続モード

LT8638S を強制連続モード(FCM)で動作させると、広い負荷範囲にわたって高速過渡応答を得ることができます。また、最大周波数での動作が可能です。FCM では発振器が連続的に動作し、正の SW 遷移がクロックに同期されます。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許容されます。このモードでは、LT8638S が出力から電

アプリケーション情報

流をシンクしてその電荷を入力に戻せるので、負荷ステップ過渡応答が改善されます(図4を参照)。軽負荷時にはFCM動作の方がBurst Mode動作より効率が低下しますが、スイッチング高調波が信号帯域内に入らないようにする必要のあるアプリケーションには、FCMの方が適している場合があります。出力に電流をシンクさせる必要がある場合はFCMを使用してください。FCMをイネーブルするには、SYNC/MODEピンをフロート状態にします。このピンのリーク電流は1µA未満とする必要があります。内部プルアップ抵抗とプルダウン抵抗についてはブロック図を参照してください。

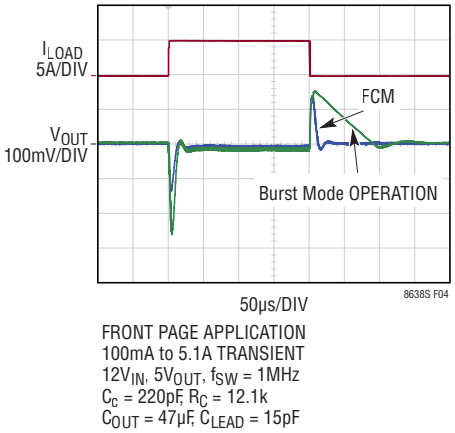


図4. 強制連続モード使用時と未使用時のLT8638Sの負荷ステップ過渡応答

V_{IN}ピンが37Vより高い場合、またはFBピンが帰還リファレンス電圧より7.75%高い電圧に保持されている場合、FCMはディスエーブルされます。また、ソフトスタート時も、ソフトスタート・コンデンサが完全に充電されるまでFCMはディスエーブルされます。このような形でFCMがディスエーブルされた場合は負のインダクタ電流が許容されず、LT8638Sはパルススキッピング・モードで動作します。

スペクトラム拡散モード

LT8638Sは、EMIの放出を更に減らすためにスペクトラム拡散動作をサポートしています。スペクトラム拡散動作を有効化するには、SYNC/MODEピンを$INTV_{CC}$(または3Vを超える電圧)に接続してハイにします。このモードでは三角波周波数変調を使用し、RTによってプログラムされた値から、その値より約24%高い値までの範囲で、スイッチ周波数を変化させます。変調周波数は約3kHzです。例えば、LT8638Sを2MHzに設定すると、周波数は2MHz～約2.5MHzの範囲を3kHzの割合で変化します。スペクトラム拡散動作を選択するとBurst Mode動作がディスエーブルされ、デバイスは強制連続モードで動作します。

同期

LT8638Sの発振器を外部周波数に同期させるには、SYNC/MODEピンに矩形波を接続します。この矩形波は、最小オン時間とオフ時間が50nsで、振幅の谷が0.7V未満、山が1.5Vを超える(最大6V)ものとする必要があります。

LT8638Sは、外部クロックに同期しているときは低出力負荷でもBurst Mode動作にならず、強制連続モードで動作してレギュレーションを維持します。LT8638Sは200kHz～3MHzの範囲に同期させることができます。RT抵抗は、LT8638Sのスイッチング周波数が最小同期入力以下となるように選ぶ必要があります。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となるように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ますが、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に対して十分なものとなります。

FB抵抗回路

出力電圧は、出力とFBピンの間にある抵抗分圧器でプログラムされます。E1に従って抵抗値を選んでください。

$$R1 = R2\left(\frac{V_{OUT}}{0.6V} - 1\right) \quad (1)$$

式に使われている記号についてはBlock Diagramを参照してください。出力電圧の精度を維持するには1%抵抗の使用を推奨します。

大きいFB抵抗を使用する場合は、4.7pF～47pFの進相コンデンサをV_{OUT}とFBの間に接続してください。

スイッチング周波数の設定

LT8638Sは固定周波数のPWMアーキテクチャを採用しており、RTピンとグラウンドの間に抵抗を接続することによって、200kHz～3MHz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。希望のスイッチング周波数を得るために必要なRTの値を表1に示します。

アプリケーション情報

目的のスイッチング周波数を得るために必要なRT抵抗の値は、式2を使って計算できます。

$$R_T = \frac{44.8}{f_{SW}} - 5.9 \quad (2)$$

ここでRTはkΩ単位です。また、fSWは目的のスイッチング周波数で、単位はMHzです。

表1. SW周波数とR_T値の関係

f_{SW}(MHz)	R_T(kΩ)
0.2	226
0.3	143
0.4	105
0.5	82.5
0.6	66.5
0.7	56.2
0.8	48.7
1.0	38.3
1.2	31.6
1.4	26.1
1.6	22.1
1.8	19.1
2.0	16.9
2.2	15.4
3.0	10.5

動作周波数の選択とトレードオフ

動作周波数の選択は、効率、部品サイズ、および入力電圧範囲のトレードオフになります。高周波数動作の利点はインダクタとコンデンサの値を小さくできることですが、効率が低く、入力電圧範囲が狭いという欠点があります。

アプリケーションの最大スイッチング周波数($f_{SW(MAX)}$)は次式で計算できます。

$$f_{SW(MAX)} = \frac{V_{OUT} + V_{SW(BOT)}}{t_{ON(MIN)}\left(V_{IN} - V_{SW(TOP)} + V_{SW(BOT)}\right)} \quad (3)$$

ここで、V_{IN}は入力電圧(代表値)、V_{OUT}は出力電圧、$V_{SW(TOP)}$と$V_{SW\ (BOT)}$は内蔵スイッチの電圧降下(最大負荷時でそれぞれ約0.2Vと0.08V)、$t_{ON(MIN)}$は上側スイッチの最小オン時間です(電気的特性を参照)。式3は、高いVIN/VOUT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。

トランジェント動作では、RT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、LT8638Sは必要に応じてスイッチング周波数を下げてインダクタ電流の制御を維持し、安全な動作を確保します。

LT8638Sは約99%の最大デューティ・サイクルに対応できるので、V_{IN}～V_{OUT}間のドロップアウト電圧は、上側スイッチの$R_{DS(ON)}$によって制限されます。このモードでは、LT8638S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低くなります。

V_{IN}/V_{OUT}比が低いときは設定スイッチング周波数からの偏差を許容できないようなアプリケーションでは、式4を使ってスイッチング周波数を設定します。

$$V_{IN(MIN)} = \frac{V_{OUT} + V_{SW(BOT)}}{1 - f_{SW} \bullet t_{OFF(MIN)}} - V_{SW(BOT)} + V_{SW(TOP)} \quad (4)$$

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、$V_{SW(TOP)}$と$V_{SW(BOT)}$は内部スイッチの電圧降下(最大負荷時でそれぞれ約0.2Vと約0.08V)、f_{SW}は(R_Tによって設定された)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、最小入力電圧の値も高くなることに注意してください。入力電圧が最小値未満になると、デューティ・サイクルを上げるためにサイクル数が減少します。

インダクタの選択と最大出力電流

LT8638S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。LT8638Sは、高速ピーク電流モード・アーキテクチャの採用により、過負荷時や短絡時にインダクタが飽和した状態になっても安全な動作を確保することができます。

最初に選択するインダクタ値として妥当な値は、式5で得られます。

$$L = \left(\frac{V_{OUT} + V_{SW(BOT)}}{f_{SW}}\right) \bullet 0.2 \quad (5)$$

アプリケーション情報

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0.08V)、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、インダクタは、その実効電流定格値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ぶ必要があります。更に、インダクタの飽和電流定格値(通常はI_{SAT}で表します)は、負荷電流にインダクタ・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。(式6)。

$$I_{L(PEAK)} = I_{LOAD(MAX)} + \frac{1}{2}\Delta I_L \quad (6)$$

ここで、ΔI_Lは式8で計算されるインダクタのリップル電流、$I_{LOAD(MAX)}$はそのアプリケーションの最大出力負荷です。

簡単な例を挙げると、3Aの出力を必要とするアプリケーションでは、実効電流定格値が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に、インダクタの実効電流定格の要求値が大きくなります。高い効率を保つには、直列抵抗(DCR)が8mΩより小さく、コア材が高周波アプリケーション向けのインダクタを選ぶ必要があります。

LT8638S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})は低デューティ・サイクルでは20Aですが、そこから直線的に低下して、DC = 0.8では15A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とする必要があります。この電流値は、スイッチ電流制限値(I_{LIM})とリップル電流の関数です(式7)。

$$I_{OUT(MAX)} = I_{LIM} - \frac{\Delta I_L}{2} \quad (7)$$

インダクタのピークtoピーク・リップル電流は式8を使って計算できます。

$$\Delta I_L = \frac{V_{OUT}}{L \bullet f_{SW}} \bullet \left(1 - \frac{V_{OUT}}{V_{IN(MAX)}}\right) \quad (8)$$

ここで、f_{SW}はLT8638Sのスイッチング周波数、Lはインダクタの値です。したがって、LT8638S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、および入力電圧と出力電圧に依存します。目的のアプリケーションで使用するスイッチング周波数と最大入力電圧が決まっている場合で、インダクタのリップル電流が最大出力電流($I_{OUT(MAX)}$)に対して不十分な場合は、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。

軽負荷時の効率を向上させるには、各パルス間でLT8638Sがより長くスリープ・モードに止まることができるように、Burst Mode動作時の小さい単一パルスで、より多くのエネルギーを出力に供給する必要があります。これは値の大きいインダクタ(4.7µH)を使用することによって実現できますが、このインダクタを選択するときは、スイッチング周波数と分けて考える必要があります。例えば、スイッチング周波数の高いアプリケーションでは、普通、より低い値のインダクタを使用しますが、軽負荷時の効率を上げたい場合は高い値のインダクタを選ぶ必要があります。代表的な性能特性に示すグラフを参照してください。

特定のアプリケーションに最適なインダクタは、この設計ガイドに示すものと異なる場合があります。インダクタの値が大きければ最大負荷電流は増加し、出力電圧リップルは減少します。必要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、LT8638Sを大きいリップル電流で動作させることが可能です。したがって、物理的に小さいインダクタを使用するか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。ただし、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、最大負荷電流が更に減少するので注意が必要です。

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。

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(式9)。詳細についてはアプリケーション・ノート19を参照してください。

$$L_{MIN} = \frac{V_{IN}(2 \bullet DC - 1)}{5 \bullet f_{SW}} \quad (9)$$

ここで、DCはデューティ・サイクル比(V_{OUT}/V_{IN})、f_{SW}はスイッチング周波数です。

アプリケーション情報

入力コンデンサ

最大限の性能を得るには、LT8638SのVINを、少なくとも3個のセラミック・コンデンサでバイパスする必要があります。1µF未満の小型セラミック・コンデンサ2個（COPT1、COPT2）をデバイスに近付けて配置してください。これらのコンデンサのサイズは0402または0603とします。2個の直列入力コンデンサが必要な車載アプリケーションの場合は、小型の0402または0603コンデンサ2個を、LT8638Sの両側にあるVINピンとGNDピンの近くに配置できます。

3つ目の、4.7µF以上の大きいセラミック・コンデンサは、COPT1またはCOPT2の近くに配置します。詳細については低EMIのPCBレイアウトのセクションを参照してください。温度や入力電圧の変動に対して最良の性能を実現するには、X7RまたはX5Rコンデンサを推奨します。

より低いスイッチング周波数を使用するには、それだけ大きい入力容量が必要です。入力電源のインピーダンスが高い場合、あるいは長い配線やケーブルによって大きなインダクタンスが存在する場合は、更に大きい容量が必要になることがあります。これには比較的低性能の電解コンデンサを使用できます。

セラミック入力コンデンサは、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（減衰しにくい）タンク回路を形成します。LT8638Sの回路を通電状態の電源に接続すると、入力電圧に公称値の2倍のリンギングが生じて、LT8638Sの定格電圧を超えるおそれがありますが、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つの重要な役割があります。まず、インダクタと共に、LT8638Sによって生成される矩形波をフィルタに通してDC出力を発生させます。この操作は出力リップルを決定するので、スイッチング周波数におけるインピーダンスを小さくすることが重要です。2つめの役割は、トランジェント負荷を吸収してLT8638Sの制御ループを安定させるために、エネルギーを保存することです。セラミック・コンデンサは等価直列抵抗（ESR）が非常に小さく、良好なリップル性能が得られます。開始値に適した値については、標準的応用例のセクションを参照してください。

コンデンサはX5RまたはX7Rタイプを使用してください。これらのコンデンサは、低出力リップルと良好な過渡応答を実現します。トランジェント性能は、出力コンデンサの値を大きくし、VOUT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で改善できます。出力容量を大きくしても、出力電圧リップルは小さくなります。値の小さい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悪化し、ループが不安定になるおそれがあります。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のセクションを参照してください。

コンデンサを選ぶときは、そのデータシートを十分に吟味し、関係する電圧バイアスと温度での動作条件に基づいて、効果的な容量を計算する必要があります。物理的に大きいコンデンサや、より高い電圧定格のコンデンサが必要です。

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、LT8638Sに使用すると問題を引き起こすことがあります。Burst Mode動作時のLT8638Sのスイッチング周波数は、負荷電流に依存します。また、負荷が非常に小さい場合は、LT8638Sがセラミック・コンデンサを可聴周波数で発振させて、可聴ノイズを発生することがあります。Burst Mode時のLT8638S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・コンデンサか電解コンデンサを使用してください。低ノイズのセラミック・コンデンサを使用することもできます。

セラミック・コンデンサに関する最後の注意点は、LT8638Sの最大入力電圧定格に関することです。既に述べたように、セラミック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（減衰しにくい）タンク回路を形成します。LT8638Sの回路を通電状態の電源に接続すると、入力電圧に公称値の2倍のリンギングが生じて定格値を超えてしまうおそれがありますが、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）。

イネーブル・ピン

LT8638SはENピンがローになるとがシャットダウンされ、ハイになるとアクティブになります。ENコンパレータの立上がり閾値は0.98Vで、40mVのヒステリシスがあります。シャットダウン機能を使わない場合は、ENピンをVINに接続できます。もしくは、シャットダウン制御が必要な場合はロジック・レベルに接続することも可能です。

アプリケーション情報

V_{IN}とENの間に抵抗分圧器を追加すると、V_{IN}が所定の電圧を超えた場合のみ出力をレギュレーションするようにLT8638Sを設定できます(ブロック図を参照)。通常、この閾値$V_{IN(EN)}$は、入力電源の電流が制限されている場合や、ソース抵抗が比較的高い場合に使われます。スイッチング・レギュレータは電源から一定の電力を取り出すので、電源電圧が低下すると電源電流が増大します。これは電源からすると負の抵抗負荷のように見え、低電源電圧条件下では、電源の電流が制限されたりローにラッチされたりすることがあります。$V_{IN(EN)}$閾値は、この問題が生じる可能性があるような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、式10の条件を満たすようにR3とR4の値を設定することによって調整できます。

$$V_{IN(EN)} = \left(\frac{R3}{R4} + 1\right) \bullet 0.98V \quad (10)$$

この場合、LT8638Sは、V_{IN}が$V_{IN(EN)}$より大きくなるまでオフのままになります。コンパレータにはヒステリシスがあるので、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。

軽負荷電流のBurst Mode動作時には、$V_{IN(EN)}$抵抗回路を流れる電流がLT8638Sの消費電源電流を簡単に超えてしまう可能性があるので、$V_{IN\ (EN)}$の抵抗を大きくして、軽負荷時の効率への影響を最小限に抑える必要があります。

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、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V_{IN}から生成します。このレギュレータは、1µF以上のセラミック・コンデンサを使ってグラウンドにバイパスする必要があります。$INTV_{CC}$はLT8638Sの回路に十分な電流を供給できます。効率を上げるために、BIASピンの電圧が3.1V以上の場合は、内蔵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LT8638Sの出力に接続できますが、3.3V以上の外部電源に接続することもできます。BIASピンをV_{OUT}以外の電源に接続する場合は、ローカル・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未満の場合、内蔵LDOはV_{IN}から流れる電流を消費します。入力電圧もスイッチング周波数も高く、V_{IN}からの電流が内蔵LDOに流れ込むアプリケーションでは、LDOでの消費電力が大きいので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。

周波数補償

ループ補償は安定性とトランジェント性能を決定し、V_Cピンに接続する部品によって行われます。一般的には、グラウンドに直列に接続したコンデンサ(C_C)と抵抗(R_C)が使われます。補償回路の設計は少々複雑で、最適値はアプリケーションによって異なります。実用的な方法は、このデータシートの回路の中から目的のアプリケーションに似た回路を探して出発点とし、補償回路を調整して性能を最適化することです。このプロセスには、LTspice®やLTpowerCAD®によるシミュレーションが役立ちます。次に、負荷電流、入力電圧、温度を含むすべての動作条件について安定性をチェックします。LT1375のデータシートには、ループ補償に関する詳細な説明が記載されており、トランジェント負荷を使用した安定性のテスト方法も説明されています。

LT8638Sの制御ループの等価回路を図5に示します。エラー・アンプは、出力インピーダンスが有限のトランスコンダクタンス・アンプです。変調器、パワー・スイッチ、およびインダクタで構成される電源セクションは、V_Cピンの電圧に比例した出力電流を生成するトランスコンダクタンス・アンプとしてモデル化されています。出力コンデンサはこの電流を積分し、V_Cピンのコンデンサ(C_C)はエラー・アンプの出力電流を積分するので、ループには2つのポールが生じます。ゼロが必要ですが、これはC_Cと直列に接続した抵抗R_Cによって得られます。この簡単なモデルは、インダクタの値が大きすぎず、ループのクロスオーバー周波数がスイッチング周波数よりはるかに低いという条件が満たされている限り、良好に機能します。また、帰還抵抗分圧器に進相コンデンサ(C_{PL})を並列に接続すれば、過渡応答を改善することができます。このコンデンサは、帰還ノードとグラウンドの間の容量によって生じる寄生ポールを相殺するためにも必要です。

アプリケーション情報

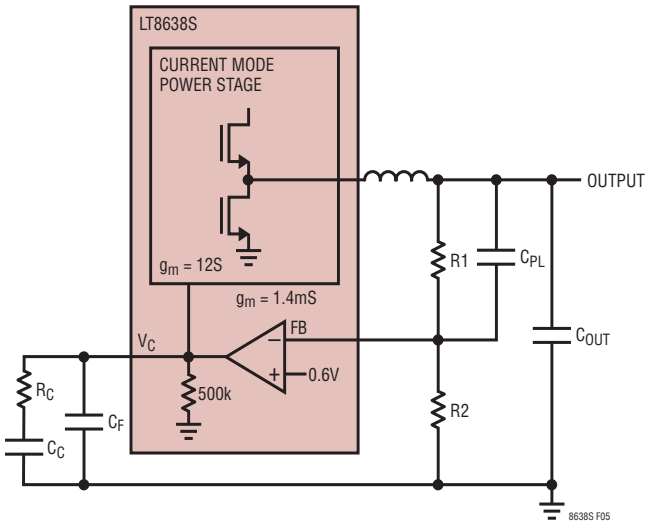


図5. ループ応答のモデル

表2に、いくつかの標準的アプリケーションにおける参考補償値を示します。アプリケーションによっては、これらの値の微調整が必要になることもあります。すべてのアプリケーションがR1 = 100kを使用しています。

表2. 補償値

VOUT	fSW	CC	RC	COUT	CPL
3.3V	400k	820pF	8.87k	47µF ×3	33pF
3.3V	2M	220pF	12.1k	47µF ×2	15pF
5V	400k	820pF	9.31k	47µF ×3	33pF
5V	2M	220pF	13.7k	47µF	10pF

出力電圧トラッキングとソフトスタート

LT8638Sでは、SSピンを使って出力電圧の上昇率を設定することができます。SSピンは内部の2µA電流によってINTVCCにプルアップされます。SSピンにコンデンサを外付けすると、出力のソフトスタートをイネーブルして入力電源の電流サージを防ぐことができます。ソフトスタート時、出力電圧はSSピンの電圧に従ってランプ・アップしていきます。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SSピンを外部から駆動できます。0V～1Vの範囲では、エラー・アンプに入力される内部0.6Vリファレンスより SSピンの電圧の方が優先されるので、FBピン電圧はSSピン電圧の関数としてレギュレーションされます。代表的な性能特性セクションのグラフを参照してください。SSピンの電圧が1Vを超える場合はトラッキングが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レギュレーションされます。この機能が必要ない場合は、SSピンをフロート状態のままにしておくことができます。

SSピンにはアクティブ・プルダウン回路が接続されています。この回路は、障害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、障害が解消されるとランピングを再開します。このようにソフトスタート・コンデンサを放電させる障害状態には、EN/UVピンのローへの遷移、VIN電圧の過大な低下、またはサーマル・シャットダウンがあります。

マルチフェーズ動作

より多くの電流を必要とする出力負荷の場合は、複数のLT8638Sデバイスを並列にして同じ出力に接続することができます。これは、VCピンとFBピンを互いに接続して、それぞれのLT8638SのSWノードを個々のインダクタを通じて共通出力に接続することによって行います。CLKOUT信号を後続のLT8638SのSYNC/MODEピンに接続すれば、システム全体の周波数と位相の両方を揃えることができます。PHMODEピンをGNDピンに接続すると、LT8638Sの内部クロックとCLKOUTの間には180°の位相差が生じます。これは2相動作に相当します。また、INTVCCピンに接続した場合は位相差90°で4相動作、フロート状態のままにした場合は位相差120°で3相動作になります。それぞれのLT8638SのPHMODEピンを異なる電圧レベルにプログラムすることによって、位相シフトを相互にインターリーブして、合計12位相を並列で同時に動作させることができます。FCMモード、スペクトラム拡散モード、および同期モードでは、すべてのデバイスが同じ周波数で動作します。図6は2相アプリケーションの例で、2つのLT8638Sを並列に接続して、1つの出力で最大20Aを供給できるようにしています。

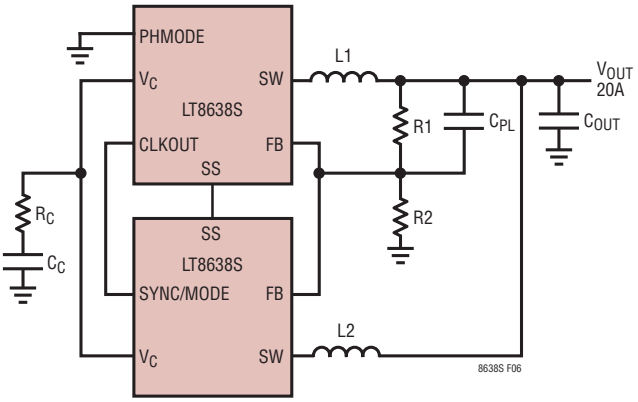


図6. 2つのLT8638Sデバイスの並列接続

アプリケーション情報

出力パワーグッド

LT8638Sデバイスの出力電圧がレギュレーション・ポイントの±7.75%の枠内にある場合、出力電圧は正常な状態にあると見なされ、オープンドレインPGピンが高インピーダンスになって、通常は外付け抵抗によりハイにプルアップされます。それ以外の場合は、内部プルダウン・デバイスがPGピンをローにプルダウンします。グリッチの発生を防ぐため、上側と下側の閾値には、共に0.4%のヒステリシスが含まれています。VINが2.8Vより高い場合はPGが有効です。

PGピンは以下の障害状態でも自動的にローになります。すなわち、EN/UVピンが0.98V未満になった場合、$INTV_{CC}$が低くなり過ぎた場合、VINが低くなりすぎた場合、あるいはサーマル・シャットダウンが発生した場合です。

短絡保護と逆入力保護

LT8638Sは出力短絡に耐えることができます。出力短絡や出力電圧低下時の保護には複数の機能が使われています。1つ目はスイッチング周波数のフォールドバックで、この機能は、出力が設定値より低くなった場合にインダクタ電流制御を維持するために使われます。2つ目は下側スイッチの電流モニタで、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まで上側スイッチのスイッチングが遅延されます。

周波数フォールドバック動作はSYNCピンの状態に依存します。SYNCピンがローの場合、出力電圧が設定レベルより低くなると、スイッチング周波数が低下します。SYNCピンをクロック信号源に接続するか、フロート状態にするか、またはハイに接続すると、LT8638Sは設定周波数を維持してフォールドバックを行わず、インダクタ電流が安全なレベルを超えた場合のみスイッチング速度を低下させます。

LT8638Sへの入力がない場合に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。このような状態となる可能性があるのは、バッテリ電源や他の電源がLT8638Sの出力にダイオード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。VINピンをフロート状態にできる場合に、(ロジック信号によって、あるいはVINに接続することによって) ENピンがハイに保持されていると、LT8638Sデバイスの内部回路にはSWピンを通じて静止電流が流れます。システムがこの状態で数µAの電流を許容できる場合は、このことが問題になることはありません。ENピンを接地している場合、SWピンの電流は6µA近くまで減少します。しかし、出力を高い値に保持した状態で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ピンとV_{IN}ピンを通って、LT8638S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。図7に示すようにV_{IN}ピンとEN/UVピンを接続すれば、LT8638Sは入力電圧が加わっているときにのみ動作し、短絡入力や逆入力に対して保護されます。

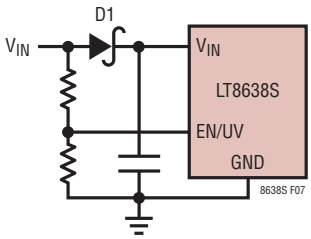


図7. 逆V_{IN}保護

熱に関する検討事項とピーク出力電流

周囲温度が高いときにLT8638Sの良好なヒート・シンクを実現するには、PCBのレイアウトに注意する必要があります。パッケージ底面にあるグラウンド・ピンは、グランド・プレーンにハンダ付けする必要があります。このグランド・プレーンは、その下にある広い銅層にサーマル・ビアで接続してください。これらの層はLT8638Sが発生する熱を拡散します。ビアを追加すれば、更に熱抵抗を小さくすることができます。最大負荷電流は、周囲温度が最大ジャンクション温度定格値に近づくに従ってディレーティングする必要があります。LT8638S内での消費電力は、効率測定値から合計電力損失を計算して、そこからインダクタ損失を減じることによって予測できます。ダイ温度は、LT8638Sの消費電力に、ジャンクションから周囲への熱抵抗を乗じることによって計算できます。

内蔵の過熱保護機能がLT8638Sのジャンクション温度をモニタします。ジャンクション温度が約175ºCに達するとLT8638Sはスイッチング動作を停止し、温度が約10ºC低下するまで障害状態を示します。

アプリケーション情報

LT8638Sの温度上昇が最も大きくなるのは、高負荷、高V_{IN}、高スイッチング周波数の状態で動作させた場合です。与えられたアプリケーションに対しケース温度が高すぎる場合は、V_{IN}、スイッチング周波数、負荷電流のいずれかを減らせば、温度を許容可能なレベルまで下げることができます。図8に、V_{IN}、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を管理する方法の例を示します。

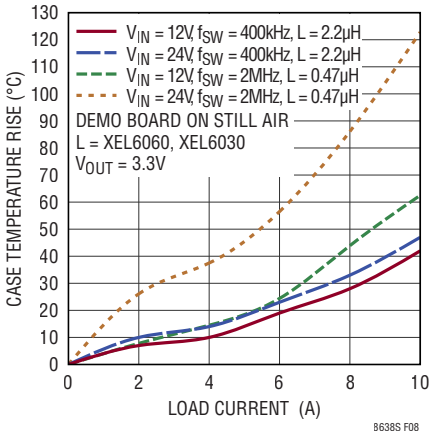


図8. ケース温度の上昇

LT8638Sの内部パワー・スイッチは、最大12Aのピーク出力電流を安全に供給できます。ただし、熱的な制約のため、12Aの負荷を扱うことができるのは短時間に止まります。この時間は、ケース温度が最大ジャンクション定格値に近付く際の温度上昇率によって決まります。1kHzパルス、12A負荷とした場合のデューティ・サイクルによるケース温度上昇値の変化の例を、図9に示します。

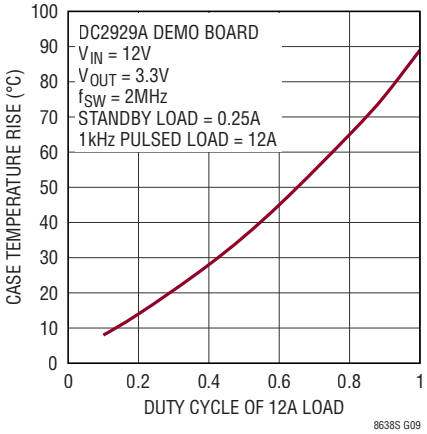


図9. ケースの温度上昇と12Aパルス負荷の関係

LT8638Sデバイスの上側スイッチ電流制限は、スロープ補償のために、デューティ・サイクルが高くなるにつれて減少します。このため、特定のアプリケーションでLT8638Sが供給できるピーク出力電流も制限されます。代表的な性能特性に示すグラフを参照してください。

標準的応用例

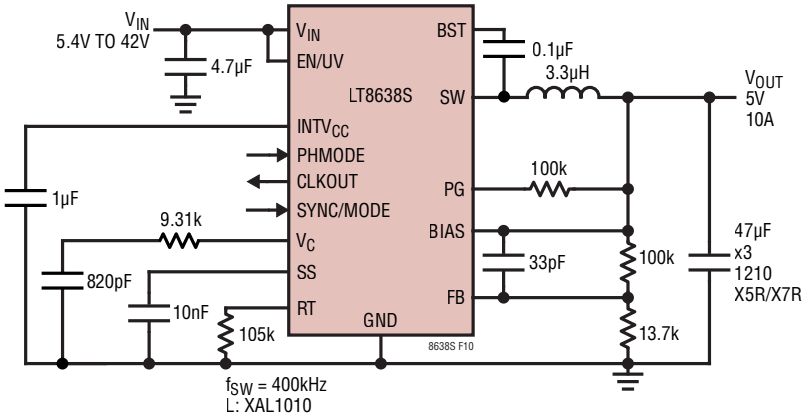


図 10. ソフトスタートおよびパワーグッド機能を備えた 400kHz、5V/10A 降圧コンバータ

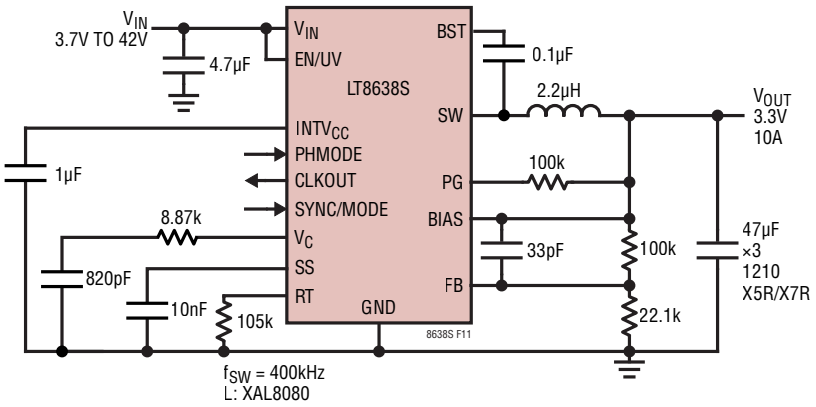


図 11. ソフトスタートおよびパワーグッド機能を備えた 400kHz、3.3V/10A 降圧コンバータ

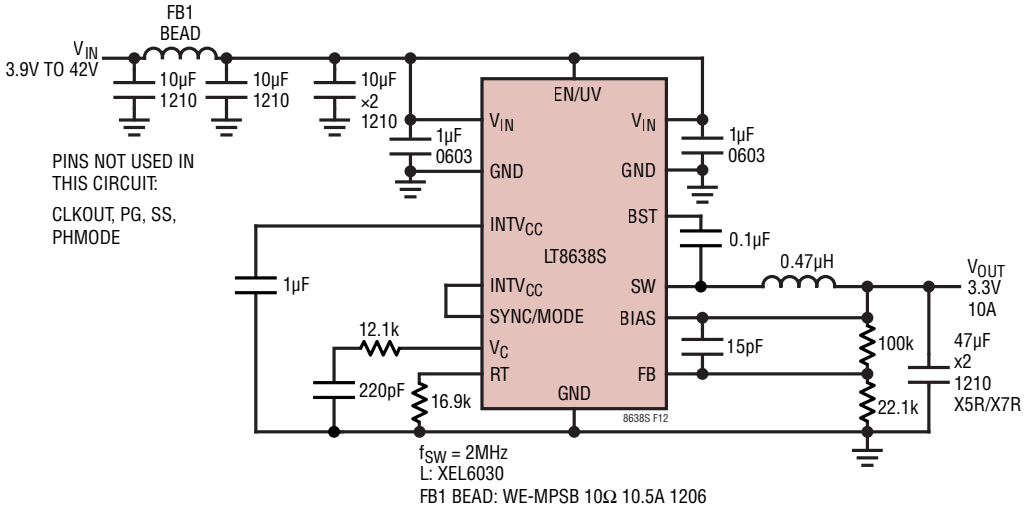


図 12. スペクトラム拡散機能を備えた超低 EMI の 3.3V/10A 降圧コンバータ

標準的応用例

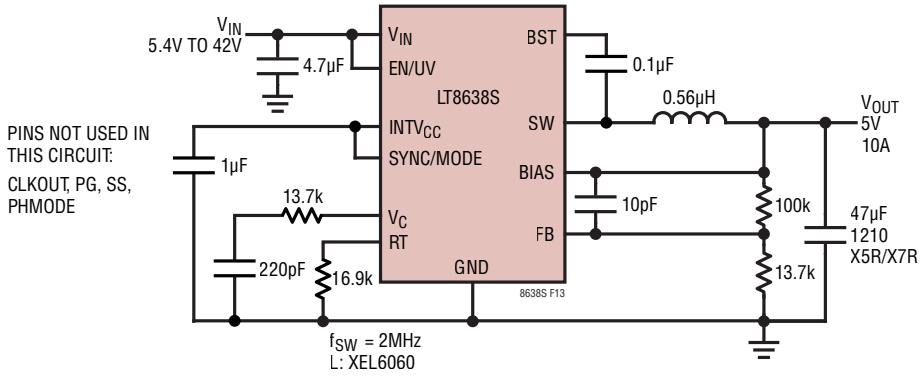


図 13. スペクトラム拡散機能を備えた 2MHz、5V/10A 降圧コンバータ

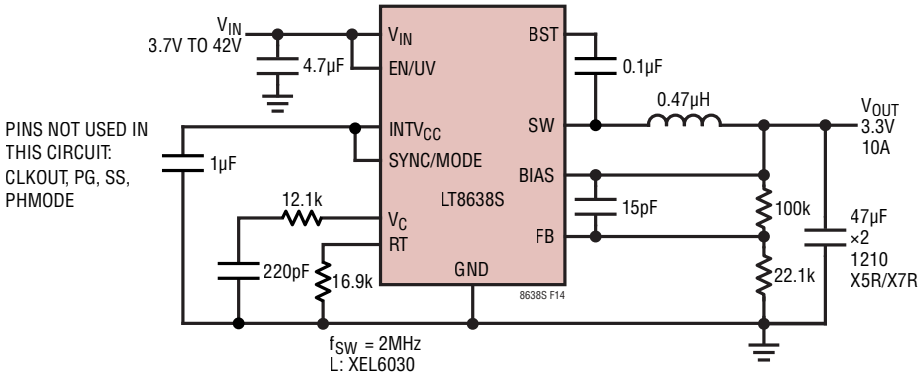


図 14. スペクトラム拡散機能を備えた 2MHz、3.3V/10A 降圧コンバータ

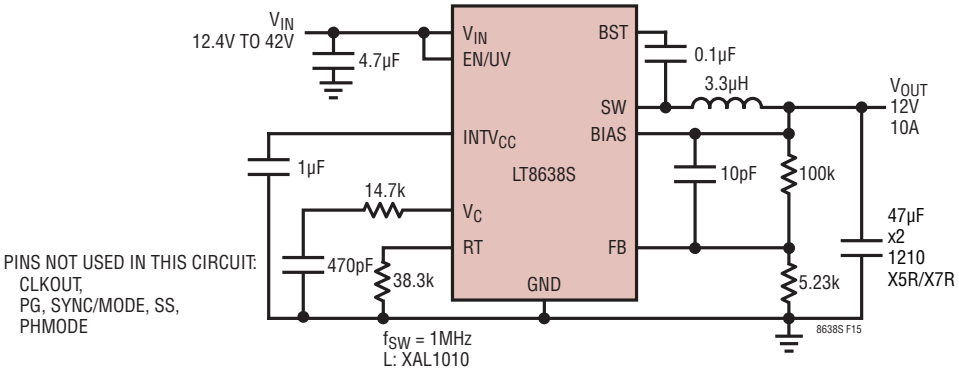
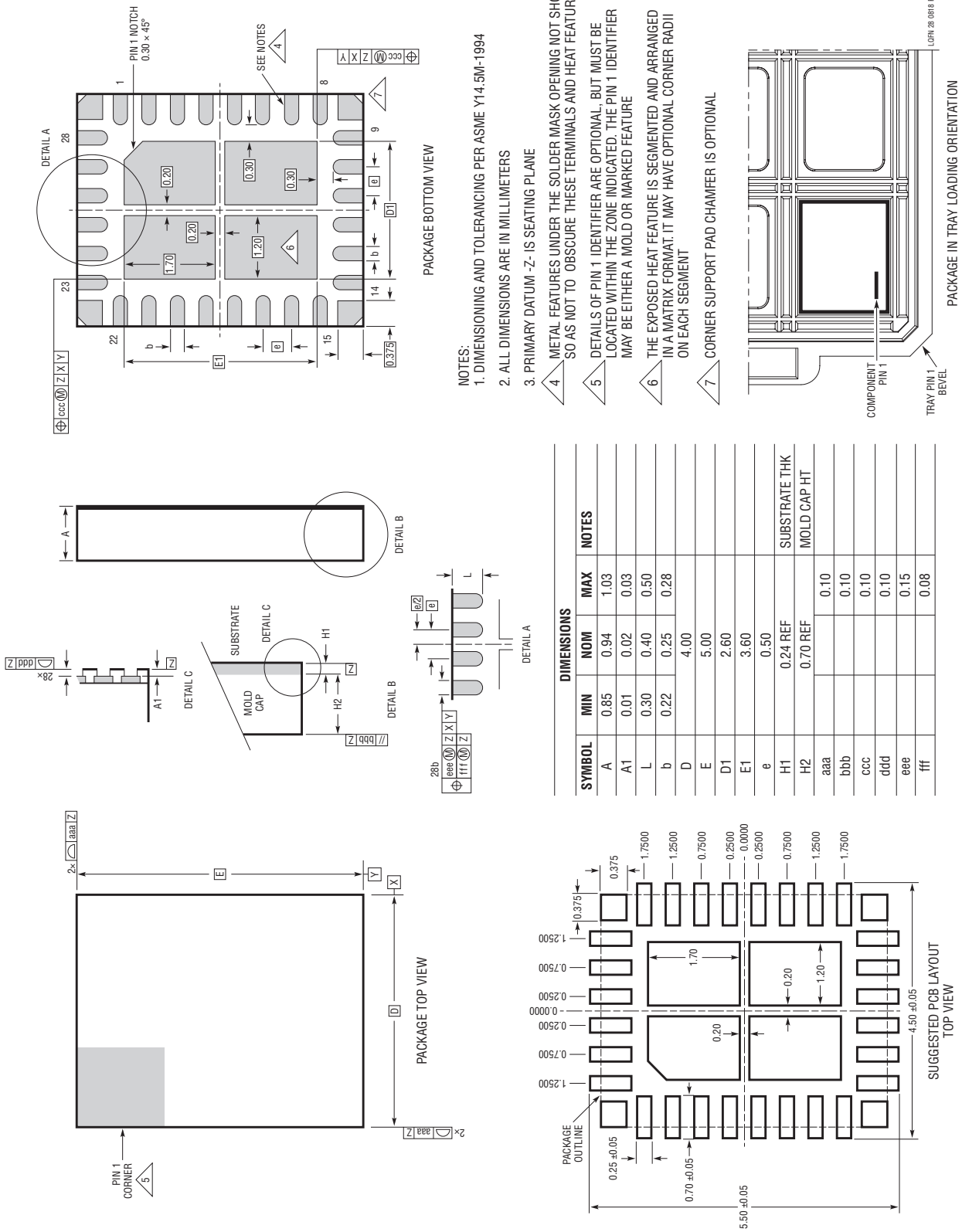


図 15. 1MHz、12V/10A 降圧コンバータ

パッケージの説明

LQFN Package
28-Lead (5mm × 4mm × 0.94mm)
(Reference LTC DWG # 05-08-1675 Rev Ø)



DIMENSIONS				
SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTES
A	0.85	0.94	1.03	
A1	0.01	0.02	0.03	
L	0.30	0.40	0.50	
b	0.22	0.25	0.28	
D		4.00		
E		5.00		
D1		2.60		
E1		3.60		
e		0.50		
H1		0.24 REF		SUBSTRATE THK
H2		0.70 REF		MOLD CAP HT
aaa			0.10	
bbb			0.10	
ccc			0.10	
ddd			0.10	
eee			0.15	
fff			0.08	

アナログ・デバイセズ社は、提供する情報が正確で信頼できるものであることに万全を期していますが、その利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。仕様は予告なく変更される場合があります。アナログ・デバイセズ社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。

標準的応用例

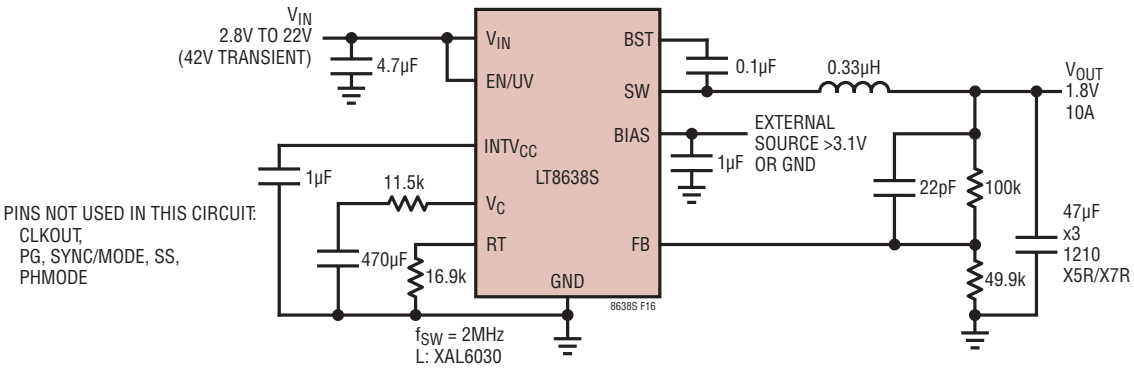


図 16. 2MHz、1.8V/10A 降圧コンバータ

関連製品

製品番号	概要	注釈
LT8648S	42V/15A 同期整流式降圧 Silent Switcher 2	V_{IN} = 3V～42V、$V_{OUT(MIN)}$ = 0.6V、I_Q = 100µA、I_{SD} = 6µA、7mm × 4mm LQFN-36
LT8636	42V/5A 同期整流式降圧 Silent Switcher、I_Q = 2.5µA	V_{IN} = 3.4V～42V、$V_{OUT(MIN)}$ = 0.97V、I_Q = 2.5µA、I_{SD} < 1µA、4mm × 3mm LQFN-20
LT8640S/ LT8643S	42V/6A 同期整流式降圧 Silent Switcher 2、 I_Q = 2.5µA	V_{IN} = 3.4V～42V、 $V_{OUT(MIN)}$ = 0.97V、 I_Q = 2.5µA、 I_{SD} < 1µA、 4mm × 4mm LQFN-24
LT8640/ LT8640-1	42V/5A、効率 96%、3MHz の同期整流式 MicroPower 降圧 DC/DC コンバータ、I_Q = 2.5µA	V_{IN} = 3.4V～42V、 $V_{OUT(MIN)}$ = 0.97V、 I_Q = 2.5µA、 I_{SD} < 1µA、 3mm × 4mm QFN-18
LT8650S	42V デュアル 4A 同期整流式降圧 Silent Switcher 2、I_Q = 6.2µA	V_{IN} = 3V～42V、$V_{OUT(MIN)}$ = 0.8V、I_Q = 6.2µA、I_{SD} = 1.7µA、4mm × 6mm LQFN-32
LT8653S	42V デュアル 2A 同期整流式降圧 Silent Switcher 2、I_Q = 6.2µA	V_{IN} = 3V～42V、$V_{OUT(MIN)}$ = 0.8V、I_Q = 6.2µA、I_{SD} = 1.7µA、4mm × 3mm LQFN-20
LT8652S	18V デュアル 8.5A 同期整流式降圧 Silent Switcher 2、I_Q = 16µA	V_{IN} = 3V～18V、$V_{OUT(MIN)}$ = 0.6V、I_Q = 16µA、I_{SD} = 6µA、4mm × 7mm LQFN-36
LT8645S/ LT8646S	65V/8A 同期整流式降圧 Silent Switcher 2、I_Q = 2.5µA	V_{IN} = 3.4V～65V、 $V_{OUT(MIN)}$ = 0.97V、 I_Q = 2.5µA、 I_{SD} < 1µA、 4mm × 6mm LQFN-32
LT8641	65V/3.5A、効率 95%、3MHz の同期整流式 MicroPower 降圧 DC/DC コンバータ、I_Q = 2.5µA	$V_{IN(MIN)}$ = 3V、$V_{IN(MAX)}$ = 65V、$V_{OUT(MIN)}$ = 0.81V、I_Q = 2.5µA、I_{SD} < 1µA、3mm × 4mm QFN-18
LT8609S	42V/2A 同期整流式降圧 Silent Switcher 2、I_Q = 2.5µA	V_{IN} = 3V～42V、$V_{OUT(MIN)}$ = 0.774V、I_Q = 2.5µA、I_{SD} < 1µA、3mm × 3mm LQFN-16
LT8609/ LT8609A	42V/2A、効率 94%、2.2MHz の同期整流式 MicroPower 降圧 DC/DC コンバータ、I_Q = 2.5µA	V_{IN} = 3V～42V、 $V_{OUT(MIN)}$ = 0.782V、 I_Q = 2.5µA、 I_{SD} < 1µA、 MSOP-10E、 3mm × 3mm DFN-18
LT8610A/ LT8610AB	42V/3.5A、効率 96%、2.2MHz の同期整流式 MicroPower 降圧 DC/DC コンバータ、I_Q = 2.5µA	V_{IN} = 3.4V～42V、 $V_{OUT(MIN)}$ = 0.97V、 I_Q = 2.5µA、 I_{SD} < 1µA, MSOP-16E
LT8602	42V、クワッド出力(2.5A + 1.5A + 1.5A + 1.5A)、効率95%、2.2MHzの同期整流式MicroPower降圧DC/DCコンバータ、I_Q = 25µA	V_{IN} = 3V～42V、 $V_{OUT(MIN)}$ = 0.8V、 I_Q = 2.5µA、 I_{SD} < 1µA、 6mm × 6mm QFN-40

©ANALOG DEVICES, INC. 2021