

PassThru付き40V、1.2Aマイクロパワー同期整流式昇圧コンバータ

特長

- 広い入力電圧範囲:3.0V~40V
- Burst Mode®動作時の低静止電流
 - <6µA I_Q
 - <20mV_{P-P}の出力リップル
- 高効率を実現する同期動作
- モノリシック40V、240mΩパワー・スイッチ
- 升圧プリレギュレーション・アプリケーション向け100%デューティ・サイクル PassThru™モード
- 調整と同期が可能:300kHz~3MHz
- 低EMI/EMC放射を実現するスペクトラム拡散
- 正確なEN/UVLO
- 内部補償
- 20MΩの内部帰還分周器
- 出力電圧:最大40V
- 10ピンMSOPパッケージを採用
- AEC-Q100オートモーティブ認定を申請中

アプリケーション

- 産業用および車載用電源
- バッテリ駆動システム
- 汎用昇圧

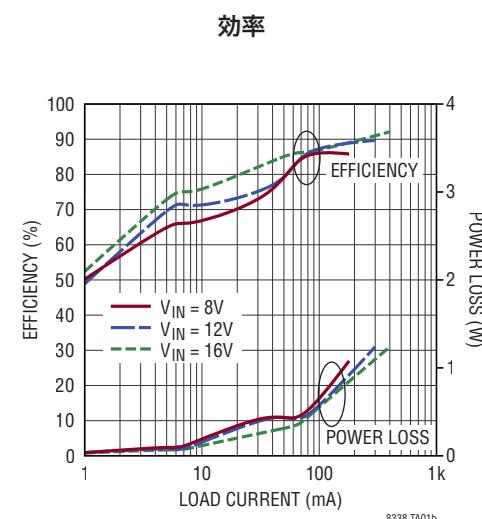
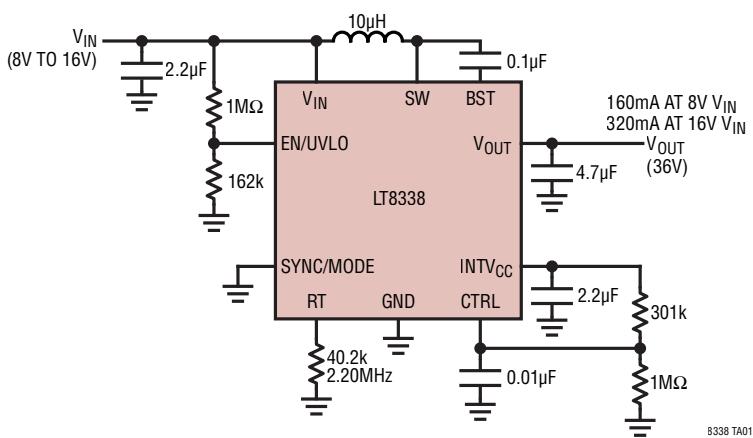
概要

LT®8338は、最大40Vの入出力において高効率で動作する同期整流式モノリシック昇圧レギュレータです。Burst Mode動作時は静止電流の消費はわずか6µAであり、非常に低い出力電流で高効率を維持しながら、出力リップルは20mV_{P-P}未満を維持します。LT8338のスイッチング周波数は、外部抵抗を使用して300kHz~3MHzの範囲で設定できます。SYNC/MODEピンを使用すると、外部クロックへの同期ができます。このピンは、Burst Mode動作とパルススキッピング・モードのどちらかを選択する場合や、EMIを低減するためにスペクトラム拡散変調を有効にする場合にも使用できます。EN/UVLOピンは1Vの正確な閾値を備えているため、このピンを使ってV_{IN}のUVLOを設定したり、デバイスをシャットダウンしたりすることができます。LT8338は、V_{IN}がレギュレーションされたV_{OUT}より高い場合に、100%デューティ・サイクルのPassThruモードになります。また、LT8338には、周波数フォールドバックや、スタートアップ時にインダクタ電流を制御する内部ソフトスタートの機能があります。

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

8V~16V入力、36V出力のマイクロパワー同期整流式昇圧コンバータ

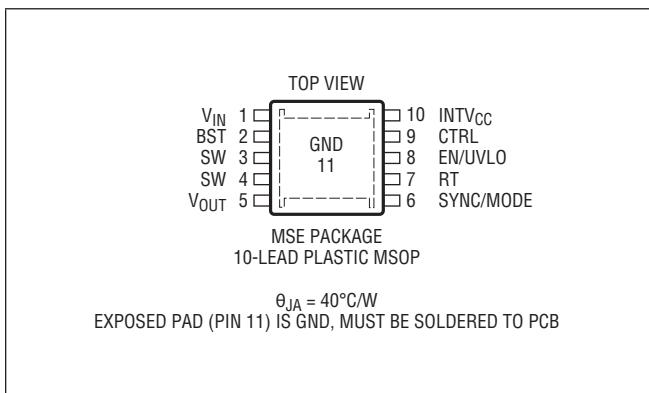


LT8338

絶対最大定格 (Note 1)

V _{IN} , V _{OUT} , EN/UVLO, SW	40V
SYNC/MODE	6V
CTRL と INTV _{CC} の差	0.3V
RT	(Note 2)
INTV _{CC}	(Note 2)
BST と SW の差	(Note 2)
動作ジャンクション温度範囲 (Note 2, 3)	
LT8338E	-40°C ~ 125°C
LT8338J	-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	部品マーキング*	パッケージの説明	温度範囲
LT8338EMSE#PBF	LT8338EMSE#TRPBF	LTHGQ	10ピン・プラスチックMSOP	-40°C to 125°C
LT8338JMSE#PBF	LT8338JMSE#TRPBF	LTHGQ	10ピン・プラスチックMSOP	-40°C to 150°C

拡張動作温度範囲仕様の部品については、弊社担当営業までお問い合わせください。*温度グレードは出荷容器のラベルに示されています。

テープ&リール仕様。一部のパッケージは、指定販売チャネルを通じ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。

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。 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{OUT} = 36\text{V}$ 、 $CTRL = 2.0\text{V}$ 、 $EN/UVLO = 12\text{V}$ 、 $INTVCC = 2.2\mu\text{F}$ をGNDに接続、 $R_T = 40.2\text{k}\Omega$ をGNDに接続、 $BST = 0.1\mu\text{F}$ をSWに接続、SYNC/MODEをGNDに接続。

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
V_{IN} Operating Voltage		●	3.0	40		V
V_{IN} Quiescent Current (Note 5)	EN/UVLO = 0V (Shutdown Mode)			0.1	1	μA
	EN/UVLO = 2V, SYNC/MODE = 0V, Not Switching, $V_{OUT}-V_{IN} = +100\text{mV}$ (Burst Mode Operation)			6	18	μA
	EN/UVLO = 2V, SYNC/MODE = 0V, Not Switching, $V_{OUT}-V_{IN} < -100\text{mV}$ (PassThru Mode)			12	35	μA
	EN/UVLO = 2V, SYNC/MODE = 2.6V (Pulse-Skipping Mode + SSFM)			1200	1500	μA
V_{OUT} Regulation (Note 6)	$V_{IN} = 3.3\text{V}$, $CTRL = 0.5\text{V}$ ($D = 33.33\%$)	●	8.8	9.00	9.2	V
	$V_{IN} = 9\text{V}$, $CTRL = 1.0\text{V}$ ($D = 50\%$)	●	17.8	18.00	18.2	V
	$V_{IN} = 24\text{V}$, $CTRL = 2.0\text{V}$ ($D = 66.67\%$)	●	35.6	36.00	36.4	V
V_{OUT} Limit Threshold Voltage (Note 6)		●	40.2	41.4		V
V_{OUT} I_Q in Shutdown	EN/UVLO = 0V			5		μA
EN/UVLO Threshold Voltage	EN/UVLO Falling	●	0.975	1.000	1.025	V
	EN/UVLO Rising Hysteresis			50		mV
EN/UVLO Input Bias Current	EN/UVLO = 2V		-40	40		nA
INTVCC Regulation Voltage		●	2.56	2.6	2.64	V
INTVCC Line Regulation	$3\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$				0.02	%/V
INTVCC Load Regulation	$1\mu\text{A} \leq I_{INTVCC} \leq 10\text{mA}$				0.04	%/mA
V_{OUT} -to-CTRL Divider Ratio (Note 6)	$9\text{V} \leq V_{OUT} \leq 36\text{V}$	●	17.85	18.00	18.15	V/V
V_{OUT} Internal Divider Resistance				20		M Ω
CTRL Pin Input Current			-20	20		nA
Switching Frequency	$R_T = 301\text{k}$	●	270	300	335	kHz
	$R_T = 80.6\text{k}$	●	1.05	1.15	1.25	MHz
	$R_T = 40.2\text{k}$	●	2.00	2.20	2.40	MHz
SYNC Function Input Frequency Range	SYNC/MODE = External Clock		0.3	3.0		MHz
Spread Spectrum Frequency Range Range = $(f_{SW(SPREAD-ON)} - f_{SW(SPREAD-OFF)}) * 100\%$	SYNC/MODE = INTVCC				+14	%
Spread Spectrum Modulation Frequency				10		kHz
SYNC Function Input Low Threshold Voltage	SYNC/MODE Pulse Falling				0.8	V
SYNC Function Input High Threshold Voltage	SYNC/MODE Pulse Rising		2.0			V
SYNC/MODE Pin Voltage	SYNC/MODE = Floating			1.3		V

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。 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{OUT} = 36\text{V}$ 、 $CTRL = 2.0\text{V}$ 、 $EN/UVLO = 12\text{V}$ 、 $R_{INTVCC} = 2.2\mu\text{F}$ をGNDに接続、 $R_T = 40.2\text{k}\Omega$ をGNDに接続、 $BST = 0.1\mu\text{F}$ をSWに接続、 $SYNC/MODE$ をGNDに接続。

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
SYNC/MODE Pulse Width High	Synchronization Mode		30			ns
SYNC/MODE Pulse Width Low	Synchronization Mode		30			ns
Bottom Switch Current Limit		●	1.2	1.4	1.6	A
Bottom Switch Minimum Off-Time					50	ns
Bottom Switch Minimum On-Time					80	ns
Bottom Switch On-Resistance				240		mΩ
Top Switch Current Limit (Note 7)	PassThru Mode		1.3	1.6	1.9	A
Top Switch On-Resistance				240		mΩ

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: これらのピンは駆動しないでください。

Note 3: LT8338Eは、0°C～125°Cのジャンクション温度で性能仕様を満たすよう設計されています。-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保されています。LT8338J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、125°Cを超えると動作寿命が定格値より短くなります。

Note 4: これらのICは、一時的な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。この保護機能が動作するときは、ジャンクション温度が最大定格を超えていません。仕様に規定された絶対最大動作ジャンクション温度を超える温度での連続動作は、デバイスの信頼性を損なったり、デバイスに恒久的な損傷を生じさせたりする可能性があります。

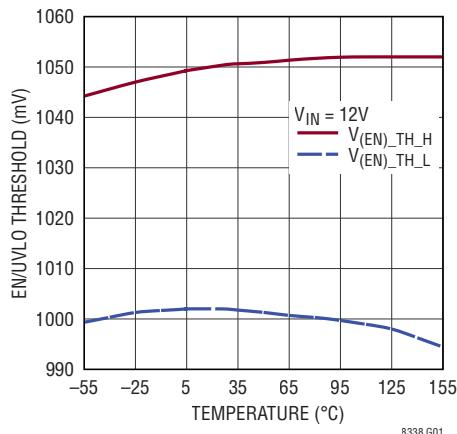
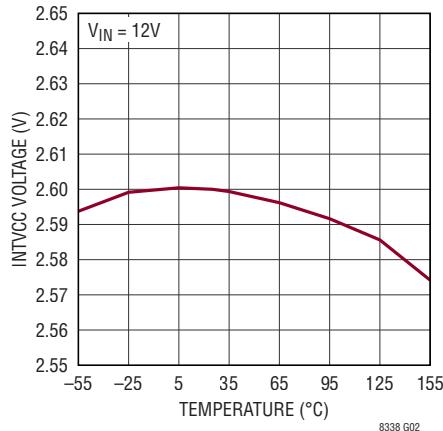
Note 5: V_{IN} 静止電流の仕様値には、指定された $R_{INTVCC} = 1\text{M}$ の抵抗に伴う $2.6\mu\text{A}$ の電流が含まれます。

Note 6: V_{OUT} レギュレーションはサーボ・ループでテストされています

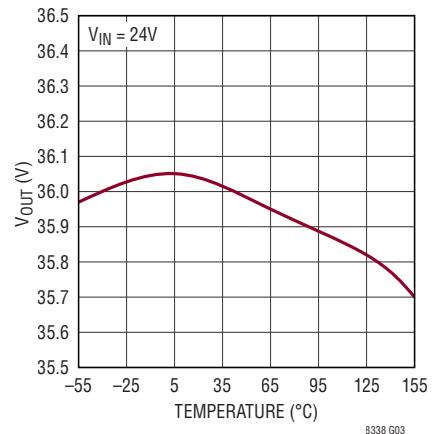
Note 7: 上側スイッチの電流制限により、スイッチ電流がこの制限値未満になるまで下側スイッチがオンになることが防止されます。

代表的な性能特性

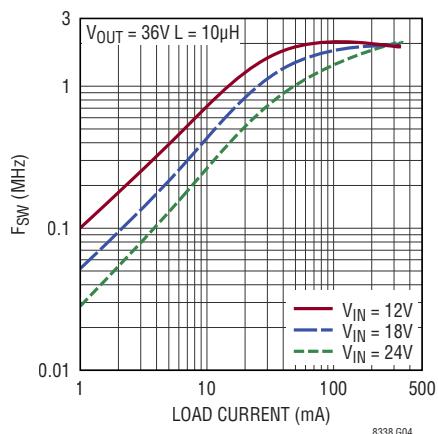
EN/UVLOの閾値と温度の関係

INTV_{CC}の電圧と温度の関係

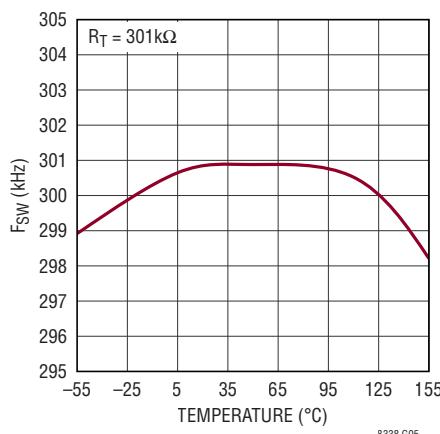
出力電圧と温度の関係



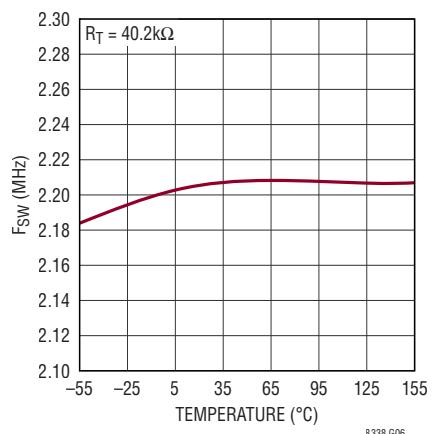
Burst Modeのスイッチング周波数と負荷電流の関係



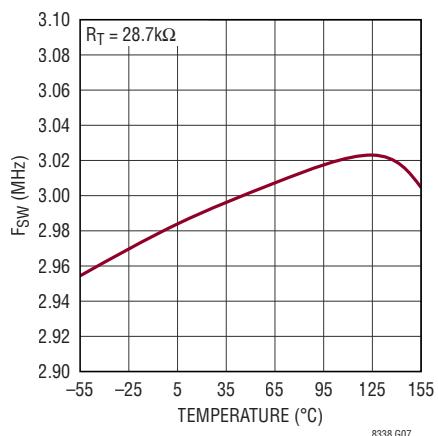
スイッチング周波数と温度の関係



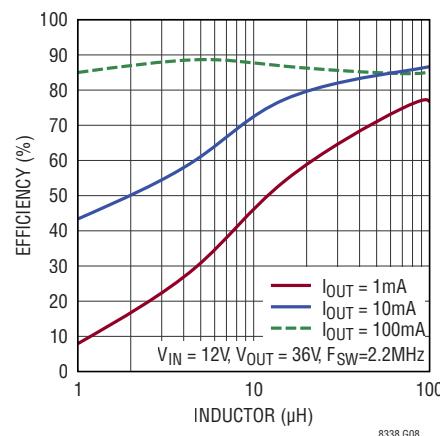
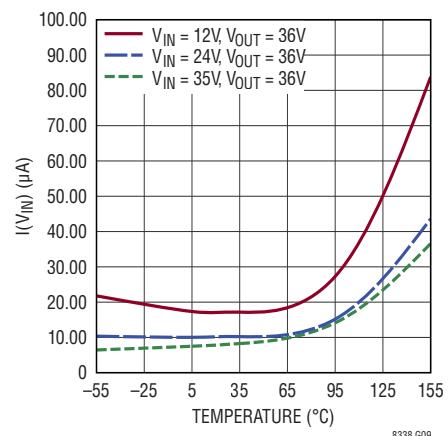
スイッチング周波数と温度の関係



スイッチング周波数と温度の関係

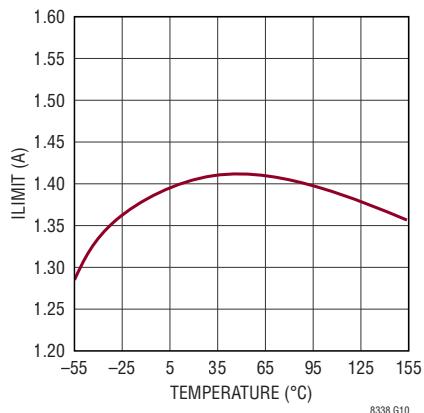


Burst Modeの効率とインダクタ値の関係

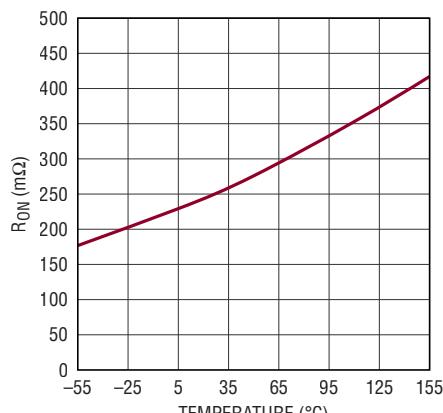
無負荷時の V_{IN} の電流と温度の関係、 V_{IN} 

代表的な性能特性

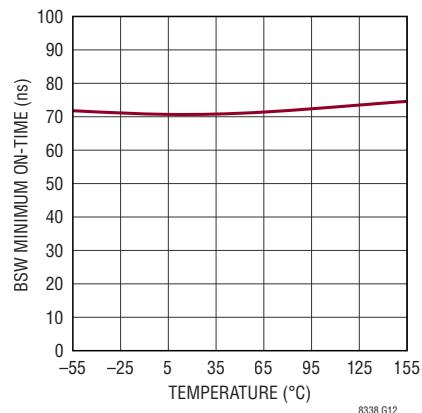
パワー・スイッチの電流制限と
温度の関係



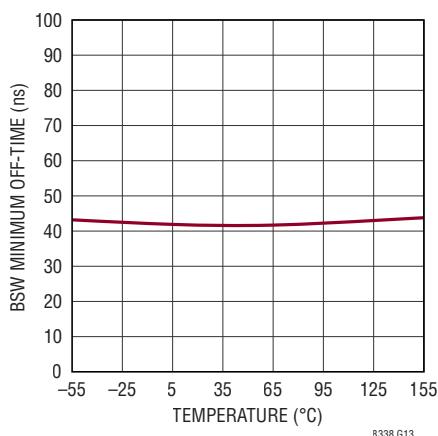
下側スイッチのオン抵抗と
温度の関係



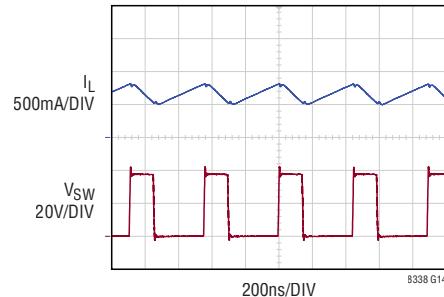
下側スイッチの最小オン時間と
温度の関係



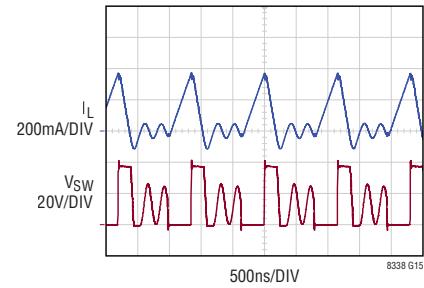
下側スイッチの最小オフ時間と温度
の関係



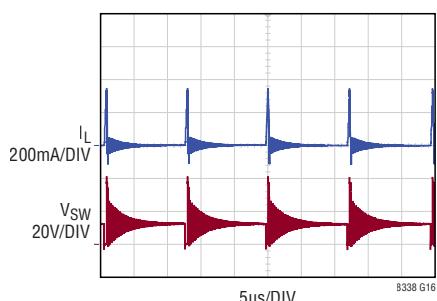
スイッチング波形(CCM 時)



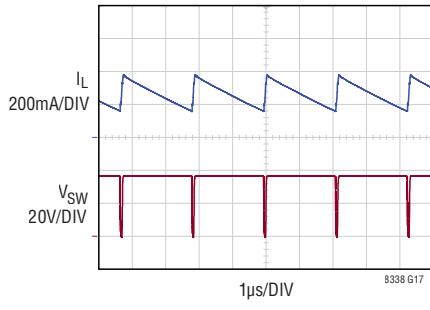
スイッチング波形(軽負荷 Burst
Mode動作時)



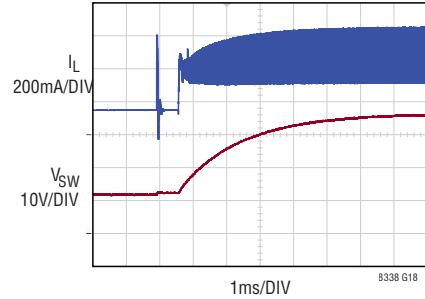
スイッチング波形
(スリープ・モード時)



スイッチング波形
(V_IN が V_OUT に近い場合)

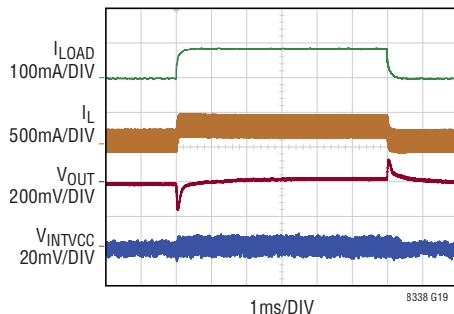


スタートアップ時の波形

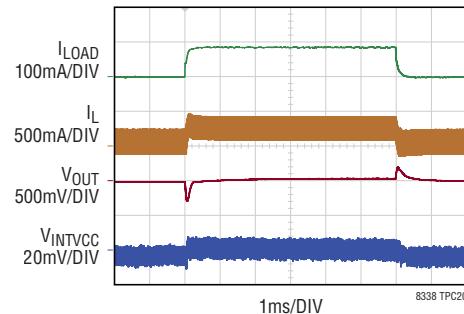


代表的な性能特性

負荷ステップ応答(パルススキッピング・モード)



負荷ステップ応答(Burst Mode動作)



ピン機能

V_{IN}(ピン1): 入力電源ピン。このピンは、0.1μF以上の低ESRセラミック・コンデンサを使ってGNDにバイパスします。コンデンサはできる限りピンの近くに配置します。

BST(ピン2): 上側スイッチ・ゲート・ドライバの電源ピン。0.1μFのコンデンサをBSTとSWの間でピンにできるだけ近い位置に配置し、パターン長を短くします。

SW(ピン3、4): スイッチ・ノード。このピンはインダクタ、および昇圧コンデンサに接続します。SWはdV/dtが高いノードで、配線長をできるだけ短くし高インピーダンス・ノードからは離す必要があります。

V_{OUT}(ピン5): 出力電圧ピン。このピンは、4.7μF以上の低ESRセラミック・コンデンサを使ってGNDにバイパスします。コンデンサはできる限りピンの近くに配置します。特定のアプリケーションで追加容量が必要な場合は、同様にピンの近くに配置します。詳細は[アプリケーション](#)のセクションと[基板レイアウト](#)のセクションを参照してください。18:1の内蔵抵抗分圧器によりエラー・アンプに対する出力電圧のフィードバック・センシングが可能です。

SYNC/MODE(ピン6): 外部同期入力および軽負荷動作モード選択ピン。このピンを使用すれば、5つのモードを選択して性能を最適化することができます。

SYNC/MODEピン入力	使用可能な動作モード
(1) GNDまたは0.14V未満	Burst
(2) GNDへの100kΩ抵抗	Burst/SSFM
(3) フロート(ピン・オープン)	パルススキッピング
(4) INTVCCまたは2.0V超	パルススキッピング/ SSFM
(5) 外部クロック	パルススキッピング/ SYNC

ここで、選択可能な動作モードは以下の通りです：

Burst = 軽負荷時の低I_Q、低出力リップル動作

パルススキッピング = 軽負荷時にパルスをスキップ(クロックに同期)

SYNC = 外部クロックに同期したスイッチング周波数

SSFM = 低EMIを目的としたスペクトラム拡散周波数変調

RT(ピン7): スイッチング周波数セット・ピン。このピンとGNDの間の抵抗を使用してスイッチング周波数を設定します。このピンはオープンのままにしないでください。周波数同期モードの場合は、抵抗R_Tを使用して同期信号と同じ周波数となるようにプログラムします。

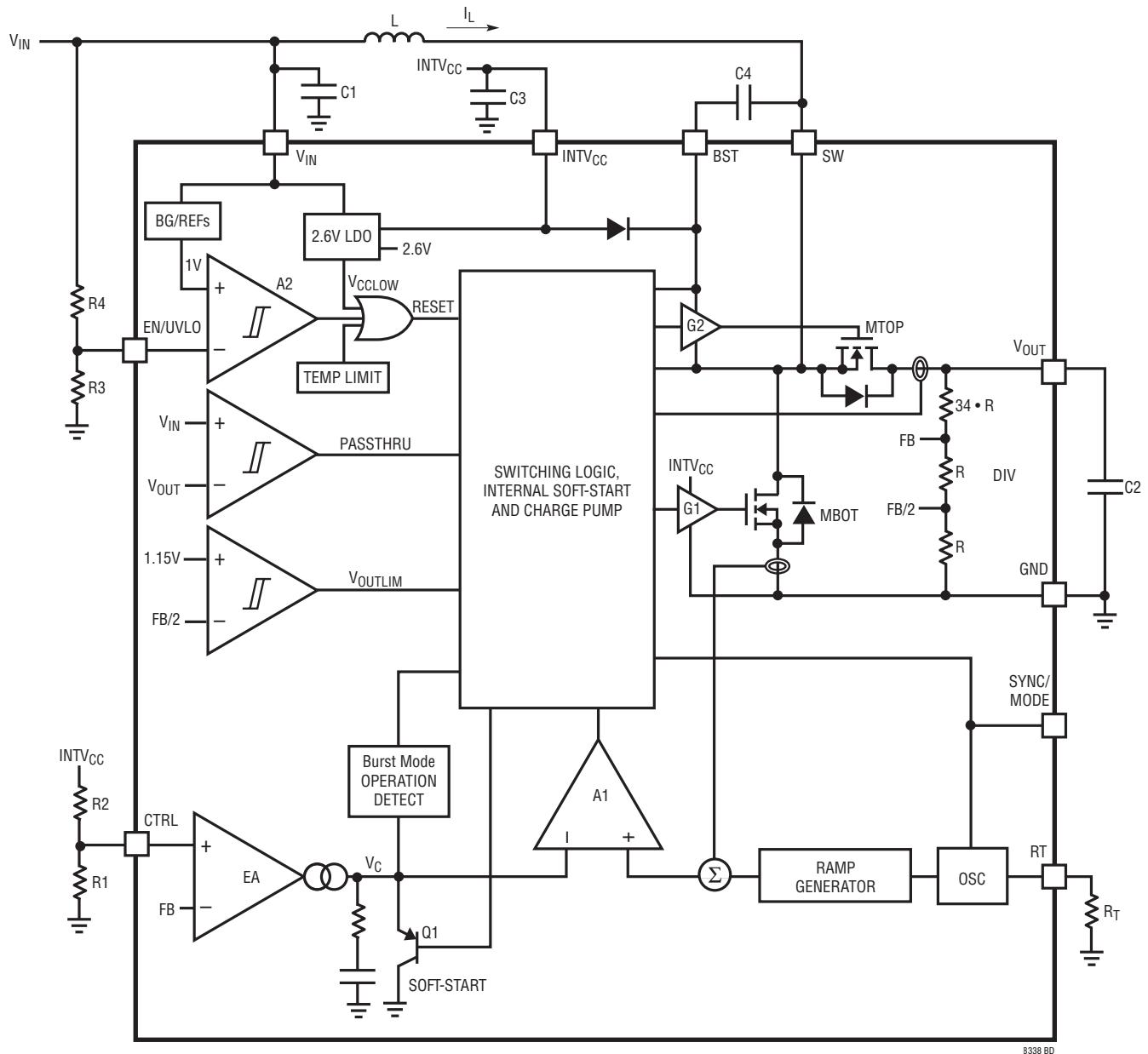
EN/UVLO(ピン8): イネーブルおよび入力低電圧ロックアウト・ピン。LT8338はこのピンが1V(代表値)未満になるとシャットダウンし、1.05V(代表値)を超えるとイネーブルされます。V_{IN}とGNDの間に抵抗分圧器を配置すれば、V_{IN}の閾値をプログラムし、その閾値未満になるとLT8338がシャットダウンするようになります。このピンをGNDに接続すると動作がシャットダウンし、静止電源電流を0.2μA(最大値)に減らすことができます。このシャットダウン機能を使わない場合は、V_{IN}に接続します。

CTRL(ピン9): リファレンス入力ピン。INTVCCとGNDの間に配置した抵抗分圧器のタップ・ポイントをこのピンに接続すると、エラー・アンプのリファレンス入力を目的のシステム出力電圧の1/18に設定できます。

INTVCC(ピン10): 内蔵2.6Vレギュレータ・ピン。このピンは、2.2μF以上の低ESRセラミック・コンデンサを使ってGNDにバイパスします。コンデンサはできる限りピンの近くに配置します。INTVCCとGNDの間の抵抗分圧器を介してCTRLピンの電圧をプログラムすることで、出力電圧(V_{OUT})を設定します。シャットダウン時にV_{IN}静止電流への分圧器の影響を2.6μAに維持するには、合計抵抗が1MΩ以上となるようにします。

GND(ピン11): グラウンド・ピン。最高の温度性能を実現するには、このピンをシステム・グラウンドおよびグランド・プレーンに接続します。

ブロック図



動作

LT8338は、固定周波数の電流モード制御方式を使用して優れたライン・レギュレーションと負荷レギュレーションを行う、同期整流式昇圧コンバータです。[ブロック図](#)に示すように、スイッチング・ロジックおよびチャージ・ポンプ・ブロックは、各発振器サイクルの開始時にドライバG1を通じてパワー・スイッチMBOTをオンにします。インダクタ電流 I_L がMBOTを流れ、その電流検出信号が安定化スロープ補償ランプに加えられて、その合計値がPWMコンパレータA1の正端子に供給されます。「V_C」で示されるA1の負入力の電圧はエラー・アンプEAによって設定されますが、これは(内部部分圧器からの)帰還電圧と(CTRLピンからの)リファレンス電圧の差を增幅したものです。MBOTがオンになっている間は I_L が増加します。A1の正入力の信号がV_Cを超えた場合、A1はMBOTをオフにする信号を送ります。MBOTがオフになると、次のクロック・サイクルが始まるまで、あるいはインダクタ電流 I_L が0になるまで、同期電源スイッチMTOPがオンになります。過負荷状態となって上側のスイッチに流れる電流が過大となった場合は、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延されます。この繰り返し動作を通じ、EAは正しい I_L ピーク電流レベルを設定して出力のレギュレーションを維持します。

EN/UVLOピンが $\geq 0.3V$ 未満の場合、LT8338はシャットダウンし、入力から流れる電流を $0.2\mu A$ 未満にします。EN/UVLO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。

LT8338は、SUNC/MODEピンを設定することで、様々なモードで動作するよう設定できます。SYNC/MODEピンを直接グラウンドに接続すると、LT8338は、軽負荷時の静止電流が極めて低い、低出力リップルのBurst Mode動作を行います。SYNC/MODEピンを $100k\Omega$ の抵抗を介してグラウンドに接続すると、周波数スペクトラム拡散変調を行うBurst Mode動作がイネーブルされます([周波数スペクトラム拡散変調のセクション](#)を参照)。Burst Mode動作が選択された場合、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バースト間の静止電流を低減します。SYNC/MODEピンがフローティングの場合、LT8338はパルススキッピング・モードで動作します。このモードでは、Burst Mode動作に比べ出力リップルは少なくなりますが、静止電流は数 $100\mu A$ に増加します。このSYNC/MODEピンをINTV_{CC}に接続すると、スペクトラム拡散変調をイネーブルしたパルススキッピング動作が選択されます。スペクトラム拡散変調ではEMIを減らすためにスイッチング周波数が変更されます。SYNC/MODEピンが外部クロックで駆動される場合、コンバータのスイッチング周波数はそのクロックに同期し、パルススキッピング・モードがイネーブルされます。

アプリケーション情報

EN/UVLOピンによるV_{IN}オン/オフ閾値のプログラミング

LT8338はEN/UVLOピンがローになるとシャットダウンします。ENコンパレータの立下がり閾値は1Vで、ヒステリシスは50mVです。シャットダウン機能を使わないう場合は、ENピンを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は、このピンをロジック・レベルに接続することもできます。EN/UVLOピンが0.3V未満になると、LT8338には極めて小さいシャットダウン静止電流(代表値0.2μA)が流れます。

V_{IN}とEN/UVLO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LT8338を設定できます。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・レギュレータはソースから一定の電力を引き出すため、ソース電圧が低下するとソース電流が増加します。これは電源からすると負性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ピング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1の条件を満たすようにR3とR4の値(ブロック図を参照)を設定することによって調整できます。

$$\begin{aligned} V_{IN,FALLING} &= 1V \cdot \frac{(R3+R4)}{R3} \\ V_{IN,RISING} &= 40mV \cdot \frac{(R3+R4)}{R3} + V_{IN,FALLING} \end{aligned} \quad (1)$$

軽負荷アプリケーションでのBurst Mode動作時は、R3とR4抵抗ネットワークに流れる電流が、LT8338の消費する電源電流を簡単に超えてしまう可能性があります。そのため、低負荷時の効率への影響が少なくなるように、R3とR4は十分大きな値であることが必要です。

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、ドライバと内部バイアス回路に電力を供給する2.6Vの電源をV_{IN}から生成します。INTV_{CC}はLT8338の回路に十分な大きさの電流を供給できますが、2.2μF以上の低ESR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・ドライバに必要とされる高過渡電流を供給するには、良好なバイパスが必要です。高V_{IN}電圧と高スイッチング周波数を使用するアプリケーションでは、LDOで消費される電力が大きくなるため、ダイ温度が上昇します。INTV_{CC}立下がり閾値(スイッチングを停止しソフトスタートをリセットするためのもの)は2.2V(代表値)で、立上がり閾値は2.3Vです。INTV_{CC}ピンには外部負荷を接続しないでください。

超低静止電流の実現

LT8338を軽負荷時に効率を向上できるBurst Mode動作に設定すると、最小のピーク・インダクタ電流は約300mAに設定されます。これは、V_Cノードがより低い値を示している場合も有効です(ブロック図を参照)。Burst Mode動作の場合、LT8338は単一パルスの電流を複数回出力コンデンサに送ってその後はスリープ期間になります。その間の電力は出力コンデンサから供給されます。つまり、軽負荷条件では、LT8338はインダクタのピーク電流を減らすのではなく、スイッチング周波数を下げることによって出力レギュレーション電圧を維持します。

出力負荷が低下するにつれて单一電流パルスの繰り返し頻度は減少し(図1参照)、LT8338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もはるかに高くなります。パルスとパルスの間の時間を最大限まで延ばすことにより、出力負荷のない場合、代表的アプリケーションではコンバータの静止電流が6μAに近付きます。また、軽負荷時の高効率が必要な場合は、より大きなインダクタ値を選択する必要があります。詳細については、代表的な性能特性のセクションにあるBurst Modeの効率とインダクタ値の関係を示すグラフを参照してください。

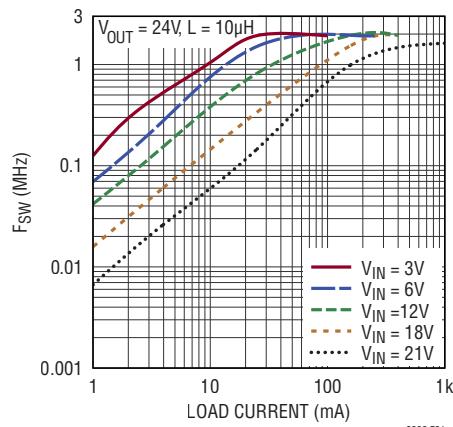


図1. Burst Modeの周波数と負荷の関係

アプリケーション情報

Burst Mode動作時(図2参照)、下側スイッチの電流制限値は約300mAです(代表的な性能特性のセクションのBurst Mode動作時のスイッチング波形を参照)。その結果、パルススキッピング・モードの動作に比べて出力電圧のリップルが大きくなります。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。負荷がゼロから増加して行くときは、スイッチング周波数も、 R_T 抵抗によってプログラムされた値になるまで増加を続けます。LT8338がプログラムされた周波数に達する出力負荷は、入力電圧、出力電圧、およびインダクタの選択に基づいて変化します。

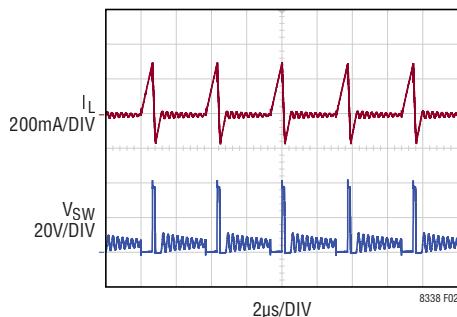


図2. Burst Mode の動作波形

アプリケーションによっては、LT8338がパルススキッピング・モードで動作することが必要な場合があります。パルススキッピング・モード動作には、バースト・モード動作と大きく異なる点が2つあります。1つめは、クロックが常時作動していて、すべてのスイッチング・サイクルがこのクロックにアラインされる点です。このモードでは内部回路のほとんどが常時作動しているため、静止電流が1000μAまで増加します(これに対し、Burst Mode動作の静止電流は6μAです)。2つめは、パルススキッピング・モード動作では、出力リップルが小さくなる他、可聴ノイズやRF干渉も減少する点です。

動作周波数と同期

動作周波数の選択は、効率と部品サイズのトレードオフです。低周波数動作では、パワー・スイッチのスイッチング損失とゲート駆動電流を減らすことができるため効率が向上します。しかし、低周波数動作には物理的サイズの大きいインダクタが必要です。LT8338は固定周波数アーキテクチャを使用しています。このアーキテクチャでは、[ブロック図](#)に示すように、RTピンとグラウンドの間に抵抗を1個外付けすること

によって、周波数を300kHz~3MHzの範囲でプログラムすることができます。

[表1](#)にいくつかの特定のスイッチング周波数に対する R_T の例を示します。

表1. SW周波数(f_{SW})と R_T 値の関係

f_{SW} (MHz)	R_T (kΩ)	f_{SW} (MHz)	R_T (kΩ)
0.3	301	1.7	52.3
0.4	226	1.8	49.9
0.5	182	1.9	46.4
0.6	154	2.0	44.2
0.7	133	2.1	42.2
0.8	118	2.2	40.2
0.9	102	2.3	38.3
1.0	93.1	2.4	36.5
1.1	84.5	2.5	34.8
1.2	76.8	2.6	33.2
1.3	71.5	2.7	32.4
1.4	64.9	2.8	30.9
1.5	60.4	2.9	29.4
1.6	56.2	3.0	28.7

LT8338の動作周波数は、外部クロック源に同期可能です。SYNC/MODEピンにクロック信号を入力することによって、LT8338はSYNCパルス周波数で動作し、軽負荷時には自動的にパルススキッピング・モード動作に入ります。この機能を使用するときは、SYNCパルス周波数に等しいかそれよりわずかに小さいスイッチング周波数をプログラムできる R_T 抵抗を選ぶ必要があります。例えば、同期信号が500kHz以上の場合は、500kHzとなる R_T を選択する必要があります。勾配補償は R_T 値によって設定されますが、低調波振動を避けるために必要な最小の勾配補償は、インダクタ・サイズ、入力電圧、出力電圧によって確定します。同期周波数によってインダクタ電流波形の勾配が変化するわけではないため、インダクタが R_T で設定された周波数での低調波振動を回避できるだけの大きさであれば、勾配補償はすべての同期周波数に対して十分なものになります。

アプリケーション情報

入力同期クロック信号は、矩形波、三角波、サイン波のいずれかになります。入力信号の谷は1V未満、ピークは2Vを超えており、2Vの閾値より高く0.8Vの閾値より低い入力信号振幅の持続時間は30ns以上であることが必要です。

周波数スペクトラム拡散変調

LT8338は、EMI/EMC放射を更に減らすためにスペクトラム拡散動作を行うことを特長としています。100kΩの抵抗を介してSYNC/MODEピンをグラウンドに接続すれば、Burst Mode動作で周波数スペクトル変調を選択できます。あるいは、SYNC/MODEピンをINTVCCに接続すれば、パルススキッピング・モード動作で周波数拡散変調を選択できます。周波数スペクトル変調を選択しコンバータが重負荷で動作する場合、三角周波数変調によりスイッチング周波数が R_T でプログラムされた値とそれより約14%大きい値との間で変化します。変調周波数はスイッチング周波数の約0.42%です。例えば、LT8338が2MHzにプログラムされている場合、周波数は2MHz～2.3MHzに9kHzのレートで変動します。軽負荷動作の場合、スペクトラム拡散周波数変調は、Burst Mode動作よりパルススキッピング・モード動作で使用した方が効果的です。これは、パルススキッピング動作では、スペクトル拡散したスイッチング周波数がBurst Mode動作の場合よりもはるかに低い負荷電流まで維持されることによります。

CTRL抵抗ネットワーク

出力電圧は式2に従い内部設定されます。

$$V_{OUT} = V_{CTRL} \cdot 18 \quad (2)$$

通常、CTRLピンの電圧は、INTVCCとグラウンドの間の抵抗分圧器でプログラムされます(ブロック図を参照)。

出力電圧の精度を確保するために、1%の抵抗を推奨します。分圧器に流れる電流は内部LDOの負荷電流として働き、コンバータへの無負荷時入力電流を増大させます。入力静止電流を低く抑え、良好な軽負荷時効率を得る必要がある場合は、CTRL抵抗分圧器に大きい抵抗値を使用してください。

V_{IN} から V_{OUT} へのPassThruモード動作

V_{IN} がCTRLピンの電圧でプログラムされたレギュレーション後の V_{OUT} 電圧より大きくなると、LT8338昇圧コンバータはPassThru動作に入ります。この場合、同期パワー・スイッチMTOP(ブロック図を参照)が常時オンになり、パワー・スイッチMBOTは常時オフになります。また、内部のチャージ・ポンプ回路がアクティブ化され、MTOPのゲート駆動電圧を維持するのに十分な電流を昇圧コンデンサ(CBST)に供給します。PassThruモードでは、インダクタとパワー・スイッチにより V_{OUT} が V_{IN} に実質的に短絡されます。 V_{IN} が V_{OUT} の電圧以下に低下した場合、またはインダクタが V_{OUT} から V_{IN} に300mAを超える電流を導通した場合、LT8338はPassThruモード動作を終了します。 V_{OUT} が必要な電圧より低い場合は、通常の昇圧スイッチング動作が再開します。

V_{IN} が V_{OUT} に近付いた場合のスイッチング周波数

フォールドバック

昇圧アプリケーションによっては、 V_{IN} が V_{OUT} に非常に近い電圧まで増加することがあります。この状態では、 V_{OUT} のレギュレーションを維持するために、非常に低いデューティ・サイクルでスイッチング・レギュレータを作動させる必要があります。しかし、最小オン時間の制限により、プログラムされたスイッチング周波数では、スイッチャを十分低いデューティ・サイクルにできない可能性があります。その結果、通常の昇圧コンバータでは大きな出力リップルが生じる可能性があります。LT8338はスイッチング周波数フォールドバック機能を採用し、最小オン時間によってスイッチャを十分低いデューティ・サイクルにできない場合にスイッチング周波数をスムーズに下げることによって、この問題に対処しています。 V_{IN} が V_{OUT} に近付いている状態での代表的なスイッチング波形を、代表的な性能特性のセクションに示します。

ソフトスタート

スイッチング・レギュレータでは起動時に高ピーク・スイッチ電流が生じることがあります。 V_{OUT} はその最終値からは大きく異なるため、帰還ループは飽和し、レギュレータはできるだけ早く出力コンデンサを充電しようとします。そのため、ピーク電流が増大します。大きなサージ電流はインダクタの飽和やパワー・スイッチの異常を引き起こす可能性があります。

LT8338は、ソフトスタート機能を使用して、起動時のピーク・スイッチ電流と出力電圧(V_{OUT})のオーバーシュートを制限したり、外部部品や負荷の損傷を防止するために異常状

アプリケーション情報

状態からの回復を行います。ブロック図に示すように、ソフトスタート機能は、Q1を通じてV_Cのランプを制御することで、パワー・スイッチ電流のランプを制御します。これにより、起動時のピーク・電流を制限しながら、出力コンデンサを最終値まで徐々に充電することができます。代表的な起動波形を代表的な性能特性のセクションに示します。

ホット・プラグ

LT8338昇圧コンバータを通電状態の電源にそのまま接続すると、L、C2、およびMTOPのボディ・ダイオードで構成される共振回路(ブロック図を参照)によって、V_{OUT}がV_{IN}の2倍の電圧でリングを起こすことがあります。このようなオーバーシュートがV_{OUT}の定格を超えてしまう場合は、負荷およびコンバータを保護するために制限を加える必要があります。このような条件では、図3に示すようにV_{IN}とV_{OUT}の間に小さいダイオード(ショットダイオードまたはシリコン・ダイオード)を接続することで共振回路を無効化し、V_{OUT}のオーバーシュートを制限することができます。このようなダイオードの接続は、出力短絡や過負荷といった出力異常状態に対して、LT8338の昇圧機能の堅牢性を向上させることにもなります。これは、ダイオードが出力電流の大部分をLT8338から迂回させるためです。ダイオードに電流が流れるのは起動時または出力故障時に限られるので、ダイオードの定格は最大負荷電流の約1/2から1/5とすることができます。

故障保護

INTV_{CC}の低電圧(INTV_{CC} < 2.2V)またはサーマル・ロックアウト($T_J > 170^{\circ}\text{C}$)が発生すると直ちにコンバータはスイッチングを停止し、V_Cをプルダウンしてソフトスタートをリセットします。INTV_{CC} > 2.3V、ダイ温度が165°C以下になると故障は解消されます。すべての故障が解消されると、LT8338はソフトスタートによりV_Cインダクタのピーク電流制限を行いながらスイッチングを再開します。

また、V_{OUT}過電圧(V_{OUT} > 41.4V)が発生すると、コンバータは直ちにスイッチングを停止し、V_{OUT}が40.6V未満になるとスイッチングを再開します。

デューティ・サイクルに関する考慮事項

LT8338の最小オン時間、最小オフ時間、スイッチング周波数により、コンバータの許容可能な最小デューティ・サイクル

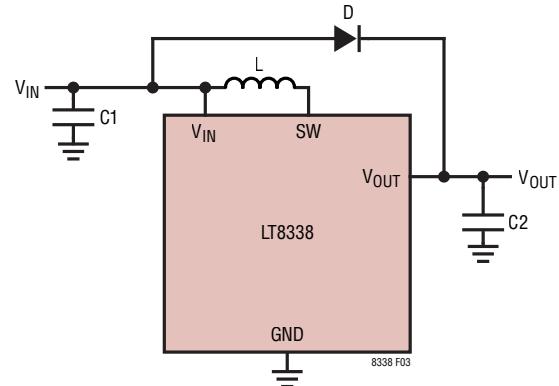


図3. V_{IN}とV_{OUT}の間にダイオードを追加した
LT8338電力段の簡略図

と最大デューティ・サイクルが次式のように決まります(電気的特性の表の最小オン時間、最小オフ時間、スイッチング周波数を参照)。

$$\text{最小許容可能デューティ・サイクル} =$$

$$\frac{\text{最小オン時間(MAX)} \cdot f_{\text{OSC(MAX)}}}{\text{最小オフ時間(MAX)} \cdot f_{\text{OSC(MAX)}}}$$

$$\text{最大許容可能デューティ・サイクル} =$$

$$1 - \frac{\text{最小オフ時間(MAX)} \cdot f_{\text{OSC(MAX)}}}{\text{最小オン時間(MAX)} \cdot f_{\text{OSC(MAX)}}}$$

連続導通モード(CCM)での昇圧コンバータ動作に必要なスイッチ・デューティ・サイクルの範囲は、式3を使用して計算できます。

$$\begin{aligned} D_{\text{MIN}} &= \frac{V_{\text{OUT}} - V_{\text{IN(MAX)}}}{V_{\text{OUT}}} \\ D_{\text{MAX}} &= \frac{V_{\text{OUT}} - V_{\text{IN(MIN)}}}{V_{\text{OUT}}} \end{aligned} \quad (3)$$

目的のアプリケーションに対する上記デューティ・サイクルの計算結果が最小許容デューティ・サイクルや最大許容デューティ・サイクルの条件を満たさない場合、不連続導通モード(DCM)動作とすることで対応できる場合があります。V_{IN}とV_{OUT}が同レベルの場合、DCMの動作はCCMほど低いデューティ・サイクルを必要としません。DCMでは、CCMより高いデューティ・サイクルの動作も可能です。DCMのその他の利点は、低調波振動と右半面ゼロ(RHPZ)を回避するのに必要なインダクタ値とデューティ・サイクルに対する制限を除去できることです。DCMにはこうした利点を提供できる

アプリケーション情報

半面、インダクタ・ピーク電流が大きくなる、利用可能出力電力が低くなる、効率が低下するなどのトレードオフがあります。

インダクタの選択

インダクタのピーク to ピーク電流リップル ΔI_{SW} は、インダクタ値の選択、コンバータの最大出力電流能力、および Burst Mode動作における軽負荷時の効率に直接影響します。 ΔI_{SW} を小さくすれば出力電流能力と Burst Mode動作における軽負荷時効率は向上しますが、より大きいインダクタンスが必要となり、電流ループ・ゲインも低下します(コンバータが電圧モードに近付く)。 ΔI_{SW} が大きくなると高速の過渡応答が得られ、低インダクタンス値の使用も可能になりますが、入力電流リップルやコア損失の増大、Burst Mode動作における軽負荷時効率の低下、出力電流能力の低下といった欠点が生じます。

動作入力電圧範囲が決まって、動作周波数とインダクタのリップル電流を選択したら、次式を使って昇圧コンバータのインダクタ値を決定することができます。

$$L = \frac{V_{IN(MIN)}}{\Delta I_{SW} \cdot f} \cdot D_{MAX} \quad (4)$$

ここで、リップル電流 ΔI_{SW} を 0.2A に設定するとよい開始点になります。ピーク・インダクタ電流は、スイッチ電流制限値(代表値 1.2A)です。 I^2R 電力損失を最小に抑えるには、飽和値と RMS 定格が十分大きく DCR が低いインダクタを選択する必要があります。

入力コンデンサの選択

LT8338 回路の入力は、X7R または X5R のタイプのセラミック・コンデンサでバイパスします。入力バイパス・コンデンサの値はソース・インピーダンスの関数であり、一般にソース・インピーダンスが高いほど必要な入力容量も大きくなります。コンデンサの値は入力電流リップルによっても異なります。昇圧コンバータの入力電流は連続的なものなので入力リップル電流は(出力リップル電流と比較して)比較的低い値に止まります。LT8338 のバイパスには 2.2μF ~ 10μF のセラミック・コンデンサが適切で、リップル電流が容易に処理できます。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、低性能の電解コンデンサを使用できます。

入力コンデンサ C1 の定格電圧は、最大入力電圧より十分大きくする必要があります。セラミック・コンデンサは過電圧状態に対して比較的耐性がありますが、アルミニウム電解コンデンサにはこの耐性はありません。入力コンデンサに過度のストレスを与えるあらゆる過電圧トランジエントの可能性について、入力電圧の特性評価を行なうようにしてください。

出力コンデンサの選択

出力コンデンサには欠くことのできない 2 つの役割があります。1 つめが、LT8338 の不連続トップ・スイッチ電流のフィルタリングを行って、DC 出力を生成することです。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の小さいことが重要です。2 つめの役割は、トランジエントな負荷を吸収して LT8338 の制御ループを安定るためにエネルギーを保存することです。X5R および X7R タイプのセラミック・コンデンサは等価直列抵抗(ESR)が非常に小さく、出力リップルを緩和して良好な過渡応答を実現します。出力容量を大きくするとトランジエント性能が向上できます。出力容量を大きくすると、出力電圧リップルを小さくすることもできます。スペースとコストを節約するために出力容量を小さくすることができますが、トランジエント性能が低下してループも不安定になります。

LT8338 出力コンデンサには、4.7μF セラミック・コンデンサが適当です。このセラミック・コンデンサは VOUT/GND の近くに配置します。詳細については [基板レイアウト](#) のセクションを参照してください。より低いスイッチング周波数を使用する場合は、それだけ大きい出力容量が必要となります。コンデンサを選択するときは、コンデンサのデータシートを十分に吟味し、電圧バイアスや温度など関係する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、あるいはより高い電圧定格のコンデンサが必要となることもあります。適切な開始値については、[標準的応用例](#) のセクションを参照してください。

基板レイアウト

推奨 PCB レイアウトを [図 4](#) に示します。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、LT8338 のデモ・ボード・ガイドを参照してください。

アプリケーション情報

出力コンデンサは、インダクタや入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、切れ目のない電源グランド・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BSTノードは、できるだけ小さくする必要があります。

また、CTRLノードと R_T ノードも小さく保ち、グラウンド・パターンによってそれらが、SWノードやBST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。周囲温度に対する熱抵抗を下げるには、パッケージ底面にあるエクスポートード・パッドをGND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に接続された電源グランド・プレーンをできるだけ広くして、回路基板内および底面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。

熱に対する考慮事項

LT8338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を払う必要があります。電源グランド・プレーン

は、サーマル・ビアを配置した広い銅層で構成する必要があります。これらの層は、LT8338が放出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付くに従ってディレーティングする必要があります。LT8338内の消費電力は、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。ジャンクション温度は、LT8338の合計消費電力にジャンクションから周囲への熱抵抗を乗じ、その値に周囲温度を加えることによって計算できます。LT8338は、一時的な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内蔵しています。過熱保護機能により、ジャンクション温度が 170°C を超えた場合に内部ソフトスタートがトリガれます。この保護機能が動作するときは、ジャンクション温度が最大定格値を超えています。仕様に規定された絶対最大動作ジャンクション温度(絶対ジャンクション定格のセクションを参照)を超える温度での連続動作は、デバイスの信頼性を損なったり、デバイスに恒久的な損傷を生じさせたりする可能性があります。

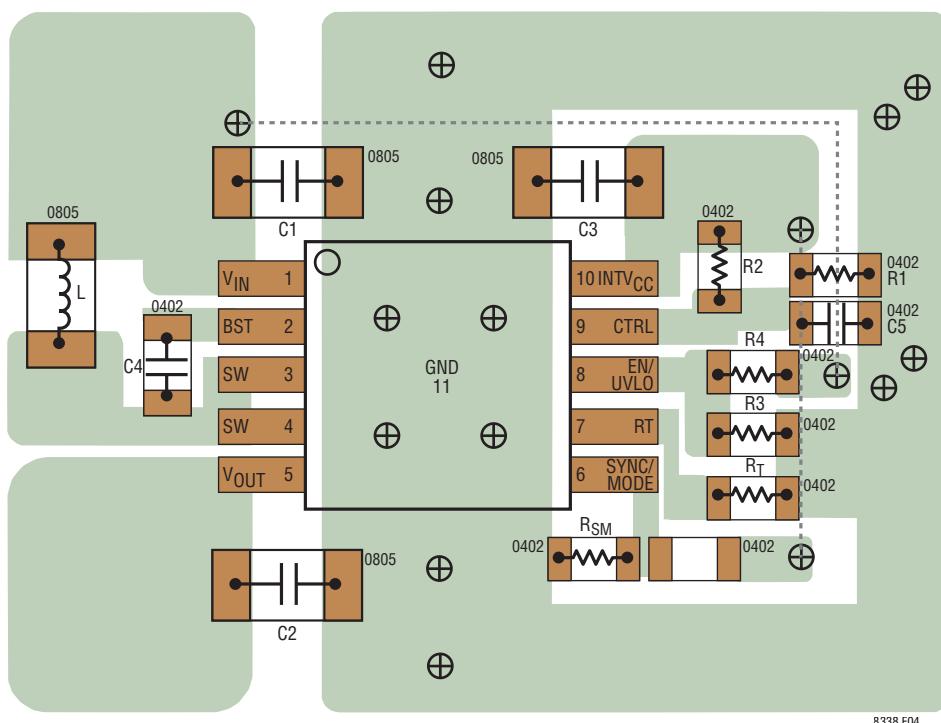
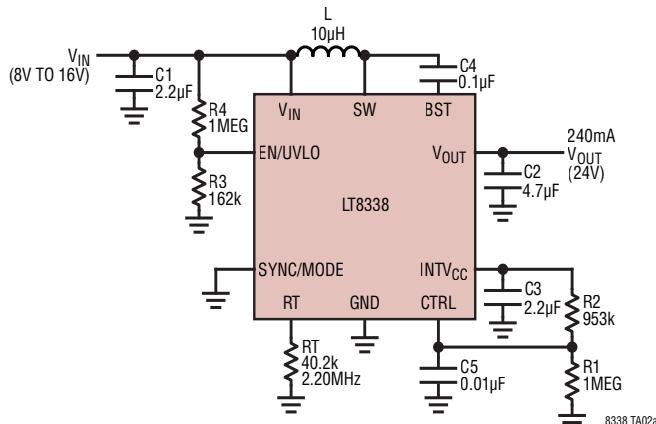


図4. LT8338の推奨PCBレイアウト

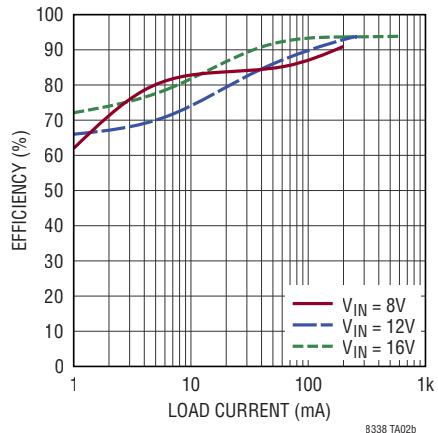
標準的応用例

8V～16V入力、24V出力の昇圧コンバータ



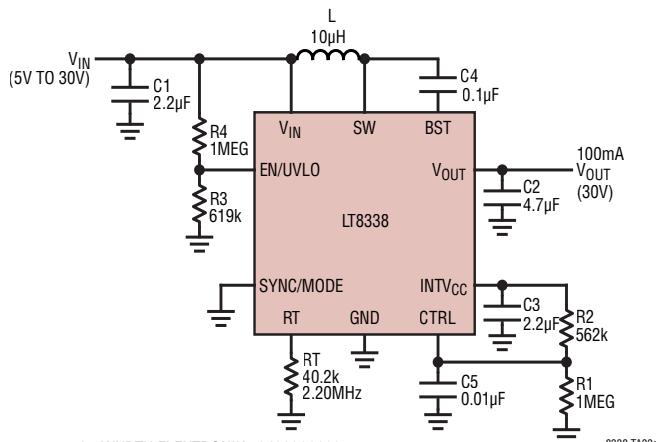
L: WURTH ELEKTRONIK 78438336100
 C1: TDK CGA4J3X7R1H225K125AB
 C2: TDK CGA4J1X7R1H475K125AC

効率



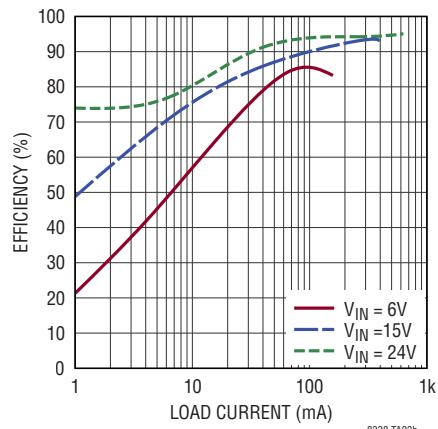
8338 TA02b

5V～30V入力、30V出力の昇圧コンバータ



L: WURTH ELEKTRONIK 78438336100
 C1: TDK CGA4J3X7R1H225K125AB
 C2: TDK CGA4J1X7R1H475K125AC

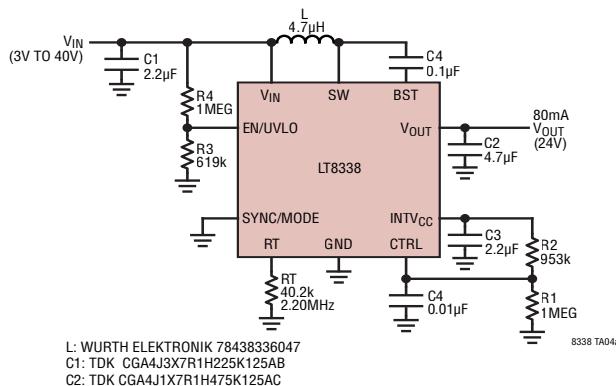
効率



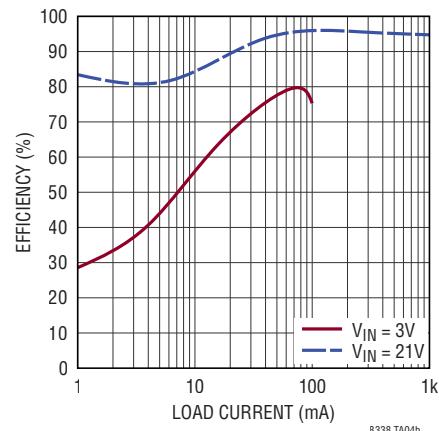
8338 TA03b

標準的応用例

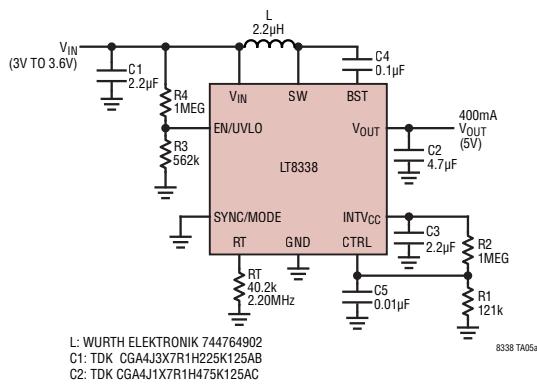
3V～40V 入力、24V 出力の事前昇圧コンバータ



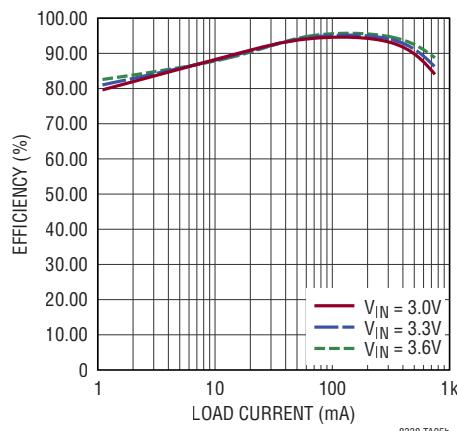
効率



3V～3.6V 入力、5V 出力の昇圧コンバータ

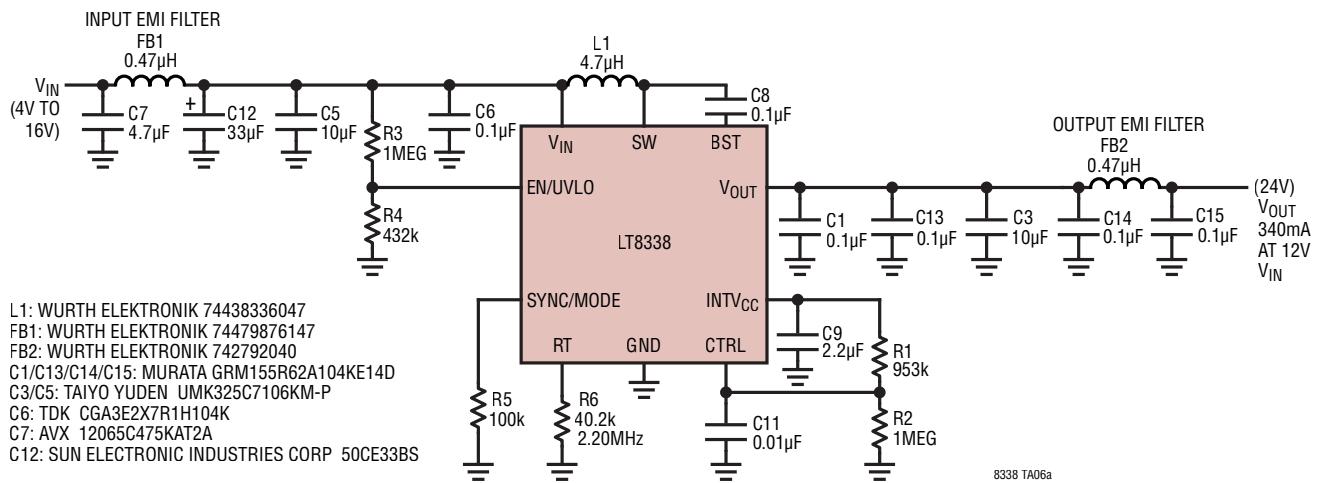


効率

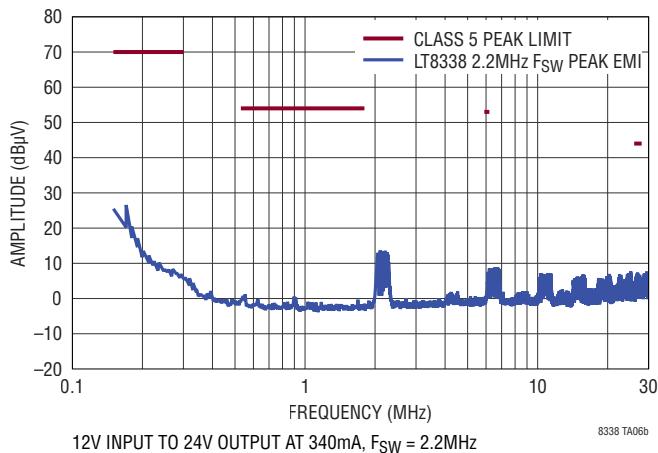


標準的応用例

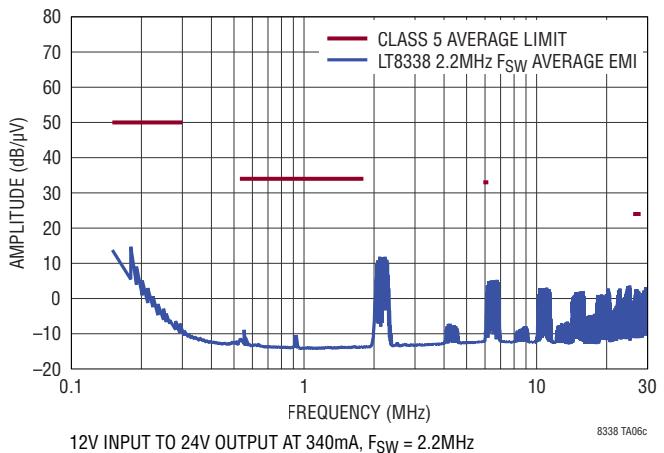
4V～16V 入力、24V 出力のSSFM付きマイクロパワー同期整流式昇圧コンバータ



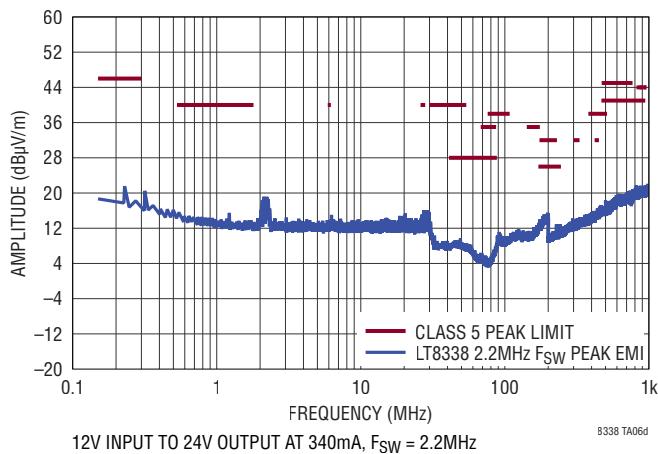
伝導EMI性能(CISPR25クラス5ピーク値)



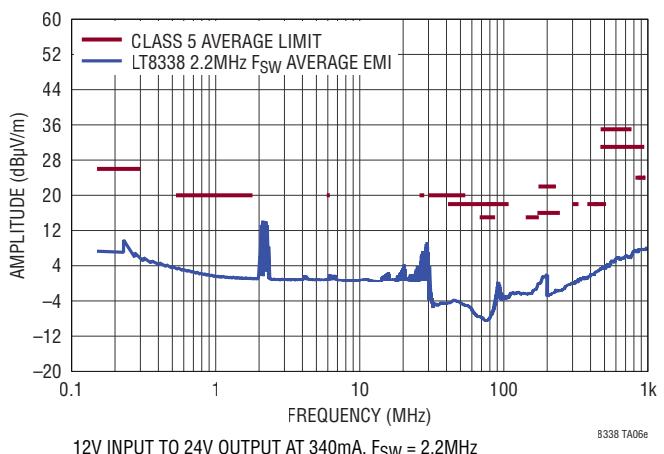
伝導EMI性能(CISPR25クラス5平均値)



放射EMI性能(CISPR25クラス5ピーク値)

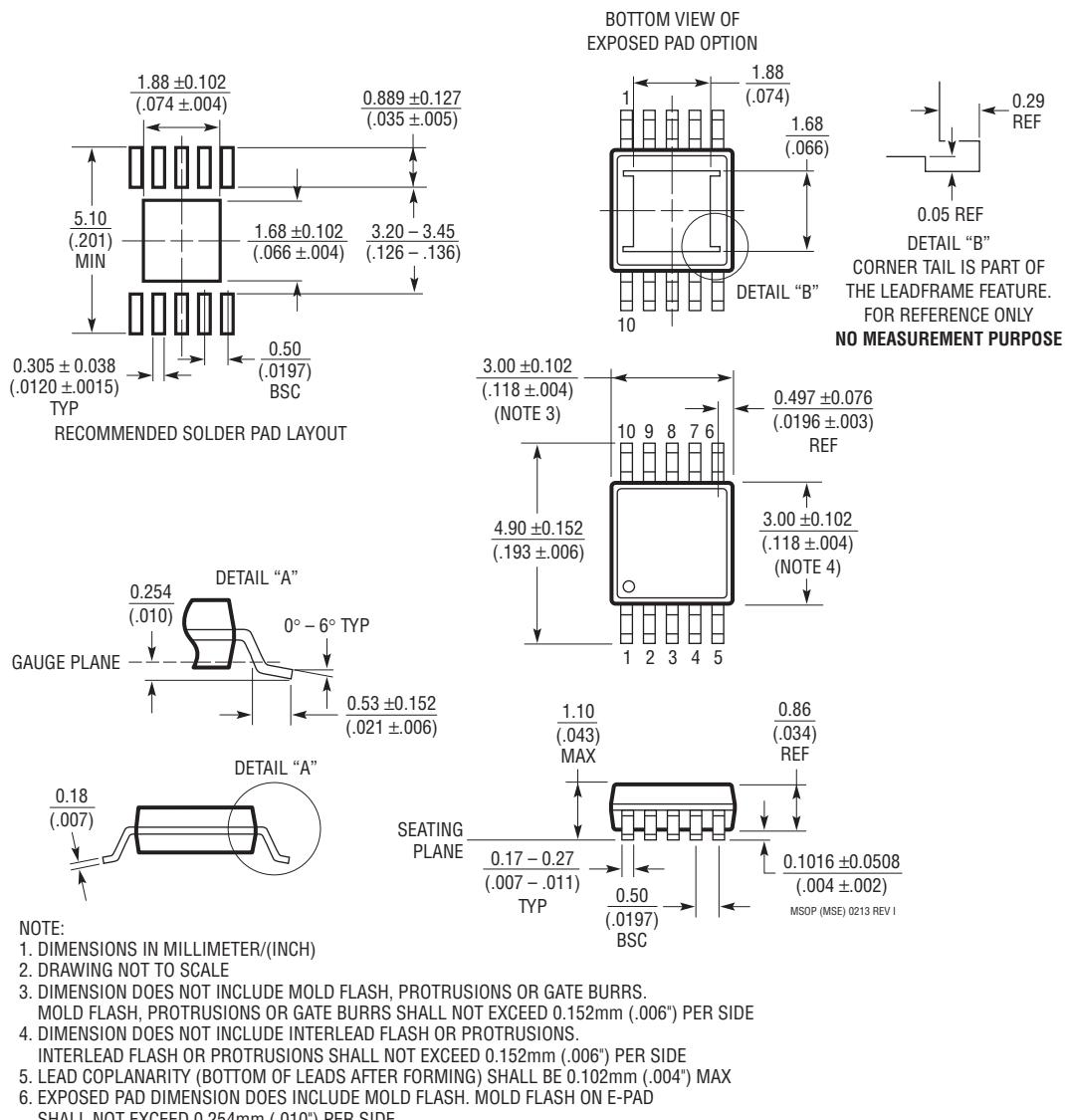


放射EMI性能(CISPR25クラス5平均値)



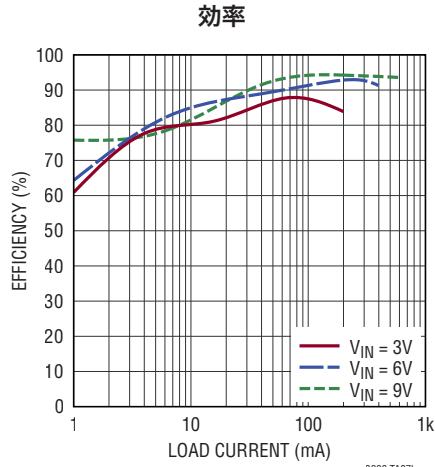
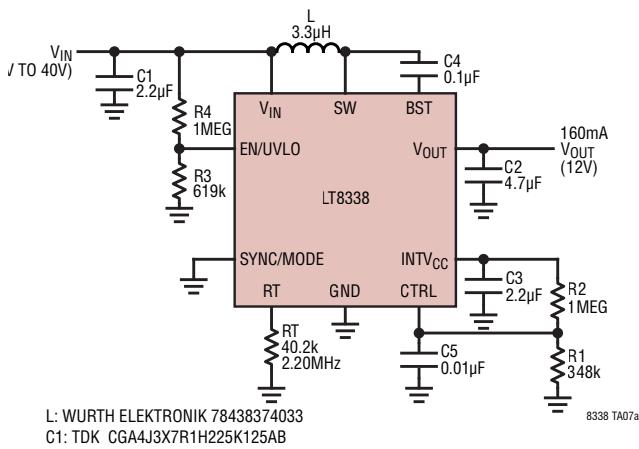
パッケージ

MSE Package 10-Lead Plastic MSOP, Exposed Die Pad (Reference LTC DWG # 05-08-1664 Rev I)



標準的応用例

3V~40V入力、12V出力の事前昇圧コンバータ



関連製品

製品番号	概要	注釈
LT8336	2.5A/40Vスイッチを備えた昇圧モノリシック・コンバータ	$2.7V \leq V_{IN} \leq 40V$ 、電流モード制御、300kHz~3MHzのプログラマブル動作周波数、QFN-16パッケージ
LT8335	28V、2A、低 I_Q の昇圧／SEPIC／反転2MHzコンバータ	$V_{IN} = 3V \sim 25V$ 、 $V_{OUT(MAX)} = 25V$ 、 $I_Q = 6\mu A$ (Burst Mode動作)、3mm × 2mm DFNパッケージ
LT8362	60V、2A、低 I_Q の昇圧／SEPIC／反転コンバータ	$V_{IN} = 2.8V \sim 60V$ 、 $V_{OUT(MAX)} = 60V$ 、 $I_Q = 9\mu A$ (Burst Mode動作)、MSOP-16(12)E、3mm × 3mm DFN-8パッケージ
LT8330	60V、1A、低 I_Q の昇圧／SEPIC／反転2MHzコンバータ	$V_{IN} = 3V \sim 40V$ 、 $V_{OUT(MAX)} = 60V$ 、 $I_Q = 6\mu A$ (Burst Mode動作)、6ピン TSOT-23、3mm × 2mm DFNパッケージ
LT3958	3.5A/80Vスイッチを内蔵した高入力電圧の昇圧、フライバック、SEPIC、反転コンバータ	$5V \leq V_{IN} < 80V$ 、電流モード制御、100kHz~1MHzのプログラマブル動作周波数、5mm × 6mm QFN-36パッケージ
LT3757A	昇圧、フライバック、SEPIC、反転コントローラ	$2.9V \leq V_{IN} \leq 40V$ 、電流モード制御、100kHz~1MHzのプログラマブル動作周波数、3mm × 3mm DFN-10とMSOP-10Eパッケージ
LT3758	昇圧、フライバック、SEPIC、反転コントローラ	$5.5V \leq V_{IN} \leq 100V$ 、電流モード制御、100kHz~1MHzのプログラマブル動作周波数、3mm × 3mm DFN-10とMSOP-10Eパッケージ