

## 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
  - $<6\mu\text{A } I_q$
  - $<20\text{mV}_{\text{P-P}}$  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
- 昇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
- バッテリー駆動システム
- 汎用昇圧

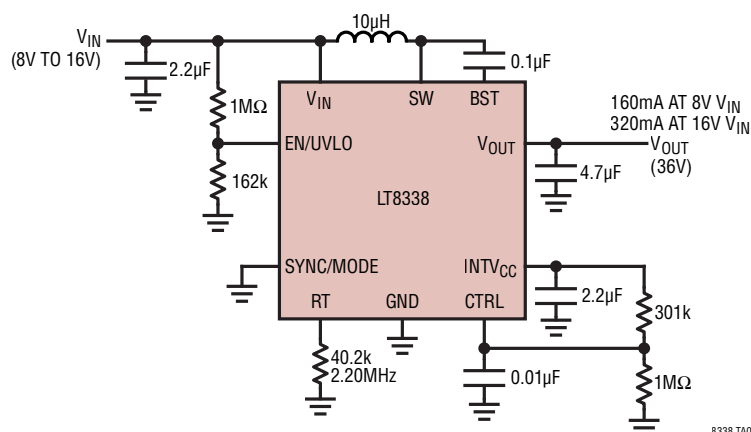
### 概要

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<sub>P-P</sub>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<sub>IN</sub>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<sub>IN</sub>がレギュレーションされたV<sub>OUT</sub>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。

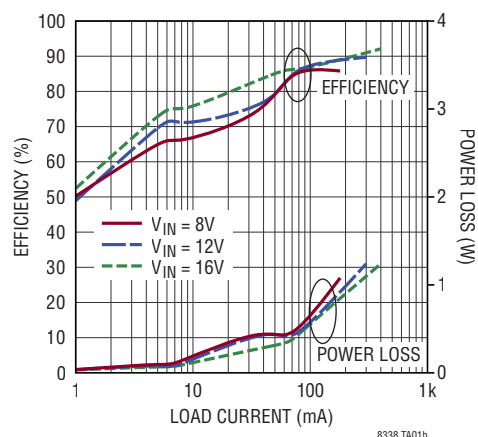
全ての登録商標および商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。

### 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



効率



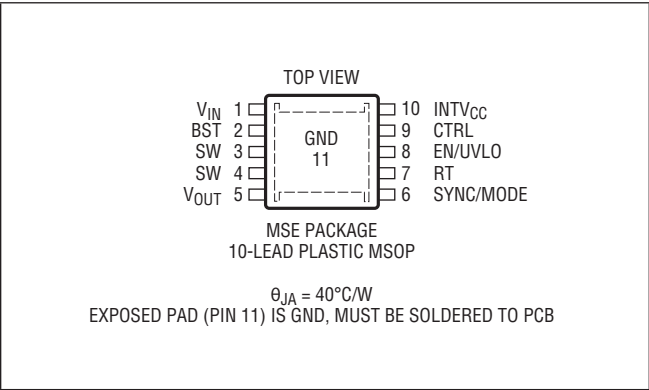
# LT8338

## 絶対最大定格

(Note 1)

V <sub>IN</sub> 、V <sub>OUT</sub> 、EN/UVLO、SW	40V
SYNC/MODE	6V
CTRLとINTV <sub>CC</sub> の差	0.3V
RT	(Note 2)
INTV <sub>CC</sub>	(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。

## 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。 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{OUT} = 36\text{V}$ 、 $\text{CTRL} = 2.0\text{V}$ 、 $\text{EN/UVLO} = 12\text{V}$ 、 $\text{INTV}_{CC} = 2.2\mu\text{F}$ をGNDに接続、 $R_T = 40.2\text{k}\Omega$ をGNDに接続、 $\text{BST} = 0.1\mu\text{F}$ をSWに接続、 $\text{SYNC/MODE}$ 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)	$\text{EN/UVLO} = 0\text{V}$ (Shutdown Mode)			0.1	1	$\mu\text{A}$
	$\text{EN/UVLO} = 2\text{V}$ , $\text{SYNC/MODE} = 0\text{V}$ , Not Switching, $V_{OUT} - V_{IN} = +100\text{mV}$ (Burst Mode Operation)			6	18	$\mu\text{A}$
	$\text{EN/UVLO} = 2\text{V}$ , $\text{SYNC/MODE} = 0\text{V}$ , Not Switching, $V_{OUT} - V_{IN} < -100\text{mV}$ (PassThru Mode)			12	35	$\mu\text{A}$
	$\text{EN/UVLO} = 2\text{V}$ , $\text{SYNC/MODE} = 2.6\text{V}$ (Pulse-Skipping Mode + SSFM)			1200	1500	$\mu\text{A}$
$V_{OUT}$ Regulation (Note 6)	$V_{IN} = 3.3\text{V}$ , $\text{CTRL} = 0.5\text{V}$ ( $D = 33.33\%$ )	●	8.8	9.00	9.2	V
	$V_{IN} = 9\text{V}$ , $\text{CTRL} = 1.0\text{V}$ ( $D = 50\%$ )	●	17.8	18.00	18.2	V
	$V_{IN} = 24\text{V}$ , $\text{CTRL} = 2.0\text{V}$ ( $D = 66.67\%$ )	●	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	$\text{EN/UVLO} = 0\text{V}$				5	$\mu\text{A}$
$\text{EN/UVLO}$ Threshold Voltage	$\text{EN/UVLO}$ Falling	●	0.975	1.000	1.025	V
	$\text{EN/UVLO}$ Rising Hysteresis			50		mV
$\text{EN/UVLO}$ Input Bias Current	$\text{EN/UVLO} = 2\text{V}$		-40		40	nA
$\text{INTV}_{CC}$ Regulation Voltage		●	2.56	2.6	2.64	V
$\text{INTV}_{CC}$ Line Regulation	$3\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$				0.02	%/V
$\text{INTV}_{CC}$ Load Regulation	$1\mu\text{A} \leq I_{\text{INTVCC}} \leq 10\text{mA}$				0.04	%/mA
$V_{OUT}$ -to- $\text{CTRL}$ 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		$\text{M}\Omega$
$\text{CTRL}$ 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
$\text{SYNC}$ Function Input Frequency Range	$\text{SYNC/MODE} = \text{External Clock}$		0.3		3.0	MHz
$\text{Spread Spectrum}$ Frequency Range Range = $(f_{\text{SW}(\text{SPREAD-ON})}/f_{\text{SW}(\text{SPREAD-OFF})}-1) \cdot 100\%$	$\text{SYNC/MODE} = \text{INTV}_{CC}$			+14		%
$\text{Spread Spectrum}$ Modulation Frequency				10		kHz
$\text{SYNC}$ Function Input Low Threshold Voltage	$\text{SYNC/MODE}$ Pulse Falling				0.8	V
$\text{SYNC}$ Function Input High Threshold Voltage	$\text{SYNC/MODE}$ Pulse Rising		2.0			V
$\text{SYNC/MODE}$ Pin Voltage	$\text{SYNC/MODE} = \text{Floating}$			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。 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{OUT} = 36\text{V}$ 、 $\text{CTRL} = 2.0\text{V}$ 、 $\text{EN/UVLO} = 12\text{V}$ 、 $\text{INTV}_{\text{CC}} = 2.2\mu\text{F}$ をGNDに接続、 $R_T = 40.2\text{k}\Omega$ をGNDに接続、 $\text{BST} = 0.1\mu\text{F}$ をSWに接続、 $\text{SYNC/MODE}$ 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、 $0^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$ 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。 $-40^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$ 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、および統計の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 $-40^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ 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、 $125^{\circ}\text{C}$ 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す。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。

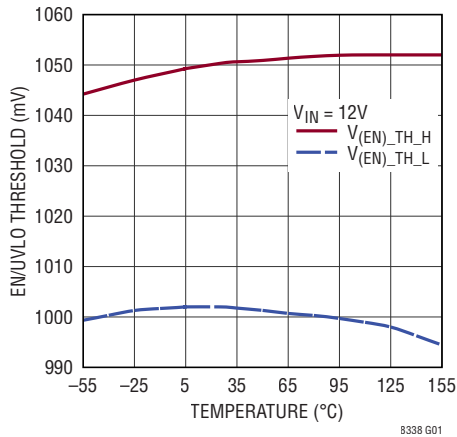
**Note 5:**  $V_{IN}$  静止電流の仕様値には、指定された $R_{\text{INTVCC}} = 1\text{M}$ の抵抗に伴う $2.6\mu\text{A}$ の電流が含まれます。

**Note 6:**  $V_{\text{OUT}}$  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

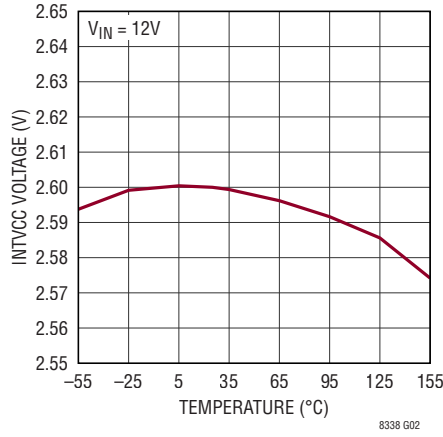
**Note 7:** 上側スイッチの電流制限により、スイッチ電流がこの制限値未満になるまで下側スイッチがオンになることが防止されます。

## 代表的な性能特性

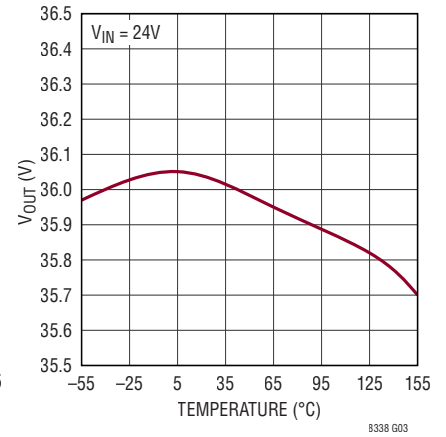
EN/UVLOの閾値と温度の関係



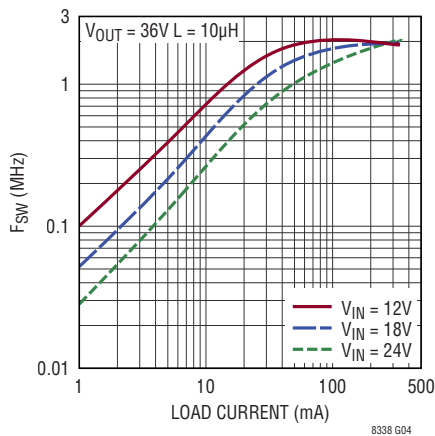
INTV<sub>CC</sub>の電圧と温度の関係



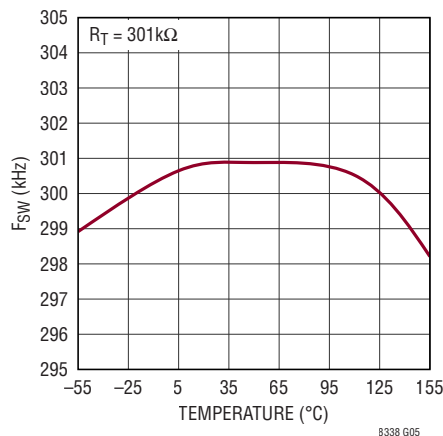
出力電圧と温度の関係



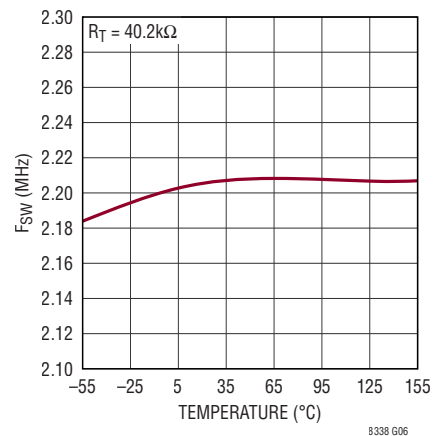
Burst Modeのスイッチング周波数と負荷電流の関係



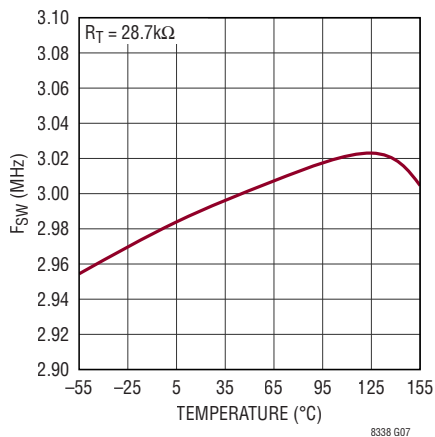
スイッチング周波数と温度の関係



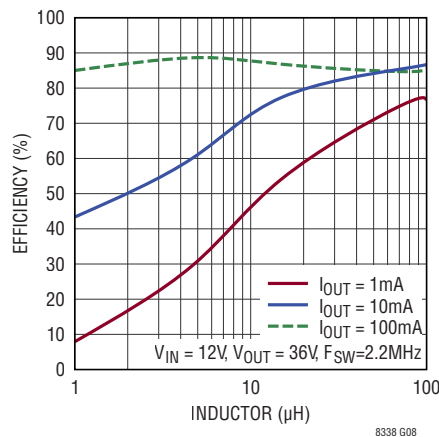
スイッチング周波数と温度の関係



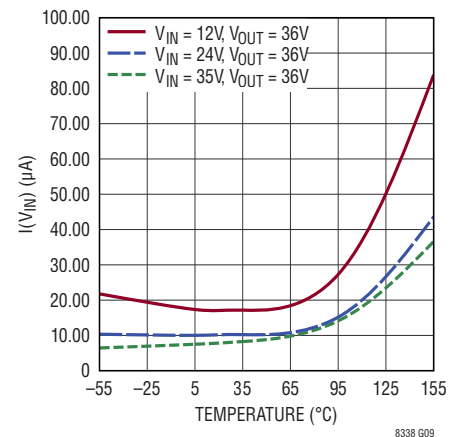
スイッチング周波数と温度の関係



Burst Modeの効率とインダクタ値の関係

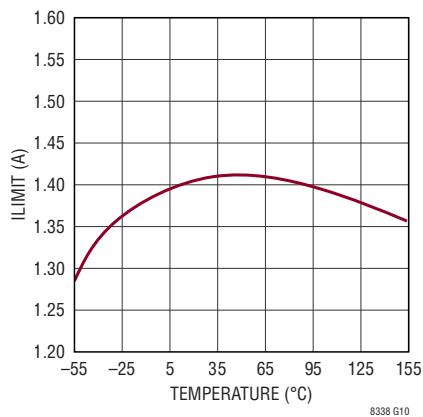


無負荷時のV<sub>IN</sub>の電流と温度の関係、V<sub>IN</sub>

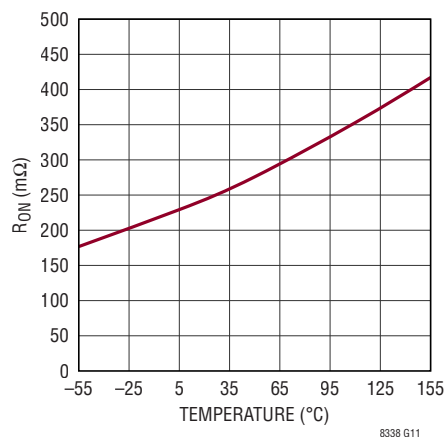


## 代表的な性能特性

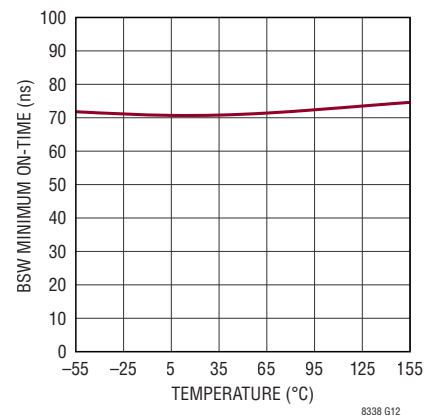
パワー・スイッチの電流制限と温度の関係



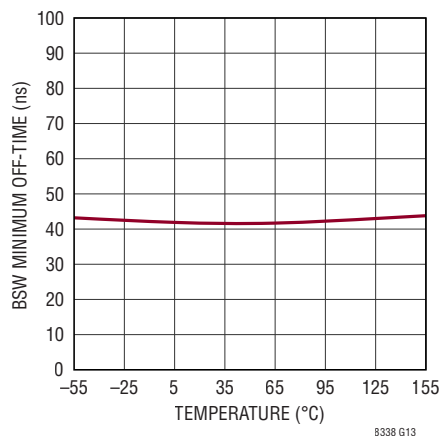
下側スイッチのオン抵抗と温度の関係



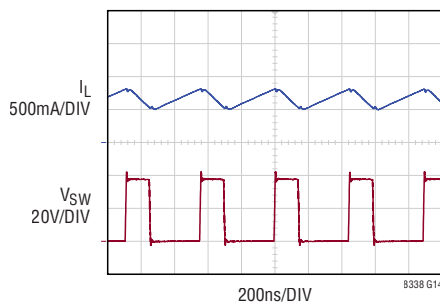
下側スイッチの最小オン時間と温度の関係



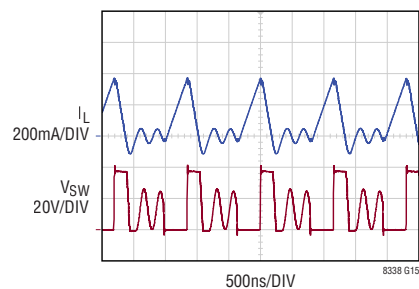
下側スイッチの最小オフ時間と温度の関係



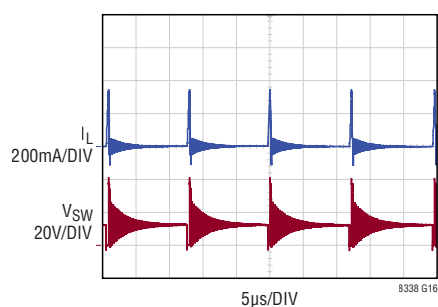
スイッチング波形 (CCM 時)



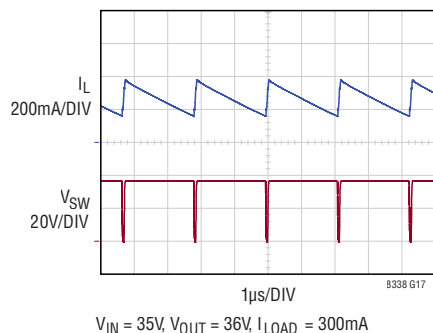
スイッチング波形 (軽負荷 Burst Mode 動作時)



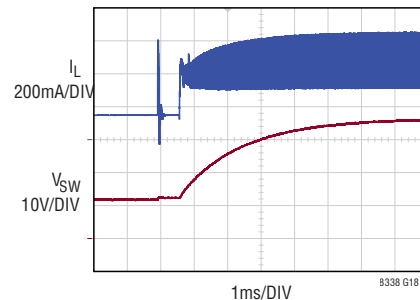
スイッチング波形 (スリープ・モード時)



スイッチング波形 (VINがVOUTに近い場合)

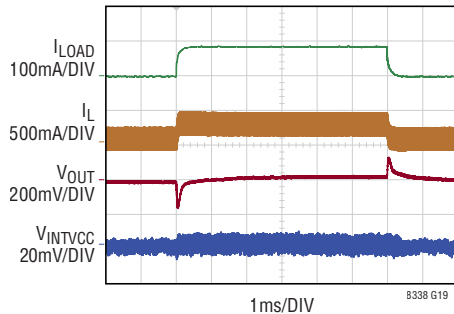


スタートアップ時の波形

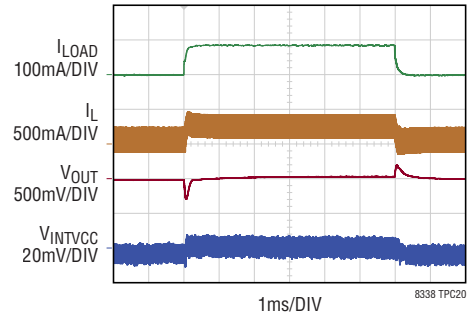


## 代表的な性能特性

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<sub>IN</sub> (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witch・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<sub>OUT</sub> (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) INTV <sub>CC</sub> 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<sub>Q</sub>、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witch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switch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<sub>T</sub>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。

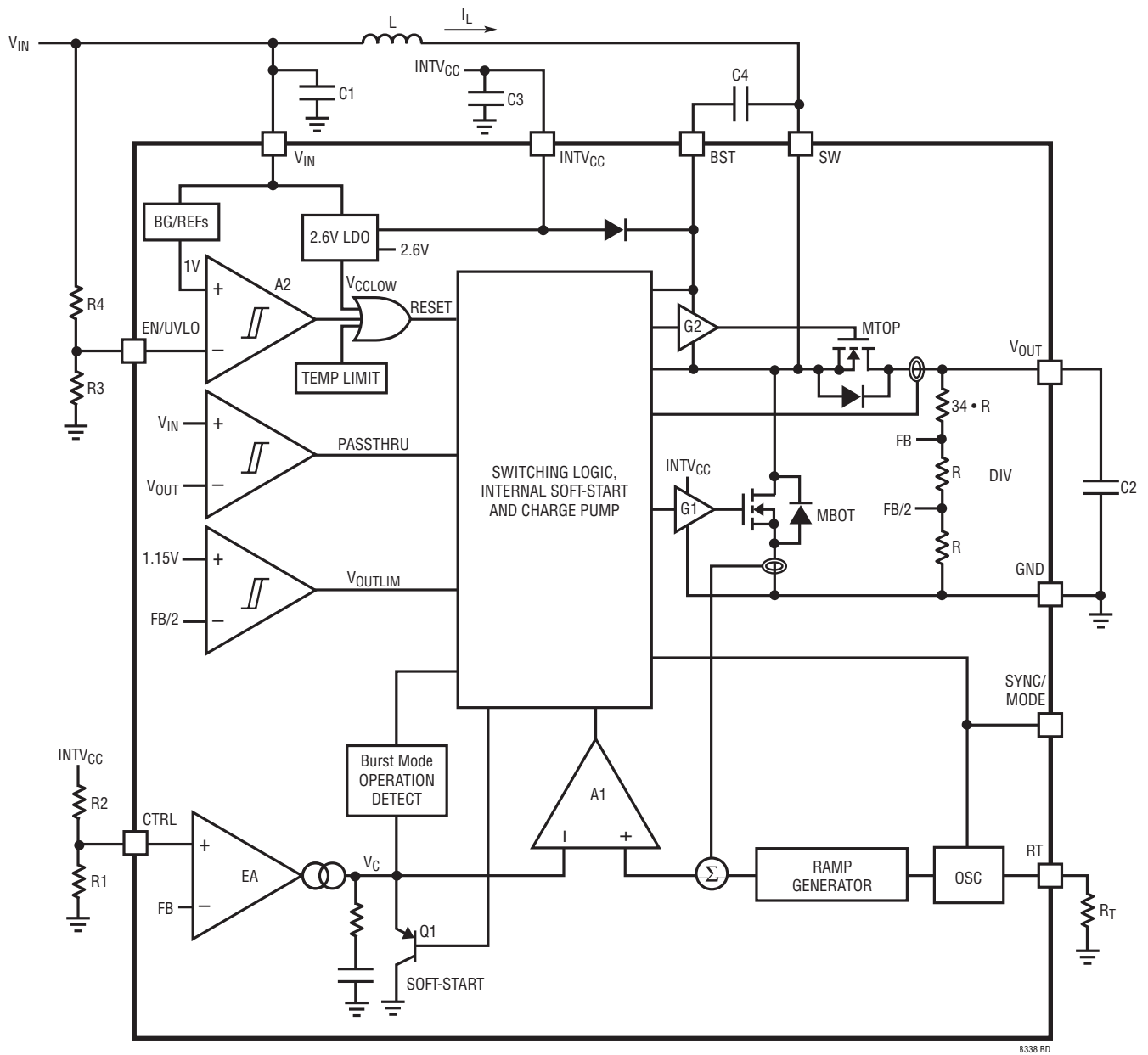
**EN/UVLO (ピン8):** イネーブルおよび入力低電圧ロックアウト・ピン。LT8338はこのピンが1V(代表値)未満になるとシャットダウンし、1.05V(代表値)を超えるとイネーブルされます。V<sub>IN</sub>とGNDの間に抵抗分圧器を配置すれば、V<sub>IN</sub>の閾値をプログラムし、その閾値未満になるとLT8338がシャットダウンするようにすることができます。このピンをGNDに接続すると動作がシャットダウンし、静止電源電流を0.2μA(最大値)に減らすことができます。このシャットダウン機能を使わない場合は、V<sub>IN</sub>に接続します。

**CTRL (ピン9):** リファレンス入力ピン。INTV<sub>CC</sub>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。

**INTV<sub>CC</sub> (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。INTV<sub>CC</sub>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<sub>OUT</sub>)を設定します。シャットダウン時にV<sub>IN</sub>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ウンド・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（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増幅したものです。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 $0.3V$ 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に設定できます。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<sub>CC</sub>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0.2 $\mu$ A)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。

$$V_{IN,FALLING} = 1V \cdot \frac{(R3+R4)}{R3}$$

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

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<sub>CC</sub>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<sub>CC</sub>はLT8338の回路に十分な大きさの電流を供給できますが、2.2 $\mu$ F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<sub>CC</sub>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、立下がり閾値は2.3Vです。INTV<sub>CC</sub>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単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6 $\mu$ A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。

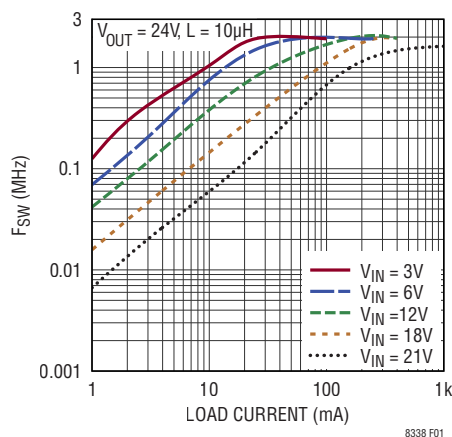


図1. Burst Modeの周波数と負荷の関係

# 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。

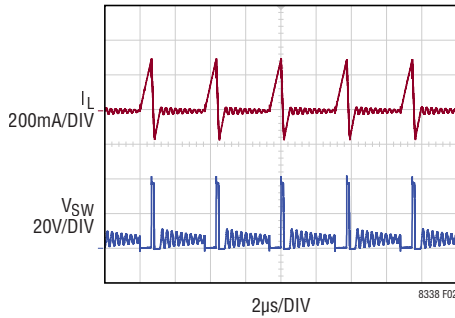


図2. Burst Mode の動作波形

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 1000 $\mu$ A まで増加します (これに対し、Burst Mode 動作の静止電流は 6 $\mu$ A 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、 $R_T$  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)	$R_T$ (k $\Omega$ )	$f_{sw}$ (MHz)	$R_T$ (k $\Omega$ )
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、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を超えている必要があります。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INTV<sub>CC</sub>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<sub>T</sub>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・モード動作で使用方法が効果的です。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、INTV<sub>CC</sub>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<sub>IN</sub>からV<sub>OUT</sub>へのPassThruモード動作

V<sub>IN</sub>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<sub>OUT</sub>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<sub>OUT</sub>がV<sub>IN</sub>に実質的に短絡されます。V<sub>IN</sub>がV<sub>OUT</sub>の電圧以下に低下した場合、またはインダクタがV<sub>OUT</sub>からV<sub>IN</sub>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<sub>OUT</sub>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<sub>IN</sub>がV<sub>OUT</sub>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<sub>IN</sub>がV<sub>OUT</sub>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<sub>OUT</sub>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、スイッチャを十分に低いデューティ・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に低いデューティ・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<sub>IN</sub>がV<sub>OUT</sub>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<sub>OUT</sub>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<sub>OUT</sub>)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

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MTP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倍の電圧でリングングを起こすおそれがあります。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<sub>CC</sub>の低電圧(INTV<sub>CC</sub> < 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<sub>CC</sub> > 2.3V、ダイ温度が $165^\circ\text{C}$ 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( $V_{OUT} > 41.4\text{V}$ )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

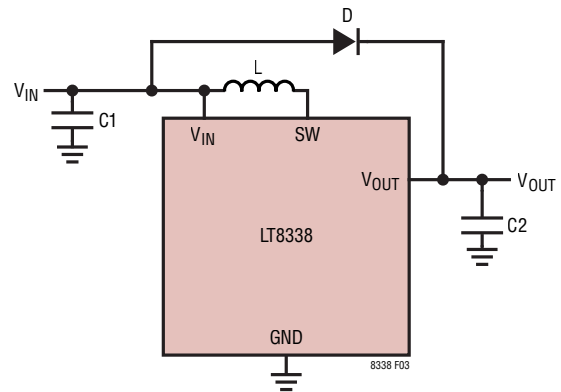


図3.  $V_{IN}$ と $V_{OUT}$ の間にダイオードを追加したLT8338電力段の簡略図

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)。

$$\text{最小許容可能デューティ・サイクル} = \frac{\text{最小オン時間 (MAX)}}{f_{OSC}(\text{MAX})}$$

$$\text{最大許容可能デューティ・サイクル} = \frac{1}{1 - \text{最小オフ時間 (MAX)} \cdot f_{OSC}(\text{MAX})}$$

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。

$$D_{MIN} = \frac{V_{OUT} - V_{IN(\text{MAX})}}{V_{OUT}}$$

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

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、利用可能出力電流が低くなる、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 $\Delta I_{SW}$ 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。 $\Delta I_{SW}$ 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)。 $\Delta I_{SW}$ 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 $\Delta I_{SW}$ 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2.2 $\mu$ F~10 $\mu$ F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がありません。入力コンデンサに過度のストレスを与え得るあらゆる過電圧トランジェントの可能性について、入力電圧の特性評価を行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の不連続トッピング・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、トランジェントな負荷を吸収してLT8338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。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ェ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もできますが、トランジェ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、4.7 $\mu$ F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 $V_{OUT}/GND$ 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

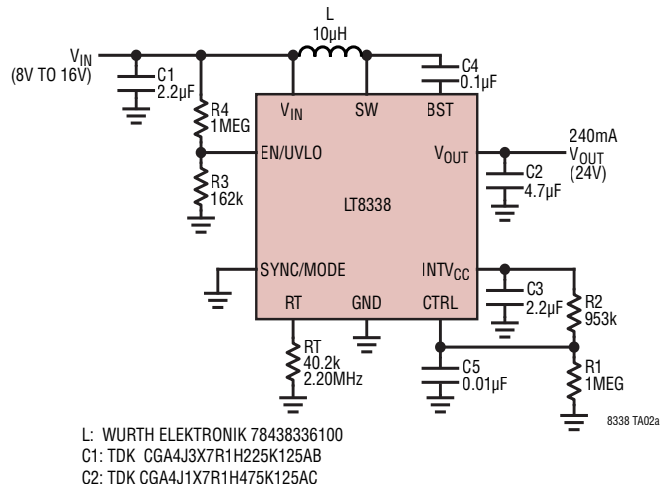
推奨PCBレイアウトを[図4](#)に示します。PCBレイアウトに関する詳細とPCB設計ファイルについては、LT8338のデモ・ボード・ガイドを参照してください。



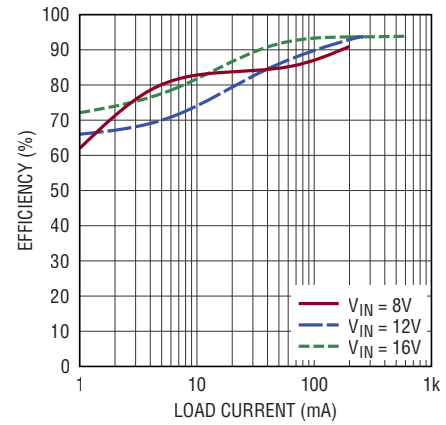


## 標準的応用例

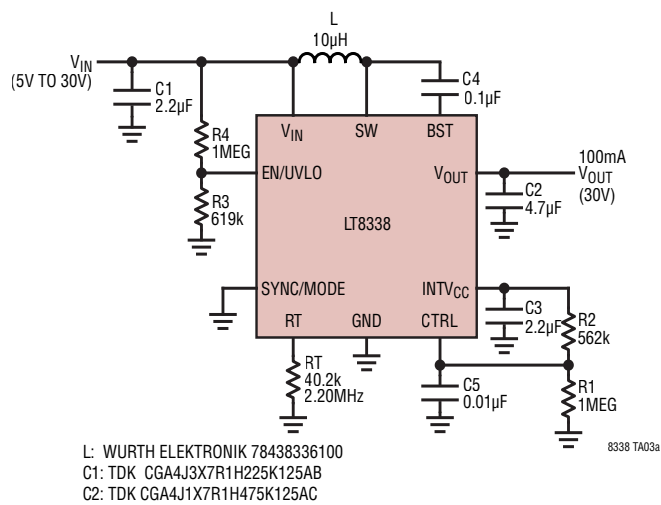
### 8V~16V 入力、24V 出力の昇圧コンバータ



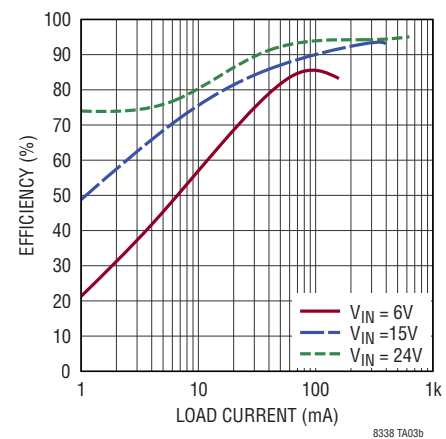
### 効率



### 5V~30V 入力、30V 出力の昇圧コンバータ



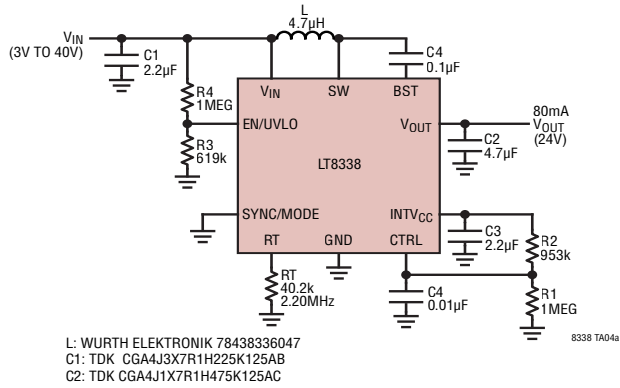
### 効率



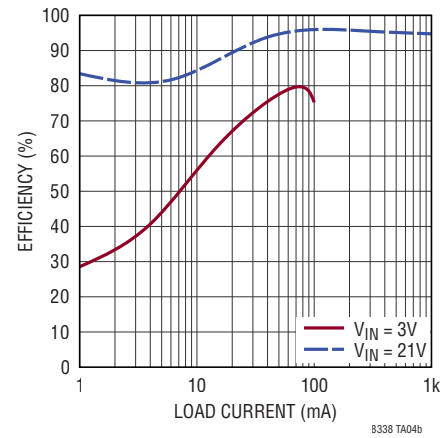


## 標準的応用例

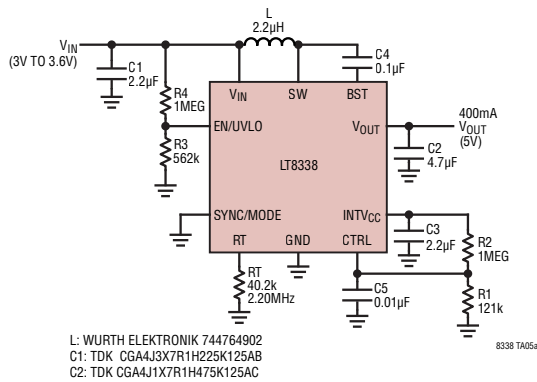
### 3V~40V 入力、24V 出力の事前昇圧コンバータ



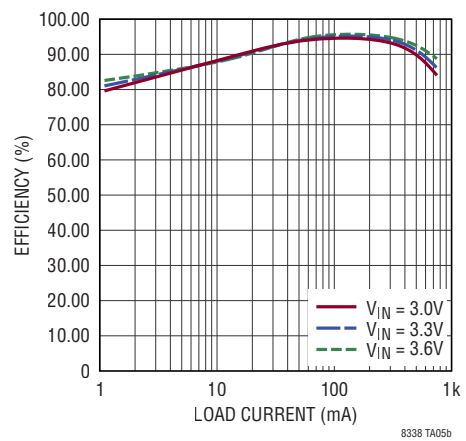
### 効率



### 3V~3.6V 入力、5V 出力の昇圧コンバータ

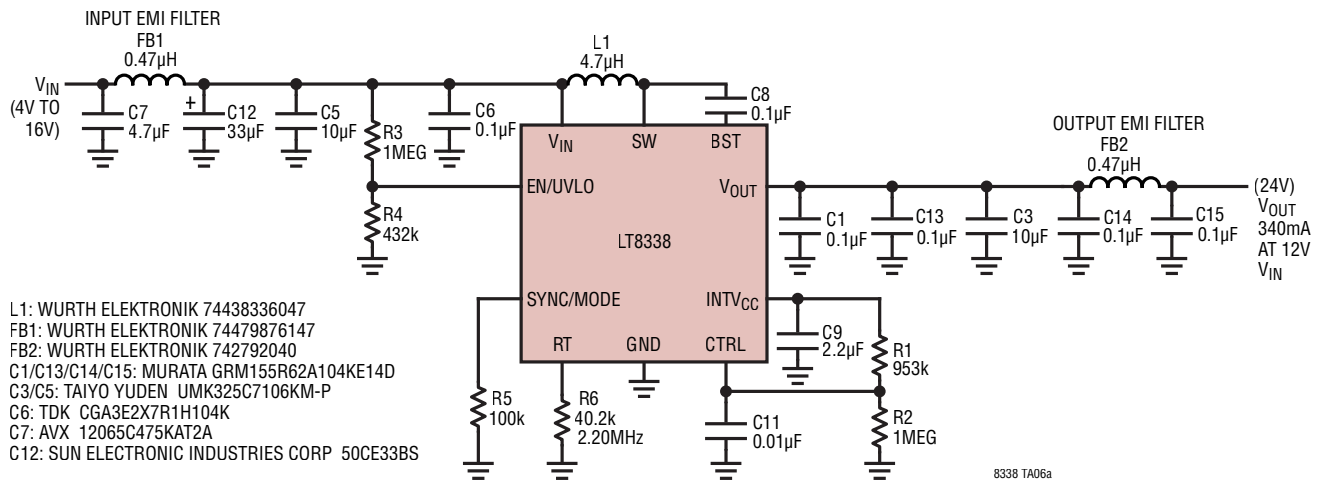


### 効率

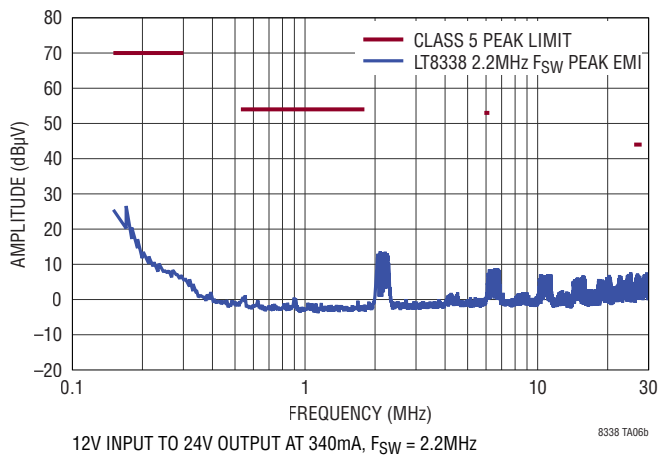


## 標準的応用例

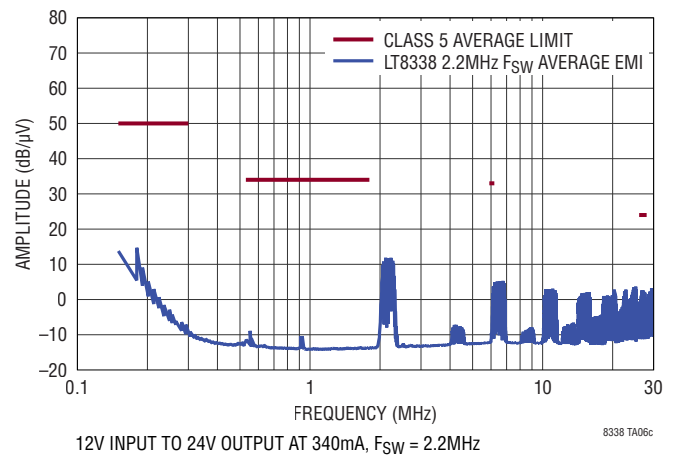
4V~16V入力、24V出力のSSFM付きマイクロパワー同期整流式昇圧コンバータ



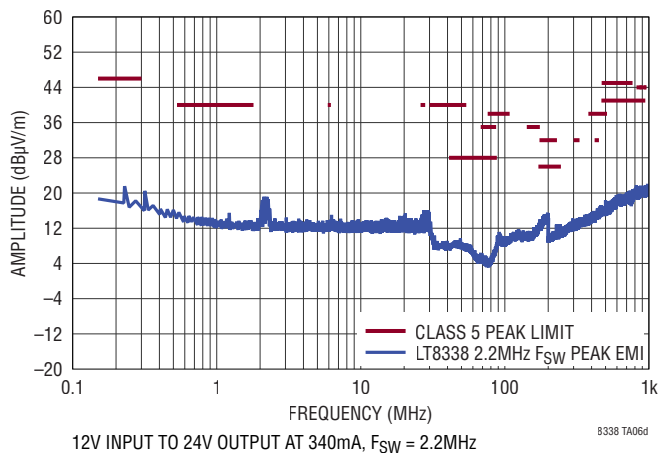
伝導EMI性能(CISPR25クラス5ピーク値)



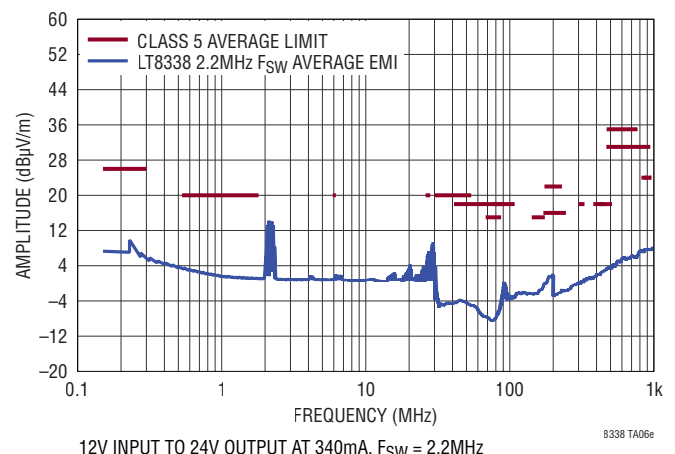
伝導EMI性能(CISPR25クラス5平均値)



放射EMI性能(CISPR25クラス5ピーク値)

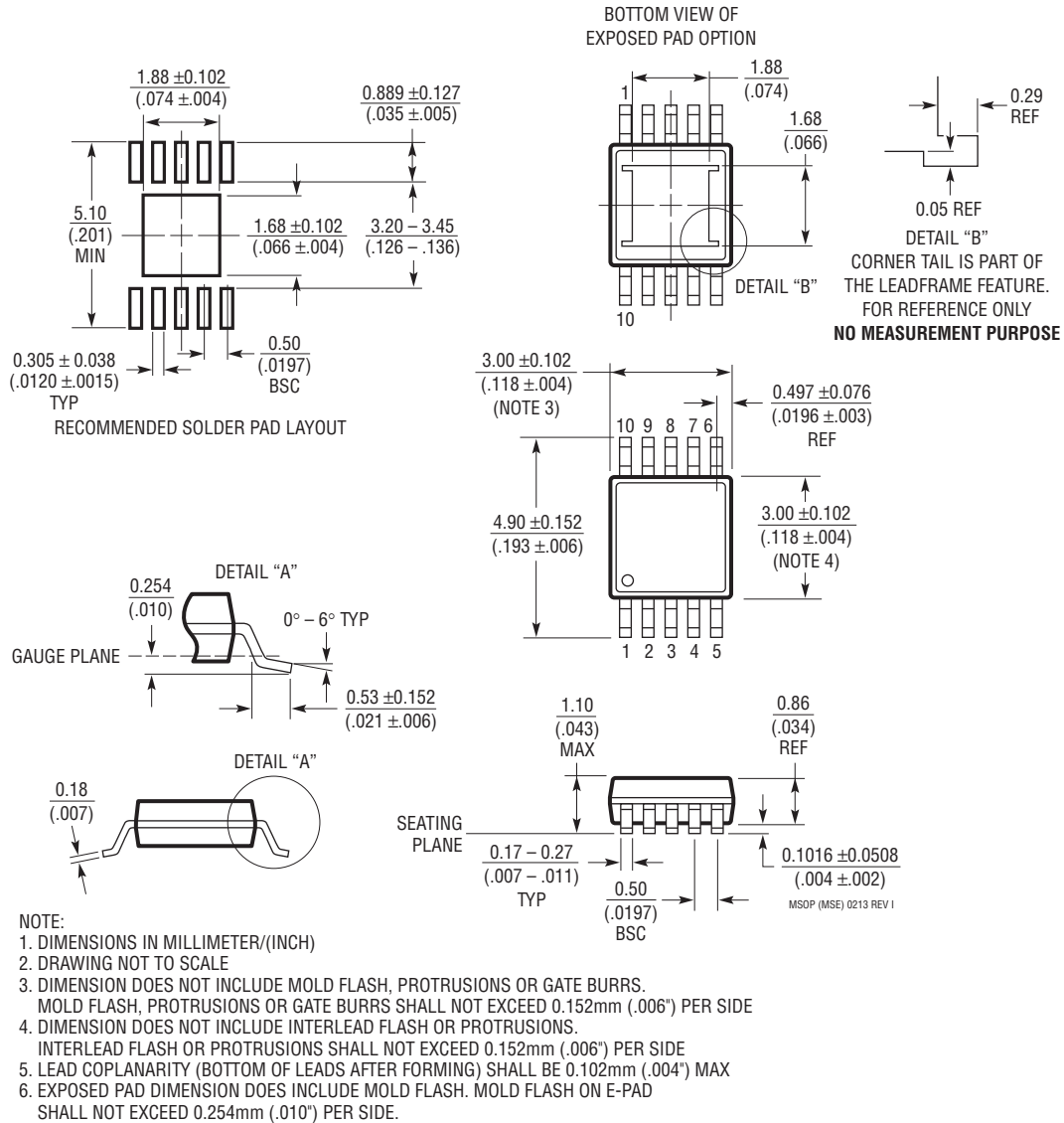


放射EMI性能(CISPR25クラス5平均値)



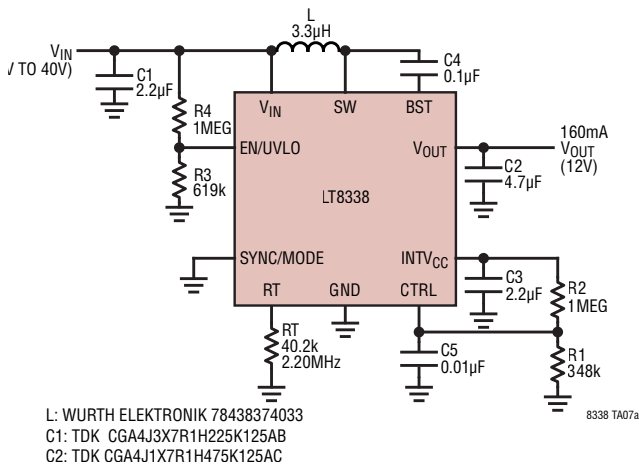
## パッケージ

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

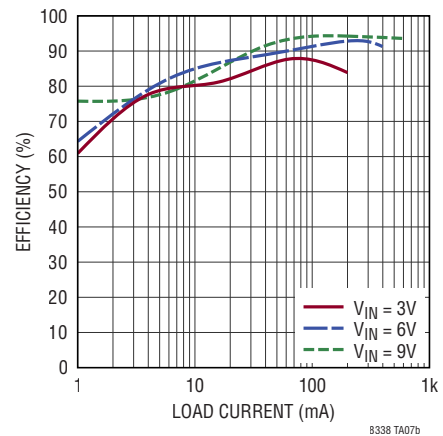


## 標準的応用例

3V~40V 入力、12V 出力の事前昇圧コンバータ



効率



## 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