

# 消費電流2.5 $\mu$ A ダイオード内蔵の62V 350mA降圧レギュレータ

## 特長

- 低リップルBurst Mode<sup>®</sup>動作  
12V入力、3.3V出力時の $I_Q = 2.5\mu\text{A}$   
出力リップル: <math>5\text{mV}\_{\text{P-P}}</math>
- 広い入力電圧範囲: 4.2V~62Vで動作
- 調整可能なスイッチング周波数: 200kHz~2.2MHz
- 昇圧ダイオードとキャッチ・ダイオードを内蔵
- 出力電流: 350mA
- 固定出力電圧: 3.3V、5V  
12V入力時の $I_Q = 2\mu\text{A}$
- プログラム可能な高精度の低電圧ロックアウト
- FMEA 耐障害性 (MSOPパッケージ):  
隣接ピンが短絡状態またはピンがフローティング状態  
のときも出力がレギュレーション電圧以下の電圧を維持
- 低いシャットダウン時電流:  $I_Q = 0.7\mu\text{A}$
- 内部検出により、キャッチ・ダイオードの電流を制限
- パワーグッド・フラグ
- 熱特性が改善された小型16ピンMSOP  
および (3mm×3mm) DFNパッケージ

## アプリケーション

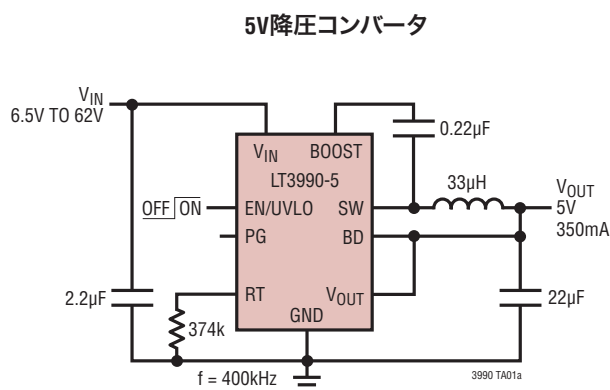
- 車載バッテリーのレギュレーション
- 携帯機器の電源
- 産業用電源

## 概要

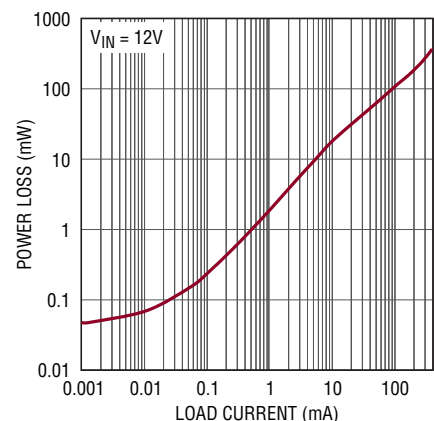
LT<sup>®</sup>3990は、62Vまでの広い入力電圧範囲で使用できる可変周波数モノリシック降圧スイッチング・レギュレータで、消費する静止電流はわずか2.5 $\mu$ Aに過ぎません。高効率のスイッチに加えて、キャッチ・ダイオード、昇圧ダイオード、必要な発振器、制御回路、およびロジック回路を内蔵しています。低リップルのBurst Mode動作により、標準的なアプリケーションでは出力リップルを5mV未満に抑えながら、低出力電流時には高い効率を維持します。高速トランジェント応答と優れたループ安定性を確保するため、電流モード方式が使用されています。また、キャッチ・ダイオードによる電流制限により、出力短絡や過電圧状態からデバイスを保護します。プログラム可能な高精度の低電圧ロックアウト機能を備え、シャットダウン時の静止電流はわずか0.7 $\mu$ Aです。出力電圧が設定出力電圧の90%に達すると、パワーグッド・フラグによって通知されます。LT3990は、熱特性が改善された小型16ピンMSOPおよび3mm×3mmのDFNパッケージで供給されます。

LT、LT、LTC、LTM、Burst Mode、Linear TechnologyおよびLinearのロゴはリニアテクノロジー社の登録商標です。他のすべての商標はそれぞれの所有者に所有権があります。

## 標準的応用例



## 電力損失



# LT3990/LT3990-3.3/LT3990-5

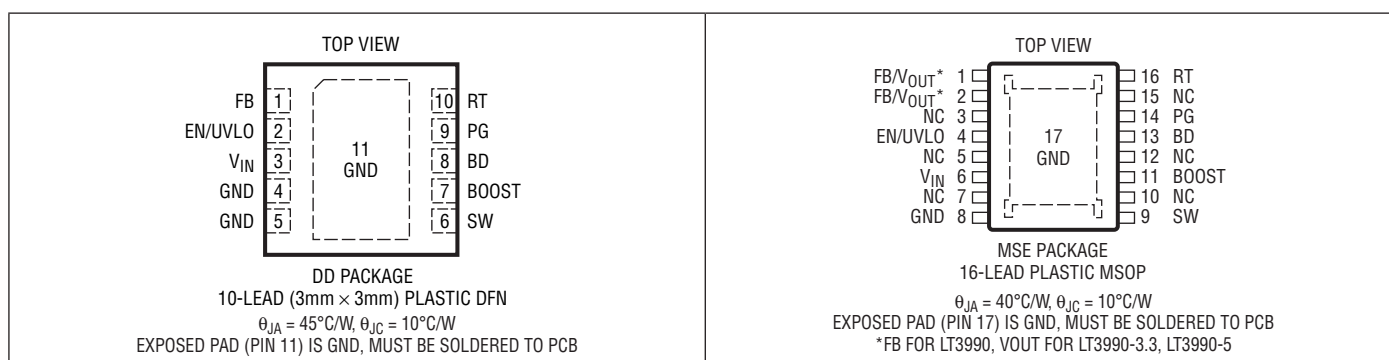
## 絶対最大定格 (Note 1)

V <sub>IN</sub> 、EN/UVLOの電圧 .....	62V
BOOSTピンの電圧 .....	75V
SWピンを超えるBOOSTピンの電圧 .....	30V
FB/V <sub>OUT</sub> 、RTの電圧 .....	6V
PG、BDの電圧 .....	30V

## 動作接合部温度範囲 (Note 2)

LT3990E/LT3990E-X .....	-40°C~125°C
LT3990I/LT3990I-X .....	-40°C~125°C
LT3990H/LT3990H-X .....	-40°C~150°C
保存温度範囲 .....	-65°C~150°C
リード温度 (半田付け、10秒)	
MSのみ .....	300°C

## ピン配置



## 発注情報

無鉛仕上げ	テープアンドリール	製品マーキング*	パッケージ	温度範囲
LT3990EDD#PBF	LT3990EDD#TRPBF	LFWJ	10-Lead (3mm × 3mm) Plastic DFN	-40°C to 125°C
LT3990IDD#PBF	LT3990IDD#TRPBF	LFWJ	10-Lead (3mm × 3mm) Plastic DFN	-40°C to 125°C
LT3990EMSE#PBF	LT3990EMSE#TRPBF	3990	16-Lead Plastic MSOP	-40°C to 125°C
LT3990IMSE#PBF	LT3990IMSE#TRPBF	3990	16-Lead Plastic MSOP	-40°C to 125°C
LT3990HMSE#PBF	LT3990HMSE#TRPBF	3990	16-Lead Plastic MSOP	-40°C to 150°C
LT3990EMSE-3.3#PBF	LT3990EMSE-3.3#TRPBF	399033	16-Lead Plastic MSOP	-40°C to 125°C
LT3990IMSE-3.3#PBF	LT3990IMSE-3.3#TRPBF	399033	16-Lead Plastic MSOP	-40°C to 125°C
LT3990HMSE-3.3#PBF	LT3990HMSE-3.3#TRPBF	399033	16-Lead Plastic MSOP	-40°C to 150°C
LT3990EMSE-5#PBF	LT3990EMSE-5#TRPBF	39905	16-Lead Plastic MSOP	-40°C to 125°C
LT3990IMSE-5#PBF	LT3990IMSE-5#TRPBF	39905	16-Lead Plastic MSOP	-40°C to 125°C
LT3990HMSE-5#PBF	LT3990HMSE-5#TRPBF	39905	16-Lead Plastic MSOP	-40°C to 150°C

さらに広い動作温度範囲で規定されるデバイスについては、弊社または弊社代理店にお問い合わせください。\*温度グレードは出荷時のコンテナのラベルで識別されます。非標準の鉛仕上げの製品の詳細については、弊社または弊社代理店にお問い合わせください。

無鉛仕上げの製品マーキングの詳細については、<http://www.linear-tech.co.jp/leadfree/> をご覧ください。テープアンドリールの仕様の詳細については、<http://www.linear-tech.co.jp/tapeandree/> をご覧ください。

## 電気的特性

●は全動作温度範囲の規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。注記がない限り、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{BD} = 3.3\text{V}$ 。(Note 2)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Minimum Input Voltage		●	4	4.2	V	
Quiescent Current from $V_{IN}$	$V_{EN/UVLO}$ Low		0.7	1.2	$\mu\text{A}$	
	$V_{EN/UVLO}$ High		1.9	2.8	$\mu\text{A}$	
	$V_{EN/UVLO}$ High	●		4	$\mu\text{A}$	
LT3990 Feedback Voltage		●	1.195	1.21	1.225	V
		●	1.185	1.21	1.235	V
LT3990-3.3 Output Voltage		●	3.26	3.3	3.34	V
		●	3.234	3.3	3.366	V
LT3990-5 Output Voltage		●	4.94	5	5.06	V
		●	4.9	5	5.1	V
LT3990 FB Pin Bias Current (Note 3)		●	0.1	20	nA	
FB/Output Voltage Line Regulation	$4.2\text{V} < V_{IN} < 40\text{V}$		0.0002	0.01	%/V	
Switching Frequency	$R_T = 41.2\text{k}$ , $V_{IN} = 6\text{V}$		1.84	2.3	2.76	MHz
	$R_T = 158\text{k}$ , $V_{IN} = 6\text{V}$		672	840	1008	kHz
	$R_T = 768\text{k}$ , $V_{IN} = 6\text{V}$		168	210	252	kHz
Switch Current Limit	$V_{IN} = 5\text{V}$ , $V_{FB} = 0\text{V}$		535	700	865	mA
Catch Schottky Current Limit	$V_{IN} = 5\text{V}$		360	450	540	mA
Switch $V_{CESAT}$	$I_{SW} = 200\text{mA}$			210	mV	
Switch Leakage Current			0.05	2	$\mu\text{A}$	
Catch Schottky Forward Voltage	$I_{SCH} = 100\text{mA}$ , $V_{IN} = V_{BD} = \text{NC}$			725	mV	
Catch Schottky Reverse Leakage	$V_{SW} = 12\text{V}$		0.05	2	$\mu\text{A}$	
Boost Schottky Forward Voltage	$I_{SCH} = 50\text{mA}$ , $V_{IN} = \text{NC}$ , $V_{BOOST} = 0\text{V}$			900	mV	
Boost Schottky Reverse Leakage	$V_{REVERSE} = 12\text{V}$		0.02	2	$\mu\text{A}$	
Minimum Boost Voltage (Note 4)	$V_{IN} = 5\text{V}$	●	1.4	1.8	V	
BOOST Pin Current	$I_{SW} = 200\text{mA}$ , $V_{BOOST} = 15\text{V}$		8.5	12	mA	
EN/UVLO Pin Current	$V_{EN/UVLO} = 12\text{V}$		1	30	nA	
EN/UVLO Voltage Threshold	EN/UVLO Rising, $V_{IN} \geq 4.2\text{V}$	●	1.14	1.19	1.28	V
EN/UVLO Voltage Hysteresis			35		mV	
PG Threshold Offset from Feedback Voltage	$V_{FB}$ Rising		6.5	10	13.5	%
PG Hysteresis as % of Output Voltage			1.0		%	
PG Leakage	$V_{PG} = 3\text{V}$		0.01	1	$\mu\text{A}$	
PG Sink Current	$V_{PG} = 0.4\text{V}$	●	30	80	$\mu\text{A}$	
Minimum Switch On-Time			115		ns	
Minimum Switch Off-Time	$V_{IN} = 10\text{V}$	●	100	160	ns	

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

**Note 2:** LT3990Eは $0^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ の接合部温度で性能仕様に適合することが保証されている。 $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ の動作接合部温度範囲での仕様は、設計、特性評価および統計学的なプロセス・コントロールとの相関で確認されている。LT3990Iは $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ の全動作接合部温度範囲で動作することが保証されている。LT3990Hは $-40^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ の全動作接合部温度範囲で動

作することが保証されている。高い接合部温度は動作寿命に悪影響を及ぼす。接合部温度が $125^\circ\text{C}$ を超えると、動作寿命は短くなる。

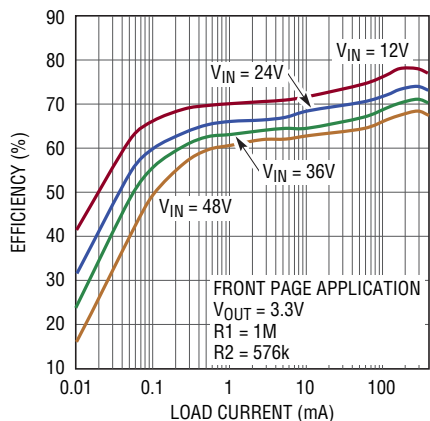
**Note 3:** バイアス電流はFBピンに流れ込む。

**Note 4:** これはスイッチが完全に飽和するのを保証するのに必要な、昇圧コンデンサの両端の最小電圧である。

# LT3990/LT3990-3.3/LT3990-5

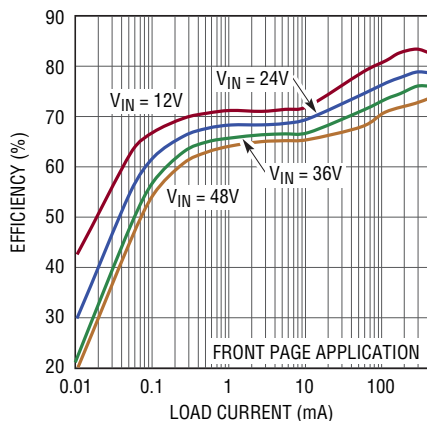
標準的性能特性 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

効率、 $V_{OUT} = 3.3\text{V}$



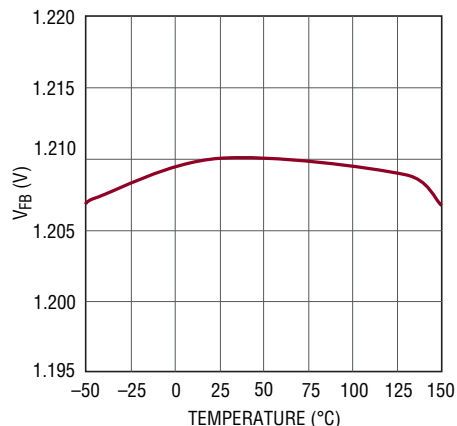
3990 G01

効率、 $V_{OUT} = 5\text{V}$



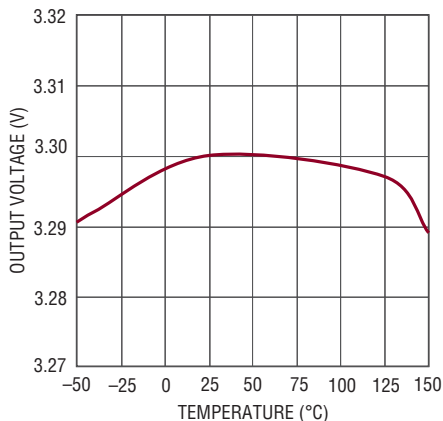
3990 G02

LT3990の帰還電圧



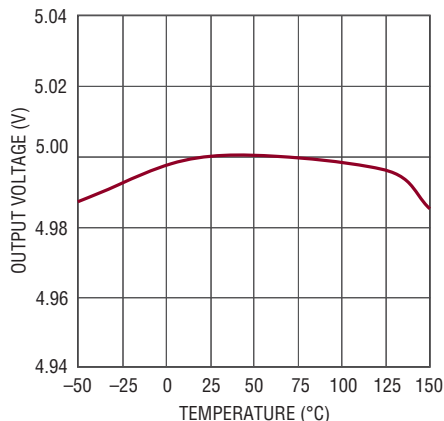
3990 G03

LT3990-3.3の出力電圧



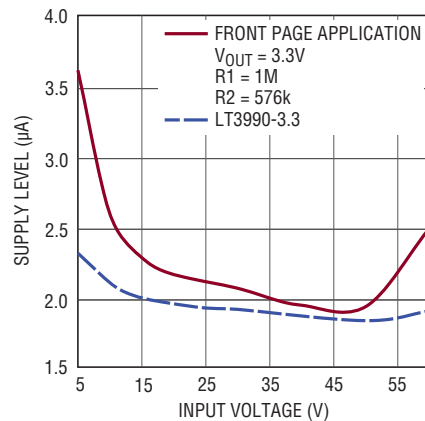
3990 G04

LT3990-5の出力電圧



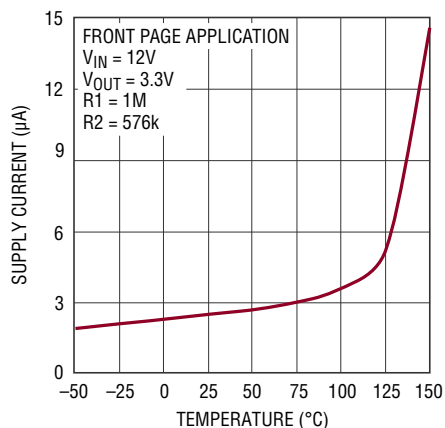
3990 G05

無負荷時消費電流



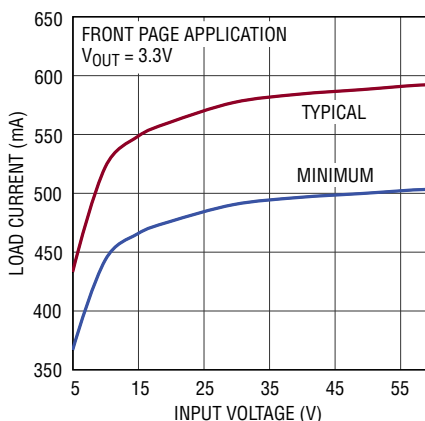
3990 G06

無負荷時消費電流



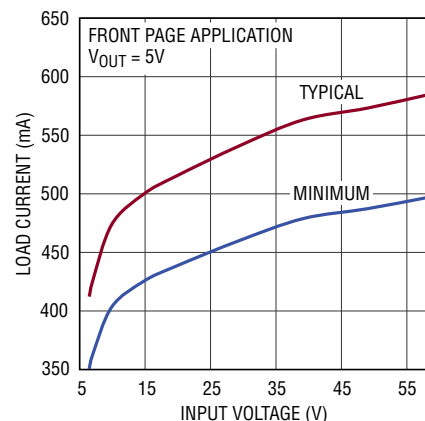
3990 G05

最大負荷電流



3990 G06

最大負荷電流

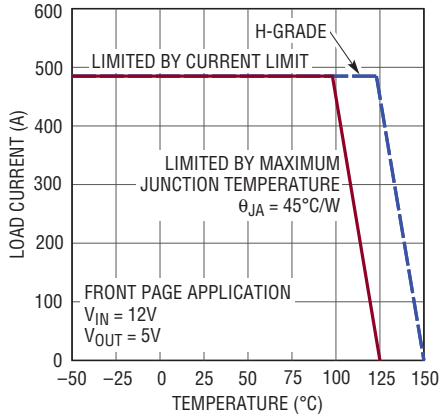


3990 G07

3990fa

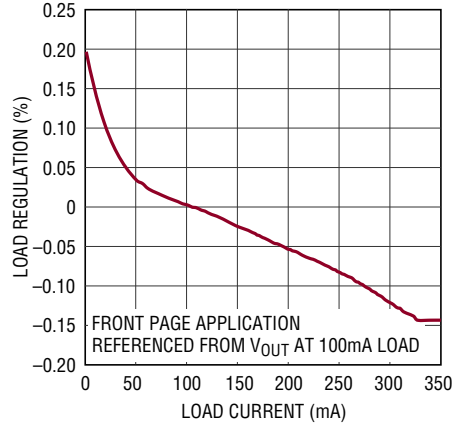
標準的性能特性 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

最大負荷電流



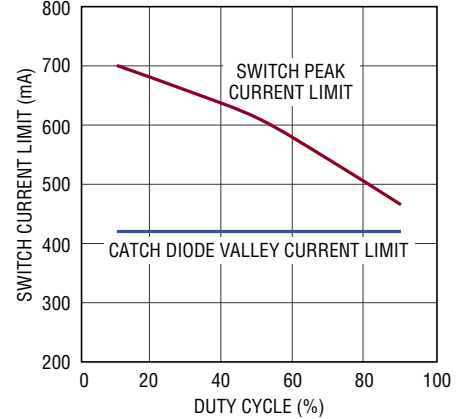
3990 G10

負荷レギュレーション



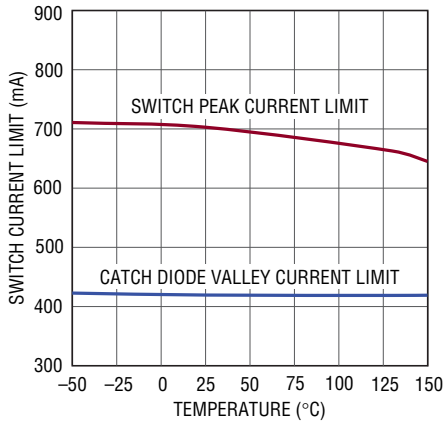
3990 G09

スイッチの電流制限



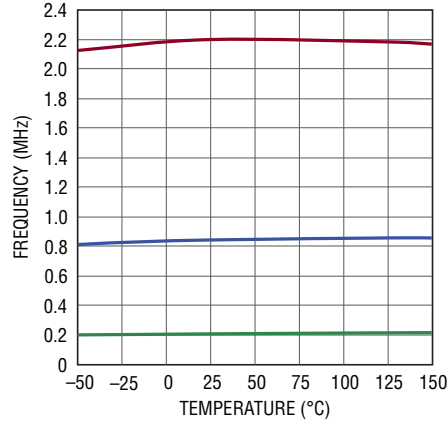
3990 G10

スイッチの電流制限



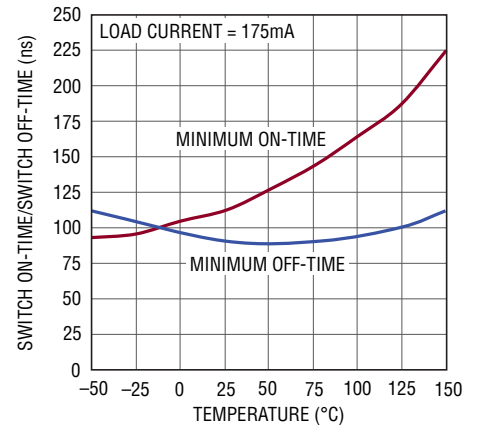
3990 G11

スイッチング周波数



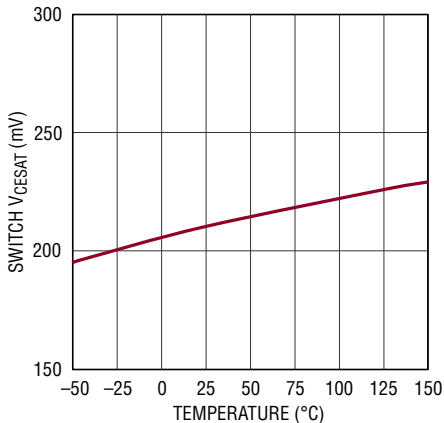
3990 G12

スイッチの最小オン時間/オフ時間



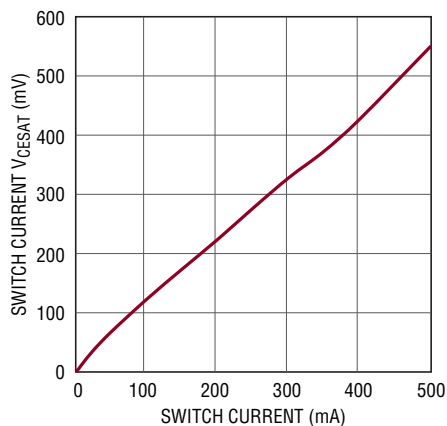
3990 G13

スイッチの $V_{CESAT}$  ( $I_{SW} = 200\text{mA}$ )と温度



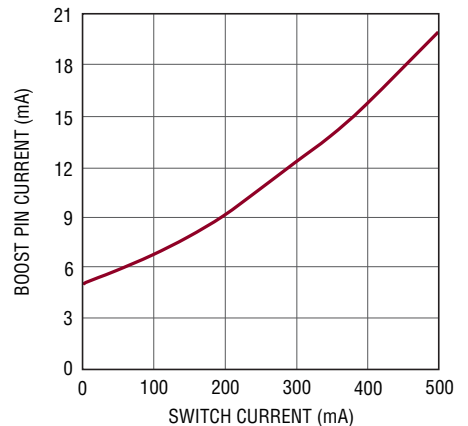
3990 G14

スイッチの $V_{CESAT}$



3990 G15

BOOSTピンの電流

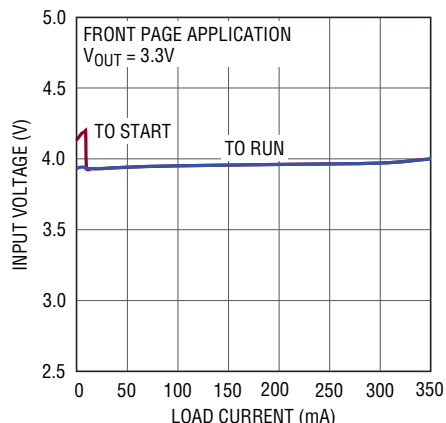


3990 G16

# LT3990/LT3990-3.3/LT3990-5

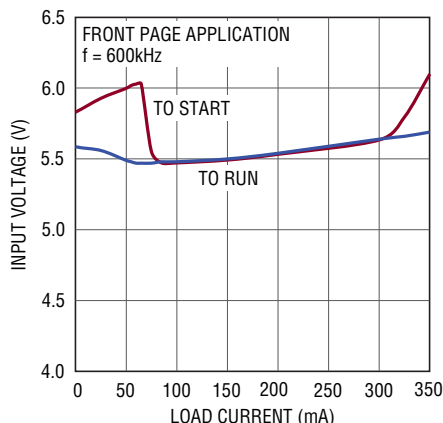
標準的性能特性 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

最小入力電圧、 $V_{OUT} = 3.3\text{V}$



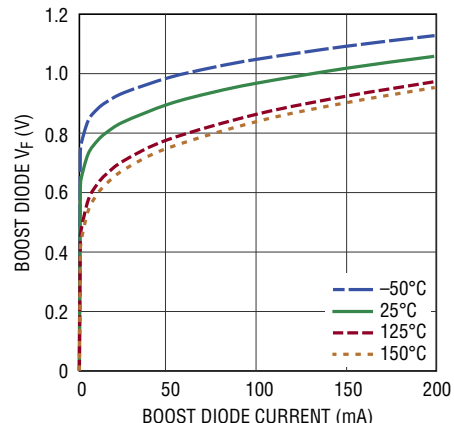
3990 G17

最小入力電圧、 $V_{OUT} = 5\text{V}$



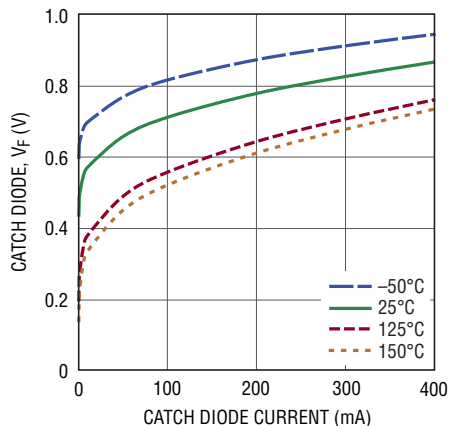
3990 G18

昇圧ダイオードの順方向電圧



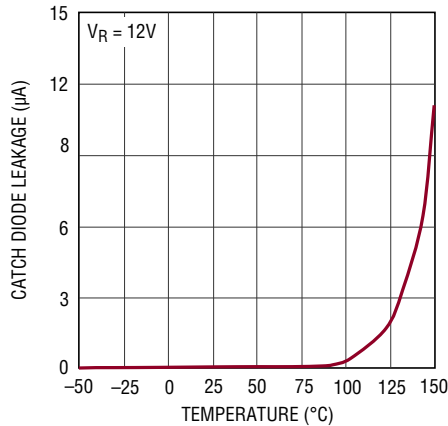
3990 G19

キャッチ・ダイオードの順方向電圧



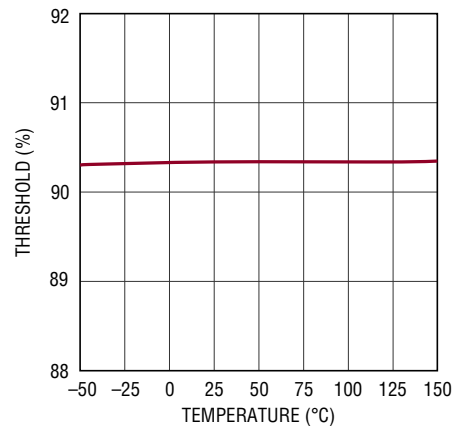
3990 G20

キャッチ・ダイオードのリーク電流



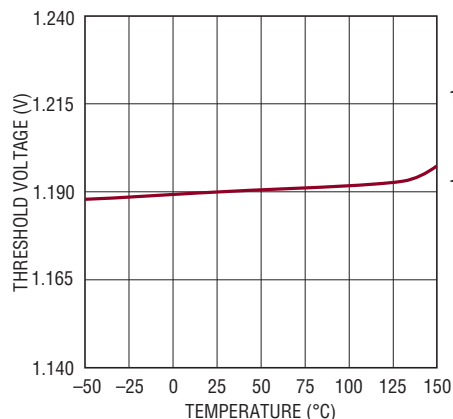
3990 G21

パワーグッド・スレッシュヨルド



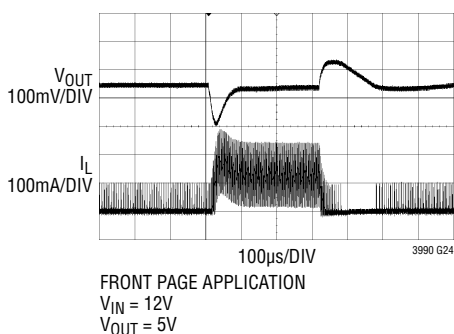
3990 G22

EN/UVLOスレッシュヨルド



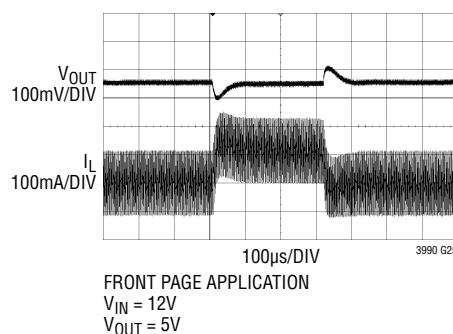
3990 G25

過渡負荷応答: 負荷電流は  
10mA (Burst Mode動作) から  
110mA にステップされる



3990 G24

過渡負荷応答: 負荷電流は  
100mA から 200mA にステップされる

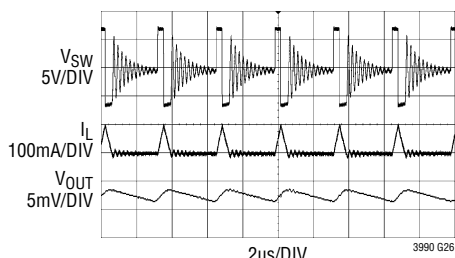


3990 G25

3990fa

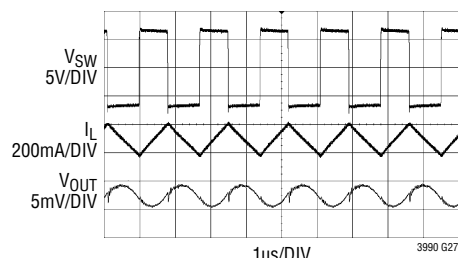
標準的性能特性 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

スイッチング波形、Burst Mode動作



FRONT PAGE APPLICATION  
 $V_{IN} = 12\text{V}$   
 $V_{OUT} = 5\text{V}$   
 $I_{LOAD} = 10\text{mA}$   
 $f = 600\text{kHz}$

スイッチング波形、  
最大周波数の連続動作



FRONT PAGE APPLICATION  
 $V_{IN} = 12\text{V}$   
 $V_{OUT} = 5\text{V}$   
 $I_{LOAD} = 350\text{mA}$   
 $f = 600\text{kHz}$

## ピン機能 (DFN、MSOP)

**FB (ピン1/ピン2, LT3990のみ)** : LT3990はFBピンの電圧を1.21Vに安定化します。帰還抵抗分割器のタップをこのピンに接続します。MSEパッケージの2本のFBピンは内部で接続されており、帰還分割器の経路が余分に与えられています。分割器は両方のピンに接続します。

**$V_{OUT}$  (ピン1, 2, LT3990-Xのみ)** : LT3990-3.3およびLT3990-5は、 $V_{OUT}$ ピンの電圧をそれぞれ3.3Vと5Vに安定化します。このピンは、固定出力電圧を設定する内部帰還ドライバに接続されています。2本の $V_{OUT}$ ピンは内部で接続されており、出力への経路が余分に与えられています。出力は両方のピンに接続します。

**EN/UVLO (ピン2/ピン4)** : このピンが“L”のときデバイスはシャットダウン状態になり、このピンが“H”のときアクティブになります。スレッシュホールド電圧は上昇時1.19Vで、35mVのヒステリシスがあります。シャットダウン機能を使用しない場合は、 $V_{IN}$ に接続します。 $V_{IN}$ が4.2Vより上のときだけEN/UVLOスレッシュホールドは正確です。 $V_{IN}$ が4.2Vより低いときは、EN/UVLOを接地してデバイスをシャットダウンします。

**$V_{IN}$  (ピン3/ピン6)** :  $V_{IN}$ ピンはLT3990の内部回路および内部パワースイッチに電流を供給します。このピンはローカルにバイパスする必要があります。

**GND (ピン4、5、露出パッド・ピン11/ピン8、露出パッド・ピン17)** : グランド。露出パッドはPCBに半田付けする必要があります。

**SW (ピン6/ピン9)** : SWピンは内部パワースイッチの出力です。このピンをインダクタに接続します。

**BOOST (ピン7/ピン11)** : このピンは入力電圧より高いドライブ電圧を内部のバイポーラNPNパワースイッチに与えるのに使います。

**BD (ピン8/ピン13)** : このピンは昇圧ダイオードのアノードに接続されています。また、このピンはBDが3.2Vより上だとLT3990の内部レギュレータに電流を供給します。

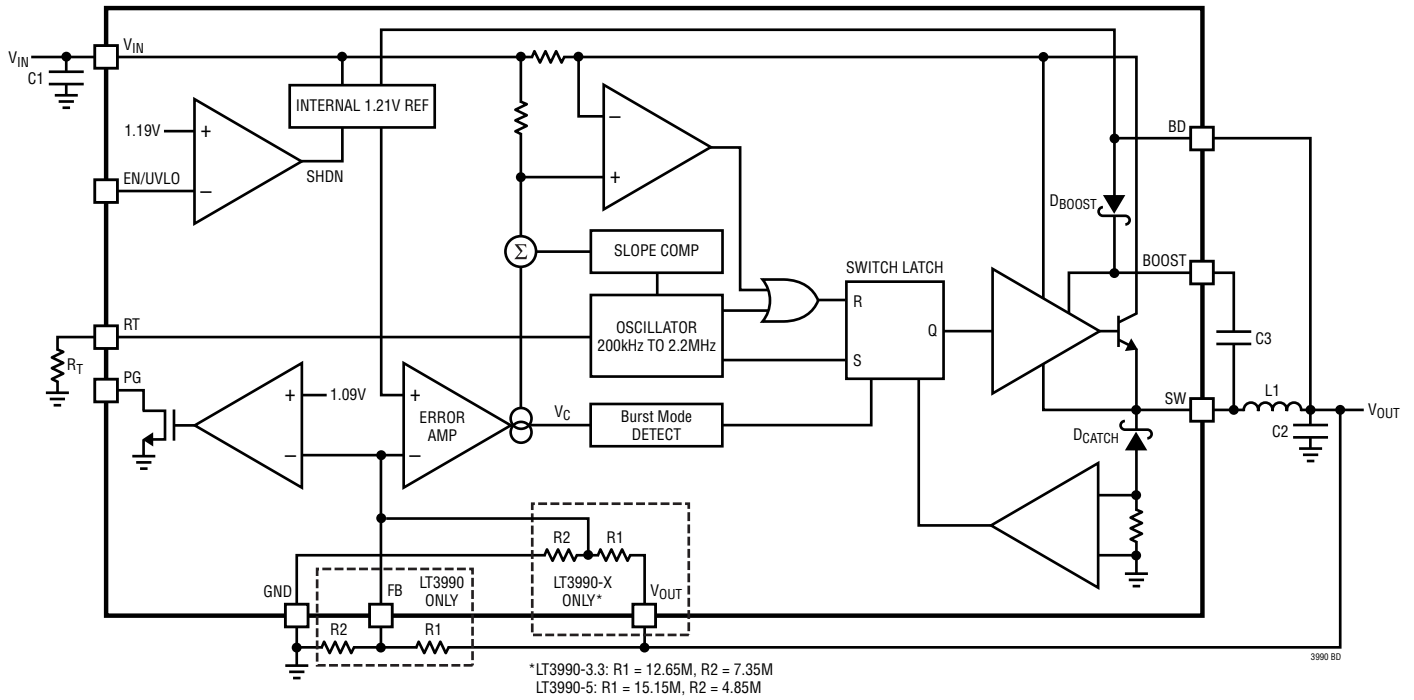
**PG (ピン9/ピン14)** : PGピンは内部コンパレータのオープン・ドレイン出力です。PGはFBピンが最終安定化電圧の10%以内に入るまで“L”に保たれます。PGは $V_{IN}$ が4.2Vを超え、EN/UVLOが“H”のとき有効です。

**RT (ピン10/ピン16)** : RTとグランドの間に抵抗を接続してスイッチング周波数を設定します。

**NC (ピン3、5、7、10、12、15、MSOPのみ)** : 接続なし。これらのピンは内部回路に接続されておらず、フォールト耐性を確保するためにフロート状態にしておく必要があります。

# LT3990/LT3990-3.3/LT3990-5

## ブロック図





## 動作

LT3990は固定周波数の電流モード降圧レギュレータです。RTによって周波数が設定される発振器により、RSフリップ・フロップがセットされ、内部のパワースイッチがオンします。アンプおよびコンパレータは $V_{IN}$ ピンとSWピンの間を流れる電流をモニタし、この電流が $V_C$ の電圧によって決まるレベルに達するとスイッチをオフします(「ブロック図」を参照)。エラーアンプはFBピンに接続された外部抵抗分割器を通して出力電圧を測定し、 $V_C$ ノードをサーボ制御します。エラーアンプの出力が増加すると、その出力に供給される電流が増加します。エラーアンプの出力が減少すると供給される電流が減少します。

別のコンパレータはキャッチ・ダイオードを通して流れる電流をモニタし、電流が450mAのボトム電流リミットを超えると動作周波数を下げます。この周波数フォールドバックは、高い入力電圧での出力短絡など、フォールト状態の出力電流を制御するのに役立ちます。したがって、出力へ供給可能な最大電流はスイッチの電流制限とキャッチ・ダイオードの電流制限の両方によって制限されます。

内部レギュレータが制御回路に電力を供給します。このバイアス・レギュレータは通常 $V_{IN}$ ピンから電力供給を受けますが、3.2Vを超える外部電圧にBDピンが接続されると、バイアス電力は外部ソース(通常は安定化された出力電圧)から供給されます。これにより効率が向上します。

EN/UVLOピンが“L”だと、LT3990はシャットダウンし、入力から0.7 $\mu$ Aが流れます。EN/UVLOピンの電圧が1.19V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。

スイッチ・ドライバは $V_{IN}$ ピンまたはBOOSTピンのどちらかで動作します。外付けのコンデンサを使って入力電源より高い電圧をBOOSTピンに発生させます。これにより、ドライバは内部のバイポーラNPNパワースイッチを完全に飽和させ、高い効率で動作させることができます。

効率をさらに上げるため、LT3990は軽負荷状態では自動的にBurst Mode動作に切り替わります。バーストとバーストの間は、出力スイッチ制御関連の全回路がシャットダウンし、入力電源電流が1.8 $\mu$ Aに減少します。

FBピンが安定化電圧値の90%になるとトリップするパワーグッド・コンパレータがLT3990には備わっています。PG出力はオープン・ドレイン・トランジスタで、出力がレギュレーション状態のときオフしているため、外部抵抗によりPGピンを“H”に引き上げることができます。LT3990がイネーブルされていて $V_{IN}$ が4.2Vを超えているときパワーグッドは有効です。

## アプリケーション情報

### FB抵抗ネットワーク

出力電圧は出力とFBピンの間に接続した抵抗分割器を使って設定します。次式に従って1%抵抗を選択します。

$$R1 = R2 \left( \frac{V_{OUT}}{1.21} - 1 \right)$$

参照名については「ブロック図」を参照してください。大きな抵抗を選択するほどアプリケーション回路の消費電流が減少することに注意してください。

### スイッチング周波数の設定

LT3990には固定周波数PWMアーキテクチャが使われており、RTピンからグラウンドに接続した抵抗を使って200kHz～2.2MHzの範囲でスイッチングするように設定することができます。望みのスイッチング周波数に必要なRTの値を表1に示します。

表1. スwitchング周波数とRTの値

スイッチング周波数 (MHz)	RTの値 (kΩ)
0.2	787
0.3	511
0.4	374
0.5	287
0.6	232
0.8	169
1.0	127
1.2	102
1.4	84.5
1.6	69.8
1.8	59
2.0	51.1
2.2	44.2

### 動作周波数のトレードオフ

動作周波数の選択は、効率、部品サイズ、最小損失電圧、および最大入力電圧の間のトレードオフです。高周波動作の利点は小さな値のインダクタとコンデンサを使うことができることです。不利な点は、効率が下がり、最大入力電圧が下がり、損失電圧が大きくなることです。所定のアプリケーションの最高許容スイッチング周波数 (f<sub>SW(MAX)</sub>) は次のように計算することができます。

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

ここで、V<sub>IN</sub>は標準入力電圧、V<sub>OUT</sub>は出力電圧、V<sub>D</sub>は内蔵キャッチ・ダイオードの電圧降下(約0.7V)、V<sub>SW</sub>は内部スイッチの電圧降下(最大負荷で約0.5V)です。この式は、高いV<sub>IN</sub>/V<sub>OUT</sub>比を実現するには、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。

また、周波数を下げるほど損失電圧を小さくすることができます。LT3990のスイッチには有限の最小オン時間と最小オフ時間があるため、入力電圧範囲はスイッチング周波数に依存します。スイッチは最小約160nsオフすることができますが、最小オン時間は温度に大きく依存します。アプリケーションの最高温度に対応する設計を行うには、スイッチの最小オン時間の曲線(「標準的性能特性」を参照)を使い、デバイス間のばらつきを考慮して約30%加算します。これらのオン時間とオフ時間を考慮に入れると、達成可能な最小と最大のデューティ・サイクルは次のようになります。

$$DC_{MIN} = f_{SW} \cdot t_{ON(MIN)}$$

$$DC_{MAX} = 1 - f_{SW} \cdot t_{OFF(MIN)}$$

ここで、f<sub>SW</sub>はスイッチング周波数、t<sub>ON(MIN)</sub>はスイッチの最小オン時間、t<sub>OFF(MIN)</sub>はスイッチの最小オフ時間(約160ns)です。これらの式は、スイッチング周波数が低下するにつれ、デューティ・サイクルの範囲が拡大することを示しています。

適切なスイッチング周波数を選択すると、適切な入力電圧範囲が得られ(次のセクションを参照)、インダクタとコンデンサの値が小さく保たれます。

### 入力電圧範囲

最小入力電圧は、LT3990の4.2Vの最小動作電圧または(前のセクションで説明されているように)その最大デューティ・サイクルのどちらかによって決まります。デューティ・サイクルによる最小入力電圧は次のとおりです。

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

ここで、V<sub>IN(MIN)</sub>は最小入力電圧、V<sub>OUT</sub>は出力電圧、V<sub>D</sub>はキャッチ・ダイオードの電圧降下(約0.7V)、V<sub>SW</sub>は内蔵スイッチの電圧降下(最大負荷で約0.5V)、f<sub>SW</sub>は(RTによって設定される)スイッチング周波数、t<sub>OFF(MIN)</sub>はスイッチの最小オフ時間(約160ns)です。スイッチング周波数が高いほど、最小入力電圧が高くなることに注意してください。損失電圧を下げたいときは、低いスイッチング周波数を使います。

## アプリケーション情報

通常動作時に許容される最大 $V_{IN}$  ( $V_{IN(OP-MAX)}$ )は最小デューティ・サイクルによって制限され、次式を使って計算することができます。

$$V_{IN(OP-MAX)} = \frac{V_{OUT} + V_D}{f_{SW} \cdot t_{ON(MIN)}} - V_D + V_{SW}$$

ここで、 $t_{ON(MIN)}$ はスイッチの最小オン時間です。

ただし、選択されたスイッチング周波数に関係なく、回路は $V_{IN}$ ピンとBOOSTピンの絶対最大定格までの入力に耐えます。 $V_{IN}$ が $V_{IN(OP-MAX)}$ より高くなるような過渡が生じたとき、スイッチング周波数が設定された周波数よりも下がって、デバイスの損傷を防ぎます。出力電圧リップルとインダクタ電流リップルも通常動作時より大きくなる場合がありますが、出力はレギュレーション状態のままです。

### インダクタの選択

所定の入力電圧と出力電圧に対して、インダクタの値とスイッチング周波数によってリップル電流が決まります。リップル電流は $V_{IN}$ または $V_{OUT}$ が高いほど増加し、インダクタンスが高いほど、またスイッチング周波数が高いほど減少します。インダクタの値を選択するには次の値が妥当な出発点となります。

$$L = 3 \frac{V_{OUT} + V_D}{f_{SW}}$$

表2. インダクタ・メーカー

VENDOR	URL
Coilcraft	www.coilcraft.com
Sumida	www.sumida.com
Toko	www.tokoam.com
Würth Elektronik	www.we-online.com
Coiltronics	www.cooperet.com
Murata	www.murata.com

ここで、 $V_D$ はキャッチ・ダイオードの電圧降下(約0.7V)で、 $L$ の単位は $\mu\text{H}$ 、 $f_{SW}$ の単位はMHzです。インダクタのRMS電流定格は最大負荷電流より大きくなければならず、その飽和電流は約30%大きくなければなりません。フォールト状態(起動時または短絡)や入力電圧が高い(>30V)ときに堅牢な動作を実現するには、飽和電流を800mAより大きくします。高い効率を保つには、直列抵抗(DCR)を $0.1\Omega$ より小さくし、コア材を高周波アプリケーション向けのものにします。適している種類とメーカーのリストを表2に示します。

この簡単なデザイン・ガイドでは、所定のアプリケーションに最適なインダクタを常に選択できるとは限りません。一般則として、出力電圧が低くスイッチング周波数が高いほどインダクタ値を小さくする必要があります。アプリケーションが必要とする負荷電流が350mA未満なら、インダクタ値をさらに小さくすることができます。この場合、物理的に小さいインダクタを使用することができます。あるいは、DCRの小さいインダクタを使用して効率を上げることができます。このデータシートの「標準的性能特性」のセクションのグラフには、いくつかのよく使われる出力電圧に対して、入力電圧の関数としての最大負荷電流が示されています。インダクタンスが小さいと不連続モード動作になることがあります。問題はありませんが、最大負荷電流が減少します。最大出力電流と不連続モード動作の詳細については、弊社の「アプリケーションノート44」を参照してください。最後に、50%を超えるデューティ・サイクルでは( $V_{OUT}/V_{IN} > 0.5$ )、低調波発振を防ぐために最小インダクタンスが制限されます。「アプリケーションノート19」を参照してください。

### 入力コンデンサ

X7RまたはX5Rタイプのセラミック・コンデンサを使ってLT3990の回路の入力をバイパスします。Y5Vタイプは温度や加えられる電圧が変化すると性能が低下するので使用しないでください。1 $\mu\text{F}$ ~4.7 $\mu\text{F}$ のセラミック・コンデンサはLT3990をバイパスするのに適しており、容易にリップル電流に対応できます。低いスイッチング周波数を使うと、(オン時間が長くなる

## アプリケーション情報

ので)大きな入力容量が必要になることに注意してください。入力電源のインピーダンスが高いか、または長い配線やケーブルによる大きなインダクタンスが存在する場合、バルク容量の追加が必要になることがあります。これには性能の高くない電解コンデンサを使うことができます。

降圧レギュレータには入力電源から立ち上がり立ち下がりが非常に速いパルス電流が流れます。その結果LT3990に生じる電圧リップルを減らし、周波数が非常に高いこのスイッチング電流を狭いローカル・ループに押し込めてEMIを最小限に抑えるために、入力コンデンサが必要です。1 $\mu$ Fのコンデンサはこの役目を果たしますが、それがLT3990の近くに配置される場合に限られます(「PCBのレイアウト」のセクションを参照)。入力セラミック・コンデンサに関する2つ目の注意点は、LT3990の最大入力電圧定格に関するものです。入力セラミック・コンデンサはトレースやケーブルのインダクタンスと結合して質の良い(減衰の小さな)タンク回路を形成します。LT3990の回路を給電中の電源に差し込むと、入力電圧に公称値の2倍のリングングが生じて、LT3990の電圧定格を超える恐れがあります。この状況は容易に避けられます(「安全な活線挿入」のセクションを参照)。

### 出力コンデンサと出力リップル

出力コンデンサには2つの基本的な機能があります。このコンデンサは過渡負荷を満たしてLT3990の制御ループを安定させるためにエネルギーを蓄積します。セラミック・コンデンサの等価直列抵抗(ESR)は非常に小さいので、最良のリップル性能を与えます。次の値が出発点として妥当です。

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

ここで、 $f_{SW}$ の単位はMHz、 $C_{OUT}$ は推奨出力容量(単位は $\mu$ F)です。X5RまたはX7Rのタイプを使用します。この選択により、出力リップルが小さくなり、過渡応答が良くなります。もっと大きな値のコンデンサを、出力と帰還ピンの間の位相リード・コンデンサ(標準22pF)と組み合わせて使うと、過渡性能を改善することができます。スペースとコストを節約するため、もっと小さな値の出力コンデンサを使うこともできますが、過渡性能が低下します。

2番目の機能として、出力コンデンサが、インダクタと共に、LT3990が生成する方形波をフィルタ処理してDC出力を生成します。この機能では出力コンデンサが出力リップルを決定す

るので、スイッチング周波数でのインピーダンスが低いことが重要です。出力容量を大きくすると出力リップルが約1mVまで減少します。図1を参照してください。大きな出力コンデンサには大きな位相リードコンデンサを使う必要があることに注意してください。

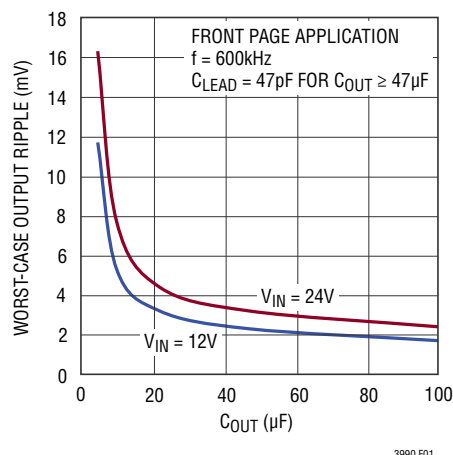


図1. 最大負荷範囲にわたるワーストケースの出力リップル

コンデンサを選択するときは、データシートを注意深く調べ、動作条件(加えられる電圧や温度)での実際の容量を確認してください。物理的に大きなコンデンサや電圧定格が高いコンデンサが必要になることがあります。コンデンサ・メーカーのリストを表3に示します。

表3. 推奨セラミック・コンデンサ・メーカー

MANUFACTURER	WEBSITE
AVX	www.avxcorp.com
Murata	www.murata.com
Taiyo Yuden	www.t-yuden.com
Vishay Siliconix	www.vishay.com
TDK	www.tdk.com

### 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、非常に小さいESRをもっています。ただし、セラミック・コンデンサは圧電特性をもつため、LT3990に使用すると問題を生じることがあります。BurstMode動作のとき、LT3990のスイッチング周波数は負荷電流に依存し、負荷が非常に軽いとLT3990はセラミック・コンデンサを可聴周波数で励起し、可聴ノイズを生じることがあります。LT3990はBurst Mode動作時は低い電流リミットで動作するので、普通に聴くとノイズは通常非常に静かです。これを

## アプリケーション情報

許容できないときは、高性能のタンタル・コンデンサまたは電解コンデンサを出力に使用します。

セラミック・コンデンサに関する最後の注意点はLT3990の最大入力電圧定格に関するものです。前述のように、入力セラミック・コンデンサはトレースやケーブルのインダクタンスと結合して質の良い(減衰の小さな)タンク回路を形成します。LT3990の回路を給電中の電源に差し込むと、入力電圧に公称値の2倍のリングングが生じて、LT3990の定格を超える恐れがあります。この状況は容易に避けられます(「安全な活線挿入」のセクションを参照)。

### 低リップルのBurst Mode動作

軽負荷での効率を向上させるため、LT3990は低リップルのBurst Modeで動作し、入力消費電流を最小限に抑えながら、出力コンデンサを適切な電圧に充電された状態に保ちます。LT3990はBurst Mode動作の間1サイクルの電流バーストを出力コンデンサに供給し、それに続くスリープ期間に出力コンデンサから出力電力が負荷に供給されます。LT3990は1個の低電流パルスで電力を出力に供給するので、標準的アプリケーションでは出力リップルが5mV未満に保たれます。図2を参照してください。

負荷電流が無負荷状態に向かって減少するにつれ、LT3990がスリープ・モードで動作する時間の割合が増加し、平均入力電流が大きく減少するので非常に軽い負荷でも効率が高くなります。Burst Mode動作時、スイッチング周波数が設定された周波数より低くなることに注意してください。図3を参照してください。

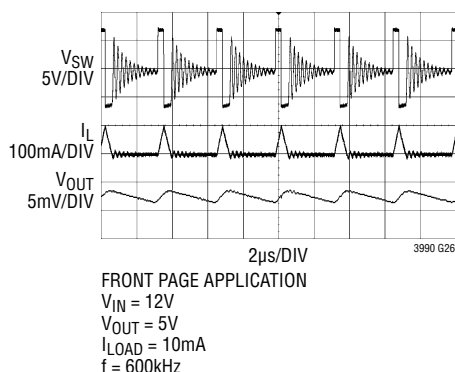


図2. Burst Mode動作

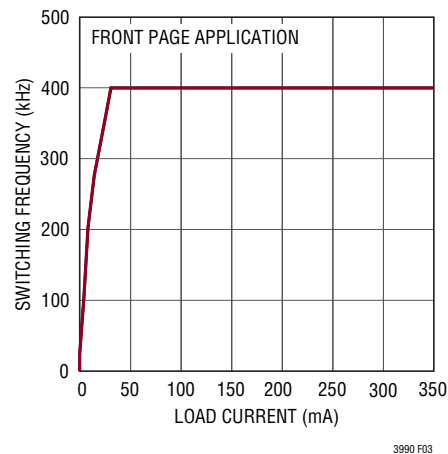


図3. Burst Mode動作時のスイッチング周波数

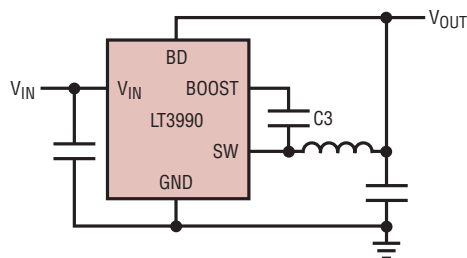
高い出力負荷(表紙のアプリケーションでは約35mA以上)では、LT3990は $R_T$ 抵抗により設定された周波数で動作し、標準的PWMモードで動作します。PWMと低リップルBurst Modeの間の移行はシームレスで、出力電圧に影響を与えません。

### BOOSTピンとBDピンに関する検討事項

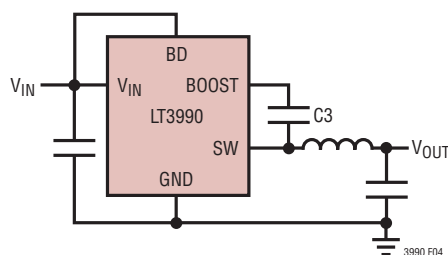
入力電圧より高い昇圧電圧を発生させるため、コンデンサC3と内部のショットキー・ダイオード(「ブロック図」を参照)が使われます。ほとんどの場合、0.22 $\mu F$ のコンデンサで問題なく動作します。図4に昇圧回路の構成方法を2つ示します。最高の効率を得るには、BOOSTピンの電圧をSWピンより1.9V以上高くする必要があります。2.2V以上の出力では標準回路(図4a)が最適です。2.2V~2.5Vの出力では、0.47 $\mu F$ の昇圧コンデンサを使います。2.2Vより低い出力電圧では、昇圧ダイオードを入力(図4b)または2.2Vより高い別の外部電源に接続することができます。ただし、電圧が低い方の電圧源からBOOSTピンの電流とBDピンの消費電流が流れるので、図4aの回路の方が効率は高くなります。また、BOOSTピンとBDピンの最大電圧定格を超えないようにします。

LT3990のアプリケーションの最小入力電圧は、前のセクションで説明されているように最小動作電圧(4.2V)と最大デューティ・サイクルによって制限されます。正しく起動するためには、最小入力電圧は昇圧回路によっても制限されます。入力電圧がゆっくりランプアップすると、昇圧コンデンサが完全に充電されないことがあります。昇圧コンデンサはインダクタに蓄えられたエネルギーで充電されるので、昇圧回路を適正に動作さ

## アプリケーション情報



(4a)  $V_{OUT} \geq 2.2V$ の場合



(4b)  $V_{OUT} < 2.2V, V_{IN} < 30V$ の場合

図4. 昇圧電圧を発生させる2つの回路

せるためには、回路はなんらかの最小負荷電流を必要とします。この最小負荷は、入力電圧と出力電圧、ならびに昇圧回路の構成に依存します。回路が起動した後は、最小負荷電流は通常ゼロになります。起動および動作に必要な最小負荷電流を入力電圧の関数としてプロットしたものを図5に示します。多くの場合、放電した出力コンデンサがスイッチャの負荷となるので、スイッチャは起動することができます。プロットは $V_{IN}$ が非常にゆっくりランプアップするワーストケースの状態を示しています。起動電圧がもっと低ければ、昇圧ダイオードを $V_{IN}$ に接続することができます。ただし、この場合、入力電圧範囲がBOOSTピンの絶対最大定格の半分に制限されます。

### イネーブルおよび低電圧ロックアウト

EN/UVLOピンが“L”のときLT3990はシャットダウン状態になり、このピンが“H”のときアクティブになります。EN/UVLOコンパレータの上昇時スレッシュホールドは1.19Vで、35mVのヒステリシスがあります。 $V_{IN}$ が4.2Vより上のとき、このスレッシュホールドは正確です。 $V_{IN}$ が4.2Vより低いときは、EN/UVLOピンをGNDに接続してデバイスをシャットダウンします。

低電圧ロックアウト (UVLO) をLT3990に追加する方法を図6に示します。UVLOは、通常、入力電源が電流制限されているか、あるいは入力電源のソース抵抗が比較的高い状況で使用されます。スイッチング・レギュレータは入力ソースから一定の

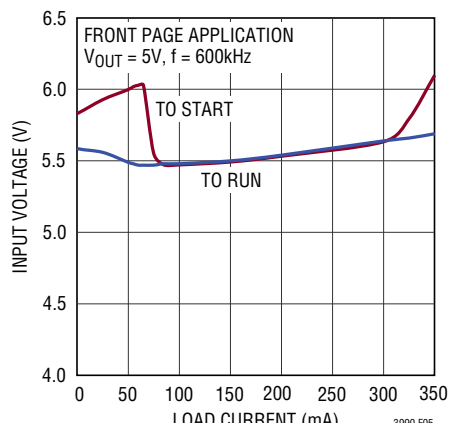
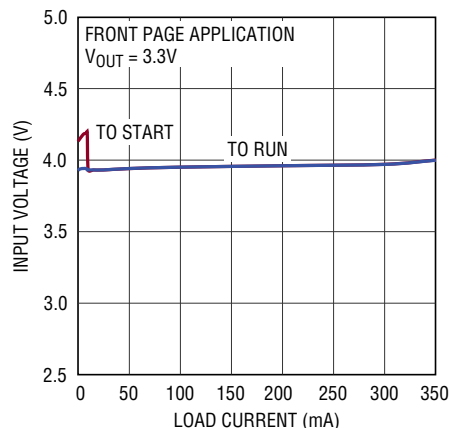


図5. 出力電圧、負荷電流および昇圧回路に依存する最小入力電圧

電力を引き出すので、入力ソース電圧が低下するにつれ、入力ソース電流が増加します。この現象は入力ソースからは負の抵抗負荷のように見えるため、入力ソース電圧が低い状態では、入力ソースが電流制限されたり低電圧にラッチされたりすることがあります。UVLOは、この問題が発生する恐れのある入力ソース電圧でレギュレータが動作しないようにします。UVLOスレッシュホールドは、次式を満足させるようにR3とR4の値を設定することにより調整できます。

$$V_{UVLO} = \frac{R3 + R4}{R4} \cdot 1.19V$$

この場合、スイッチングは $V_{IN}$ が $V_{UVLO}$ を超えるまで開始されません。コンパレータのヒステリシスのため、入力電圧が $V_{UVLO}$ よりわずかに低いレベルまで下がらない限りスイッチングは停止しないことに注意してください。低電圧ロックアウトは $V_{UVLO}$ が5Vを上回ったときだけ機能します。

## アプリケーション情報

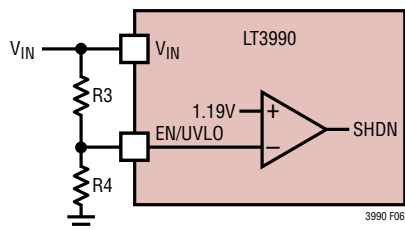


図6. 低電圧ロックアウト

### 短絡入力と逆入力に対する保護

過度に飽和しないようにインダクタを選択すると、LT3990降圧レギュレータは出力の短絡に耐えます。LT3990に入力が加わっていても出力が高く保たれるシステムには、考慮すべき別の状況があります。これは、バッテリー充電アプリケーションまたはバッテリーや他の電源がLT3990の出力とダイオードOR接続されているバッテリー・バックアップ・システムで発生することがあります。V<sub>IN</sub>ピンがフロート状態で、EN/UVLOピンが（ロジック信号によって、あるいはV<sub>IN</sub>に接続されているため）“H”に保持されていると、SWピンを通してLT3990の内部回路に静止電流が流れます。この状態で数μAの電流を許容できるシステムであれば、これは問題ありません。EN/UVLOピンが接地されていると、SWピンの電流は0.7μAまで低下します。ただし、出力を高く保持した状態でV<sub>IN</sub>を接地すると、EN/UVLOには関係なく、出力からSWピンおよびV<sub>IN</sub>ピンを通してLT3990内部の寄生ダイオードに電流が流れる可能性があります。入力電圧が与えられているときだけ動作し、短絡入力や逆入力に対してデバイスを保護する回路を図7に示します。

### PCBのレイアウト

デバイスを正しく動作させEMIを最小限に抑えるには、プリント回路基板のレイアウト時に注意が必要です。推奨する部品配置とトレース、グラウンド・プレーンおよびビアの位置を図8に示します。大きなスイッチング電流がLT3990のV<sub>IN</sub>ピンとSWピン、内部キャッチ・ダイオードおよび入力コンデンサを流れることに注意してください。これらの部品が形成するループをできるだけ小さくします。これらの部品とインダクタおよび出力コンデンサは回路基板の同じ側に配置し、それらをその層で接続します。これらの部品の下には切れ目のないローカル・グラ

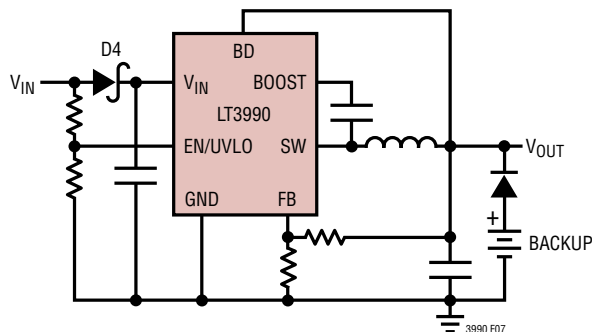


図7. ダイオードD4は、出力に接続されたバックアップ用バッテリーが短絡された入力によって放電するのを防ぐ。また、逆入力から回路を保護する。LT3990は入力を与えられているときだけ動作する

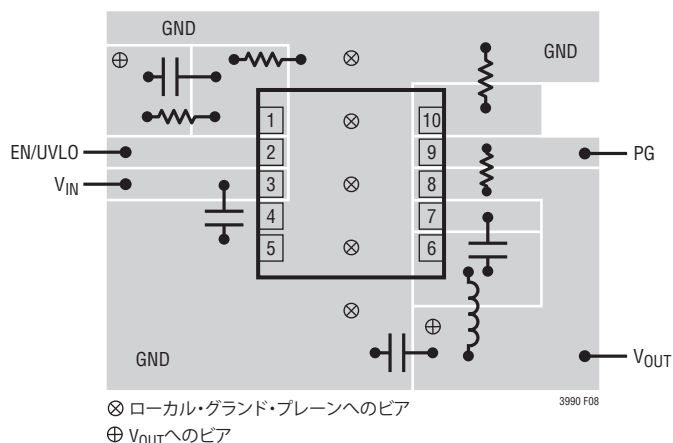


図8. 適切な低EMI動作を保証する優れたPCBレイアウト

ンド・プレーンを配置します。SWノードとBOOSTノードはできるだけ小さくします。最後に、グラウンド・トレースがSWノードとBOOSTノードからFBノードをシールドするように、FBノードは小さくします。パッケージの底面の露出パッドは、ヒートシンクとして機能するようにグラウンド・プレーンに半田付けする必要があります。熱抵抗を小さくするには、グラウンド・プレーンをできるだけ大きくし、回路基板の内層や裏面の追加のグラウンド・プレーンへのサーマル・ビアをLT3990の下や近くに追加します。

## アプリケーション情報

### 安全な活線挿入

セラミック・コンデンサはサイズが小さく、堅牢でインピーダンスが低いので、LT3990の回路の入力バイパス・コンデンサに最適です。ただし、給電中の電源にLT3990が差し込まれると、これらのコンデンサは問題を生じることがあります。低損失のセラミック・コンデンサは電源に直列の浮遊インダクタンスと結合して減衰の小さなタンク回路を形成し、LT3990の $V_{IN}$ ピンの電圧に公称入力電圧の2倍に達するリングングを生じる可能性があります。LT3990の定格を超えてデバイスを傷める恐れがあります。入力電源の制御が不十分だったりユーザーがLT3990を給電中の電源に差し込んだりしたときに、このようなオーバーシュートを防ぐように、入力ネットワークを設計する必要があります。詳細な説明に関しては、弊社の「アプリケーションノート88」を参照してください。

### 高温に関する検討事項

もっと高い周囲温度では、LT3990に十分なヒートシンクを確保するためにPCBのレイアウトに注意を払います。パッケージの底面の露出パッドをグランド・プレーンに半田付けする必要があります。このグランドをサーマル・ビアを使って下の大きな銅層に接続します。これらの層はLT3990が発生する熱を放散します。ビアを追加すると、熱抵抗をさらに減らすことができます。周囲温度が最大接合部温度定格に近づくにつれ、最大負荷電流をデレーティングします。

LT3990内部の電力損失は、効率測定により計算される総電力損失からインダクタの損失を差し引いて推測することができます。ダイ温度は、LT3990の電力損失に(接合部から周囲への)熱抵抗を掛けて計算します。

最後に、高い周囲温度では、内部ショットキー・ダイオードのリーク電流がかなり大きくなり(「標準的性能特性」を参照)、LT3990コンバータの消費電流が増加することに注意してください。

### フォールト耐性

MSOPパッケージのLT3990レギュレータは、単独のフォールト状態に耐えるように設計されています。隣接する2つのピンを短絡したり、1つのピンをフロート状態にしても、出力電圧が設定値を超えたり、LT3990レギュレータが損傷を受けることはありません。

NCピンは内部回路に接続されておらず、フォールト耐性を確保するためにフロート状態にしておく必要があります。

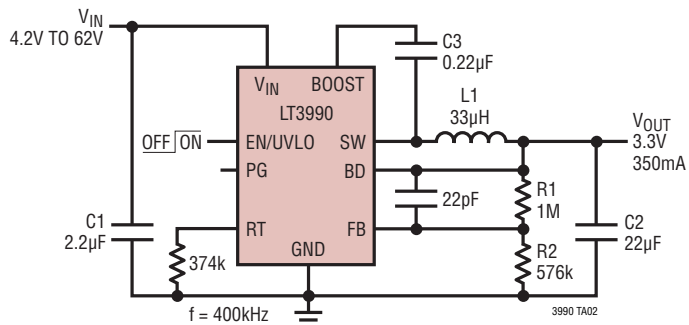
### リニアテクノロジー社の他の出版物

「アプリケーションノート」の19、35および44には降圧レギュレータと他のスイッチング・レギュレータの詳細な説明と設計情報が含まれています。LT1376のデータシートには出力リップル、ループ補償および安定性のテストに関するさらに広範な説明が与えられています。「デザインノート100」には降圧レギュレータを使ってバイポーラ出力電源電圧を生成する方法が示されています。

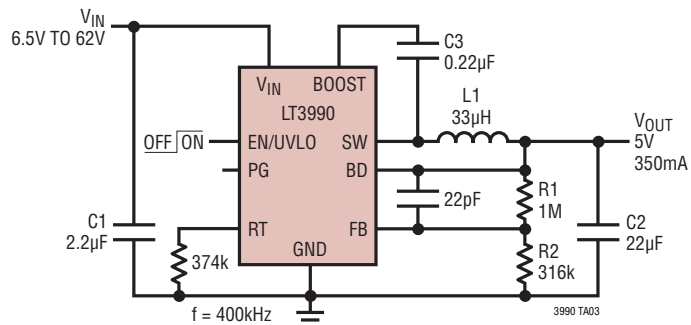


標準的応用例

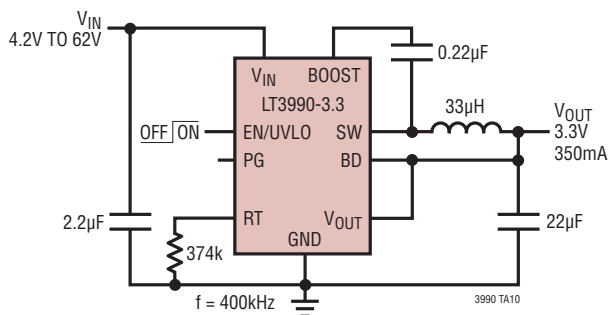
3.3V降圧コンバータ



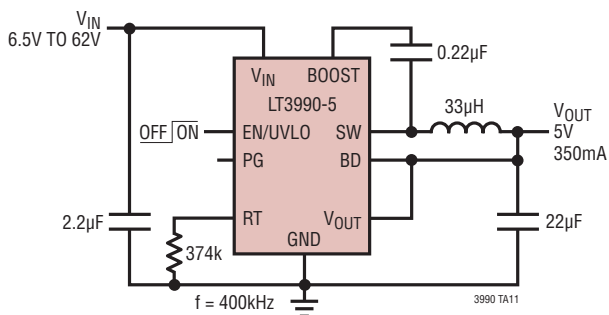
5V降圧コンバータ



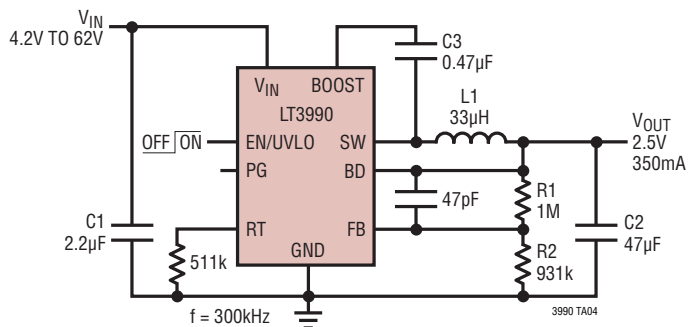
3.3V降圧コンバータ



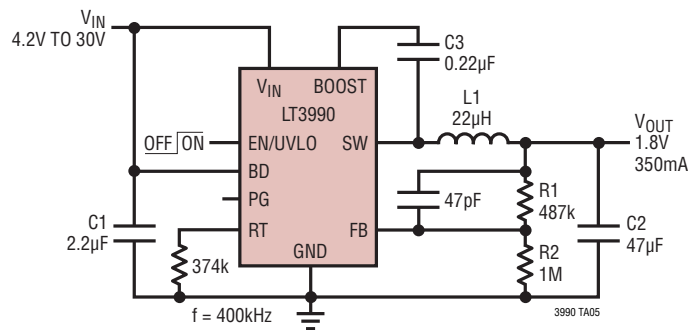
5V降圧コンバータ



2.5V降圧コンバータ



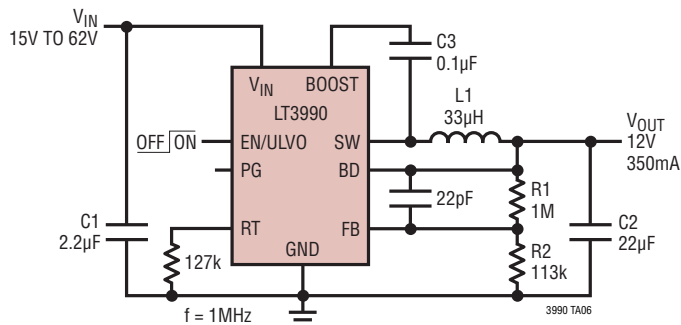
1.8V降圧コンバータ



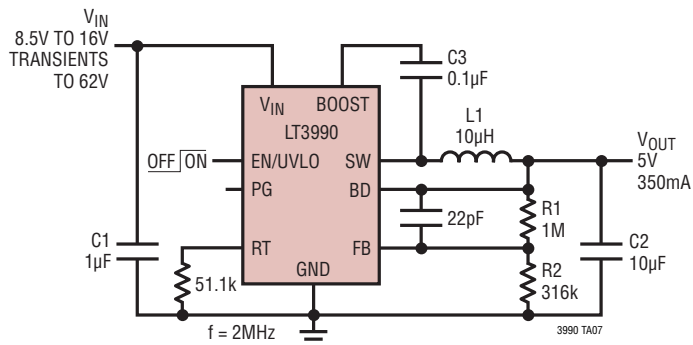
# LT3990/LT3990-3.3/LT3990-5

## 標準的応用例

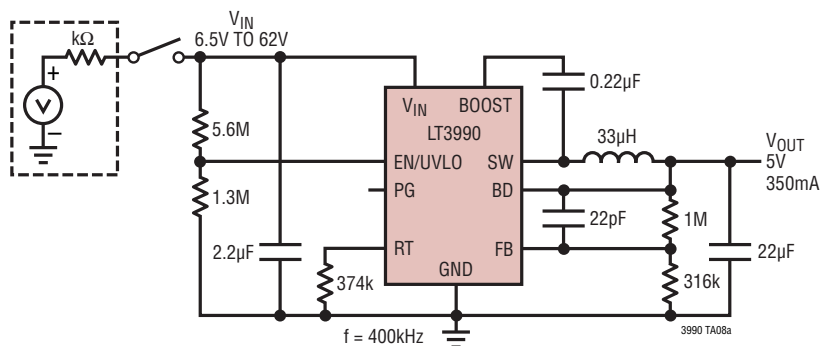
12V降圧コンバータ



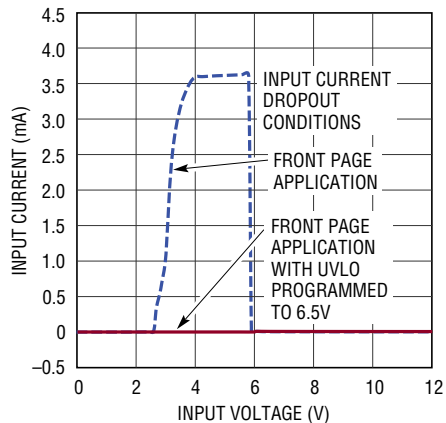
5V、2MHz降圧コンバータ



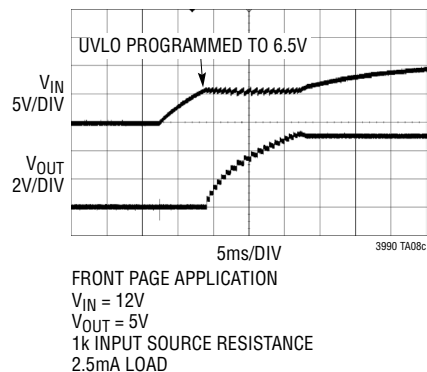
低電圧ロックアウトを備えた5V降圧コンバータ



起動時の入力電流



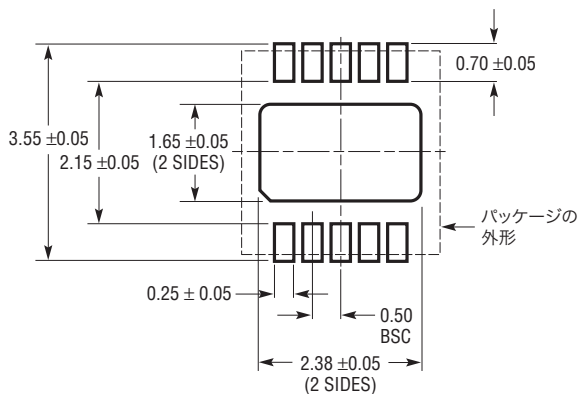
高インピーダンスの入カソースからの起動



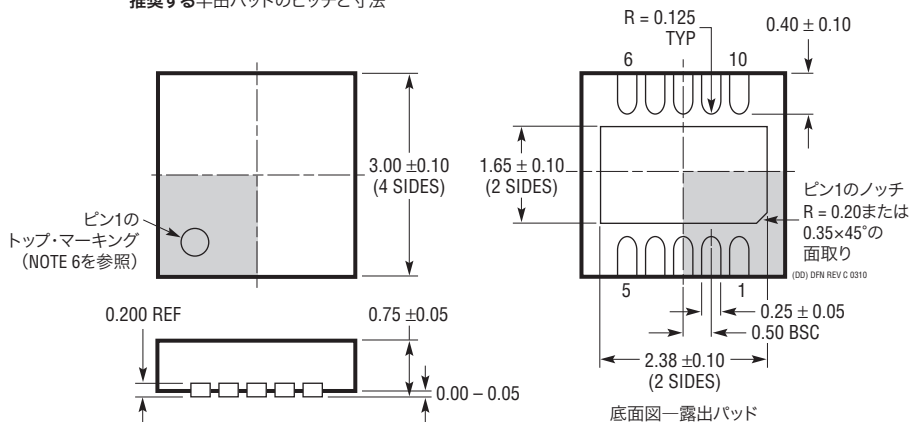
パッケージ

最新のパッケージ図面については、 <http://www.linear-tech.co.jp/designtools/packaging/> をご覧ください。

DDパッケージ  
10ピン・プラスチックDFN (3mm×3mm)  
(Reference LTC DWG # 05-08-1699 Rev C)



推奨する半田パッドのピッチと寸法



NOTE:

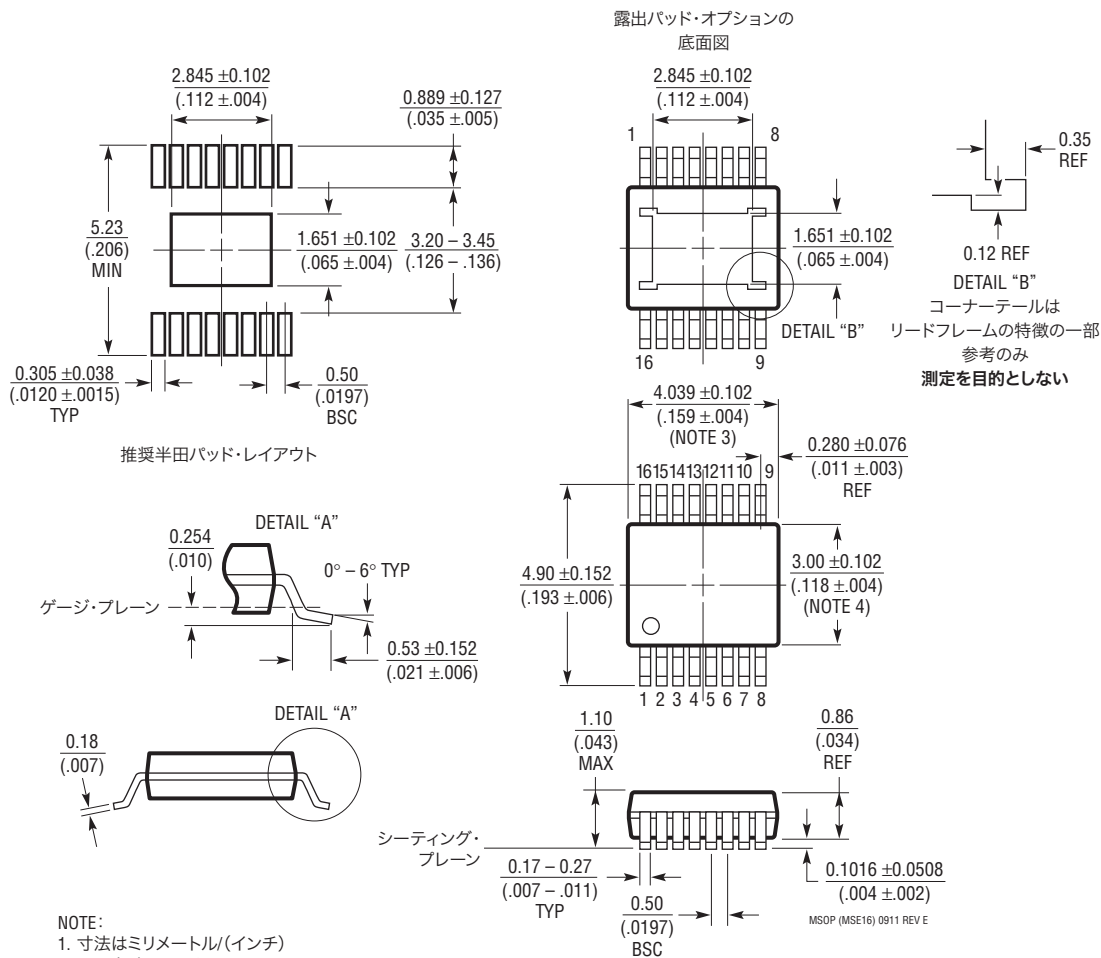
1. 図はJEDECのパッケージ外形MO-229のバリエーション(WEED-2)になる予定  
バリエーションの指定の現状についてはLTCのWebサイトのデータシートを参照
2. 図は実寸とは異なる
3. すべての寸法はミリメートル
4. パッケージ底面の露出パッドの寸法にはモールドのバリを含まない  
モールドのバリは(もしあれば)各サイドで0.15mmを超えないこと
5. 露出パッドは半田メッキとする
6. 網掛けの部分はパッケージの上面と底面のピン1の位置の参考に過ぎない

# LT3990/LT3990-3.3/LT3990-5

## パッケージ

最新のパッケージ図面については、 <http://www.linear-tech.co.jp/designtools/packaging/> をご覧ください。

### MSEパッケージ 16ピン・プラスチックMSOP、露出ダイパッド (Reference LTC DWG # 05-08-1667 Rev E)



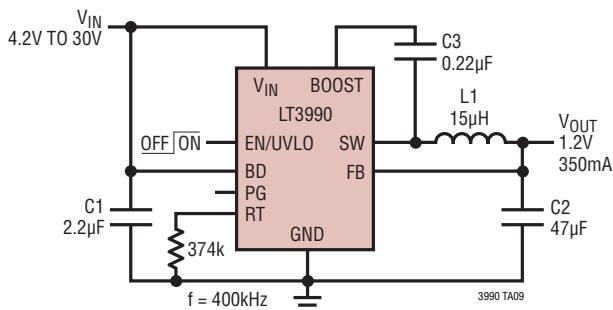
改訂履歴 (改訂履歴は Rev B から開始)

REV	日付	概要	ページ番号
B	8/12	固定出力電圧バージョンを追加するため、タイトル、特長、標準的応用例を明確化	1
		絶対最大定格を明確化、Hグレード・オプションを追加	2
		固定出力電圧オプションのためにピン配置を明確化、固定出力電圧オプションとHグレード・オプションのために発注情報を明確化	2
		電気的特性の表を明確化	3
		標準的性能特性を明確化	4、6
		ピン機能とブロック図を明確化	7、8
		EN/UVLOの文章と式を明確化	14、15
		標準的応用例を明確化	17

# LT3990/LT3990-3.3/LT3990-5

## 標準的応用例

1.21V降圧コンバータ



## 関連製品

製品番号	説明	注釈
LT3970/LT3970-3.3/ LT3970-5	消費電流2.5µAの40V、350mA、 2.2MHz高効率マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> : 4.2V~40V、V <sub>OUT(MIN)</sub> = 1.21V、I <sub>Q</sub> = 2.5µA、 I <sub>SD</sub> < 1µA、3mm×2mm DFN-10およびMSOP-10パッケージ
LT3971	消費電流2.8µAの38V、1.2A、 2MHz高効率マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> : 4.3V~38V、V <sub>OUT(MIN)</sub> = 1.2V、I <sub>Q</sub> = 2.8µA、 I <sub>SD</sub> < 1µA、3mm×3mm DFN-10およびMSOPE-10パッケージ
LT3991	消費電流2.8µAの55V、1.2A、 2.2MHz高効率マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> : 4.3V~55V、V <sub>OUT(MIN)</sub> = 1.2V、I <sub>Q</sub> = 2.8µA、 I <sub>SD</sub> < 1µA、3mm×3mm DFN-10およびMSOPE-10パッケージ
LT3682	36V、60V <sub>MAX</sub> 、1A、 2.2MHz高効率マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> : 3.6V~36V、V <sub>OUT(MIN)</sub> = 0.8V、I <sub>Q</sub> = 75µA、 I <sub>SD</sub> < 1µA、3mm×3mm DFN-12パッケージ

3990fa