

特長

- 低リップルのBurst Mode[®]動作
入力12V、出力3.3V時の I_Q : 2.5μA
出力リップル:< 5mV_{P-P}
- 広い入力電圧範囲: 4.2V~40V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, 3.42V, 5V
入力12V時の I_Q : 1.8μA
- 高精度のイネーブル・ピン電圧しきい値: 1V
- 低シャットダウン電流: $I_Q = 0.7\mu A$
- 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
- 出力電圧: 1.21V~25V
- 内部補償
- 小型10ピンMSOPおよび(3mm×2mm)DFNパッケージ

アプリケーション

- 自動車用バッテリのレギュレーション
- 携帯型製品の電源
- 産業用電源

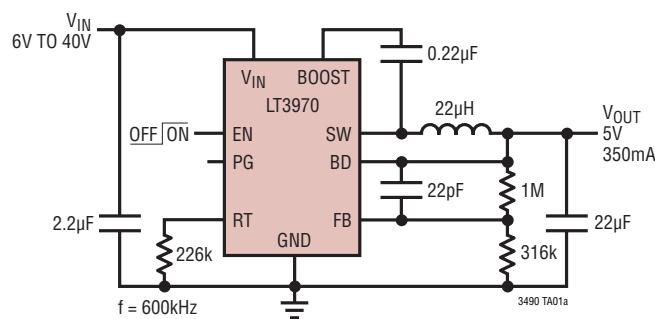
概要

LT[®]3970は、40Vまでの広い入力電圧範囲で使用でき、静止電流がわずか2.5μAの可変周波数モノリック降圧スイッチング・レギュレータです。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、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未満に保ちつつ、低出力電流時には高い効率を維持します。高速トランジエ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。キャッチ・ダイオードの電流制限により、出力短絡や過電圧状態からデバイスを保護します。高精度のしきい値を持つイネーブル・ピンにより、シャットダウン電流はわずか0.7μA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。LT3970は、小型の10ピンMSOPパッケージおよび3mm×2mmのDFNパッケージで供給されます。

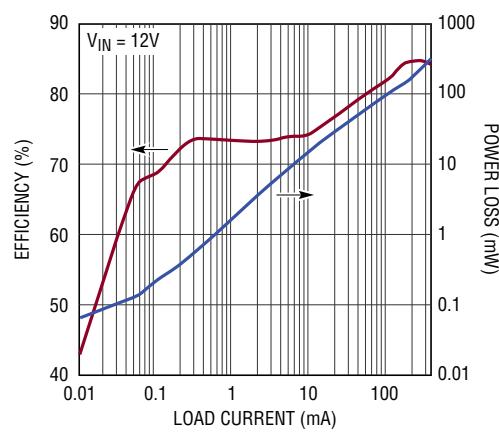
LT、**LT**、**LTC**、**LTM**、**Burst Mode**、**Linear Technology**およびLinearのロゴはリニアテクノロジー社の登録商標です。その他すべての商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。

標準的応用例

5V降圧コンバータ



効率



3970 TA01b

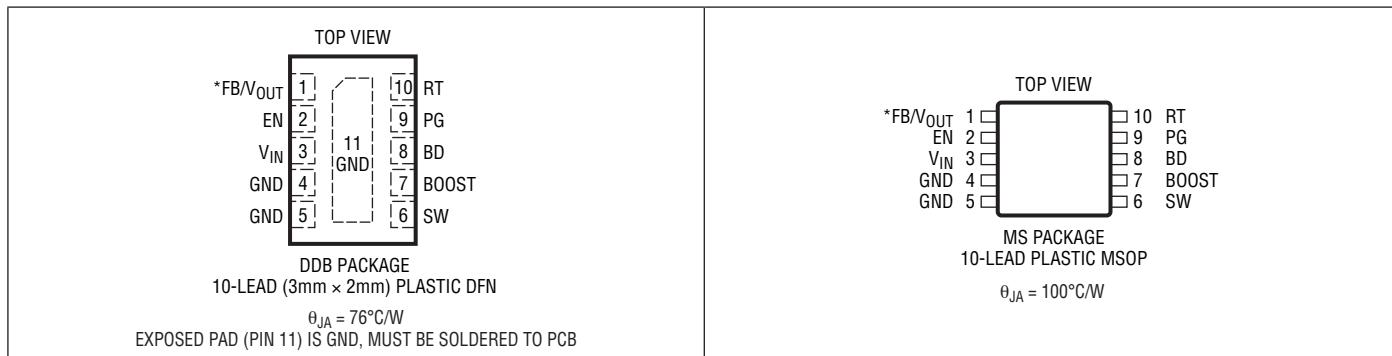
3970fc

LT3970シリーズ

絶対最大定格 (Note 1)

V_{IN} 、ENの電圧	40V	動作接合部温度範囲 (Note 2)
BOOSTピンの電圧	55V	E、Iグレード $-40^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$
SWピンを超えるBOOSTピンの電圧	30V	Hグレード $-40^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$
FB/ V_{OUT} 、RTの電圧	6V	保存温度範囲 $-65^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$
PG、BDの電圧	30V	リード温度(半田付け、10秒) MSのみ 300°C

ピン配置



*LT3970ではFB、LT3970-3.3、LT3970-3.42、LT3970-5では V_{OUT}

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
LT3970EDDB#PBF	LT3970EDDB#TRPBF	LFCZ	10-Lead (3mm x 2mm) Plastic DFN	-40°C to 125°C
LT3970IDDB#PBF	LT3970IDDB#TRPBF	LFCZ	10-Lead (3mm x 2mm) Plastic DFN	-40°C to 125°C
LT3970EMS#PBF	LT3970EMS#TRPBF	LTfdb	10-Lead Plastic MSOP	-40°C to 125°C
LT3970IMS#PBF	LT3970IMS#TRPBF	LTfdb	10-Lead Plastic MSOP	-40°C to 125°C
LT3970HMS#PBF	LT3970HMS#TRPBF	LTfdb	10-Lead Plastic MSOP	-40°C to 150°C
LT3970EDDB-3.3#PBF	LT3970EDDB-3.3#TRPBF	LFQH	10-Lead (3mm x 2mm) Plastic DFN	-40°C to 125°C
LT3970IDDB-3.3#PBF	LT3970IDDB-3.3#TRPBF	LFQH	10-Lead (3mm x 2mm) Plastic DFN	-40°C to 125°C
LT3970EMS-3.3#PBF	LT3970EMS-3.3#TRPBF	LTfQG	10-Lead Plastic MSOP	-40°C to 125°C
LT3970IMS-3.3#PBF	LT3970IMS-3.3#TRPBF	LTfQG	10-Lead Plastic MSOP	-40°C to 125°C
LT3970HMS-3.3#PBF	LT3970HMS-3.3#TRPBF	LTfQG	10-Lead Plastic MSOP	-40°C to 150°C
LT3970EDDB-3.42#PBF	LT3970EDDB-3.42#TRPBF	LGgg	10-Lead (3mm x 2mm) Plastic DFN	-40°C to 125°C
LT3970EDDB-5#PBF	LT3970EDDB-5#TRPBF	LFQF	10-Lead (3mm x 2mm) Plastic DFN	-40°C to 125°C
LT3970IDDB-5#PBF	LT3970IDDB-5#TRPBF	LFQF	10-Lead (3mm x 2mm) Plastic DFN	-40°C to 125°C
LT3970EMS-5#PBF	LT3970EMS-5#TRPBF	LTfQD	10-Lead Plastic MSOP	-40°C to 125°C
LT3970IMS-5#PBF	LT3970IMS-5#TRPBF	LTfQD	10-Lead Plastic MSOP	-40°C to 125°C
LT3970HMS-5#PBF	LT3970HMS-5#TRPBF	LTfQD	10-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/tapeandreel/> 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} Low		0.7	1.2	μA
	V_{EN} High		1.7	2.7	μA
	V_{EN} High, -40°C to 125°C	●	3.5		μA
	V_{EN} High, -40°C to 150°C	●	4		μA
LT3970 Feedback Voltage	-40°C to 125°C	●	1.195	1.21	1.225
	-40°C to 150°C	●	1.185	1.21	1.235
		●	1.18	1.21	1.235
LT3970-3.3 Output Voltage	-40°C to 125°C	●	3.26	3.3	3.34
	-40°C to 150°C	●	3.234	3.3	3.366
		●	3.217	3.3	3.366
LT3970-3.42 Output Voltage	-40°C to 125°C	●	3.379	3.42	3.461
		●	3.352	3.42	3.488
LT3970-5 Output Voltage	-40°C to 125°C	●	4.94	5	5.06
	-40°C to 150°C	●	4.9	5	5.1
		●	4.875	5	5.1
LT3970 FB Pin Bias Current (Note 3)	$V_{FB} = 1.21\text{V}$	●	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	$R_T = 41.2\text{k}$, $V_{IN} = 6\text{V}$		1.76	2.25	2.64
	$R_T = 158\text{k}$, $V_{IN} = 6\text{V}$		640	800	960
	$R_T = 768\text{k}$, $V_{IN} = 6\text{V}$		160	200	240
Switch Current Limit	$V_{IN} = 5\text{V}$, $V_{FB} = 0\text{V}$		535	700	865
Catch Schottky Current Limit	$V_{IN} = 5\text{V}$		350	400	500
Switch V_{CESAT}	$I_{SW} = 200\text{mA}$			175	mV
Switch Leakage Current				0.05	μA
Catch Schottky Forward Voltage	$I_{SCH} = 100\text{mA}$, $V_{IN} = V_{BD} = \text{NC}$			650	mV
Catch Schottky Reverse Leakage	$V_{SW} = 12\text{V}$			0.05	μA
Boost Schottky Forward Voltage	$I_{SCH} = 50\text{mA}$, $V_{IN} = \text{NC}$, $V_{BOOST} = 0\text{V}$			875	mV
Boost Schottky Reverse Leakage	$V_{REVERSE} = 12\text{V}$			0.02	μA
Minimum Boost Voltage (Note 4)	$V_{IN} = 5\text{V}$	●	1.4	1.8	V
BOOST Pin Current	$I_{SW} = 200\text{mA}$, $V_{BOOST} = 15\text{V}$			7	10
EN Pin Current	$V_{EN} = 12\text{V}$			1	nA
LT3970 EN Voltage Threshold	EN Rising, $V_{IN} \geq 4.2\text{V}$	●	0.94	1	1.06
LT3970-X EN Voltage Threshold	EN Rising, $V_{IN} \geq 4.2\text{V}$	●	0.93	1	1.07
EN Voltage Hysteresis				30	mV
LT3970 PG Threshold Offset from Feedback Voltage	V_{FB} Rising		80	120	160
LT3970 PG Hysteresis				12	mV
LT3970-X PG Threshold Offset from Output Voltage	V_{FB} Rising		6.5	10	13.5
LT3970-X PG Hysteresis as % of Output Voltage				1.0	%
PG Leakage	$V_{PG} = 3\text{V}$			0.01	μA
PG Sink Current	$V_{PG} = 0.4\text{V}$	●	30	80	μA
Minimum Switch On-Time				90	ns
Minimum Switch Off-Time	$V_{IN} = 10\text{V}$	●	100	160	ns

LT3970シリーズ

電気的特性

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。

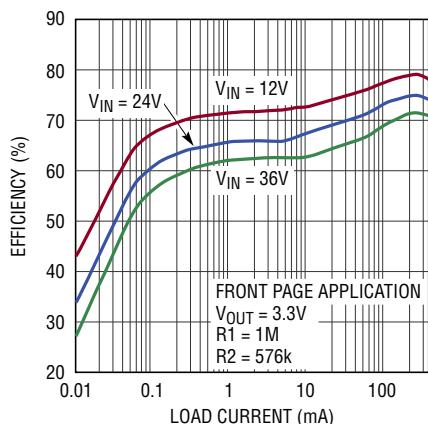
Note 2:LT3970Eは0°C～125°Cの接合部温度で性能仕様に適合することが保証されている。-40°C～125°Cの動作接合部温度範囲での仕様は、設計、特性評価および統計学的なプロセス・コントロールとの相関で確認されている。LT3970Iは-40°C～125°Cの全動作接合部温度範囲で動作することが保証されている。LT3970Hは-40°C～150°Cの全動作接合部温度範囲で保証されている。高い接合部温度は動作寿命に悪影響を及ぼす。接合部温度が125°Cを超えると、動作寿命は短くなる。

Note 3:バイアス電流はFBピンに流れ込む。

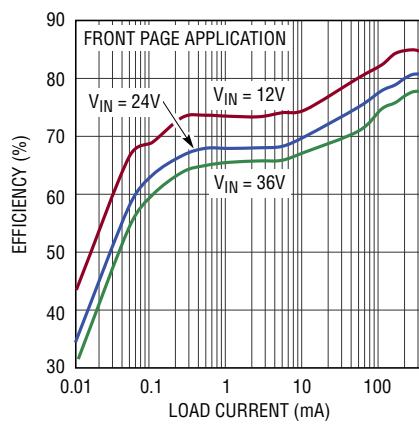
Note 4:これはスイッチが完全に飽和するのを保証するのに必要な、昇圧コンデンサの両端の最小電圧である。

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

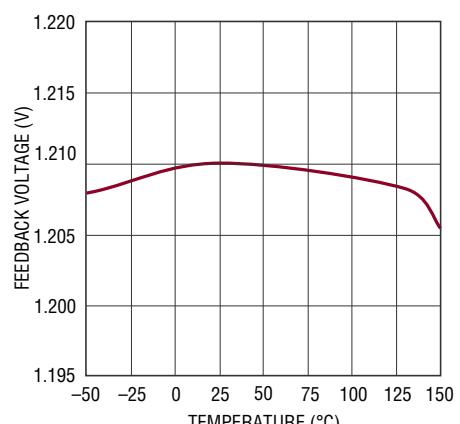
効率、 $V_{\text{OUT}} = 3.3\text{V}$



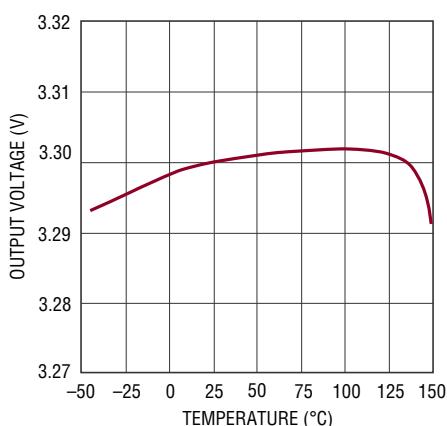
効率、 $V_{\text{OUT}} = 5\text{V}$



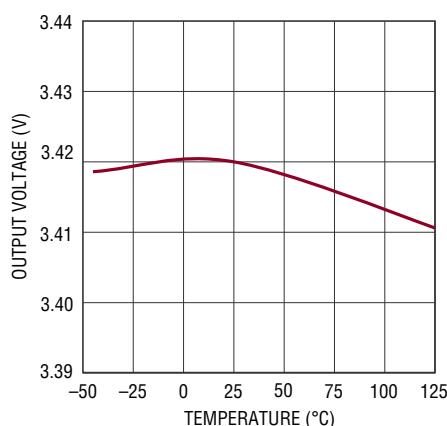
LT3970の帰還電圧



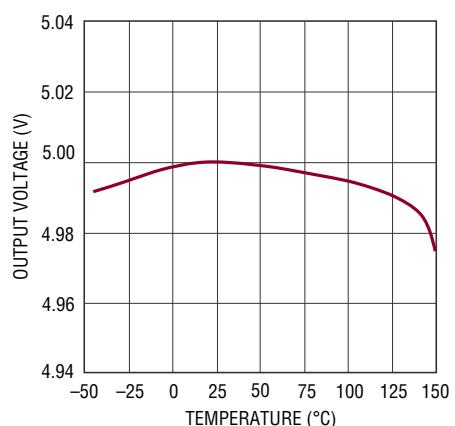
LT3970-3.3の出力電圧



LT3970-3.42の出力電圧

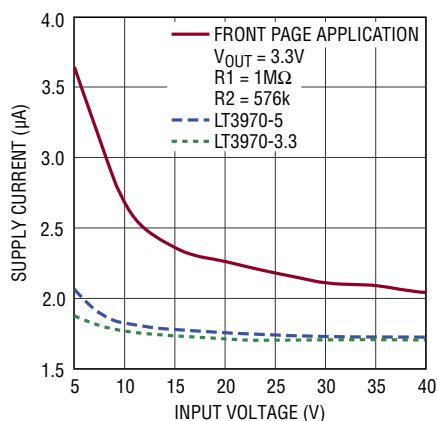


LT3970-5の出力電圧



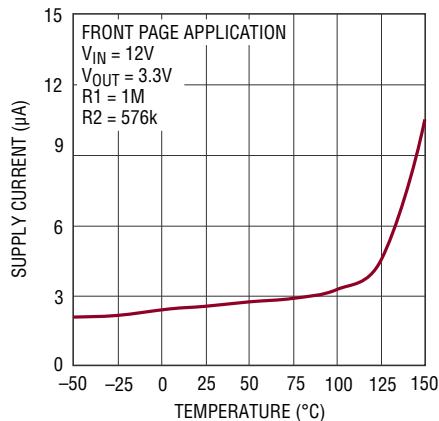
標準的性能特性 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

無負荷時電源電流



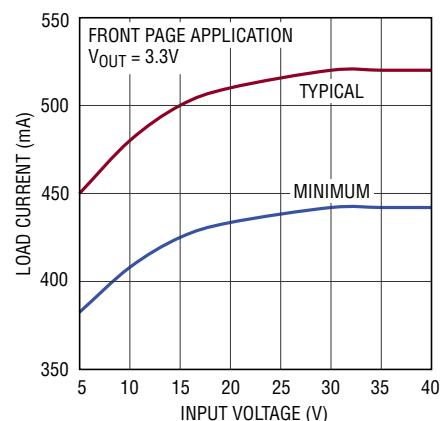
3970 G07

無負荷時電源電流



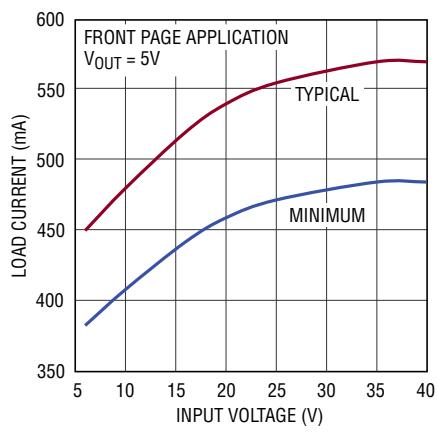
3970 G08

最大負荷電流



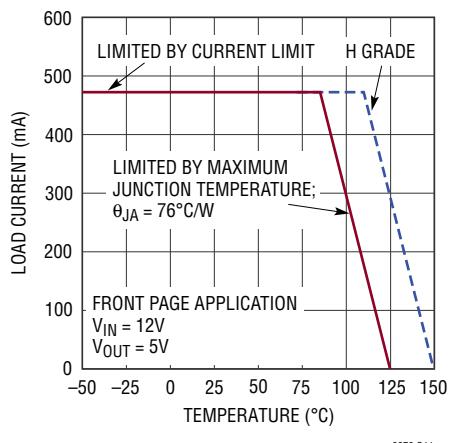
3970 G09

最大負荷電流



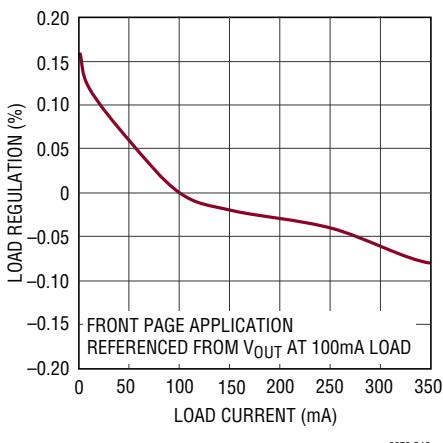
3870 G10

最大負荷電流



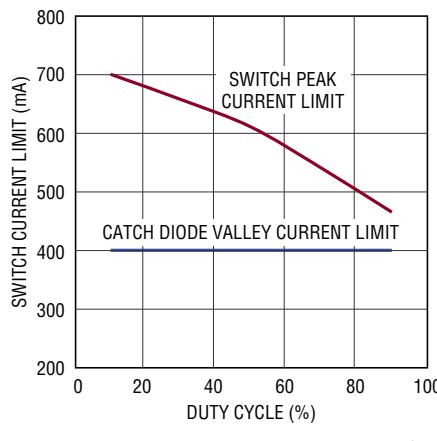
3970 G11

負荷レギュレーション



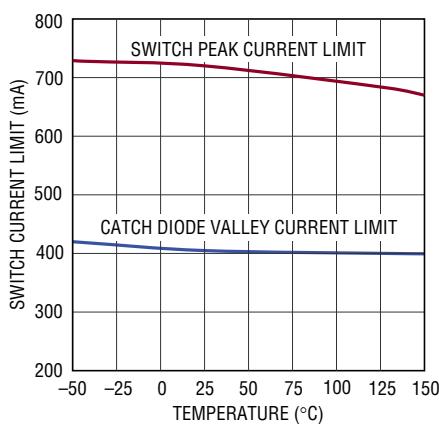
3970 G12

スイッチ電流制限



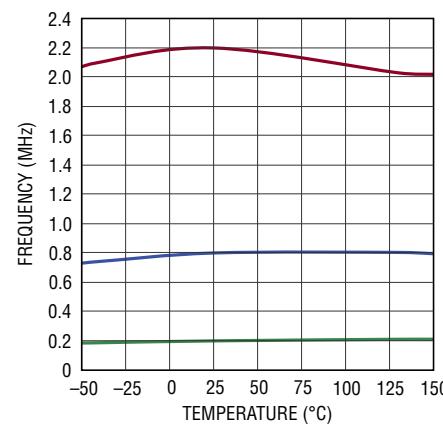
3970 G13

スイッチ電流制限



3970 G14

スイッチング周波数

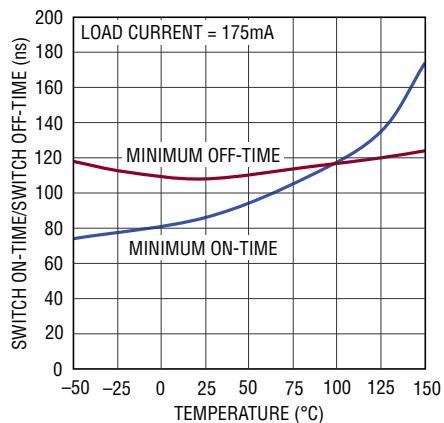


3970fc

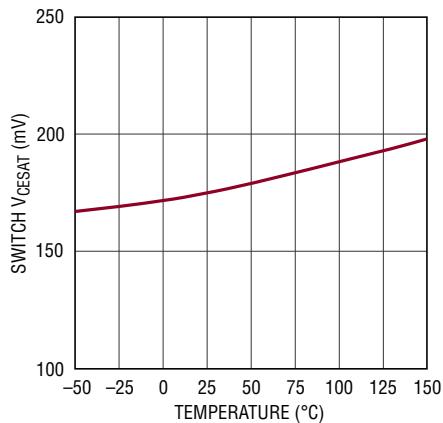
LT3970シリーズ

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

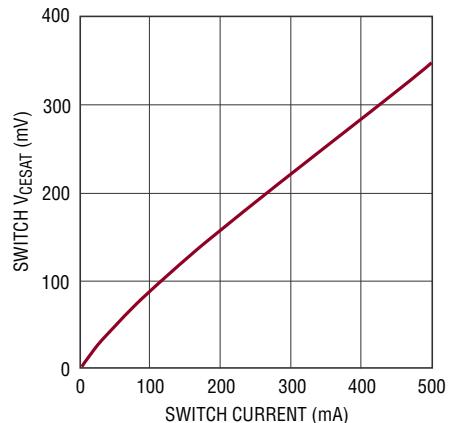
スイッチの最小オン時間/オフ時間



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

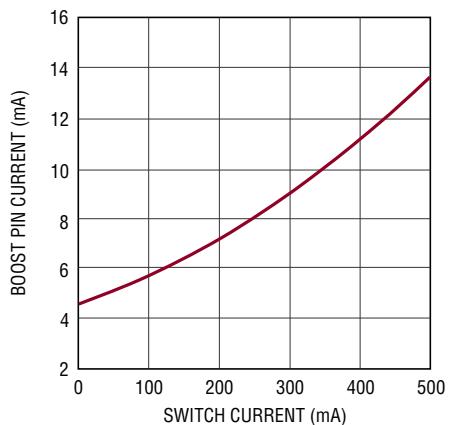


スイッチの V_{CESAT}



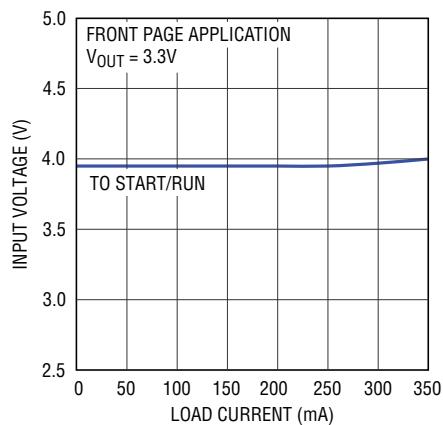
3970 G18

BOOSTピンの電流



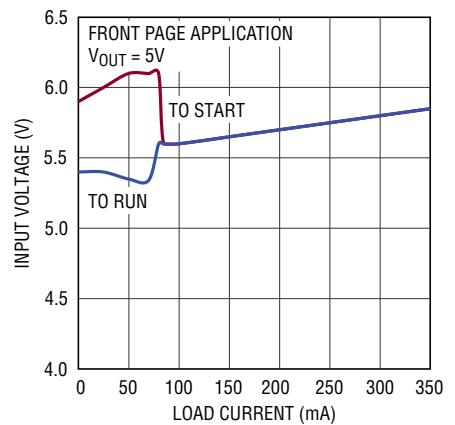
3970 G19

最小入力電圧、 $V_{OUT} = 3.3\text{V}$



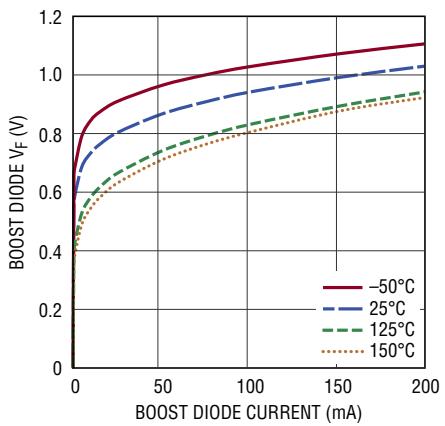
3970 G20

最小入力電圧、 $V_{OUT} = 5\text{V}$



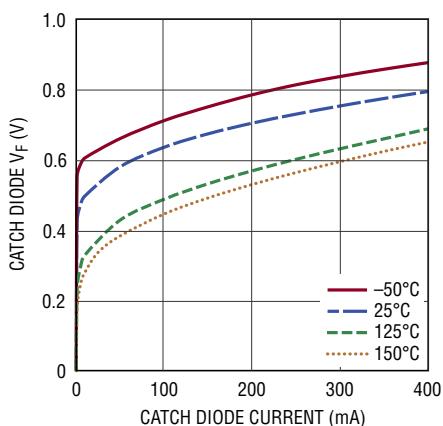
3970 G21

昇圧ダイオードの順方向電圧



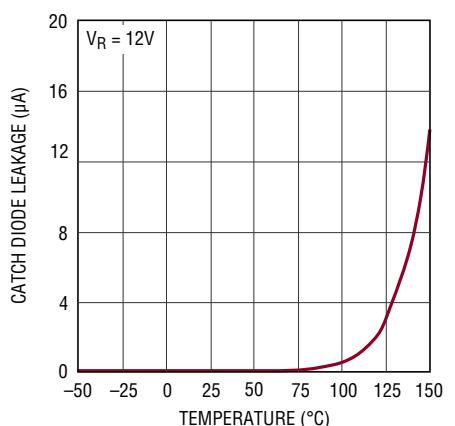
3970 G22

キャッチ・ダイオードの順方向電圧



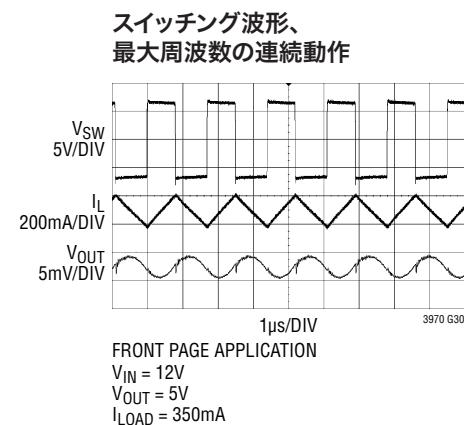
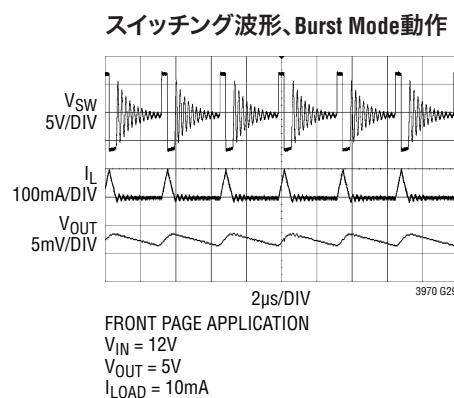
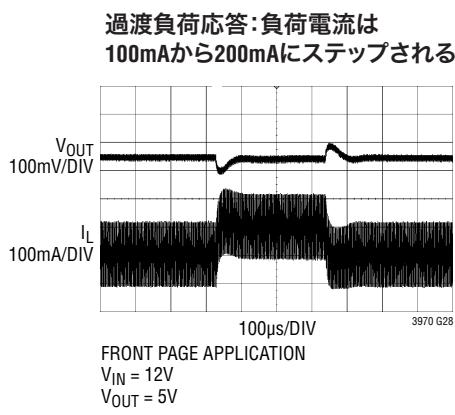
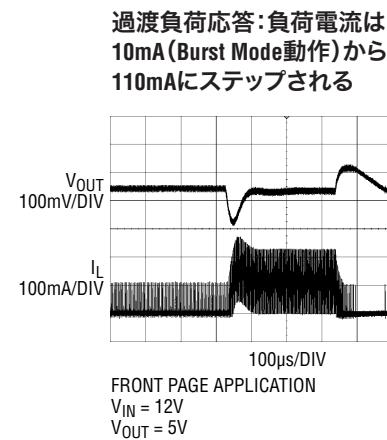
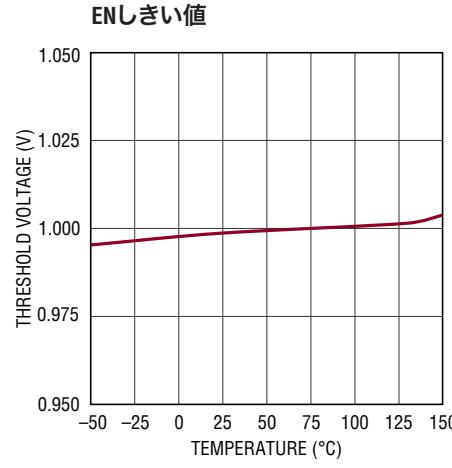
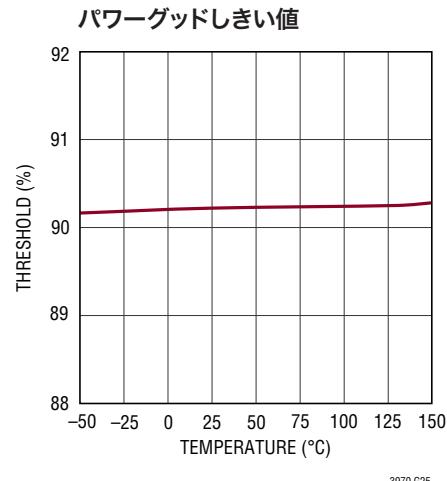
3970 G23

キャッチ・ダイオードのリーク電流



3970 G24

3970fc

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

ピン機能

FB(ピン1、LT3970のみ): LT3970はそのFBピンを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。

V_{OUT}(ピン1、LT3970-Xのみ): LT3970-3.3、LT3970-3.42、LT3970-5はV_{OUT}ピンをそれぞれ3.3V、3.42V、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抵抗分割器に接続されています。

EN(ピン2): このピンが“L”的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”的ときアクティブになります。ヒステリシスのあるしきい値電圧は上昇時1V、下降時0.97Vです。シャットダウン機能を使用しない場合、V_{IN}に接続します。V_{IN}が約4.2Vより上のときだけENしきい値は正確です。V_{IN}が4.2Vより低い場合、EN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): V_{IN}ピンはLT3970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、DFNのみ)): グランド。PCBに半田付けする必要があります。

SW(ピン6): 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。

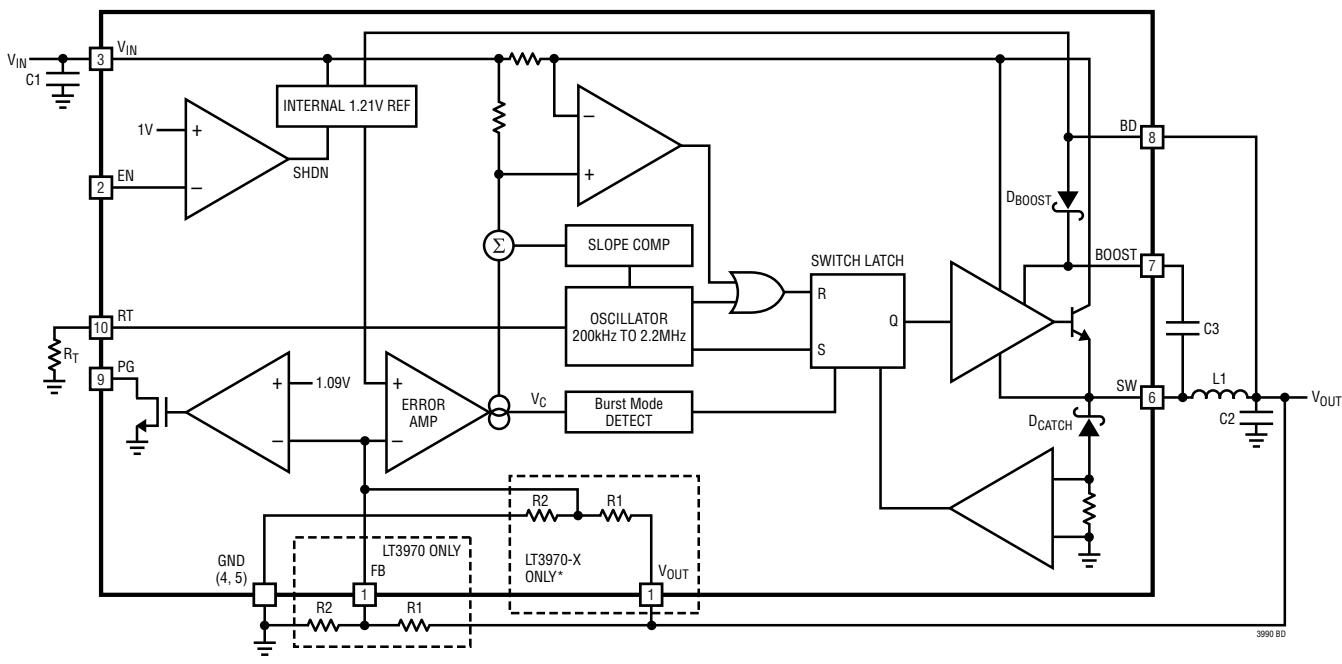
BOOST(ピン7): このピンは入力電圧より高いドライブ電圧を内蔵バイポーラNPNパワースイッチに与えるのに使います。

BD(ピン8): 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LT3970の内部レギュレータに電流を供給します。

PG(ピン9): 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を超える、ENが“H”的とき有効です。

RT(ピン10): 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。

ブロック図



*LT3970-3.3: R₁ = 12.65M, R₂ = 7.35M
 LT3970-3.42: R₁ = 12.65M, R₂ = 6.93M
 LT3970-5: R₁ = 15.15M, R₂ = 4.85M

動作

LT3970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検出し、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）。誤差アンプは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。誤差アンプの出力が増加すると出力に供給される電流が増加します。誤差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・ダイオードを通って流れる電流をモニタし、電流が400mA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、高い入力電圧での短絡出力など、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。これにより効率が改善されます。

ENピンが“L”だと、LT3970はシャットダウンし、入力から0.7μAが流れます。ENピンが1V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、LT3970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1.7μA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LT3970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、出力が安定化しているときオフしているので、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。LT3970がインエーブルされていて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プログラムします。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静止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

LT3970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プログラム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 R_T の値を表1に示します。

表1. スイッチング周波数と R_T の値

スイッチング周波数(MHz)	R_T の値(kΩ)
0.2	768
0.3	499
0.4	357
0.5	280
0.6	226
0.8	158
1.0	124
1.2	100
1.4	80.6
1.6	68.1
1.8	57.6
2.0	49.9
2.2	42.2

動作周波数のトレードオフ

動作周波数の選択には、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が必要です。高周波数動作の利点は小さな値のインダクタとコンデンサを使うことができます。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。与えられたアプリケーションの最高許容スイッチング周波数($f_{SW(MAX)}$)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_{IN} は標準入力電圧、 V_{OUT} は出力電圧、 V_D は内蔵キャッチ・ダイオードの電圧降下(約0.7V)、 V_{SW} 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_{IN}/V_{OUT} 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。

または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。LT3970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150nsオンし、最小約160nsオフすることができます(最小オン時間は温度の強い関数であることに注意してください)。これは、最小と最大のデューティ・サイクルが次のようになることを意味します。

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

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

ここで、 f_{SW} はスイッチング周波数、 $t_{ON(MIN)}$ は最小スイッチ・オン時間(約150ns)、 $t_{OFF(MIN)}$ は最小スイッチ・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・サイクルの範囲が増加することを示しています。

スイッチング周波数の選択が適切だと、適切な入力電圧範囲が可能になり(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、LT3970の約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)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、 $V_{IN(MIN)}$ は最小入力電圧、 V_{OUT} は出力電圧、 V_D はキャッチ・ダイオードの電圧降下(約0.7V)、 V_{SW} は内蔵スイッチの電圧降下(最大負荷で約0.5V)、 f_{SW} は(R_T によって設定される)スイッチング周波数、 $t_{OFF(MIN)}$ は最小スイッチ・オフ時間(約160ns)です。スイッチング周波数が高いほど、最小入力電圧が増加することに注意してください。損失電圧を下げたい場合、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高 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(約150ns)。

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 $V_{IN(OP-MAX)}$ より高いこのような過渡の間、スイッチング周波数がプログラムされた周波数より下に下がり、デバイスへの損傷を防ぎます。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高くなることがあります、出力は依然安定化されたままです。

インダクタの選択

与えられた入力電圧と出力電圧に対して、インダクタの値と動作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。インダクタの値としては次の値を出発点にするのが良いでしょう。

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

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で(約0.7V)、 L の単位は μ 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ればならず、その飽和電流は約30%大きくなればなりません。フォールト状態(起動時または短絡)や高入力電圧(>30V)で堅牢な動作を実現するには、飽和電流を500mAより大きさします。高い効率を保つには、直列抵抗(DCR)が0.1Ωより小さく、コア材が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、特定のアプリケーションに最適のインダクタの選択肢を常に与えるとは限りません。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小さなインダクタ値を必要とします。アプリケーションが必要とする負荷電流が350mA未満なら、もっと小さなインダクタ値を使うことができます。この場合、物理的に小さいインダクタを使うことができます。または、DCRの小さいものを使っ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。インダクタンスが低いと不連続モード動作になることがあります。これは受け入れることができますです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、「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必要な最小インダクタンスがあります。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LT3970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。1μF～4.7μFのセラミック・コンデンサはLT3970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の

アプリケーション情報

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かったり、長い配線やケーブルによる大きなインダクタンスが存在する場合、追加のバルク容量が必要になることがあります。これには性能の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高速の立上りと立下りを伴うパルス電流が流れます。そのためにLT3970に生じる電圧リップルを減らし、非常に高い周波数のこのスイッチング電流を狭い範囲のループに押し込めてEMIを抑えるために入力コンデンサが必要です。1μFのコンデンサはこの役目を果たしますが、それがLT3970の近くに配置される場合に限られます(「PCBレイアウト」のセクションを参照)。2番目の注意は、入力セラミック・コンデンサとLT3970の最大入力電圧定格の関係に関するものです。入力のセラミック・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)共振タンク回路を形成します。LT3970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、LT3970の電圧定格を超えるおそれがあります。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)。

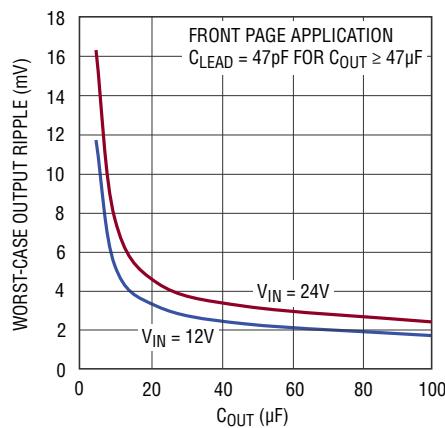
出力コンデンサと出力リップル

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LT3970の制御ループを安定化す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適当です。

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

ここで、 f_{SW} の単位はMHz、 C_{OUT} はμFで表した推奨出力容量です。X5RまたはX7Rのタイプを使ってください。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。出力と帰還ピンの間の位相リード・コンデンサ(標準22pF)と組み合わせてもっと高い値のコンデンサを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番目の機能は、出力コンデンサが(インダクタとともに)LT3970が発生する方形波をフィルタしてDC出力を生成することです。この機能では出力コンデンサは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ように注意してください。



3970 F01

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て、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または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のため、LT3970に使用すると問題を生じことがあります。Burst Mode動作のとき、LT3970のスイッチング周波数は負荷電流に依存し、非常に軽い負荷ではLT3970はセラミック・コンデンサを

3970fc

アプリケーション情報

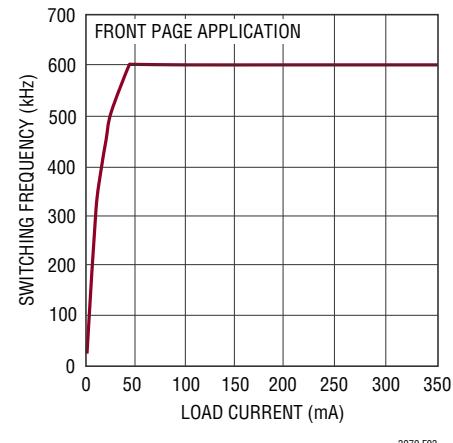
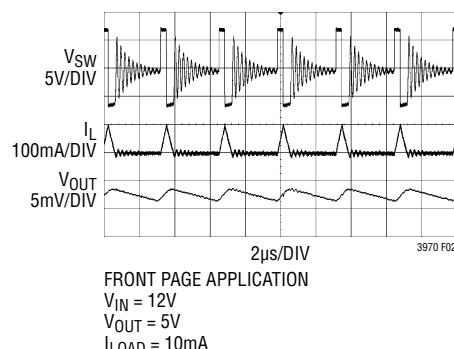
可聴周波数で励起し、可聴ノイズを発生することがあります。LT3970はBurst Mode動作では低い電流リミットで動作するので、普通に聴くとノイズは一般に非常に静かです。これが許容できない場合、高性能のタンタル・コンデンサまたは電解コンデンサを出力に使用します。

セラミック・コンデンサに関する最後の注意点はLT3970の最大入力電圧定格に関係します。前に述べたように、入力のセラミック・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)共振タンク回路を形成します。LT3970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倍のリングが生じて、LT3970の定格を超えるおそれがあります。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、LT3970は低リップルBurst Modeで動作し、入力静止電流を最小に抑えながら、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。LT3970はBurst Mode動作の間1サイクルのバーストで電流を出力コンデンサに供給し、それに続くスリープ期間には出力コンデンサから出力電力が負荷に供給されます。LT3970は1個の低電流パルスで電力を出力に供給しますので、標準的アプリケーションでは出力リップルが5mV以下に保たれます。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、LT3970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低い負荷でも効率が高くなります。Burst Mode動作の間、スイッチング周波数はプログラムされた周波数より低くなります。図3を参照してください。



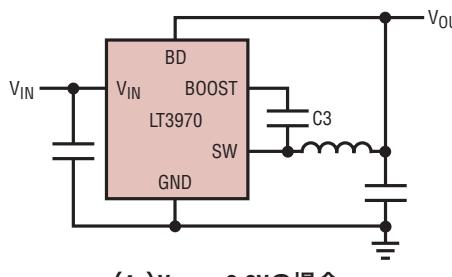
高い出力負荷(表紙のアプリケーションでは約45mA以上)では、LT3970は R_T 抵抗でプログラムされた周波数で動作し、標準的PWMモードで動作します。PWMと低リップルBurst Modeの間の移行はシームレスで、出力電圧を乱しません。

BOOSTピンとBDピンに関する検討事項

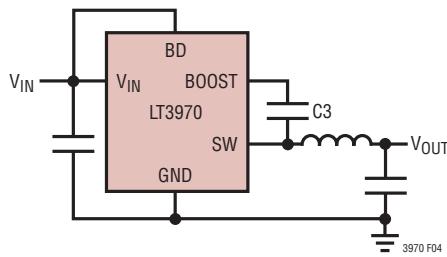
入力電圧より高い昇圧電圧を発生させるため、コンデンサC3と内部ショットキー・ダイオード(ブロック図を参照)が使われます。ほとんどの場合、0.22μFのコンデンサで問題なく動作します。昇圧回路の構成方法を2通り図4に示します。最高の効率を得るには、BOOSTピンをSWピンより1.9V以上高くする必要があります。2.2V以上の出力の場合、標準回路(図4a)が最適です。2.2V~2.5Vの出力には、0.47μFの昇圧コンデンサを使います。2.2Vより低い出力電圧の場合、昇圧ダイオードを入力(図4b)または2.2Vより高い別の外部電源に接続することができます。ただし、電圧の低い方の電圧源からBOOSTピンの電流とBDピンの静止電流が供給されるので、図4aの回路の方が効率が高くなります。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。

LT3970のアプリケーションの最小動作電圧は前のセクションで説明されているように最小入力電圧(4.2V)と最大デューティ・サイクルによって制限されます。出力電圧が3.4Vよりも大きい場合、正しく起動するには、最小入力電圧は昇圧回路によつても制限されます。入力電圧をゆっくりランプさせると、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

アプリケーション情報



(4a) $V_{OUT} \geq 2.2V$ の場合



(4b) $V_{OUT} < 2.2V; V_{IN} < 27V$ の場合

図4. 昇圧電圧を発生させる2つの回路

デンサはインダクタに蓄えられたエネルギーによって充電されるので、昇圧回路を適切に動作させるには、回路は何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、出力電圧および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。もっと低い起動電圧の場合、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・ピン

ENピンが“L”的ときLT3970はシャットダウン状態になり、このピンが“H”的ときアクティブになります。ENコンパレータの上昇時しきい値は1Vで、30mVのヒステリシスがあります。 V_{IN} が約4.2Vより上のときこのしきい値は正確です。 V_{IN} が4.2Vより低い場合、ENピンをGNDに接続にしてデバイスをシャットダウンします。

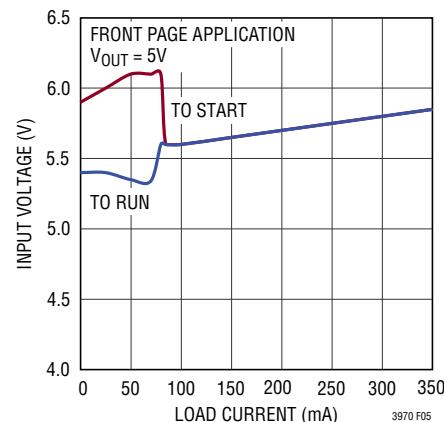
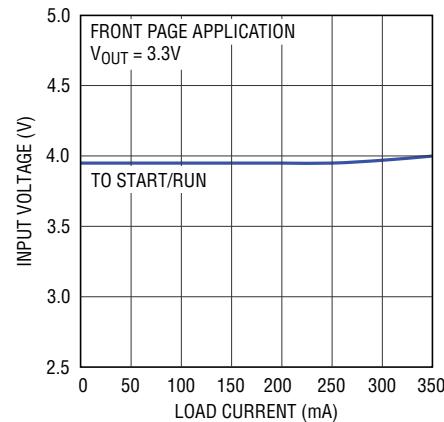


図5. 最小入力電圧は出力電圧、負荷電流および昇圧回路に依存する

抵抗分割器を V_{IN} からENに追加して、 V_{IN} が望みの電圧を超えていたときだけ出力を安定化するようにLT3970をプログラムします(図6を参照)。このしきい値電圧($V_{IN(EN)}$)は、次式を満足するようにR3とR4の値を設定することにより調整することができます。

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

この場合、出力の安定化は V_{IN} が $V_{IN(EN)}$ 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、入力が $V_{IN(EN)}$ よりわずか下に下がるまでレギュレーションは停止しないことに注意してください。

アプリケーション情報

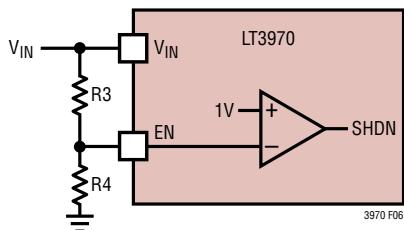


図6. イネーブル

V_{IN} が4.2Vより下のとき、入力電流が数100 μ Aにまで増加し、デバイスがスイッチングを開始し、内部回路が起動することがあることに注意してください。プログラムされた $V_{IN(EN)}$ が異なる標準的アプリケーションの起動の様子を図7に示します。

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、LT3970降圧レギュレータは出力の短絡に耐えます。LT3970に入力が加わっていないときに出力が高く保たれるシステムで考慮すべき別の状況があります。それはバッテリ充電アプリケーションまたはバッテリや他の電源がLT3970の出力とダイオードOR接続されているバッテリ・バックアップ・システムで発生することがあります。V_{IN}ピンがフロート状態で、ENピンが(ロジック信号によって、あるいはV_{IN}に接続されていて)“H”に保持されていると、SWピンを通してLT3970の内部回路に静止電流が流れます。この状態で数 μ A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ピンが接地されていると、SWピンの電流は実質的に0.7 μ Aに低下します。ただし、出力を高く保持した状態でV_{IN}を接地すると、ENには関係なく、出力からSWピンおよびV_{IN}ピンを通ってLT3970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るときだけ動作し、短絡入力や逆入力に対して保護する回路を図8に示します。

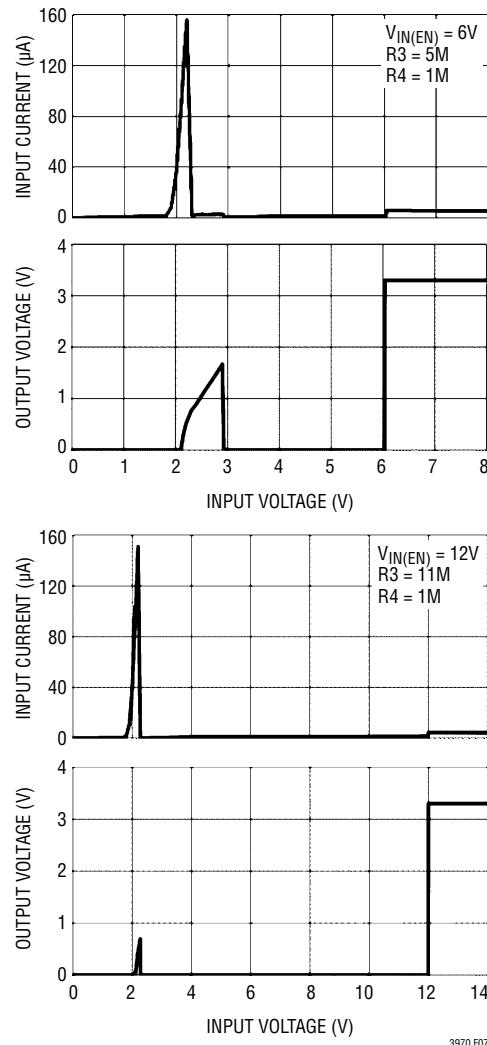


図7. 表紙のアプリケーションの V_{IN} の起動。ただし、 $V_{OUT} = 3.3V$ 、負荷電流なし、および図6のようにプログラムされた $V_{IN(EN)}$

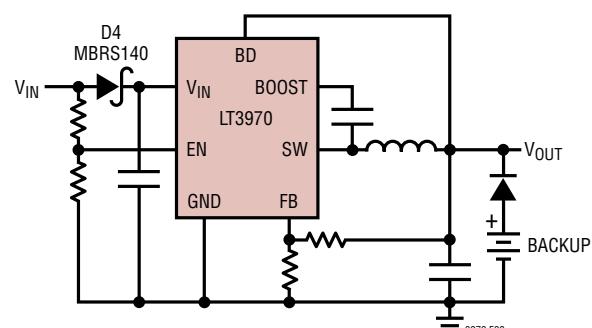
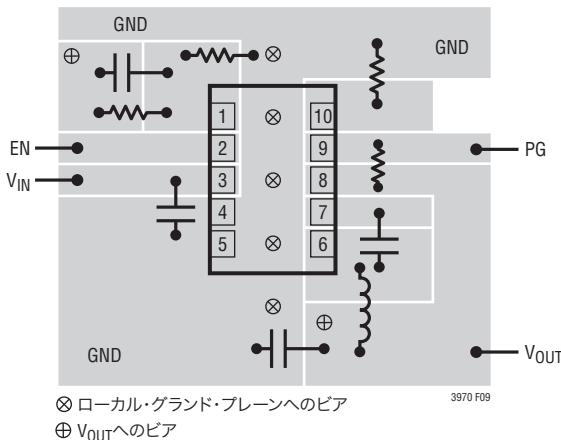


図8. ダイオードD4は、出力に接続されたバックアップ用バッテリが短絡入力によって放電するのを防ぐ。また、逆入力から回路を保護する。LT3970は入力が与えられているときだけ動作する。

アプリケーション情報

PCBのレイアウト

動作を最適化し、EMIを最小にするには、プリント回路基板のレイアウト時に注意が必要です。推奨部品配置とトレース、グランド・プレーンおよびビアの位置を図9に示します。大きなスイッチング電流がLT3970のV_{IN}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は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、グランド・トレースがSWノードとBOOSTノードからFBノードとVCノードをシールドするように、FBノードは小さくします。DFNパッケージの底の露出パッドは、ヒートシンクとして機能するように、グランド・プレーンに半田付けする必要があります。熱抵抗を低く保つには、グランド・プレーンをできるだけ広げ、基板内の追加グランド・プレーンや裏側へのサーマル・ビアをLT3970の下や近くに追加します。



安全な活線插入

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、LT3970の回路の入力バイパス・コンデンサに最適です。ただし、スイッチの入った電源にLT3970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、LT3970のV_{IN}ピンの電圧に公称入力電圧の2倍に達するリンクを生じる可能性があり、LT3970の定格を超えてデバイスを傷めるおそれがあります。入力電源の制御が十分でなかったり、ユーザーがLT3970を給電中の電源に差し込んだりする場合、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。

高温に関する検討項目

もっと高い周囲温度では、PCBのレイアウトに注意を払い、LT3970に十分なヒートシンクが与えられるようにします。DFNパッケージの底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。このグランドはサーマル・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LT3970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。MSOPパッケージでは、銅リードフレームはGND(ピン5)に接合されているので、このピンの近くにサーマルビアを配置します。周囲温度が最大接合部温度の定格に近づくにつれ、最大負荷電流をディレーティングします。

LT3970内部の電力損失は効率測定から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、LT3970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。

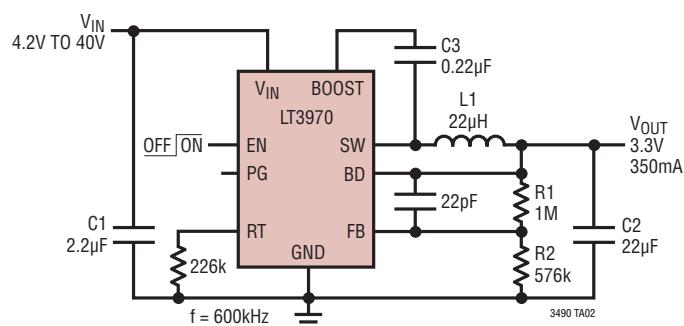
最後に、高い周囲温度では、内部ショットキー・ダイオードのリーク電流がかなり大きくなり(「標準的性能特性」を参照)、LT3970コンバータの静止電流が増加することに注意してください。

リニアテクノロジー社の他の出版物

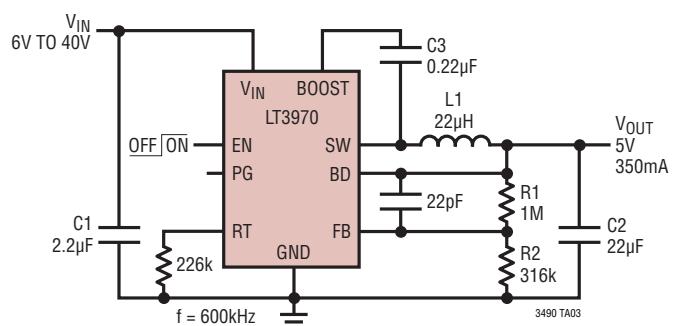
「アプリケーションノート」の19、35および44には降圧レギュレータと他のスイッチング・レギュレータの詳細な説明と設計情報が含まれています。LT1376のデータシートには出力リップル、ループ補償および安定性のテストに関するさらに広範な説明が与えられています。「デザインノート100」には降圧レギュレータを使った両極出力電圧を発生させる方法が示されています。

標準的応用例

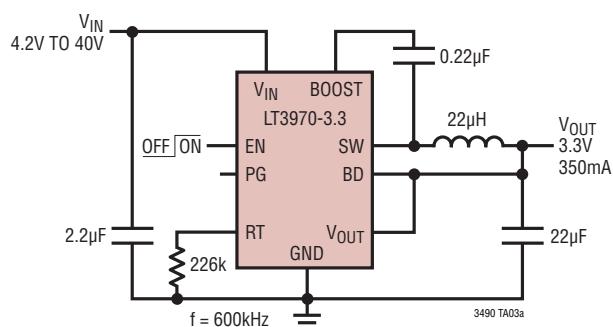
3.3V降圧コンバータ



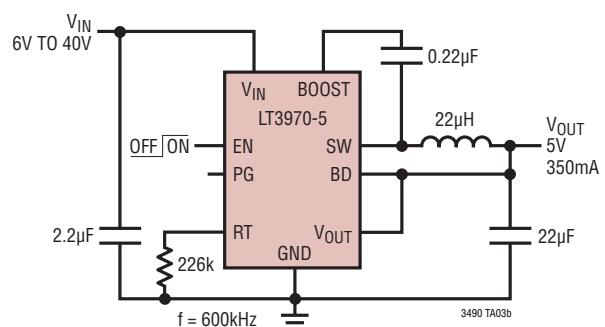
5V降圧コンバータ



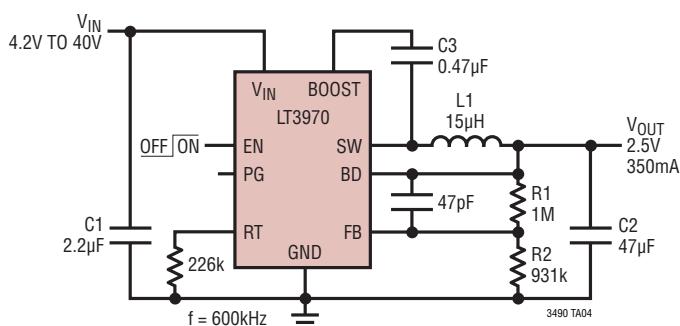
3.3V降圧コンバータ



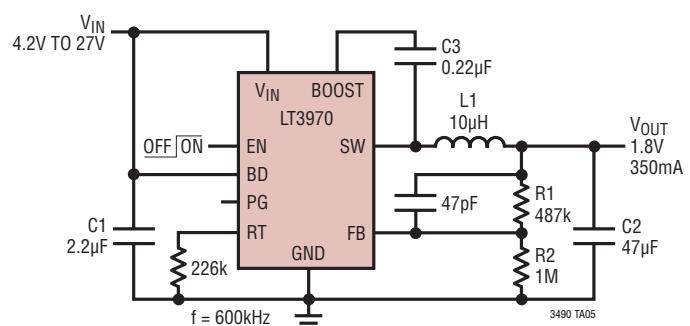
5V降圧コンバータ



2.5V降圧コンバータ



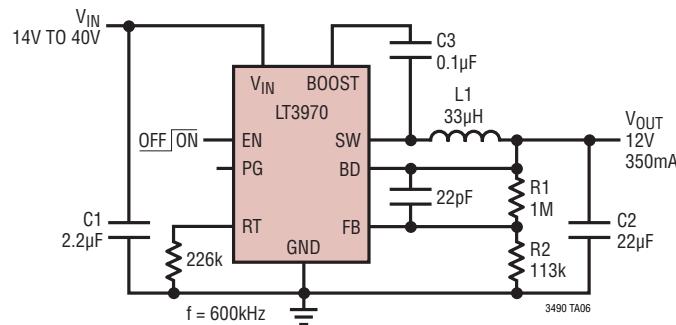
1.8V降圧コンバータ



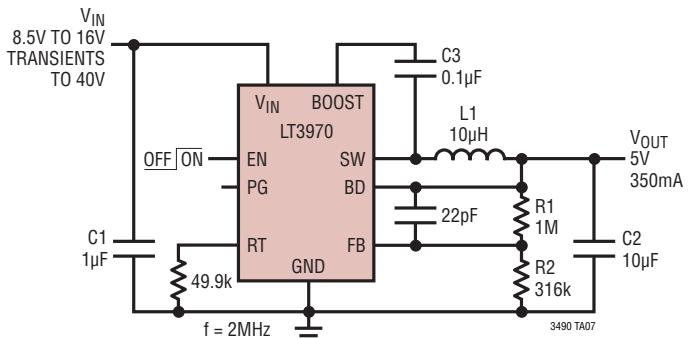
LT3970シリーズ

標準的応用例

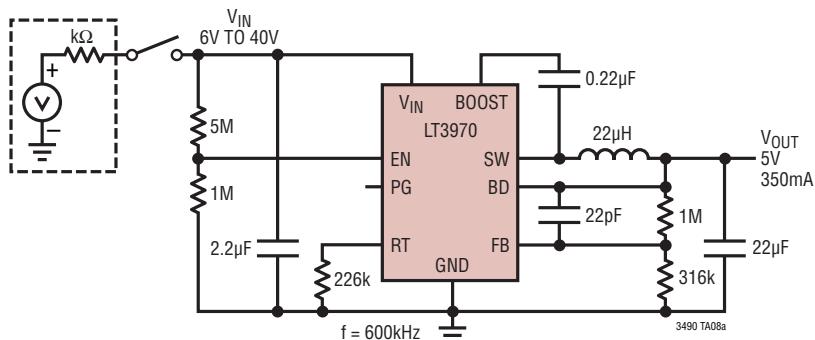
12V降圧コンバータ



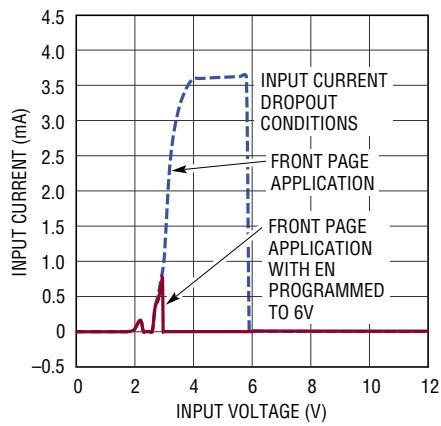
5V, 2MHz降圧コンバータ



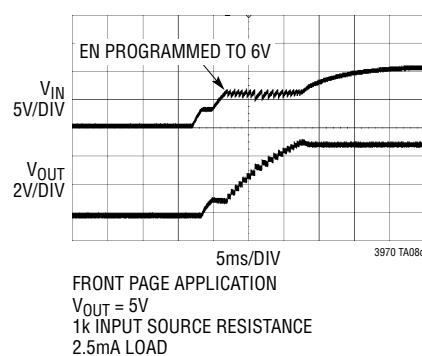
起動時入力電流を減らした5V降圧コンバータ



起動時入力電流



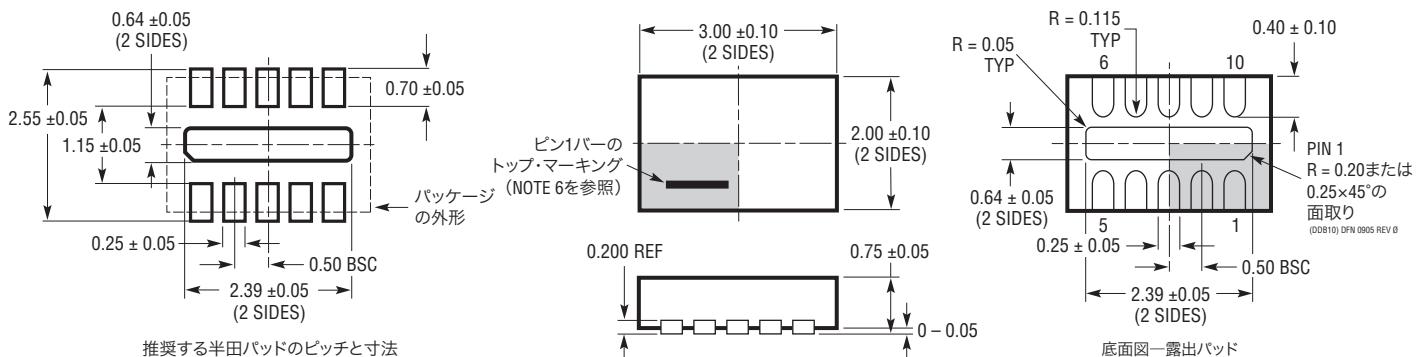
高インピーダンスの入力ソースからの起動



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。

DDB Package
10-Lead Plastic DFN (3mm x 2mm)
(Reference LTC DWG # 05-08-1722 Rev Ø)



NOTE:

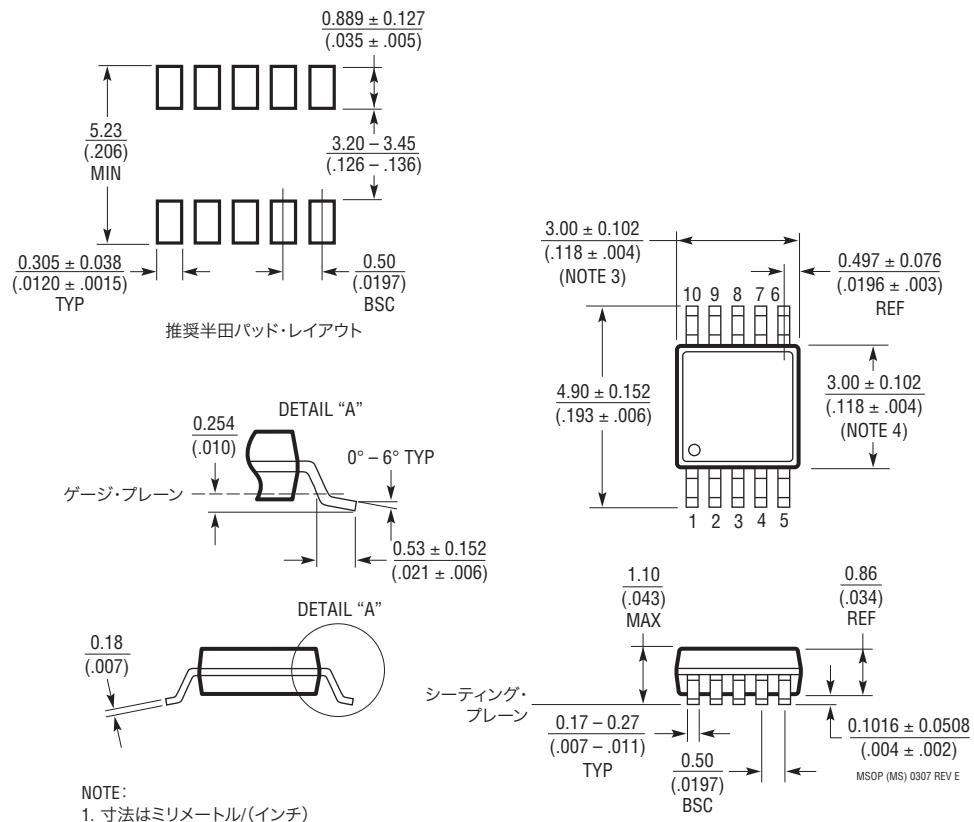
1. 図面はJEDECのパッケージ外形MO-229のバージョン(WECD-1)に適合
2. 図は実寸とは異なる
3. 全ての寸法はミリメートル
4. パッケージ底面の露出パッドの寸法にはモールドのバリを含まない
モールドのバリは(もしあれば)各サイドで0.15mmを超えないこと
5. 露出パッドは半田メッキとする
6. 網掛けの部分はパッケージの上面と底面のPIN1の位置の参考に過ぎない

LT3970シリーズ

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。

MS Package
10-Lead Plastic MSOP
(Reference LTC DWG # 05-08-1661 Rev E)



改訂履歴 (改訂履歴はRev Aから開始)

REV	日付	概要	ページ番号
A	5/10	LT3970-3.3とLT3970-5を追加、データシート全体に反映	1~22
B	3/12	3.42V固定出力電圧バージョンの追加のため、タイトルと特長を明確化 絶対最大定格を明確化、3.42V出力オプションを発注情報セクションに追加 3.42V出力オプションを電気的特性表に追加 3.42Vの出力電圧と温度のグラフを追加 V _{OUT} ピンの機能とブロック図を明確化	1 2 3 4 8
C	9/13	「発注情報」の表にHグレードMSOP-10Eバージョンを追加 Feedback Voltageの150°Cまでの仕様を明確化	2 3

LT3970シリーズ

関連製品

製品番号	説明	注釈
LT3971	$I_Q = 2.8\mu A$ の、38V、1.2A (I_{OUT})、 高効率降圧DC/DCコンバータ	$V_{IN}: 4.3V \sim 38V, V_{OUT(MIN)} = 1.2V, I_Q = 2.8\mu A, I_{SD} < 1\mu A, MSOP-10E$ および $3mm \times 3mm$ DFN-10パッケージ
LT3991	$I_Q = 2.8\mu A$ の、55V、1.2A (I_{OUT})、 高効率降圧DC/DCコンバータ	$V_{IN}: 4.3V \sim 55V, V_{OUT(MIN)} = 1.2V, I_Q = 2.8\mu A, I_{SD} < 1\mu A, MSOP-10E$ および $3mm \times 3mm$ DFN-10パッケージ
LT3689	60Vまでの過渡保護付き、36V、800mA、2.2MHz 高効率マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ、 PORリセットおよびウォッチドッグ・タイマ付き	$V_{IN}: 3.6V \sim 36V, 60V$ までの過渡保護、 $V_{OUT(MIN)} = 0.8V, I_Q = 75\mu A, I_{SD} < 1\mu A, 3mm \times 3mm$ QFN-16パッケージ
LT3682	36V、60V MAX、1A、2.2MHz 高効率マイクロパワー降圧DC/DCコンバータ	$V_{IN}: 3.6V \sim 36V, V_{OUT(MIN)} = 0.8V, I_Q = 75\mu A, I_{SD} < 1\mu A, 3mm \times 3mm$ DFN-12パッケージ
LT3480	60Vまでの過渡保護付き、36V、2A (I_{OUT})、2.4MHz 高効率降圧DC/DCコンバータ、Burst Mode [®] 動作付き	$V_{IN}: 3.6V \sim 38V, V_{OUT(MIN)} = 0.78V, I_Q = 70\mu A, I_{SD} < 1\mu A, MSOP-10E$ および $3mm \times 3mm$ DFN-10パッケージ
LT3685	60Vまでの過渡保護付き、36V、2A (I_{OUT})、2.4MHz 高効率降圧DC/DCコンバータ	$V_{IN}: 3.6V \sim 38V, V_{OUT(MIN)} = 0.78V, I_Q = 70\mu A, I_{SD} < 1\mu A, MSOP-10E$ および $3mm \times 3mm$ DFN-10パッケージ
LT3481	36Vまでの過渡保護付き、34V、2A (I_{OUT})、2.8MHz 高効率降圧DC/DCコンバータ、Burst Mode動作付き	$V_{IN}: 3.6V \sim 34V, V_{OUT(MIN)} = 1.26V, I_Q = 50\mu A, I_{SD} < 1\mu A, MSOP-10E$ および $3mm \times 3mm$ DFN-10パッケージ
LT1976/LT1977	60V、1.2A (I_{OUT})、200/500kHz 高効率降圧DC/DCコンバータ、Burst Mode動作付き	$V_{IN}: 3.3V \sim 60V, V_{OUT(MIN)} = 1.20V, I_Q = 100\mu A, I_{SD} < 1\mu A, TSSOP-16E$ パッケージ

3970fc