

500mA低電圧降圧 同期式スイッチング・ レギュレータ

特長

- 3.3V出力で出力電流500mA
- 最大効率：92%
- 1%に調整された内部リファレンス
- 出力は電流をソースまたはシンク可能
- 外付け部品わずか4個
- 入力電圧範囲：4V～10V
- 電流制限を調整可能
- 小型SO-8パッケージ
- 200kHzスイッチング周波数を最大500kHzまで同期可能

アプリケーション

- 小型携帯用デジタル・システム
- アクティブ終端
- 補助出力電圧電源
- 最小部品点数/サイズのスイッチャ

概要

LTC[®]1504は全内蔵型の高効率、同期式降圧スイッチング・レギュレータです。1組の1.5 μ W パワー・スイッチを内蔵しており、最大500mAの負荷電流を供給可能です。最大効率は92%で、熱と無駄な電力を最小限に抑えます。同期式降圧アーキテクチャにより、出力電圧を安定状態に維持しながら電流をソースまたはシンクすることができます。

LTC1504は可変および固定3.3V出力バージョンが用意されています。調整可能な電流制限回路で、過負荷からの保護を提供します。内部1%リファレンスを高性能の電圧帰還ループと組み合わせることにより、最適な出力電圧精度と高速負荷過渡応答を提供します。LTC1504は4V～10Vの入力電圧で動作するように規定されています。2.7V電源での保証仕様については弊社にお問い合わせください。

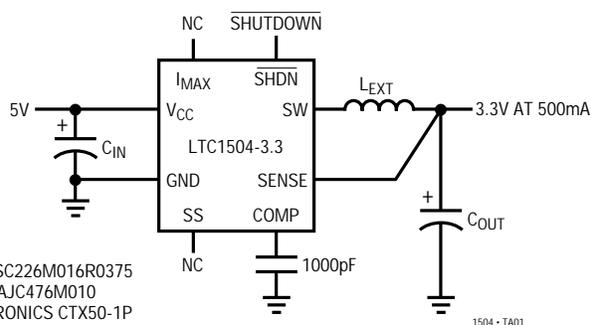
LTC1504はプラスチックSO-8パッケージで供給されます。

 LTC、LTIはリニアテクノロジー社の登録商標です。

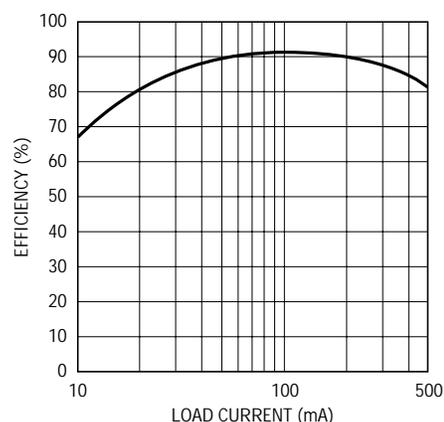
4

標準的応用例

最小部品点数の5Vから3.3Vのレギュレータ



5Vから3.3Vの効率



LTC1504

絶対最大定格

(Note 1)

電源電圧(GNDに対する V_{CC}).....	10V
最大出力電流(SW).....	$\pm 1A$
入力電圧(他のすべてのピン).....	$-0.3V \sim V_{CC} + 0.3V$
動作温度範囲	$0 \sim 70$
保存温度範囲	$-65 \sim 150$
リード温度(半田付け、10秒).....	300

パッケージ/発注情報

<p>TOP VIEW</p> <p>S8 PACKAGE 8-LEAD PLASTIC SO</p> <p>*FB FOR LTC1504CS8, SENSE FOR LTC1504CS8-3.3</p> <p>$T_{JMAX} = 115^{\circ}C, \theta_{JA} = 90^{\circ}C/W$</p>	ORDER PART NUMBER
	LTC1504CS8 LTC1504CS8-3.3
	S8 PART MARKING
	1504 15043

インダストリアルおよびミリタリ・グレードに関してはお問い合わせください。

電気的特性 注記がない限り、 $V_{CC} = 5V$ 、 $T_A = 25$ (Note 2)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
V_{CC}	Minimum Supply Voltage	(Note 7)	●	4		V
V_{FB}	Feedback Voltage	LTC1504CS8	●	1.25	1.265 1.28	V
ΔV_{FB}	Feedback Voltage PSRR	Figure 1, $4V \leq V_{CC} \leq 10V$, LTC1504CS8	●		1.1 1.6	%
V_{SENSE}	Sense Pin Voltage	LTC1504CS8-3.3	●	3.20	3.30 3.40	V
ΔV_{SENSE}	Sense Voltage PSRR	Figure 1, $4V \leq V_{CC} \leq 10V$, LTC1504CS8-3.3	●		1.2 1.8	%
I_{CC}	Supply Current	Figure 1, $V_{SHDN} = V_{CC}$, $I_{OUT} = 0$ (Note 4) Figure 1, $V_{SHDN} = V_{CC}$, $I_{OUT} = 0$, $V_{FB}/V_{SENSE} = V_{CC}$ (Note 4) $V_{SHDN} = 0V$	●		3	mA
			●		0.3 0.6	mA
			●		1.0 20	μA
f_{OSC}	Internal Oscillator Frequency		●	150	200 250	kHz
R_{SW}	Internal Switch Resistance		●		1.3 2.0	Ω
V_{IH}	\overline{SHDN} Input High Voltage		●	2.4		V
V_{IL}	\overline{SHDN} Input Low Voltage		●		0.8	V
I_{IN}	\overline{SHDN} Input Current		●		$\pm 0.1 \pm 1$	μA
V_{OH}	Error Amplifier Positive Swing	Figure 2	●	4.5	4.95	V
V_{OL}	Error Amplifier Negative Swing	Figure 2	●		0.05 0.5	V
I_{OH}, I_{OL}	Error Amplifier Output Current	Figure 2	●	± 50	$\pm 100 \pm 200$	μA
g_{mV}	Error Amplifier Transconductance	(Note 5)	●	350	600 1100	μmho
A_V	Error Amplifier DC Gain	(Note 5)	●	40	48	dB
g_{mI}	I_{LIM} Amplifier Transconductance	(Note 6)		1000	2000 3000	μmho
I_{MAX}	I_{MAX} Sink Current	$V_{IMAX} = V_{CC}$	●	8	12 16	μA
I_{SS}	Soft Start Source Current	$V_{SS} = 0V$	●	-8	-12 -16	μA
t_r, t_f	Output Switch Rise/Fall Time		●		5 50	ns
DC_{MAX}	Maximum Duty Cycle	$V_{COMP} = V_{CC}$	●	84	90	%

電気的特性

は全動作温度範囲の規格値を意味する。

Note 1: 絶対最大定格はそれを超えるとデバイスの寿命に影響を及ぼす値。
 Note 2: デバイスのピンに流入する電流はすべて正、デバイスのピンから流出する電流はすべて負。注記がない限り、電圧はすべてグラウンドを基準とする。
 Note 3: このパラメータは相関によって保証され、直接テストされていない。
 Note 4: LTC1504の消費電流は、内部パワー・スイッチを流れるゲート・ドライブ電流によって支配される。FBまたはSENSEを V_{CC} 電位にすると、出力段が

スイッチングを停止し、静的無信号時電流が観察できる。FBまたはSENSEを通常どおり接続した状態で、出力段はスイッチングし、全ダイナミック電源電流を測定することができる。

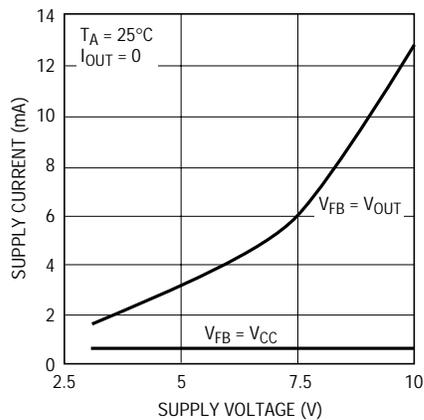
Note 5: 固定出力デバイスは内部分割抵抗のために、規定値の2.6倍低い I_{gmV} および A_V 値を持つように見える。

Note 6: I_{LIM} アンプは電流をシンクできるがソースすることはできない。通常(電流制限ではなく)動作では、 I_{LIM} 出力電流はゼロである。

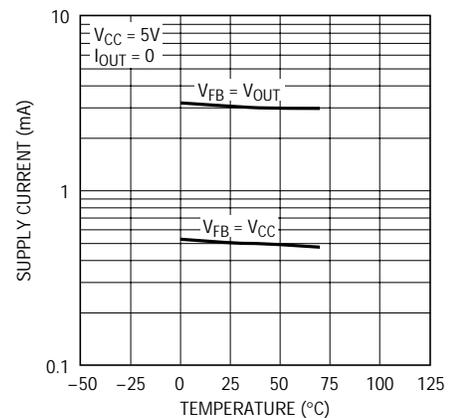
Note 7: 2.7V電源での保証仕様については、弊社にお問い合わせのこと。

標準的性能特性

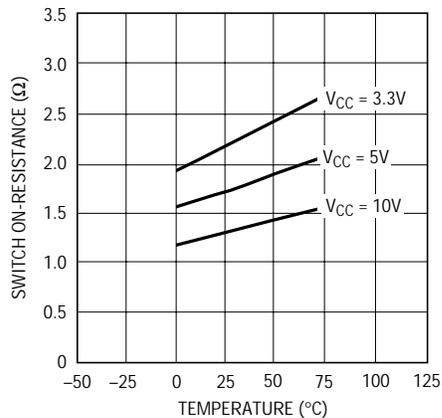
電源電流と電源電圧



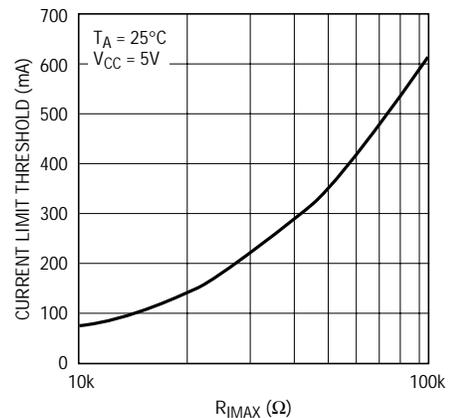
電源電流と温度



スイッチ・オン抵抗と温度

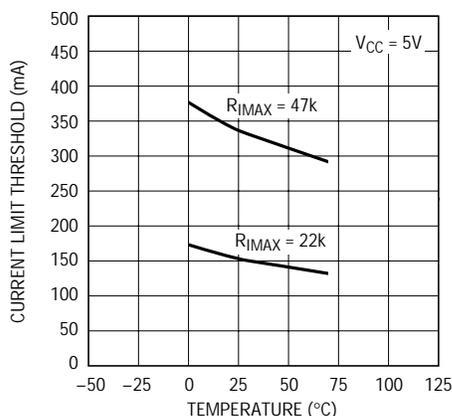


電流制限スレッシュホールドと R_{IMAX}



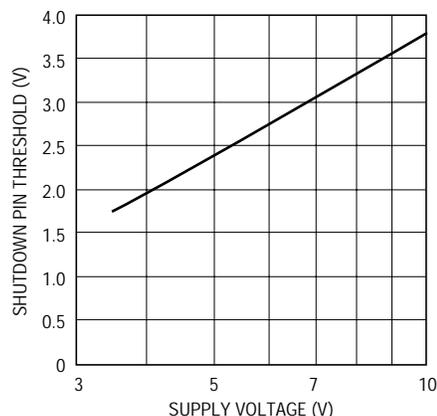
標準的性能特性

電流制限スレッシュホールドと温度



1504 - TPC05

シャットダウン・スレッシュホールドと電源電圧



1504 - TPC07

ピン機能

I_{MAX} (ピン1): 電流制限の設定。V_{CC}からI_{MAX}に抵抗を接続して、電流制限スレッシュホールドを設定します。I_{MAX}からGNDへの内部12μA電流源は、この抵抗での電圧降下を設定します。この電圧は内部ハイサイド・スイッチ(Q1)がターンオンしている間、その両端の電圧降下と比較されます。詳細についてはアプリケーション情報セクションを参照してください。電流制限をディスエーブルするには、I_{MAX}をフロートさせておきます。

V_{CC} (ピン2): 電源入力。4Vから10Vの間の電源電圧に接続してください。V_{CC}からグランドに、できる限りLTC1504の近くに配置した低インピーダンスのバイパス・コンデンサが必要です。詳細およびコンデンサの選択と配置については、アプリケーション情報セクションを参照してください。

SW (ピン3): パワー・スイッチ出力。これは降圧回路のスイッチ・ノードです。SWを外側インダクタの一端に接続してください。インダクタの他端はC_{OUT}に接続し、それが安定化出力電圧になります。SWをGNDまたはV_{CC}に短絡しないようにしてください。

GND (ピン4): グランド。低インピーダンス・グランドに接続します。入力および出力バイパス・コンデンサと帰還抵抗分割器(可変部品のみ)は、可能な限りこのピンの近くで接地してください。ピン4はLTC1504のS0-8パッケージでヒートシンクとして機能します。放熱を改善するために、できる限り広い面積の銅に接続しなければなりません。詳細については熱考察セクションを参照してください。

FB (LTC1504CS8) (ピン5): 帰還。FBをV_{OUT}からGNDの抵抗分割器に接続し、安定化出力電圧を設定します。LTC1504CS8帰還ループはFBピンを1.265Vにサーボ制御します。

SENSE (LTC1504CS8-3.3) (ピン5): 出力電圧センス。出力電圧ノードに直接接続します。LTC1504CS8-3.3帰還ループはSENSEを3.3Vにサーボ制御します。SENSEはどの外部分割器でも負荷とする内部抵抗分割器に接続されます。3.3V以外の出力電圧が必要な場合は、LTC1504CS8を使用してください。

SHDN (ピン6): シャットダウン、アクティブ“L”。SHDNがロジック“H”のとき、LTC1504は通常どおり機能します。SHDNが“L”のとき、LTC1504はすべての内部動作を停止し、電源電流は1μA以下に減少します。シャットダウン時には、SWピンは“L”になります。これによって、SHDNが行使されるときに出力がアクティブにシャットオフされますが、LTC1504が非アクティブのときに、他の電源が出力に電源を供給しないようにしています。詳細については、アプリケーション情報セクションを参照してください。

SS (ピン7): ソフト・スタート。SSからGNDに外付けコンデンサ(通常0.1μF)を接続し、起動時の出力の立ち上がり時間を制限します。C_{SS}は電流制限ループの補償も行い、LTC1504はノイズを発生しないで電流制限モードを

アプリケーション情報

概要

LTC1504は完全な同期式スイッチング・レギュレータ・コントローラ(ブロック図を参照)です。2つの1.5 μ W パワーMOSFETを内蔵しているので、外部パワー・デバイスが不要で、外付け部品点数が少なくてすみます。内部スイッチは、Pチャンネル・デバイス(Q1)を入力電源からスイッチング・ノードに、そしてNチャンネル・デバイス(Q2)を同期式整流器としてスイッチング・ノードからグラウンドに接続した同期式降圧コンバータとしてセットアップされています。外部インダクタ、入力および出力バイパス・コンデンサ、そして補償ネットワークで制御ループが完結します。LTC1504可変出力デバイスには、出力電圧を設定するために追加抵抗ペアが必要です。LTC1504-3.3は出力電圧3.3Vにプリセットされた抵抗分割器を内蔵しています。LTC1504-3.3と4つの外付け部品だけで、出力電圧3.3Vのレギュレータを構築することができます。

LTC1504の帰還ループには、1%(V_{REF})にトリミングされた高精度リファレンス、広帯域幅の相互コンダクタンス帰還アンプ(FB)、および内蔵PWM発生器(SAWおよびPWM)が含まれています。2つの追加帰還コンパレータ(MINおよびMAX)が帰還電圧をモニタし、安定化された出力が $\pm 3\%$ ウィンドウの外にはみ出すときは、一次帰還アンプに優先して過渡応答を改善します。内部のこぎり波発振器は標準200kHzで動作します。

Q1とQ2は、主にSO-8パッケージの熱放散によって制限される連続出力電力レベルで500mAを超えるピーク電流を流すことができます。レイアウトが適切であれば、LTC1504は5V入力と3.3V出力で、500mAの連続出力電流を供給することができます。内蔵電流制限回路は、1本の外付け抵抗で設定され、消費電力を制限するのに使用できます。詳細については熱考察セクションを参照してください。

動作原理

LTC1504一次帰還ループは、メイン誤差アンプFB、PWM発生器、出力ドライブ・ロジック、およびパワー・スイッチで構成されています。ループは外部インダクタと出力バイパス・コンデンサで閉じられます。帰還アンプは、固定出力バージョンの場合はSENSEピンの出力電圧を直接、可変出力バージョンの場合は外部抵抗分割器を通して検知します。この帰還電圧はFBによって

1.265V内部リファレンス電圧と比較され、誤差信号がCOMPピンに生成されます。COMPはループ補償を最適化するために、外部ピンに出されている高インピーダンス・ノードです。

COMPはコンパレータPWMによって、200kHzのこぎり波と比較されます。この未処理のパルス幅変調信号は、出力段に達する前に過渡コンパレータMINおよびMAXの出力と論理的に結合されます。出力段は、PWM波形の低インピーダンス・イメージで、SWピンをドライブする内蔵PおよびNチャンネル・パワーMOSFET用の非オーバーラッピング・ドライブを生成します。SWの標準開ループ出力インピーダンスは、電源電圧に応じて1 ~ 3 Ω です。このハイパワー・パルス列は、外部インダクタおよびコンデンサによってフィルタされ、出力ノードに安定したDC値を提供します。このノードはFBまたはSENSEにリターンし、ループを閉じます。FBアンプが十分速く応答できない状況では、

帰還ループ内のMINおよびMAXコンパレータが高速フォールト補正を提供します。MINは、帰還信号と内部リファレンスより40mV(3%)低い電圧を比較します。この点で、MINコンパレータはFBアンプに優先し、ループをフル・デューティ・サイクルに強制します。同様に、MAXコンパレータは内部リファレンスより3%高い電圧で出力電圧をモニタし、トリップすると出力を強制的にデューティ・サイクル0%にします。これら2つのコンパレータは、高速出力過渡状態での極端な出力の揺れを防止し、メイン帰還ループが最適に補償され安定動作できるようにします。

LTC1504には電流制限回路の動作を制御するための別の帰還ループが含まれています。 I_{LIM} アンプはQ1が導通している間、SWピンの電圧をモニタします。この電圧を I_{MAX} ピンの電圧と比較します。Q1を流れるピーク電流が増加すると、 R_{ON} によるQ1での電圧降下もそれに比例して大きくなります。SWが I_{MAX} 以下に低下し、Q1を流れる電流が希望の値を超えて増加したことを示すと、 I_{LIM} はSS(外部ソフト・スタート・ピン)から制御された量の電流を引き込み始めます。SSが低下するとCOMPがブルダウンされ、デューティ・サイクルが制限され、出力電圧が低下して電流を制御します。電流制限回路が反応する速度は、外部ソフト・スタート・コンデンサの値によって設定されます。

アプリケーション情報

外付け部品の選択

LTC1504に必要な外付け部品は、入力バイパス、出力フィルタリング、補償の3つのカテゴリに分類されます。また、通常はソフト・スタートと電流制限を設定するための追加部品も含まれます。最小限のLTC1504回路は、わずか4個の外付け部品で構築することができます。LTC1504のすべての機能を利用する回路には、通常8個または9個の外付け部品と、可変部品には2本の追加帰還抵抗が必要です。外付け部品の接続例は、標準的応用例セクションを参照してください。

入力バイパス

LTC1504を適切に動作させるには、入力バイパス・コンデンサが重要です。LTC1504は高精度リファレンスと同じV_{CC}ピンから電源が供給される1組のハイパワー・スイッチを内蔵しています。V_{CC}を十分にバイパスしなかった場合は、スイッチ・パルスがV_{CC}にリファレンス電圧に悪影響を与えるリップルを印加するので、LTC1504は正確に安定化を行いません。バイパスが不十分な場合は、ロード・レギュレーションが低下したり、SWピンの波形が不安定になります。SWピンを観測しているときにオシロスコープがクリーンにトリガしなかった場合は、入力バイパスが不十分です。

理想的には、LTC1504はチップの間近に低インピーダンスのバイパス・コンデンサと、多少離れた場所に配置可能なより大きい貯蔵コンデンサが必要です。この要求条件は一般に、LTC1504と電解コンデンサ(予測負荷電流に応じて、通常10 μ F ~ 100 μ F)のすぐ隣に配置したセラミック・コンデンサで満足することができます。特定の場合では、バルク容量の要求条件は入力電源の出力バイパスによって満足することができます。非常に高い負荷電流または6V以上の入力電源電圧で動作しているアプリケーションでは、1 μ F以上のローカル・セラミック・コンデンサが要求な場合があります。場合によっては、LTC1504のすぐ近くに実装した1個のコンデンサによって、低インピーダンスとバルク容量の両方の要求条件を満足させることができます。回路によっては、低ESRの有機半導体(OS-CON)電解コンデンサまたはサージ試験を実施した表面実装タンタル・コンデンサで、LTC1504を良好な状態に維持するだけ低いインピーダンスを持つことができます。

コンデンサを選択する場合に、入力バイパス・コンデンサのRMS電流容量のほうが容量値より重要なことがよ

くあります。LTC1504のような降圧コンバータでは、各クロック・サイクル中に電流の流れが全負荷電流とほぼゼロの間で交互に変わるため、入力コンデンサには厳しい要求が課されます。ワースト・ケース(デューティ・サイクル50%またはV_{OUT} = 0.5V_{IN})では、入力コンデンサを流れるRMS電流は、全負荷電流 + インダクタのリップル電流の半分であり、標準500mAの負荷電流アプリケーションでは300mAほどになるはずですが、この電流が入力バイパス・コンデンサのESRを流れると、コンデンサが加熱し寿命が短くなります。場合によっては大幅に寿命が短縮されます。一見したところ問題がなさそうに見える普通の電解コンデンサの多くは、そのような電流に耐えるだけの定格を持っていません。コンデンサを指定する前に、RMS電流定格を調べてください! RMS電流定格が指定されていない場合は、入力バイパス・コンデンサとして使用してはなりません。前述したとおり、LTC1504アプリケーションでは通常は、低いESRの電解コンデンサとサージ試験を実施したタンタル・コンデンサで十分であり、これらは高いRMS電流定格を持っています。ローカル・セラミック・バイパス・コンデンサでは通常ESRは無視でき、トラブルなしで大きなRMS電流に耐えることができます。表1はLTC1504アプリケーションで入力バイパス・コンデンサとして使用できる標準的な表面実装コンデンサを示します。

表1. 代表的な表面実装入力バイパス・コンデンサ

PART	VALUE	ESR	MAX RMS	TYPE	HEIGHT
AVX					
TPSC226M016R0375	22 μ F	0.38 Ω	0.54A	Tantalum	2.6mm
TPSD476M016R0150	47 μ F	0.15 Ω	0.86A	Tantalum	2.9mm
TPSE107M016R0125	100 μ F	0.13 Ω	1.15A	Tantalum	4.1mm
1206YC105M	1 μ F	Low	>1A	X7R Ceramic	1.5mm
1210YG106Z	10 μ F	Low	>1A	Y5V Ceramic	1.7mm
Sanyo					
16SN33M	33 μ F	0.15 Ω	1.24A	OS-CON	7mm
16SN68M	68 μ F	0.1 Ω	1.65A	OS-CON	7mm
16CV100GX	100 μ F	0.44 Ω	0.23A*	Electrolytic	6mm
16CV220GX	220 μ F	0.34 Ω	0.28A*	Electrolytic	7.7mm
Sprague					
593D476X0016D2W	47 μ F	0.17 Ω	0.93A	Tantalum	2.8mm
593D107X0016E2W	100 μ	0.15 Ω	1.05A	Tantalum	4mm

注: 複数のデバイスを並列に使用するか、または出力電流を制限して、コンデンサの過負荷を防止してください。

インダクタ

LTC1504では、スイッチング・ノードSWから負荷が接続されている出力ノードに外部インダクタを接続する必要があります。

アプリケーション情報

ます。インダクタの要求条件は明解です。最大負荷電流 + 1/2 リップル電流の連続DC電流を処理するだけの定格を持ち、インダクタンス値は希望のリップル電流と出力過渡電流要求条件に基づいて選択しなければなりません。インダクタ値が大きいとリップル電流が減少し、必要な出力容量が小さくなりますが、LTC1504が出力電流を変化させる速度を制限し、出力過渡応答が制限されます。インダクタ値が小さいとリップル電流が増大し、出力コンデンサの要求が厳しくなりますが、高速出力電流スルーレートが可能となり、DC電流定格が同じ場合はより小型で安価なものが使用できる場合がよくあります。LTC1504アプリケーションで使用する標準インダクタは、最大電流定格が500mA ~ 1Aで、インダクタンスが33 μ H ~ 220 μ Hのものです。

コア材質と形状により、インダクタのサイズ/電流および価格/電流の関連が変わります。フェライトまたはパーマロイ材のトロイドまたはシールド・ポット・コアは小型であり、多くのエネルギーを放射しませんが、一般に類似した電気的特性を持つ鉄粉ロッド・コア・インダクタよりも高価です。どのスタイルのインダクタを使用するかは、LTC1504の動作に必要であるというよりも、価格対サイズの要求条件と放射電磁界/EMIの要求条件によって決まる場合がしばしばです。表2にLTC1504アプリケーションに適した標準的な表面実装インダクタを示します。

表2. 代表的な表面実装インダクタ

PART	VALUE	MAX DC	CORE TYPE	CORE MATERIAL	HEIGHT
CoilCraft					
DT3316-473	47 μ H	1A	Shielded	Ferrite	5.1mm
DT3316-104	100 μ H	0.8A	Shielded	Ferrite	5.1mm
DO1608-473	47 μ H	0.5A	Open	Ferrite	3.2mm
DO3316-224	220 μ H	0.8A	Open	Ferrite	5.5mm
Coiltronics					
CTX50-1	50 μ H	0.65A	Toroid	KoolM μ [®]	4.2mm
CTX100-2	100 μ H	0.63A	Toroid	KoolM μ	6mm
CTX50-1P	50 μ H	0.66A	Toroid	Type 52	4.2mm
CTX100-2P	100 μ H	0.55A	Toroid	Type 52	6mm
Sumida					
CDRH62-470	47 μ H	0.54A	Shielded	Ferrite	3mm
CDRH73-101	100 μ H	0.50A	Shielded	Ferrite	3.4mm
CD43-470	47 μ H	0.54A	Open	Ferrite	3.2mm
CD54-101	100 μ H	0.52A	Open	Ferrite	4.5mm

出力コンデンサ

出力コンデンサは、以下のような点でTC1504の性能に影響を与えます。過渡負荷ステップ時に最前線での防

Kool M μ はMagnetic社の登録商標です。

御を提供し、LTC1504の帰還ループを安定状態に維持するのに必要な補償に大きな影響を与えます。LTC1504回路の過渡負荷応答は、出力コンデンサとインダクタによってほぼ完全に制御されます。安定した負荷動作では、インダクタの平均電流は負荷電流に等しくなります。負荷電流が突然変化すると、インダクタは突然誤った電流を流し、自身を修正するための有限時間を必要とします。これは標準LTC1504インダクタ値では、少なくとも数スイッチ・サイクルを要します。たとえLTC1504が超能力を持っていて、直ちに適正なデューティ・サイクルを設定できたとしても、インダクタ内の電流の変化率はなおインダクタンス値に関係し、瞬時には変化しません。

インダクタ電流が調整され負荷電流に一致するまで、出力コンデンサがその差を埋め合わせなければなりません。例外的な過渡応答(瞬時的な全負荷ステップに対しては2%またはそれ以上)を必要とするアプリケーションでは、比較的大きい値(低ESRの出力コンデンサ)が必要です。過渡負荷要求条件が緩いアプリケーションでは、出力に従来型の標準ESR電解コンデンサで対応できる場合があり、大きな値のインダクタを使用して必要な出力コンデンサ値を小さくすることができます。出力コンデンサのRMS電流がインダクタ・リップル電流の半分よりわずかに多く、入力バイパス・コンデンサのRMS電流よりはるかに少ないことに注意してください。出力コンデンサの寿命は、通常は標準LTC1504アプリケーションでの要因ではありません。

出力バイパス・コンデンサとして使用した大容量のセラミック・コンデンサは、優れたESR特性を提供しますが、ループ補償が困難になる可能性があります。ループ補償セクションを参照してください。

ループ補償

ループ補償は出力コンデンサに大きく影響されます。ループ安定性の観点から、出力インダクタと出力コンデンサによって直列RLC共振回路が形成され、Lはインダクタ値そしてCは出力コンデンサ値によって設定され、Rは出力コンデンサのESRで支配されます。これらの部品に起因する振幅応答と位相シフトは、COMPピンのRとCのネットワークによって補償され(希望的には)安定した方法で帰還ループを閉じます。質的に、出力段のLとCは180°の位相シフトを持つ2次ロールオフを形成します。ESRによるRがある程度高い

アプリケーション情報

周波数で1つのゼロを形成し、1次までロールオフを低減し、さらに位相シフトを90°に低減します。

出力コンデンサのESRが比較的高い場合、初期位相シフトが180°になる前にゼロになり、ループにはCOMPからGNDに1個の小容量コンデンサを接続するだけで安定動作を維持できます(図4a)。他方、出力コンデンサが低ESRタイプで過渡応答が大きくなる場合は、ESRゼロによって周波数が10倍以上高くなり、出力段の位相シフトが180°近くになってから折り返して90°に戻ります。大きな値のセラミック・コンデンサ、OS-CON電解コンデンサ、および低インピーダンスのタンタル・コンデンサがこのカテゴリに入ります。これらのループでは、COMPピンに追加ゼロを挿入する必要があります。通常は、直列RCと小容量のCを並列に接続して接地すると、安定性が得られます。図4bはほとんどの出力コンデンサの過渡応答を最適化する標準補償ネットワークを示します。可変出力部品は、帰還抵抗分割器の両端にフィードフォワード・コンデンサを追加することができ、位相マージンがさらに改善されます。このデータシートの標準的応用例では、外付け部品をいくつか組み合わせて動作する補償値を示します。これらを開始点として使用し

てください。複雑なケースや発振が解決できない場合は、弊社のアプリケーション部門にご相談ください。

外部ショットキ・ダイオード

内部Nチャネル・スイッチ(Q2)の両端に外部ショットキ・ダイオードを含めて、重負荷時の効率を改善することができます。LTC1504がQ1をターンオフし、Q2をターンオンする非オーバーラップ期間中は、ダイオードにはインダクタ電流が流れ、Q2と並列の固有ボディ・ダイオードに電流が流れないようにします。このダイオードは出力電流が500mAに近づくと、1~2パーセント効率が改善され、Q2を流れる過剰な寄生電流によって生ずる非常に高いピーク電流レベルでの不安定動作を最小限に抑えるのに役立ちます。通常は、モトローラのMBRS0530Lを使用し、カソードをSWに接続し、アノードをGNDに接続すれば十分です。通常動作にはこのダイオードは不要で、出力電流が低い(250mA未満)場合には効率にほとんど影響を与えません。

ソフトスタートと電流制限

LTC1504はソフト・スタートと電流制限機能を備えています。ソフト・スタートは単純な形態で動作します。SSピンに接続された内部12μA電流源が、SSからGNDに接続された外付けコンデンサを、コンデンサ値に応じた速度でプルアップします。COMPはSSよりダイオード1個の電圧降下分だけ低い電圧にクランプされます。SSが上昇すると、同じ速度でCOMPも上昇します。COMPがV_{CC}より約2V低い電圧に達すると、出力が安定するまでデューティ・サイクルがゆっくり上昇し始めます。SSが上昇し続けると、帰還アンプの出力がCOMPに送られ、クランプが解放されて、SSはV_{CC}まで上昇します。ソフト・スタート・サイクルの間、MIN帰還コンパレータはディスエーブルされ、COMPピンにオーバーライドしないようにし、出力を強制的に最大デューティ・サイクルにします。

電流制限回路は出力で過負荷状態を検出すると、ソフト・スタート・ピンをプルダウンして動作します。電流制限アンプ(I_{LIM})は、オン時間中に内部Pチャネル・スイッチ(Q1)での電圧降下をI_{MAX}ピンの電圧と比較します。I_{MAX}には内部12μAプルダウンが含まれており、1本の抵抗で電圧をV_{CC}とI_{MAX}の間に設定することができます。Q1でのIR降下がI_{MAX}抵抗での電圧降下を超えると、I_{LIM}は外部ソフト・スタート・コンデンサから電流を取り出して、SSの電圧を低下させま

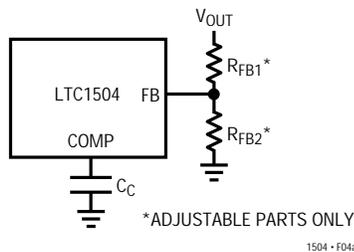


図4a 最小補償ネットワーク

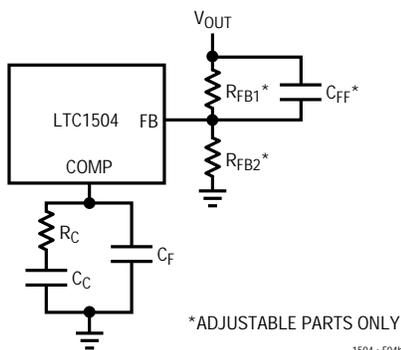


図4b. 最適補償ネットワーク

アプリケーション情報

す。電流制限がイネーブルされている場合は、常にソフト・スタート・コンデンサを使用しなければなりません。SSは次にCOMPでプルダウンし、出力デューティ・サイクルを制限して出力電流を制御します。電流の過負荷が取り除かれると、 I_{LIM} アンプはソフト・スタート・サイクルを完了したかのごとくSSを解放し、再び上昇させます。外部ソフト・スタート・コンデンサのサイズによって、過負荷を検出してから電流制限回路が反応する速度と、過負荷を取り除いてから出力が回復するまでの速度を制御します。ソフト・スタート・コンデンサは、 I_{LIM} アンプによって形成された帰還ループも補償します。 I_{LIM} ループは電流帰還ループであるため、出力インダクタおよびコンデンサによる追加位相シフトが発生せず、1個のコンデンサでループを十分に補償することができます。通常、SSからGNDへ0.1 μ Fのセラミック・コンデンサを接続すれば、適切なソフト・スタート動作と許容できる電流制限応答を提供します。

この種の電流制限回路は、穏やかな電流過負荷状態でも良好に動作し、外部電流検知抵抗は不要で、LTC1504アプリケーションにとっては魅力的です。出力電圧がグラウンドに非常に近い場合、これらの機能は厳しい短絡状態では電流制限回路にとって悪条件になります。この条件下では、LTC1504は電流を制御するために、非常に狭いデューティ・サイクル(5%未満)で動作しなければなりません。オン時間がQ1の電流を検知するのに必要な時間を下回ると、LTC1504は発振器周波数を低下させてこれにตอบสนองし、オフ時間を長くしてデューティ・サイクルを低下させ、出力電流に対する制御を維持できるようにします。厳しい電流の過負荷状態では、発振器の周波数が1/10にも低下する可能性があります。

極端な短絡(たとえば、ネジ回してショートさせた場合)では、オン時間が、LTC1504が出力電流の制御を失う点まで低下します。この点では、出力電流はインダクタが飽和するまで増加し、電流はインダクタの寄生ESLとLTC1504内部のQ2の R_{ON} によって制限されます。この電流は通常非破壊的であり、出力電圧が非常に低いため、限定量の電力しか消費しません。標準LTC1504の回路は、損傷を受けることなく何秒間もこのような短絡に耐えることができます。図1のテスト回路はLTC1504に損傷を与えることなく、標準30秒以上も出力の直接短絡に耐えます。しかし、最終的には連続短絡によって、ダイ

の温度が破壊的レベルにまで上昇する可能性があります。

電流制限は基本的に、LTC1504を損傷から保護するために設計されており、正確な定電流出力を生成するのに使用することを意図していません。ダイの温度が電流制限状態に変化すると、内部スイッチの R_{ON} が変化して、電流制限スレッシュホールドが移動します。 R_{ON} は製造上の許容差のためにデバイス間でも変動します。外部 I_{MAX} 抵抗は最大予測電流で電流制限が起動できるようにしないで、これらの変動に対応するだけの余裕を持たせるような値を選択しなければなりません。不用意な電流制限動作をなくすと同時に、実際のフォールト条件での回路破壊を防止するために、予想負荷の約2倍の電流設定が妥当な場合がよくあります。必要に応じて、 I_{MAX} ピンをフロート状態にして、電流制限をディスエーブルすることができます。内部電流源が I_{MAX} をGND電位にすると、 I_{LIM} アンプはディスエーブルされます。

シャットダウン

LTC1504には \overline{SHDN} ピンのロジック・レベルで制御されるマイクロパワー・シャットダウン・モードがあります。 \overline{SHDN} をロジック“H”にすると、デバイスは通常どおり動作します。 \overline{SHDN} をロジック“L”にすると、すべての内部スイッチングが停止し、COMP、SS、およびSWをGND電位にして、消費電流を標準で1 μ A以下に低下させます。 \overline{SHDN} が行使されると、SWからGNDへの内部NチャネルパワーMOSFETがターンオンします。これによって、LTC1504がシャットダウンしたときに出力電圧がゼロに低下しますが、LTC1504がディスエーブルされたときに、他のデバイスが出力に電力を供給するのを防止します。

外部クロックの同期化

LTC1504の \overline{SHDN} ピンは、同期クロックまたはより高速なスイッチング速度を必要とするアプリケーションのために、外部クロック入力としても使用できます。 \overline{SHDN} ピンは“L”になるとすぐに内部のこぎり波を停止し、発振器をリセットします。ただし、50 μ sだけ待ってから残りの内部回路をシャットダウンします。クロック信号を \overline{SHDN} ピンに直接印加すると、外部クロックが内部発振器の周波数よりも高速で動作している限り、LTC1504の内部発振器は強制的にその周波数にロックされます。

アプリケーション情報

250kHzの最大内部周波数以下の周波数に同期させようとすると、パルス幅が乱れるので推奨されません。

のこぎり波の波形は内部で一定速度で上昇するので、高速外部クロックに同期させることによって早期に終了させると、PWMコンパレータに加えられるのこぎり波の振幅が低下し、利得を効果的にCOMPからSWに上昇させます。500kHzが最大推奨同期周波数です。これよりも周波数が高いと、LTC1504の動作が不安定になる点まで、のこぎり波の振幅が低下します。

熱に関する考察

LTC1504の各内部パワー・スイッチは、室温において約1.5 Ωの抵抗を持ち、電流制限が非常に高く設定されているか、接続されていない場合は、最大定格電流を超える電流を流します。インダクタ電流は常に内部スイッチの一方または他方を流れるので、500mAの負荷電流を供給する標準アプリケーションでは約375mWが連続して消費されます。SO-8パッケージは約90 mWの熱抵抗を持っています。つまり、ダイはこの電力レベルで周囲温度より34 °C高い温度に向かって上昇し始めることを意味します。内部パワー・スイッチの R_{ON} はダイの温度が上昇すると増加し、帰還ループが出力電流を500mAで維持し続けると消費電力が増大します。LTC1504はいかなる形態の熱シャットダウンも内蔵していないため、高い周囲温度ではチップが溶解するまで、このサイクルが継続する可能性があります。アプリケーションは500mAレベル以上のピーク電流を安全に流すことができますが、最大115 °Cのダイ温度を超えないよう、平均消費電力を慎重に計算しなければなりません。

LTC1504はピン、特にGND(ピン4)を通して熱の大部分を放散します。対周囲熱抵抗は、ヒートシンクの役目を果たすPCB上の大きな銅領域にGNDを接続すれば最適化できます。LTC1504を最大電力付近で動作させるアプリケーション、または長時間にわたって短絡に耐えなければならないアプリケーションでは、すべてのピンの銅面積を大きくし、部品上に余分な熱を奪う空気流を確保しなければなりません。消費電力が問題になる場合のレイアウトについては、LTCのアプリケーション部門にご相談ください。

電流制限回路を使用すれば穏やかな過負荷状態で、電力を安全なレベルに制限することができますが、出力がグラ

ドに短絡するほどの厳しい過負荷では、ダイの温度が危険な状態まで上昇することがあります。電流制限動作の詳細については、「電流制限」の項を参照してください。

レイアウトの検討事項

他のすべての高精度スイッチング・レギュレータと同様に、LTC1504の最適な性能を引き出すためにレイアウトに特別な配慮が必要です。レイアウトを慎重にプランしないと、大きなピーク電流が多くDC電流と結合して、適切な出力の安定化が妨げられることがあります。オペアンプやデータ・コンバータ回路のレイアウトが不適切な場合は、必要な性能が得られなくなりますが、それでも普通はオペアンプやデータ・コンバータのように動作します。LTC1504回路のレイアウトが不適切な場合は、レギュレータとしてはまったく機能しないことがあります。ワイヤラップやプラグイン式の試作ボードは、LTC1504回路のブレッドボード製作には役立ちません！

LTC1504から適切な性能を引き出すのに最も重要なことは、おそらくグランド・ノードのレイアウトと入力および出力コンデンサの配置です。入力および出力バイパス・コンデンサの負端子は、できる限りLTC1504のグランド・ピン近くの同じ箇所から一緒に来なければなりません。補償ネットワークとソフト・スタート・コンデンサは、それぞれの専用トレースと一緒に接続することができ、直接この共通グランド点に戻ることが必要です。入力電源グランドと負荷リターンもこの共通点に接続してください。各グランド・ラインは、スター結線の中心をピン4として、スター状に接続しなければなりません。このノードは、必要な場合にはヒートシンクとして機能するかなり大きな銅領域でなければなりません。

次の重要なのは、低ESR(通常はセラミック)の入力バイパス・コンデンサの周辺部です。このコンデンサは物理的にLTC1504の V_{CC} ピンとGNDピンの近くに配置してください。理想的には、コンデンサはパッケージの間近で、SWピンをまたいで配置します。ピーク電流が高いアプリケーションまたは V_{CC} が6V以上のアプリケーションでは、この位置には1 μ F以上の大きなセラミック・コンデンサが必要な場合があります。

それほど重大でないノードはSWです。このピンのリードが長い、またはトレースが狭い場合は、外部インダ

アプリケーション情報

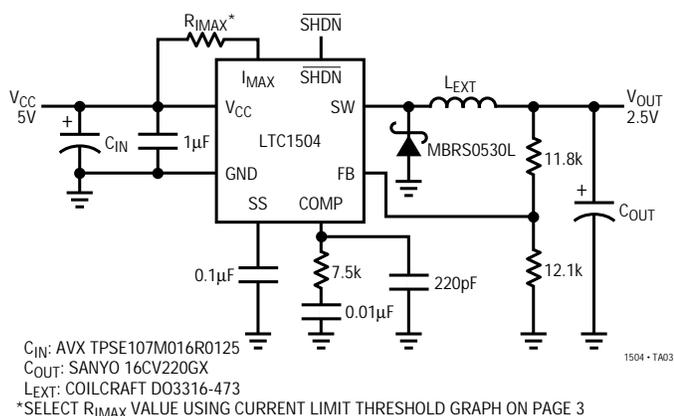
クタと直列に寄生インダクタンスが追加されて、値がわずかに大きくなるだけです。SWトレースは短絡状態での最大ピーク電流(おそらく1A)に対応できる幅があれば十分です。回路が動作するレイアウトを作成するのに、トレースで妥協を図る必要がある場合には、これが候補の1つです。SWノードのトレースが長いと、さらにEMI対策に配慮しなければならない場合があることに注意してください。SWノードでショットキ・ダイオードを使用する場合は、トレースのLTC1504側でデバイス・ピンの近くに配置しなければなりません。

ために、文字通り何百ものレイアウトを作成してきました。そのうちの多くは適切に動作し、一部は現在不適切なレイアウト例としてまとめてあります。レイアウトのサポートが必要な場合、あるいはレイアウトがうまくいかない場合は、弊社にご連絡ください。正しく設計されたレイアウトのデモ・ボードが提供されており、必要に応じて特別なレイアウトを設計することができます。アプリケーション・チームは広範なアプリケーションでの外部部品の選択に豊富な経験があり、状況に応じた適切なサポートを行うことができます。質問があればご連絡ください。

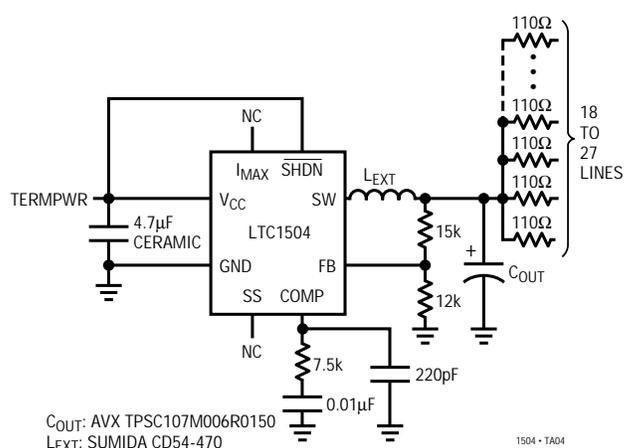
LTCのアプリケーション部門は、LTC1504と関連部品の

標準的応用例

電流制限付き、高効率5Vから2.5Vのコンバータ



SCSI-2アクティブ・ターミネータ



関連製品

PART NUMBER	DESCRIPTION	COMMENTS
LTC1174	600mA, High Efficiency Step-Down Converter	Nonsynchronous, Better Low Load Efficiency
LT [®] 1307	Single Cell 600kHz DC/DC Converter	Boost Mode, Micropower
LT1372	1.5A, 500kHz Step-Up Switching Regulator	Boost Mode, High Power
LT1376	1.5A, 500kHz Step-Down Switching Regulator	Nonsynchronous, 1.5A Max Current
LTC1433/LTC1434	450mA, Low Noise Current Mode Step-Down Converters	Nonsynchronous, Better Low Load Efficiency
LT1507	1.5A, 500kHz Monolithic Buck Regulator	Nonsynchronous, 1.5A Max Current