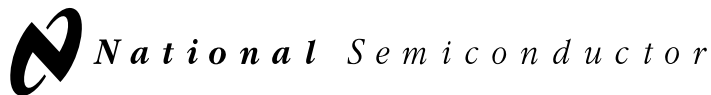


ご注意：この日本語データシートは参考資料として提供しており、内容が最新でない場合があります。製品のご検討およびご採用に際しては、必ず最新の英文データシートをご確認ください。



2000年12月

LM2599

SIMPLE SWITCHER[®]

150kHz 3A 降圧型電圧レギュレータ (追加機能付き)

概要

LM2599 シリーズは、降圧型 (バック) スwitchング・レギュレータのためのすべてのアクティブ機能を内蔵したモノリシック IC で、すぐれたラインおよびロード・レギュレーションで 3A の負荷をドライブできます。3.3V、5V、12V の固定出力電圧、および可変出力電圧のものがあります。

このシリーズのスイッチング・レギュレータは、LM2596 シリーズと似ていますが、監視機能やその他の機能が追加されています。

必要な外付け部品は少なく済み、使い方が簡単で、内部周波数補償†、改善されたライン・ロード・レギュレーション、固定周波数のオシレータ、シャットダウン/ソフト・スタート、遅延付きのエラー・フラグ出力を備えています。

LM2599 シリーズは、150kHz で動作するので、低周波数で動作するスイッチング・レギュレータに比べて、サイズの小さなフィルタ部品を使うことができます。標準的な 7 リードの TO-220 パッケージと、7 リードの TO-263 表面実装パッケージで供給されます。

LM2599 シリーズに使うのに最適な、標準インダクタを (スルーホールと表面実装タイプのいずれでも) いくつかのメーカーから入手できます。このため、スイッチング電源の設計が非常に簡単になります。

他の特長として、入力電圧と出力負荷のすべての規定条件下で、± 4% の出力電圧許容差と、± 15% のオシレータ周波数の許容誤差が保証されています。外部シャットダウン機能を内蔵しており、待機時電流の代表値は 80μA です。自己保護機能には、出力スイッチのための 2 段階周波数低減電流制限回路と、異常時でも完全に保護動作が保証される熱暴走保護回路が含まれています。

特長

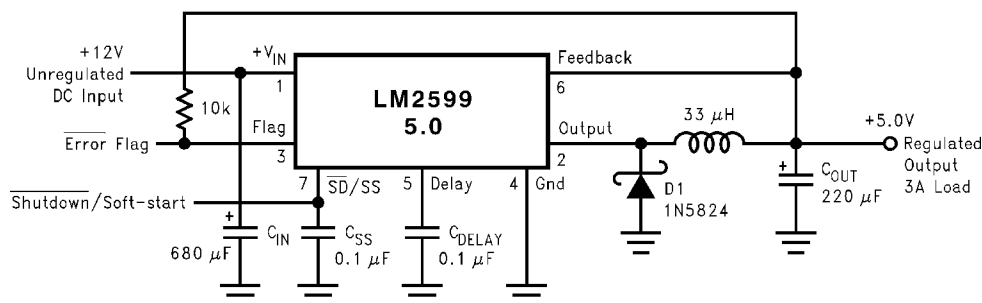
- 3.3V、5V、12V、および可変出力電圧バージョン
- 可変タイプの出力電圧範囲は 1.2V から最大 37V、入力と負荷の全条件で ± 4% の許容誤差
- 出力電流 3A 保証
- 7 ピン TO-220 と TO-263 (表面実装) パッケージ
- 入力電圧範囲、40V まで
- 150kHz の固定周波数の内部オシレータ
- シャットダウン/ソフト・スタート
- レギュレーション不良エラー・フラグ
- エラー出力遅延
- 低消費待機モードで、 I_Q の代表値が 80μA。
- 高効率
- 入手が容易な標準インダクタ
- 熱暴走保護および電流制限保護回路内蔵

アプリケーション

- シンプルな、高効率、降圧型 (バック) レギュレータ
- リア・レギュレータ用の高効率プリ・レギュレータ
- オン・ボードのスイッチング・レギュレータ
- 反転型コンバータ (インバート)

Note: † 特許番号 5,382,918

代表的なアプリケーション (固定出力電圧バージョン)



SIMPLE SWITCHER[®] および Switchers Made Simple[®] はナショナル セミコンダクター社の登録商標です。

LM2599 SIMPLE SWITCHER[®] 150kHz 3A 降圧型電圧レギュレータ (追加機能付き)

絶対最大定格 (Note 1)

本データシートには軍用・航空宇宙用の規格は記載されていません。
関連する電気的信頼性試験方法の規格を参照下さい。

最大電源電圧 (V_{IN})	45V
SD/SS ピン入力電圧 (Note 2)	6V
ディレイピン入力電圧 (Note 2)	1.5V
フラグピン入力電圧	- 0.3 V + 45V
フィードバックピン電圧	- 0.3 V + 25V
グラウンドに対する出力電圧 (定常状態)	- 1V
消費電力	内部制限
保存温度範囲	- 65 ~ + 150

ESD 定格

人体モデル (Note 3)

2 kV

リード温度

S パッケージ

ベーパーフェーズ (60 秒)

+ 215

赤外線 (10 秒)

+ 245

T パッケージ (ハンダ付け、10 秒)

+ 260

最大接合部温度

+ 150

動作条件

温度範囲

- 40 T_J + 125

電源電圧

4.5V ~ 40V

電気的特性 LM2599-3.3

標準文字で表記される規格値は、 $T_J = 25$ に対するもので、**太字は全動作温度範囲に適用されます。**

Symbol	Parameter	Conditions	LM2599-3.3		Units (Limits)
			Typ (Note 4)	Limit (Note 5)	
SYSTEM PARAMETERS (Note 6) Test Circuit Figure 1					
V_{OUT}	Output Voltage	4.75V V_{IN} 40V, 0.2A I_{LOAD} 3A	3.3	3.168/ 3.135 3.432/ 3.465	V V(min) V(max)
	Efficiency	$V_{IN} = 12V, I_{LOAD} = 3A$	73		%

電気的特性 LM2599-5.0

標準文字で表記される規格値は、 $T_J = 25$ に対するもので、**太字は全動作温度範囲に適用されます。**

Symbol	Parameter	Conditions	LM2599-5.0		Units (Limits)
			Typ (Note 4)	Limit (Note 5)	
SYSTEM PARAMETERS (Note 6) Test Circuit Figure 1					
V_{OUT}	Output Voltage	7V V_{IN} 40V, 0.2A I_{LOAD} 3A	5	4.800/ 4.750 5.200/ 5.250	V V(min) V(max)
	Efficiency	$V_{IN} = 12V, I_{LOAD} = 3A$	80		%

出力電圧の全タイプの電気的特性 (つづき)

標準文字で表記される規格値は、 $T_J = 25$ に対するもので、**太字は全動作温度範囲に適用されます**。特記のない限り、3.3V、5V、可変出力電圧バージョンでは $V_{IN} = 12V$ 、12V バージョンでは、 $V_{IN} = 24V$ であり、 $I_{LOAD} = 500mA$ です。

Symbol	Parameter	Conditions	LM2599-XX		Units (Limits)
			Typ (Note 4)	Limit (Note 5)	
DEVICE PARAMETERS					
I_Q	Operating Quiescent Current	\overline{SD} /SS Pin Open (Note 10)	5	10	mA mA(max)
	I_{STBY}	Standby Quiescent Current	\overline{SD} /SS pin = 0V (Note 11)	80	200/250
JC JA JA JA JA		Thermal Resistance	TO220 or TO263 Package, Junction to Case	2	
	TO220 Package, Junction to Ambient (Note 12)		50		/W
	TO263 Package, Junction to Ambient (Note 13)		50		/W
	TO263 Package, Junction to Ambient (Note 14)		30		/W
	TO263 Package, Junction to Ambient (Note 15)		20		/W
SHUTDOWN/SOFT-START CONTROL Test Circuit of Figure 1					
V_{SD}	Shutdown Threshold Voltage	Low, (Shutdown Mode)	1.3	0.6	V V(max)
		High, (Soft-start Mode)		2	V(min)
V_{SS}	Soft-start Voltage	$V_{OUT} = 20\%$ of Nominal Output Voltage	2		V
		$V_{OUT} = 100\%$ of Nominal Output Voltage	3		
I_{SD}	Shutdown Current	$V_{\overline{SHUTDOWN}} = 0.5V$	5	10	μA μA (max)
			I_{SS}	Soft-start Current	$V_{Soft-start} = 2.5V$
FLAG/DELAY CONTROL Test Circuit of Figure 1					
	Regulator Dropout Detector Threshold Voltage	Low (Flag ON)	96	92	% %(min)
				98	%(max)
			V_{FSAT}	Flag Output Saturation Voltage	$I_{SINK} = 3 mA$ $V_{DELAY} = 0.5V$
I_{FL}	Flag Output Leakage Current	$V_{FLAG} = 40V$			
				Delay Pin Threshold Voltage	Low (Flag ON) High (Flag OFF) and V_{OUT} Regulated
	1.29	V(max)			
	Delay Pin Source Current	$V_{DELAY} = 0.5V$			
				Delay Pin Saturation	Low (Flag ON)

Note 1: 絶対最大定格とは、IC に破壊が発生する可能性のあるリミット値をいいます。動作定格とは IC が動作する条件を示し、特定の性能リミット値を保証するものではありません。保証される仕様および試験条件については、電気的特性を参照下さい。

Note 2: 電圧は、内部でクランプされます。クランプ電圧を超える場合は、流れ込む電流を 1mA に制限しなければなりません。

Note 3: ESD は人体モデルに基づき 100pF のコンデンサから、1.5k を通し各端子に放電させます。

Note 4: 標準値は、25 での値であり、一般的な値です。

Note 5: 室温におけるリミット値 (標準文字) および**全動作温度範囲におけるリミット値 (太字)**は、保証されます。室温におけるリミット値は 100% テストされます。**全動作温度範囲におけるリミット値**は標準統計品質管理 (SQC) 手法によって決められた補正データを加味して保証されます。すべてのリミット値は平均出荷品質レベル (AOQL) の計算に使用されます。

Note 6: キャッチ・ダイオード、インダクタ、入出力コンデンサ、電圧設定抵抗などの外付け部品は、スイッチング・レギュレータのシステム性能に影響します。LM2599 を Figure 1 のテスト回路に示すように使用すると、システム性能は電気的特性のシステムパラメータセクションに示すようになります。

Note 7: スwitchング周波数は、2 段階電流制限回路が動作した時下がります。周波数の減少する量は、過負荷電流により決まります。

出力電圧の全タイプの電気的特性 (つづき)

Note 8: 出力ピンにはダイオード、インダクタまたはコンデンサは接続しません。

Note 9: 出力トランジスタをオンするために、フィードバック・ピンは出力から外し 0V に接続します。

Note 10: 出力トランジスタをオフするために、フィードバック・ピンは出力から外し、可変 /3.3V/5V パージョンでは 12V、12V パージョンでは 15V に接続します。

Note 11: $V_{IN} = 40V$

Note 12: TO-220 パッケージを 1 平方インチ (厚さ 35 μm) の銅エリアを備えたプリント基板に垂直に実装した時の接合部 - 周囲間熱抵抗 (ヒートシンクなし)。

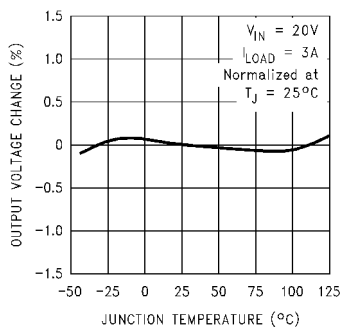
Note 13: TO-263 パッケージを 0.5 平方インチ (厚さ 35 μm) の銅エリアを備えた片面のプリント基板にタブをハンダ付けした時の接合部 - 周囲間熱抵抗。

Note 14: TO-263 パッケージを 2.5 平方インチ (厚さ 35 μm) の銅エリアを備えた片面のプリント基板にタブをハンダ付けした時の接合部 - 周囲間熱抵抗。

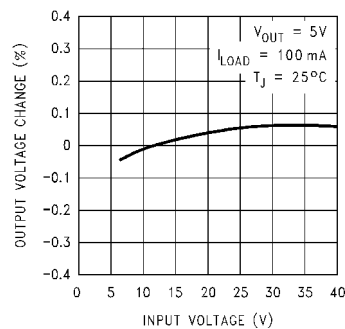
Note 15: TO-263 パッケージを LM2599S のサイドに 3 平方インチ (厚さ 35 μm) の銅エリアを備え、反対側に 16 平方インチの銅エリアを備えた両面のプリント基板にタブをハンダ付けした時の接合部 - 周囲間熱抵抗。本データシートのアプリケーション・ヒント、および「Switchers Made Simple Ver 4.3」(またはそれ以降の) ソフトウェアの熱モデルを参照下さい。

代表的な性能特性 (Figure 1 の回路)

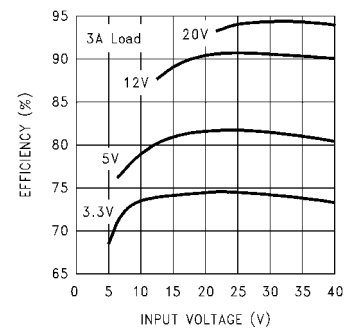
Normalized Output Voltage



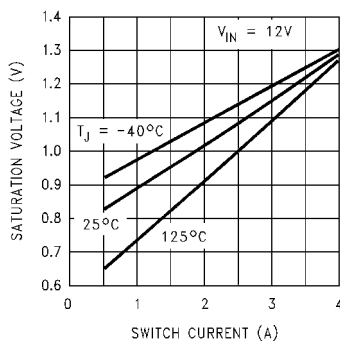
Line Regulation



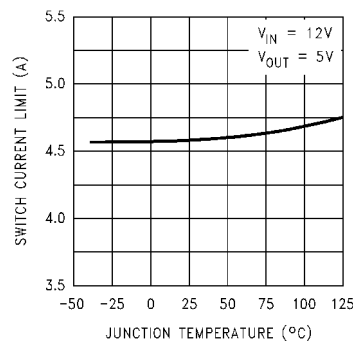
Efficiency



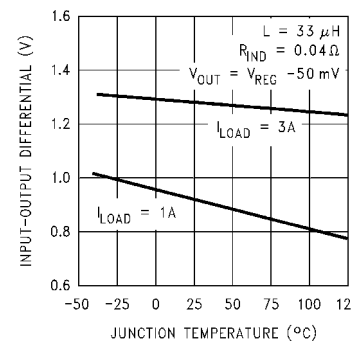
Switch Saturation Voltage



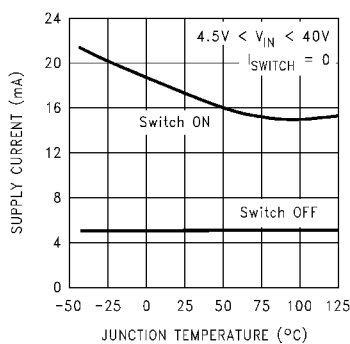
Switch Current Limit



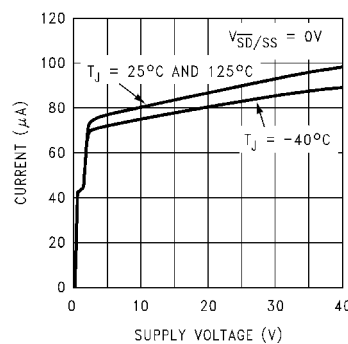
Dropout Voltage



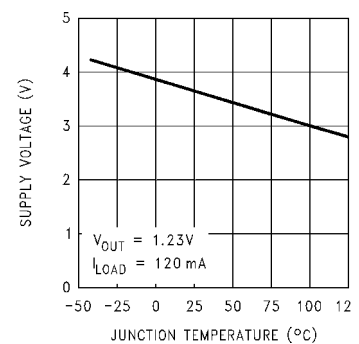
Operating Quiescent Current



Shutdown Quiescent Current

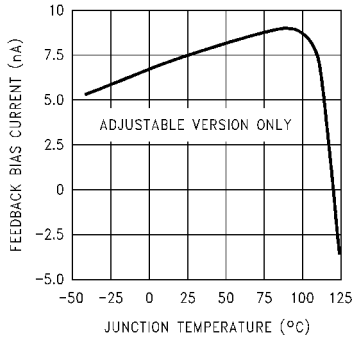


Minimum Operating Supply Voltage

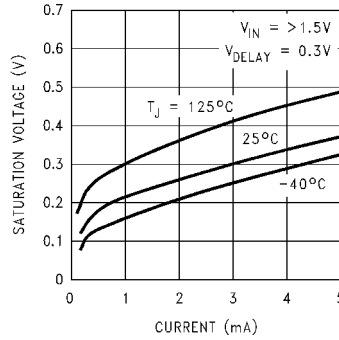


代表的な性能特性 (Figure 1 の回路) (つぎ)

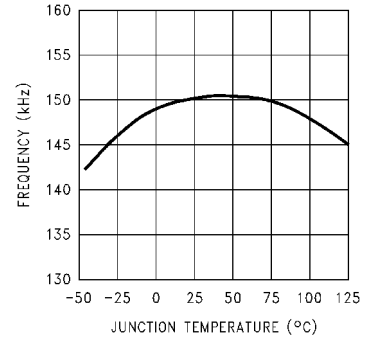
Feedback Pin Bias Current



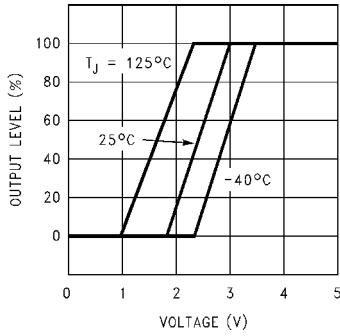
Flag Saturation Voltage



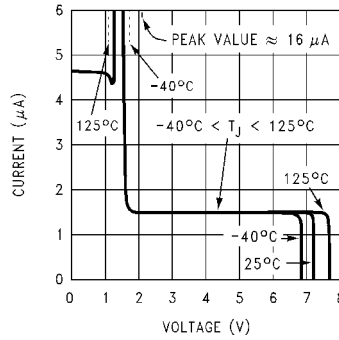
Switching Frequency



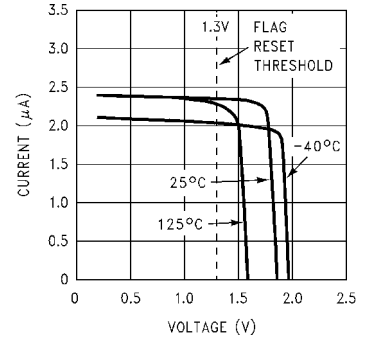
Soft-start



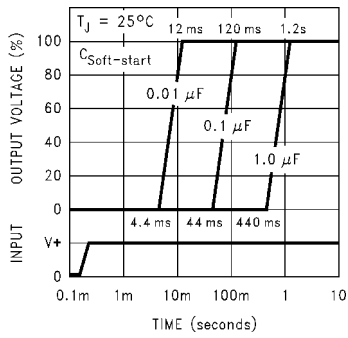
Shutdown /Soft-start Current



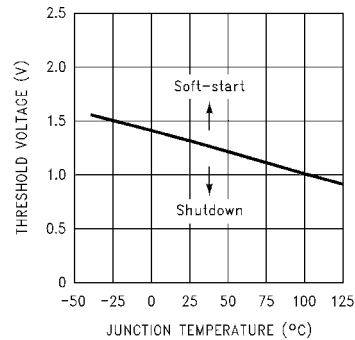
Daisy Pin Current



Soft-start Response



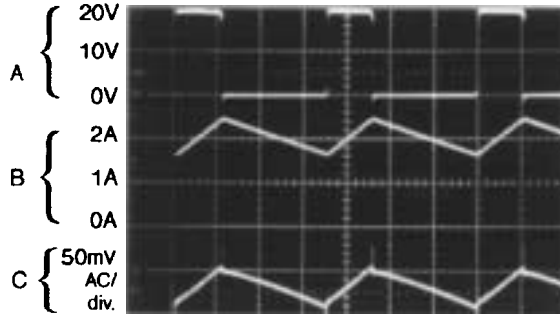
Shutdown/Soft-start Threshold Voltage



代表的な性能特性 (Figure 1 の回路) (つづき)

Continuous Mode Switching Waveforms

$V_{IN} = 20V, V_{OUT} = 5V, I_{LOAD} = 2A$
 $L = 32 \mu H, C_{OUT} = 220 \mu F, C_{OUT} ESR = 50 m$

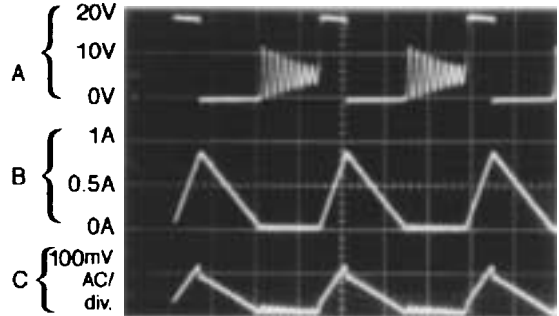


A: Output Pin Voltage, 10V/div.
 B: Inductor Current 1A/div.
 C: Output Ripple Voltage, 50 mV/div.

Horizontal Time Base: 2 μs /div.

Discontinuous Mode Switching Waveforms

$V_{IN} = 20V, V_{OUT} = 5V, I_{LOAD} = 500 mA$
 $L = 10 \mu H, C_{OUT} = 330 \mu F, C_{OUT} ESR = 45 m$



A: Output Pin Voltage, 10V/div.
 B: Inductor Current 0.5A/div.
 C: Output Ripple Voltage, 100 mV/div.

Horizontal Time Base: 2 μs /div.

Load Transient Response for Continuous Mode

$V_{IN} = 20V, V_{OUT} = 5V, I_{LOAD} = 500 mA \sim 2A$
 $L = 32 \mu H, C_{OUT} = 220 \mu F, C_{OUT} ESR = 50 m$

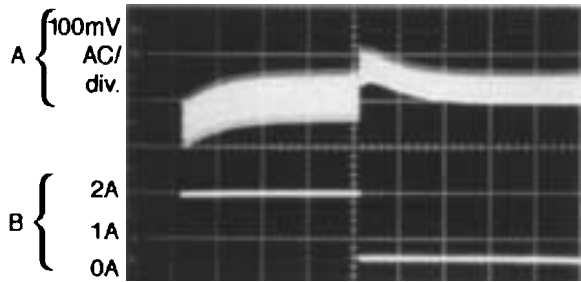


A: Output Voltage, 100 mV/div. (AC).
 B: 500 mA ~ 2A Load Pulse

Horizontal Time Base: 50 μs /div.

Load Transient Response for Discontinuous Mode

$V_{IN} = 20V, V_{OUT} = 5V, I_{LOAD} = 500 mA \sim 2A$
 $L = 10 \mu H, C_{OUT} = 330 \mu F, C_{OUT} ESR = 45 m$

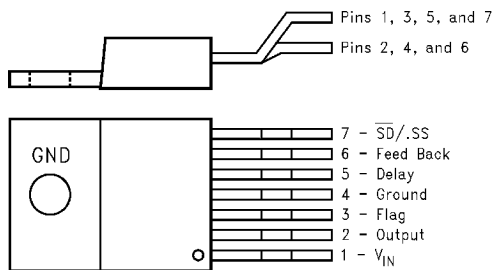


A: Output Voltage, 100 mV/div. (AC)
 B: 500 mA ~ 2A Load Pulse

Horizontal Time Base: 200 μs /div.

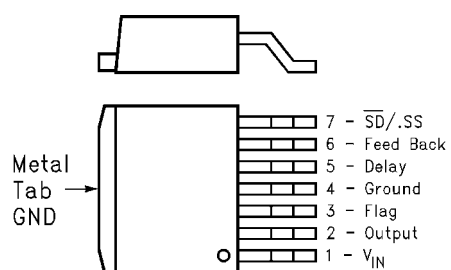
配置図および製品情報

Bent and Staggered Leads, Through Hole Package
 7-Lead TO-220 (T)



Order Number LM2599T-3.3, LM2599T-5.0,
 LM2599T-12 or LM2599T-ADJ
 See NS Package Number TA07B

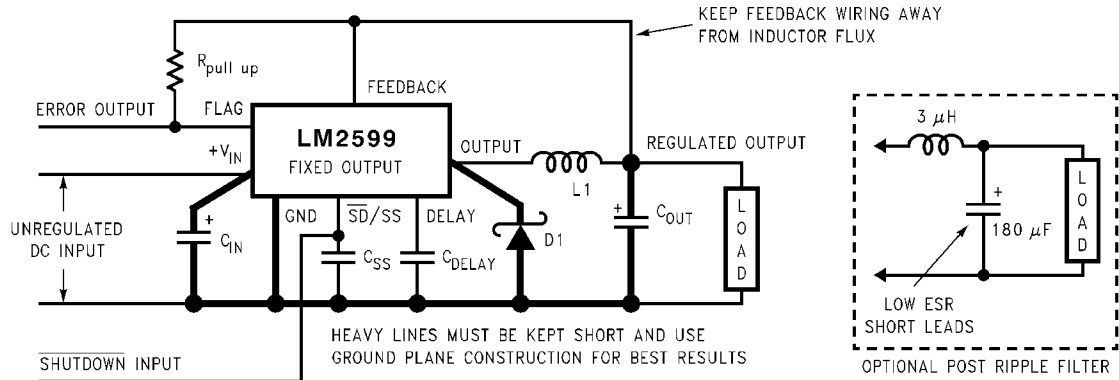
Surface Mount Package
 7-Lead TO-263 (S)



Order Number LM2599S-3.3, LM2599S-5.0,
 LM2599S-12 or LM2599S-ADJ
 See NS Package Number TS7B

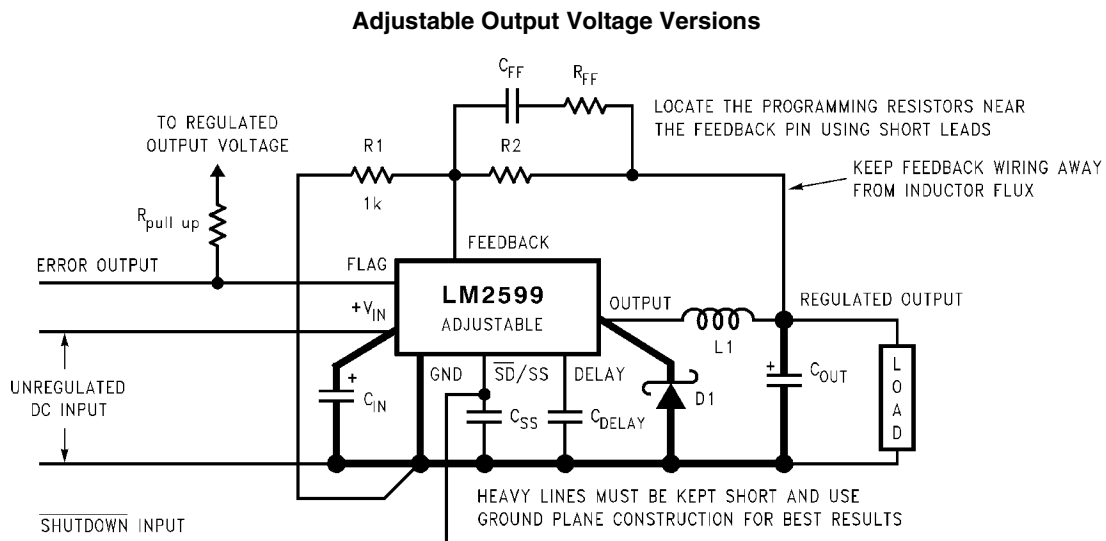
テスト回路およびレイアウトのガイドライン

Fixed Output Voltage Versions



- Component Values shown are for $V_{IN} = 15V$,
 $V_{OUT} = 5V$, $I_{LOAD} = 3A$.
- C_{IN} 470 μF , 50V, Aluminum Electrolytic Nichicon " PL Series "
 - C_{OUT} 220 μF , 25V Aluminum Electrolytic, Nichicon " PL Series "
 - D1 5A, 40V Schottky Rectifier, 1N5825
 - L1 68 μH , L38
- Typical Values
- C_{SS} 0.1 μF
 - C_{DELAY} 0.1 μF
 - $R_{Pull Up}$ 4.7k

テスト回路およびレイアウトのガイドライン (つづき)



$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

ここで、 $V_{REF} = 1.23V$

$$R_2 = R_1 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right)$$

Select R_1 to be approximately 1 k Ω , use a 1% resistor for best stability. Component Values shown are for $V_{IN} = 20V$,

$V_{OUT} = 10V$, $I_{LOAD} = 3A$.

C_{IN} : 470 μF , 35V, Aluminum Electrolytic Nichicon " PL Series "

C_{OUT} : 220 μF , 35V Aluminum Electrolytic, Nichicon " PL Series "

D1 5A, 30V Schottky Rectifier, 1N5824

L1 68 μH , L38

R_1 1 k Ω , 1%

R_2 7.15k Ω , 1%

C_{FF} 3.3 nF, See Application Information Section

R_{FF} 3 k Ω , See Application Information Section

Typical Values

C_{SS} 0.1 μF

C_{DELAY} 0.1 μF

$R_{PULL UP}$ 4.7k Ω

FIGURE 1. Standard Test Circuits and Layout Guides

他のスイッチング・レギュレータと同様に、レイアウトは非常に重要です。高速でスイッチングする電流がインダクタンス成分を持った配線に流れると、電圧トランジェントを発生し、問題となることがあります。インダクタンスとグラウンド・ループを最小にするため、太線部分は、PC ボードの幅広のパターンで、できるだけ短く配線して下さい。最良の結果を得るには、外付け部品は、グラウンド・プレーンあるいは一点接地にし、スイッチング IC にできるだけ近づけて配置して下さい。

オープン・コア・インダクタを使う場合、このタイプのインダクタの位置と方向には、特に注意を払って下さい。インダクタの磁束が敏感なフィードバックや、IC のグラウンド経路や、 C_{OUT} の配線と交差すると、問題を起すことがあります。

可変電圧バージョンを使う場合、フィードバック抵抗とその配線の位置には、特に注意を払って下さい。2つの抵抗を物理的に IC の近くに配置し、インダクタ、特にオープン・コア・タイプのインダクタから離して配線して下さい。(詳しくは、アプリケーション・セクションを参照して下さい。)

LM2599 シリーズ降圧型 (バック) レギュレータ設計手順 (固定出力電圧バージョン)

手順 (固定出力電圧バージョン)	例 (固定出力電圧バージョン)
<p>与式:</p> <p>V_{OUT} = 出力電圧 (3.3V、5V、あるいは 12V)</p> <p>$V_{IN(Max)}$ = 最大 DC 入力電圧</p> <p>$I_{LOAD(Max)}$ = 最大負荷電流</p> <p>1. インダクタの選択 (L1)</p> <p>A. Figure 4、Figure 5、あるいは Figure 6 から、正しいインダクタ値の選択ガイドを選んで下さい。(3.3V、5V、あるいは 12V の各出力電圧。) 他の出力電圧については、可変タイプのデザイン手順を参照して下さい。</p> <p>B. インダクタ値の選択ガイドから、$V_{IN(Max)}$ と $I_{LOAD(Max)}$ が交差するインダクタの領域を見つけて下さい。各領域は、インダクタンスの値とインダクタ・コード (LXX) で識別されています。</p> <p>C. 適当なインダクタを、Figure 8 に示す表から選んで下さい。</p> <p>2. 出力コンデンサの選択 (C_{OUT})</p> <p>A. 多くのアプリケーションでは、82 μF から 820 μF の低 ESR (等価直列抵抗) タイプ電解コンデンサや 10 μF から 470 μF の低 ESR 固体タンタル電解コンデンサにより、最良の結果が得られます。このコンデンサは、コンデンサのリードと銅パターンを短くして、IC の近くに配置しなければなりません。820 μF より大きなコンデンサは使わないで下さい。</p> <p>詳しくは、アプリケーション情報の出力コンデンサの項を参照して下さい。</p> <p>B. コンデンサの選択手順を簡単にするために、Figure 2 に示されている、デザイン用部品の選択のための早見表を参照して下さい。この表には、異なった入力電圧、出力電圧、および負荷電流が含まれており、最善の解決法を与える、多様なインダクタとコンデンサが載せてあり、最適な設計法を提供します。</p> <p>C. 電解コンデンサの定格電圧は、出力電圧の少なくとも 1.5 倍が安全のために必要です。出力のリップル電圧を低く抑えるための低 ESR の条件を満たすためには、多くの場合、さらに高耐圧のコンデンサが必要になります。</p> <p>D. コンピュータ支援設計ソフトウェアについては、Switchers Made Simple[®] (Version 4.3 以降) を参照して下さい。</p>	<p>与式:</p> <p>$V_{OUT} = 5V$</p> <p>$V_{IN(Max)} = 12V$</p> <p>$I_{LOAD(Max)} = 3A$</p> <p>1. インダクタの選択 (L1)</p> <p>A. Figure 5 に示されている、5V バージョン用のインダクタ選択ガイドを使って下さい。</p> <p>B. Figure 5 のインダクタ値選択ガイドから、12V の線と 3A の線が交差する領域、33 μH と L40 が得られます。</p> <p>C. 必要なインダクタンス値は 33 μH です。Figure 8 の表の L40 の行をたどり、そこに示されているメーカー 4 社のどれかから、インダクタの部品番号を選んで下さい。(ほとんどの場合、スルーホールと表面実装の両方も入手可能です。)</p> <p>2. 出力コンデンサの選択 (C_{OUT})</p> <p>A. アプリケーション情報の出力コンデンサの項を参照して下さい。</p> <p>B. Figure 2 のデザイン部品選択早見表から、5V 出力電圧の箇所を見ます。負荷電流の列から、アプリケーションに必要な電流に最も近いものを選びます。この例では、3A を選びます。最大入力電圧の列で、アプリケーションに必要な入力電圧以上のものを選びます。この例では、15V を選びます。この行の推奨インダクタとコンデンサは一般的に良い特性が得られます。</p> <p>コンデンサのリストには、コンデンサ・メーカー 4 社の、スルーホールの電解コンデンサと表面実装のタンタル電解コンデンサの両方が含まれています。表に載っているメーカーとメーカーのシリーズの両方を推奨します。</p> <p>この例では、いくつかのメーカーから、必要な ESR 値の範囲のアルミ電解コンデンサが入手できます。</p> <p style="padding-left: 40px;">330 μF 35V パナソニック HFQ シリーズ</p> <p style="padding-left: 40px;">330 μF 35V ニチコン PL シリーズ</p> <p>C. 5V 出力の場合、少なくとも 7.5V 以上の定格電圧のコンデンサが必要です。しかし、低 ESR の、スイッチング電源用の、220 μF 10V のアルミ電解コンデンサでも約 225m の ESR が存在します。(Figure 17 の ESR と定格電圧の曲線を参照)。この大きさの ESR だと、出力のリップル電圧がかなり高くなります。リップルを出力電圧の 1% 以下に抑えるには、定格電圧がより高い (ESR が低い) コンデンサを選んで下さい。16V あるいは 25V のコンデンサならリップル電圧を約半分に削減できます。</p>

LM2599 シリーズ降圧型 (バック) レギュレータ設計手順 (固定出力電圧バージョン) (つづき)

手順 (固定出力電圧バージョン)	例 (固定出力電圧バージョン)
<p>3. キャッチ・ダイオードの選択 (D1)</p> <p>A. キャッチ・ダイオードの定格電流は、最大負荷電流の少なくとも 1.3 倍なければなりません。また、電源の設計上、連続的な出力の短絡状態に耐えなければならない場合、ダイオードの定格電流は、LM2599 の最大電流制限値と等しくなければなりません。このダイオードにとって、最もストレスのかかる状態は、過負荷や出力の短絡です。</p> <p>B. ダイオードの定格逆電圧は、最大入力電圧の少なくとも 1.25 倍なければなりません。</p> <p>C. このダイオードは高速 (短逆回復時間) でなければならず、リードと PC ボードのパターンを短くして、LM2599 の近くに配置しなければなりません。ショットキ・ダイオードは、スイッチングが高速で、順方向電圧降下が小さいので、多くの場合最良の性能と効率が得られ、特に、低出力電圧のアプリケーションでは第 1 の選択となります。ウルトラ・ファースト・リカバリや高効率ダイオードも良い結果を与えますが、ターンオフが急激なものは、非安定性や EMI の問題を起こすことがあります。ウルトラ・ファースト・リカバリ・ダイオードの逆回復時間の代表値は 50ns 以下です。1N5400 シリーズのようなダイオードは遅すぎるので、使ってはけません。</p> <p>4. 入力コンデンサ (C_{IN})</p> <p>大きな電圧トランジェントが入力に現れるのを防ぐため、低 ESR の、アルミあるいはタンタルのバイパス・コンデンサが、入力ピンとグラウンド間に必要です。さらに、入力コンデンサの許容リップル電流は、DC 負荷電流の少なくとも 1/2 のものを選ばなければなりません。コンデンサ・メーカーのデータシートをチェックして、この定格電流を超えていないことを確認して下さい。Figure 16 の曲線は、いくつかのアルミ電解コンデンサの許容リップル電流の代表値を示しています。</p> <p>このコンデンサは、リードを短くして、IC の近くに配置して下さい。定格電圧は、最大入力電圧の約 1.5 倍でなければなりません。</p> <p>固体タンタル電解コンデンサを使う場合、メーカーによってサージ電流テストが行われているものを推奨します。</p> <p>入力のバイパスにセラミック・コンデンサを使うときは、V_{IN} ピンに激しいリンキングが生じる場合があるので、注意して下さい。</p> <p>詳しくは、アプリケーション情報の入力コンデンサの項を参照して下さい。</p>	<p>3. キャッチ・ダイオードの選択 (D1)</p> <p>A. Figure 11 の表を参照して下さい。この例では、5A、20V の 1N5823 ショットキ・ダイオードが最良の特性をもたらし、出力の短絡などの過負荷でも壊れません。</p> <p>4. 入力コンデンサ (C_{IN})</p> <p>入力コンデンサの重要なパラメータは、定格入力電圧と許容リップル電流です。12V の入力電圧では、定格電圧が $18V(1.5 \times V_{IN})$ 以上のアルミ電解コンデンサが必要です。この値以上の定格電圧クラスは 25V です。</p> <p>バック・レギュレータの入力コンデンサに必要な許容リップル電流は、DC 負荷電流の約 1/2 です。この例では、3A の負荷なので、許容リップル電流が少なくとも 1.5A のコンデンサが必要です。Figure 16 の曲線を使って、適当な入力コンデンサを選ぶことができます。曲線から、35V 定格で、1.5A 以上の許容リップル電流のものを選びます。35V で 680μF のコンデンサを使うことができます。</p> <p>スルーホール設計では、680μF/35V の電解コンデンサ (パナソニックの HFQ シリーズ、ニチコンの PL シリーズ、あるいは相当品) が適当でしょう。他のタイプあるいは、他のメーカーのコンデンサは、許容リップル電流の定格が適当であれば使うことができます。</p> <p>表面実装設計では、固体タンタル電解コンデンサを推奨します。AVX 社から TPS シリーズが、Sprague 社から 593D シリーズが販売され、両方ともサージ電流のテストがなされています。</p>

LM2599 シリーズ降圧型 (バック) レギュレータ設計手順 (固定出力電圧バージョン) (つづき)

Conditions			Inductor		Output Capacitor			
Output Voltage (V)	Load Current (A)	Max Input Voltage (V)	Inductance (μH)	Inductor (#)	Through Hole Electrolytic		Surface Mount Tantalum	
					Panasonic HFQ Series (μF/V)	Nichicon PL Series (μF/V)	AVX TPS Series (μF/V)	Sprague 595D Series (μF/V)
3.3	3	5	22	L41	470/25	560/16	330/6.3	390/6.3
		7	22	L41	560/35	560/35	330/6.3	390/6.3
		10	22	L41	680/35	680/35	330/6.3	390/6.3
	2	40	33	L40	560/35	470/35	330/6.3	390/6.3
		6	22	L33	470/25	470/35	330/6.3	390/6.3
		10	33	L32	330/35	330/35	330/6.3	390/6.3
5	3	40	47	L39	330/35	270/50	220/10	330/10
		8	22	L41	470/25	560/16	220/10	330/10
		10	22	L41	560/25	560/25	220/10	330/10
	2	15	33	L40	330/35	330/35	220/10	330/10
		9	22	L33	470/25	560/16	220/10	330/10
		20	68	L38	180/35	180/35	100/10	270/10
12	3	40	68	L38	180/35	180/35	100/10	270/10
		15	22	L41	470/25	470/25	100/16	180/16
		18	33	L40	330/25	330/25	100/16	180/16
	2	30	68	L44	180/25	180/25	100/16	120/20
		40	68	L44	180/35	180/35	100/16	120/20
		15	33	L32	330/25	330/25	100/16	180/16
2	20	68	L38	180/25	180/25	100/16	120/20	
	40	150	L42	82/25	82/25	68/20	68/25	

FIGURE 2. LM2599 Fixed Voltage Quick Design Component Selection Table

LM2599 シリーズ降圧型 (バック) レギュレータ設計手順 (可変出力電圧バージョン)

手順 (可変出力電圧バージョン)	例 (可変出力電圧バージョン)
<p>与式:</p> <p>V_{OUT} = 出力電圧</p> <p>$V_{IN(Max)}$ = 最大入力電圧</p> <p>$I_{LOAD(Max)}$ = 最大負荷電流</p> <p>F = スイッチング周波数 (150kHz で固定)</p> <p>1. 出力電圧のプログラミング (R_1 と R_2 を選択、Figure 1 参照)</p> <p>次式を使って、適当な抵抗値を選択します。</p> $V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad \text{ここで } V_{REF} = 1.23V$ <p>R_1 は 240 と 1.5k の間で選びます。抵抗値を小さくすると、高感度なフィードバック・ピンでひろうノイズを最小にできます。(最適温度係数および、経年変化に対する安定した精度を得るために、1%の金属皮膜抵抗を使って下さい。)</p> $R_2 = R_1 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right)$	<p>与式:</p> <p>$V_{OUT} = 20V$</p> <p>$V_{IN(Max)} = 28V$</p> <p>$I_{LOAD(Max)} = 3A$</p> <p>F = スイッチング周波数 (150kHz で固定)</p> <p>1. 出力電圧のプログラミング (R_1 と R_2 を選択、Figure 1 参照)</p> <p>R_1 に 1k、1%を選択。 R_2 は、</p> $R_2 = R_1 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right) = 1k \left(\frac{20V}{1.23V} - 1 \right)$ <p>$R_2 = 1k(16.26 - 1) = 15.26k$、1%抵抗で近い値15.4k を用います。 $R_2 = 15.4k$。</p>

LM2599 シリーズ降圧型 (バック) レギュレータ設計手順 (可変出力電圧バージョン) (つづき)

手順 (可変出力電圧バージョン)	例 (可変出力電圧バージョン)
<p>2. インダクタの選択 (L1)</p> <p>A. 次式を使って、インダクタのボルト・マイクロ秒定数 $E \cdot T$ ($V \cdot \mu s$) を計算します。</p> $E \cdot T = (V_{IN} - V_{OUT} - V_{SAT}) \cdot \frac{V_{OUT} + V_D}{V_{IN} - V_{SAT} + V_D} \cdot \frac{1000}{150 \text{ kHz}} (V \cdot \mu s)$ <p>ここで、V_{SAT} = 内部スイッチ飽和電圧 = 1.16V、V_D = ダイオードの順方向電圧降下 = 0.5V。</p> <p>B. 上式の $E \cdot T$ 値を使い、Figure 7 のインダクタンス選択ガイドの縦軸の $E \cdot T$ 値を選択します。</p> <p>C. 横軸から、最大負荷電流を選びます。</p> <p>D. $E \cdot T$ 値と最大負荷電流値の交点からインダクタンス領域を求めます。各領域は、インダクタンスの値とインダクタ・コード (LXX) で識別されています。</p> <p>E. 適切なインダクタを、Figure 8 に示す表から選んで下さい。</p> <p>3. 出力コンデンサの選択 (C_{OUT})</p> <p>A. 多くのアプリケーションでは、82 μF から 820 μF の、低 ESR 電解コンデンサ、あるいは固体タンタル電解コンデンサで、最良の結果が得られます。このコンデンサは、コンデンサのリードと銅パターンを短くして、IC の近くに配置しなければなりません。820 μF よりも大きなコンデンサは使わないで下さい。詳しくは、アプリケーション情報の出力コンデンサの項を参照して下さい。</p> <p>B. コンデンサの選択手順を簡単にするため、Figure 3 のデザイン早見表を参照して下さい。この表には、異なった出力電圧が含まれており、最良の結果が得られる、多様な出力コンデンサが載っています。</p> <p>C. コンデンサの定格電圧は、出力電圧の少なくとも 1.5 倍必要です。出力のリプル電圧を低く抑えるための低 ESR の条件を満たすためには、多くの場合、さらにずっと高い定格電圧のコンデンサが必要になります。</p> <p>4. フィードフォワード・コンデンサ (C_{FF}) (Figure 1 を参照)</p> <p>約 10V 以上の出力電圧に対して、さらに 1 つのコンデンサが必要です。出力電圧設定用抵抗 R_2 と並列に、100pF ~ 33nF の間の補償コンデンサを接続します。これにより、高出力電圧、低入出力電圧差、また、固体タンタル電解コンデンサのような、非常に低い ESR の出力コンデンサの場合でも安定性が得られます。</p> $C_{FF} = \frac{1}{31 \times 10^3 \times R_2}$ <p>このコンデンサは、セラミック、プラスチック、銀マイカ等、いずれのタイプでもかまいません。(Z5U の素材で作られたセラミック・コンデンサは不安定なので、推奨できません。)</p>	<p>2. インダクタの選択 (L1)</p> <p>A. インダクタのボルト・マイクロ秒定数 $E \cdot T (V \cdot \mu s)$ を計算します。</p> $E \cdot T = (28 - 20 - 1.16) \cdot \frac{20 + 0.5}{28 - 1.16 + 0.5} \cdot \frac{1000}{150} (V \cdot \mu s)$ $E \cdot T = (6.84) \cdot \frac{20.5}{27.34} \cdot 6.67 (V \cdot \mu s) = 34.2 (V \cdot \mu s)$ <p>B. $E \cdot T = 34.2 (V \cdot \mu s)$</p> <p>C. $I_{LOAD}(\text{Max}) = 3A$</p> <p>D. Figure 7 のインダクタ値の選択ガイドから、縦軸 34($V \cdot \mu s$) と横軸 3A が交差する領域から、47 μH と、インダクタ・コードは L39 が得られます。</p> <p>E. Figure 8 の表から、L39 に相当するインダクタを、4 つのメーカーの部品番号から、選びます。</p> <p>3. 出力コンデンサの選択 (C_{OUT})</p> <p>A. アプリケーション情報のセクションの C_{OUT} の項を参照して下さい。</p> <p>B. Figure 3 のデザイン早見表から、出力電圧の列を見ます。その列から、アプリケーションに最も近い出力電圧を選びます。この例では、24V を選びます。出力コンデンサのセクションの、4 つのメーカーの、スルーホール電解コンデンサと表面実装のタンタル電解コンデンサからコンデンサを選びます。表に掲載されているメーカーとシリーズの両方を推奨します。</p> <p>この例では、いくつかのメーカーから、スルーホールのアルミ電解コンデンサが供給されています。</p> <p>220 $\mu F/35V$ パナソニック HFQ シリーズ 150 $\mu F/35V$ ニチコン PL シリーズ</p> <p>C. 20V の出力の場合、コンデンサの定格は少なくとも 30V 以上必要です。この例では、35V か 50V のコンデンサで充分でしょう。ESR が低く、出力リプル電圧を低くできるので、50V のものを選択しました。</p> <p>コンデンサの仕様 (特に 100kHz での ESR) が表の製品と近い場合、他のメーカーの、あるいは、他のタイプのコンデンサを使うこともできます。これに関しては、コンデンサ・メーカーのデータシートを参照して下さい。</p> <p>4. フィードフォワード・コンデンサ (C_{FF})</p> <p>Figure 3 の表には、様々な出力電圧に対するフィードフォワード・コンデンサの値が示してあります。この例では、560pF のコンデンサを選択します。</p>

LM2599 シリーズ降圧型 (バック) レギュレータ設計手順 (可変出力電圧バージョン) (つづき)

手順 (可変出力電圧バージョン)	例 (可変出力電圧バージョン)
<p>5. キャッチ・ダイオードの選択 (D1)</p> <p>A. キャッチ・ダイオードの定格電流は、最大負荷電流の少なくとも 1.3 倍なければなりません。また、電源の設計上、連続的な出力の短絡状態に耐えなければならない場合、ダイオードの定格電流は、LM2599 の最大電流制限値と等しくなければなりません。このダイオードにとって、最もストレスのかかる状態は、過負荷や出力の短絡です。</p> <p>B. ダイオードの定格逆電圧は、最大入力電圧の少なくとも 1.25 倍なければなりません。</p> <p>C. このダイオードは高速 (短回復時間) でなければならず、リードと PC ボードのパターンを短くして、LM2599 の近くに配置しなければなりません。ショットキ・ダイオードは、スイッチングが高速で、順方向電圧降下が小さいので、多くの場合最良の性能と効率が得られ、特に、低出力電圧のアプリケーションでは第 1 の選択となります。ウルトラ・ファースト・リカバリや高効率ダイオードも良い結果を与えますが、ターンオフが急激なものは、非安定性や EMI の問題を起こすことがあります。ウルトラ・ファースト・リカバリ・ダイオードの回復時間の代表値は 50ns 以下です。1N4001 シリーズのようなダイオードは遅すぎるので、使ってはけません。</p> <p>6. 入力コンデンサ (C_{IN})</p> <p>大きな電圧トランジェントが入力に現れるのを防ぐため、低 ESR の、アルミあるいはタンタルのバイパス・コンデンサが、入力ピンとグラウンド間に必要です。さらに、入力コンデンサの許容リップル電流は、DC 負荷電流の少なくとも 1/2 のものを選ばなければなりません。コンデンサ・メーカーのデータシートをチェックして、この定格電流を超えていないことを確認して下さい。Figure 16 の曲線は、いくつかのアルミ電解コンデンサの許容リップル電流の代表値を示しています。</p> <p>このコンデンサは、リードを短くして、IC の近くに配置して下さい。定格電圧は、最大入力電圧の約 1.5 倍でなければなりません。</p> <p>固体タンタル電解コンデンサを使う場合、メーカーによってサージ電流テストが行われているものを推奨します。</p> <p>入力のバイパスに誘電率の高いセラミック・コンデンサを使うときは、V_{IN} ピンに激しいリンギングが生じる場合があるので注意して下さい。</p> <p>詳しくは、アプリケーション情報の入力コンデンサの項を参照して下さい。</p>	<p>5. キャッチ・ダイオードの選択 (D1)</p> <p>A. Figure 11 の表を参照して下さい。ショットキ・ダイオードが最良の特性をもたらします。この例では、3A、40V の 1N5825 ショットキ・ダイオードを選ぶと良いでしょう。3A の定格なら充分で、出力短絡などの過負荷でも壊れません。</p> <p>6. 入力コンデンサ (C_{IN})</p> <p>入力コンデンサの重要なパラメータは、定格入力電圧と許容リップル電流です。入力電圧が 28V のとき、定格電圧が 42V (1.5 × V_{IN}) 以上のアルミ電解コンデンサが必要です。この値以上の定格電圧は 50V なので、50V のコンデンサを使います。(1.5 × V_{IN}) のコンデンサ定格電圧はマージンを持たせた値なので、必要があれば変更することは可能です。いくらか修正することができます。</p> <p>バック・レギュレータの入力コンデンサに必要な許容リップル電流は、DC 負荷電流の約 1/2 です。この例では、3A の負荷なので、許容リップル電流が少なくとも 1.5A のコンデンサが必要です。</p> <p>Figure 16 の曲線を使って、適当な入力コンデンサを選ぶことができます。曲線から、50V 定格で、1.5A 以上の許容リップル電流のものを選びます。50V で 470μF または 680μF のコンデンサを使うことができます。</p> <p>スルーホール設計では、680μF/50V の電解コンデンサ (パナソニックの HFQ シリーズ、ニチコンの PL シリーズ、あるいは相当品) が適当でしょう。他のタイプあるいは、他のメーカーのコンデンサは、許容リップル電流の定格が適当であれば使うことができます。</p> <p>表面実装のデザインでは、固体タンタル電解コンデンサが使えますが、コンデンサのサージ電流の定格に注意して下さい (このデータシートのアプリケーション情報の入力コンデンサの項を参照して下さい)。AVX 社から TPS シリーズが、Sprague 社から 593D シリーズが販売され、両方ともサージ電流のテストがなされています。</p> <p>バック・レギュレータのデザイン手順をさらに簡単にするため、ナショナル セミコンダクター社は、SIMPLE SWITCHER シリーズのスイッチング・レギュレータ用に、コンピュータ設計を支援するソフトウェアを提供しています。Switchers Made Simple[®] (Version 4.3 以降) のソフトウェアは、IBM コンパチブル PC 用のディスクレット (3.5 インチ) で入手できます。また、URL からダウンロード可能です (http://www.national.com/appinfo/power/index.html)。</p>

LM2599 シリーズ降圧型 (バック) レギュレータ設計手順 (可変出力電圧バージョン) (つづき)

Output Voltage (V)	Through Hole Output Capacitor			Surface Mount Output Capacitor		
	Panasonic HFQ Series (μF/V)	Nichicon PL Series (μF/V)	Feedforward Capacitor	AVX TPS Series (μF/V)	Sprague 595D Series (μF/V)	Feedforward Capacitor
2	820/35	820/35	33 nF	330/6.3	470/4	33 nF
4	560/35	470/35	10 nF	330/6.3	390/6.3	10 nF
6	470/25	470/25	3.3 nF	220/10	330/10	3.3 nF
9	330/25	330/25	1.5 nF	100/16	180/16	1.5 nF
12	330/25	330/25	1 nF	100/16	180/16	1 nF
15	220/35	220/35	680 pF	68/20	120/20	680 pF
24	220/35	150/35	560 pF	33/25	33/25	220 pF
28	100/50	100/50	390 pF	10/35	15/50	220 pF

FIGURE 3. Output Capacitor and Feedforward Capacitor Selection Table

LM2599 シリーズ降圧型 (バック) レギュレータ設計手順

インダクタンス選択ガイド (連続動作モード)

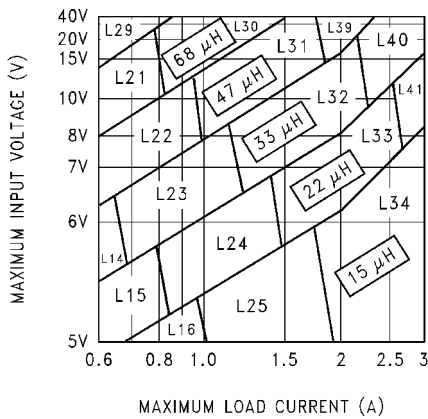


FIGURE 4. LM2599-3.3

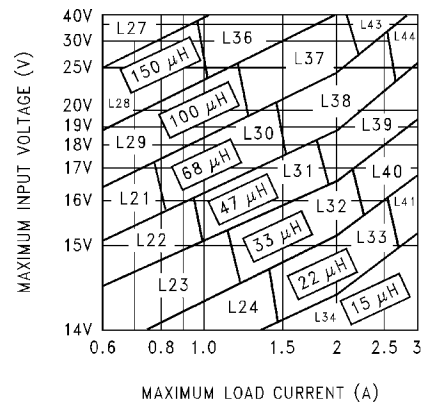


FIGURE 6. LM2599-12

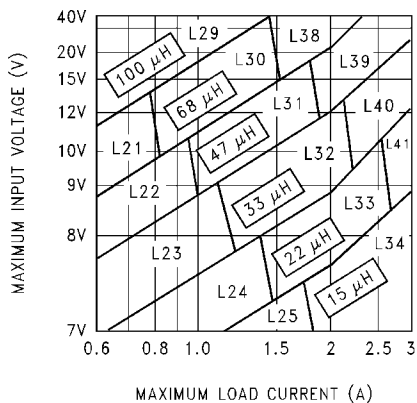


FIGURE 5. LM2599-5.0

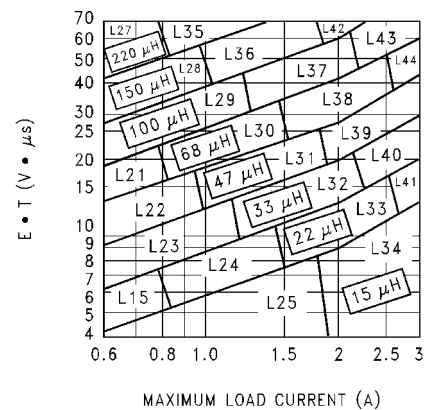


FIGURE 7. LM2599-ADJ

LM2599 シリーズ降圧型 (バック) レギュレータ設計手順 (可変出力電圧バージョン) (つづき)

	Inductance (μ H)	Current (A)	Schott		Renco		Pulse Engineering		Coilcraft
			Through Hole	Surface Mount	Through Hole	Surface Mount	Through Hole	Surface Mount	Surface Mount
L15	22	0.99	67148350	67148460	RL-1284-22-43	RL1500-22	PE-53815	PE-53815-S	DO3308-223
L21	68	0.99	67144070	67144450	RL-5471-5	RL1500-68	PE-53821	PE-53821-S	DO3316-683
L22	47	1.17	67144080	67144460	RL-5471-6		PE-53822	PE-53822-S	DO3316-473
L23	33	1.40	67144090	67144470	RL-5471-7		PE-53823	PE-53823-S	DO3316-333
L24	22	1.70	67148370	67148480	RL-1283-22-43		PE-53824	PE-53825-S	DO3316-223
L25	15	2.1	67148380	67148490	RL-1283-15-43		PE-53825	PE-53824-S	DO3316-153
L26	330	0.80	67144100	67144480	RL-5471-1		PE-53826	PE-53826-S	DOS022P-334
L27	220	1.00	67144110	67144490	RL-5471-2		PE-53827	PE-53827-S	DOS022P-224
L28	150	1.20	67144120	67144500	RL-5471-3		PE-53828	PE-53828-S	DOS022P-154
L29	100	1.47	67144130	67144510	RL-5471-4		PE-53829	PE-53829-S	DOS022P-104
L30	68	1.78	67144140	67144520	RL-5471-5		PE-53830	PE-53830-S	DOS022P-683
L31	47	2.2	67144150	67144530	RL-5471-6		PE-53831	PE-53831-S	DOS022P-473
L32	33	2.5	67144160	67144540	RL-5471-7		PE-53932	PE-53932-S	DOS022P-333
L33	22	3.1	67148390	67148500	RL-1283-22-43		PE-53933	PE-53933-S	DOS022P-223
L34	15	3.4	67148400	67148790	RL-1283-15-43		PE-53934	PE-53934-S	DOS022P-153
L35	220	1.70	67144170		RL-5473-1		PE-53935	PE-53935-S	
L36	150	2.1	67144180		RL-5473-4		PE-54036	PE-54036-S	
L37	100	2.5	67144190		RL-5472-1		PE-54037	PE-54037-S	
L38	68	3.1	67144200		RL-5472-2		PE-54038	PE-54038-S	
L39	47	3.5	67144210		RL-5472-3		PE-54039	PE-54039-S	
L40	33	3.5	67144220	67148290	RL-5472-4		PE-54040	PE-54040-S	
L41	22	3.5	67144230	67148300	RL-5472-5		PE-54041	PE-54041-S	
L42	150	2.7	67148410		RL-5473-4		PE-54042	PE-54042-S	
L43	100	3.4	67144240		RL-5473-2		PE-54043		
L44	68	3.4	67144250		RL-5473-3		PE-54044		

FIGURE 8. Inductor Manufacturers Part Numbers

Coilcraft Inc.	Phone	(800) 322-2645
	FAX	(708) 639-1469
Coilcraft Inc., Europe	Phone	+ 11 1236 730 595
	FAX	+ 44 1236 730 627
Pulse Engineering Inc.	Phone	(619) 674-8100
	FAX	(619) 674-8262
Pulse Engineering Inc., Europe	Phone	+ 353 93 24 107
	FAX	+ 353 93 24 459
Renco Electronics Inc.	Phone	(800) 645-5828
	FAX	(516) 586-5562
Schott Corp.	Phone	(612) 475-1173
	FAX	(612) 475-1786

FIGURE 9. Inductor Manufacturers Phone Numbers

LM2599 シリーズ降圧型 (バック) レギュレータ設計手順 (可変出力電圧バージョン) (つづき)

Nichicon Corp.	Phone	(708) 843-7500
	FAX	(708) 843-2798
Panasonic	Phone	(714) 373-7857
	FAX	(714) 373-7102
AVX Corp.	Phone	(803) 448-9411
	FAX	(803) 448-1943
Sprague/Vishay	Phone	(207) 324-4140
	FAX	(207) 324-7223

FIGURE 10. Capacitor Manufacturers Phone Numbers

VR	3 Amp Diodes				4 to 6 Amp Diodes			
	Surface Mount		Through Hole		Surface Mount		Through Hole	
	Schottky	Ultra Fast Recovery	Schottky	Ultra Fast Recovery	Schottky	Ultra Fast Recovery	Schottky	Ultra Fast Recovery
20V	SK32	All of these diodes are rated to at least 50V.	1N5820	All of these diodes are rated to at least 50V.		All of these diodes are rated to at least 50V.	SR502	All of these diodes are rated to at least 50V.
			SR302				1N5823	
			MBR320				SB520	
30V	30WQ03 SK33	are rated to at least 50V.	1N5821	are rated to at least 50V.	50WQ03	are rated to at least 50V.	SR503	are rated to at least 50V.
			MBR330				1N5824	
			31DQ03				SB530	
40V	SK34 MBRS340 30WQ04	MURS320 30WF10	1N5822	MUR320	50WQ04	MURS620 50WF10	SR504	MUR620 HER601
			SR304				1N5825	
			MBR340				SB540	
50V or more	SK35 MBRS360 30WQ05		31DQ04				SB550	
			SR305				50SQ080	
			MBR350					
			31DQ05					

FIGURE 11. Diode Selection Table

ブロック図

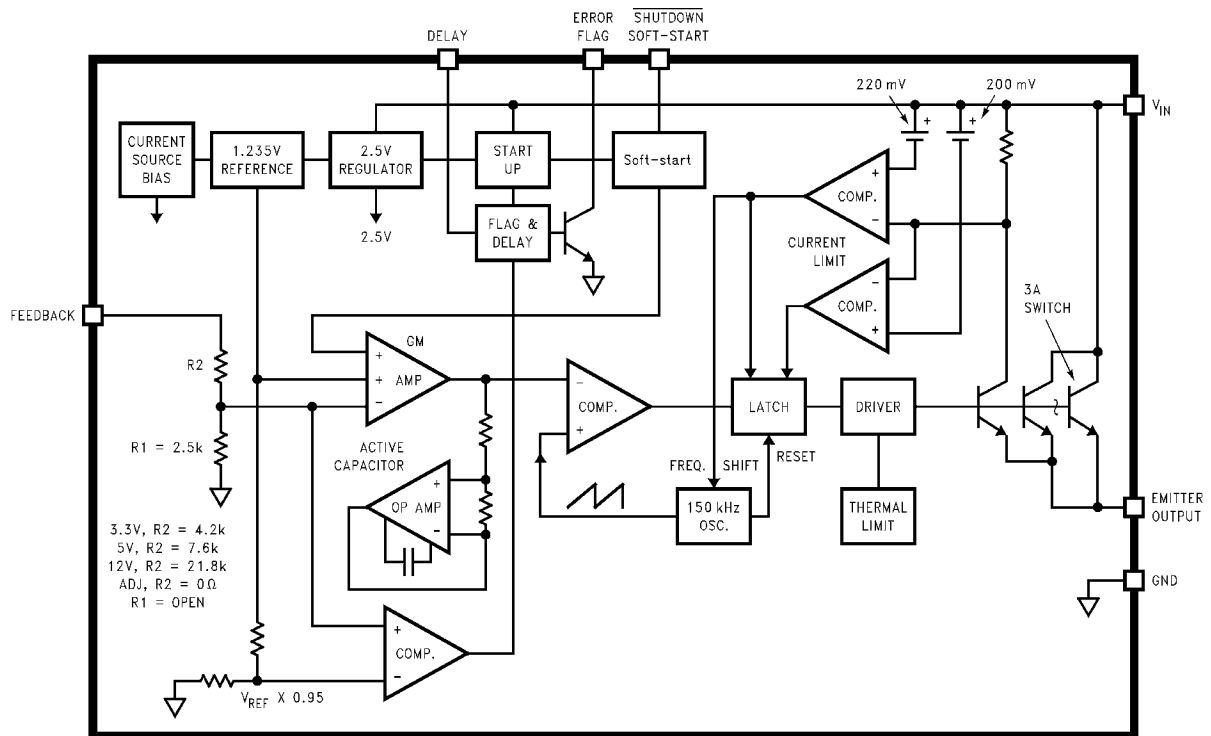


FIGURE 12.

アプリケーション情報

ピン機能

+ V_{IN} (1ピン) スイッチング・レギュレータICの、正電源ピン。トランジェント電圧の抑制と、スイッチング電流の供給のため、適当な入力バイパス・コンデンサを接続しなければなりません。

グラウンド (4ピン) グラウンド。

出力 (2ピン) 内部スイッチ。この端子の電圧は、(+ V_{IN} - V_{SAT})と約 - 0.5Vのあいだを、V_{OUT}/V_{IN}のデューティ・サイクルで、切り換わります。敏感な回路部分とのカップリングを押さえるため、この端子に接続するPCボード上の銅領域はできるだけ小さくしなければなりません。

フィードバック (6ピン) 出力電圧を検出し、フィードバック・ループを形成します。

シャットダウン / ソフト・スタート (7ピン) この二重機能の端子により、次の機能が実現されます。(a) ロジックレベルの信号で、スイッチング・レギュレータをシャットダウンし、電源電流を約 80μAに落とすことができます。(b) このピンにコンデンサを付加することで、立ち上がり時の電流を最小に抑さえ、出力電圧の上昇を制御するソフトスタートを実現できます。

エラー・フラグ (3ピン) オープンコレクタの出力で、出力電圧が規定の電圧より5%以上低下すると、ローの信号を出力します(フラグ・トランジスタがオン)。起動時エラー・フラグは、V_{OUT}が規定電圧の95%に達し、デレイピンのコンデンサで設定したデレイ時間が経過するまでローを出力します。この信号は、電源立ち上げ時の、マイクロプロセッサのリセットとして使うことができます。

デレイ (5ピン) 電源立ち上げ時に、出力電圧が規定電圧の95%に達してから、エラー・フラグ出力がハイになるまでのデレイ時間を設定するのに使います。

注意: 上記の3つの機能(シャットダウン / ソフト・スタート、エラー・フラグ、あるいはデレイ)のいずれかを使わない場合、それに該当する端子はオープンにしておいて下さい。

外付け部品

ソフト・スタート用コンデンサ

C_{SS} このピンにコンデンサを接続することにより、レギュレータにはソフト・スタート(スロー・スタートアップ)機能が加わります。DC入力電圧が最初にレギュレータに印加されるか、シャットダウン / ソフト・スタートのピンがハイ状態になると、定電流(約5μA)がこのコンデンサを充電し始めます。コンデンサの電圧が上昇するとともに、レギュレータは4つの動作領域を通過します(Figure 13の一番下のグラフを参照して下さい)。

1. レギュレータのシャットダウン。 $\overline{\text{SD/SS}}$ ピンの電圧が0Vから1.3Vのあいだにあるとき、レギュレータはシャットダウン状態になり、出力電圧は0Vで、ICの待機時消費電流は約85μAになります。

2. レギュレータはオンしかし出力電圧は0V。 $\overline{\text{SD/SS}}$ ピンの電圧が約1.3Vから1.8Vのあいだにあるとき、レギュレータの内部回路は動作し、待機時消費電流は約5mAまで増加しますが、出力電圧は0Vのままです。1.3Vのスレッシュホールドを超すと、ソフト・スタート用コンデンサの充電電流は5μAから約1.6μAへ低下します。このため、コンデンサ電圧の上昇率は下がります。

3. ソフト・スタートの領域。 $\overline{\text{SD/SS}}$ ピンの電圧が1.8Vから2.8Vのあいだにあるとき(@ 25°C)、レギュレータはソフト・スタートの状態にあります。スイッチ(2ピン)のデューティ・サイクルは、最初は非常に低く始まり、パルス幅は狭く、 $\overline{\text{SD/SS}}$ ピンのコンデンサが2.8Vに向かって上昇していくにつれ、徐々にパルス幅が広がっていきます。デューティ・サイクルが増すと、出力電圧も制御され

アプリケーション情報 (つづき)

た上昇率で増加していきます。Figure 13 の中央のグラフを参照して下さい。電源電流も狭いパルス幅のときは低く、次第に増加していきます。この機能は、立ち上がり電流が非常に大きい(反転型のような)構成の場合でも、おおもとの電源を過負荷にせず、立ち上げることが出来る便利な機能です。

Note: Figure 13 の下のグラフには、0%から 100%のソフト・スタートの領域が示されています。これはデューティ・サイクルのパーセントではなく、出力電圧のパーセントです。また、ソフト・スタートの電圧範囲は、負の温度係数を持っています。電気的特性のセクションのソフト・スタートのカーブを参照して下さい。

4. 通常動作。 SD/SS ピンの電圧が 2.8V 以上では、回路は、標準的な PWM のスイッチング・レギュレータとして動作します。コンデンサは、約 7V の内部クランプ電圧に達するまで、引き続き充電されます。このピンを電圧源で駆動する場合、電流は約 1mA に制限しなければなりません。

LM2599 を約 7V の内部ソフト・スタートクランプ電圧以下の入力電圧で動作させるときは、SD/SS ピンの電圧は、入力電圧を追跡するため、電圧のステップ状の変化の影響を受けることがあります。このような状況で機能を正しく維持するためには、SD/SS ピンを最大 3V のソフト・スタートのスレッシュホルド電圧と 4.5V の最小入力電圧値の間で外部クランプして下さい。3.7V (概略値) の外部クランプ電圧で電源電圧関連のステップ状のグリッチを防止している例を Figure 15 に示します。このクランプ電圧による、部品のソフト・スタート動作への影響はありません。

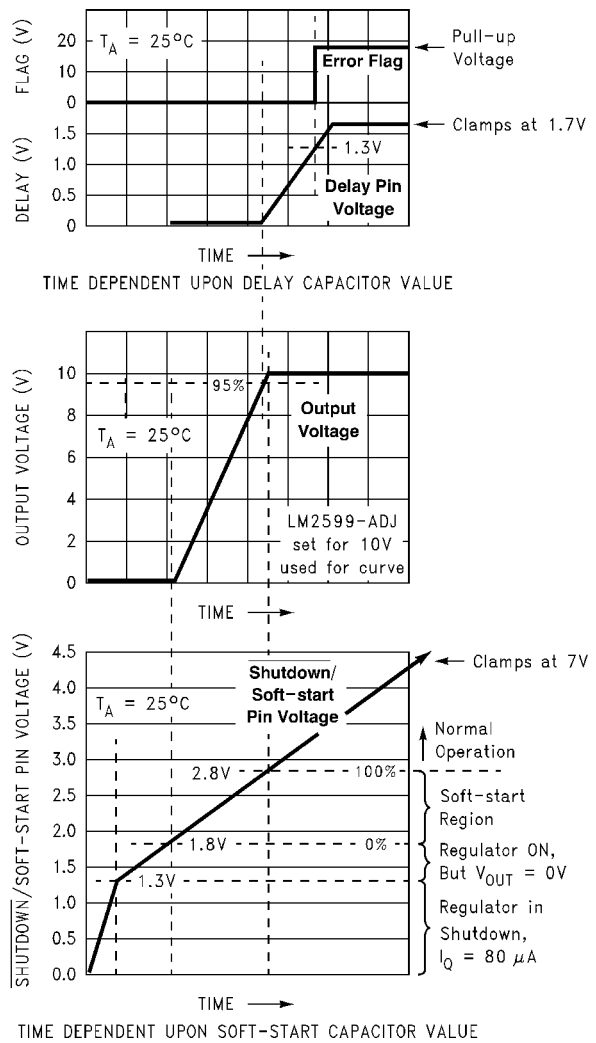


FIGURE 13. Soft-start, Delay, Error, Output

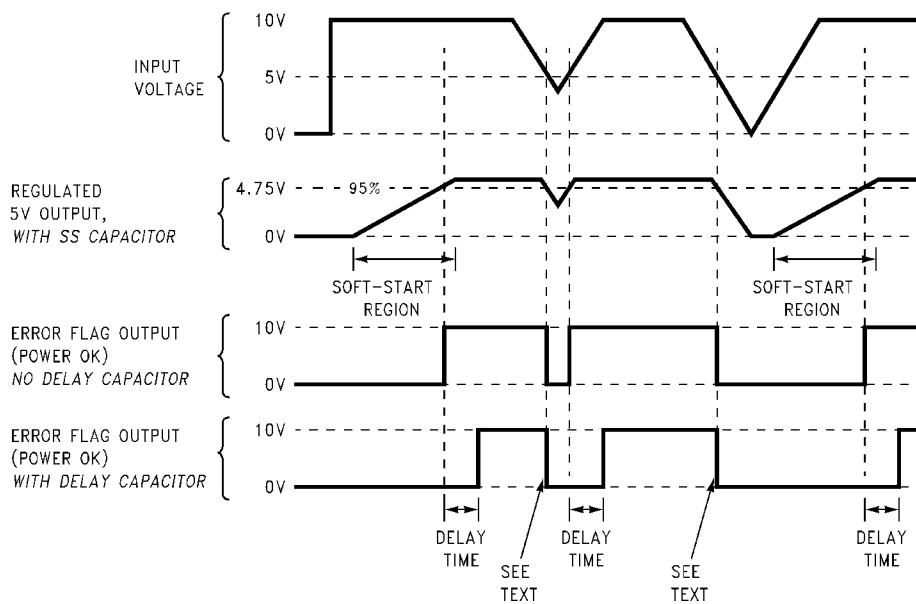


FIGURE 14. Timing Diagram for 5V Output

アプリケーション情報 (つづき)

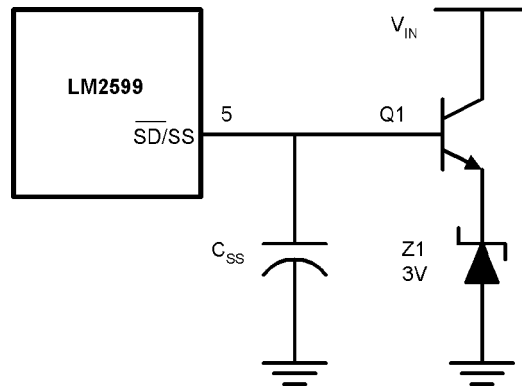


FIGURE 15. External 3.7V Soft-Start Clamp

デレイ・コンデンサ

C_{DELAY} エラー・フラグ出力のデレイを設定します。Figure 13 の一番上のグラフと、Figure 14 のタイミング・ダイアグラムを参照して下さい。このピンに接続されたコンデンサは、出力電圧が (値を増加させていくとき) 規定電圧の 95% に達したときから、エラー・フラグ出力がハイになるまでの遅延時間を設定します。デレイピンからの 3 μ A の定電流がデレイコンデンサを充電し、電圧を増加させます。この電圧が約 1.3V のスレッシュホールドに達すると、オープンコレクタのエラー・フラグ出力 (パワー OK) がハイになります。この信号で、出力が正しい電圧に達し、安定化したことを示すことができます。

何らかの理由で、出力電圧が 5% 以上低下すると、エラー・フラグ出力 (3 ピン) がただちにローになります。(内部のトランジスタがオンします)。出力電圧がレギュレーション範囲から低下した時のデレイ時間は非常に短く、出力上昇時のデレイ時間の約 1/1000 以下です。0.1 μ F のデレイ・コンデンサの場合、出力が上昇して、95% のスレッシュホールドを超えるときのデレイ時間は約 50ms となりますが、出力低下時のデレイ時間は約 50 μ s になります。

R_{Pull Up} エラー・フラグ出力 (パワー OK) は NPN トランジスタのオープンコレクタ出力で、エミッタは内部で接地されています。エラー・フラグを使うには、正電圧につなぐプルアップ抵抗が必要です。エラー・フラグ・トランジスタの最大定格電圧は 45V で、約 3mA の電流をシンクすることができます。エラー・フラグを使わなければ、オープンのままでもかまいません。

フィードフォワード・コンデンサ (可変出力電圧バージョン)

C_{FF} 出力電圧が 10V より大きい場合、C_{OUT} の ESR が非常に低いとき、Figure 1 のように R2 の両端にフィードフォワード・コンデンサ C_{FF} を接続します。このコンデンサは、フィードバック・ループに位相を戻す補償を付加し、位相マージンを広くして、ループの安定性を良くします。C_{FF} の選択は、設計手順を参照して下さい。

出力リップルが大きい場合 (> 定格出力電圧の 5%)、このリップルがフィードフォワード・コンデンサを介してフィードバック・ピンにカップリングされ、エラー・コンパレータがエラー・フラグをトリガしてしまいます。このとき、R1 の約 3 倍の抵抗 R_{FF} をフィードフォワード・コンデンサに直列につなぐと、フィードバック・ピンのリップル電圧を低減できます。

入力コンデンサ

C_{IN} 入力ピンとグラウンドピンの間に低 ESR の、アルミあるいはタンタルのバイパス・コンデンサが必要です。このコンデンサは、リードを短くし、IC の近くに配置しなければなりません。このコンデンサは、入力に生じる大きな電圧トランジェントを抑制し、スイッチのターン・オン時の瞬時的な電流を供給します。

入力コンデンサの重要なパラメータは定格電圧と、許容リップル電流です。降圧型 (バック) レギュレータでは、入力コンデンサに比較的高いリップル電流が流れます。そのため、このコンデンサは、容量や定格電圧と同様に、許容リップル電流を確認して選ばなければなりません。また、容量と定格電圧は、許容リップル電流に直接影響します。

コンデンサの許容リップル電流は、コンデンサの電力容量とみなすことができます。リップル電流はコンデンサの内部 ESR に流れ、電力消費が発生し、コンデンサの内部温度を上昇させます。コンデンサの許容リップル電流は、T_A = 105 時に、内部温度が 10 上昇する電流量として定義されます。この熱を周囲の空気に発散する能力により、コンデンサを安全に使用できる電流量が決まります。物理的に大きく、表面積も大きなコンデンサは、通常、大きな許容リップル電流を持ちます。同じ容量の場合、定格電圧の高い電解コンデンサは、低いコンデンサより、物理的に大きく、したがって、より多くの熱を周囲の空気へ発散することができ、そのため、より高い許容リップル電流を持つことになります。

アプリケーション情報 (つづき)

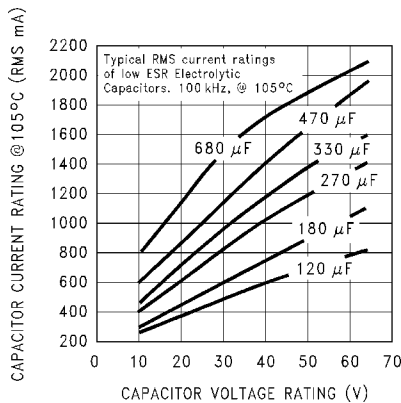


FIGURE 16. RMS Current Ratings for Low ESR Electrolytic Capacitors (Typical)

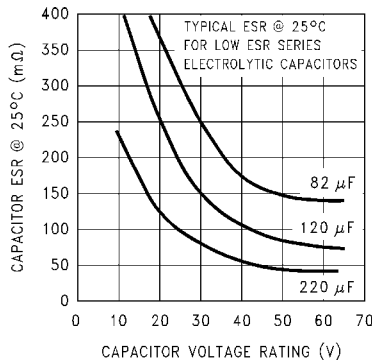


FIGURE 17. Capacitor ESR vs Capacitor Voltage Rating (Typical Low ESR Electrolytic Capacitor)

電解コンデンサを許容リップル電流を超えて動作させると、その結果、動作寿命が短くなります。高温では、コンデンサの電解質の蒸発が加速され、不良の原因となります。

入力コンデンサの選択には、メーカーのデータシートで、許容リップル電流を確認する必要があります。最大周囲温度が 40 のとき、DC 負荷電流の約 50% の許容リップル電流のものを選択することが、一般的ガイドラインとなります。70 までの周囲温度では、DC 負荷電流の 75% の許容リップル電流のものが、マージンを持った選択となります。コンデンサの定格電圧は、最大入力電圧の少なくとも 1.25 倍は必要で、リップル電流の必要条件を満たすため、それ以上の定格電圧のコンデンサが必要になる場合もあります。

Figure 16 のグラフに、電解コンデンサの容量、定格電圧、および許容リップル電流の相互関係が示されています。これらの曲線は、スイッチング・レギュレータ用にデザインされた高信頼性の電解コンデンサである、ニチコンの低 ESR “PL” シリーズから得られたものです。他のコンデンサ・メーカーも似たタイプのコンデンサを提供していますが、必ずデータシートをチェックして下さい。

標準の電解コンデンサの場合、通常、より高い ESR、低い許容リップル電流で、動作寿命も、一般的に短くなります。

表面実装型固体タンタル電解コンデンサは、サイズが小さく、性能が良いので、入力バイパス用によく使われますが、いくつか注意をする必要があります。固体タンタル電解コンデンサのなかには、少数ですが、突入電流が定格を超えると、短絡してしまうことがあります。これは、入力電圧が急に印加されるターンオンの際に起こります。もちろん高い入力電圧はより高い突入電流を生じ

ます。いくつかのコンデンサ・メーカーは、全数サージ電流テストを実施し、この潜在的問題を押さえています。大きな突入電流が予想される場合、タンタル電解コンデンサの前に抵抗かインダクタを挿入して、電流を制限するか、あるいは、もっと電圧の高いコンデンサを選ぶことが必要でしょう。アルミ電解コンデンサの場合と同様、許容リップル電流は、負荷電流に見合ったものでなければなりません。

出力コンデンサ

C_{OUT} 出力をフィルタし、レギュレータのループを安定化させるため、出力コンデンサが必要です。スイッチング・レギュレータ用に設計された、低インピーダンス品か、低 ESR 品の電解コンデンサまたは固体タンタル電解コンデンサを使わなければなりません。出力コンデンサを選択するとき重要なパラメータは、100kHz での等価直列抵抗 (ESR)、許容リップル電流、定格電圧、および容量値です。出力コンデンサの場合、ESR が最も重要なパラメータです。

出力コンデンサでは、ESR の上限値と下限値が要求されます。低出力リップル電圧には、低い ESR のものが必要です。この値は、許容される最大のリップル電圧 (通常は、出力電圧の 1% から 2%) によって決まります。しかし、選択したコンデンサの ESR が極端に低いと、フィードバック・ループが不安定になり、出力が発振する可能性があります。表に載っているコンデンサ、または同等品を使えば、安定した動作が得られます。

出力リップル電圧を非常に低くする必要があれば (15mV 以下)、出力リップル電圧とトランジェントのセクションを参照し、外部リップルフィルタを検討して下さい。

アルミ電解コンデンサの ESR の値は容量値と定格電圧に関係します。多くの場合、高耐圧の電解コンデンサの ESR の値は低くなります (Figure 17 参照)。多くの場合、出力リップル電圧を低くするために、より低い ESR を持つ高耐圧のコンデンサを使う必要があります。

様々なタイプのスイッチングレギュレータの設計に、3 つか 4 つの異なる容量値と、いくつかの異なる定格電圧のコンデンサだけで要求を満たしてしまうことがあります。代表的な容量値、定格電圧、およびメーカーとコンデンサのタイプに関しては、Figure 2 と Figure 3 の設計のための部品選択早見表を参照して下さい。

- 25 以下の温度では、電解コンデンサは推奨できません。低温では、ESR が急激に上昇し、- 25 では 3 倍に、- 40 では 10 倍にもなります。Figure 18 の曲線を参照して下さい。

固体タンタル電解コンデンサは、低温で ESR のスペックが良く、- 25 以下で使用する場合推奨します。

キャッチ・ダイオード

降圧型 (バック) レギュレータでは、スイッチ・オフ時のインダクタ電流の帰還経路として、ダイオードが必要です。これは高速のダイオードでなければならず、リードと PC ボードのパターンを短くして、LM2599 の近くに配置しなければなりません。

ショットキ・ダイオードはスイッチング速度が非常に速く、順方向の電圧降下が小さいので、特に低出力電圧 (5V 以下) のアプリケーションでは、最高の性能を実現します。ウルトラ・ファースト・リカバリ、あるいは高効率のダイオードも良い選択ですが、急峻なターンオフ特性をもったタイプは不安定性や、EMI の問題を起こすことがあります。ウルトラ・ファースト・リカバリ・ダイオードの逆回復時間の代表値は 50ns 以下です。1N5400 シリーズのようなダイオードは遅すぎるので、使ってはいけません。

アプリケーション情報 (つづき)

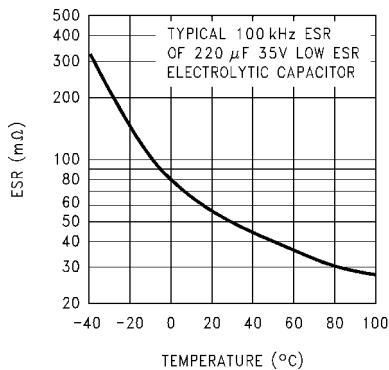


FIGURE 18. Capacitor ESR Change vs Temperature

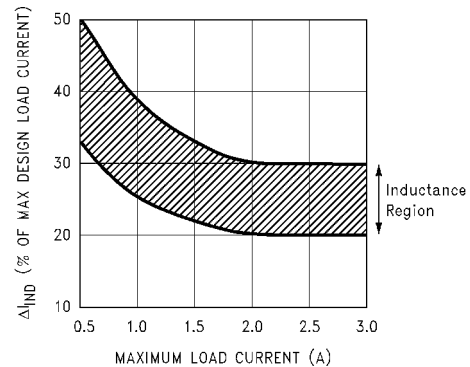
インダクタの選択

すべてのスイッチング・レギュレータの動作モードには、連続と不連続の、2つの基本モードがあります。2つのモードの違いは、インダクタの電流が連続的に流れるか、あるいは、通常のスイッチング・サイクルの一定周期間にゼロに降下するか、ということにあります。各モードの動作特性は、明確に異なり、レギュレータの性能やアプリケーションより選択します。ほとんどのスイッチングレギュレータは、負荷電流が小さいとき、不連続モードで動作します。

LM2599 (あるいは、シンプル・スイッチャ・ファミリーのデバイス) は、連続、不連続、いずれの動作モードでも使用可能です。

多くの場合、連続モードが選択されます。連続モードでは、大きい出力電力、低いピーク・スイッチング、インダクタ電流、およびダイオード電流で動作し、低出力リップル電圧が得られます。しかし、インダクタ電流を連続的に流すためには、特に、低出力負荷電流または高入力電圧のときは、大きな値のインダクタの使用が必要です。

インダクタの選択手順を簡単にするため、インダクタ選択ガイド (ノモグラフ) が作られています (Figure 4 から Figure 7 を参照)。このガイドは、連続モードでのインダクタ選択を示し、ピーク・ツー・ピークのインダクタ電流が、最大設計負荷電流に対して一定の比率になるように作られます。異なる負荷電流を選択する際、インダクタ電流のピーク・ツー・ピーク電流の比率を変更することが出来ます。(Figure 19 を参照。)

FIGURE 19. (I_{IND}) Peak-to-Peak Inductor Ripple Current (as a Percentage of the Load Current) vs Load Current

低負荷電流のとき、インダクタ・リップル電流の比率が増えても良い場合、インダクタの値とサイズを比較的小さくできます。

連続モードで動作しているとき、インダクタ電流の波形は、(入力電圧に依存して) 三角波から鋸形まで変化しますが、この電流波形の平均値は、DC 出力負荷電流に等しくなります。

インダクタは、フェライトやパウダー・アイアンのような異なったコア素材や、ポット・コア、トロイダル、E 型コア、ボビン・コア等の異なった形状のものが入手できます。最も安価なのは、ボビン、ロッド、あるいはスティックのコアで、フェライト・ボビンにワイヤが巻いてあります。このタイプの構造だと、安価なインダクタを作れますが、磁束がコア内部で完結しないため、電磁妨害 (EMI) を起こします。この磁束は、近くのプリント配線に電圧を生じさせ、スイッチング・レギュレータの動作や、ノイズに敏感な回路に問題を起こしたり、オシロスコープのプロブに電圧を誘導して、誤った測定値を与えることがあります。オープン・コア・インダクタのセクションも参照して下さい。

複数のスイッチング・レギュレータが同じ PC ボード上に配置されていると、オープン・コアの磁束が、特に大電流のとき、他のレギュレータ回路に干渉を起こすことがあります。このような場合は、トロイダルあるいは E 型コアのインダクタ (閉磁界構造) を使って下さい。

選択チャートに載っているインダクタには、Schott 社のフェライト・コア、Renco 社と Coilcraft 社のフェライト・ボビン・コア、Pulse Engineering 社のパウダー・アイアンのトロイダルコアが含まれています。

インダクタの最大定格電流を超すと、コア巻線内の損失により、インダクタが過熱したり、コアが飽和することがあります。インダクタが飽和し始めると、インダクタンスが急激に低下し、インダクタは主に抵抗 (巻線の DC 抵抗) 成分だけになります。このことは、スイッチ電流の急激な上昇で、スイッチにサイクル毎の電流制限が働きます。結果として、DC 出力負荷電流を減少します。また、インダクタや、LM2599 のオーバーヒートを引き起こします。インダクタのタイプが異なると、飽和特性が異なるので、インダクタを選択する際は、注意が必要です。

インダクタ・メーカーのデータシートには、インダクタの飽和を防止するため、電流とエネルギーのリミット値が記載されています。

アプリケーション情報 (つづき)

不連続モード動作

選択ガイドでは、連続モードの動作に適したインダクタを記載していますが、低出力電流や高入力電圧のアプリケーションでは、不連続モードが良い選択になる場合があります。不連続モードの設計では、連続モードに比べて物理的に小さく 1/2 から 1/3 の値のインダクタが使用できます。不連続モードの設計では、ピーク・スイッチ電流とインダクタ電流が大きくなりますが、負荷電流 (1A 以下) が小さいので、最大スイッチ電流は電流制限値を越えません。

不連続モードの、電圧波形は連続モードの波形とかなり異なります。出力ピン (スイッチ) の波形は、サイン波状のリングングがります。(代表的な性能特性の不連続モードのスイッチング波形の写真を参照して下さい。) このリングングは、不連続モードでは正常で、フィードバック・ループの不安定性によって引き起こされたものではありません。不連続モードには、スイッチとダイオードともに電流を流していない期間があり、インダクタ電流はゼロになります。このとき、少量のエネルギーがスイッチとダイオードの寄生容量とインダクタのあいだを循環し、このリングングを引き起こします。通常、このリングングは、振幅が入力定格電圧を超えないかぎり、問題とはなりません。超えたとしても、損傷を与えるほど大きなエネルギーではありません。

インダクタのタイプやコアの素材が異なると、このリングングの大きさも変化します。フェライト・コアのインダクタはコア損失が非常に小さいので、リングングが最も大きくなります。パウダーアイアンのインダクタはコア損失が大きいため、リングングは小さくなります。もし必要であれば、シリーズの RC をインダクタと並列につないで、リングングを減少させることができます。コンピュータ設計支援ソフトウェア **Switchers Made Simple** (version 4.3) は、連続モード、不連続モードの設計に対応しています。

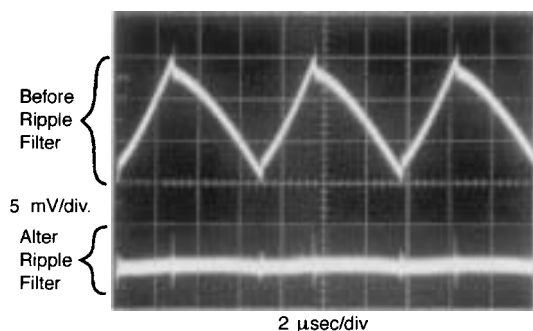


FIGURE 20. Post Ripple Filter Waveform

出力電圧リップル成分とトランジェント

連続モードで動作しているスイッチング電源の出力電圧には、スイッチング周波数の鋸波リップル電圧が含まれており、鋸波のピークに短い電圧スパイクが含まれています。

出力リップル電圧は、インダクタの鋸波リップル電流と出力コンデンサの ESR の関数です。一般的な出力リップル電圧は、出力電圧の約 0.5% から 3% です。リップル電圧を小さくするには、出力コンデンサの ESR を低くしなければなりません。ESR の非常に低いコンデンサを使うと、ループの安定性に影響し、発振する可能性があります。出力リップル電圧を非常に小さくする (20mV 以下) 必要があるときは、外付けリップル・フィルタを推奨します。(Figure 1 を参照。) 良好なロード・レギュレーションを維持するには、インダクタンスは通常 1μH から 5μH で、DC 抵抗の低いものが重要です。優れたトランジェント・レスポンスと、リップル除去能力を得るために、ESR の低い出力フィルタ・コンデンサが必要です。このコンデンサはレギュレータのフィードバック・ループの外にあるため、ESR は際限なく小さくできます。Figure 20 の写真は、

外付けリップル・フィルタがある場合とない場合の出力リップル電圧を示しています。

出力リップルをオシロスコープで観測するとき、プローブのグラウンド結線はインダクタンスを小さくするため短くしなければなりません。スコープのプローブ・メカの多くは、特殊なプローブ・ターミネータを用意しており、これをレギュレータのボードの、できれば出力コンデンサのところにハンダ付けします。これにより、プローブのグラウンドが非常に短くなり、プローブが通常もっている 3 インチのグラウンド・リードに付随する問題が取り除かれ、リップル電圧波形の明瞭で正確な像が得られます。

電圧スパイクは、出力スイッチとダイオードの高速なスイッチングや出力コンデンサとパターンの寄生インダクタンスにより生じます。電圧スパイクを最小に押さえるには、出力コンデンサはスイッチング・レギュレータ用のものを使用し、リードは非常に短くしなければなりません。オシロのプロブだけでなく、配線のインダクタンスや浮遊容量もこのトランジェントを発生し、スパイクの振幅に影響します。

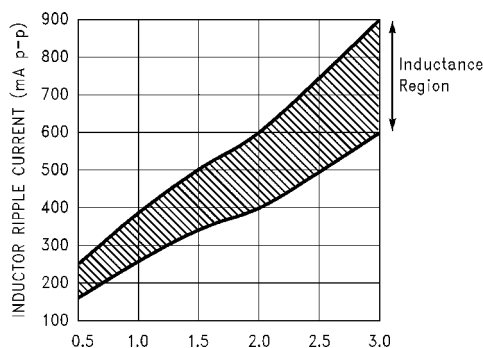


FIGURE 21. Peak-to-Peak Inductor Ripple Current vs Load Current

スイッチング・レギュレータが連続モードで動作しているとき、インダクタ電流の波形は、三角波から鋸波まで (入力電圧に依存して) 変化します。ある一定の入力電圧と出力電圧では、このインダクタ電流の波形のピーク・ツー・ピーク振幅は一定です。負荷電流の増減にしたがって、鋸波波形の全体が上下します。この電流波形の平均値 (つまり中線) が DC 負荷電流に等しくなります。

負荷電流が充分低くなると、鋸波電流波形の最下点がゼロに達し、スイッチング電源は連続モードから不連続モードの動作へスムーズに移行します。スイッチング電源の設計のほとんどは、出力負荷が小さくなると、(インダクタの値が、あまりにも大きすぎない場合) 不連続動作になります。この動作は完全に対応している動作モードです。

スイッチング・レギュレータの設計では、ピーク・ツー・ピークのインダクタ・リップル電流 (I_{IND}) の値を知ると、回路の他のいくつかのパラメータを決めるのに役立ちます。ピーク・インダクタ電流、ピーク・スイッチ電流、不連続モードにならない最小負荷電流、出力リップル電圧、出力コンデンサの ESR は、すべて、ピーク・ツー・ピークの I_{IND} から計算できます。Figure 4 から Figure 7 に示されているインダクタのノモグラフを使ってインダクタの値を選べると、ピーク・ツー・ピークのインダクタ・リップル電流をただちに決められます。Figure 21 の曲線は、異なった負荷電流に対して予期される I_{IND} の範囲を示しています。この曲線は、ピーク・ツー・ピークのインダクタ・リップル電流 (I_{IND}) が、あるインダクタの範囲で、(与えられた負荷電流に対して) 下の境界から上の境界まで動くとき、どう変化するかも示しています。上の境界は最大入力電圧を、下の境界は最小入力電圧を表しています (インダクタ選択ガイドを参照して下さい)。

アプリケーション情報 (つづき)

これらの曲線は、連続モードの動作で、しかも、インダクタ選択ガイドを使ってインダクタの値を選んだときのみ、正しい値を示します。

以下の例について考えてみます。

$V_{OUT} = 5V$ 、2.5A の最大負荷電流

$V_{IN} = 12V$ 、10V から 16V まで変化

Figure 5 の選択ガイドで、2.5A の負荷と、12V の入力電圧が変わるのは、33 μ H のインダクタンス領域です。33 μ H のインダクタは、最大負荷電流の数パーセントのピーク・ツー・ピーク電流 (I_{IND}) を流します。Figure 21 より、2.5A のラインとインダクタの領域が変わるところで、縦軸からピーク・ツー・ピークのインダクタ・リップル電流 (I_{IND}) を読み取ることが出来ます (約 620mA p-p)。

入力電圧が 16V まで上がると、インダクタンス領域の上の境界に近づき、インダクタ・リップル電流が増えます。Figure 21 より、2.5A の負荷電流に対して、ピーク・ツー・ピークのインダクタ・リップル電流 (I_{IND}) は、12V の入力で 620mA で、上の境界 (16V 入力) の 740mA から、下の境界 (10V 入力) の 500mA の範囲で変化することが読取れます。

I_{IND} の値がわかれば、下の式を使って、スイッチング・レギュレータに関する他の情報を計算することができます。

1. ピーク・インダクタ又はピーク・スイッチ電流

$$= \left(I_{LOAD} + \frac{\Delta I_{IND}}{2} \right) = \left(2.5A + \frac{0.62}{2} \right) = 2.81A$$

2. 連続モードでの最小負荷電流

$$= \frac{\Delta I_{IND}}{2} = \frac{0.62}{2} = 0.31A$$

3. 出力リップル電圧 = (I_{IND}) \times (C_{OUT} の ESR)
= 0.62A \times 0.1 = 62 mV p-p

4. C_{OUT} の ESR = $\frac{\text{出力リップル電圧 } (\Delta V_{OUT})}{\Delta I_{IND}}$
= $\frac{0.062V}{0.62A} = 0.1\Omega$

オープン・コア・インダクタ

出力リップル電圧の増加や不安定動作の、他の原因は、オープン・コアのインダクタです。フェライト・ボビンやスティックタイプのインダクタでは磁束は、空中を通過して、ボビンの一端から他端へ達しています。このインダクタの磁場から発生する磁束は配線や PC ボード上の銅パターン内に電圧を誘導します。磁場の強さは、方向と PC ボードのパターンとインダクタの距離が、パターン内に誘導される電圧の大きさを決定します。この影響を別の見方で見ると、PC ボードの銅パターンを 1 回巻のトランス (2 次側)、インダクタの巻線をそのトランスの 1 次側とみなすことができます。オープン・コアのインダクタの近くに位置した銅パターンには数ミリボルトもの電圧が発生することがあり、安定性や出力リップル電圧の問題を起こすことがあります。

オープン・コアのインダクタが使われていて、不安定な動作がみられるときは、PC ボードのパターンに対するインダクタの位置が問題である可能性があります。このことを原因と特定するには、インダクタをボードから数インチ離して、回路動作をチェックしてみます。これで回路が正常に動作するなら、オープン・コアのインダクタの磁束が問題の原因です。トロイダルあるいは E 型コアのような閉コアタイプのインダクタと置き換えるか、PC ボードのレイアウトの変更で問題を解決できます。IC のグラウンド、フィードバック、出力コンデンサの両端のパターンと交差する磁束は最小に押さえて下さい。

多くの場合、パターンをボビン・インダクタの真下に置くと、それが正確にインダクタの中心であれば (誘導される電圧が相殺するので) 良い結果を得られます。しかし、どの方向であれ、中心からずれると、問題が起きることがあります。磁束が問題を起こしている場合、インダクタの巻線の方向により違いが生じる回路もあります。

オープン・コアのインダクタに関するこの議論は、ユーザを脅かすためではなく、これらを使うときは、どんな問題が生じるか注意を促すものです。オープン・コアボビンやスティックタイプインダクタは、小型で効率のよいインダクタを安価に、簡単に作れ、多くのアプリケーションで何百万個も使われています。

熱に関する考慮事項

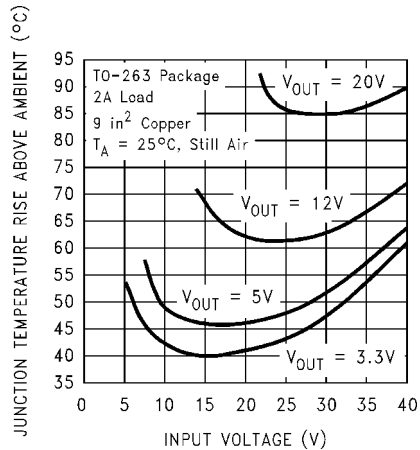
LM2599 は、7 ピンの TO-220(T) と 7 ピンの表面実装 TO-263(S) の 2 つのパッケージで入手できます。

ほとんどの場合、TO-220 パッケージにはヒートシンクが必要です。ヒートシンクのサイズは入力電圧、出力電圧、負荷電流、さらに周囲温度に依存します。Figure 22 の曲線は、3A の負荷で、様々な入出力電圧に対して、LM2599T の接合部温度が周囲温度からどれだけ上昇するか示しています。これらのデータは、LM2599T (TO-220 パッケージ) が周囲温度 25 $^{\circ}$ C (風速ゼロ)、動作させたものです。この曲線は代表的なもので、これに影響する要因が多くあります。周囲温度が高い場合、ヒートシンクが必要です。

TO-263 表面実装パッケージの金属タブは、PC ボード上の銅パターンにハンダ付けするように設計されています。銅パターンとボードは、この IC と、キャッチ・ダイオードやインダクタのような他の発熱する部品のヒートシンクとして働きます。パッケージをハンダ付けする銅パターンの面積は少なくとも 0.4 平方インチ、できれば 2 オンス (70 μ m) の厚さで 2 平方インチ以上必要です。銅面積をさらに追加すれば熱特性が改善されますが、6 平方インチ以上では、ほとんど変わりません。さらに熱特性を改善する必要があるときは、銅面積の大きな、両面、あるいは多層の PC ボードやファンの使用を推奨します。

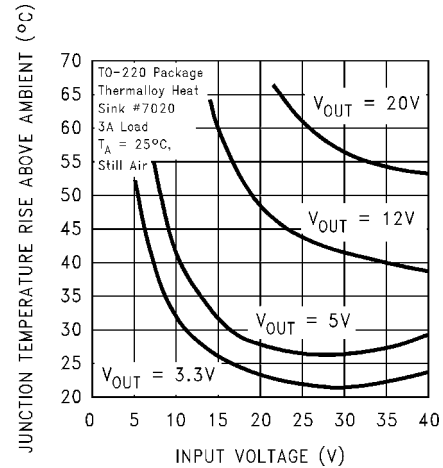
アプリケーション情報 (つづき)

Figure 23 の曲線は、2A 負荷のとき、多様な入出力電圧で、LM2599S(TO-263)の接合部温度が周囲温度からどの位上昇するかを示しています。このデータは、実際の動作条件での接合部温度をシミュレートするため、すべての部品を PC ボードに実装した、降圧型レギュレータとして動作している回路と見なします。この曲線は様々な条件でのおおよその接合部温度をすばやくチェックするのに使えますが、接合部温度に影響する要因が多あることに注意しなければなりません。負荷電流が 2A を超える場合、特に周囲温度が高く、出力電圧が高いときは、銅面積の大きな両面あるいは多層の PC ボードやファンの使用が必要になります。



Circuit Data for Temperature Rise Curve TO-220 Package (T)	
Capacitors	Through hole electrolytic
Inductor	Through hole Renco
Diode	Through hole, 5A 40V, Schottky
PC board	3 square inches single sided 2 oz. copper (0.0028)

FIGURE 22. Junction Temperature Rise, TO-220



Circuit Data for Temperature Rise Curve TO-263 Package (S)	
Capacitors	Surface mount tantalum, molded " D " size
Inductor	Surface mount, Pulse engineering, 68 μ H
Diode	Surface mount, 5A 40V, Schottky
PC board	9 square inches single sided 2 oz. copper (0.0028)

FIGURE 23. Junction Temperature Rise, TO-263

熱拡散を良くするには、ボードのレイアウトで、広い銅パターンを使い、ピンは PC ボードの広い銅にハンダ付けします。(出力ピン (スイッチ) は例外で、面積の大きなパターンにハンダ付けしてはいけません)。面積の大きな銅パターンは、熱を周囲の空気へよく伝え (低熱抵抗)、空気の流れはさらに熱抵抗を下げます。

パッケージの熱抵抗と接合部温度の上昇はすべて概数で、接合部温度に影響する多くの要因があります。これらの要因には、ボードの大きさ、形、厚み、方向、位置、さらにボードの温度も含まれます。他の要因には、パターンの幅、プリント基板の銅の面積、銅の厚み、片面か両面が多層か、さらにボード上のハンダの量があります。PC ボードの熱拡散の効率は、ボード上の他の部品の大きさ、数、さらに間隔にも依存します。また、空気が流れているかいないかにも依存します。さらに、キャッチ・ダイオードなどの部品は、PC ボードに熱を加えますが、この熱は、入力電圧により様々に変化します。インダクタの場合は、物理的大きさ、コアの素材、および DC 抵抗によって、ヒートシンクとして機能してボードから熱を逃すか、あるいはボードに熱を加えます。

シャットダウン / ソフト・スタート

Figure 26 の回路は、入力 20V、出力 12V、1A 負荷の標準的な降圧型レギュレータで、0.068 μ F のソフト・スタート用コンデンサを使っています。Figure 24 と Figure 25 の写真は、ソフト・スタート用コンデンサを付けた場合と、付けない場合の、ソフト・スタートの出力電圧と入力電流への影響を示しています。2 つの写真を比べると、スタートアップ時に必要な入力電流が押さえられていることが明らかです。ソフト・スタート機能により、起動電流は 2.6A から 650mA へ減少し、出力電圧の立ち上がりが遅く、ゆるやかになっています。

アプリケーション情報 (つづき)

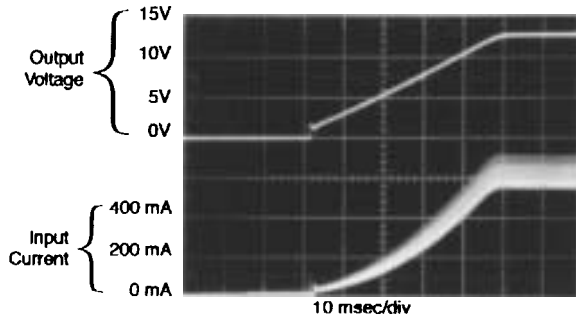


FIGURE 24. Output Voltage, Input Current, at Start-Up, WITH Soft-start

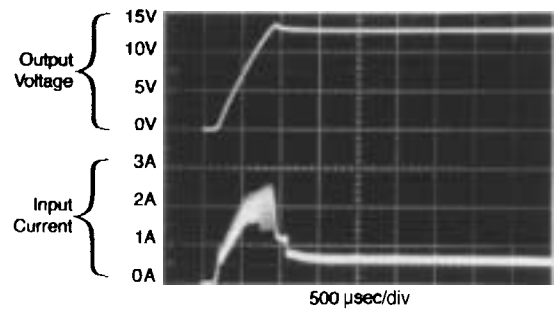


FIGURE 25. Output Voltage, Input Current, at Start-Up, WITHOUT Soft-start

おおむねの電源が供給できる電流に制約があるとき、この起動電流の低減は役立ちます。アプリケーションによっては、低電圧ロックアウトや遅延スタートアップのかわりにソフト・スタートを使うことができます。

非常にゆっくりした出力電圧の立ち上がりが望まれる場合、ソフトスタート用コンデンサを大きくすることにより実現します。数秒、あるいは数分でも可能です。

シャットダウン機能しか使わない場合、ソフト・スタート用コンデンサを省くことができます。

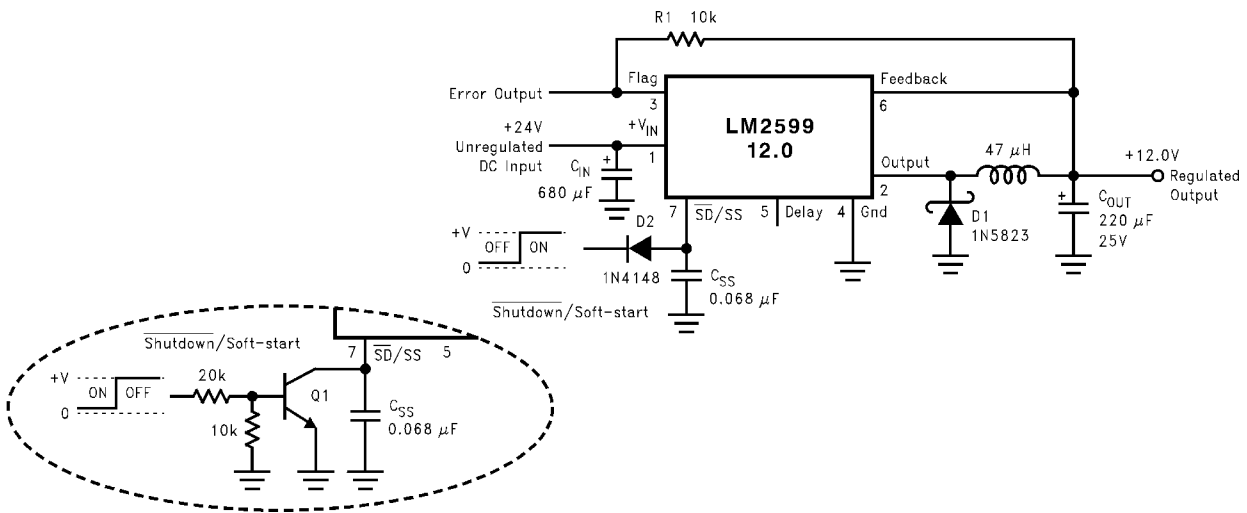


FIGURE 26. Typical Circuit Using Shutdown /Soft-start and Error Flag Features

アプリケーション情報 (つづき)

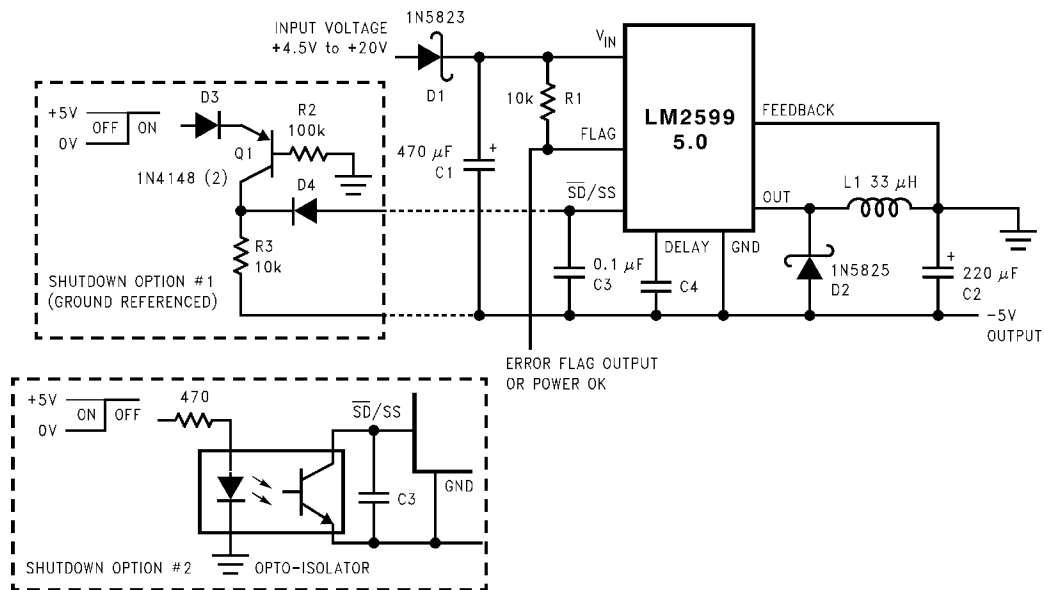


FIGURE 27. Inverting - 5V Regulator With Shutdown and Soft-start

反転型レギュレータ

Figure 27 の回路は、正の入力電圧を、コモングラウンドの負の出力電圧へ変換します。この回路は、レギュレータのグラウンド・ピンを負の出力電圧にブートストラップし、フィードバック・ピンをグラウンドにつなぐことにより動作します。レギュレータは反転出力電圧を検出し、出力を安定させます。

この例では、- 5V の出力を発生させるために、LM2599-5 を使っていますが、可変バージョンを含む他のバージョンを選べば、他の出力電圧に対応できます。このレギュレータの構成は、入力電圧より大きい出力電圧でも、小さい出力電圧でもつくることができ、最大出力電流は入出力電圧の両方に大きく依存します。Figure 28 の曲線は、異なる入出力条件に対して可能な出力負荷電流の関係を示したものです。

レギュレータにかかる最大電圧は入出力電圧の和で、最大 40V に制限しなければなりません。この例では、+ 20V を - 5V へ変換するとき、レギュレータの入力ピンとグラウンド・ピンのあいだには 25V が現れます。LM2599 の最大入力電圧は 40V です。

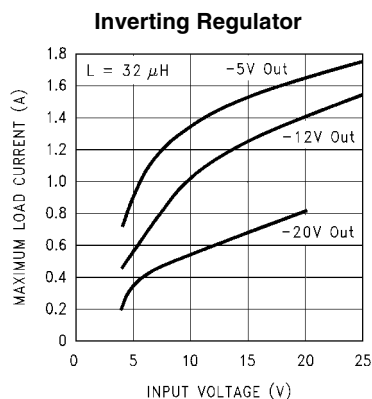


FIGURE 28. Maximum Load Current for Inverting Regulator Circuit

この構成のレギュレータではさらにダイオードが必要です。ダイオード D1 は、軽い負荷あるいは負荷の無い状態で、入力電圧のリプルやノイズが、 C_{IN} を介して、出力とカップリングするのを防ぎます。さらに、このダイオードによるアイソレーションは、回路を降圧型に似た構成に変え、閉ループの安定性を良くします。低入力電圧では、ショットキ・ダイオードを推奨します (電圧降下が小さいため)。高入力電圧では、1N5400 タイプのダイオードを使うことができます。

反転型レギュレータは降圧型構成のレギュレータと動作が異なるため、インダクタの値を選ぶのに、通常の方法では選択できません。多くの設計では、33 μH、3.5A のインダクタが良い選択となります。コンデンサの選択幅も、狭くなります。Figure 27 の値を使えば、反転型のデザインのほとんどで良い結果が得られます。

このタイプの反転型レギュレータは、軽い負荷であっても、起動時に比較的大きな入力電流を必要とします。出力が設定電圧に達するまで、LM2599 の電流制限 (約 4.5A) に等しい入力電流が 2ms 以上は必要です。実際の時間は、出力電圧と出力コンデンサの大きさに依存します。入力電源が電流制限されていたり、負荷容量が小さい電源の場合、立ち上がりません。反転型の構成は比較的大きな起動電流が必要なため、Figure 27 に示されているソフト・スタートを推奨します。

Figure 27 には、反転型の構成のためのシャットダウンの方法もいくつか示されています。反転型構成では、レギュレータのグラウンド・ピンが、グラウンドではなく、負の出力電圧につながっているため、レベルシフトが必要です。示されているシャットダウン方法では、グラウンド電位を基準にしたシャットダウン信号が使えます。

低電圧ロックアウト

アプリケーションによっては、入力電圧が一定のスレッシュホールドに達するまで、レギュレータをオフしておくほうが望ましい時があります。バック構成での低電圧ロックアウト回路が Figure 29 に示されており、Figure 30 と Figure 31 は、反転型用です。(低電圧ロックアウトに関係した回路だけ示されています)。Figure 29 では、スイッチが動作を開始するスレッシュホールド電圧を定めるのにツェナー・ダイオードを使っています。入力電圧がツェナー・ダイオードより低いとき、抵抗 R1 と R2 がシャットダウン/ソフト・スタートピンをローに保ち、レギュレータをシャットダウン・モードに保ちます。入力電

アプリケーション情報 (つづき)

圧がツェナー電圧を超すと、ツェナーに電流が流れ、シャットダウン/ソフト・スタートピンをハイに引き上げ、レギュレータが動作し始めます。低電圧ロックアウトのスレッシュホールド電圧は、ツェナー電圧より先約 1.5V 上です。

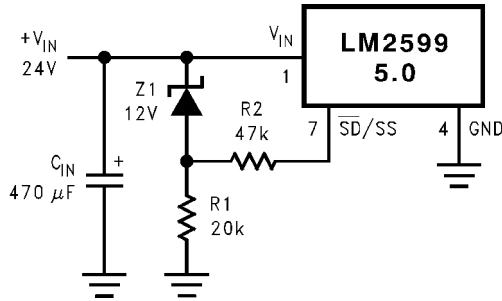


FIGURE 29. Undervoltage Lockout for a Buck Regulator

Figure 30 と Figure 31 の回路は、同じ機能を反転型回路で示しています。Figure 30 では、ターンオンとターンオフのスレッシュホールド電圧は等しくなます (ツェナー電圧プラス約 1V)。Figure 31 の回路のようにすると、ターンオン電圧とターンオフ電圧はヒステリシスを持ちます。ヒステリシスの大きさは、出力電圧にほぼ等しくなります。SD/SS ピンは内部に 7V のツェナー・クランプをもっているため、Q1 がオンしているとき、このピンへの電流を約 1mA に制限するために R2 が必要です。

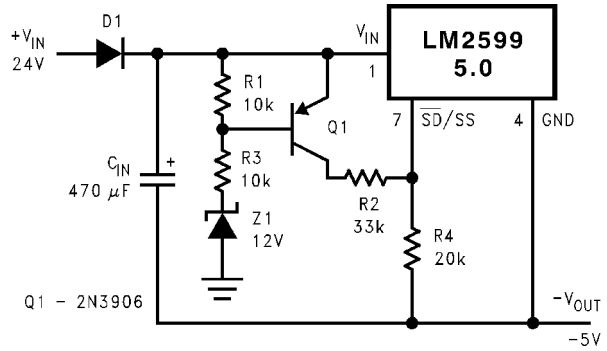


FIGURE 30. Undervoltage Lockout Without Hysteresis for an Inverting Regulator

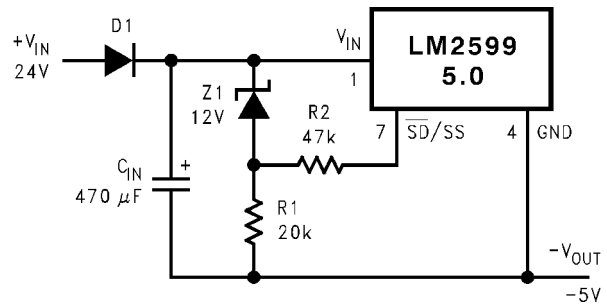


FIGURE 31. Undervoltage Lockout With Hysteresis for an Inverting Regulator

負電圧チャージ・ポンプ

あるアプリケーションでは、バイアス用に、低電流の負電圧が必要ことがあります。チャージ・ポンプと、OUT ピンのスイッチング波形を利用して負電圧を作る回路を Figure 32 に示します。このレギュレートしてない負電圧は、正の入力電圧 (マイナス数ボルト) にほぼ等しく、600mA までの出力電流を供給できます。しかし、チャージ・ポンプが正しく動作するには、正の出力電圧に、最低 1.2A の負荷が必要です。C1 の充電電流を LM2599 の電流制限 (代表値 4.5A) より低い値に制限するために R1 が必要です。インダクタを追加せずに負の出力電圧を発生させるこの方法は、Simple Switcher 製品ファミリーの他の製品でも、バックあるいはブースト構成で使えます。

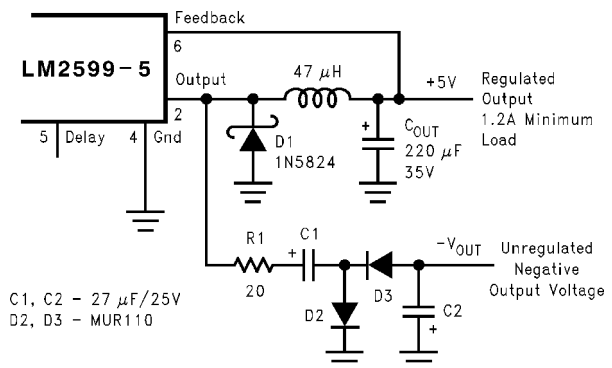
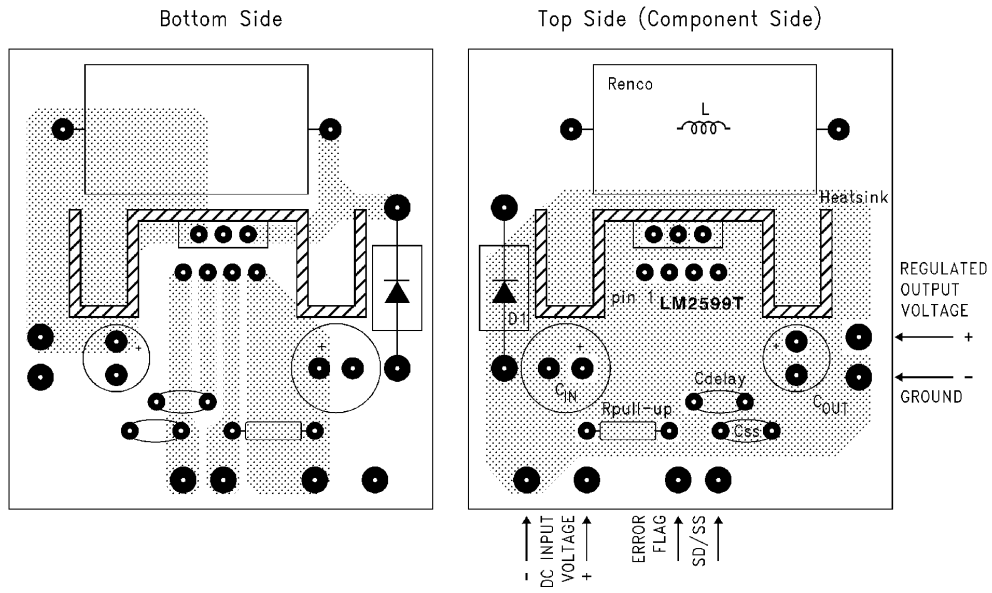


FIGURE 32. Charge Pump for Generating a Low Current, Negative Output Voltage

アプリケーション情報 (つづき)

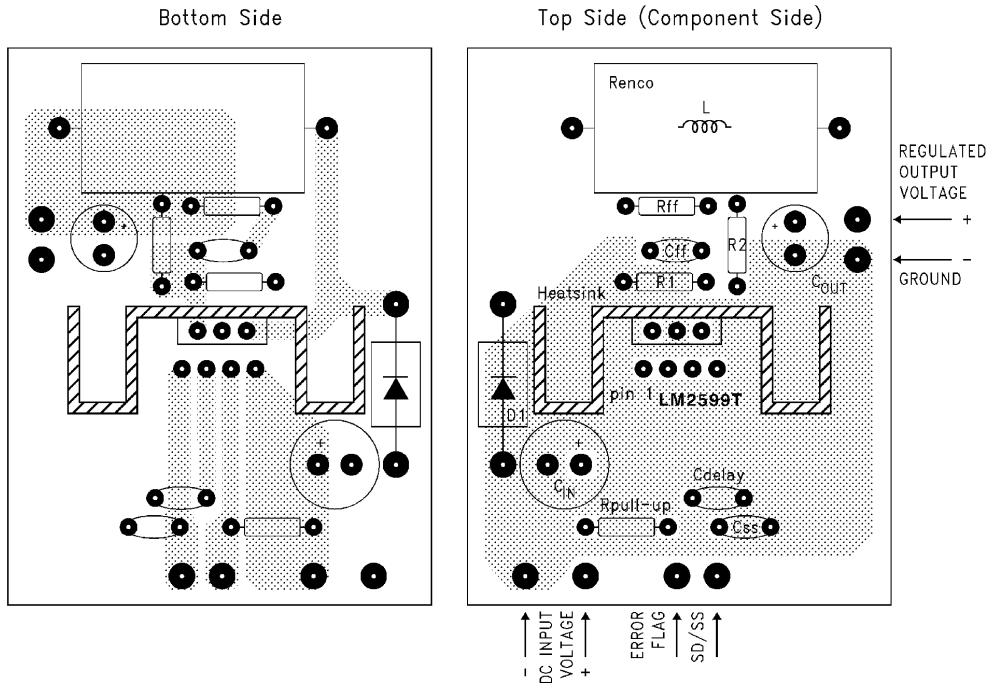
TYPICAL THROUGH HOLE PC BOARD LAYOUT, FIXED OUTPUT (1X SIZE), DOUBLE SIDED



- C_{IN}: 470 μF, 50V, Aluminum Electrolytic Panasonic, " HFQ Series "
- C_{OUT}: 330 μF, 35V, Aluminum Electrolytic Panasonic, " HFQ Series "
- D1: 5A, 40V Schottky Rectifier, 1N5825
- L1: 47 μH, L39, Renco, Through Hole
- R_{PULL UP}: 10k
- C_{DELAY}: 0.1 μF
- C_{SD/SS}: 0.1 μF
- Thermalloy Heat Sink #7020

アプリケーション情報 (つづき)

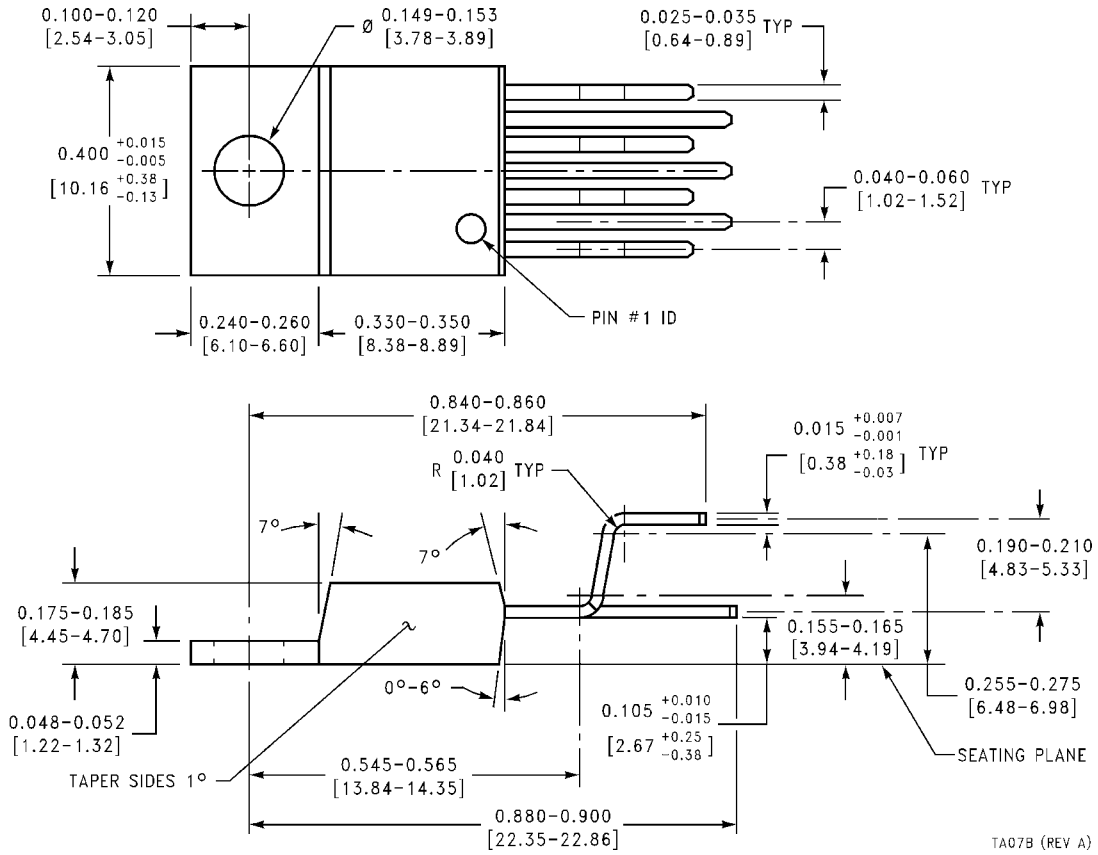
TYPICAL THROUGH HOLE PC BOARD LAYOUT, ADJUSTABLE OUTPUT (1X SIZE), DOUBLE SIDED



- C_{IN}: 470 μF, 50V, Aluminum Electrolytic Panasonic, " HFQ Series "
- C_{OUT}: 220 μF, 35V Aluminum Electrolytic Panasonic, " HFQ Series "
- D1: 5A, 40V Schottky Rectifier, 1N5825
- L1: 47 μH, L39, Renco, Through Hole
- R₁: 1 k , 1%
- R₂: Use formula in Design Procedure
- C_{FF}: See Figure 4.
- R_{FF}: See Application Information Section (C_{FF} Section)
- R_{PULL UP}: 10k
- C_{DELAY}: 0.1 μF
- C_{SD/SS}: 0.1 μF
- Thermalloy Heat Sink #7020

FIGURE 33. PC Board Layout

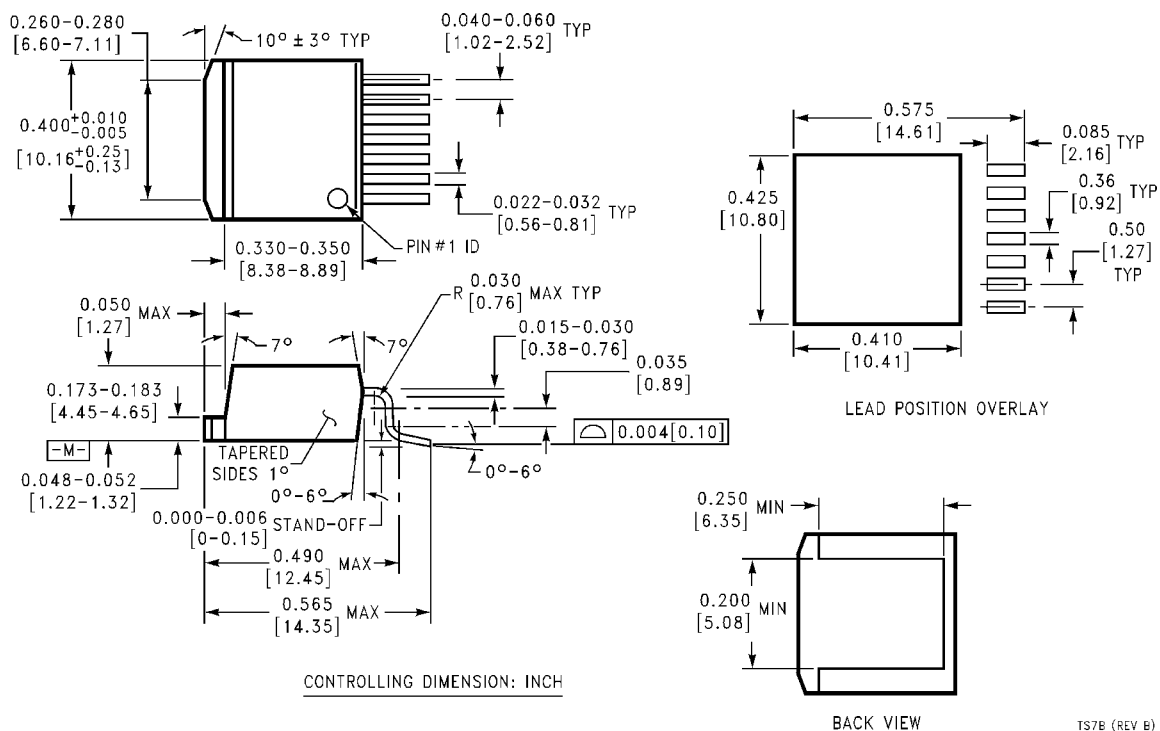
外形寸法図 特記のない限り inches (millimeters)



7-Lead TO-220 Bent and Staggered Package
Order Number LM2599T-3.3, LM2599T-5.0,
LM2599T-12 or LM2599T-ADJ
NS Package Number TA07B

TA07B (REV A)

外形寸法図 特記のない限り inches (millimeters) (つづき)



7-Lead TO-263 Bent and Formed Package
 Order Number LM2599S-3.3, LM2599S-5.0, LM2599S-12 or LM2599S-ADJ
 NS Package Number TS7B

生命維持装置への使用について

弊社の製品はナショナル セミコンダクター社の書面による許可なくしては、生命維持用の装置またはシステム内の重要な部品として使用することはできません。

1. 生命維持用の装置またはシステムとは (a) 体内に外科的に使用されることを意図されたもの、または (b) 生命を維持あるいは支持するものをいい、ラベルにより表示される使用方法に従って適切に使用された場合に、これの不具合が使用者に身体的障害を与えると予想されるものをいいます。
2. 重要な部品とは、生命維持にかかわる装置またはシステム内のすべての部品をいい、これの不具合が生命維持用の装置またはシステムの不具合の原因となりそれらの安全性や機能に影響を及ぼすことが予想されるものをいいます。

ナショナル セミコンダクター ジャパン株式会社

本社 / 〒 135-0042 東京都江東区木場 2-17-16 TEL.(03)5639-7300

技術資料 (日本語 / 英語) はホームページより入手可能です。

<http://www.national.com/JPN/>

その他のお問い合わせはフリーダイヤルをご利用下さい。

フリーダイヤル 0120-666-116