LM5576 75V、3A、降圧スイッチング レギュレータ

1 特長

- 非常に広い入力電圧範囲:6V～75V
- 75V、170mΩ、N チャネル MOSFET を内蔵
- 最低 1.225V の調整可能な出力電圧
- 1.5% のフィードバック リファレンス精度
- 単一の抵抗を使用する場合、動作周波数を 50kHz ～ 500kHz の範囲で調整可能
- コントローラまたは周辺装置の周波数同期
- 可変ソフト スタート
- 電流モード制御アーキテクチャをエミュレート
- 広帯域幅のエラー アンプ
- 内蔵保護機能
- HTSSOP-20EP (露出パッド)
- WEBENCH® Power Designer により、LM5576 を使用するカスタム設計を作成

2 アプリケーション

- 産業用

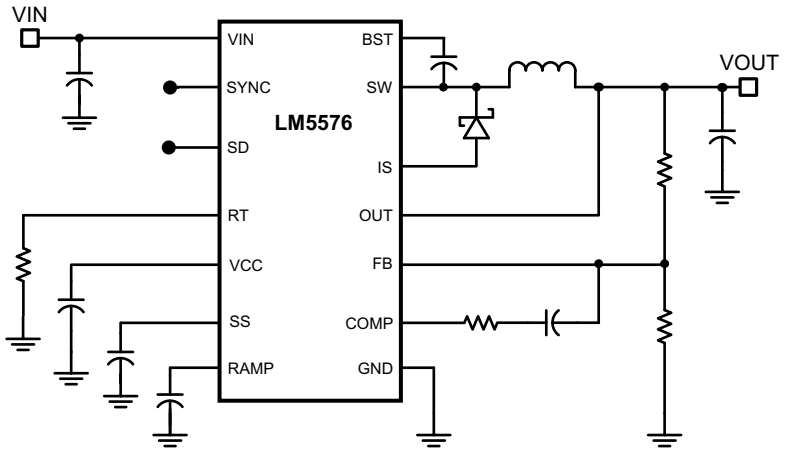
3 説明

LM5576 は、使いやすい降圧型レギュレータで、設計エンジニアは最小点数の部品を使用して、堅牢な電源を設計し最適化できます。LM5576 は 6V ～ 75V の入力電圧レンジで動作し、内蔵の 170mΩ N チャネル MOSFET を使用して 3A の連続出力電流を供給します。このレギュレータはエミュレーション電流モード アーキテクチャを活用しているため、ライン レギュレーション、厳格な負荷過渡応答、容易なループ補償という固有の特性があり、電流モード レギュレータで一般的な、低いデューティ サイクルの制限はありません。動作周波数は 50kHz ～ 500kHz の範囲で調整可能であり、サイズと効率の最適化を達成できます。EMI を低減するための周波数同期ピンがあり、LM(2)557x ファミリに属する複数の IC で、自己同期または外部クロックへの同期を選択できます。LM5576 のサイクルごとの電流制限、短絡保護、サーマル シャットダウン、およびリモート シャットダウン機能により、堅牢性が保証されます。このデバイスは、放熱を助けるために露出したパッドがダイに取り付けられ、消費可能電力が増大した 20 ピン HTSSOP パッケージで供給されます。LM5576 は、WEBENCH 回路設計および選択シミュレーション サービス オンライン設計ツールの完全なスイートでサポートされています。

パッケージ情報

部品番号	パッケージ (1)	パッケージ サイズ(2)
LM5576	PWP (HTSSOP、20)	6.5mm × 4.4mm

(1) 詳細については、セクション 10 を参照してください。
(2) パッケージ サイズ (長さ × 幅) は公称値であり、該当する場合はピンも含まれます。



アプリケーション概略回路図

このリソースの元の言語は英語です。翻訳は概要を便宜的に提供するもので、自動化ツール (機械翻訳) を使用していることがあり、TI では翻訳の正確性および妥当性につきましては一切保証いたしません。実際の設計などの前には、ti.com で必ず最新の英語版をご参照くださいますようお願いいたします。

目次

1 特長.....1
2 アプリケーション.....1
3 説明.....1
4 ピン構成および機能.....3
5 仕様.....5
5.1 絶対最大定格.....5
5.2 ESD 定格.....5
5.3 推奨動作条件.....5
5.4 熱に関する情報.....5
5.5 電気的特性.....6
5.6 代表的特性.....8
6 詳細説明.....10
6.1 概要.....10
6.2 機能ブロック図.....10
6.3 機能説明.....10
6.4 デバイスの機能モード.....11
7 アプリケーションと実装.....17
7.1 アプリケーション情報.....17
7.2 代表的なアプリケーション.....18
7.3 電源に関する推奨事項.....26
7.4 レイアウト.....26
8 デバイスおよびドキュメントのサポート.....29
8.1 デバイス サポート.....29
8.2 ドキュメントの更新通知を受け取る方法.....29
8.3 サポート・リソース.....29
8.4 商標.....29
8.5 静電気放電に関する注意事項.....29
8.6 用語集.....29
9 改訂履歴.....30
10 メカニカル、パッケージ、および注文情報.....30

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

4 ピン構成および機能

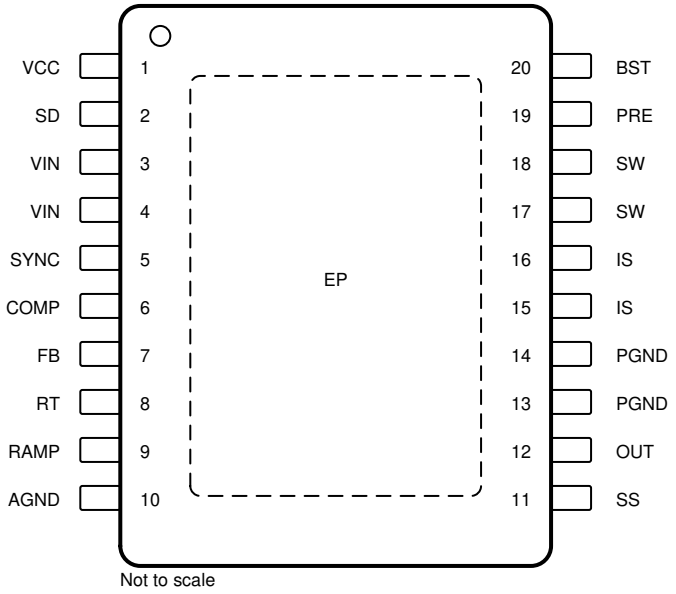


図 4-1. PWP パッケージ、20 ピン HTSSOP (上面図)

表 4-1. ピンの機能

ピン		タイプ(1)	説明	アプリケーション情報
番号	名称			
1	VCC	O	バイアス レギュレータの出力	V_{CC} は、最大 9V の V_{IN} を監視します。9V を超えると、V_{CC} は 7V にレギュレートされます。0.1µF と 1µF の間にセラミック デカップリング コンデンサが必要です。このピンに外部電圧 (7.5V ～ 14V) を印加することで、内部消費電力を低減できます。
2	SD	I	シャットダウンまたは UVLO 入力	SD ピンの電圧が 0.7V より低い場合、レギュレータは低消費電力状態になります。SD ピンの電圧が 0.7V ～ 1.225V の間である場合、レギュレータはスタンバイ モードになります。SD ピンの電圧が 1.225V よりも高い場合、レギュレータは動作状態になります。外付けの分圧器を使用して、ライン低電圧シャットダウン スレッショルドを設定できます。SD ピンをオープンのままにすると、5µA のプルアップ電流源を使用してレギュレータが完全に動作します。
3、4	V_{IN}	I	入力電源電圧	公称動作範囲:6V ～ 75V
5	SYNC	I	発振器の同期入力または出力	内部発振器は、外部プルダウン デバイスを使用して外部クロックと同期可能です。SYNC ピンを接続することで、複数の LM5576 デバイスを互いに同期できます。
6	COMP	O	内部のエラー アンプの出力	ループ補償ネットワークは、このピンと FB ピンの間に接続する必要があります。
7	FB	I	レギュレーション済み出力からのフィードバック信号	このピンは内部エラー アンプの反転入力に接続されています。レギュレーション閾値は 1.225V です。
8	RT	I	内部発振器の周波数設定入力	内部発振器は、このピンと AGND ピンとの間に接続された 1 つの抵抗で設定されます。
9	RAMP	O	ランプ制御信号	このピンと AGND ピンとの間に接続する外付けコンデンサにより、電流モード制御に使用されるランプ スロープが設定されます。推奨されるコンデンサの範囲は 50pF ～ 2000pF です。
10	AGND	グランド	アナログ グランド	レギュレータ制御機能用の内部リファレンス

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

表 4-1. ピンの機能 (続き)

ピン		タイプ(1)	説明	アプリケーション情報
番号	名称			
11	SS	O	ソフト スタート	1 個の外付けコンデンサと 1 個の内部 10µA 電流源を使用して、誤差アンプのリファレンス電圧が上昇するとき定数 (時間定数) を設定します。SS ピンは、スタンバイ、V_{CC} UVLO、サーマル シャットダウン中、low に保持されます。
12	OUT	O	出力電圧の接続	レギュレートされた出力電圧に直接接続します。
13、14	PGND	グランド	電源グランド	PRE スイッチと IS センス抵抗のローサイド リファレンス。
15、16	IS	I	電流センス	再循環ダイオードの電流測定接続。内部のセンス抵抗とサンプル/ホールド回路は、オフ時間の終了付近でダイオード電流を検出します。この電流測定値は、エミュレートされた電流ランプの DC レベルを提供します。
17、18	SW	O	スイッチング ノード	内部降圧スイッチのソース端子。SW ピンは、外部キャッチ ダイオードと降圧インダクタに接続する必要があります。
19	PRE	I	ブートストラップ コンデンサの事前充電支援	このオープン ドレイン出力を SW ピンに接続することで、非常に軽い負荷状況時のブートストラップ コンデンサの充電に役立ちます。また、LM5576 がイネーブルになる前に出力をプリ充電できるアプリケーションでは、ブートストラップ コンデンサを充電できます。降圧スイッチのオン時間間隔の直前に、内部プリチャージ MOSFET が各サイクル 265ns でオンになります。
20	BST	I	ブートストラップ コンデンサの昇圧入力	BST ピンと SW ピンの間には外部コンデンサが必要です。0.022µF セラミック コンデンサを推奨します。このコンデンサは、降圧スイッチのオフ時間中に、V_{CC} から内部ダイオードを経由して充電されます。
該当なし	EP	グランド	露出パッド付き	パッケージ裏面の露出金属パッド。TI は、放熱を促進するため、このパッドを PWB グランド プレーンに接続することを推奨しています。

(1) I = 入力、O = 出力

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

5 仕様

5.1 絶対最大定格

自由気流での動作温度範囲内 (特に記述のない限り)(1) (2)

	最小値	最大値	単位
V_{IN} から GND へ		76	V
BST から GND へ		90	V
PRE から GND へ		76	V
SW から GND へ (定常状態)		-1.5	V
BST から V_{CC} へ		76	V
SD、V_{CC} から GND へ		14	V
BST から SW へ		14	V
OUT から GND へ	V_{IN} に制限		
SYNC、SS、FB、RAMP から GND へ		7	V
保管温度、T_{stg}	-65	150	°C

(1) 「絶対最大定格」の範囲外の動作は、デバイスの永続的な損傷の原因となる可能性があります。「絶対最大定格」は、これらの条件において、または「推奨動作条件」に示された値を超える他のいかなる条件でも、本製品が正しく動作することを意味するものではありません。「絶対最大定格」の範囲内であっても「推奨動作条件」の範囲外で使用すると、デバイスが完全に機能しない可能性があり、デバイスの信頼性、機能、性能に影響を及ぼし、デバイスの寿命を縮める可能性があります。
(2) 防衛用/航空宇宙用仕様のデバイスをお求めの場合は、供給状況および仕様について テキサス インスツルメンツの販売特約店または営業所にお問い合わせください。

5.2 ESD 定格

			値	単位
$V_{(ESD)}$	静電放電(3)	人体モデル (HBM)、ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 に準拠、すべてのピン (1)	±2	kV
		デバイス帯電モデル (CDM)、JEDEC 仕様 JESD22- C101(2) に準拠	±500	V

(1) JEDEC ドキュメント JEP155 には、500V HBM であれば標準的な ESD 管理プロセスにより安全な製造が可能であると記載されています。
(2) JEDEC のドキュメント JEP157 に、250V CDM では標準の ESD 管理プロセスで安全な製造が可能であると規定されています。
(3) HBM (人体モデル)は、各ピンに 1.5kΩ の抵抗を接続して 100pF のコンデンサを放電させるものです。

5.3 推奨動作条件

	最小値	最大値	単位
V_{IN}	6	75	V
動作時接合部温度	-40	125	°C

5.4 熱に関する情報

熱評価基準(1)		LM5576 PWP (HTSSOP) 20 ピン	単位
$R_{\theta JA}$	接合部から周囲への熱抵抗	40	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	接合部からケース (上面) への熱抵抗	33.6	°C/W
$R_{\theta JB}$	接合部から基板への熱抵抗	6.9	°C/W
Ψ_{JT}	接合部から上面への特性パラメータ	1.3	°C/W
Ψ_{JB}	接合部から基板への特性パラメータ	14.8	°C/W

(1) 従来および最新の熱評価基準の詳細については、*『半導体および IC パッケージの熱評価基準』*アプリケーション ノートを参照してください。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

5.5 電気的特性

標準値は T_J = 25℃、V_{IN} = 48V、R_T = 32.4kΩ に対応します。特に記述のない限り、最小および最大の限界値は、-40°C ～ 125°C の接合部温度範囲全体に対するものです。(1)

パラメータ		テスト条件	最小値	標準値	最大値	単位
スタートアップ レギュレータ						
V_{CC} Reg	V_{CC} レギュレータ出力		6.85	7.15	7.45	V
	V_{CC} LDO モード ターンオフ			9		V
	V_{CC} 電流制限	V_{CC} = 0V、		25		mA
VCC 電源						
	V_{CC} UVLO スレッショルド	VCC の増加	5.03	5.35	5.67	V
	V_{CC} 低電圧のヒステリシス			0.25		V
	バイアス電流 (lin)	FB = 1.3V。		2	4.5	mA
	シャットダウン電流 (lin)	SD = 0V。		48	85	µA
シャットダウン スレッショルド						
	シャットダウン スレッショルド		0.47	0.7	0.9	V
	シャットダウンのヒステリシス			0.1		V
	スタンバイ スレッショルド		1.17	1.225	1.28	V
	スタンバイ ヒステリシス			0.1		V
	SD プルアップ電流ソース			5		µA
スイッチ特性						
	降圧スイッチの Rds(ON)			170	340	mΩ
	昇圧 UVLO			3.8		V
	BOOST UVLO ヒステリシス			0.8		V
	プリチャージ スイッチ Rds(on)			70		Ω
	プリチャージス イッチオン時間			265		ns
電流制限						
	サイクルごとの電流制限遅延	RAMP = 2.5V。		75		ns
ソフト スタート						
	SS 電流ソース		7	10	14	µA
発振器						
	Frequency1		180	200	220	kHz
	Frequency2	R_T = 11kΩ。	425	485	545	kHz
	同期ソース インピーダンス			11		kΩ
	同期シンク インピーダンス			110		Ω
	SYNC スレッショルド (立ち下がり)			1.4		V
	SYNC 周波数	R_T = 11kΩ。	550			kHz
	SYNC パルス幅の最小値		15			ns
RAMP 生成器						
	ランプ電流 1	V_{IN} = 60V、V_{OUT} = 10V です。	235	275	315	µA
	ランプ電流 1	V_{IN} = 36V、V_{out} = 10V です。	136	160	184	µA
	ランプ電流 2	V_{IN} = 10V、V_{out} = 10V です。	18	25	32	µA
PWM コンパレータ						
	強制オフ時間		416	500	575	ns
	最小オン時間			80		ns
	COMP から PWM へのコンパレータ オフセット			0.7		V
エラー アンプ						
	帰還電圧	Vfb = COMP。	1.207	1.225	1.243	µV
	FB バイアス電流			10		nA

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

5.5 電気的特性 (続き)

標準値は T_J = 25℃、V_{IN} = 48V、R_T = 32.4kΩ に対応します。特に記述のない限り、最小および最大の限界値は、-40°C ～ 125°C の接合部温度範囲全体に対するものです。(1)

パラメータ		テスト条件	最小値	標準値	最大値	単位
	DC ゲイン			70		dB
	COMP シンク/ソース電流		3			mA
	ユニティ ゲイン帯域幅			3		MHz
ダイオード検出抵抗						
D_{SENSE}				42		mΩ
サーマル シャットダウン						
Tsd	サーマル シャットダウン スレッショルド			165		°C
	サーマル シャットダウン ヒステリシス			25		°C

(1) 最小および最大制限値は 25℃で全数テストされます。全動作温度範囲における制限値は、統計的品質管理 (SQC) 法を使用した相関により規定されています。これらの制限値を使って、テキサス インスツルメンツの平均出検品質限界 (AOQL) を計算しています。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

5.6 代表的特性

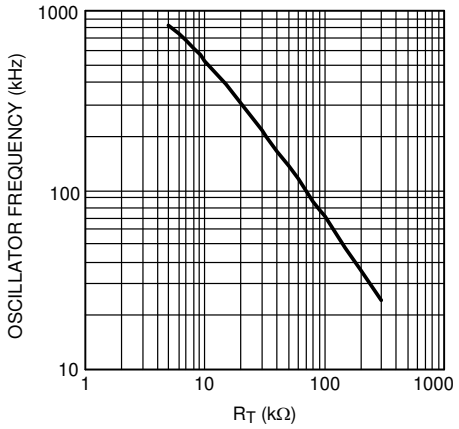


図 5-1. 発振器周波数と R_T

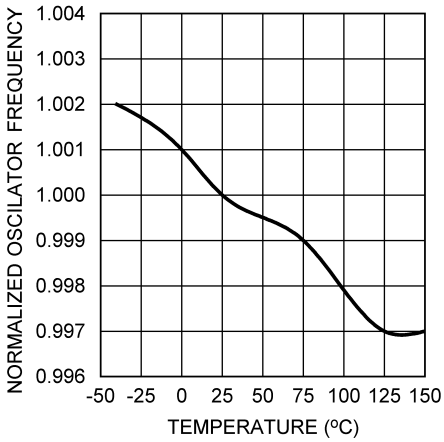


図 5-2. 発振器周波数と温度との関係 (Q0) F_{OSC} = 200kHz

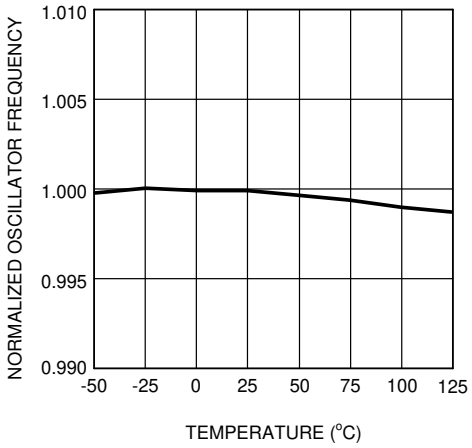


図 5-3. 発振器周波数と温度との関係 (Q1) F_{OSC} = 200kHz

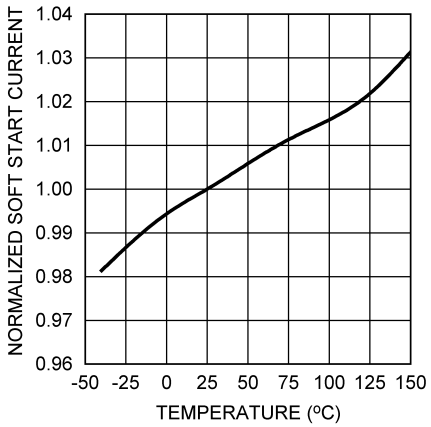


図 5-4. ソフトスタート電流と温度との関係 (Q0)

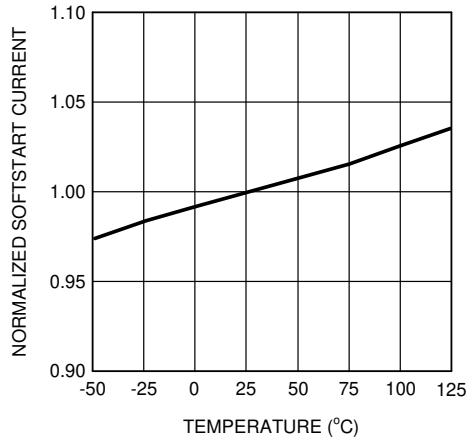


図 5-5. ソフトスタート電流と温度との関係 (Q1)

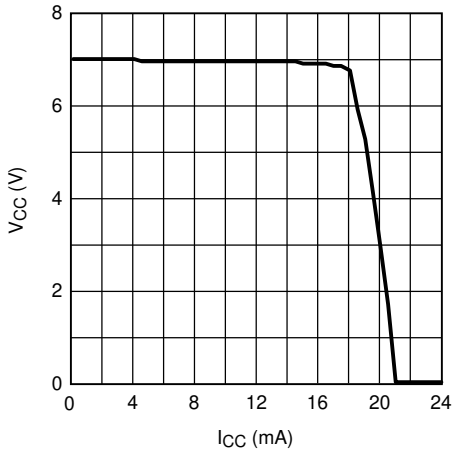


図 5-6. V_{CC} と I_{CC} V_{IN} = 12V との関係

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

5.6 代表的特性 (続き)

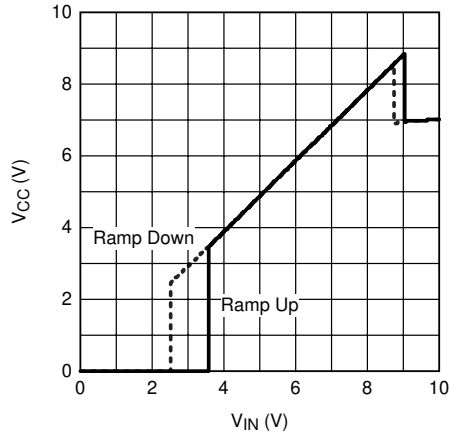


図 5-7. V_{CC} と V_{IN} R_L = 7kω との関係

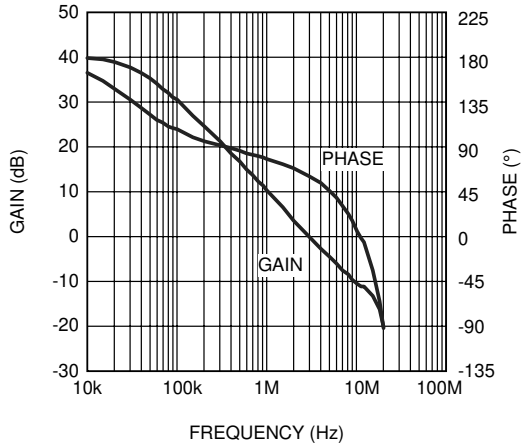


図 5-8. エラー アンプのゲイン/位相 AVCL = 101

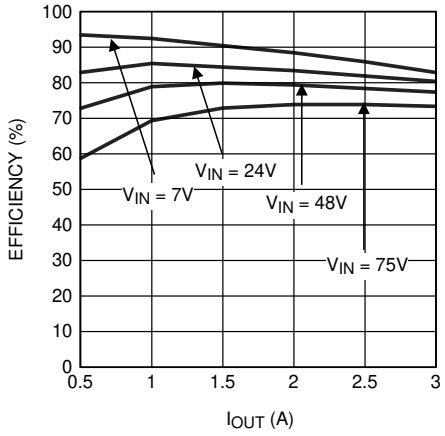


図 5-9. デモボード効率と I_{OUT} および V_{IN}

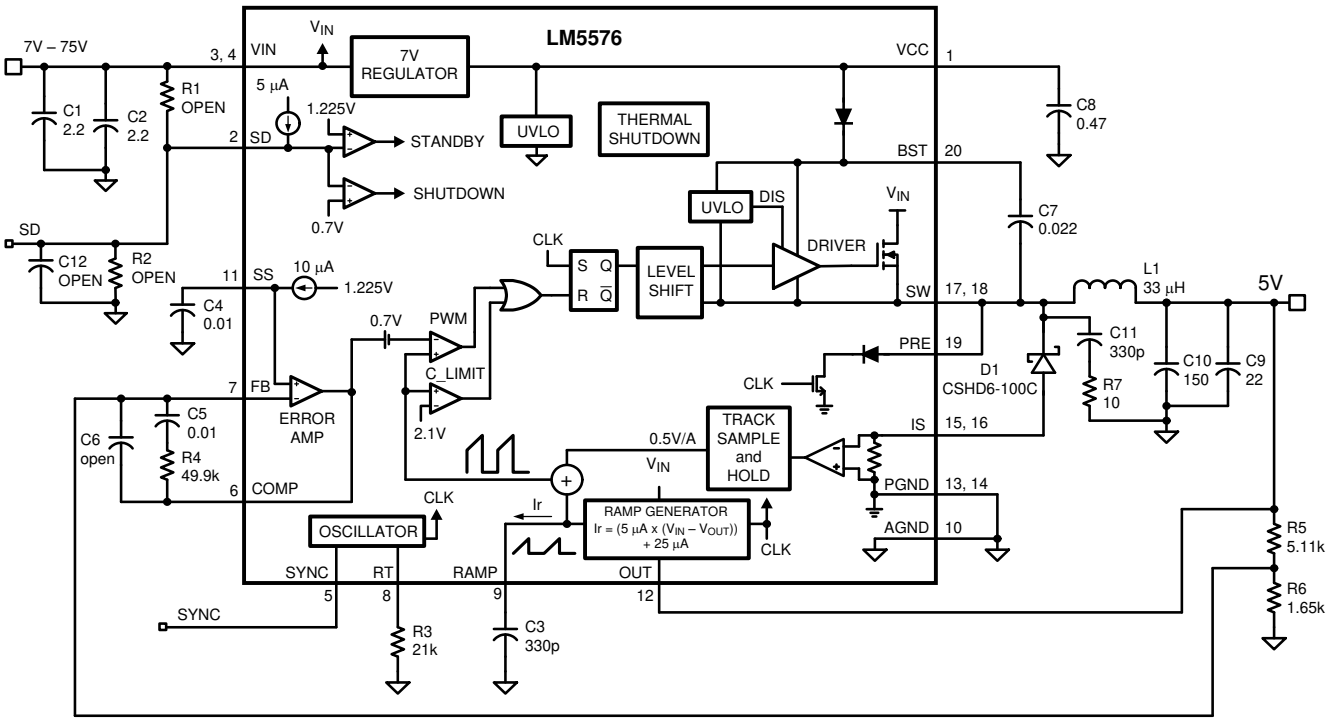
6 詳細説明

6.1 概要

LM5576 スイッチング レギュレータは、最小限の外付け部品を使用して高効率高電圧を実装するために必要なすべての機能を備えています。この使いやすいレギュレータは、75V の N チャネル降圧スイッチを内蔵しており、出力電流能力は 3A です。レギュレータ制御方式は、エミュレート電流ランプを使用した電流モード制御に基づいています。ピーク電流モード制御には、ライン電圧フィード フォワードと、サイクル単位の電流制限が組み込まれており、ループ補償が簡単に行えます。エミュレートされた制御ランプを使用することで、パルス幅変調回路のノイズ感受性が減少し、入力電圧の高いアプリケーションで不可欠となる、デューティ サイクルの非常に微細な処理を高い信頼性で実行できます。動作周波数は 50kHz ～ 500kHz の範囲でユーザーが設定可能です。発振器の同期ピンを使用すると、複数の LM5576 レギュレータを自己同期させることや、外部クロックに同期させることができます。出力電圧は最低 1.225V に設定できます。フォルト保護機能として、電流制限、サーマル シャットダウン、リモート シャットダウン機能が搭載されています。このデバイスは、放熱を助けるために露出したパッドを備えた 20 ピン HTSSOP パッケージで供給されます。

LM5576 の機能ブロック図と代表的なアプリケーションについては、*セクション 6.2* セクションを参照してください。LM5576 は、レギュレートされていない高い入力電圧を効率的に降圧するために、多くのアプリケーションに適用できます。このデバイスは、テレコム、産業用電源バス電圧範囲用に設計されています。

6.2 機能ブロック図



6.3 機能説明

6.3.1 シャットダウン/スタンバイ

LM5576 には、デュアルレベル シャットダウン (SD) 回路が含まれています。SD ピンの電圧が 0.7V を下回ると、レギュレータは低電流シャットダウン モードになります。SD ピンの電圧が 0.7V より高く、1.225V を下回る場合、レギュレータはスタンバイ モードになります。スタンバイ モードでは、V_{CC} レギュレータがアクティブですが、制御回路がディスエーブルです。SD ピンの電圧が 1.225V を超えると、出力スイッチがイネーブルになり、通常動作が開始されます。内部の 5µA プルアップ電流源により、SD ピンがオープンのままになっている場合にレギュレータが完全に動作するように構成されます。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

VIN と GND の間に外部設定点を接続する分圧器を使用して、レギュレータの動作入力範囲を設定できます。デバイダは、V_{IN} が望ましい動作範囲内にあるとき、SD ピンの電圧が 1.225V を超えるように設計する必要があります。内部の 5µA プルアップ電流源を、外付け設定ポイント デバイダの計算に含める必要があります。シャットダウン スレッショルドとスタンバイ スレッショルドの両方に対して、0.1V のヒステリシスが含まれています。SD ピンは、1kΩ 抵抗と 8V ツェナーク ランプによって内部的にクランプされています。SD ピンの電圧は 14V を超えないようにしてください。SD ピンの電圧が 8V を超えると、バイアス電流は 1mA /V の割合で増加します。

SD ピンを使用して、各種のリモート イネーブルおよびディセーブル機能を実装することもできます。SD ピンを 0.7V スレッショルドよりも低くすると、コントローラは完全にディセーブルになります。SD ピンの電圧が 1.225V よりも高い場合、レギュレータは動作します。

6.3.2 ソフト スタート

ソフトスタート機能は、レギュレータを徐々に初期の定常状態動作点へと到達させることで、起動時のストレスやサージを低減します。初期のソフトスタート電流ソースは、10µA に設定され、SS ピンに接続された外付けソフトスタート コンデンサの電圧が徐々に上昇します。ソフトスタート コンデンサの電圧は、エラー アンプのリファレンス入力に接続されます。SS ピンの電圧レベルを制限またはクランプする外付け回路を使用して、各種のシーケンシングおよびトラッキング方式を実装できます。

フォルトが検出された場合 (過熱、V_{CC} UVLO、SD)、ソフトスタート コンデンサが放電されます。フォルト条件が解消されると、新しいソフトスタート シーケンスが開始されます。

6.3.3 過熱保護

最大接合部温度を超えた場合に集積回路を保護する目的で、内部にサーマル シャットダウン回路が実装されています。この回路は通常 165°C でアクティブになり、コントローラは強制的に低消費電力のリセット状態に移行し、出力ドライバとバイアス レギュレータは無効になります。この機能は、偶発的なデバイス過熱による致命的な障害を防止するために提供されます。

6.4 デバイスの機能モード

6.4.1 高電圧起動レギュレータ

LM5576 にはデュアルモードの高電圧スタートアップ レギュレータが内蔵されており、PWM コントローラ用の $_{CC}$ バイアス電源とブートストラップ MOSFET ゲート ドライバを供給します。入力ピン (VIN) は、最大 75V の入力電圧に直接接続できます。9V 未満の入力電圧の場合、低ドロップアウト スイッチにより V_{CC} を直接 V_{IN} に接続します。この電源電圧範囲では、V_{CC} は V_{IN} とほぼ等しくなります。V_{IN} 電圧が 9V を超える場合、低ドロップアウト スイッチがディセーブルされ、V_{CC} レギュレータがイネーブルになって V_{CC} を約 7V に維持します。このデュアルモード レギュレータを使用することで、6V ～ 75V の広い動作範囲を実現します。

V_{CC} レギュレータの出力は、25mA に電流を制限します。電源オン時に、レギュレータは VCC ピンに接続されているコンデンサに電流を供給します。VCC ピンの電圧が V_{CC} UVLO スレッショルドの 5.35V を上回り、SD ピンが 1.225V を上回ると、出力スイッチがイネーブルになり、ソフトスタート シーケンスが開始されます。V_{CC} が 5.0V を下回るか、SD ピンが 1.125V を下回るまで、出力スイッチはイネーブルのままです。

VCC ピンに補助電源電圧を印加することで、IC の消費電力を低減できます。補助電圧が 7.3V を超えると、内部レギュレータは実質的にシャットオフされ、IC の消費電力が低減します。V_{CC} レギュレータ シリーズのパス トランジスタには、V_{CC} と V_{IN} との間のダイオードが含まれます。このダイオードは、通常動作において順方向バイアスとなってはなりません。したがって、補助 V_{CC} 電圧が V_{IN} 電圧を超えないようにする必要があります。

高電圧アプリケーションでは、VIN ピンが 76V の絶対最大電圧定格を超えないように特に注意してください。ラインまたは負荷過渡中に、絶対最大定格を超える V_{IN} ラインの電圧リンギングが発生すると、IC に損傷を与える可能性があります。プリント基板の慎重なレイアウトと、VIN および GND ピンの近くに高品質のバイパス コンデンサを配置することの両方が不可欠です。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

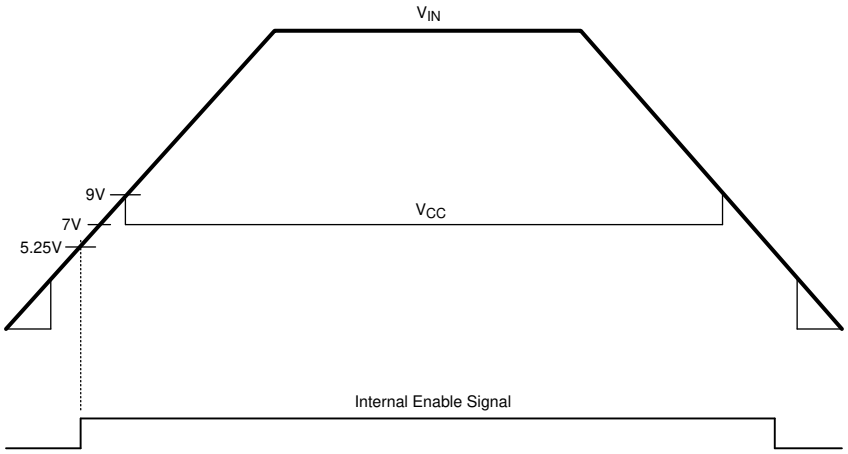


図 6-1. V_{IN} および V_{CC} シーケンス

6.4.2 発振器と同期機能

LM5576 の発振器の周波数は、RT ピンと AGND ピンの間に 1 個の外付け抵抗を接続して設定します。R_T 抵抗は、デバイスの非常に近く配置し、IC のピン (RT および AGND) に直接接続する必要があります。目的の発振器周波数 (F) を設定するには、R_T 抵抗に必要な値は 式 1 で計算できます。

$$R_T = \frac{\frac{1}{F} - 580 \times 10^{-9}}{135 \times 10^{-12}} \quad (1)$$

SYNC ピンを使用して、内部発振器を外部クロックに同期することができます。外部クロックの周波数は、R_T 抵抗で設定されるフリーランニング**周波数よりも高い**必要があります。外部クロックから SYNC ピンへのインターフェイスには、オープンドレイン出力を備えたクロック回路を推奨します。クロック パルス幅は 15ns より大きい必要があります。

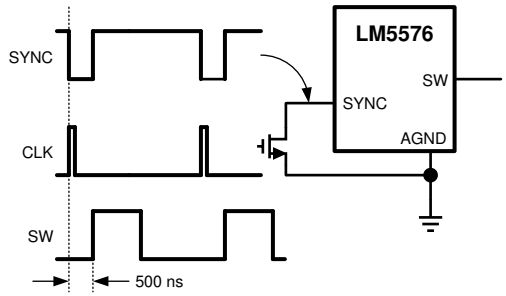


図 6-2. 外部クロックからの同期

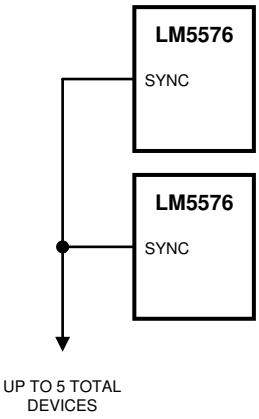


図 6-3. 複数のデバイスから同期します

SYNC ピンを互いに接続するだけで、複数の LM5576 デバイスを互いに同期することができます。この構成では、すべてのデバイスが最高周波数のデバイスに同期されます。図 6-4 の図に、LM5576 の同期入出力機能を示します。内部発振回路は、強いプルダウンと弱いプルアップ インバータを使用して SYNC ピンを駆動します。内部発振器または外部クロックによって SYNC ピンが low になると、発振器のランプ サイクルが終了し、新しい発振器サイクルが開始されます。したがって、複数の LM5576 IC の SYNC ピンが互いに接続されている場合、内部クロック周波数が最も高い IC が接続されている SYNC ピンを最初に low にプルし、他の IC の発振器ランプ サイクルを終了します。最高にプログラムされたクロッ

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

ク周波数の LM5576 がコントローラとして機能し、低い発振器周波数ですべてのデバイスのスイッチング周波数を制御します。

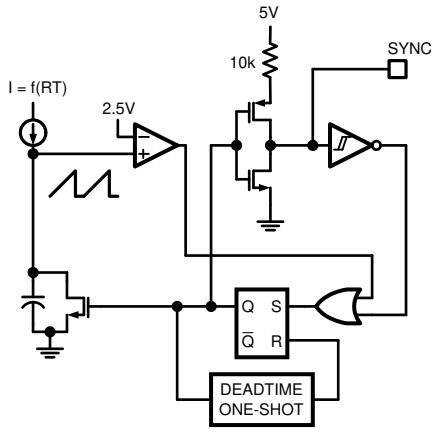


図 6-4. 概略発振器のブロック図と同期 I/O 回路

6.4.3 エラー アンプと PWM コンパレータ

内部の高ゲインのエラー アンプは、調整された出力電圧と、内部の高精度リファレンス (1.225V) との差に比例する誤差信号を生成します。エラー アンプの出力は COMP ピンに接続されているため、ユーザーは、*セクション 6.2* セクションに示すように、通常はタイプ II ネットワークであるループ補償コンポーネントを提供できます。このネットワークにより、DC に極、ゼロ、ノイズ低減の高周波極が形成されます。PWM コンパレータは、エミュレートされた電流センス信号を、RAMP ジェネレータから COMP ピンでのエラー アンプ出力電圧と比較します。

6.4.4 ランプ生成器

電流モード制御用のパルス幅変調器で使用されるランプ信号は、通常は降圧スイッチ電流から直接生成されます。このスイッチ電流は、出力インダクタ電流の正の勾配部分に対応します。この信号を PWM ランプに利用することで、単一極の応答に制御ループの伝達関数が単純化され、固有の入力電圧フィードフォワード補償が行われます。PWM 制御に降圧スイッチ電流信号を使用する場合の欠点は、回路の寄生成分に起因する大きなリーディング エッジ スパイクが発生し、フィルタリングまたはブランキングが必要になることです。また、電流測定は大幅な伝搬遅延を発生させる可能性があります。フィルタリング、ブランキング時間、伝搬遅延によって、実現可能な最小パルス幅が制限されます。出力電圧に比べて入力電圧が比較的大きくなる可能性のあるアプリケーションでは、レギュレーションのために小さなパルス幅とデューティ サイクルを制御する必要があります。LM5576 は独自のランプ ジェネレータを使用します。このジェネレータは、実際に降圧スイッチ電流を測定するのではなく、信号を再構築します。インダクタ電流を再構築またはエミュレートすると、PWM コンパレータにランプ信号が供給され、リーディング エッジ スパイクや測定またはフィルタリング遅延が発生しません。電流再構成は、サンプル/ホールド DC レベルとエミュレート電流ランプという 2 つの要素で構成されています。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

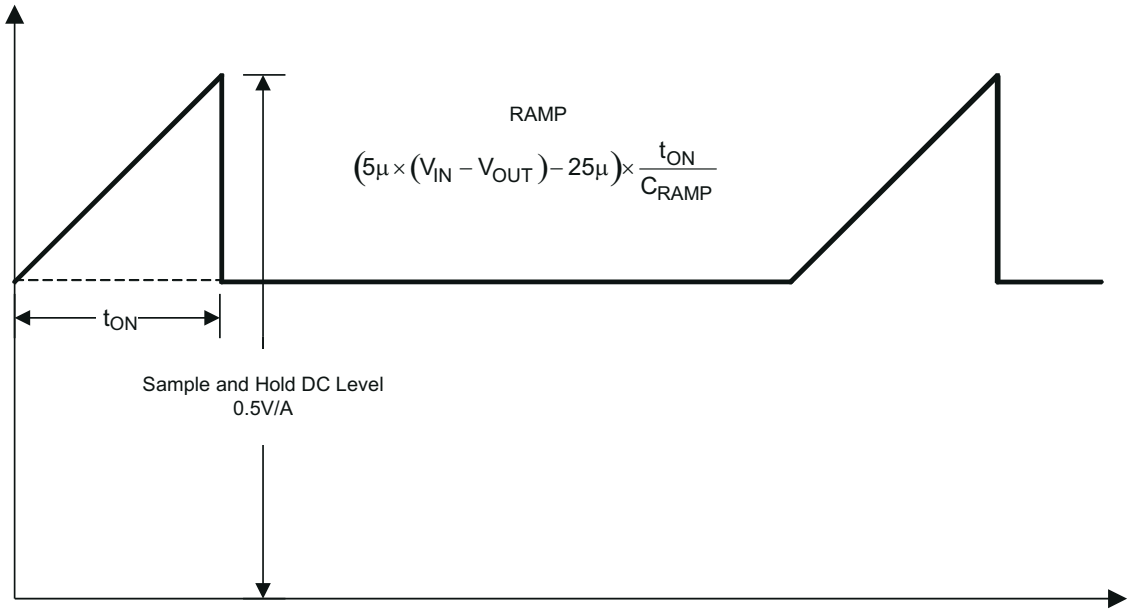


図 6-5. 電流センス信号の構成

図 6-5 に示すサンプル/ホールド DC レベルは、再循環のショットキー ダイオード アノード電流の測定値から得られます。再循環ダイオードのアノードは IS ピンに接続する必要があります。ダイオード電流は、IS ピンと PGND ピンの間にある内部電流検出抵抗を流れます。センス抵抗の両端の電圧レベルは、降圧スイッチの次の導通間隔が開始する直前にサンプリングおよび保持されます。ダイオード電流センシングとサンプル/ホールドは、再構築された電流信号の DC レベルを提供します。正のスロープ インダクタ電流ランプは、RAMP ピンから AGND に接続された外付けコンデンサと内部電圧制御電流源によってエミュレートされます。インダクタ電流をエミュレートするランプ電流源は、式 2 に従って V_{IN} および V_{OUT} 電圧の関数です。

$$I_{RAMP} = (5\ \mu \times (V_{IN} - V_{OUT})) + 25\ \mu A \quad (2)$$

RAMP コンデンサを適切に選択するかどうかは、選択した出力インダクタの値によって異なります。式 3 を使用して、C_{RAMP} の値を選択できます。

$$C_{RAMP} = L \times 10^{-5} \quad (3)$$

ここで、

- L は出力インダクタの値をヘンリーで表した値です

この値では、エミュレートされた電流ランプの係数は、DC レベル サンプル/ホールド (0.5V/A) の係数とほぼ等しくなります。C_{RAMP} コンデンサは、デバイスのごく近くに配置し、IC (RAMP および AGND) のピンに直接接続する必要があります。

デューティ サイクルが 50%よりも大きい場合、ピーク電流モード制御回路は分数調波発振の影響を受けます。分数調波の発振には通常、スイッチ ノードで広いパルスと狭いデューティ サイクルが繰り返し観測されるという特徴があります。電流検出信号に固定スロープ電圧ランプ (スロープ補償) を追加することで、この発振を防ぐことができます。エミュレート電流源から供給されるオフセット電流の 25μA により、ランプ信号に固定スロープが追加されます。出力電圧およびデューティ サイクルの高いアプリケーションによっては、追加のスロープが必要になる場合があります。これらのアプリケーションでは、V_{CC} ピンと RAMP ピンの間にプルアップ抵抗を追加して、ランプ勾配補償を増やすことができます。

V_{OUT} > 7.5V の場合:

最適なスロープ電流 $I_{OS} = V_{OUT} \times 5\ \mu A/V$. を計算します

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

例えば、V_{OUT} = 10V、I_{OS} = 50µA。

RAMP ピンと V_{CC} との間に抵抗を取り付けるには、式 4 を使用します。

$$R_{RAMP} = V_{CC} / (I_{OS} – 25\ \mu A) \quad (4)$$

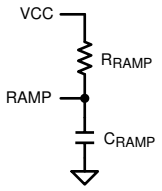


図 6-6. V_{OUT} > 7.5V の場合、V_{CC} に対する R_{RAMP}

C_{RAMP} 上にエミュレートされたランプ信号は、*セクション 6.4.7* で説明されているように、電流制限コンパレータに適用されることに注意してください。ランプ スロープを大きくすると、電流制限スレッショルドが低くなります。これにより、条件によっては、本デバイスの出力電流能力が 3A 未満に低下することがあります。結果として得られる電流制限スレッショルドは、式 5 で計算できます。

$$I_{CL} = \frac{V_{CL} - \frac{\left[\left(V_{IN} - V_{OUT}\right) \times g_m + Ioffset + \frac{Vcc}{R_{RAMP}}\right] \times D \times T}{C_{RAMP}}}{A \times Rs} + \frac{1}{2}\left[\frac{V_{OUT} \times T \times \left(1 - D\right)}{L}\right] \quad (5)$$

ここで、

- V_{CL} = 2.1V
- gm = 5µA/V
- Ioffset = 25µA
- A x Rs = 0.5V/A
- V_{CC} = 7V
- T = スイッチング周期
- D = デューティ サイクル (おおよそ V_{OUT}/V_{IN})
- L = インダクタの値
- C_{RAMP} = ランプ コンデンサの値
- R_{RAMP} = ランプ抵抗値

C_{RAMP} と R_{RAMP} の推奨値を使用する場合、式 6 は電流制限スレッショルドを計算できます。

$$I_{CL} = \frac{V_{CL}}{A \times Rs} - \frac{1}{2}\left[\frac{V_{OUT} \times T \times \left(1 + D\right)}{L}\right] \quad (6)$$

6.4.5 最大デューティ サイクル/入力ドロップアウト電圧

ダイオード電流をサンプリングするのに十分な時間を確保するため、サイクルごとに 500ns の強制オフ時間が実装されています。この強制オフ時間により、バック スイッチの最大デューティ サイクルが制限されます。最大デューティ サイクルは、動作周波数によって異なります (式 7 を参照)。

$$D_{MAX} = 1 – Fs \times 500\ ns \quad (7)$$

ここで、

- Fs は発振器の周波数です

最大デューティ サイクルを制限すると、入力ドロップアウト電圧が上昇します。入力ドロップアウト電圧は、出力電圧のレギュレーションを維持するために必要な最小の入力電圧です。入力ドロップアウト電圧の近似値を計算するには、式 8 を使用します。

$$Vin_{MIN} = \frac{Vout + V_D}{1 - Fs \times 500\ ns} \quad (8)$$

ここで、

- V_D は、還流ダイオードの両端の電圧降下です

高いスイッチング周波数で動作する場合、レギュレーションの維持に必要な最小入力電圧が上昇します。

6.4.6 昇圧ピン

LM5576 は、N チャネル降圧スイッチと関連するフローティング高電圧レベルシフト/ゲート ドライバを内蔵しています。このゲート ドライバ回路は、内部ダイオードと外付けブートストラップ コンデンサと組み合わせて動作します。0.022µF のセラミック コンデンサを BST ピンと SW ピンの間に短いパターンで接続することを推奨しています。降圧スイッチのオフ時間中、SW ピンの電圧は約–0.5 V であり、ブートストラップ コンデンサは V_{CC} から内部ブートストラップ ダイオードを経由して充電されます。高い PWM デューティ サイクルで動作する場合、降圧スイッチはサイクルごとに 500ns にわたって強制的にオフになり、ブートストラップ コンデンサが確実に再充電されます。

非常に軽い負荷条件の下、または出力電圧が事前充電されている場合、降圧スイッチのオフ時間中、SW 電圧は low に維持されません。インダクタ電流がゼロまで低下し、SW ピンが上昇すると、ブートストラップ コンデンサは降圧スイッチのゲート ドライバを動作させるのに十分な電圧を得られません。これらのアプリケーションでは、PRE ピンを SW ピンに接続して、ブートストラップ コンデンサを事前充電できます。PRE ピンと PGND の間に接続された内部プリチャージ MOSFET とダイオードは、新しいスイッチング サイクルの開始の直前に 265ns にわたって各サイクルをオンにします。SW ピンが通常の負電圧レベル (連続導通モード) の場合、プリチャージ MOSFET/ダイオードに電流は流れません。出力電圧が 5V を超える場合でも、ブートストラップ コンデンサを再充電するのに十分に SW 電圧が低くなるようにするため、最小負荷電流が必要な場合があります。

6.4.7 電流制限

LM5576 は、制御と過電流保護のための独自の電流監視方式を採用しています。正しく設定すると、エミュレートされた電流センス信号は降圧スイッチ電流に比例する 0.5V/A の係数で信号を出力しますエミュレートされたランプ信号が、電流制限コンパレータに適用されます。エミュレートされたランプ信号が 2.1V (4.2A) を超えると、現在の電流サイクルは終了します (サイクル単位の電流制限)。出力インダクタンスが小さく入力電圧が高いアプリケーションでは、電流制限コンパレータの伝搬遅延により、スイッチ電流がオーバーシュートする可能性があります。オーバーシュートが発生した場合、降圧スイッチのオフ時間中に、ダイオード電流サンプリング回路が過剰なインダクタ電流を検出します。サンプル/ホールド DC レベルが 2.1V 電流制限スレッショルドを超えると、降圧スイッチがディセーブルになり、ダイオード電流サンプリング回路がインダクタ電流が電流制限スレッショルド未満に減衰していることを検出するまで、パルスをスキップします。このアプローチにより、電流オーバーシュート後にインダクタ電流が強制的に減衰するため、伝搬遅延またはインダクタの飽和による電流暴走状態を防止できます。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7 アプリケーションと実装

注

以下のアプリケーション情報は、TI の製品仕様に含まれるものではなく、TI ではその正確性または完全性を保証いたしません。個々の目的に対する製品の適合性については、お客様の責任で判断していただくことになります。お客様は自身の設計実装を検証しテストすることで、システムの機能を確認する必要があります。

7.1 アプリケーション情報

7.1.1 バイアス消費電力の低減

高い入力電圧で動作する降圧レギュレータは、IC のバイアスに対してかなりの電力を消費する可能性があります。V_{CC} レギュレータは、入力電圧 V_{IN} を公称 V_{CC} レベル 7V まで降圧する必要があります。V_{CC} レギュレータの両端の大きな電圧降下は、レギュレータ内での大きな消費電力に変換されます。このバイアス レギュレータの消費電力を大幅に低減できる方法はいくつかあります。図 7-1 および V_{CC} 図 7-2 は、出力電圧から IC をバイアスする 2 つの方法を示しています。いずれの場合も、最初に内部 V_{CC} レギュレータを使用して VCC ピンにバイアスを印加します。出力電圧が確立されると、VCC ピンの電位が公称 7V レギュレーション レベルよりも高くなり、内部 V_{CC} レギュレータが実質的にディセーブルされます。VCC ピンに印加される電圧は、14V を超えないようにしてください。V_{CC} 電圧は、$_{V\,IN}$ 電圧より高くしてはいけません。

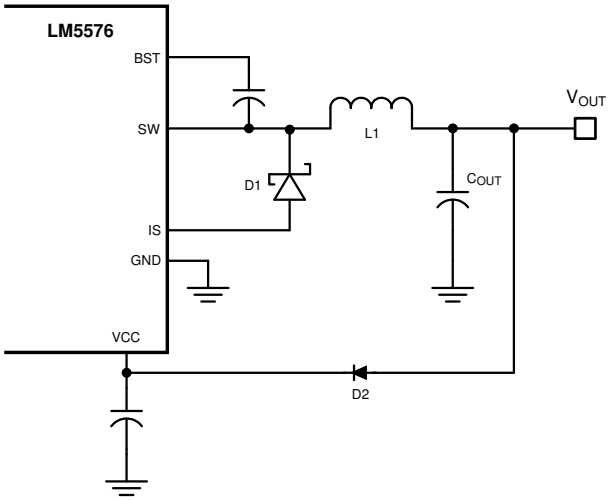


図 7-1. 8V < V_{OUT} < 14V の場合、V_{OUT} からの V_{CC} バイアス

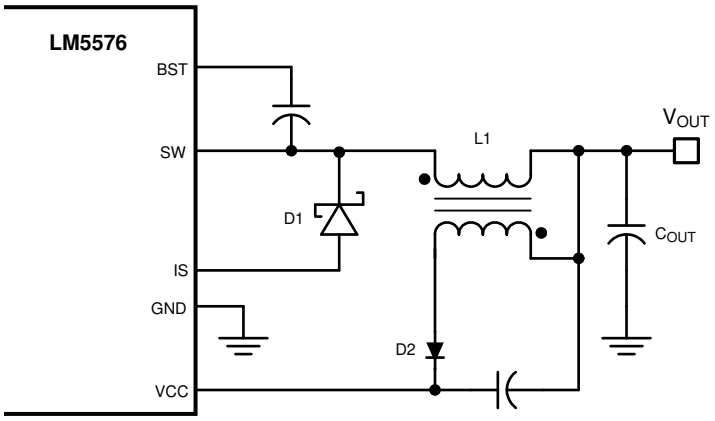


図 7-2. 出力インダクタに追加巻線を接続する V_{CC} バイアス

7.2 代表的なアプリケーション

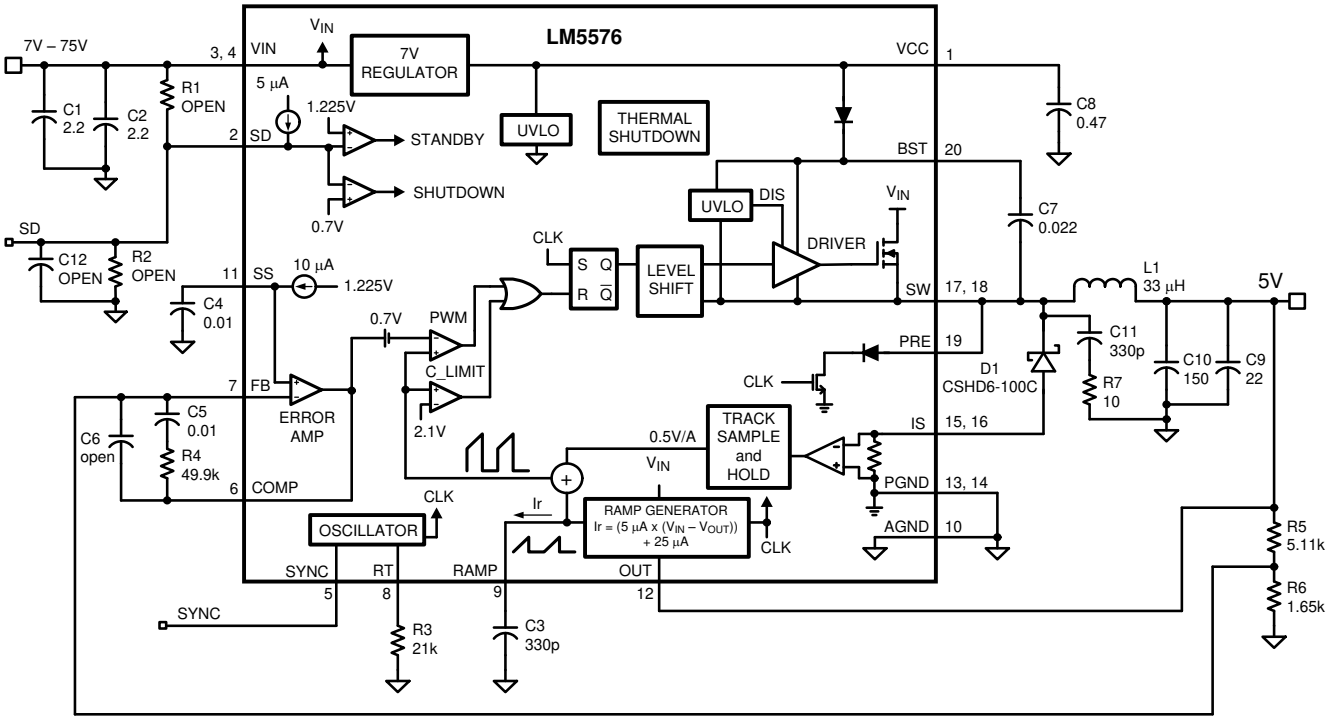


図 7-3. 代表的なアプリケーション

7.2.1 設計要件

図 7-3 に示す回路は、以下の仕様で構成されています。

- V_{OUT} = 5V
- V_{IN} = 7 V→75 V
- Fs = 300kHz
- 最小負荷電流 (CCM の場合) = 250mA
- 最大負荷電流 = 3A

7.2.2 詳細な設計手順

7.2.2.1 WEBENCH® ツールによるカスタム設計

ここをクリックすると、WEBENCH® Power Designer により、LM5576 デバイスを使用するカスタム設計を作成できます。

1. 最初に、入力電圧 (V_{IN})、出力電圧 (V_{OUT})、出力電流 (I_{OUT}) の要件を入力します。
2. オプティマイザのダイヤルを使用して、効率、占有面積、コストなどの主要なパラメータについて設計を最適化します。
3. 生成された設計を、テキサス・インスツルメンツが提供する他の方式と比較します。

WEBENCH Power Designer では、カスタマイズされた回路図と部品リストを、リアルタイムの価格と部品の在庫情報と併せて参照できます。

通常、次の操作を実行可能です。

- 電気的なシミュレーションを実行し、重要な波形と回路の性能を確認する
- 熱シミュレーションを実行し、基板の熱特性を把握する
- カスタマイズされた回路図やレイアウトを、一般的な CAD フォーマットで出力する
- 設計のレポートを PDF で印刷し、設計を共有する

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

WEBENCH ツールの詳細は、www.ti.com/ja-jp/WEBENCH でご覧になれます。

7.2.2.2 外付け部品

外部部品を計算する手順を、次の設計例で示します。この設計の部品表を 表 7-1 に示します。

表 7-1. 5V、3A デモ ボードの部品表

項目		部品番号	説明	値
C	1	C4532X7R2A225M	コンデンサ、CER、TDK	2.2µ、100 V
C	2	C4532X7R2A225M	コンデンサ、CER、TDK	2.2µ、100 V
C	3	C0805C331G1GAC	コンデンサ、CER、KEMET	330p、100V
C	4	C2012X7R2A103K	コンデンサ、CER、TDK	0.01µ、100V
C	5	C2012X7R2A103K	コンデンサ、CER、TDK	0.01µ、100V
C	6	オープン	未使用	
C	7	C2012X7R2A223K	コンデンサ、CER、TDK	0.022µ、100V
C	8	C2012X7R1C474M	コンデンサ、CER、TDK	0.47µ、16V
C	9	C3225X7R1C226M	コンデンサ、CER、TDK	22µ、16V
C	10	EEFHE0J151R	コンデンサ、SP、パナソニック	150µ、6.3V
C	11	C0805C331G1GAC	コンデンサ、CER、KEMET	330p、100V
C	12	オープン	未使用	
D	1	CSHD6-100C	ダイオード、100V、セントラル	
		6CWQ10FN	ダイオード、100V、IR (D1-ALT)	
L	1	DR127-330	インダクタ、クーパー	33µH
R	1	オープン	未使用	
R	2	オープン	未使用	
R	3	CRCW08052102F	抵抗	21kΩ
R	4	CRCW08054992F	抵抗	49.9kΩ
R	5	CRCW08055111F	抵抗	5.11kΩ
R	6	CRCW08051651F	抵抗	1.65kΩ
R	7	CRCW2512100J	抵抗	10、1W
U	1	LM5576	レギュレータ、テキサス インスツルメンツ	

7.2.2.3 R3 (R_T)

R_T は、発振器のスイッチング周波数を設定します。一般的に、高周波アプリケーションは小さくなりますが、損失が大きくなります。この例では、小型サイズと高効率の両方を考慮した妥当な折衷点として、300kHz での動作を選択しました。300kHz のスイッチング周波数について、R_T の値は 式 9 で計算できます。

$$R_T = \frac{\left(\left(\frac{1}{300 \times 10^3}\right) - 580 \times 10^{-9}\right)}{135 \times 10^{-12}} \quad (9)$$

R_T にはもっとも標準値 21kΩ が選択されました。

7.2.2.4 L1

インダクタの値は、動作周波数、負荷電流、リップル電流、および最小および最大入力電圧 ($V_{IN(min)}$、$V_{IN(max)}$) に基づいて決定されます。

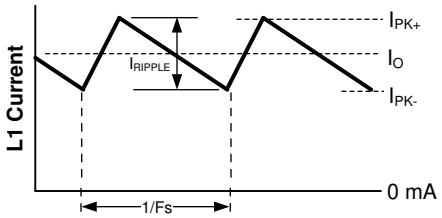


図 7-4. インダクタ電流の波形

回路を連続導通モード (CCM) に維持するには、最大リップル電流 I_{RIPPLE} が最小負荷電流の 2 倍 (0.5AP-p) よりも小さくなる必要があります。このリップル電流の値を考えると、式 10 と 式 11 を使用してインダクタ (L1) の値を計算します。

$$L1 = \frac{V_{OUT} \times \left(V_{IN(max)} - V_{OUT}\right)}{I_{RIPPLE} \times F_S \times V_{IN(max)}} \tag{10}$$

$$L1 = \frac{5V \text{ x } (75V - 5V)}{0.5A \text{ x } 300 \text{ kHz x } 75V} = 31\ \mu H \tag{11}$$

この手順では、L1 の値を選択するためのガイドを示します。最も近い標準値 (33µH) が使用されます。飽和を防止するため、L1 にピーク電流 (I_{PK+}) の定格を付ける必要があります。通常の負荷条件では、最大負荷電流に最大リップルを加えた値でピーク電流が発生します。過負荷状態では、ピーク電流は公称 4.2A (最大 5.1A) に制限されます。選択したインダクタ (表 7-1 を参照) の飽和電流定格は控えめな 6.2A です。このメーカーの場合、飽和定格は 20°C でインダクタンスが 30% 低減するのに必要な電流として定義されます。

7.2.2.5 C3 (C_{RAMP})

インダクタ値を選択したら、式 12 を使用して、エミュレーション ランプ回路に必要な C3 の値 (C_{RAMP}) を計算します。

$$C_{RAMP} = L \times 10^{-5} \tag{12}$$

ここで、

- L は Henrys にあります

33µH に L1 を選択した場合、C3 の推奨値は 330pF です。

7.2.2.6 C9、C10

出力コンデンサ C9 および C10 は、インダクタのリップル電流を平滑化し、過渡負荷状況において充電の電源になります。この設計では、22µF セラミック コンデンサと 150µF SP 有機コンデンサを選択しました。セラミック コンデンサは超低 ESR を実現して出力リップル電圧とノイズ スパイクを低減し、SP コンデンサは過渡負荷条件において小さな体積で大きなバルク容量を実現します。出力リップル電圧の近似値を計算するには、式 13 を使用します。

$$\Delta V_{OUT} = \Delta I_L \text{ x } \left(ESR + \frac{1}{8 \text{ x } F_S \text{ x } C_{OUT}}\right) \tag{13}$$

7.2.2.7 D1

すべての LM5576 アプリケーションには、ショットキー タイプの再循環ダイオードが必要です。超高速ダイオードは推奨されず、逆方向回復電流過渡により IC が損傷する可能性があります。ほぼ理想的な逆回復特性と、順方向電圧降下が小さいことは、LM5576 の一般的な高入力電圧および低出力電圧アプリケーションでは特に重要なダイオード特性です。逆

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

方向回復特性によって、降圧スイッチがオンになったときに、各サイクルで電流サージがどの程度持続するかが決まります。ショットキー ダイオードの逆方向回復特性により、各サイクルのターンオン時に発生する降圧スイッチのピーク時電力が最小化されます。降圧スイッチのその結果生じるスイッチング損失は、ショットキー ダイオードを使用すると大幅に減少します。逆方向ブレークダウン定格は、最大 V_{IN} およびある程度およびある程度の安全マージンを加算したものを選択する必要があります。

順方向電圧降下は、特に出力電圧が低いアプリケーションで、変換効率に大きな影響を与えます。ダイオードの *定格*電流はメーカーによって大きく異なります。ワースト ケースは、負荷短絡状態を想定したものです。この場合、ダイオードは出力電流をほぼ連続的に流します。LM5576 の場合、この電流は最大 4.2A になります。ワースト ケースで、ダイオードの両端での 1V 電圧降下を想定すると、最大ダイオード消費電力は 4.2W になります。このリファレンス デザインについては、DPAK パッケージの 100V ショットキーを選択しました。

7.2.2.8 C1、C2

ギュレータの電源電圧は、スイッチング周波数で大きなソース インピーダンスを持ちます。オン時間時にほとんどのスイッチ電流を供給しながら、VIN ピンのリップル電圧を制限するには、高品質な入力コンデンサが必要です。降圧スイッチがオンになると、VIN ピンに流れ込む電流がインダクタ電流波形の低いピークまで徐々に増え、ピーク値まで上昇して、ターンオフ時にゼロに低下します。オン時間中の VIN に流れ込む平均電流が負荷電流です。入力容量は、RMS 電流定格と最小リップル電圧に対して選択する必要があります。必要なリップル電流定格について、適切な近似値は $I_{RMS} > I_{OUT}/2$ です。

入力フィルタでは、低 ESR の高品質のセラミック コンデンサを選択する必要があります。コンデンサの許容誤差と電圧による影響を許容するため、2 つの 2.2µF、100V セラミック コンデンサを使用します。LM5576 の最大定格に近い値でステップ入力電圧過渡が発生することが予想される場合は、デバイスの VIN ピンでリンギングおよびスパイクが発生する可能性があることを慎重に評価する必要があります。このような場合、追加のダンピング回路、または入力電圧クランプが必要になることがあります。

7.2.2.9 C8

VCC ピンのコンデンサは、V_{CC} レギュレータのノイズ フィルタリングと安定性を高めます。C8 の推奨値は 0.1µF 以上にする必要があり、良好な品質で低 ESR のセラミック コンデンサにする必要があります。この設計では、0.47µF の値が選択されています。

7.2.2.10 C7

BST ピンと SW ピンの間のブートストラップ コンデンサは、ターンオン時にバック スイッチのゲートを充電するためのゲート電流を供給します。C7 の推奨値は 0.022µF であり、良好な品質で低 ESR のセラミック コンデンサを使用する必要があります。

7.2.2.11 C4

SS ピンのコンデンサによって、ソフトスタート時間、つまり、リファレンス電圧と出力電圧が最終的な安定値に達するまでの時間が決定されます。式 14 は時間を決定します。

$$t_{SS} = \frac{C4 \times 1.225\,V}{10\,\mu A} \tag{14}$$

このアプリケーションでは、ソフトスタート時間 1ms に対応する C4 値 0.01µF を選択しています。

7.2.2.12 R5、R6

R5 と R6 は出力電圧レベルを設定します。式 15 を使用しこれらの抵抗の比を計算します。

$$R5/R6 = (V_{OUT} / 1.225\ V) - 1 \tag{15}$$

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

5V 出力の場合、R5/R6 の比は 3.082 と計算されます。これらの抵抗は、標準の値の抵抗から選択する必要があります。1.0kΩ から 10kΩ までの範囲で、適切な出発点を選択することができます。R5 の 5.11kΩ と R6 の 1.65kΩ の値を選択しました。

7.2.2.13 R1、R2、C12

分圧器を SD ピンに接続することで、レギュレータの最小動作電圧 $V_{IN\ (min)}$ を設定できます。この機能が必要な場合、分圧抵抗値を選択する最も簡単な方法は、R1 の値 (10kΩ と 100kΩ の間を推奨) を選択し、式 16 から R2 を計算することです。

$$R2 = 1.225 \times \left(\frac{R1}{V_{IN(min)} + (5 \times 10^{-6} \times R1) - 1.225} \right) \tag{16}$$

コンデンサ C12 は、分圧器のフィルタリングを行います。SD ピンの電圧は 8V を超えないようにしてください。外部設定点デバイダを使用する場合、高入力電圧の条件下で SD ピンをクランプする必要がある場合があります。このリファレンスデザインは、LM5576 の電圧範囲全体 (6V ～ 75V) を使用しているため、これらの部品は省略可能です。SD ピンが断線した場合、LM5576 は V_{CC} UVLO スレッショルドが満たされた後で応答します。

7.2.2.14 R7、C11

パワー ダイオードの両端にスナバ回路を配置することで、スイッチング ノードのリンギングおよびスパイクが減少します。過剰なリンギングおよびスパイクは、誤動作を引き起こす可能性があり、出力にスパイクやノイズを結合させることもあります。LM5576 の定格を超える電圧スパイクや還流ダイオードにより、これらのデバイスに損傷を与える可能性があります。スナバの値の選択には、実験的な手法が最適です。最初に、スナバ接続のリードが非常に短いことを確認します。LM5576 の標準的な電流レベルでは、5Ω ～ 20Ω の抵抗値で十分です。スナバ コンデンサの値を増やすとダンピングが増えますが、損失も大きくなります。重負荷時に SW ピンの波形を十分にダンピングできる C11 の最小の値を選択してください。

7.2.2.15 R4、C5、C6

これらの部品は、安定した全体ループ ゲインを得るために、エラー アンプのゲイン特性を構成します。電流モード制御の利点の 1 つは、R4 と C5 の 2 つのフィードバック成分のみを使用してループを閉じることができることです。全体のループ ゲインは、変調器のゲインとエラー アンプのゲインの積です。式 17 を使用して、LM5576 の DC 変調器のゲインを計算します。

$$DC\ Gain_{(MOD)} = G_{m(MOD)} \times R_{LOAD} = 2 \times R_{LOAD} \tag{17}$$

変調器の支配的な低周波数極は、負荷抵抗 (R_{LOAD}、) と出力容量 (C_{OUT}) によって決定されます。式 18 を用いてこの極のコーナー周波数を計算します。

$$f_{p(MOD)} = 1 / (2\pi\ R_{LOAD}\ C_{OUT}) \tag{18}$$

R_{LOAD} = 5Ω および C_{OUT} = 177µF の場合、$f_{p(MOD)}$ = 180Hz

DC ゲイン $_{(MOD)}$ = 2 × 5 = 10 = 20dB

測定された変調器のゲインと周波数特性の 図 7-3 の設計例を 図 7-5 示します。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

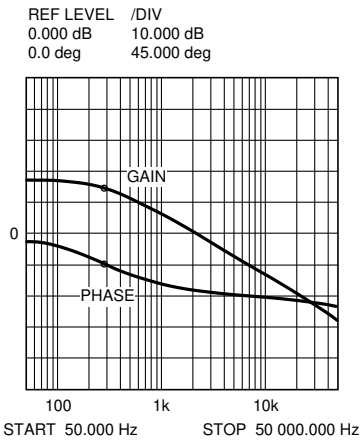


図 7-5. 変調器のゲインと位相 R = 5Ω および C = 177µF 負荷アウト

部品 R4 と C5 は、f_Z = 1/(2 π R4C5) に DC に極があり、ゼロがあるタイプ II 構成としてエラー アンプを構成します。エラー アンプのゼロは変調器の極を打ち消し、ループ ゲインのクロスオーバー周波数でシングル ポール応答が残ります。クロスオーバー周波数におけるシングル ポール応答により、90°の位相マージンを持つ、非常に安定したループが得られます。

この設計例では、20kHz の目標ループ帯域幅 (クロスオーバー周波数) を選択しています。補償回路ゼロ (f_Z) は、目標クロスオーバ周波数より 1 桁以上低い値を選択する必要があります。これにより、目的の補償ネットワークであるゼロ 1/ (2π R4 C5) が 2kHz 未満になるように R4 と C5 の積に制約が生じます。R4 を増加させてそれに比例して C5 を減少させると、エラー アンプ ゲインが増加します。反対に、R4 を減少させてそれに比例して C5 を増加させた場合、エラー アンプ ゲインは減少します。この設計例では 0.01 µF に C5 を、49.9kΩ に R4 を選択しました。これらの値により、補償回路のゼロが 320Hz に構成されます。f_Z より高い周波数での誤差増幅器ゲインは次のとおりです。R4/R5 であり、約 10 (20dB) です。

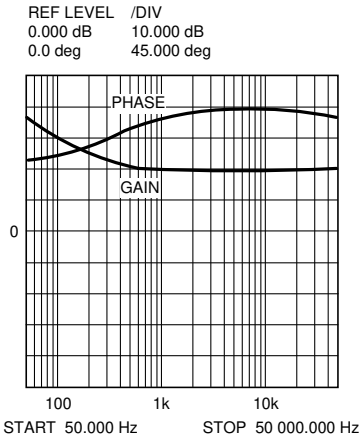


図 7-6. エラー アンプのゲインおよび位相

ループ全体は、変調器のゲインと誤差アンプのゲインの合計 (dB) として予測できます。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

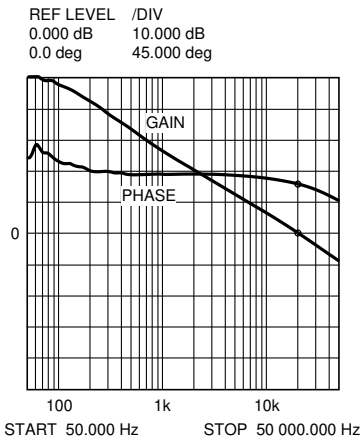


図 7-7. 全体的なループのゲインおよび位相

ネットワーク アナライザが利用可能であれば、変調器のゲインを測定し、エラー アンプのゲインを目的のループ伝達関数に合わせて構成できます。ネットワーク アナライザが利用できない場合は、記載されているガイドラインを使用してエラー アンプ補償部品を設計できます。ステップ負荷過渡テストは、許容される性能を検証するために実行できます。ステップ負荷の目標は、応答が減衰した場合の最小オーバーシュートです。エラー アンプのノイズ感受性を減らすため、補償回路に C6 を追加できます。C6 の値は、このコンデンサを追加することにより、誤差アンプの伝達関数に極が追加されるため、十分小さくする必要があります。この極は、ループ クロスオーバー周波数を十分上回る必要があります。C6 によって追加される極の位置の適切な近似値を計算するには、式 19 を使用します。

$$f_{p2} = fz \times C5 / C6. \quad (19)$$

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

7.2.3 アプリケーション曲線

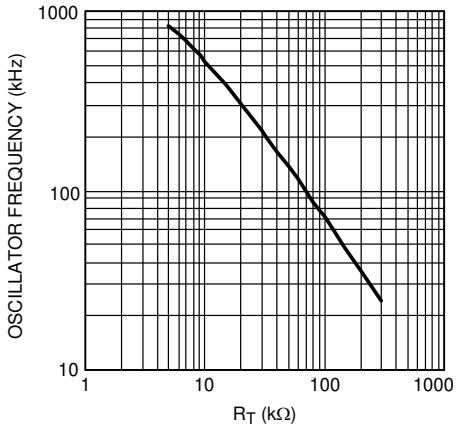


図 7-8. 発振器周波数と R_T

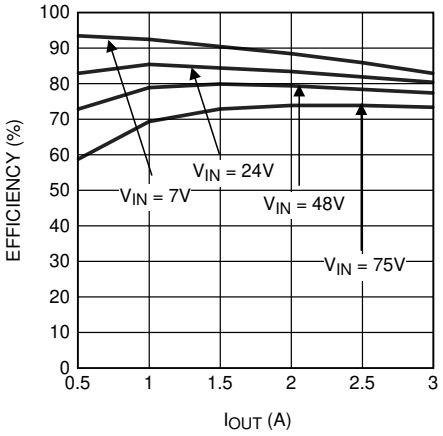


図 7-9. デモボード効率と I_{OUT} および V_{IN}

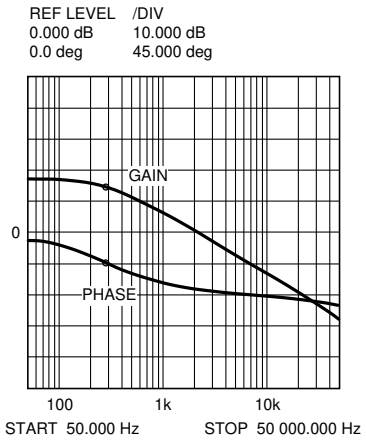


図 7-10. 変調器のゲインと位相 R = 5Ω および C = 177µF 負荷アウト

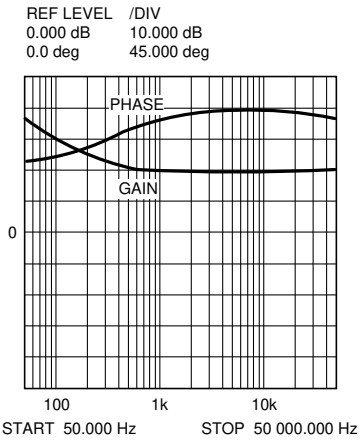


図 7-11. エラー アンプのゲインおよび位相

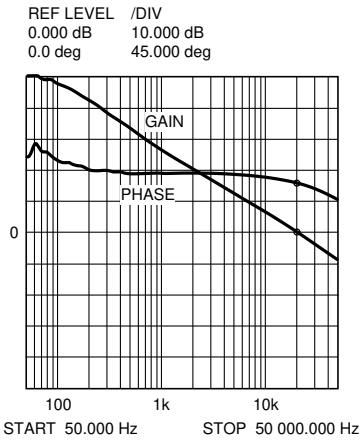


図 7-12. 全体的なループのゲインおよび位相

7.3 電源に関する推奨事項

入力電源の特性は、このデータシートに記載されている仕様に適合している必要があります。また、入力電源は、負荷時のレギュレータに必要な入力電流を供給できる必要があります。平均入力電流は、次の式を使って見積もることができます

$$I_{IN} = \frac{V_{OUT} \times I_{OUT}}{\eta \times V_{IN}}$$

η は効率です。

レギュレータを長いワイヤや PCB パターンで入力電源に接続している場合は、良好な性能を実現するために特別な注意が必要です。入力ケーブルの寄生インダクタンスと抵抗は、レギュレータの動作に悪影響を及ぼすおそれがあります。寄生インダクタンスは、低 ESR セラミック入力コンデンサとの組み合わせによって不足減衰共振回路を形成し、レギュレータへの入力での過電圧過渡の原因となる可能性があります。寄生抵抗は、出力に負荷過渡が加わった際に、VIN ピンの電圧が低下する原因となる可能性があります。アプリケーションが最小入力電圧に近い値で動作している場合、この低下によってレギュレータが瞬間的にシャットダウンし、リセットされる可能性があります。このような問題を解決する最善策は、入力電源からレギュレータまでの距離を制限、またはセラミックと並列にアルミニウムやタンタルの入力コンデンサを使用を計画することです。この種のコンデンサの ESR は比較的低いため、入力共振回路の減衰およびオーバーシュートの低減に役立ちます。通常、20µF ～ 100µF の範囲の値は入力のダンピングに十分であり、大きな負荷過渡中も入力電圧を安定した状態に保持できます。

システムに関するその他の考慮事項として、レギュレータの前に入力フィルタが使われる場合があります。その際は、注意深く設計しないと、不安定性につながる可能性があり、上述の現象の一因ともなり得ます。AN-2162『DC/DC コンバータ向け伝導 EMI の簡単な成功事例』アプリケーション ノートでは、スイッチング レギュレータの入力フィルタを設計する際に役立つ提案を紹介しています。場合によっては、コンバータの入力に過渡電圧サプレッサ (TVS) が使われています。この素子の種類には、スナップバック特性を持つもの (サイリスタ型) があります。テキサス・インスツルメンツでは、このタイプの特性を持つデバイスの使用を推奨していません。このタイプの TVS が作動すると、クランプ電圧は非常に低い値に低下します。この電圧がレギュレータの出力電圧よりも低い場合、出力コンデンサは本デバイスを通して入力に向かって放電します。この制御されない電流は、デバイスに損傷を与える可能性があります。

7.4 レイアウト

7.4.1 レイアウトのガイドライン

図 7-3 の回路は、LM5576 のブロック図と LM5576 の代表的なアプリケーション基板回路図の両方として使用されています。降圧レギュレータでは、電流を非常に高速にスイッチングする 2 つのループがあります。最初のループは、入力コンデンサからレギュレータの VIN ピン、レギュレータの SW ピン、インダクタ、そして負荷に向かって始まります。2 つ目のループは、出力コンデンサのグランドからレギュレータの PGND ピン、レギュレータの IS ピン、ダイオード アノードからインダクタへ、さらに負荷へと続きます。浮遊インダクタンスを減らし、ノイズを最小限に抑えて不安定動作の可能性を最小限に抑えます。入力フィルタ コンデンサをレギュレータの出力フィルタ コンデンサと PGND ピンに接続する手段として、プリント基板 (PCB) のグランド プレーンを推奨します。すべての低消費電力グランド接続 (C_{SS}、R_T、C_{RAMP}) をレギュレータの AGND ピンに直接接続します。AGND ピンと PGND ピンを、デバイスの下側全体をカバーする上面の銅領域を経由して互いに接続します。この下側の銅領域に、グランド プレーンに複数のビアを配置します。

消費電力が大きい 2 つの部品は、リサーキュレーション ダイオードと LM5576 レギュレータ IC です。LM5576 内で消費される電力を決定する最も簡単な方法は、合計変換損失 ($P_{IN} - P_{OUT}$) を測定して、ショットキー ダイオード、出力インダクタ、およびスナバ抵抗の電力損失を減算することです。式 20 を使用して、ショットキー ダイオード損失の近似値を計算します。

$$P = (1 - D) \times I_{OUT} \times V_{FWD} \quad (20)$$

出力インダクタの電力の近似値を計算するには、式 21 を使用します。

$$P = I_{OUT}^{2} \times R \times 1.1 \quad (21)$$

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

ここで、

- R はインダクタの DC 抵抗
- また、1.1 係数は AC 損失の近似値です。

スナバを使用する場合、式 22 を使用して、ダンピング抵抗の消費電力の近似値を計算します。

$$P = V_{IN}^{2} \times Fsw \times Csnub \quad (22)$$

ここで、

- Fsw はスイッチング周波数です
- Csnub はスナバ コンデンサです。

レギュレーターには、電力拡散を補助するため、露出サーマル パッドが搭載されています。レギュレータの接合部温度を大幅に減らすため、デバイスの下にいくつかのビアをグランド プレーンに追加します。ダイオードの消費電力を増やすため、露出したパッドを持つダイオードを選択します。

7.4.2 レイアウト例

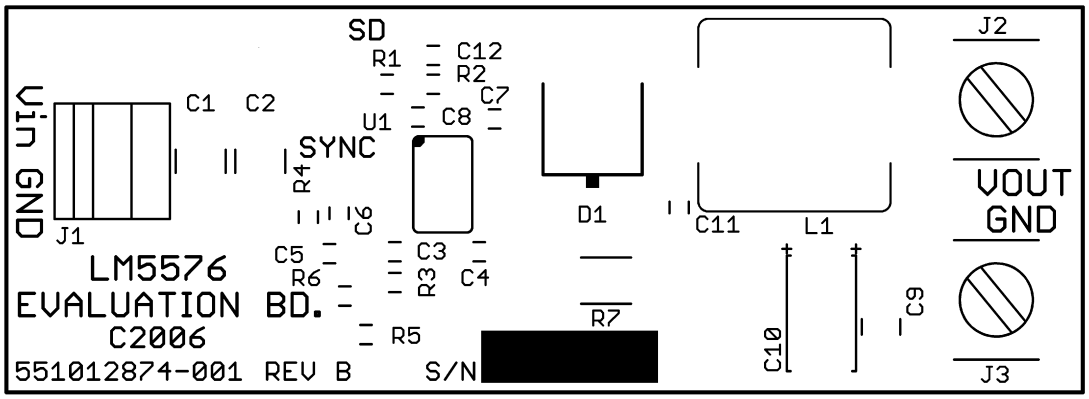


図 7-13. シルクスクリーン

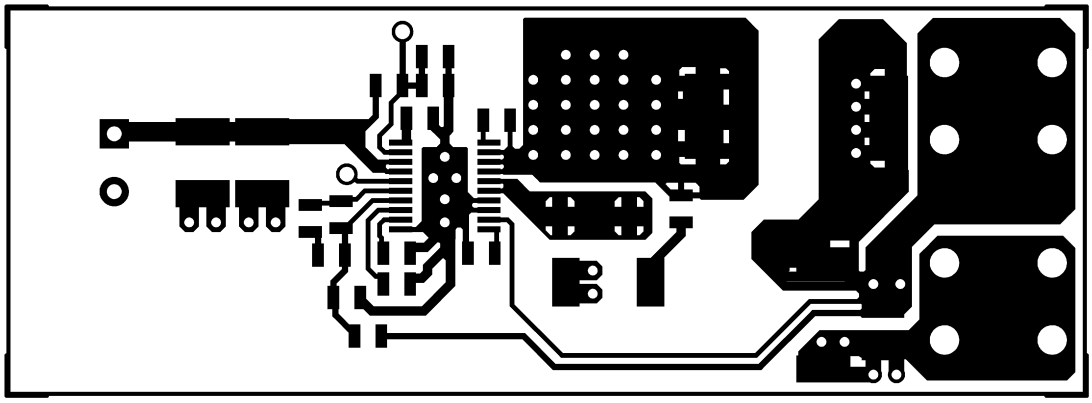


図 7-14. コンポーネント側

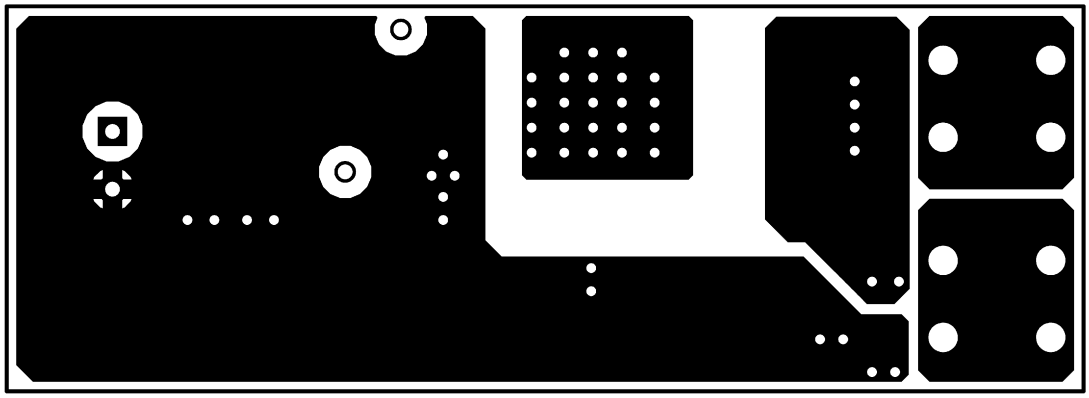


図 7-15. はんだ側

7.4.3 消費電力

LM5576 によって消費される電力に影響を与える最も重要な変数は出力電流入力電圧動作周波数です。最大出力電流と最大入力電圧に近い値で動作しているときに消費される電力を理解することができます。LM5576 評価基板の動作周波数は、300kHz に対応する設計を採用しています。70V 入力で 3A の出力電流で動作している場合、LM5576 レギュレータの消費電力は約 2.5W です。

7.4.4 熱に関する注意事項

LM5576 の接合部から周囲への熱抵抗は、アプリケーションによって異なります。最も重要な変数は、PCB 内の銅箔の面積、IC 露出パッドの下にあるビアの数、および使用される強制空冷の量です。この評価基板のアートワークによれば、LM5576 の下 (部品側) の領域は銅で覆われており、はんだ側のグランド プレーンへの 5 つの接続ビアがあります。IC の下にビアを追加すると、ビアの数が減少します。IC の露出パッドから PCB への半田接続の完全性が重要です。過剰なボイドは、放熱能力を大幅に低下させます。評価基板に実装されている LM5576 の、接合部から周囲への熱抵抗は、エア フローなしの 45°C/W から 900LFM (リニア フィート/分) の 25°C/W まで変化しています。25°C の周囲温度とエアフローがない場合、LM5576 の予測される接合部温度は 25 + (45×2.5) = 137.5°C になります。評価基板が 3A の出力電流と 70V 入力電圧で長時間動作すると、IC 内のサーマル シャットダウン保護機能がアクティブになります。IC はオフになるため接合部が冷却され、その後、ソフトスタート コンデンサがゼロにリセットされて再起動します。

以下の変更のうち 1 つ、または複数により、サーマル シャットダウンがアクティブにならないようになっています。強制空冷を適用し、最大入力電圧を低減し、最大出力電流を下げ、動作周波数を下げ、PCB にヒートシンクを追加します。たとえば、225LFM の強制空冷を適用すると、LM5576 の熱抵抗は約 30°C/W に低下します接合部温度は 25 + (2.5×30) = 100°C に低下します。アプリケーションの最大入力電圧が 48V の場合、IC の消費電力は 2W に減少します (3A 出力電流時)。同じ強制空冷では、接合部温度は 25 + (2×30) = 85°C に低下します。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

8 デバイスおよびドキュメントのサポート

8.1 デバイス サポート

8.1.1 開発サポート

8.1.1.1 WEBENCH® ツールによるカスタム設計

ここをクリックすると、WEBENCH® Power Designer により、LM5576 デバイスを使用するカスタム設計を作成できます。

1. 最初に、入力電圧 (V_{IN})、出力電圧 (V_{OUT})、出力電流 (I_{OUT}) の要件を入力します。
2. オプティマイザのダイヤルを使用して、効率、占有面積、コストなどの主要なパラメータについて設計を最適化します。
3. 生成された設計を、テキサス・インスツルメンツが提供する他の方式と比較します。

WEBENCH Power Designer では、カスタマイズされた回路図と部品リストを、リアルタイムの価格と部品の在庫情報と併せて参照できます。

通常、次の操作を実行可能です。

- 電気的なシミュレーションを実行し、重要な波形と回路の性能を確認する
- 熱シミュレーションを実行し、基板の熱特性を把握する
- カスタマイズされた回路図やレイアウトを、一般的な CAD フォーマットで出力する
- 設計のレポートを PDF で印刷し、設計を共有する

WEBENCH ツールの詳細は、www.ti.com/ja-jp/WEBENCH でご覧になれます。

8.2 ドキュメントの更新通知を受け取る方法

ドキュメントの更新についての通知を受け取るには、www.tij.co.jp のデバイス製品フォルダを開いてください。[通知] をクリックして登録すると、変更されたすべての製品情報に関するダイジェストを毎週受け取ることができます。 変更の詳細については、改訂されたドキュメントに含まれている改訂履歴をご覧ください。

8.3 サポート・リソース

テキサス・インスツルメンツ E2E™ サポート・フォーラムは、エンジニアが検証済みの回答と設計に関するヒントをエキスパートから迅速かつ直接得ることができる場所です。既存の回答を検索したり、独自の質問をしたりすることで、設計で必要な支援を迅速に得ることができます。

リンクされているコンテンツは、各寄稿者により「現状のまま」提供されるものです。これらはテキサス・インスツルメンツの仕様を構成するものではなく、必ずしもテキサス・インスツルメンツの見解を反映したものではありません。テキサス・インスツルメンツの使用条件を参照してください。

8.4 商標

テキサス・インスツルメンツ E2E™ is a trademark of Texas Instruments.
WEBENCH® is a registered trademark of Texas Instruments.
すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

8.5 静電気放電に関する注意事項



この IC は、ESD によって破損する可能性があります。テキサス・インスツルメンツは、IC を取り扱う際には常に適切な注意を払うことを推奨します。正しい取り扱いおよび設置手順に従わない場合、デバイスを破損するおそれがあります。

ESD による破損は、わずかな性能低下からデバイスの完全な故障まで多岐にわたります。精密な IC の場合、パラメータがわずかに変化するだけで公表されている仕様から外れる可能性があるため、破損が発生しやすくなっています。

8.6 用語集

テキサス・インスツルメンツ用語集　この用語集には、用語や略語の一覧および定義が記載されています。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

9 改訂履歴

資料番号末尾の英字は改訂を表しています。その改訂履歴は英語版に準じています。

Changes from Revision J (October 2014) to Revision K (November 2025) **Page**

- データシートから SIMPLE SWITCHER® ブランドの表示を削除....1
- 車載用デバイスをスタンドアロンのデータシート (SNOSB24) へ移動....1
- ドキュメント全体にわたって WEBENCH のリンクを追加....1
- ドキュメント全体にわたって表、図、相互参照の採番方法を更新....1
- 古い用語を使用している箇所をすべてコントローラとターゲットに変更....1
- 図 4-1 を更新....3
- 保管温情報度を「*絶対最大定格*」表に移動....5
- 表ノートを最新の標準に更新....5
- 「*ESD 定格*」表にデバイス帯電モデル (CDM) 仕様を追加....5
- 「*熱に関する情報*」の最新情報を追加....5
- バイアス電流値 (Iin) を 3.4mA から 2mA に変更....6
- 最大シャットダウン電流値 (Iin) を 57uA から 48uA に変更....6
- BOOST UVLO ヒステリシスを 0.56V から 0.8V に変更....6
- FB バイアス電流を 17nA から 10nA に変更....6
- 「電源に関する推奨事項」セクションを更新....26
- *消費電力特性*セクションを追加....28
- *熱に関する考慮事項* セクションを追加....28

Changes from Revision I (April 2013) to Revision J (October 2014) **Page**

- *ピン構成と機能*セクション、*取り扱い定格*表、*機能説明*セクション、*デバイス機能モード*、*アプリケーションと実装*セクション、*電源推奨事項*セクション、*レイアウト* セクション、*デバイスとドキュメントのサポート* セクション、および *機械的、パッケージング、および注文情報*セクションを追加....1

10 メカニカル、パッケージ、および注文情報

以降のページには、メカニカル、パッケージ、および注文に関する情報が記載されています。この情報は、指定のデバイスに使用できる最新のデータです。このデータは、予告なく、このドキュメントを改訂せずに変更される場合があります。本データシートのブラウザ版を使用されている場合は、画面左側の説明をご覧ください。

Copyright © 2025 Texas Instruments Incorporated

PACKAGING INFORMATION

Orderable part number	Status (1)	Material type (2)	Package | Pins	Package qty | Carrier	RoHS (3)	Lead finish/ Ball material (4)	MSL rating/ Peak reflow (5)	Op temp (°C)	Part marking (6)
LM5576MH/NOPB	Active	Production	HTSSOP (PWP) | 20	73 | TUBE	Yes	SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	LM5576 MH
LM5576MH/NOPB.A	Active	Production	HTSSOP (PWP) | 20	73 | TUBE	Yes	SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	LM5576 MH
LM5576MH/NOPB.B	Active	Production	HTSSOP (PWP) | 20	73 | TUBE	Yes	SN	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	LM5576 MH
LM5576MHX/NOPB	Active	Production	HTSSOP (PWP) | 20	2500 | LARGE T&R	Yes	Call TI | Sn	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	LM5576 MH
LM5576MHX/NOPB.A	Active	Production	HTSSOP (PWP) | 20	2500 | LARGE T&R	Yes	Call TI	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	LM5576 MH
LM5576MHX/NOPB.B	Active	Production	HTSSOP (PWP) | 20	2500 | LARGE T&R	Yes	Call TI	Level-1-260C-UNLIM	-40 to 125	LM5576 MH

(1) **Status:** For more details on status, see our product life cycle.

(2) **Material type:** When designated, preproduction parts are prototypes/experimental devices, and are not yet approved or released for full production. Testing and final process, including without limitation quality assurance, reliability performance testing, and/or process qualification, may not yet be complete, and this item is subject to further changes or possible discontinuation. If available for ordering, purchases will be subject to an additional waiver at checkout, and are intended for early internal evaluation purposes only. These items are sold without warranties of any kind.

(3) **RoHS values:** Yes, No, RoHS Exempt. See the TI RoHS Statement for additional information and value definition.

(4) **Lead finish/Ball material:** Parts may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead finish/Ball material values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

(5) **MSL rating/Peak reflow:** The moisture sensitivity level ratings and peak solder (reflow) temperatures. In the event that a part has multiple moisture sensitivity ratings, only the lowest level per JEDEC standards is shown. Refer to the shipping label for the actual reflow temperature that will be used to mount the part to the printed circuit board.

(6) **Part marking:** There may be an additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category of the part.

Multiple part markings will be inside parentheses. Only one part marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a part. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire part marking for that device.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

OTHER QUALIFIED VERSIONS OF LM5576 :

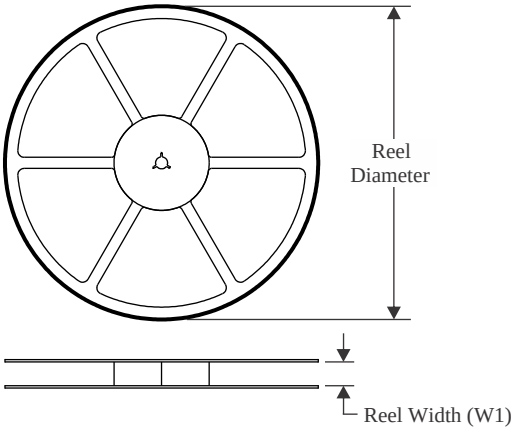
- Automotive : LM5576-Q1

NOTE: Qualified Version Definitions:

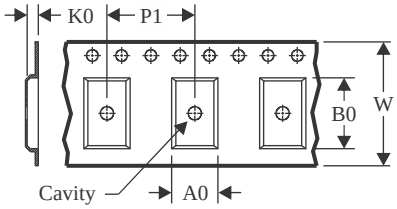
- Automotive - Q100 devices qualified for high-reliability automotive applications targeting zero defects

TAPE AND REEL INFORMATION

REEL DIMENSIONS

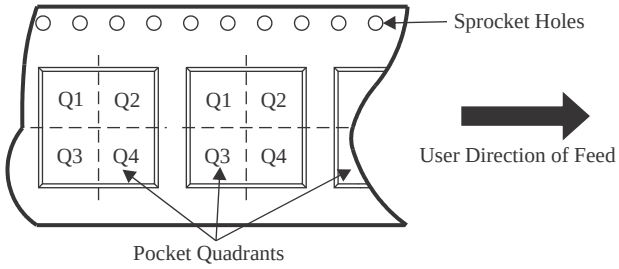


TAPE DIMENSIONS



A0	Dimension designed to accommodate the component width
B0	Dimension designed to accommodate the component length
K0	Dimension designed to accommodate the component thickness
W	Overall width of the carrier tape
P1	Pitch between successive cavity centers

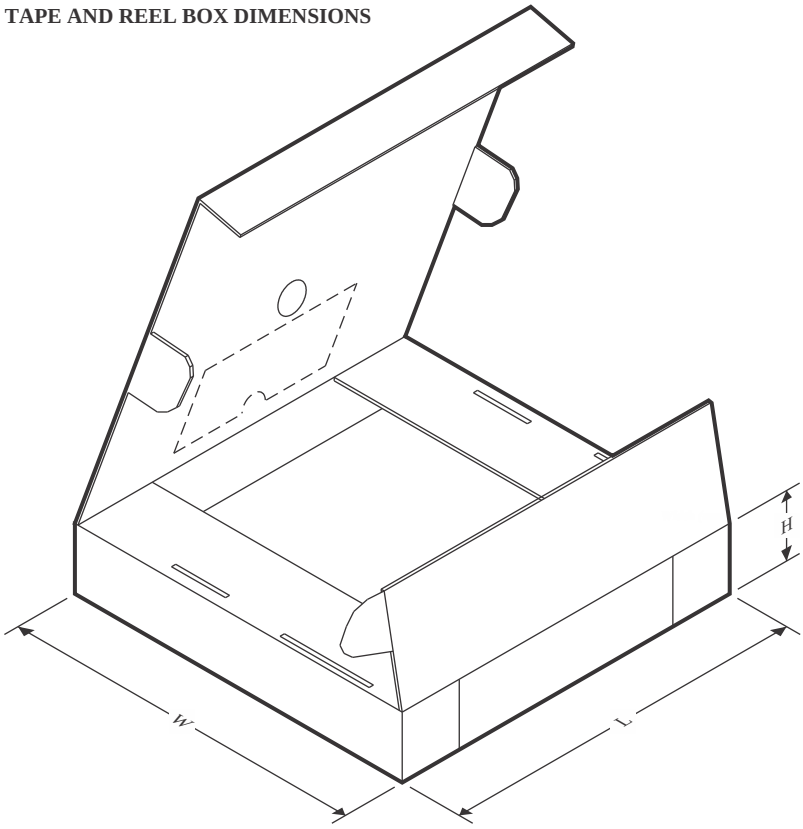
QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
LM5576MHX/NOPB	HTSSOP	PWP	20	2500	330.0	16.4	6.95	7.0	1.4	8.0	16.0	Q1

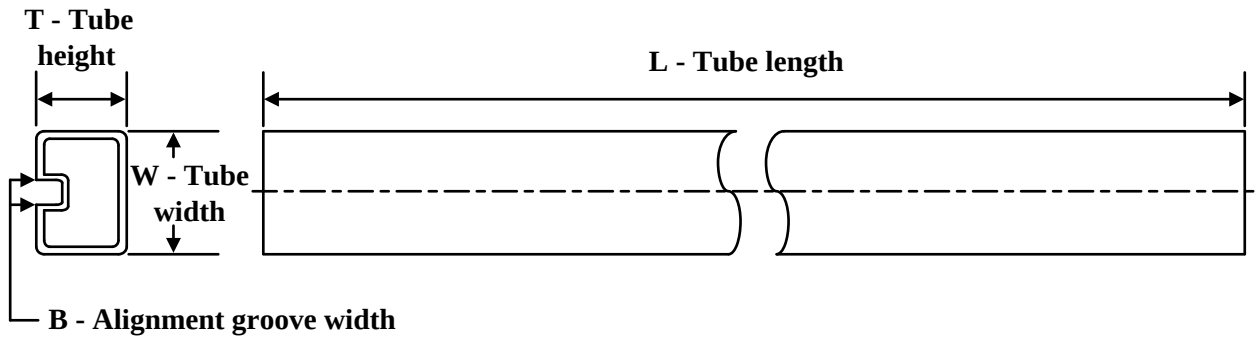
TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS



*All dimensions are nominal

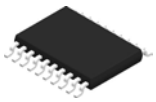
Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
LM5576MHX/NOPB	HTSSOP	PWP	20	2500	356.0	356.0	35.0

TUBE



*All dimensions are nominal

Device	Package Name	Package Type	Pins	SPQ	L (mm)	W (mm)	T (µm)	B (mm)
LM5576MH/NOPB	PWP	HTSSOP	20	73	495	8	2514.6	4.06
LM5576MH/NOPB.A	PWP	HTSSOP	20	73	495	8	2514.6	4.06
LM5576MH/NOPB.B	PWP	HTSSOP	20	73	495	8	2514.6	4.06

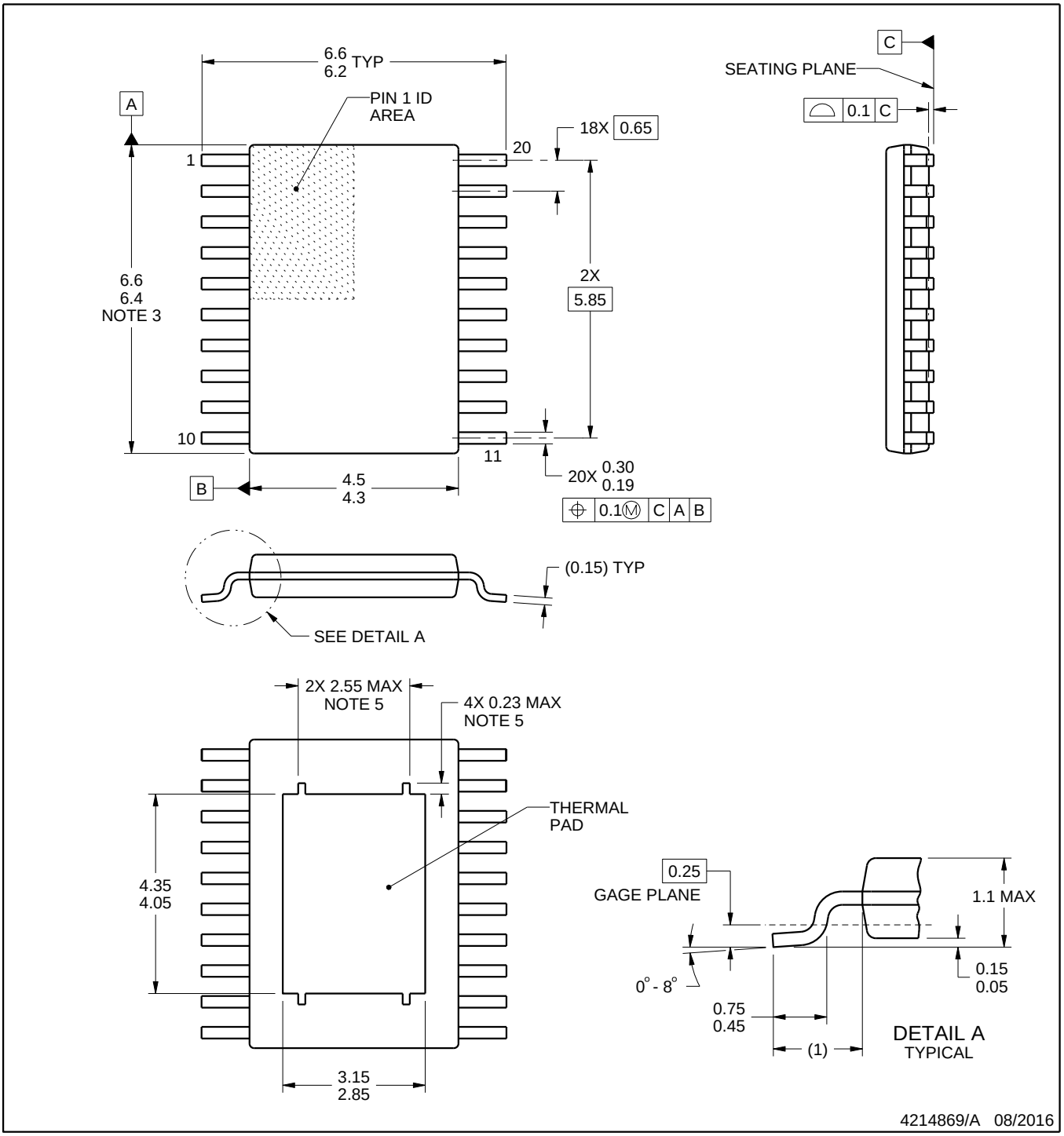


PACKAGE OUTLINE

PWP0020A

PowerPAD™ TSSOP - 1.1 mm max height

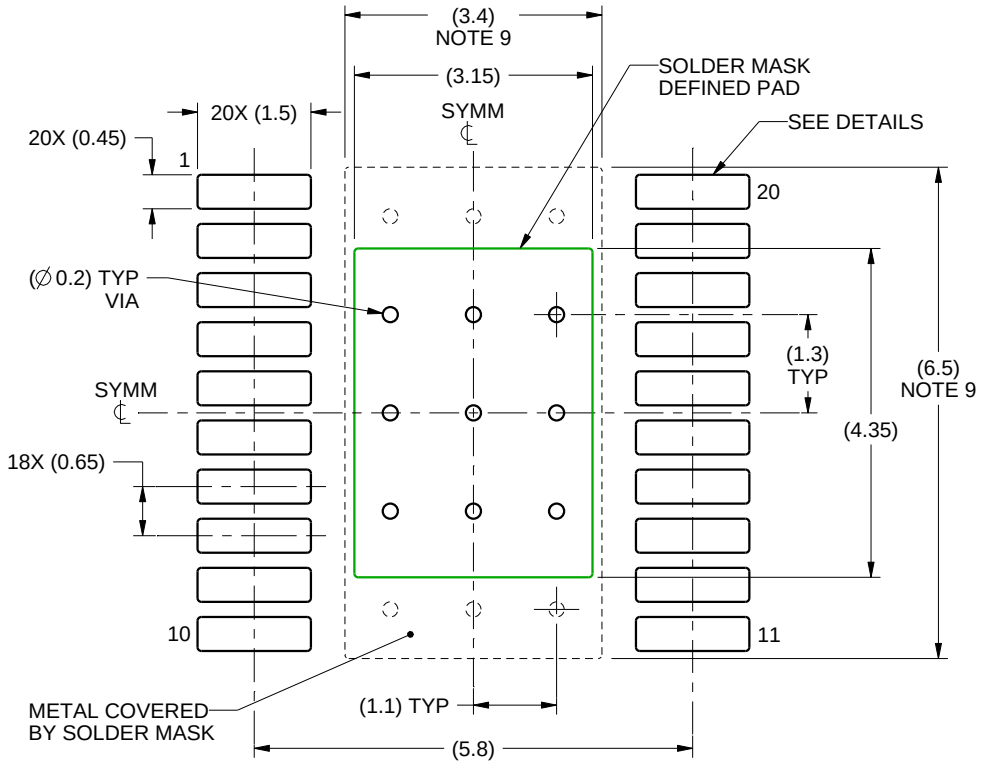
PLASTIC SMALL OUTLINE



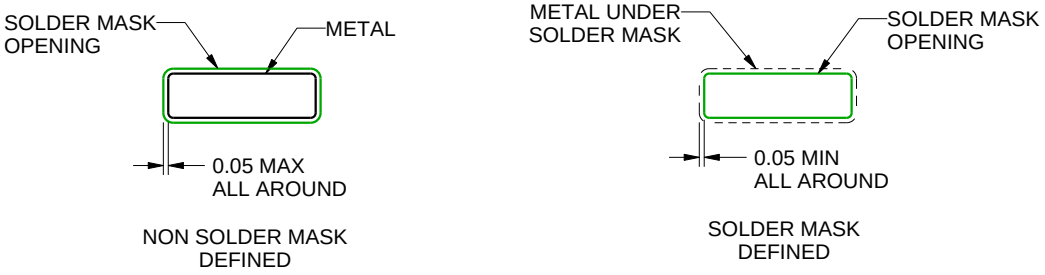
PowerPAD is a trademark of Texas Instruments.

NOTES:

1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
2. This drawing is subject to change without notice.
3. This dimension does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.15 mm per side.
4. Reference JEDEC registration MO-153.
5. Features may differ or may not be present.



LAND PATTERN EXAMPLE
SCALE:10X

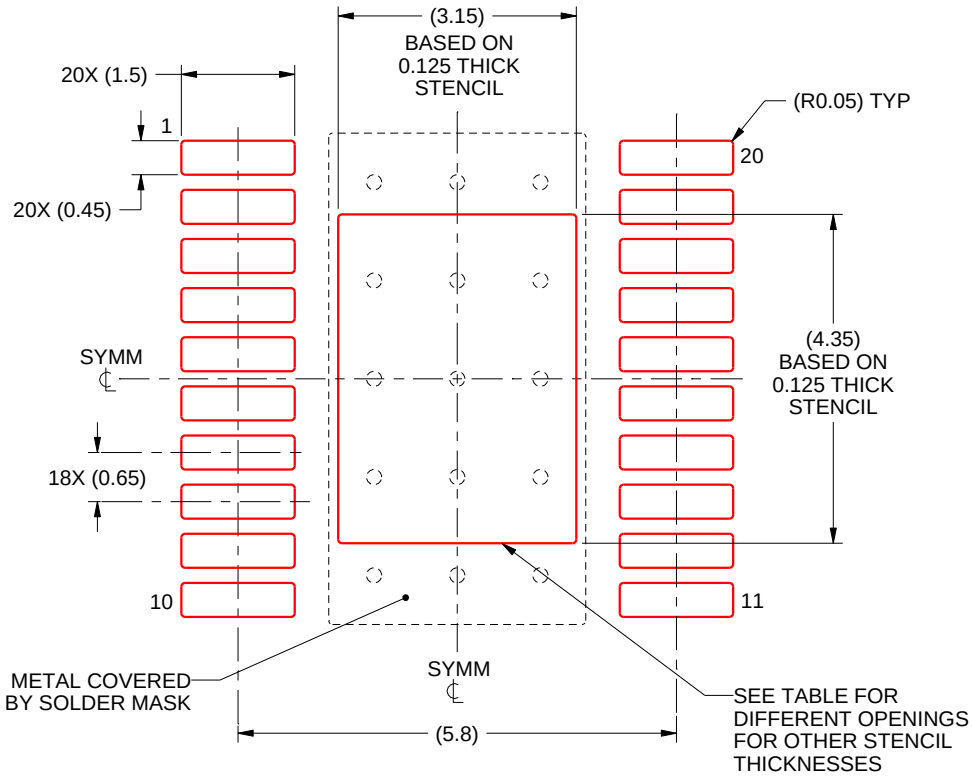


SOLDER MASK DETAILS
PADS 1-20

4214869/A 08/2016

NOTES: (continued)

6. Publication IPC-7351 may have alternate designs.
7. Solder mask tolerances between and around signal pads can vary based on board fabrication site.
8. This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. For more information, see Texas Instruments literature numbers SLMA002 (www.ti.com/lit/slma002) and SLMA004 (www.ti.com/lit/slma004).
9. Size of metal pad may vary due to creepage requirement.



SOLDER PASTE EXAMPLE
EXPOSED PAD
100% PRINTED SOLDER COVERAGE BY AREA
SCALE:10X

STENCIL THICKNESS	SOLDER STENCIL OPENING
0.1	3.52 X 4.86
0.125	3.15 X 4.35 (SHOWN)
0.15	2.88 X 3.97
0.175	2.66 X 3.68

4214869/A 08/2016

NOTES: (continued)

10. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.
11. Board assembly site may have different recommendations for stencil design.

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の黙示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したものです。(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、 TI の販売条件 、 TI の総合的な品質ガイドライン 、 ti.com または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。 TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月