

# TPSM843321 3.8V～18V、3A、同期整流降圧パワー モジュール、ユーザー選択が可能なモード搭載

## 1 特長

- 多様なアプリケーションに適した構成
  - 入力電圧範囲: 3.8V～18V
  - 出力電圧範囲: 0.6V～12V
  - 最大 3A の連続出力電流
  - 基準電圧 (-40°C～125°C): 0.6V ±1%
  - 低い静止電流: 28uA (代表値)
  - 最小スイッチング オン / オフ時間: 70ns / 114ns
  - 最大スイッチング オン時間: 8us
  - 最大デューティサイクル: 98%
- 使いやすく小さい設計サイズ
  - 内部補償付きピーク電流制御モード
  - 選択可能な周波数: 200kHz～2.2MHz
  - 外部クロックに同期可能 (位相シフトをサポート): ARM: 200 kHz～2.2 MHz
  - 軽負荷時に PFM/FCCM を選択可能
  - 選択可能な可変ソフトスタート時間 / パワーグッド インジケータ機能
  - 周波数スペクトラム拡散と最適化されたピン配置による優れた EMI 性能
  - ハイサイドとローサイド両方の MOSFET のヒップアップ 過電流 (OC) 制限
  - ラッチ保護機能なしの過熱保護 (OTP)、過電流保護 (OCP)、過電圧保護 (OVP)、低電圧保護 (UVP)、低電圧誤動作防止 (UVLO)
  - 簡単な単層 PCB レイアウトをサポートする内蔵プロトストラップコンデンサ
  - 動作時の接合部温度: -40°C～125°C
  - 3.3mm × 4.5mm × 2mm の QFN パッケージ
- WEBENCH® Power Designer により、TPSM843321 を使用するカスタム設計を作成

## 2 アプリケーション

- 医療 / ヘルスケア
- 試験および測定機器
- ビルオートメーション
- 有線ネットワーク、ワイヤレスインフラ
- 5V、12V 入力の分散型電源システム

## 3 概要

TPSM843321 は、設計の柔軟性が高い、高効率で高電力密度に対応した、使いやすい同期整流降圧パワー モジュールです。TPSM843321 は動作入力電圧範囲が 3.8V～18V で、5V、12V の各電源バスレールからの電力供給で動作するシステム向けの設計を採用しています。このデバイスは、最大 3A の連続出力電流と最大 98% のデューティサイクルをサポートします。

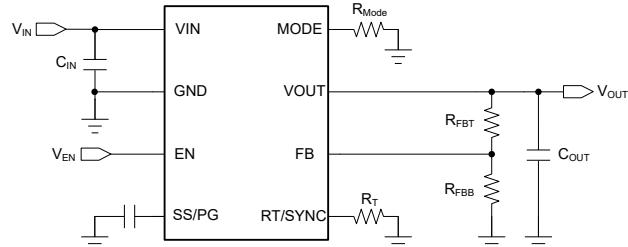
TPSM843321 は、固定周波数ピーク電流制御を採用し、内部補償によって高速過渡応答およびラインと負荷の優れたレギュレーションを実現しています。内部ループ補償が最適化されているため、幅広い出力電圧範囲とスイッチング周波数において、外付け補償を必要としません。

### パッケージ情報

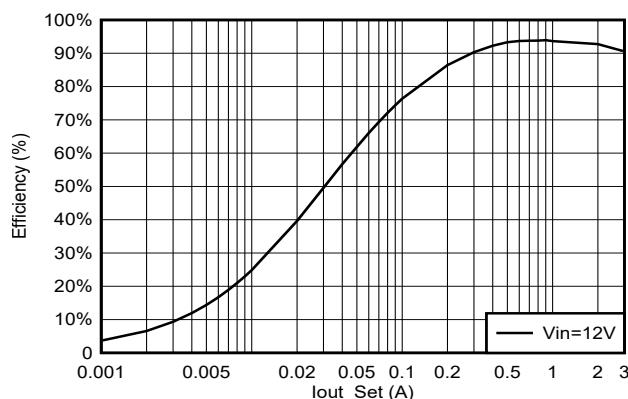
部品番号	パッケージ <sup>(1)</sup>	パッケージ サイズ <sup>(2)</sup>
TPSM843321	RCJ (QFN-FCMOD、9)	3.3mm × 4.5mm

(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。



### 概略回路図



TPSM843321 の効率 ( $V_{OUT} = 5V$ 、 $f_{SW} = 1000kHz$ )、  
FCCM



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。

English Data Sheet: [SLUSG14](#)

TPSM843321 は、RT/SYNC ピンで設定される 200kHz～2.2MHz の幅広いスイッチング周波数によって、設計の高い柔軟性を実現しています。このデバイスでは、パルス周波数変調 (PFM)、軽負荷時の強制連続導通変調 (FCCM)、MODE ピンの異なる構成による可変ソフトスタート (SS) 時間 / パワーグッド (PG) インジケータのオプションを備えています。

TPSM843321 には、保護機能として、サーマル シャットダウン、入力低電圧誤動作防止、サイクル単位の電流制限、ヒップ短絡保護などが搭載されています。TPSM843321 は 9 ピンの 3.3mm × 4.5mm QFN パッケージで供給され、単層 PCB レイアウトに対応したピン配置です。接合部温度の仕様は -40°C～125°C です。

## 目次

<b>1 特長</b> .....	<b>1</b>	<b>7 アプリケーションと実装</b> .....	<b>24</b>
<b>2 アプリケーション</b> .....	<b>1</b>	<b>7.1 アプリケーション情報</b> .....	<b>24</b>
<b>3 概要</b> .....	<b>1</b>	<b>7.2 代表的なアプリケーション</b> .....	<b>24</b>
<b>4 ピン構成および機能</b> .....	<b>4</b>	<b>7.3 設計のベスト プラクティス</b> .....	<b>30</b>
<b>5 仕様</b> .....	<b>5</b>	<b>7.4 電源に関する推奨事項</b> .....	<b>30</b>
5.1 絶対最大定格.....	5	7.5 レイアウト.....	31
5.2 ESD 定格.....	5	<b>8 デバイスおよびドキュメントのサポート</b> .....	<b>33</b>
5.3 推奨動作条件.....	5	8.1 デバイス サポート.....	33
5.4 熱に関する情報.....	6	8.2 ドキュメントのサポート.....	33
5.5 電気的特性.....	6	8.3 ドキュメントの更新通知を受け取る方法.....	33
5.6 代表的特性.....	8	8.4 サポート・リソース.....	33
<b>6 詳細説明</b> .....	<b>11</b>	8.5 商標.....	33
6.1 概要.....	11	8.6 静電気放電に関する注意事項.....	34
6.2 機能ブロック図.....	12	8.7 用語集.....	34
6.3 機能説明.....	13	<b>9 改訂履歴</b> .....	<b>34</b>
6.4 デバイスの機能モード.....	21	<b>10 メカニカル、パッケージ、および注文情報</b> .....	<b>34</b>

## 4 ピン構成および機能

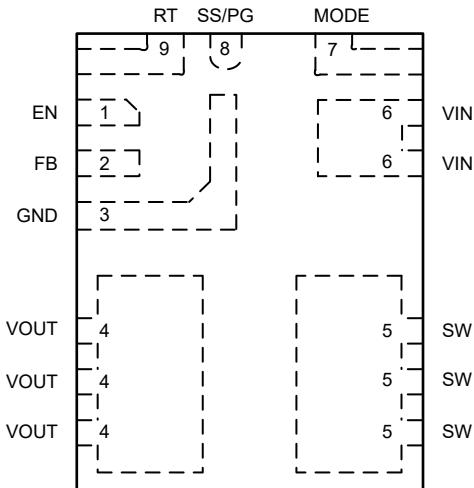


図 4-1. 9 ピン RCJ QFN-FCMOD、3.3mm×4.5mm パッケージ (上面図)

表 4-1. ピンの機能

ピン		種類 <sup>(1)</sup>	説明
名称	番号		
EN	1	A	コンバータへのイネーブル入力。EN を High に駆動するか、このピンをフローティングにすると、コンバータがイネーブルになります。外付け抵抗デバイダを使用すると、可変 $V_{IN}$ UVLO 機能を実装できます。
FB	2	A	出力帰還入力。出力から GND までの外付け抵抗デバイダのタップに FB を接続して、出力電圧を設定します。
GND	3	G	グランドピン。ローサイド FET のソースとコントローラ回路のグランドピンに接続されています。システムグランド、および $C_{IN}$ と $C_{OUT}$ のグランド側に接続します。 $C_{IN}$ へのパスは、できる限り短くしてください。
VOUT	4	P	出力電圧。このピンは、内部の降圧インダクタに接続されています。ピンを出力負荷に接続し、このピンと GND との間に外部出力コンデンサを接続します。
SW	5	P	スイッチングノード。このピンに外部部品を配置したり、信号に接続したりしないでください。ノイズや EMI の問題を防止するため、このピンに配置する銅の量は最小限に抑える必要があります。
VIN	6	P	内部 LDO およびハイサイド FET への電源入力ピン。入力バイパスコンデンサは、このピンと GND に直接接続する必要があります。
モード	7	A	軽負荷条件下とパワー グッド/ソフトスタート機能のモード選択ピン。詳細については、「モード選択」を参照してください。
SS/PG	8	A	このピンは、モードピンの構成に応じて、ソフトスタート機能またはパワー グッド機能にできます。ソフトスタート機能を選択すると、このピンと GND との間に接続する外付けコンデンサにより、内部基準電圧の立ち上がり時間が定義されます。パワー グッド機能を選択すると、このピンはオープンドラインのパワー グッド インジケータとなり、出力電圧が PG スレッショルドの範囲外にあるとき、過電圧、またはデバイスがサーマル シャットダウン中、EN シャットダウン中、またはソフトスタート中に、Low にアサートされます。
RT / SYNC	9	A	周波数選択と外部クロック同期。グランドへの抵抗により、デバイスのスイッチング周波数が設定されます。このピンに外部クロックを印加して、スイッチング周波数を同期することもできます。詳しくは、セクション 6.3.5 を参照してください。

(1) A = アナログ、P = 電源、G = グランド

## 5 仕様

### 5.1 絶対最大定格

推奨される動作時の接合部温度範囲内 ( $-40^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ )、特に記述のない限り (1)

		最小値	最大値	単位
入力電圧	$V_{IN}$	-0.3	20	V
	EN	-0.3	6	
	FB	-0.3	6	
出力電圧	$V_{OUT}$	-0.3	12	
	SS/PG	-0.3	6	
	モード	-0.3	6	
	RT / SYNC	-0.3	6	
機械的衝撃	Mil-STD-883D、Method 2002.3、1msec、1/2 正弦波、取り付け		1500	G
機械振動	Mil-STD-883D、Method 2007.2、20~2000Hz		20	G
$T_J$	動作時接合部温度 (2)	-40	125	$^{\circ}\text{C}$
$T_{stg}$	保存温度	-65	125	

(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、「推奨動作条件」に示された値を超える状態で本デバイスが正常に動作することを暗黙的に示す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」の範囲外で使用した場合、本デバイスは完全に機能するとは限らず、このことが本デバイスの信頼性、機能、性能に影響を及ぼし、本デバイスの寿命を縮める可能性があります。

(2) 接合部温度が  $125^{\circ}\text{C}$  を超える動作は可能ですが、デバイスの寿命が短くなります。

### 5.2 ESD 定格

			値	単位
$V_{(ESD)}$	静電放電	人体モデル (HBM)、ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 に準拠、すべてのピン (1)	$\pm 3000$	V
		デバイス帯電モデル (CDM)、ANSI/ESDA/JEDEC JS-002 に準拠、すべてのピン (2)	$\pm 1000$	

(1) JEDEC のドキュメント JEP155 に、500V HBM 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。

(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。

### 5.3 推奨動作条件

接合部の動作時推奨温度である  $-40^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$ において (特に記述のない限り) (1)

		最小値	公称値	最大値	単位
入力電圧	$V_{IN}$	3.8	18		V
	EN	-0.1	5.5		
	FB	-0.1	5.5		
	SS/PG	-0.1	5.5		
	モード	-0.1	5.5		
出力電圧	$V_{OUT}$	0.8	12		
出力電流	$I_{OUT}$	0	3	A	
温度	動作時の接合部温度、 $T_J$	-40	125	$^{\circ}\text{C}$	

(1) *Recommended Operating Conditions* 推奨動作条件は本デバイスが機能する条件を示していますが、特定の性能限界を指定するものではありません。準拠する仕様については「電気的特性」を参照してください。

## 5.4 热に関する情報

热評価基準 <sup>(1)</sup>		TPSM843321	単位
		RCJ (QFN-FCMOD)、9 ピン	
$R_{\theta JA}$	接合部から周囲への热抵抗	55.2	°C/W
$R_{\theta JC(\text{top})}$	接合部からケース(上面)への热抵抗	58.1	°C/W
$R_{\theta JB}$	接合部から基板への热抵抗	16	°C/W
$\Psi_{JT}$	接合部から上面への特性パラメータ	該当なし	°C/W
$\Psi_{JB}$	接合部から基板への特性パラメータ	15.7	°C/W
$R_{\theta JA\_EVM}$	公式評価基板ボードでの接合部から周囲への热抵抗	46	°C/W

- (1) 従来および最新の热評価基準の詳細については、『半導体およびIC パッケージの热評価基準』アプリケーションノートを参照してください。  
[spra953](#)

## 5.5 電気的特性

ここで規定される電気的定格は、特に記述のない限り、このドキュメント内のすべての仕様に適用されます。これらの仕様は、デバイスの寿命全体にわたり、デバイスの特性や機能の仕様を劣化させない条件として解釈されます。標準値は  $T_J = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 12\text{V}$  に対応します。特に記述がない限り、最小値と最大値の制限は、 $T_J = -40^\circ\text{C} \sim +125^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 3.8\text{V} \sim 18\text{V}$  の値です。

パラメータ	テスト条件	最小値	標準値	最大値	単位
<b>電源 (VIN ピン)</b>					
$V_{IN}$	動作入力電圧	3.8	18	18	V
$I_Q$	非スイッチング時の静止電流	28	34	$\mu\text{A}$	
	EN = 5V、 $V_{FB} = 0.65\text{V}$ 、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、PFM	40	47		
$I_{SHDN}$	シャットダウン時の電源電流	3	5.5	5.5	$\mu\text{A}$
$V_{IN\_UVLO}$	立ち上がりスレッショルド	3.4	3.6	3.8	V
	立ち下がりスレッショルド	3.2	3.4	3.6	V
	ヒステリシス	200		200	mV
<b>イネーブル (EN ピン)</b>					
$V_{EN\_RISE}$	イネーブル スレッショルド	立ち上がりイネーブル・スレッショルド	1.15	1.22	V
$V_{EN\_FALL}$	スレッショルドをディセーブル	立ち下がりディセーブル スレッショルド	0.9	1	V
$I_p$	EN プルアップ電流	$V_{EN} = 1.0\text{V}$	0.7	0.7	$\mu\text{A}$
$I_h$	EN プルアップヒステリシス電流		1.76	1.76	$\mu\text{A}$
<b>電圧リファレンス (FB ピン)</b>					
$V_{FB}$	FB 電圧	$T_J = 25^\circ\text{C}$	596	600	604
		$T_J = 0^\circ\text{C} \sim 85^\circ\text{C}$	595	600	605
		$T_J = -40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$	594	600	606
$I_{FB}$	入力リーク電流	$V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{FB} = 0.8\text{V}$ 、 $T_J = 25^\circ\text{C}$		0.1	$\mu\text{A}$
<b>電流制限</b>					
$I_{HS\_LIMIT}$	ハイサイド MOSFET 電流制限値	$V_{IN} = 12\text{V}$	5.6	6.5	7.4
$I_{LS\_LIMIT}$	ローサイド MOSFET 電流制限値	$V_{IN} = 12\text{V}$	3.6	4.5	5.6
$I_{LS\_NOC}$	逆電流制限	$V_{IN} = 12\text{V}$	2	3	4.2
$I_{PEAK\_MIN}$	最小ピーカンダクタ電流	$V_{IN} = 12\text{V}$		1.2	A
<b>ソフトスタート (SS ピン)</b>					
$I_{SS}$	ソフトスタート充電電流		3.5	5.5	6.5
$T_{SS}$	固定内部ソフトスタート時間	PG 機能付きモード。 0% の $V_{out}$ ～ 90% の $V_{out}$ までの時間		3.6	ms

## 5.5 電気的特性 (続き)

ここで規定される電気的定格は、特に記述のない限り、このドキュメント内のすべての仕様に適用されます。これらの仕様は、デバイスの寿命全体にわたり、デバイスの特性や機能の仕様を劣化させない条件として解釈されます。標準値は  $T_J = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 12\text{V}$  に対応します。特に記述がない限り、最小値と最大値の制限は、 $T_J = -40^\circ\text{C} \sim +125^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 3.8\text{V} \sim 18\text{V}$  の値です。

パラメータ	テスト条件	最小値	標準値	最大値	単位
<b>パワー グッド (PG ピン)</b>					
$V_{PGTH}$	$V_{FB}$ 立ち下り、PG High から Low	85%			
	$V_{FB}$ 立ち上がり、PG Low から High	90%			
	$V_{FB}$ 立ち下り、PG Low から High	107%			
	$V_{FB}$ 立ち上がり、PG High から Low	115%			
$T_{PG\_R}$	PG の遅延時間	70			$\mu\text{s}$
$T_{PG\_F}$	PG の遅延時間	13			$\mu\text{s}$
$V_{IN\_PG\_VALID}$	有効な PG 出力の最小 $V_{IN}$	外部 5V ～ 100k $\Omega$ ブルアップして PG < 0.5V のときに測定	2	2.5	V
$V_{PG\_OL}$	PG 出力 Low レベル電圧	$I_{PG} = 0.5\text{mA}$		0.3	V
$I_{PG\_LK}$	オープンドレインが High の PG リーク電流	$V_{PG} = 5.5\text{V}$	-1	1	$\mu\text{A}$
<b>発信機周波数 (RT ピン)</b>					
$f_{SW}$	スイッチング中心周波数	RT = フローティング	450	500	550
		RT = GND	870	1000	1130
$V_{SYNC\_HI}$	SYNC クロック High レベル スレッショルド		1.7		V
$V_{SYNC\_LO}$	SYNC クロック Low レベル スレッショルド			0.9	V
$t_{ON\_MIN}$ <sup>(1)</sup>	最小 ON パルス幅		70		ns
$t_{OFF\_MIN}$ <sup>(1)</sup>	最小 OFF パルス幅		114		ns
$t_{ON\_MAX}$ <sup>(1)</sup>	最大 ON パルス幅		8		$\mu\text{s}$
<b>出力過電圧および低電圧保護</b>					
$V_{OVP}$	出力 OVP スレッショルド	OVP 検出 (L→H)	112%	115%	118%
		ヒステリシス	8%		
$V_{UVP}$	出力 UVP スレッショルド	UVP 検出 (H→L)	65%		
		ヒステリシス	6%		
$t_{hiccup\_ON}$	ソフトスタートの終了後ヒップ モードに移行する前の UV ヒップ オン時間		256		$\mu\text{s}$
$t_{hiccup\_OFF}$	再起動前の UV ヒップ オフ時間		9.8		サイクル
<b>サーマル シャットダウン</b>					
$T_{SHDN}$ <sup>(1)</sup>	サーマル シャットダウンのスレッショルド	シャットダウン温度	165		°C
$T_{HYS}$ <sup>(1)</sup>		ヒステリシス	30		°C
<b>スペクトラム拡散周波数</b>					
$f_m$ <sup>(1)</sup>	変調周波数		10		kHz
$f_{spread}$	内部拡散発振器の周波数		±8%		

(1) 製造試験は行っておらず、設計による仕様です。

## 5.6 代表的特性

$T_J = -40^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$ 、 $V_{IN} = 12\text{V}$  (特に記述のない限り)。

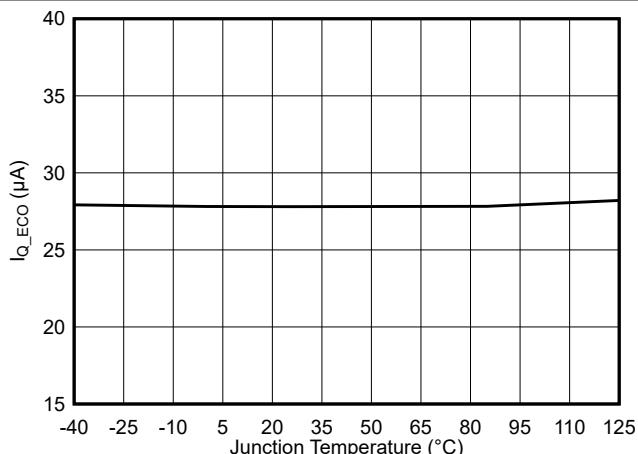


図 5-1. TPSM843321 静止電流 (PFM) と接合部温度との関係

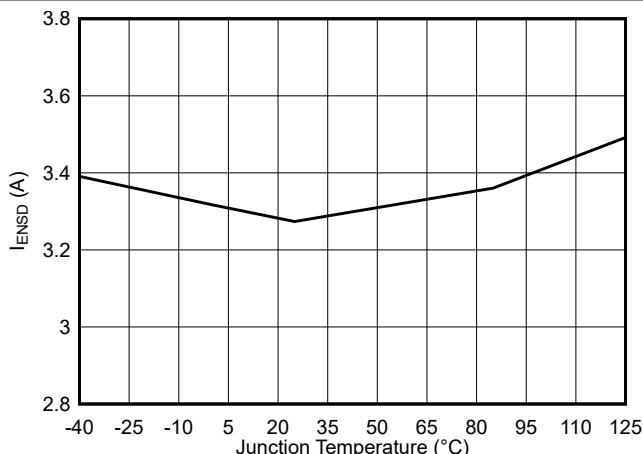


図 5-2. TPSM843321 シャットダウン電流と接合部温度との関係

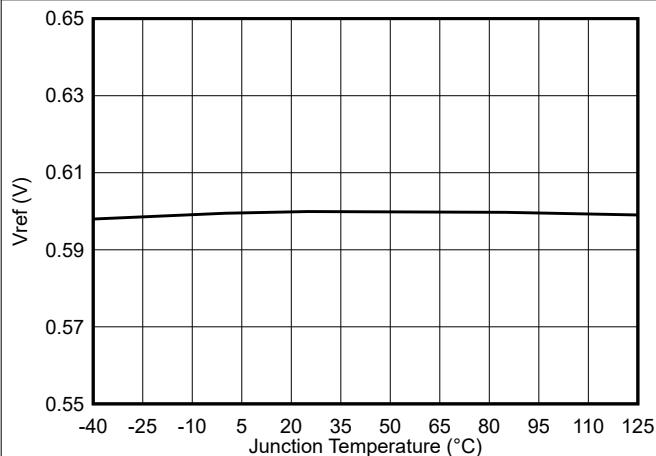


図 5-3. 帰還電圧と接合部温度との関係

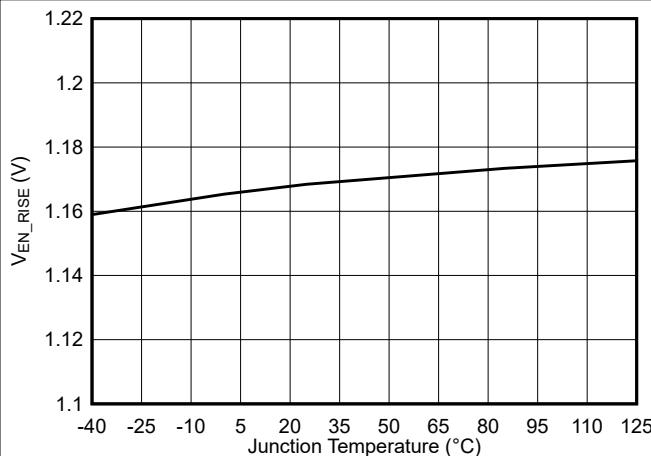


図 5-4. イネーブル スレッショルドと接合部温度との関係

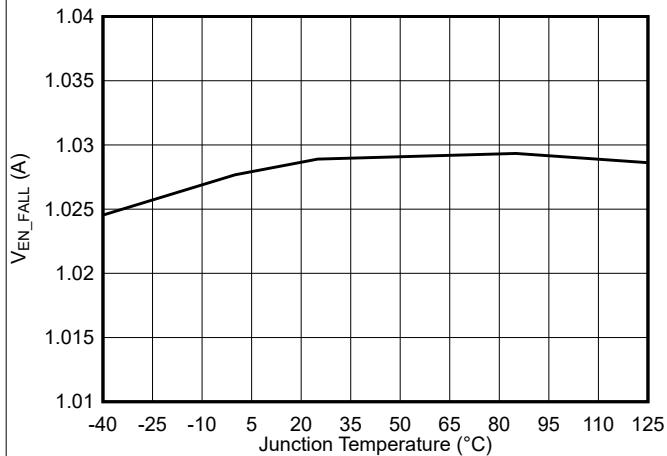


図 5-5. ディセーブル スレッショルドと接合部温度との関係

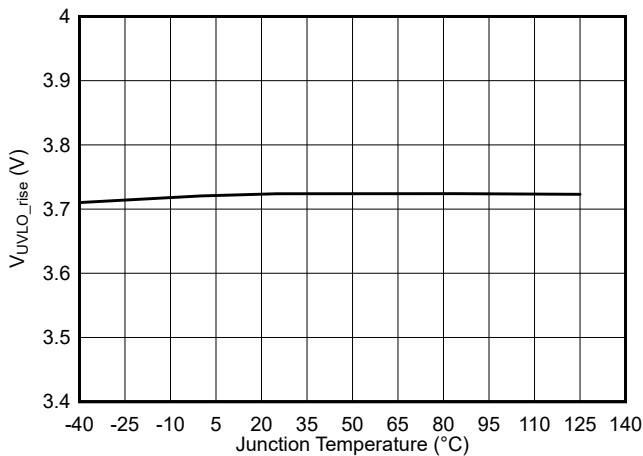


図 5-6.  $V_{IN}$  UVLO 立ち上がりスレッショルドと接合部温度との関係

## 5.6 代表的特性 (続き)

$T_J = -40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 12\text{V}$  (特に記述のない限り)。

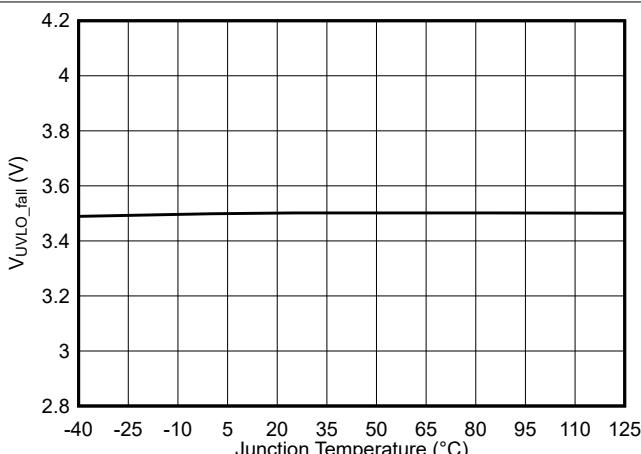


図 5-7.  $V_{IN}$  UVLO 立ち下がりスレッショルドと接合部温度との関係

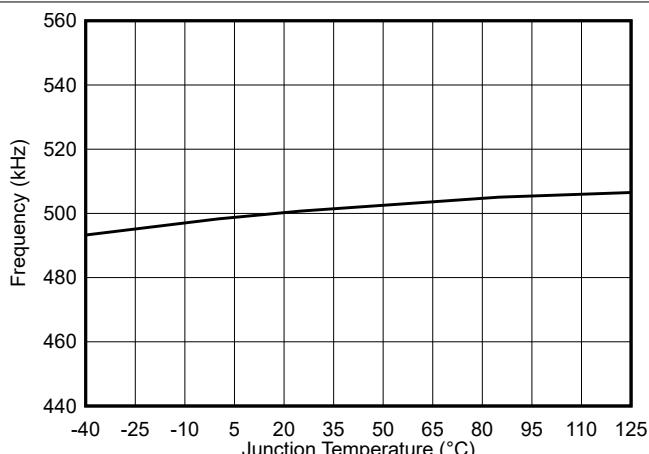


図 5-8. スイッチング周波数 (RT フローティング) と接合部温度との関係

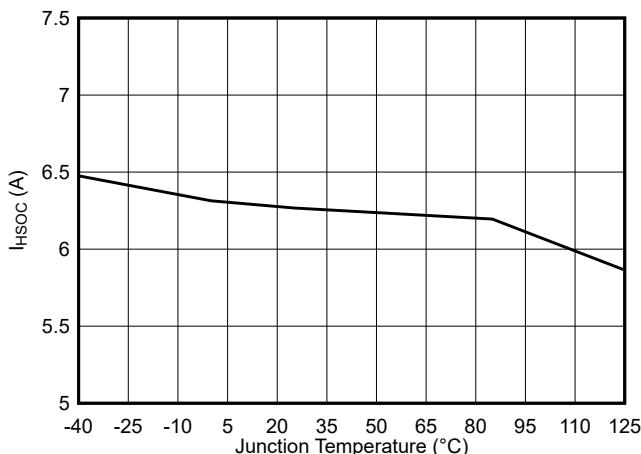


図 5-9. TPSM843321 ハイサイド電流制限と接合部温度との関係

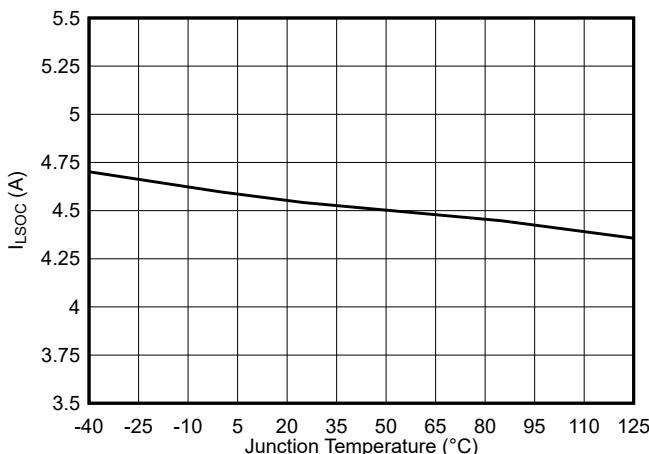


図 5-10. TPSM843321 ローサイド電流制限と接合部温度との関係

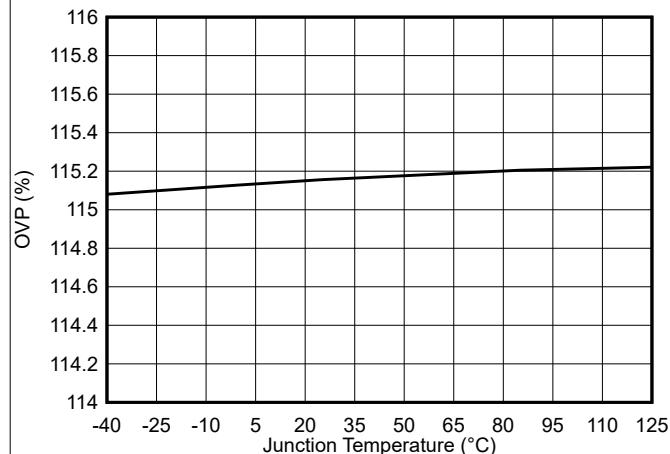


図 5-11. OVP スレッショルドと接合部温度との関係

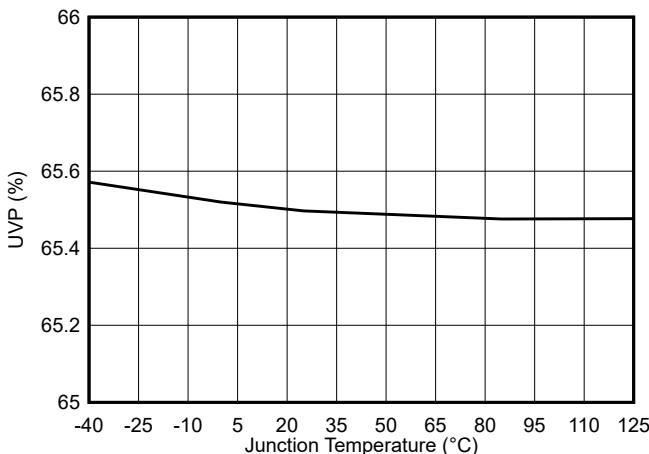


図 5-12. UVP スレッショルドと接合部温度との関係

## 5.6 代表的特性 (続き)

$T_J = -40^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$ 、 $V_{IN} = 12\text{V}$  (特に記述のない限り)。

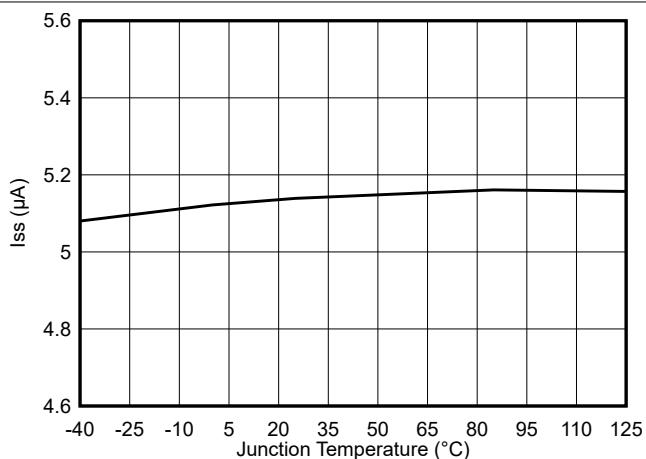


図 5-13. ソフトスタート充電電流と接合部温度との関係

## 6 詳細説明

### 6.1 概要

TPSM843321 は、設計の柔軟性が高い、高効率で高電圧入力に対応した、使いやすい同期整流降圧パワー モジュールです。TPSM843321 は動作入力電圧範囲が 3.8V ~ 18V と広く、5V、12V の各電源バス レールからの電力供給で動作するシステム向けの設計を採用しています。このデバイスは、最大 3A の連続出力電流と最大 98% のデューティサイクルをサポートします。

TPSM843321 はピーク電流モード制御を採用し、内部補償によって高速過渡応答およびラインと負荷の優れたレギュレーションを実現しています。内部適応ループ調整により、広い出力電圧範囲とスイッチング周波数において、外付け補償を必要としません。内蔵のブーストキャップおよび関連回路を使用すると、単層 PCB (プリント基板) を作成でき、外付け部品点数をさらに低減するのに役立ちます。

MODE ピンの構成の変更による、パルス周波数変調 (PFM)、軽負荷時の強制連続導通変調 (FCCM)、可変ソフトスタート時間/パワーグッド インジケータのオプションを備えています。PFM モードで動作する場合、軽負荷時に高い効率を実現できます。FCCM モードは TPSM843321 がすべての負荷条件で出力リップルを低く抑えるために役立ちます。SS/PG ピンには、ソフトスタート時間の設定や、デバイスが SS 機能を持つように設定されたときの電圧トラッキングのために、小さな値のコンデンサまたは抵抗デバイダが接続されています。PG 機能を選択すると、デバイスは SS/PG ピンを介してパワー グッドを示すことができます。

EN ピンには内部プルアップ電流があり、それを使用すると入力低電圧誤動作防止 (UVLO) を 2 個の外付け抵抗により調整できます。また、EN ピンをフローティングにすることにより、内部プルアップ電流での動作も可能です。

RT/SYNC ピンの設定によりスイッチング周波数を 200kHz~2.2MHz の範囲で設定できるため、出力フィルタ部品を選択するときに効率と設計サイズを最適化できます。周波数スペクトラム拡散機能を使用すると、デバイスの EMI ノイズ低減に役立ちます。

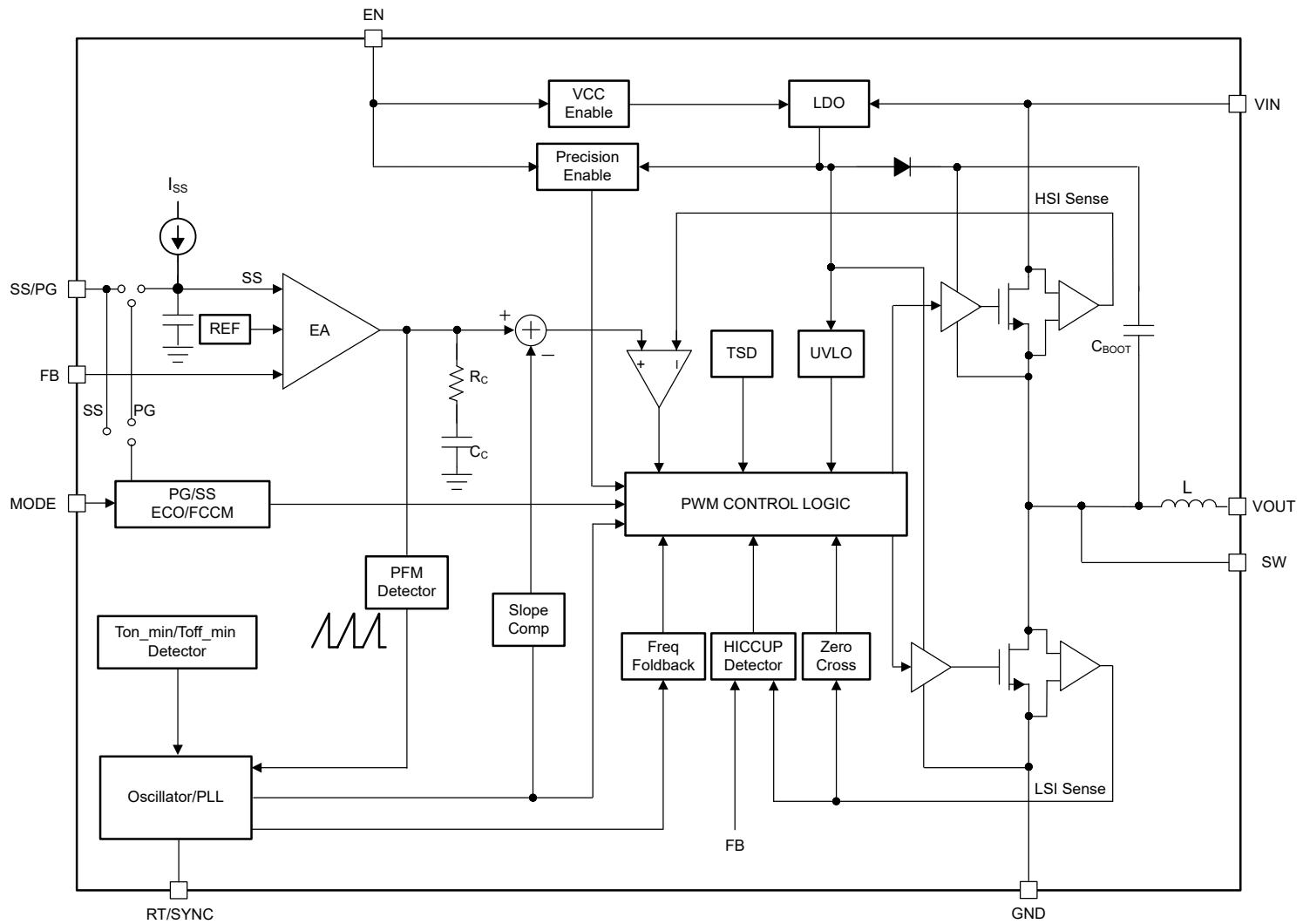
TPSM843321 には、最大オン時間が 8μs (標準値) のオン時間延長機能があります。低ドロップアウト動作中、ハイサイド MOSFET は最大 8μs までオンにでき、最小オフ時間 114ns (標準値) でハイサイド MOSFET がオフになり、ローサイド MOSFET がオンになります。デバイスは最大 98% のデューティサイクルに対応しています。

ハイサイド MOSFET にサイクル単位の電流制限を適用することで過負荷状況からデバイスを保護し、ローサイドのソース電流制限により電流暴走を防止します。TPSM843321 は、過電流がトリガされたために安定化出力電圧が公称電圧の 65% を下回ると、出力低電圧保護 (UVP) が作動します。約 256μs (標準値) のグリッチ除去時間が経過すると、ハイサイドとローサイドの両方の MOSFET がオフになり、デバイスはヒップモードに移行します。

本デバイスは、過電圧コンパレータを利用して、過度の出力過電圧を最小限に抑えています。安定化された出力電圧が公称電圧の 115% を超えると、過電圧コンパレータが作動してハイサイド MOSFET がオフになり、出力電圧が 104% を下回るまでオフのままになります。

サーマル シャットダウンにより、ダイ温度  $T_J$  が 165°C を超えるとデバイスが無効化され、 $T_J$  が 30°C のヒステリシス量を下回ると再び有効になります。

## 6.2 機能ブロック図



## 6.3 機能説明

### 6.3.1 固定周波数のピーク電流モード

TPSM843321 の以下の動作の説明は、機能ブロック図と 図 6-1 の波形を参照しています。TPSM843321 は、ハイサイド (HS) およびローサイド (LS) MOSFET (同期整流器) を内蔵した同期降圧コンバータです。TPSM843321 は、制御されたデューティサイクルで HS および LS の NMOS スイッチをオンにすることにより、出力電圧の安定化を実現します。ハイサイドスイッチのオン時間中には、SW ピンの電圧がほぼ  $V_{IN}$  まで上昇し、インダクタ電流  $i_L$  が  $(V_{IN} - V_{OUT})/L$  の傾きで直線的に増加します。制御ロジックによって HS スイッチがオフになると、貫通電流を防止するデッドタイムの経過後に、LS スイッチがオンになります。インダクタ電流は、ローサイドスイッチを通して  $-V_{OUT}/L$  の割合で放電されます。降圧コンバータの制御パラメータは、デューティサイクル  $D = t_{ON}/T_{SW}$  と定義されます。ここで、 $t_{ON}$  はハイサイドスイッチのオン時間、 $t_{SW}$  はスイッチング周期です。コンバータ制御ループは、デューティサイクル  $D$  を調整することにより、出力電圧を一定に維持します。損失を無視できるような理想的な降圧コンバータでは、次の式のように、 $D$  は出力電圧に比例し、入力電圧に反比例します。 $D = V_{OUT}/V_{IN}$  です。

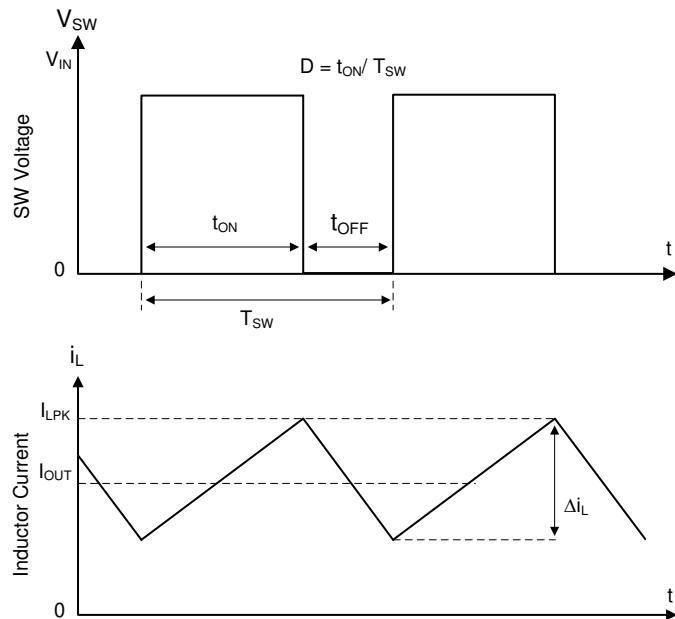


図 6-1. 連続導通モード (CCM) における SW ノードとインダクタ電流の波形

TPSM843321 は、固定周波数のピーク電流モード制御を採用しています。電圧帰還ループを使用して、電圧オフセットに基づいてピーク電流コマンドを調整することにより、DC 電圧を正確にレギュレートします。ピークインダクタ電流を HS スイッチから検出し、ピーク電流レッショルドと比較することで、HS スイッチのオン時間を制御します。電圧帰還ループは内部補償されているため、外付け部品が少なくて済み、設計が容易になり、ほとんどあらゆる組み合わせの出力コンデンサで安定して動作できます。

### 6.3.2 モード選択

MODE ピンの構成の変更による、軽負荷時の PFM と FCCM を選択でき、SS と PG ピンでは調整可能なソフトスタート時間機能とパワー グッド インジケータ機能を選択でき、EMI 強化のためにユーザーが選択できるスペクトラム拡散機能が用意されています。表にはさまざまな MODE ピン構成が表示されています。テキサス・インスツルメンツでは、MODE の選択のために、温度係数の低い許容誤差 1% の抵抗を使用することを推奨しています。

表 6-1. MODE ピン構成表

推奨モード抵抗、 $k\Omega$	軽負荷時の動作	SS/PG ピンの機能	周波数スペクトラム拡散 $F_{ss}$
4k $\Omega$ 未満のショート バージョン	PFM	SS	あり
18k $\Omega$	PFM	PG	あり
180k $\Omega$	FCCM	SS	あり
330k $\Omega$	FCCM	PG	あり
680k $\Omega$	FCCM	SS	なし
1.3M $\Omega$ を超える、フローティング	FCCM	PG	なし

### 6.3.3 基準電圧

内部リファレンス電圧  $V_{REF}$  は、0.6V (標準値) に設計されています。コンバータの負帰還システムは、温度が安定した内部バンド ギャップ回路の出力をスケーリングすることで、全温度範囲にわたって正確な  $\pm 1\%$  の帰還電圧  $V_{FB}$  を生成します。

### 6.3.4 出力電圧設定

高精度の 0.6V 基準電圧  $V_{REF}$  を使用して、動作温度範囲の全体にわたって正確に安定化された出力電圧を維持します。出力電圧は、出力電圧と FB ピンとの間の分圧抵抗回路によって設定されます。テキサス・インスツルメンツでは、FB 分圧器に精度 1% の低温度係数抵抗を使用することを推奨します。目的の分圧器電流に対応する下側抵抗  $R_{FBT}$  を選択して、式 1 を使って上側抵抗  $R_{FBT}$  を計算します。 $R_{FBT}$  が小さいと分圧器電流が大きくなり、非常に軽負荷での効率が低下します。 $R_{FBT}$  が大きいと FB 電圧がノイズの影響を受けやすくなるため、 $R_{FBT}$  の値が大きいほど、PCB 上の帰還パスをより慎重に設計する必要があります。テキサス・インスツルメンツでは、ほとんどのアプリケーションに、 $R_{FBT} = 10k\Omega$  および  $10k\Omega \sim 300k\Omega$  の範囲の  $R_{FBT}$  を推奨します。

抵抗デバイダの公差や温度による変動は、出力電圧のレギュレーションに影響を与えます。

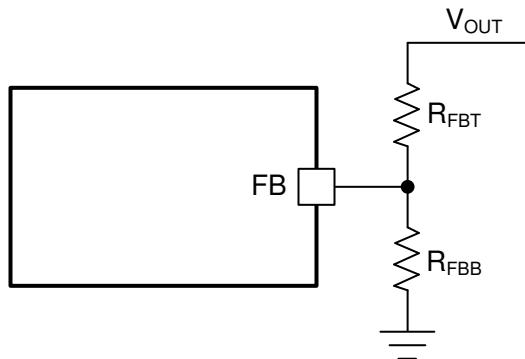


図 6-2. 出力電圧設定

$$R_{FBT} = \frac{V_{OUT} - V_{REF}}{V_{REF}} \times R_{FBT} \quad (1)$$

ここで、

- $V_{REF}$  は 0.6V (内部リファレンス電圧) です。
- $R_{FBT}$  は  $10k\Omega$  (推奨) です。

### 6.3.5 スイッチング周波数の選択、同期

TPSM843321 は、RT/SYNC ピンのさまざまな構成により、RT モードおよび SYNC モードで動作できます。RT モードでは、TPSM843321 のスイッチング周波数は RT 選択のプログラミングにより設定できます。表 6-2 は、RT 選択のプログラミングを示しています。RT がフローティングまたは GND に接続されている場合、デバイスが最初にイネーブルになるときに、この入力の状態が検出されます。コンバータが実行された後は、スイッチング周波数の選択は固定され、次のパワ

一 オン サイクルまたは EN トグルまで変更できません。RT を抵抗に接続すると、次の式を使用してスイッチング周波数を 200kHz ~ 2200kHz の範囲で設定できます。

$$R_T = \frac{44500}{f_{SW}} - 2 \quad (2)$$

ここで、

- RT は、RT タイミング抵抗の値 (kΩ) です。
- f<sub>SW</sub> はスイッチング周波数 (kHz) です。

**表 6-2. RT/SYNC ピンの抵抗設定**

RT/SYNC ピン	抵抗	スイッチング周波数
フローティング	85kΩ	500 kHz
GND	40kΩ	1000 kHz
抵抗	18kΩ~220kΩ	ARM: 200 kHz ~ 2200 kHz

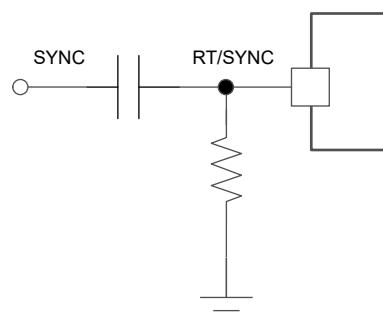
スイッチング周波数が RT/SYNC ピンで設定された条件に適合しない、次の 4 つのケースがあります：

- 軽負荷動作 (PFM モード)
- 低ドロップアウト動作
- 最小オン時間動作
- 電流制限が始動した

いずれの場合も、スイッチング周波数はフォールドバックし、スイッチング周波数は RT/SYNC ピンでプログラムされた周波数よりも低くなります。これらの条件下では、電流制限動作を除き、出力電圧は安定化したままになります。

内部のフェーズ ロック ループ (PLL) によって、200kHz ~ 2200kHz での同期が可能になり、RT モードから SYNC モードへと簡単に切り替えることができます。同期機能を実装するには、100ns 以上のオン時間で RT/SYNC ピンに方形波クロック信号を接続します。クロック信号の振幅は、0.9V より低く 1.7V より高く遷移する必要があります。

RT モードと SYNC モードの両方が必要なアプリケーションでは、図 6-3 に示す RC 回路を使用して RT/SYNC ピンとのインターフェイスを確立できますが、容量性負荷のために RT モードへの移行が遅くなります。RT/SYNC ピンは GND/フローティングに接続したままにしないでください。100pF のコンデンサを推奨します。直列 RC 回路を使用するときは、RT/SYNC ピンの信号の振幅が 0.9V より低く 1.7V より高く遷移する必要があることを確認してください。



**図 6-3. SYNC モードの構成**

## 注

- 起動前に SYNC がアクティブである場合、TPSM843321 は SYNC クロックで動作します。
- 起動前に SYNC がアクティブでない場合、TPSM843321 はデフォルトクロックで動作します (RT 抵抗を基準)。SYNC クロックがアクティブなとき、TPSM843321 は SYNC モードで動作します。
  - SYNC クロックが範囲外 (200kHz ~ 約 2.2MHz) の場合、TPSM843321 は最終周波数 (200kHz、2.2MHz) で動作します。
  - 動作中、SYNC クロックはロックされていません。

スイッチング周波数は、本デバイスの出力電圧の設定に基づいて選択する必要があります。一般的な入力電圧における、指定されたスイッチング周波数での出力電圧の許容範囲については、「[表 6-3](#)」を参照してください

表 6-3. スイッチング周波数と出力電圧との関係

F <sub>SW</sub> (kHz)	V <sub>IN</sub> = 5V		V <sub>IN</sub> = 12V	
	V <sub>OUT</sub> の範囲 (V)		V <sub>OUT</sub> の範囲 (V)	
	最小値	最大値	最小値	最大値
200	0.6	4.5	0.6	1.2
400	0.6	4	0.6	2
600	1	4	0.9	3.3
800	1.5	3.5	1.2	9
1000	2	3	1.8	9
1200	該当なし	該当なし	2	9
1400	該当なし	該当なし	2.5	9
1600	該当なし	該当なし	3	9
1800	該当なし	該当なし	3.3	9
2000	該当なし	該当なし	4	9
2200	該当なし	該当なし	4.5	9

## 6.3.6 位相シフト

TPSM843321 が外部クロックと同期しながら FCCM モードで動作するときは、[図 6-4](#) に示すように、MODE ピンにコンデンサ接続を追加することで、位相シフト機能を有効にできます。位相シフト機能を無効にする場合は、コンデンサをフローティングにします。位相シフト機能は、降圧コンバータが同じ入力を共有するマルチレールにおいて、入力リップルを低減し、EMI 性能を向上させるように設計されています。[図 6-5](#) は、位相シフトによって、同じ入力を共有している 3 つの降圧コンバータで入力リップルが低減する様子を示しています。[式 3](#) を使用してコンデンサ値を計算します。C<sub>MODE</sub> は MODE コンデンサ、θ は位相シフトの角度です。[表 6-4](#) は位相シフト構成の標準的なコンデンサ値を示しています。

$$C_{MODE} = \frac{\theta - 28^\circ}{1.3585} \quad (3)$$

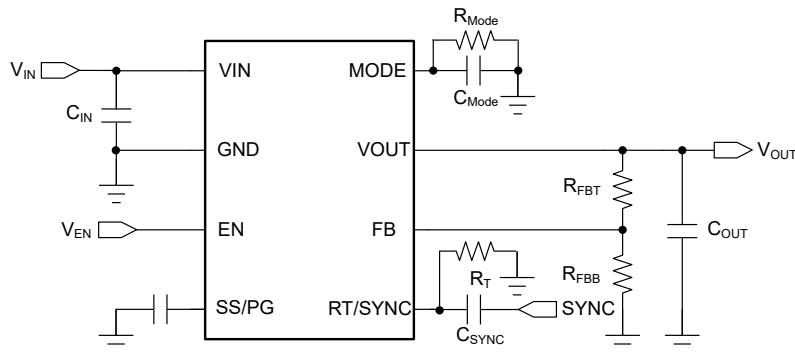


図 6-4. 位相シフト動作の回路図

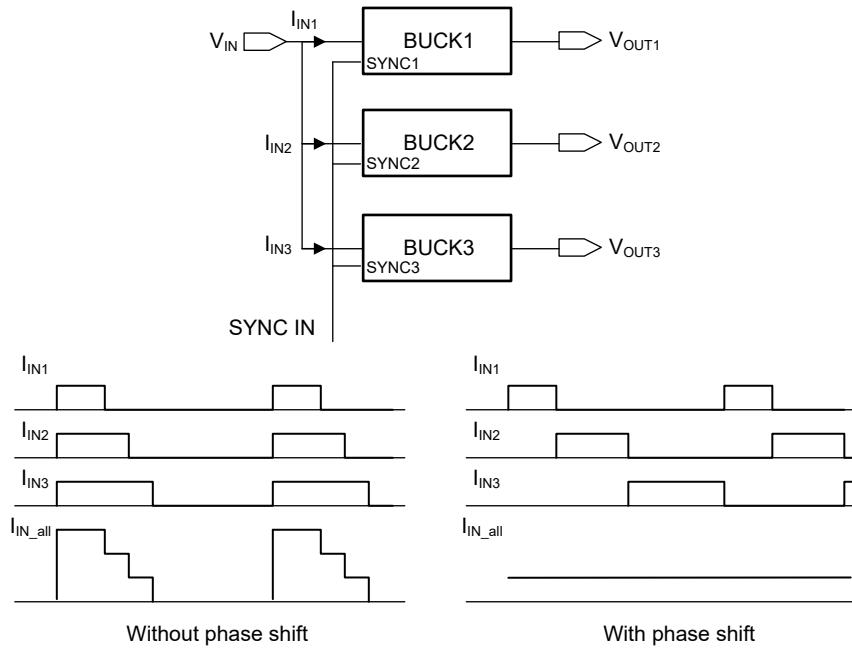


図 6-5. 位相シフト動作の適用

表 6-4. 位相シフトの構成

推奨モードコンデンサ、pF	位相シフト、度
47pF	90°
68pF	120°
120pF	180°
180pF	270°

### 6.3.7 イネーブルと低電圧誤動作防止の調整

EN ピンは、本デバイスの電気的オン / オフ制御に使用できます。EN ピンの電圧がイネーブル スレッショルド電圧  $V_{EN\_RISE}$  を超えると、TPSM843321 が動作を開始します。EN ピンの電圧がディセーブル スレッショルド電圧  $V_{EN\_FALL}$  を下回ると、コンバータはスイッチングを停止し、シャットダウン モードに移行します。

EN ピンには内部プルアップ電流源があり、EN ピンをフローティングにしてデバイスを有効にできます。アプリケーションで EN ピンの制御が必要な場合は、ピンとのインターフェイスに、オープンドレイン、オープンコレクタ、または GPIO 出力ロジックを使用してください。

TPSM843321 では、VIN ピンの内部低電圧誤動作防止 (UVLO) 回路が実装されています。VIN ピンの電圧が内部の  $V_{IN\_UVLO}$  スレッショルドを下回ると、本デバイスは無効化されます。内部  $V_{IN\_UVLO}$  スレッショルドには、一般的な 200mV のヒステリシスがあります。アプリケーションで、より高い UVLO スレッショルドを VIN ピンに必要とする場合、EN ピンを 図 6-6 のように構成できます。外部 UVLO 機能を使用する場合、TI が推奨するヒステリシス設定値は 500mV 以上です。

EN ピンの持つ小さなプルアップ電流  $I_p$  が、外部部品を接続しないときの EN ピンのデフォルト状態を有効に設定します。プルアップヒステリシス電流  $I_h$  は、EN ピンの電圧がイネーブル スレッショルドを超えたときの UVLO 機能のヒステリシス電圧を制御するために使用されます。式 4 と式 5 を使用して、指定された UVLO スレッショルドに対する R1 と R2 の値を計算します。R1 と R2 の値が安定した後、 $V_{EN}$  は 式 6 で計算できます。この値は、最大  $V_{IN}$  で 5.5V 未満にする必要があります。

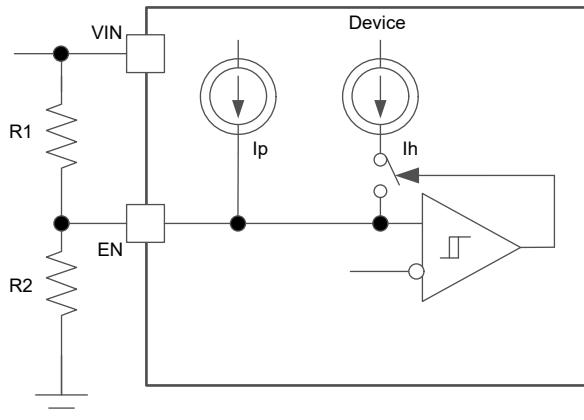


図 6-6. 可変の  $V_{IN}$  低電圧誤動作防止

$$R_1 = \frac{V_{START} \times \frac{V_{EN\_FALL}}{V_{EN\_RISE}} - V_{STOP}}{I_p \times \left(1 - \frac{V_{EN\_FALL}}{V_{EN\_RISE}}\right) + I_h} \quad (4)$$

$$R_2 = \frac{R_1 \times V_{EN\_FALL}}{V_{STOP} - V_{EN\_FALL} + R_1 \times (I_p + I_h)} \quad (5)$$

$$V_{EN} = \frac{R_2 \times V_{IN} + R_1 \times R_2 \times (I_p + I_h)}{R_1 + R_2} \quad (6)$$

ここで、

- $I_p$  は  $0.7\mu\text{A}$  です。
- $I_h$  は  $1.76\mu\text{A}$  です。
- $V_{EN\_FALL}$  は  $1\text{V}$  です。
- $V_{EN\_RISE}$  は  $1.15\text{V}$  です。
- $V_{START}$  はデバイスをイネーブルするための入力電圧です。
- $V_{STOP}$  はデバイスをディセーブルするための入力電圧です。

### 6.3.8 外部ソフトスタートおよびプリバイアス付きソフトスタート

TPSM843321 を MODE ピンによって SS 機能に構成する場合は、TPSM843321 の SS/PG ピンを使用して、容量性負荷を駆動する際の突入電流を最小化します。本デバイスでは、内部電圧リファレンス  $V_{REF}$  または SS/PG ピン電圧のいずれか低い方の電圧をリファレンス電圧として使用し、それに応じて出力を安定化します。SS/PG ピンとグランド間のコンデンサにより、スロー スタート時間が設定されます。本デバイスには、外部のソフトスタートコンデンサを充電する内部プルアップ電流源が内蔵されています。次の式を使用して、ソフトスタート時間 ( $t_{SS}$ , 0% ~ 100%) とソフトスタートコンデンサ ( $C_{SS}$ ) を計算します。

$$t_{SS} = \frac{C_{SS} \times V_{REF}}{I_{SS}} \quad (7)$$

ここで、

- $V_{REF}$  は  $0.6\text{V}$  (内部リファレンス電圧) です。
- $I_{SS}$  は  $5.5\mu\text{A}$  (標準値) の内部プルアップ電流です。

スタートアップ時に出力コンデンサがプリバイアスされている場合には、内部リファレンス電圧が帰還電圧  $V_{FB}$  を上回るまで、スイッチングおよび電圧上昇は開始されません。これにより、コンバータはレギュレーション点までスムーズに上昇します。SS/PG ピンに接続された抵抗デバイダを使用すると、他の電源レールの電圧トラッキングを実装できます。

### 6.3.9 パワー グッド

TPSM843321 が PG 機能用に構成されている場合、出力電圧が適切なレベルに達したかどうかを示すために SS/PG ピンが使用されます。PG 信号は、スタートアップ時の複数のレールのシーケンシングに使用できます。PG ピンは、5.5V 未満の任意の電圧に接続されたプルアップ抵抗を必要とするオープンドレイン出力です。テキサス・インスツルメンツでは、 $10\text{k}\Omega \sim 100\text{k}\Omega$  のプルアップ抵抗を推奨しています。このデバイスは、約 4mA の電流をシンクし、指定されたロジックの Low レベルを維持できます。FB ピンの電圧が内部リファレンス電圧 ( $V_{REF}$ ) の 90% ~ 107% の間になり、70 $\mu\text{s}$  のグリッチ除去時間が経過すると、PG はハイインピーダンス状態になります。FB ピンの電圧が内部リファレンス電圧の 85% 未満、または内部リファレンス電圧の 115% を超える場合、またはサーマルシャットダウン中、EN シャットダウン中、または UVLO 状態になると、13 $\mu\text{s}$  のグリッチ除去時間の経過後に PG ピンは Low に下げられます。PG ピンが Low に維持されるには、VIN が印加され続けている必要があります。

表 6-5. PG のステータス

デバイスの状態		PG ロジック ステータス	
		高インピーダンス	Low
イネーブル (EN = High)	$V_{FB}$ は $V_{PGTH}$ をトリガしません	✓	
	$V_{FB}$ は $V_{PGTH}$ をトリガします		✓
シャットダウン (EN = Low)			✓
UVLO	$2.5\text{V} < V_{IN} < V_{UVLO}$		✓
サーマルシャットダウン	$T_J > T_{SD}$		✓
電源の取り外し	$V_{IN} < 2.5\text{V}$	✓	

### 6.3.10 最小オン時間、最小オフ時間、および周波数フォールドバック

最小オン時間 ( $t_{ON\_MIN}$ ) は、ハイサイドスイッチをオンにできる最小の時間長です。 $t_{ON\_MIN}$  は TPSM843321 では通常 70ns です。最小オフ時間 ( $t_{OFF\_MIN}$ ) は、ハイサイドスイッチをオフにできる最小の時間長です。 $t_{OFF\_MIN}$  は通常 114ns です。CCM 動作時には、 $t_{ON\_MIN}$  および  $t_{OFF\_MIN}$  によって、スイッチング周波数フォールドバックが発生しない電圧変換範囲が制限されます。

周波数フォールドバックが発生しない最小デューティサイクルは次のとおりです。

$$D_{MIN} = t_{ON\_MIN} \times f_{SW} \quad (8)$$

周波数フォールドバックが発生しない最大デューティサイクルは次のとおりです。

$$D_{MAX} = 1 - t_{ON\_MIN} \times f_{SW} \quad (9)$$

必要な出力電圧が与えられたとき、周波数フォールドバックの発生しない最大  $V_{IN}$  は次のようにになります：

$$V_{IN\_MAX} = \frac{V_{OUT}}{t_{ON\_MIN} \times f_{SW}} \quad (10)$$

周波数フォールドバックの発生しない最小  $V_{IN}$  は次のようにになります：

$$V_{IN\_MIN} = \frac{V_{OUT}}{1 - t_{ON\_MIN} \times f_{SW}} \quad (11)$$

TPSM843321 では、 $t_{ON\_MIN}$  または  $t_{OFF\_MIN}$  がトリガされた後に周波数フォールドバック方式が動作するようになります。これにより、最大デューティサイクルを増加、または最小デューティサイクルを低下させます。

$V_{IN}$  電圧が高くなるにつれて、オン時間は減少します。オン時間が  $t_{ON\_MIN}$  まで減少すると、 $V_{IN}$  の増加に伴ってスイッチング周波数が低下し始め、式 8 に従ってデューティサイクルが低下し続け  $V_{OUT}$  の安定化状態が維持されます。

この周波数フォールドバック方式は、 $V_{IN}$  が低い状況で、より大きなデューティサイクルが必要になった場合にも機能します。デバイスが  $t_{OFF\_MIN}$  に達すると周波数が低下し、式 9 に従って最大デューティサイクルが増加します。周波数フォールドバックの範囲が広いため、TPSM843321 の出力電圧は、電源電圧  $V_{IN}$  がかなり低いときでも安定化状態を維持しており、実効ドロップアウトを低減できます。周波数フォールドバックにより  $V_{IN\_MAX}$  が上昇し、 $f_{SW}$  の低下により  $V_{IN\_MIN}$  が低下します。

### 6.3.11 周波数スペクトラム拡散

EMI 低減のため、TPSM843321 では周波数スペクトラム拡散を導入しています。ジッタスパンは通常、変調周波数 10kHz でスイッチング周波数の  $\Delta f_c = \pm 8\%$  です。スペクトラム拡散の目的は、固定周波数で動作する代わりに、特定の周波数のピーク放射をより広い範囲の周波数に拡散することで、これらのピーク放射を除去することです。図 6-7 は周波数スペクトラム拡散変調を示しています。図 6-8 は中心周波数  $f_c$  でエネルギーが拡散されることを示しています。

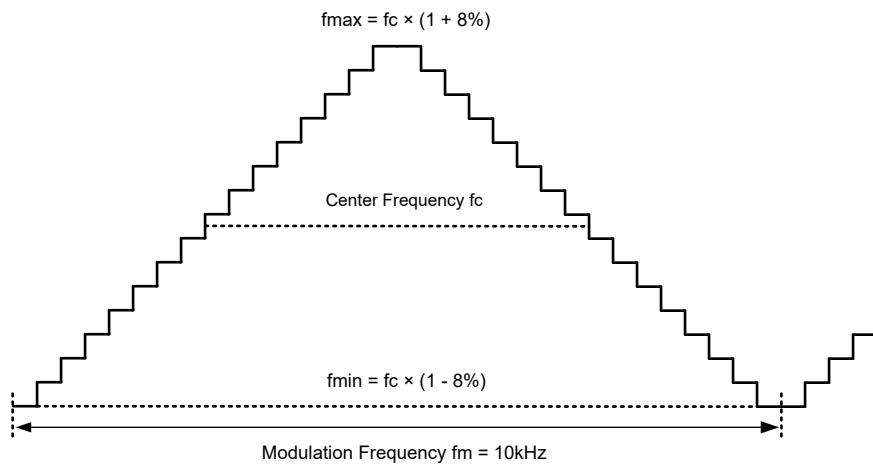


図 6-7. 周波数スペクトラム拡散図

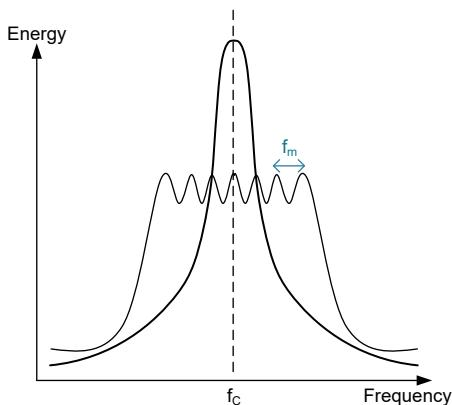


図 6-8. エネルギーと周波数との関係

### 6.3.12 過電圧保護

このデバイスは、出力電圧のオーバーシュートを最小限に抑えるための出力過電圧保護 (OVP) 回路を備えています。OVP 機能では、FB ピンの電圧を OVP スレッショルドと比較して、オーバーシュートを最小限に抑えます。FB ピンの電圧が OVP スレッショルドの 115% を超えると、ハイサイド MOSFET がオフになり、出力に電流が流れるのを防ぎ、出力のオーバーシュートを最小限に抑えます。FB ピンの電圧が OVP スレッショルドからヒステリシスを引いたものより低下すると、次のクロックサイクルでハイサイド MOSFET がオンになります。この機能は非ラッチ動作です。

### 6.3.13 過電流保護と低電圧保護

TPSM843321 には、ピークおよびバレーの両方のインダクタ電流制限機能が組み込まれており、過負荷や短絡からデバイスを保護し、最大出力電流を制限します。バレー電流制限は、出力短絡時にインダクタ電流が暴走するのを防ぎ、ピーク制限とバレー制限の両方が連携してコンバータの最大出力電流を制限します。継続的な短絡に対するヒップ モードも組み込まれます。

ハイサイド スイッチ電流は、設定されたブランディング時間 ( $t_{ON\_MIN}$ ) 後にオンになるときに検出されます。ハイサイド スイッチのピーク電流はピーク電流レッショルド  $I_{HS\_LIMIT}$  によって制限されます。ローサイド スイッチを通過する電流も検出されて監視されます。ローサイド スイッチがオンになると、インダクタ電流は減少し始めます。

デバイスが過負荷になると、次のクロック サイクルの前にインダクタ電流の谷が  $I_{LS\_LIMIT}$  を下回ることができない点に達し、インダクタ電流がバレー電流レッショルド  $I_{LS\_LIMIT}$  を下回るまでローサイド スイッチはオンのままになります。その後ローサイド スイッチがオフになり、デッド タイム経過後にハイサイド スイッチがオンになります。この動作が発生するとバレー電流制限御がそのサイクルをスキップし、スイッチング周波数が低下します。さらに過負荷になると、スイッチング周波数は低下し続けますが、出力電圧は安定化された状態を保持します。過負荷が大きくなると、ハイサイド電流制限  $I_{HS\_LIMIT}$  に達するまで、インダクタの電流リップルとピーク電流の両方が増加します。この制限が始動するとスイッチ デューティー サイクルが低下し、出力電圧が安定化範囲外になる可能性があります。この動作はコンバータからの最大出力電流を表し、おおよそ 式 12 で得られます。出力電流とスイッチング周波数はデバイスが過負荷になるほど低下しますが、出力電流は約  $I_{OMAX}$  を維持します。別の状況として、インダクタのリップル電流が大きい場合、ローサイド制限に達する前にハイサイド電流制限が始動する可能性があります。この場合、式 13 から最大出力電流の概算値が得られます。

$$I_{OMAX} \approx \frac{I_{HS\_LIMIT} + I_{LS\_LIMIT}}{2} \quad (12)$$

$$I_{OMAX} \approx I_{HS\_LIMIT} - \frac{(V_{IN} - V_{OUT})}{2 \times L \times f_{SW}} \times \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \quad (13)$$

さらに、極端な過負荷または短絡により FB 電圧が  $V_{UVP}$  レッショルド、 $V_{REF}$  の 65% を下回り、電流制限がトリガされ、ヒップ オン時間 (標準 256μs) より長くこの状態が発生した場合、コンバータはヒップ モードに移行します。このモードでは、デバイスはヒップ オフ時間  $10.5 \times t_{SS}$  のスイッチングを停止してから、ソフトスタート時間によって通常の再起動に移行します。過負荷または短絡状態が続く場合、本デバイスは電流制限内で動作した後、再びシャットダウンします。過負荷または短絡状態が持続する限り、このサイクルが繰り返されます。この動作モードでは、出力で継続的な過負荷または短絡状態におけるデバイスの温度上昇を低減します。出力の短絡が解消されると、出力電圧は通常は安定した値に復帰します。

FCCM バージョンでは、インダクタ電流は負方向に流れことがあります。この電流が LS の負の電流制限  $I_{LS\_NEG}$  を超えると LS スイッチはオフになり、HS スイッチは直ちにオンになります。この機能は LS スイッチを過剰な負電流から保護するために使用されます。

### 6.3.14 サーマルシャットダウン

本デバイスの接合部温度  $T_J$  は内蔵の温度センサによって監視されています。 $T_J$  が 165°C (標準値) を超えると、デバイスはサーマルシャットダウンに移行し、ハイサイドとローサイドの両方のパワー FET がオフになります。 $T_J$  がヒステリシス量の 30°C (標準値) を下回ると、コンバータはソフトスタートを発端に、通常動作に復帰します。

## 6.4 デバイスの機能モード

### 6.4.1 モードの概要

TPSM843321 では、負荷の変化に応じて CCM、DCM、PFM、FCCM モード間を移行します。負荷電流に応じて、TPSM843321 は次のいずれかのモードになります：

- 連続導通モード (CCM)。負荷電流がピークツーピーク インダクタリップルの 1/2 より大きくなったときの、固定スイッチング周波数のモード
- 不連続導通モード (DCM)。CCM 動作で負荷電流がピークツーピーク インダクタリップル電流の 1/2 より小さくなつたときの、固定スイッチング周波数を使用するモード

- パルス周波数変調モード (PFM)。非常に軽い負荷でスイッチング周波数が低下したときのモード
- 強制連続導通モード (FCCM)。非常に軽い負荷でも固定スイッチング周波数を使用するモード

#### 6.4.2 重負荷動作

負荷電流がピークツーピークのインダクタ電流の  $1/2$  より大きい場合、TPSM843321 は連続導通モード (CCM) で動作します。CCM 動作では、一定の周波数でスイッチングし、デューティサイクルを変調して負荷への電力を制御することにより、出力電圧を安定化します。出力電圧を安定化することで、優れたラインおよびロードレギュレーションと最小出力電圧リップルが得られ、TPSM843321 から最大連続電流出力 3A を供給できます。

#### 6.4.3 パルス周波数変調

TPSM843321 は、MODE ピンが PFM モードに設定されているときは、軽負荷時の効率を向上させるため、軽負荷電流でパルス周波数変調 (PFM) モードで動作するよう設計されています。

負荷電流が CCM のピークツーピーク インダクタ電流の  $1/2$  未満の場合、本デバイスは不連続導通モード (DCM) で動作します。DCM 動作時は、インダクタ電流が  $I_{LS\_ZC}$  まで低下すると、効率を向上させるためにローサイドスイッチがオフになります。DCM 時は、軽負荷時の強制 CCM 動作に比べて、スイッチング損失も導通損失も減少します。

電流負荷がさらに軽くなると、パルス周波数変調モード (PFM) が作動して、高効率動作を維持します。最小ハイサイドスイッチのオン時間  $t_{ON\_MIN}$ 、または最小ピークインダクタ電流  $I_{PEAK\_MIN}$  のいずれかが経過すると、スイッチング周波数が低下して、安定が維持されます。PFM モードでは、負荷電流が減少したときに出力電圧の安定を維持するために、制御ループによってスイッチング周波数が低下します。PFM 動作中は、スイッチング動作の頻度が低下するため、スイッチング損失がさらに減少します。内蔵の電流コンパレータはピークインダクタ電流のみを捕捉するため、PFM モードに入ると、平均負荷電流は、アプリケーションおよび外部出力 LC フィルタによって異なります。

PFM モードでは、1 つ以上のパルスがバーストすると下限側 MOSFET がオンになり、負荷にエネルギーを供給します。バースト期間は、帰還電流が  $V_{REF}$  に達するまでに要する時間に依存します。これらのバーストの周期性は出力を安定化するように調整され、ゼロ交差電流が検出されるとローサイド MOSFET がオフになって効率が最大化されます。このモードでは、少しの負荷で出力電圧を制御するために必要な入力消費電流の総量を削減することにより、軽負荷の効率を高めることができます。

#### 6.4.4 強制連続導通変調

TPSM843321 が軽負荷時に FCCM で動作するように構成されている場合は、負荷範囲全体にわたってスイッチング周波数が一定に保たれます。これは軽負荷時の効率低下を犠牲にしてもスイッチング周波数と出力電圧リップルの厳密な制御が必要なアプリケーションでの優れた選択です。一部のオーディオアプリケーションでは、このモードは、周波数が可聴範囲まで低下して何らかの「ノイズ」が発生するのを防止するのに有効です。

#### 6.4.5 ドロップアウト動作

降圧コンバータのドロップアウト性能は、パワー MOSFET の  $R_{DS(on)}$ 、インダクタの DC 抵抗、コントローラが実現できる最大デューティサイクルの影響を受けます。入力電圧レベルが出力電圧に近づくと、ハイサイド MOSFET のオフ時間が最小値に近づき始めます。このポイントを超えると、スイッチング周波数が不安定になり、出力電圧が安定化範囲外になる可能性があります。この問題を回避するため、TPSM843321 は自動的にスイッチング周波数を下げて（オン時間延長機能）実効デューティサイクルを増やし、スイッチング周波数が最小制限値に達するまで安定化状態を維持します。

#### 6.4.6 最小オン時間動作

すべてのスイッチングコンバータには、制御回路に関連する固有の遅延とブランディング時間によって決まる、制御可能な最小オン時間があり、これにより、スイッチのデューティサイクルが最小になり、変換比も最小になります。この制約は、入力電圧が高く出力電圧が低いときに発生します。制御可能な最小デューティサイクルを延長できるように、TPSM843321 は最小オン時間制限に達するとスイッチング周波数を自動的に低下させます。このようにして、コンバータは、最大入力電圧におけるプログラム可能な最小出力電圧を安定化できます。式 14 を使用して、与えられた出力電圧に対して、周波数フォールドバックが発生する前の入力電圧の概略推定値を探します。 $t_{ON\_MIN}$  および  $f_{SW}$  の値は セクション 5.5 に記載されています。

$$V_{IN} \leq \frac{V_{OUT}}{t_{ON\_MIN} \times f_{SW}} \quad (14)$$

入力電圧が高くなると、出力電圧を安定化するためにスイッチ オン時間 (デューティ サイクル) が短くなります。オン時間が最小オン時間に達すると、スイッチング周波数  $t_{ON\_MIN}$  は低下しますが、オン時間は固定されたままです。

#### 6.4.7 シャットダウン・モード

EN ピンは、本デバイスの電気的オン/オフ制御に使用できます。 $V_{EN}$  が 1.15V を下回ると、TPSM843321 はシャットダウン モードになります。本デバイスは VIN UVLO 保護も採用しています。 $V_{IN}$  電圧が UVLO レベルを下回ると、コンバータはオフになります。

## 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、テキサス・インスツルメンツの製品仕様に含まれるものではなく、テキサス・インスツルメンツはその正確性も完全性も保証いたしません。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。また、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

TPSM843321 デバイスは通常、5V ~ 18V の入力電圧を 5V の出力電圧に変換するための降圧モジュールとして使用されます。

### 7.2 代表的なアプリケーション

次の図のアプリケーション回路図は、デバイスの要件を満たすように開発されたものです。この回路は、TPSM843321EVM 評価基板の形で入手できます。このセクションでは、設計手順について説明しています。

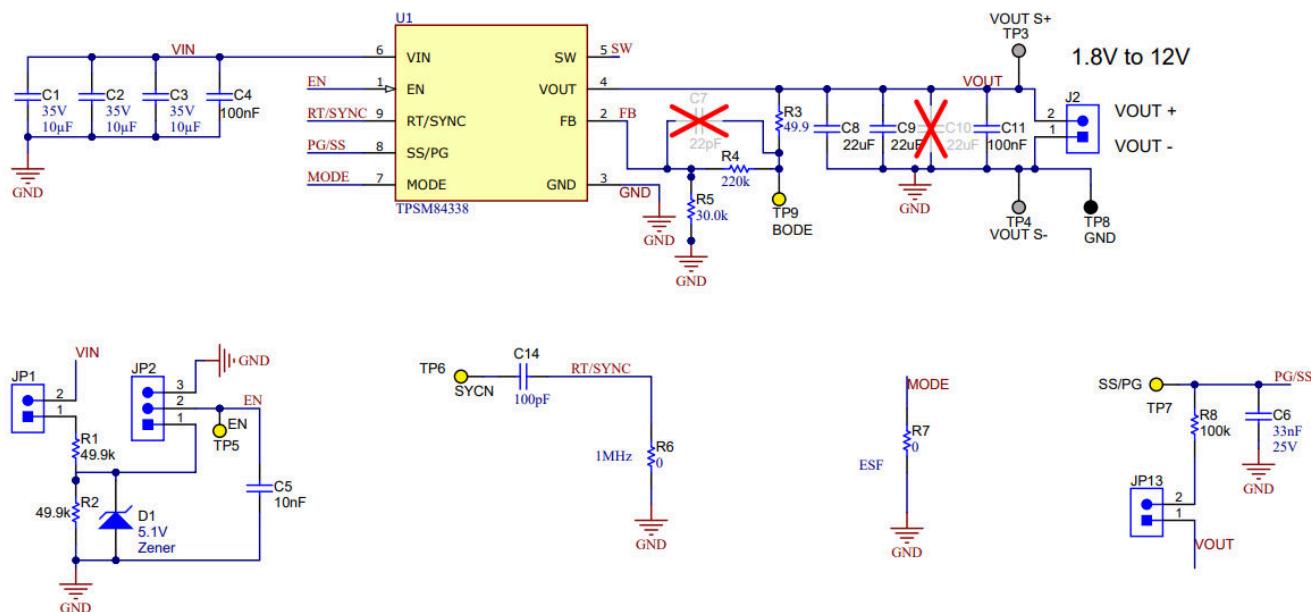


図 7-1. TPSM843321 5V 出力、3A、リファレンス デザイン

### 7.2.1 設計要件

以下の表は、このアプリケーションの設計パラメータを表示しています。

**表 7-1. 設計パラメータ**

パラメータ	条件	最小値	標準値	最大値	単位
$V_{IN}$	入力電圧		5.5	12	V
$V_{OUT}$	出力電圧			5	V
$I_{OUT}$	出力電流定格			3	A
$V_{IN(ripple)}$	入力リップル電圧		400		mV
$V_{OUT(ripple)}$	出力リップル電圧		30		mV
$F_{SW}$	スイッチング周波数	RT = フローティング	1000		kHz
$t_{SS}$	ソフトスタート時間	$C_{SS} = 33nF$		3.6	ms
$T_A$	周囲温度			25	°C

### 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

WEBENCH® Power Designer により、TPSM843321 を使用するカスタム設計を作成します。

- 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。
- 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。
- 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](http://www.ti.com/ja-jp/WEBENCH) でご覧になれます。

#### 7.2.2.2 出力電圧抵抗の選択

出力電圧は、出力ノードと FB ピンとの間の抵抗分圧回路によって設定されます。公差 1% 以内の分圧抵抗を使用することを推奨します。図 7-1 の適用手法を参照して、 $R_5$  を  $30k\Omega$  から始め、式 15 を使用して  $R_4 = 220k\Omega$  を計算します。軽負荷時の効率を向上させるには、より大きな値の抵抗の使用を検討します。値が大きすぎると、コンバータがノイズの影響を受けやすくなり、FB 入力リーク電流からの電圧誤差が目立つようになります。

$$R_4 = \frac{V_{OUT} - V_{REF}}{V_{REF}} \times R_5 \quad (15)$$

#### 7.2.2.3 スイッチング周波数の選択

スイッチング周波数の選択は、変換効率と設計全体のサイズとのトレードオフとなります。スイッチング周波数を高くすると、より小型のインダクタや出力コンデンサを使用できるようになるため、よりコンパクトな設計が可能となります。ただし、スイッチング周波数を低くするとスイッチング損失が減少し、通常はシステム効率が向上するため、この例では  $R_6$  に  $0\Omega$  を使用して  $1000kHz$  のスイッチング周波数にしました。

スイッチング周波数は、「セクション 6.3.10」で説明しているように、以下の要因によって制限されることにも注意してください：

- 内蔵パワー スイッチの最小オン時間

- 入力電圧
- 出力電圧
- 周波数シフトの制約

#### 7.2.2.4 ソフトスタート コンデンサの選択

大きな  $C_{SS}$  は、大きな容量性負荷を駆動するときの突入電流を低減することができます。ソフトスタート時間  $t_{SS}$  を約 4ms に設定するために  $C_6$  を 33nF としています。

#### 7.2.2.5 出力コンデンサの選択

このデバイスは、さまざまな LC フィルタと組み合わせて使用できるよう設計されており、コストとサイズを削減するため、可能な限り小さな出力容量を使用することが求められます。出力容量は次の仕様に直接影響するため、出力容量  $C_{OUT}$  は注意して選択します：

- 定常状態の出力電圧リップル
- ループ安定性
- 負荷電流過渡時の出力電圧のオーバーシュートとアンダーシュート

出力リップルは基本的に 2 つの部分で構成されます。1 つは、出力コンデンサの等価直列抵抗 (ESR) を流れるインダクタリップル電流に起因する成分です。

$$\Delta V_{OUT\_ESR} = \Delta I_L \times ESR = K \times I_{OUT} \times ESR \quad (16)$$

もう 1 つは、出力コンデンサを充電および放電するインダクタリップル電流に起因する成分です。

$$\Delta V_{OUT\_C} = \frac{\Delta I_L}{8 \times f_{SW} \times C_{OUT}} = \frac{K \times I_{OUT}}{8 \times f_{SW} \times C_{OUT}} \quad (17)$$

ここで、

$K$  = インダクタ電流のリップル比 ( $\Delta I_L / I_{OUT\_MAX}$ ) です。

電圧リップルの 2 つの成分は位相がずれているため、実際のピーク ツー ピークリップルは 2 つのピークの合計よりも小さくなります。

通常、大きな電流ステップや高速スルーレートといった厳しい電圧レギュレーションが必要とされるシステムでは、出力コンデンサは出力電圧リップルではなく、負荷過渡要件によって制限されます。大きな負荷ステップが発生すると、出力コンデンサは、インダクタ電流が適切なレベルに増加できるまで必要な電荷を供給します。コンバータの制御ループは、インダクタ電流を新しい負荷レベルに等しく調整するため、通常は 8 クロック サイクル以上にする必要があります。出力容量は、8 クロック サイクルの電流差分を供給し、指定した範囲内の出力電圧を一定に保持するのに十分な大きさが必要です。式 18 に、指定の  $V_{OUT}$  オーバーシュートおよびアンダーシュートに必要な最小出力容量を示します。

$$C_{OUT} > \frac{1}{2} \times \frac{\Delta I_{OUT}}{\Delta V_{OUT\_SHOOT}} \left( \frac{6}{f_{SW}} - \frac{1}{SR \Delta I_{OUT}} \right) \quad (18)$$

ここで、

- $D$  は  $V_{OUT}/V_{IN}$ 、定常状態のデューティ サイクルです。
- $\Delta V_{OUT\_SHOOT}$  は出力電圧の変化です。
- $\Delta I_{OUT}$  は出力電流の変化です。
- $SR_{\Delta I_{OUT}}$  は出力電流変化のスルーレートです

この設計例では、目標出力リップルは 30mV です。 $\Delta V_{OUT\_ESR} = \Delta V_{OUT\_C} = 30mV$  と仮定し、 $K = 0.6$  を使用しています。式 16 では最大 16.7mΩ の ESR が発生し、式 17 では 7.5μF 以上の  $C_{OUT}$  が発生します。この設計のオーバーシュートおよびアンダーシュート制限では、出力電流ステップが  $\Delta I_{OUT} = 2.4A$ 、 $SR_{\Delta I_{OUT}} = 0.8A/\mu s$  の場合、 $\Delta V_{OUT\_SHOOT} < 5\% \times V_{OUT} = 250mV$  となります。 $C_{OUT}$  は、式 18 によって 38μF 以上になるように計算されます。要約すると、出力コンデンサに対する最も厳格な条件は 22.8μF です。セラミック コンデンサに DC バイアス ディレーティングがあることを考

慮すると、1206 のケース サイズで  $2 \times 22\mu\text{F}$ 、35V のセラミック コンデンサ C3216X5R1V226M160AC のバンクを使用して、入力コンデンサを実現できます。

負荷過渡応答を向上させるためには、より大きなコンデンサ値を使用できます。セラミック コンデンサは、最小 ESR 要件を簡単に満たすことができます。場合によっては、セラミックと並列にアルミ電解コンデンサを配置して、必要な容量値を得ることができます。アルミニウムコンデンサとセラミックコンデンサを混合して使用する場合は、セラミックの最小推奨値を使用し、必要に応じてアルミニウム電解コンデンサを追加してください。

実際には、過渡応答とループ位相マージンに最も影響を与えるのは出力コンデンサです。負荷過渡テストおよびボード線図は、特定の設計を検証する最善の方法であり、アプリケーションを量産に移行する前に必ず完了する必要があります。必要な出力容量に加えて、出力に小さなセラミック コンデンサを配置すると、高周波ノイズを低減するのに役立ちます。小さいケース サイズで  $1\text{nF} \sim 100\text{nF}$  の範囲のセラミック コンデンサは、インダクタや基板の寄生成分に起因する出力のスパイクを低減するのに役立ちます。

#### 7.2.2.6 入力コンデンサの選択

TPSM843321 デバイスには入力デカップリング コンデンサが必要で、アプリケーションによってはバルク入力コンデンサも必要になります。デカップリング コンデンサの一般的な推奨値は  $10\mu\text{F}$  です。テキサス・インスツルメンツでは、高周波フィルタリングを行うために VIN ピンとグランドの間に  $0.1\mu\text{F}$  コンデンサを追加するよう推奨しています。

セラミック コンデンサの値は、温度およびコンデンサに印加される DC バイアスの大きさによって大きく変化します。X5R および X7R セラミック誘電体は容量/体積比が大きく、温度に対してかなり安定しているため、テキサス・インスツルメンツでは X5R および X7R セラミック誘電体を推奨しています。また、このコンデンサは DC バイアスも考慮して選択する必要があります。DC バイアスが増加すると実効静電容量値は減少します。

コンデンサの電圧定格は、最大入力電圧よりも大きい必要があります。コンデンサのリップル電流定格を最大入力電流リップルよりも大きくする必要があります。次の式を使用して、入力リップル電流を計算します。

$$I_{CIN\_RMS} = I_{OUT} \times \sqrt{\frac{V_{OUT}}{V_{IN\_MIN}} \times \frac{V_{IN\_MIN} - V_{OUT}}{V_{IN\_MIN}}} \quad (19)$$

次の式を使用して、入力電圧リップルを計算します。

$$\Delta V_{IN} = \frac{I_{OUT\_MAX} \times 0.25}{f_{SW} \times C_{IN}} + \left( I_{OUT\_MAX} \times R_{ESR\_MAX} \right) \quad (20)$$

ここで、

$R_{ESR\_MAX}$  は入力コンデンサの最大直列抵抗で、並列に接続した 3 個のコンデンサの約  $1\text{m}\Omega$  です。

#### 7.2.2.7 フィードフォワード コンデンサ $C_{FF}$ の選択

場合によっては、 $R_{FBT}$  の両端にフィードフォワード コンデンサを接続して、負荷過渡応答やループ位相マージンを改善できます。この方法は  $100\text{k}\Omega$  より大きい  $R_{FBT}$  を使用する場合に特に有効です。 $R_{FBT}$  の値が大きいと、FB ピンの寄生容量との組み合わせにより、小さな信号極が形成されてループの安定性に影響を与える可能性があります。 $C_{FF}$  はこの影響を緩和するのに役立ちます。より小さい値の  $C_{FF}$  コンデンサを使って利点が得られるかどうかを判定します。

『[内部的に補正される、フィードフォワード コンデンサを持つ DC/DC コンバータの過渡応答の最適化](#)』アプリケーション ノートは、フィードフォワード コンデンサの実験に役立ちます。

この設計例では、負荷過渡性能を向上させるために  $22\text{pF}$  のコンデンサ C7 を実装できます。

#### 7.2.2.8 最大周囲温度

他の電力変換デバイスと同様に、TPSM843321 は動作中に内部で電力を消費します。この消費電力の影響により、コンバータの内部温度が周囲温度よりも高くなります。内部のダイ温度 ( $T_J$ ) は、以下の関数になります。

- 周囲温度
- 電力損失

- デバイスの実効熱抵抗  $R_{\theta JA}$
- PCB の組み合わせ

最大内部ダイ温度は、150°C に制限する必要があります。この制限により、デバイスの最大消費電力が制限され、それに伴って負荷電流も制限されます。[式 21](#) に、重要なパラメータ間の関係を示します。周囲温度 ( $T_A$ ) が高いほど、また、 $R_{\theta JA}$  が大きいほど、利用可能な最大出力電流が低減されます。コンバータの効率は、このデータシートに示す曲線を使用して推定できます。これらの曲線にはインダクタ内の電力損失が含まれていることに注意してください。いずれかの曲線に目的の動作条件が見つからない場合は、補間によって効率を推定できます。または、目的のアプリケーション要件に合わせて EVM を調整し、効率を直接測定することもできます。 $R_{\theta JA}$  の正確な値を推定するのは、より困難です。[『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](#)で述べているように、「[熱に関する情報](#)」に記載されている  $R_{\theta JA}$  の値は設計目的には有効ではなく、アプリケーションの熱性能の推定に使用してはなりません。この表に報告されている値は、実際のアプリケーションではめったに見られない特定の一連の条件で測定されたものです。 $R_{\theta JC(bott)}$  and  $\Psi_{JT}$  のデータは、放熱性能を判断する際に役立ちます。詳細とリソースについては、このセクションの最後にある[『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。

$$I_{OUT\_MAX} = \frac{(T_J - T_A)}{R_{\theta JA}} \times \frac{\eta}{1 - \eta} \times \frac{1}{V_{OUT}} \quad (21)$$

ここで、

$\eta$  (イータ) は効率です。

実効  $R_{\theta JA}$  は重要なパラメータであり、以下のような多くの要因に依存します。

- 消費電力
- 空気温度とフロー
- PCB 面積
- 銅箔ヒートシンク面積
- パッケージの下にあるサーマル リビアの数
- 隣接する部品の配置

### 7.2.3 アプリケーション曲線

$V_{IN} = 12V$ ,  $V_{OUT} = 5V$ ,  $C_{OUT} = 44\mu F$ ,  $T_A = 25^\circ C$  (特に記述のない限り)

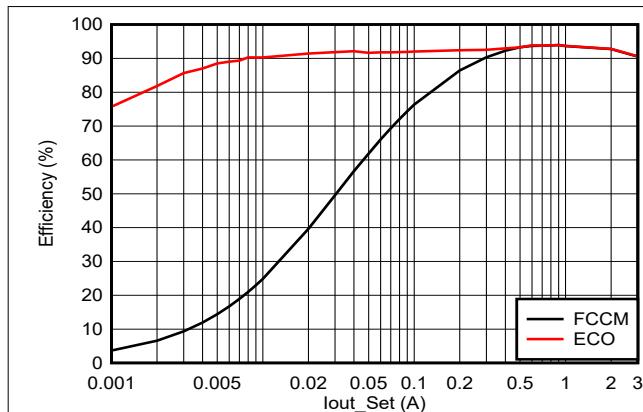


図 7-2. 効率 (FCCM)

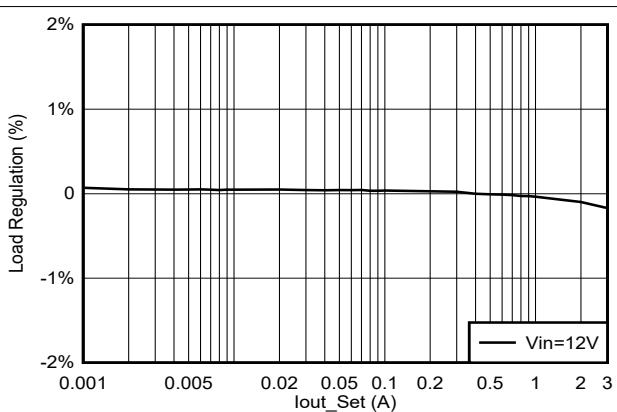


図 7-3. ロード レギュレーション (ECO)

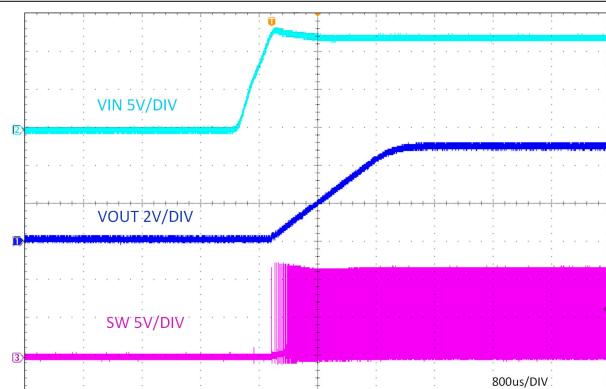


図 7-4. スタート アップ ( $V_{IN}$ 、 $I_{OUT} = 3A$  に対して)

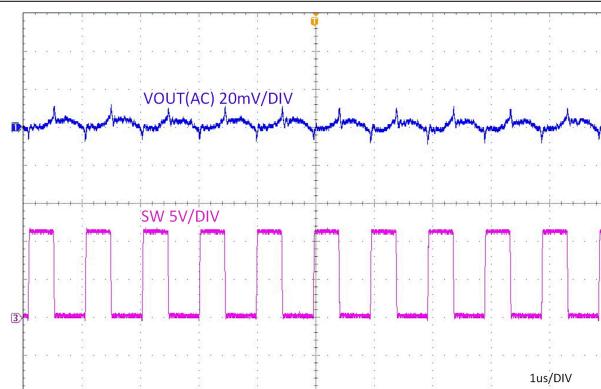


図 7-5. 定常状態、 $I_{OUT} = 3A$

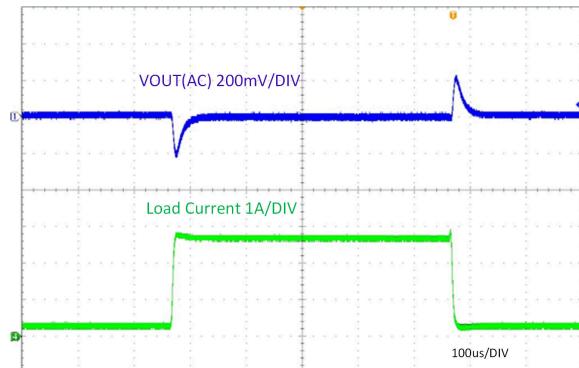


図 7-6. 負荷過渡応答、 $0.3 \sim 2.7A$ 、スルーレート =  $0.8A/\mu S$

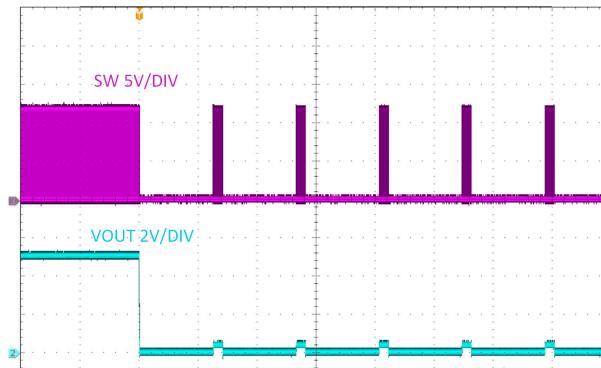


図 7-7.  $V_{OUT}$  ハード短絡保護

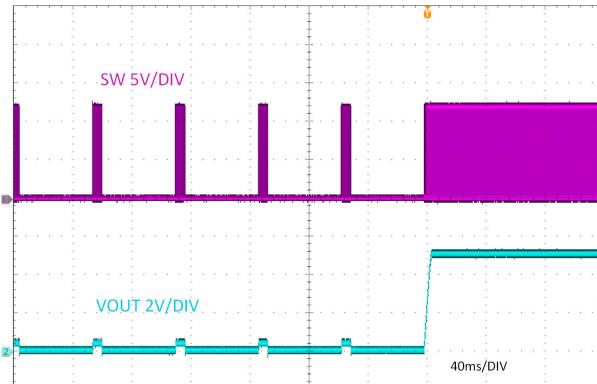


図 7-8.  $V_{OUT}$  ハード短絡回復

### 7.3 設計のベスト プラクティス

- 絶対最大定格を超過してはなりません。
- 推奨動作条件を超過してはなりません。
- ESD 定格を超過してはなりません。
- SS ピンをフローティングにしないでください。
- 出力電圧が入力電圧を超えないように、またグランドを下回らないようにしてください。
- 「熱に関する情報」の表に記載されている  $R_{\theta JA}$  の値をアプリケーションの設計に使用しないでください。セクション 7.2.2.8 を参照してください。
- 設計を量産用に確定する前に、このデータシートに記載されているすべてのガイドラインと推奨事項に従ってください。テキサス・インスツルメンツのアプリケーションエンジニアが、設計および PCB レイアウトの評価をサポートして、プロジェクトの成功を支援します。
- 100nF のコンデンサを使用して、デバイスの VIN および GND ピンに直接接続します。詳しくは、セクション 7.2.2.6 を参照してください。

### 7.4 電源に関する推奨事項

本デバイスは、3.8V ~ 18V の入力電源電圧範囲で動作するように設計されています。この入力電源は適切に安定化され、このデータシートの仕様に記載されている制限と互換性がある必要があります。また、入力電源は、負荷時のコンバ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、式 22 を使って見積もることができます。

$$I_{IN} = \frac{V_{OUT} \times I_{OUT}}{V_{IN} \times \eta} \quad (22)$$

ここで、

$\eta$  (イータ) は効率です。

コンバ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、コンバ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、コンバ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、この低下によってコンバータが瞬間にシャットダウンし、リセットされる可能性があります。この種の問題を解決する最善策は、入力電源からコンバータまでの距離を短くして、セラミックと並列にアルミニウムまたはチタニウムの入力コンデンサを使用することです。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、20 $\mu$ F ~ 100 $\mu$ F 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。

テキサス・インスツルメンツでは、入力電源が出力電圧を 0.3V 以上下回らないようにすることを推奨しています。このような条件下では、出力コンデンサはハイサイド パワー MOSFET のボディ ダイオードを通して放電されます。結果として生じる電流は予測不能な動作を引き起こし、極端な場合にはデバイスの損傷が発生する可能性があります。アプリケーションでこの可能性が許容される場合は、VIN と VOUT の間にショットキー ダイオードを使用して、コンバータの周囲にこの電流の経路を作ります。

一部の例では、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。このタイプの特性を持つデバイスの使用は推奨しません。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。コンバータの出力電圧よりもこの電圧が低い場合、上述のように、出力キャパシタンスは本デバイスを通して放電されます。

その他のシステムに関する考慮事項として、コンバータの前で入力フィルタが使用されることがあり、慎重に設計しないと、不安定になったり、上述の影響の一部が発生することがあります。[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 コンバ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。

## 7.5 レイアウト

### 7.5.1 レイアウトのガイドライン

DC/DC コンバータの PCB レイアウトは、優れた設計性能を実現するために重要です。PCB レイアウトが不適切な場合、適正な回路図設計の動作の妨げとなる可能性があります。コンバータが適切にレギュレートしている場合でも、PCB レイアウトが不適切では、堅牢な設計と量産できない設計という違いが生じる可能性があります。さらに、コンバータの EMI 性能は、PCB レイアウトに大きく依存します。降圧コンバータにおいて、PCB の最も重要な機能は、入力コンデンサと電源グランドによって形成されるループです。このループには、パターンのインダクタンスに応答して大きな過渡電圧を発生させる可能性がある大きな過渡電流が流れます。これらの望ましくない過渡電圧は、コンバータの正常な動作を妨げます。このことから、このループ内のパターンは広く短くして、ループの面積はできる限り小さくし、寄生インダクタンスを低減する必要があります。

テキサス・インスツルメンツでは、上層および下層が 2 オンスの銅厚で、中間層が 1 オンスの銅厚の 4 層基板を推奨しています。適切なレイアウトにより、低電流伝導インピーダンス、適切なシールド効果、低熱抵抗を実現できます。[図 7-9](#) および [図 7-10](#) に、TPSM843321 の重要な部品の推奨レイアウトを示します。

- 入力コンデンサ、出力コンデンサ、IC は同じ層に配置します。
- 入力コンデンサ、出力コンデンサは IC にできる限り近づけて配置します。VIN および GND のパターンは、パターンインピーダンスを最小限に抑えるために、できるだけ幅広くして十分なビアを確保する必要があります。面積を広くすることには、放熱の観点からも利点があります。
- 0.1 $\mu$ F のセラミック デカップリング コンデンサを VIN および GND ピンにできる限り近づけて配置することが、EMI 低減のために重要となります。
- 放射を最小限に抑えるために、SW のパターンは実用的な範囲でできるだけ短く、幅広くしてください。
- 帰還分圧器は FB ピンのできるだけ近くに配置します。テキサス・インスツルメンツでは、放熱のために 10mil (0.254mm) 幅 (1mil は 1/1000 インチ) を超えるパターンを推奨しています。個別の V<sub>OUT</sub> パスを上側帰還抵抗に接続します。電圧帰還ループは、高電圧のスイッチング パターンから離して配置してください。電圧帰還ループは、できればグランド シールドを使用してください。
- SS コンデンサ抵抗は、最短のパターンで IC の近くに配置します。テキサス・インスツルメンツでは、放熱のために 10mil (0.254mm) 幅 (1mil は 1/1000 インチ) を超えるパターンを推奨しています。

### 7.5.2 レイアウト例

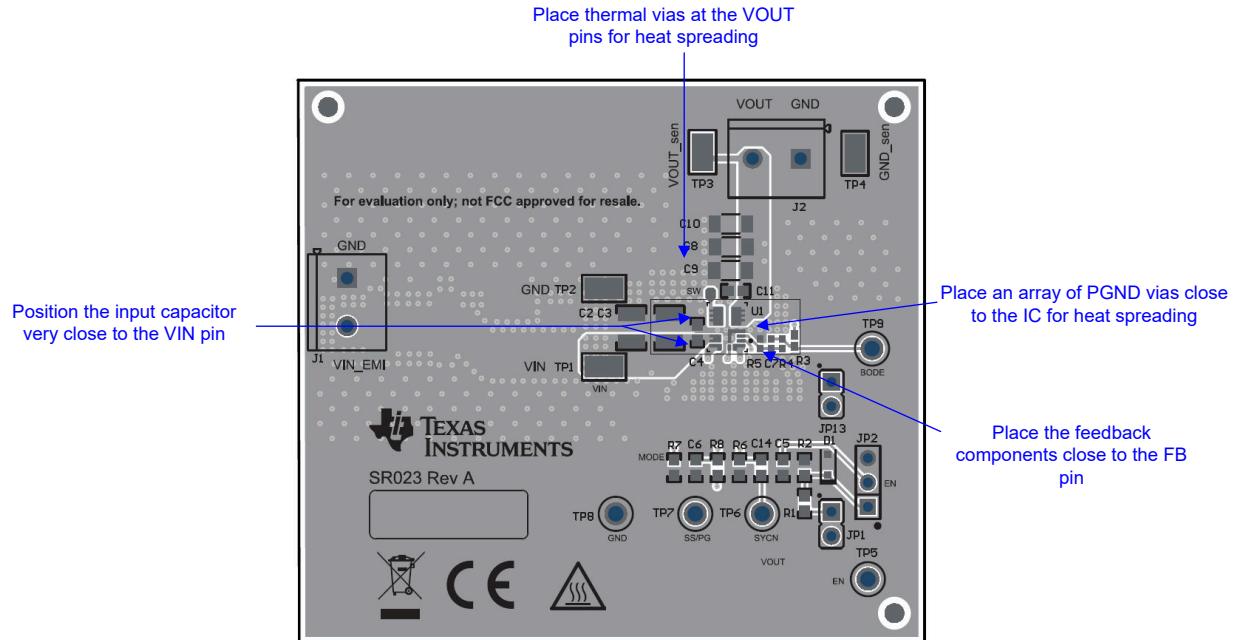


図 7-9. TPSM843321 の上部レイアウト例

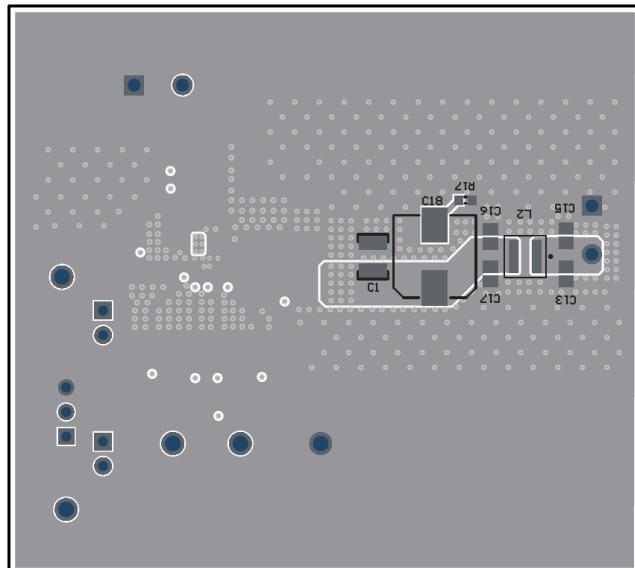


図 7-10. TPSM843321 の底部レイアウト例

## 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 サード・パーティ製品に関する免責事項

サード・パーティ製品またはサービスに関するテキサス・インスツルメンツの出版物は、単独またはテキサス・インスツルメンツの製品、サービスと一緒に提供される場合に関係なく、サード・パーティ製品またはサービスの適合性に関する是認、サード・パーティ製品またはサービスの是認の表明を意味するものではありません。

#### 8.1.2 開発サポート

##### 8.1.2.1 WEBENCH® ツールによるカスタム設計

WEBENCH® Power Designer により、TPSM843321 を使用するカスタム設計を作成します。

- 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。
- 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。
- 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](http://www.ti.com/ja-jp/WEBENCH) でご覧になります。

### 8.2 ドキュメントのサポート

#### 8.2.1 関連資料

関連資料については、以下を参照してください。

- テキサス・インスツルメンツ、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
- テキサス・インスツルメンツ、『フィードフォワード コンデンサ付き内部補正 DC/DC コンバータの過渡応答の最適化』アプリケーション ノート

### 8.3 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](http://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。

### 8.4 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。

### 8.5 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。

## 8.6 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お推奨します。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。

## 8.7 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。

## 9 改訂履歴

日付	改訂	注
March 2025	*	初版

## 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。

## 重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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默示保証、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、明示的または默示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ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 テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](http://ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいづれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

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)
TPSM843321RCJR	Active	Production	null (null)	3000   LARGE T&R	In-Work	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	M843321
TPSM843321RCJR.A	Active	Production	QFN-FCMOD (RCJ)   9	3000   LARGE T&R	In-Work	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	M843321

<sup>(1)</sup> **Status:** For more details on status, see our [product life cycle](#).

<sup>(2)</sup> **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.

<sup>(3)</sup> **RoHS values:** Yes, No, RoHS Exempt. See the [TI RoHS Statement](#) for additional information and value definition.

<sup>(4)</sup> **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.

<sup>(5)</sup> **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.

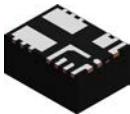
<sup>(6)</sup> **Part marking:** There may be an additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category of the part.

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.

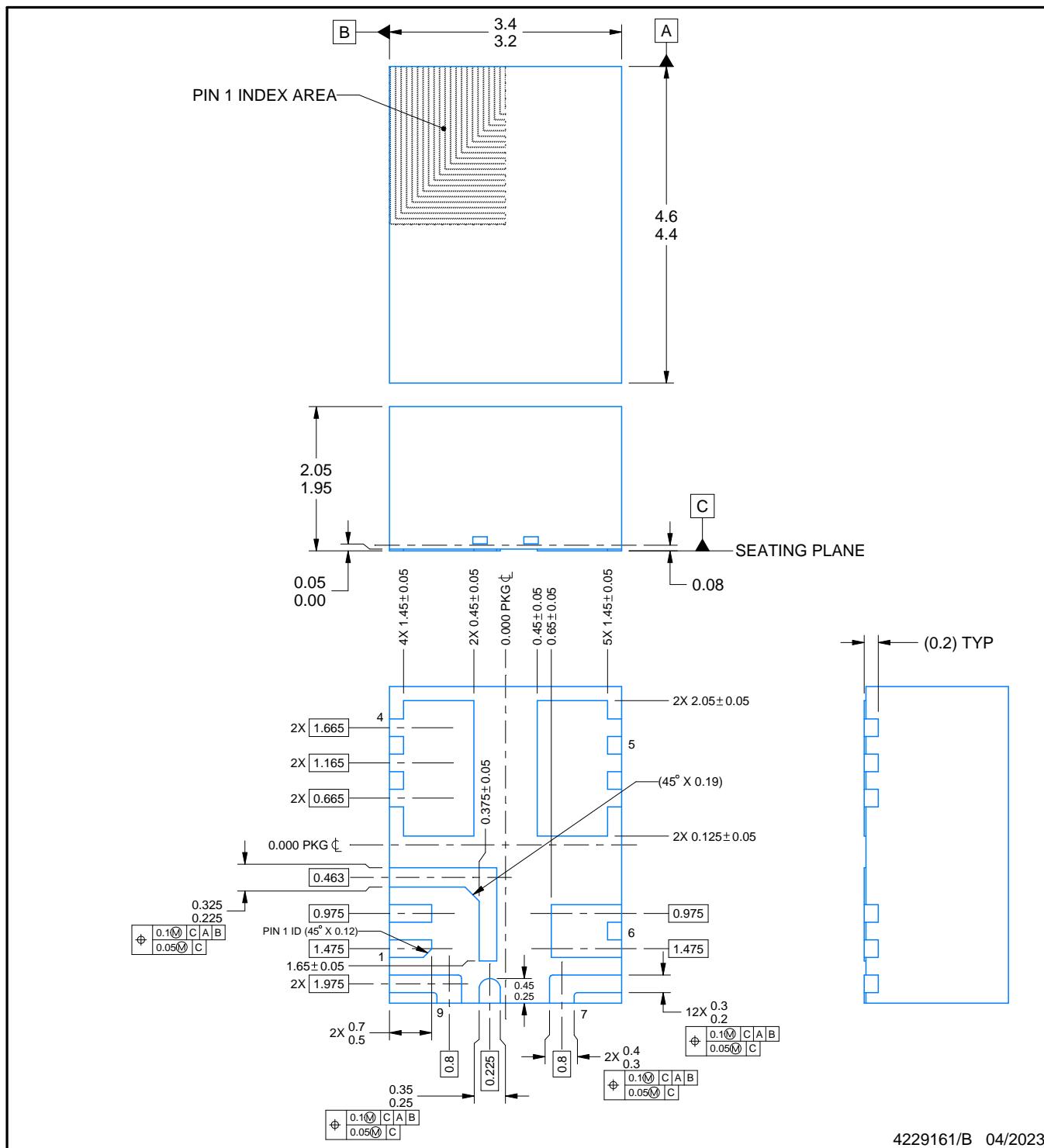
## PACKAGE OUTLINE



**RCJ0009A**

## **QFN-FCMOD - 2.05 mm max height**

**PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD**



4229161/B 04/2023

## NOTES:

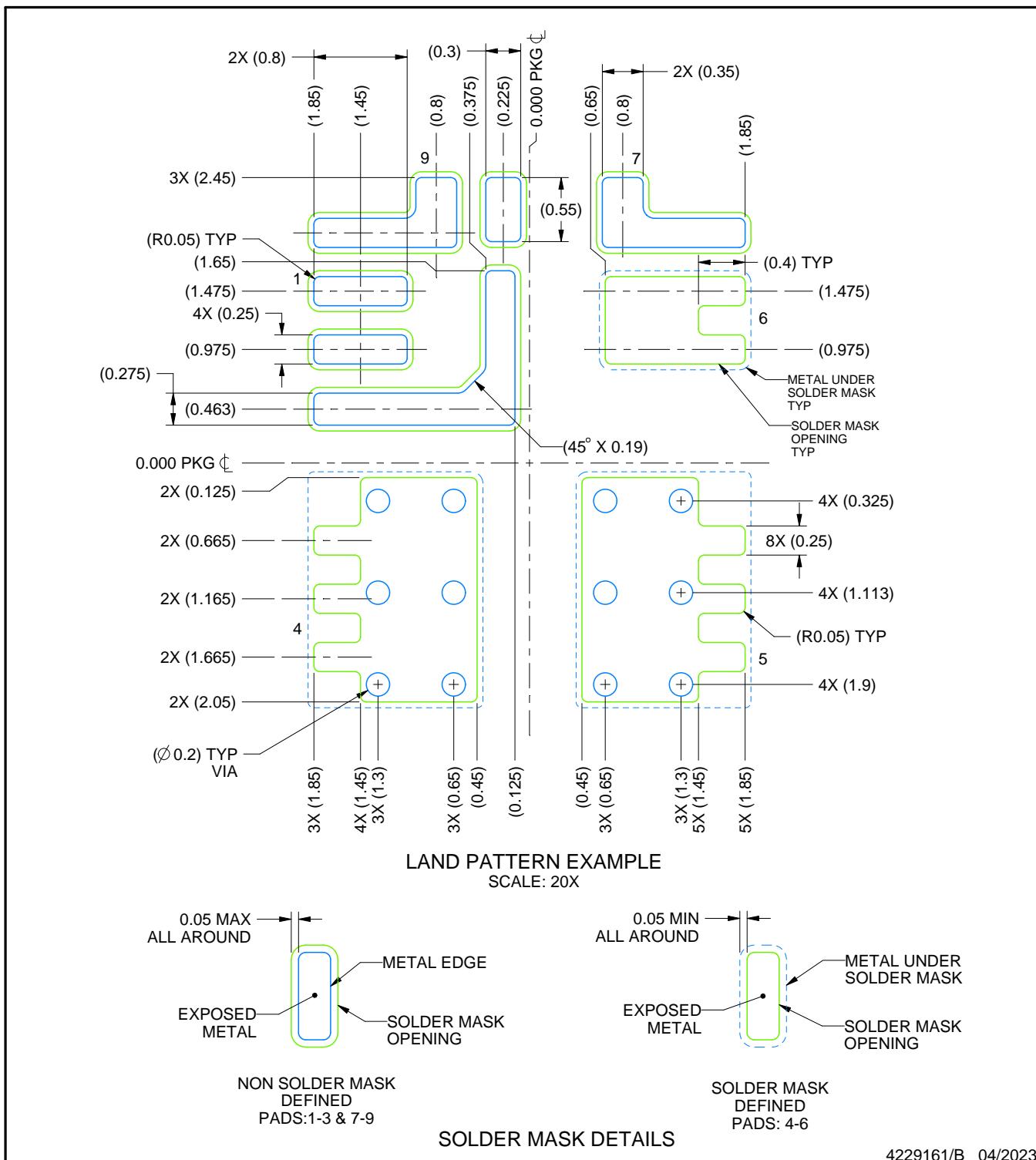
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
  2. This drawing is subject to change without notice.

# EXAMPLE BOARD LAYOUT

RCJ0009A

QFN-FCMOD - 2.05 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD

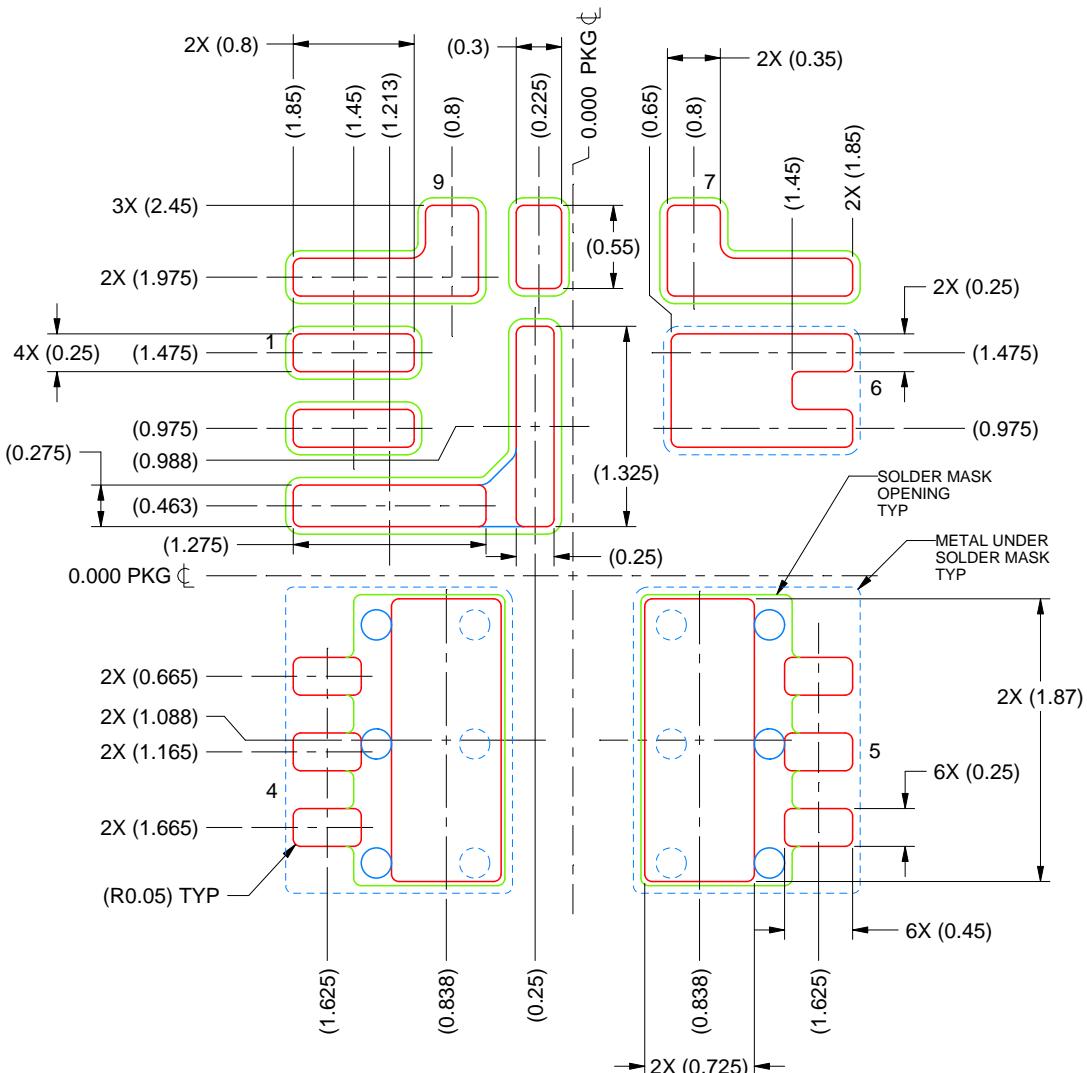


# EXAMPLE STENCIL DESIGN

RCJ0009A

QFN-FCMOD - 2.05 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



**SOLDER PASTE EXAMPLE**  
BASED ON 0.125 mm THICK STENCIL  
SCALE: 20X

PRINTED SOLDER COVERAGE BY AREA UNDER PACKAGE  
PAD 3: 91%  
PADS 4 & 5: 76%

4229161/B 04/2023

NOTES: (continued)

6. Laser cutting apertures with trapezoidal walls and rounded corners may offer better paste release. IPC-7525 may have alternate design recommendations.

## 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默示保証、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、明示的または默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、(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、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 © 2025, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月