

# LM51261A-Q1、広い入力電圧範囲 (VIN)、単相昇圧コントローラ、V<sub>OUT</sub> トラッキングおよびI<sub>C</sub>付き

## 1 特長

- 車載アプリケーション向けに AEC-Q100 認証済み
  - 温度グレード 1:  $T_A = -40^\circ\text{C} \sim +125^\circ\text{C}$
- **機能安全対応**
  - 機能安全システムの設計に役立つ資料を利用可能
- 入力電圧: 4.5V ~ 42V
  - $V_{(\text{BIAS})} \geq 4.5\text{V}$  または  $V_{\text{OUT}} \geq 6\text{V}$  で最低 2.5V
- 出力電圧: 6V ~ 60V
  - 抵抗または I<sub>C</sub> により 1V ステップで調整可能
  - I<sub>C</sub> によりプログラムされる場合スルーレートを調整可能
  - 精度 2%、内部帰還抵抗
  - $V_I > V_{\text{OUT}}$  のときバイパス動作
  - 動的出力電圧追跡
    - デジタル PWM トラッキング (DTRK)
    - アナログ トラッキング (ATRK)
  - 過電圧保護 (64V, 50V, 35V, 28.5V)
- 低シャットダウン  $I_Q: 2\mu\text{A}$
- 小さな動作  $I_Q: 1\text{mA}$
- LM51251A-Q1 を使用した 3 相動作
- スイッチング周波数: 100kHz ~ 2.2MHz
  - 外部クロックへの同期 (SYNCIN)
  - スイッチングモードを動的に選択可能 (FPWM、ダイオード エミュレーション)
  - スペクトラム拡散 (DRSS)
- 8 つのアドレスを選択可能な I<sub>C</sub> インターフェイス
- I<sub>C</sub> のプログラム可能なデッドタイム (14ns ~ 200ns)
- 電流センス抵抗、または DCR センシング
- 平均インダクタ電流モニタ
- 平均入力電流制限
  - プログラム可能な電流制限
  - 選択可能な遅延時間
- nFAULT インジケータ
- プログラム可能な  $V_I$  低電圧誤動作防止 (UVLO)
- ウェッタブル フランク付きリードレス QFN-32 パッケージ可能

## 2 アプリケーション

- ハイエンドオーディオ電源
- 電圧安定化モジュール
- スタートアップ アプリケーション

## 3 説明

LM51261A-Q1 は同期整流昇圧コントローラで、I<sub>C</sub> インターフェイスを搭載しています。このデバイスは、より低い入力電圧または等しい入力電圧に対してレギュレートされた出力電圧を供給し、消費電力を節約するため、 $V_I$  から  $V_{\text{OUT}}$  のバイパスモードにも対応しています。このデバイスは、LM51251A-Q1 と組み合わせてスタック構成することで、3 相動作が可能です。

アナログまたはデジタルの ATRK/DTRK 機能または I<sub>C</sub> プログラミングを使用して  $V_{\text{OUT}}$  を動的にプログラムできます。 $V_{\text{BIAS}}$  が 4.5V 未満のときは内部 VCC 電源が自動的に  $V_{\text{BIAS}}$  から  $V_{\text{OUT}}$  に切り替わるため、スタートアップ後  $V_I$  は最低 2.5V までサポートされます。固定スイッチング周波数は、RT ピンに接続された抵抗または SYNCIN クロックを使用して、100kHz と 2.2MHz の間に設定されます。スイッチングモード、FPWM、またはダイオードエミュレーションは、動作中に変更できます。

実装されている保護機能、ピーク電流制限、平均入力電流制限、平均インダクタ電流のモニタ、過電圧および低電圧保護、およびサーマルシャットダウンにより、デバイスおよびアプリケーションを保護します。

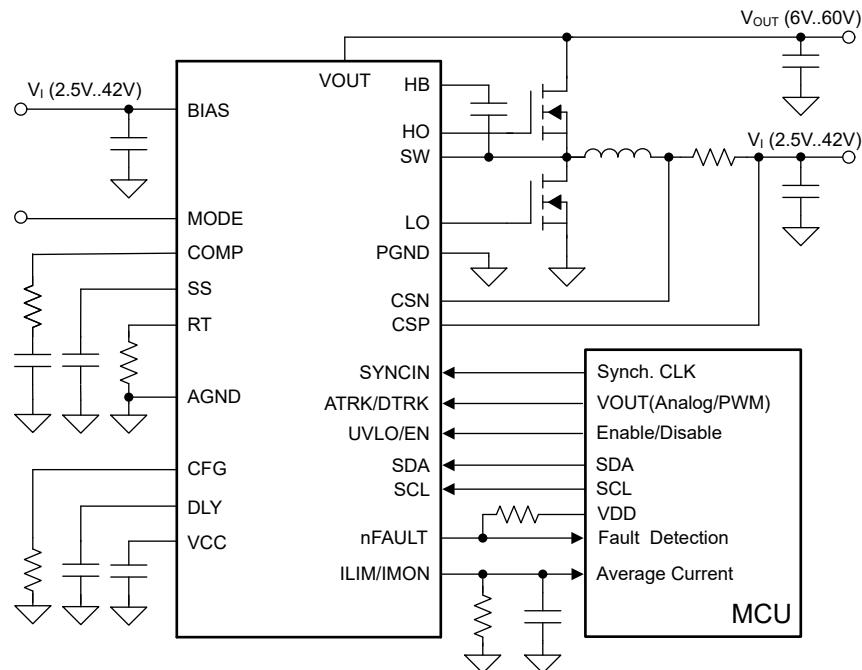
### 製品情報

部品番号	パッケージ <sup>(1)</sup>	本体サイズ(公称)
LM51261A-Q1	32 ピン QFN	5 mm × 5 mm

(1) 詳細については、[メカニカル、パッケージ、および注文情報](#) を参照してください。



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。



の代表的なアプリケーション

## 目次

1 特長.....	1	6.5 プログラミング.....	40
2 アプリケーション.....	1	7 LM51261A-Q1 のレジスタ.....	44
3 説明.....	1	8 アプリケーションと実装.....	54
4 ピン構成および機能.....	4	8.1 アプリケーション情報.....	54
5 仕様.....	6	8.2 代表的なアプリケーション.....	57
5.1 絶対最大定格.....	6	8.3 電源に関する推奨事項.....	71
5.2 ESD 定格.....	6	8.4 レイアウト.....	71
5.3 推奨動作条件.....	7	9 デバイスおよびドキュメントのサポート.....	74
5.4 熱に関する情報.....	7	9.1 ドキュメントのサポート.....	74
5.5 電気的特性.....	7	9.2 ドキュメントの更新通知を受け取る方法.....	74
5.6 タイミング要件.....	13	9.3 サポート・リソース.....	74
5.7 代表的特性.....	15	9.4 商標.....	74
6 詳細説明.....	18	9.5 静電気放電に関する注意事項.....	74
6.1 概要.....	18	9.6 用語集.....	74
6.2 機能ブロック図.....	19	10 改訂履歴.....	74
6.3 機能説明.....	20	11 メカニカル、パッケージ、および注文情報.....	75
6.4 デバイスの機能モード.....	39		

## 4 ピン構成および機能

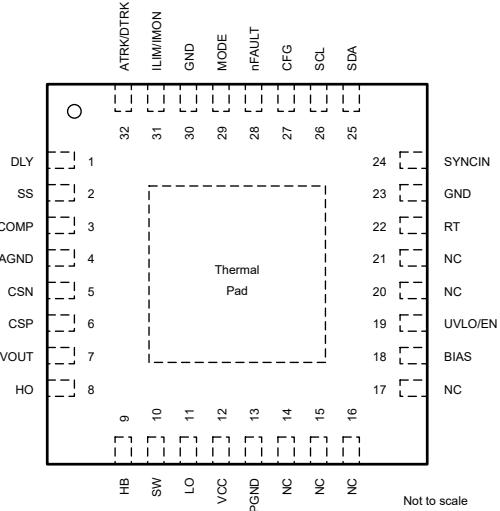


図 4-1. LM51261A-Q1 RHB パッケージ、32 ピン VQFN (上面図)

表 4-1. ピンの機能

ピン		タイプ <sup>(1)</sup>	説明
名称	番号		
AGND	4	G	アナログ グランドピン。広く短いバスを通して、アナログ グランド プレーンに接続します。
ATRK/DTRK	32	I	出力電圧リギュレーションターゲットのプログラミングピン。出力電圧のリギュレーションターゲットは、ピンを抵抗経由で AGND に接続するか、ピンの推奨動作範囲内の電圧 (0.2V ~ 2.0V) で直接ピン電圧を制御することでプログラムします。起動時に 8% ~ 80% のデューティサイクルの範囲のデジタル PWM 信号が自動的に検出され、デジタル出力電圧リギュレーションが有効になります。デジタル出力電圧リギュレーションにより、推奨動作範囲内で V <sub>OUT</sub> をプログラムします。
BIAS	18	P	VCC リギュレータの電源電圧入力。1μF のローカル BIAS コンデンサを、ピンとグランドとの間に接続します。
CFG	27	I/O	デバイス構成ピン。I2C アドレスを設定し、20μA の ATRK 電流を有効にします。
SCL	26	I/O	I2C クロック入力ピン。
SDA	25	I/O	I2C データピン。
COMP	3	O	内部の相互コンダクタンス エラー アンプの出力。ピンと AGND との間にループ補償部品を接続します。
CSN	5	I	電流検出アンプ入力。このピンは負の入力ピンとして動作します。
CSP	6	I	電流検出アンプ入力。このピンは正の入力ピンとして動作します。内部低電圧誤動作防止回路の電源。
DLY	1	O	平均入力電流制限遅延設定ピン。DLY と AGND の間にコンデンサを接続することで、V <sub>IMON</sub> が 1V に達したときから平均入力電流制限が有効になるまでの遅延が設定されます。
EP	-	G	パッケージの露出パッド。露出パッドは、熱抵抗を減らすために、AGND に接続し、大きなグランドプレーンに半田付けます。
GND	23	G	グランドピン。アナログ グランド プレーンに接続します。
GND	30	G	グランドピン。アナログ グランド プレーンに接続します。
HB	9	P	ブートストラップ ゲート駆動のハイサイド ドライバ電源。ブートダイオードは内部で VCC からこのピンに接続されます。このピンと SW との間に 0.1μF コンデンサを接続します。

**表 4-1. ピンの機能 (続き)**

ピン		タイプ <sup>(1)</sup>	説明
名称	番号		
HO	8	O	ハイサイド ゲートドライバ出力。短い低インダクタンスのパスを経由して、ハイサイド N チャネル MOSFET のゲートに接続します。
ILIM/IMON	31	O	入力電流モニタおよび平均入力電流制限設定ピン。差動電流のセンス電圧に比例する電流を供給します。このピンと AGND との間に抵抗を接続します。
LO	11	O	ローサイド ゲートドライバ出力。短い低インダクタンスのパスを経由して、ローサイド N チャネル MOSFET のゲートに接続します。
モード	29	I	DEM または FPWM を選択する動作モード選択ピン。
NC	14	-	非接続ピン。このピンは AGND に接続しますが、フローティングのままでもかまいません。
NC	15	-	非接続ピン。このピンは AGND に接続しますが、フローティングのままでもかまいません。
NC	16	-	非接続ピン。このピンは AGND に接続しますが、フローティングのままでもかまいません。
NC	17	-	非接続ピン。このピンは AGND に接続しますが、フローティングのままでもかまいません。
NC	20	-	非接続ピン。このピンは AGND に接続しますが、フローティングのままでもかまいません。
NC	21	-	非接続ピン。このピンは AGND に接続しますが、フローティングのままでもかまいません。
PGND	13	G	ローサイド ゲートドライバおよび VCC バイアス電源のパワー グラウンド接続ピン。
nFAULT	28	O	オープンドレイン出力段を備えた nFAULT インジケータ。故障状態が発生したとき、nFAULT は Low になります ( <a href="#">セクション 6.3.11</a> を参照)。このピンを使用しない場合、AGND に接続するか、ピンをフローティングのままにしておきます。
RT	22	I/O	スイッチング周波数の設定ピン。スイッチング周波数は、ピンと AGND との間の抵抗によりプログラムされます。スイッチング周波数は動作中に動的にプログラムできます。
SS	2	O	ソフトスタート時間のプログラミングピン。外付けコンデンサと内部の電流ソースにより、ソフトスタート中の内部エラー アンプのリファレンス電圧のランプレートが設定されます。デバイスは、ソフトスタート時間中にダイオード エミュレーションを強制的に実行します。
SW	10	I	スイッチ ノード接続。ハイサイド N チャネル MOSFET のソースに直接接続します。
SYNCIN	24	I	外部クロック同期ピン。フリーランニング内部発振器をオーバーライドする外部クロックの入力。SYNCIN ピン未使用時は、ピンをグラウンドに接続します。
UVLO/EN	19	I	低電圧誤動作防止のプログラム用ピン。このピンを抵抗デバイダを介して電源電圧に接続することで、コンバータのスタートアップおよびシャットダウン レベルをプログラムします。V <sub>UVLO-RISING</sub> より高くなるとデバイスが有効になります。
VCC	12	P	内部 VCC レギュレータの出力と内部 MOSFET ドライバの電源電圧入力。このピンと PGND との間に 4.7μF コンデンサを接続します。
VOUT	7	P	出力電圧検出ピン。内部の帰還抵抗分圧器をピンと AGND との間に接続します。0.1μF のローカル VOUT コンデンサを、ピンとグラウンドとの間に接続します。

(1) I = 入力、O = 出力、I/O = 入力または出力、G = グラウンド、P = 電源。

## 5 仕様

### 5.1 絶対最大定格

接合部の推奨動作温度範囲内 (特に記述のない限り)<sup>(1)</sup>

		最小値	最大値	単位
入力 <sup>(2)</sup>	BIAS から AGND へ	-0.3	50	V
	UVLO/EN から AGND へ	-0.3	BIAS + 0.3	
	CSP から AGND へ	-0.3	50	
	CSP から CSN へ	-0.3	0.3	
	VOUT から AGND へ	-0.3	65	
	HB から AGND へ	-0.3	71	
	HB から SW へ	-0.3	5.8 <sup>(3)</sup>	
	SW から AGND へ	-0.3	65	
	SW から AGND へ (10ns)	-5	65	
	CFG、SCL、SDA、SYNCIN、ATRK/DTRK、DLY、MODE から AGND へ	-0.3	5.5	
出力 <sup>(2)</sup>	RT から AGND へ	-0.3	2.5	V
	PGND から AGND へ	-0.3	0.3	
	VCC から AGND へ	-0.3	5.8 <sup>(3)</sup>	
	HO から SW へ (50ns)	-1	HB + 0.3	
動作時の接合部温度、T <sub>J</sub> <sup>(4)</sup>	LO から AGND へ (50ns)	-1	VCC + 0.3	°C
	nFAULT、SS、COMP、ILIM/IMON から AGND へ	-0.3	5.5	
保管温度、T <sub>STG</sub>		-40	150	
		-55	150	

- (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) 外部電圧を CFG、COMP、SS、RT、LO、HO の各ピンに直接印加することはできません。
- (3) ピンの電圧が 5.5V を超えると、動作寿命が短くなります。
- (4) 接合部温度が高くなると、動作寿命が短くなります。接合部温度が 125°C を超えると、動作寿命が短くなります。

### 5.2 ESD 定格

			値	単位
V <sub>(ESD)</sub>	静電放電	人体モデル (HBM)、AEC Q100-002 準拠 <sup>(1)</sup>	±2000	V
		デバイス帶電モデル (CDM)、AEC Q100-011 準拠	すべてのピン ±500	
			角のピン ±750	

- (1) AEC Q100-002 は、HBM ストレス試験を ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 仕様に従って実施しなければならないと規定しています。

## 5.3 接合部動作条件

接合部の推奨動作温度範囲内 (特に記述のない限り)<sup>(1)</sup>

		最小値	公称値	最大値	単位
V <sub>I</sub>	昇圧コントローラ入力電圧 (バイアス $\geq 4.5V$ または V <sub>OUT</sub> $\geq 6V$ 時)	2.5	42	42	V
V <sub>OUT</sub>	昇圧コントローラ出力電圧	6	60	60	V
V <sub>BIAS</sub>	BIAS 入力電圧	4.5	42	42	V
V <sub>UVLO/EN</sub>	UVLO/EN 入力電圧	0	42	42	V
V <sub>MODE</sub>	MODE 入力電圧	0	5.25	5.25	V
V <sub>CSP、VCSN</sub>	電流検出入力電圧	2.5	42	42	V
V <sub>ATRK</sub>	ATRK 入力電圧	0.2	2	2	V
V <sub>DTRK</sub>	DTRK 入力電圧	0	5.25	5.25	V
V <sub>DLY</sub>	DLY 電圧	0	5.25	5.25	V
V <sub>NFAULT</sub>	nFAULT 電圧	0	5.25	5.25	V
V <sub>ILIM/IMON</sub>	ILIM/IMON 電圧	0	3	3	V
V <sub>SYNCIN</sub>	同期パルス入力電圧	0	5.25	5.25	V
V <sub>SCL、V<sub>SDA</sub></sub>	SCL、SDA 入力電圧	0	5.25	5.25	V
f <sub>SW</sub>	スイッチング周波数範囲	100	2200 <sup>(2)</sup>	2200 <sup>(2)</sup>	kHz
f <sub>SYNCIN</sub>	同期パルス周波数範囲	100	2200 <sup>(2)</sup>	2200 <sup>(2)</sup>	kHz
f <sub>DTRK</sub>	DTRK 周波数範囲	100	2200	2200	kHz
T <sub>J</sub>	動作時の接合部温度	-40	150 <sup>(3)</sup>	150 <sup>(3)</sup>	°C

(1) 動作定格は、デバイスが機能する前提の条件です。仕様およびテスト条件については、「電気的特性」を参照してください。

(2) 最大スイッチング周波数は、R<sub>RT</sub>によってプログラムされます。このデバイスは、最大 2200kHz のスイッチングをサポートします。

(3) 接合部温度が高くなると、動作寿命が短くなります。接合部温度が 125°Cを超えると、動作寿命が短くなります。

## 5.4 熱に関する情報

熱評価基準 <sup>(1)</sup>		LM51261A-Q1	単位
		RHB (VQFN)	
		32 ピン	
R <sub>qJA</sub>	接合部から周囲への熱抵抗	33.9	°C/W
R <sub>qJC(top)</sub>	接合部からケース (上面) への熱抵抗	24.8	°C/W
R <sub>qJB</sub>	接合部から基板への熱抵抗	14.1	°C/W
γ <sub>JT</sub>	接合部から上面への特性パラメータ	0.4	°C/W
γ <sub>JB</sub>	接合部から基板への特性パラメータ	14.0	°C/W
R <sub>qJC(bot)</sub>	接合部からケース (底面) への熱抵抗	4.3	°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。

## 5.5 電気的特性

代表値は T<sub>J</sub> = 25°C に対応します。最小および最大の制限値は、T<sub>J</sub> = -40°C ~ 150°C の範囲で適用されます。特に記述のない限り、V<sub>I</sub> = V<sub>BIAS</sub> = 12V、V<sub>OUT</sub> = 24V、R<sub>T</sub> = 14kΩ です

パラメータ	テスト条件	最小値	標準値	最大値	単位
<b>消費電流 (BIAS、VCC、VOUT)</b>					
I <sub>SD</sub>	シャットダウン状態での V <sub>I</sub> 電流 (BIAS を V <sub>I</sub> に接続)。BIAS、CSP、CSNSW への電流。	V <sub>EN/UVLO</sub> = 0V、V <sub>OUT</sub> = 12V、T <sub>J</sub> = -40°C ~ 125°C	2	5	μA
I <sub>SD_BIAS</sub>	シャットダウン状態でのバイアスピンド電流	V <sub>EN/UVLO</sub> = 0V、V <sub>OUT</sub> = 12V、T <sub>J</sub> = -40°C ~ 125°C	2	5	μA

## 5.5 電気的特性 (続き)

代表値は  $T_J = 25^\circ\text{C}$  に対応します。最小および最大の制限値は、 $T_J = -40^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$  の範囲で適用されます。特に記述のない限り、 $V_I = V_{\text{BIAS}} = 12\text{V}$ 、 $V_{\text{OUT}} = 24\text{V}$ 、 $R_T = 14\text{k}\Omega$  です

パラメータ		テスト条件	最小値	標準値	最大値	単位
$I_{SD\_VOUT}$	シャットダウン状態での $V_{\text{OUT}}$ ピン電流	$V_{\text{EN/UVLO}} = 0\text{V}$ 、 $V_{\text{OUT}} = 12\text{V}$ 、 $T_J = -40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$	0.001	0.5	μA	
$I_{Q\_BIAS\_FPWM}$	アクティブ状態でのバイアスピンの静止電流、FPWM モード、内部クロック (スイッチングなし、RT、IMON 電流は除外)	$V_{\text{EN/UVLO}} = 2.0\text{V}$ 、 $V_{\text{ATRK}} = 0.667\text{V}$ 、 $T_J = -40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$	1.1	1.5	mA	
$I_{Q\_BIAS\_DEM}$	アクティブ状態でのバイアスピンの静止電流、DEM モード、内部クロック (スイッチングなし、RT、IMON 電流は除外)	$V_{\text{EN/UVLO}} = 2.0\text{V}$ 、 $V_{\text{ATRK}} = 0.667\text{V}$ 、 $T_J = -40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$	1.1	1.5	mA	
$I_{Q\_VOUT\_FPWM}$	アクティブ状態での $V_{\text{OUT}}$ ピンの静止電流、FPWM モード、内部クロック (スイッチングなし)	$V_{\text{EN/UVLO}} = 2.0\text{V}$ 、 $V_{\text{ATRK}} = 0.667\text{V}$ 、 $T_J = -40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$	480	600	μA	
$I_{Q\_BIAS\_BYP}$	バイパス状態でのバイアスピン電流 (RT および IMON 電流は除外)	$V_{\text{EN/UVLO}} = 2.0\text{V}$ 、 $V_{\text{OUT}} = 12\text{V}$ 、 $T_J = -40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$	1	1.5	mA	
$I_{Q\_VOUT\_BYP}$	バイパス状態の $V_{\text{OUT}}$ ピン電流	$V_{\text{EN/UVLO}} = 2.0\text{V}$ 、 $V_{\text{OUT}} = 12\text{V}$ 、 $T_J = -40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ 、HO と SW との間に抵抗なし	470	600	μA	
$I_{\text{BIAS}}$	バイアスピンのバイアス電流	$V_{\text{BIAS}} = 12\text{V}$ 、 $I_{\text{VCC}} = 100\text{mA}$	100	110	mA	
$I_{\text{VOUT}}$	$V_{\text{CC}}$ が $V_{\text{OUT}}$ から供給されているときの $V_{\text{OUT}}$ ピン バイアス電流	$V_{\text{BIAS}} = 3.3\text{V}$ 、 $I_{\text{VCC}} = 100\text{mA}$	100	115	mA	

### VCC レギュレータ (VCC)

$V_{\text{BIAS-RISING}}$	VCC 電源を $V_{\text{OUT}}$ ピンからバイアスピンに切り替えるスレッショルド	$V_{\text{BIAS}}$ 立ち上がり	4.25	4.35	4.45	V
$V_{\text{BIAS-FALLING}}$	VCC 電源をバイアスピンから $V_{\text{OUT}}$ ピンに切り替えるスレッショルド	$V_{\text{BIAS}}$ 立ち下がり	4.1	4.2	4.3	V
$V_{\text{BIAS-HYS}}$	VCC 電源スレッショルドのヒステリシス		100	150		mV
$V_{\text{VCC-REG1}}$	VCC レギュレーション	無負荷	4.75	5	5.25	V
$V_{\text{VCC-REG2}}$	ドロップアウト時の VCC レギュレーション	$V_{\text{BIAS}} = 4.5\text{V}$ 、 $I_{\text{VCC}} = 110\text{mA}$	4	4.3		V
$V_{\text{VCC-UVLO-RISING}}$	VCC UVLO スレッショルド	VCC 立ち上がり	3.4	3.5	3.6	V
$V_{\text{VCC-UVLO-FALLING}}$	VCC UVLO スレッショルド	VCC 立ち下がり	3.2	3.3	3.4	V
$V_{\text{VCC-UVLO-HYS}}$	VCC UVLO スレッショルドのヒステリシス	VCC 立ち下がり		215		mV
$I_{\text{VCC-CL}}$	VCC のソース電流制限	$V_{\text{VCC}} = 4\text{V}$	100			mA

### イネーブル (EN/UVLO)

$V_{\text{EN-RISING}}$	イネーブル スレッショルド	EN 立ち上がり	0.50	0.55	0.6	V
$V_{\text{EN-FALLING}}$	イネーブル スレッショルド	EN 立ち下がり	0.40	0.45	0.50	V
$V_{\text{EN-HYS}}$	イネーブル ヒステリシス	EN 立ち下がり		100		mV
$R_{\text{EN}}$	EN プルダウン抵抗	$V_{\text{EN}} = 0.2\text{V}$	30	37	50	kΩ
$V_{\text{UVLO-RISING}}$	UVLO スレッショルド	UVLO 立ち上がり	1.05	1.1	1.15	V
$V_{\text{UVLO-FALLING}}$	UVLO スレッショルド	UVLO 立ち下がり	1.025	1.075	1.125	V
$V_{\text{UVLO-HYS}}$	UVLO ヒステリシス	UVLO 立ち下がり		25		mV
$I_{\text{UVLO-HYS}}$	UVLO プルダウン ヒステリシス電流	$V_{\text{UVLO}} = 0.7\text{V}$	9	10	11	μA

## 5.5 電気的特性 (続き)

代表値は  $T_J = 25^\circ\text{C}$  に対応します。最小および最大の制限値は、 $T_J = -40^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$  の範囲で適用されます。特に記述のない限り、 $V_I = V_{\text{BIAS}} = 12\text{V}$ 、 $V_{\text{OUT}} = 24\text{V}$ 、 $R_T = 14\text{k}\Omega$  です

パラメータ		テスト条件	最小値	標準値	最大値	単位
$I_{\text{UVLO/EN}}$	UVLO/EN ピンのバイアス電流	$V_{\text{UVLO/EN}} = 0.3\text{V}$ 、プルダウン抵抗 = アクティブ。	8	11		$\mu\text{A}$
		$V_{\text{UVLO/EN}} = 0.7\text{V}$ 、 $10\mu\text{A}$ 電流 = アクティブ。	9	10	11	$\mu\text{A}$
		$V_{\text{UVLO/EN}} = 3.3\text{V}$			1	$\mu\text{A}$

### 構成 (CFG)

$R_{\text{CFG\_1}}$	レベル 1 の抵抗		0	0.1	$\text{k}\Omega$
$R_{\text{CFG\_2}}$	レベル 2 の抵抗		0.496	0.51	0.526
$R_{\text{CFG\_3}}$	レベル 3 の抵抗		1.11	1.15	1.19
$R_{\text{CFG\_4}}$	レベル 4 の抵抗		1.81	1.9	1.93
$R_{\text{CFG\_5}}$	レベル 5 の抵抗		2.65	2.7	2.82
$R_{\text{CFG\_6}}$	レベル 6 の抵抗		3.71	3.8	3.94
$R_{\text{CFG\_7}}$	レベル 7 の抵抗		4.95	5.1	5.26
$R_{\text{CFG\_8}}$	レベル 8 の抵抗		6.29	6.5	6.68
$R_{\text{CFG\_9}}$	レベル 9 の抵抗		8.00	8.3	8.50
$R_{\text{CFG\_10}}$	レベル 10 の抵抗		10.18	10.5	10.81
$R_{\text{CFG\_11}}$	レベル 11 の抵抗		12.90	13.3	13.70
$R_{\text{CFG\_12}}$	レベル 12 の抵抗		15.71	16.2	16.69
$R_{\text{CFG\_13}}$	レベル 13 の抵抗		19.88	20.5	21.11
$R_{\text{CFG\_14}}$	レベル 14 の抵抗		24.15	24.9	25.65
$R_{\text{CFG\_15}}$	レベル 15 の抵抗		29.20	30.1	31.00
$R_{\text{CFG\_16}}$	レベル 16 の抵抗		35.40	36.5	38.60

### スイッチング周波数

$V_{\text{RT}}$	RT レギュレーション		0.7	0.75	0.8	V
$f_{\text{SW1}}$	スイッチング周波数	$R_T = 316\text{k}\Omega$	85	100	115	kHz
$f_{\text{SW2}}$	スイッチング周波数	$R_T = 14\text{k}\Omega$	1980	2200	2420	kHz
$t_{\text{ON-MIN}}$	最小の制御可能なオン時間	$R_T = 14\text{k}\Omega$	14	20	50	ns
$t_{\text{OFF-MIN}}$	最小強制オフ時間	$R_T = 14\text{k}\Omega$	55	80	105	ns
$D_{\text{MAX1}}$	最大デューティ サイクル制限	$R_T = 316\text{k}\Omega$	98.7%	99.4%		
$D_{\text{MAX2}}$	最大デューティ サイクル制限	$R_T = 14\text{k}\Omega$	75%	87%		

### 同期 (SYNCIN)

$f_{\text{SYNC\_DET\_min}}$	最小 SYNCIN 周波数アクティブ検出	スペクトラム拡散 = オフ	$RT = 316\text{k}\Omega$	60		kHz
$f_{\text{SYNC\_DET}}$	SYNCIN 周波数の動作検出と RT SET のスイッチング周波数との関係	スペクトラム拡散 = オフ	$RT = 14\text{k}\Omega \sim 210\text{k}\Omega$	-60%		
	SYNCIN 動作検出サイクル			3		サイクル
$f_{\text{SYNC}}$	同期時の RT 設定周波数からの同期周波数範囲	周波数は外部クロックに同期 (最小 = $100\text{kHz}$ 、最大 = $2200\text{kHz}$ )		-50%	50%	
$V_{\text{SYNCIN\_H}}$	SYNCIN の High レベル入力電圧	SYNCIN 立ち上がり		1.19	5.25	V
$V_{\text{SYNCIN\_L}}$	SYNCIN の Low レベル入力電圧	SYNCIN 立ち下がり		-0.3	0.41	V
$I_{\text{SYNCIN}}$	SYNCIN バイアス電流	$SYNCIN = 3.3\text{V}$		0.01	1	$\mu\text{A}$

## 5.5 電気的特性 (続き)

代表値は  $T_J = 25^\circ\text{C}$  に対応します。最小および最大の制限値は、 $T_J = -40^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$  の範囲で適用されます。特に記述のない限り、 $V_I = V_{\text{BIAS}} = 12\text{V}$ 、 $V_{\text{OUT}} = 24\text{V}$ 、 $R_T = 14\text{k}\Omega$  です

パラメータ	テスト条件	最小値	標準値	最大値	単位
SYNCIN の最小プルアップ / プルダウンパルス幅			135	ns	
<b>V<sub>OUT</sub> プログラミング (ATRK/DTRK, I<sub>2</sub>C)</b>					
V <sub>OUT_I2C</sub>	I <sub>2</sub> C でプログラムされるときの V <sub>OUT</sub> レギュレーション	V <sub>OUT[5:0]</sub> = 0b000000、V <sub>I</sub> = 4.5V	5.88	6	6.16
		V <sub>OUT[5:0]</sub> = 0b000110、V <sub>I</sub> = 10V	11.82	12	12.18
		V <sub>OUT[5:0]</sub> = 0b010010	23.64	24	24.36
		V <sub>OUT[5:0]</sub> = 0b101010	47.28	48	48.72
		V <sub>OUT[5:0]</sub> = 0b110110	59.10	60	60.90
V <sub>OUT_REG</sub>	ATRK 電圧による V <sub>OUT</sub> レギュレーション	ATRK = 0.2V、V <sub>I</sub> = 4.5V	5.88	6	6.12
		ATRK = 0.4V、V <sub>I</sub> = 10V	11.82	12	12.18
		ATRK = 0.8V	23.64	24	24.36
		ATRK = 1.6V	47.28	48	48.72
		ATRK = 2V	59.10	60	60.90
G <sub>DTRK</sub>	DTRK デューティサイクルの V <sub>ATRK</sub> への変換率	F <sub>DTRK</sub> = 100kHz, 440kHz	25		mV / %
	DTRK デューティサイクル範囲		8%	80%	
V <sub>ATRK</sub>	指定された DTRK デューティサイクルに対する ATRK 電圧	f <sub>DTRK</sub> = 100kHz, DC = 8%	0.19	0.2	0.21
		f <sub>DTRK</sub> = 100kHz, DC = 40%	0.98	1	1.02
		f <sub>DTRK</sub> = 100kHz, DC = 80%	1.98	2	2.02
		f <sub>DTRK</sub> = 440kHz, DC = 8%	0.188	0.2	0.212
		f <sub>DTRK</sub> = 440kHz, DC = 40%	0.98	1	1.02
		f <sub>DTRK</sub> = 440kHz, DC = 80%	1.98	2	2.02
V <sub>DTRK_H</sub>	DTRK の High レベル入力電圧	DTRK 立ち上がり	1.19	5.25	V
V <sub>DTRK_L</sub>	DTRK の Low レベル入力電圧	DTRK 立ち下がり	-0.3	0.41	V
I <sub>ATRK</sub>	CFG で起動したときのソース電流		19.8	20	20.2
I <sub>ATRK/DTRK</sub>	ATRK/DTRK ピンのバイアス電流	20μA 電流はディスエーブル、V <sub>ATRK/DTRK</sub> = 2V	0.01	1	μA
	DTRK の最小プルアップ / プルダウンパルス幅		25	ns	
V <sub>OUT_SLEW</sub>	V <sub>OUT</sub> が I <sub>2</sub> C によりプログラムされたときの V <sub>OUT</sub> のスルーレート	V <sub>OUT_SLEW</sub> = 0b000	1V による V <sub>OUT</sub> の立ち上がり / 立ち下がりは		0
		V <sub>OUT_SLEW</sub> = 0b001			100
		V <sub>OUT_SLEW</sub> = 0b010			200
		V <sub>OUT_SLEW</sub> = 0b011			400
		V <sub>OUT_SLEW</sub> = 0b100			800
		V <sub>OUT_SLEW</sub> = 0b101			1600
		V <sub>OUT_SLEW</sub> = 0b110			3200
		V <sub>OUT_SLEW</sub> = 0b111			6400
<b>ソフトスタート (SS)</b>					
I <sub>SS</sub>	ソフトスタート電流		42.5	50	57.5
			μA		

## 5.5 電気的特性 (続き)

代表値は  $T_J = 25^\circ\text{C}$  に対応します。最小および最大の制限値は、 $T_J = -40^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$  の範囲で適用されます。特に記述のない限り、 $V_I = V_{\text{BIAS}} = 12\text{V}$ 、 $V_{\text{OUT}} = 24\text{V}$ 、 $R_T = 14\text{k}\Omega$  です

パラメータ		テスト条件	最小値	標準値	最大値	単位
$V_{\text{SS-DONE}}$		ソフトスタート完了スレッショルド	2.15		2.2	2.25
$R_{\text{SS}}$		SS プルダウンスイッチの $R_{\text{DSON}}$	26		70	$\Omega$
$V_{\text{SS-DIS}}$		SS 放電検出スレッショルド	20		45	70
<b>電流センス (CSP、CSN)</b>						
$A_{\text{CS}}$	電流センスアンプのゲイン	$V_{\text{CSP}} = 2.5\text{V}$	10		V/V	
$V_{\text{CLTH}}$	正のピーク電流制限スレッショルド	CS 入力を基準とします	54	60	66	mV
$V_{\text{NCLTH}}$	負のピーク電流制限スレッショルド	CS 入力、FPWM モードを基準とします	-34	-28	-22	mV
$V_{\text{ICL}}$	入力電流制限	CS 入力を基準とします	65	72	80	mV
$\Delta V_{\text{ICL\_CLTH}}$	ICL と正のピーク電流スレッショルド間のデルタ電圧	6		12	mV	
ピーク電流制限トリップ遅延		100		ns		
$V_{\text{ZCD}}$	ZCD スレッショルド (CSP – CSN)	CS 入力の立ち下がり、 $f_{\text{SW}} = 100\text{kHz}$ 、DEM	0	3	6	mV
$V_{\text{ZCD}}$	ZCD スレッショルド (CSP – CSN)	CS 入力の立ち下がり、 $f_{\text{SW}} = 100\text{kHz}$ 、DEM、 $T_J = 0^\circ\text{C} \sim 85^\circ\text{C}$	0	3	5	mV
$V_{\text{ZCD\_BYP}}$	バイパスモードでの ZCD スレッショルド (CSP – CSN)	-6		-2.5	0	mV
$V_{\text{SLOPE}}$	ピーク勾配補償アンプ	CS 入力を基準とし、 $f_{\text{SW}} = 100\text{kHz}$	40	48	55	mV
$I_{\text{CSN}}$	CSN 電流	デバイスがスタンバイ状態、 $V_I = V_{\text{BIAS}} = V_{\text{OUT}} = 12\text{V}$	1.2		$\mu\text{A}$	
$I_{\text{CSP}}$	CSP 電流		150		170	$\mu\text{A}$
<b>遅延付き電流モニタ / リミッタ (IMON/ILIM)</b>						
$G_{\text{IMON}}$	相互コンダクタンス ゲイン	0.320		0.333	0.346	$\mu\text{A}/\text{mV}$
$I_{\text{OFFSET}}$	オフセット電流	3		4	5	$\mu\text{A}$
$V_{\text{ILIM}}$	ILIM のレギュレーションターゲット	0.93		1	1.07	V
$V_{\text{ILIM\_th}}$	ILIM の起動スレッショルド	0.95		1	1.05	V
$V_{\text{ILIM\_reset}}$	DLY リセットのスレッショルド	ILIM の立ち下がり、 $V_{\text{ILIM}}$ を基準とする	85%	88%	91%	
$I_{\text{DLY}}$	DLY ソース / シンク電流	4		5	6	$\mu\text{A}$
$V_{\text{DLY\_peak\_rise}}$		$V_{\text{DLY}}$ 立ち上がり	2.45	2.6	2.75	V
$V_{\text{DLY\_peak\_fall}}$		$V_{\text{DLY}}$ 立ち下がり	2.25	2.4	2.55	V
$V_{\text{DLY\_valley}}$		0.2		V		
<b>エラー アンプ (COMP)</b>						
$G_m$	相互コンダクタンス	700		1000	1300	$\mu\text{S}$
$A_{\text{COMP-PWM}}$	COMP から PWM へのゲイン	1		V/V		
$V_{\text{COMP-MAX}}$	COMP 最大クランプ電圧	COMP 立ち上がり	2.3	2.6	2.9	V
$V_{\text{COMP-MIN}}$	COMP 最小クランプ電圧、DEM で有効	COMP 立ち下がり	0.38	0.48	0.55	V
	COMP 最小クランプ電圧、FPWM で有効	COMP 立ち下がり	0.13	0.16	0.19	V
$V_{\text{COMP-offset}}$	最小クランプを基準としたオフセット	COMP 立ち下がり	0.01	0.03	0.06	V
$I_{\text{SOURCE-MAX}}$	最大 COMP ソーシング電流	$V_{\text{COMP}} = 1\text{V}$ 、 $V_{\text{ATRK}} = 2\text{V}$	100		$\mu\text{A}$	
$I_{\text{SINT-MAX}}$	最大 COMP シンキング電流	$V_{\text{COMP}} = 1\text{V}$ 、 $V_{\text{ATRK}} = 0.5\text{V}$	40		$\mu\text{A}$	
<b>動作モード</b>						

## 5.5 電気的特性 (続き)

代表値は  $T_J = 25^\circ\text{C}$  に対応します。最小および最大の制限値は、 $T_J = -40^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$  の範囲で適用されます。特に記述のない限り、 $V_I = V_{\text{BIAS}} = 12\text{V}$ 、 $V_{\text{OUT}} = 24\text{V}$ 、 $R_T = 14\text{k}\Omega$  です

パラメータ		テスト条件	最小値	標準値	最大値	単位		
$V_{\text{MODE\_H}}$	MODE ピンの High レベル	FPWM		1.19	5.25	V		
$V_{\text{MODE\_L}}$	MODE ピンの Low レベル	DEM		-0.3	0.41	V		
$I_{\text{MODE}}$	MODE ピンのバイアス電流	MODE = 3.3V		0.01	1	$\mu\text{A}$		
<b>過電圧と低電圧のモニタ</b>								
$V_{\text{OVP-H}}$	過電圧スレッショルド	$V_{\text{OUT}}$ の立ち上がり (エラー アンプのリファレンスを基準とする)		108%	110%	112%		
$V_{\text{OVP-L}}$	過電圧スレッショルド	$V_{\text{OUT}}$ の立ち下がり (エラー アンプのリファレンスを基準とする)		101%	103%	105%		
$V_{\text{OVP\_max-H}}$	過電圧スレッショルド	64V	$V_{\text{OUT}}$ の立ち上がり (エラー アンプのリファレンスを基準とする)		63	64	65	V
		50V			49	50	51	V
		35V			34	35	36	V
		28.5V			27	28.5	30	V
$V_{\text{OVP\_max-L}}$	過電圧スレッショルド	64V	$V_{\text{OUT}}$ の立ち下がり (エラー アンプのリファレンスを基準とする)		62	63	64	V
		50V			48	49	50	V
		35V			33	34	35	V
		28.5V			26	27.5	29	V
$V_{\text{UVP-H}}$	低電圧スレッショルド	$V_{\text{OUT}}$ の立ち上がり (エラー アンプのリファレンスを基準とする)		91%	93%	95%		
$V_{\text{UVP-L}}$	低電圧スレッショルド	$V_{\text{OUT}}$ の立ち下がり (エラー アンプのリファレンスを基準とする)		88%	90%	92%		
$R_{\text{nFAULT}}$	nFAULT プルダウン スイッチの $R_{\text{DSON}}$	1mA のシンク		90	180	$\Omega$		
	有効な nFAULT の最小バイアス	$R_{\text{5V}} = 7.81\text{k}\Omega$ 、 $V_{\text{nFAULT}} < 0.4\text{V}$		2		V		
<b>MOSFET ドライバ (HB、HO、SW、LO)</b>								
	高状態オン抵抗 (HO ドライバ)	100mA シンク、HB – SW = 5V		1.1	2	$\Omega$		
	Low 状態オン抵抗 (HO ドライバ)	100mA ソース、HB – SW = 5V		0.6	1.2	$\Omega$		
	高状態オン抵抗 (LO ドライバ)	100mA シンク、VCC = 5V		1.1	2	$\Omega$		
	Low 状態オン抵抗 (LO ドライバ)	100mA ソース、VCC = 5V		0.7	1.4	$\Omega$		
$V_{\text{HB-UVLO}}$	HB-SW UVLO スレッショルド	HB – SW の立ち上がり		2.85	3.05	3.25	V	
$V_{\text{HB-UVLO}}$	HB-SW UVLO スレッショルド	HB ~ SW 立ち下がり		2.6	2.8	3	V	
$V_{\text{HB-HYS}}$	HB-SW UVLO スレッショルドのヒステリシス			250		mV		
$I_{\text{HB-SLEEP}}$	バイパス時の HB 静止電流	HB – SW = 5V		8	15	$\mu\text{A}$		
$I_{\text{CP}}$	HB チャージ ポンプ電流は HB ピンで利用可能	$\text{BIAS} = 4.5\text{V}$ 、 $V_{\text{OUT}} = 6\text{V}$		55	75	100	$\mu\text{A}$	
<b>デッドタイム制御</b>								
DT1	HO オフから LO オンまで、LO オフから HO オンまでのデッドタイム	DEAD_TIME[2:0] = 0b000		7	14	30	ns	
DT2		DEAD_TIME [2:0] = 0b001		17	30	50	ns	
DT3		DEAD_TIME[2:0] = 0b010		32	50	75	ns	
DT4		DEAD_TIME[2:0] = 0b011		50	75	110	ns	
DT5		DEAD_TIME[2:0] = 0b100		68	100	140	ns	
DT6		DEAD_TIME[2:0] = 0b101		85	125	180	ns	
DT7		DEAD_TIME[2:0] = 0b110		105	150	215	ns	
DT8		DEAD_TIME[2:0] = 0b111		135	200	285	ns	
<b>サーマル シャットダウン(TSD)</b>								

## 5.5 電気的特性 (続き)

代表値は  $T_J = 25^\circ\text{C}$  に対応します。最小および最大の制限値は、 $T_J = -40^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$  の範囲で適用されます。特に記述のない限り、 $V_I = V_{\text{BIAS}} = 12\text{V}$ 、 $V_{\text{OUT}} = 24\text{V}$ 、 $R_T = 14\text{k}\Omega$  です

パラメータ		テスト条件	最小値	標準値	最大値	単位
$T_{\text{TSD-RISING}}$		サーマル シャットダウンのスレッショルド	温度上昇		175	°C
$T_{\text{TSD-HYS}}$		サーマル シャットダウン ヒステリシス			15	°C
$T_{\text{SDW}}$	$T_{\text{TSD-RISING}}$ に関するサーマル シャットダウン警告	$\text{TSDW}[1:0] = 0b11$	温度上昇	60	70	80 °C
		$\text{TSDW}[1:0] = 0b10$		40	50	60 °C
		$\text{TSDW}[1:0] = 0b01$		25	35	45 °C
		$\text{TSDW}[1:0] = 0b00$		10	20	30 °C
タイミング						
$\text{STANDBY}_{\text{timer}}$	スタンバイ タイマ		130	150	170	μs
$V_{T+}$	正方向スレッショルド電圧	SDA, SCL	0.9	1.4		V
$V_{T-}$	負方向スレッショルド電圧	SDA, SCL	0.8	1.3		V
$V_{OL\_SDA}$	SDA ロジックレベル Low		$I_{OL} = 3\text{mA}$		0.15	0.4 V
$I_{OL\_SDA}$	SDA プルダウン電流		$V_{OL} = 0.4\text{ V}$		12	mA

## 5.6 タイミング要件

動作接合部温度範囲および推奨電源電圧範囲(特に記載のない限り)

			最小値	公称値	最大値	単位
全体的なデバイス機能						
	最小時間 Low EN トグル	EN から測定した時間 H から L, L から H への切り替え	1			μs
	I <sup>2</sup> C インターフェイスが準備完了するまでの最小時間。	UVLO/EN > $V_{EN\text{-RISING}}$ から、I <sup>2</sup> C インターフェイスがコマンドを受け付けるまでの時間。 $C_{VCC} = 5\mu\text{F}$	1	2		ms
I <sup>2</sup> C インターフェイス						
$f_{SCL}$	SCL クロック周波数	スタンダード モード	0	100		kHz
		ファスト モード	0	400		
		ファスト モード プラス (1)	0	1000		
$t_{LOW}$	SCL クロック Low 時間	スタンダード モード	4.7			μs
		ファスト モード	1.3			
		ファスト モード プラス (1)	0.5			
$t_{HIGH}$	SCL クロックの High の時間	スタンダード モード	4.0			μs
		ファスト モード	0.6			
		ファスト モード プラス (1)	0.26			
$t_{BUF}$	停止条件と開始条件の間のバスフリー時間	スタンダード モード	4.7			μs
		ファスト モード	1.3			
		ファスト モード プラス (1)	0.5			
$t_{SU:STA}$	繰り返し START 条件のセットアップ時間	スタンダード モード	4.7			μs
		ファスト モード	0.6			
		ファスト モード プラス (1)	0.26			
$t_{HD:STA}$	(繰り返し) START 条件のホールド時間	スタンダード モード	4.0			μs
		ファスト モード	0.6			
		ファスト モード プラス (1)	0.26			

## 5.6 タイミング要件 (続き)

動作接合部温度範囲および推奨電源電圧範囲(特に記載のない限り)

			最小値	公称値	最大値	単位
$t_{HD:DAT}$	データホールド時間	スタンダード モード	0			$\mu s$
		ファスト モード	0			
		ファスト モード プラス (1)	0			
$t_{SU:DAT}$	データセットアップ時間	ファスト モード	100			$ns$
		ファスト モード プラス (1)	50			
$t_r$	SDA 信号と SCL 信号の両方の立ち上がり時間	スタンダード モード		1000		$ns$
		ファスト モード	20	300		
		ファスト モード プラス (1)		20		
$t_f$	SDA 信号と SCL 信号の両方の立ち下がり時間	スタンダード モード		300		$ns$
		ファスト モード	$20 \times V_{DD}/5.5$	300		
		ファスト モード プラス (1)	$20 \times V_{DD}/5.5$	120		
$t_{SU:STO}$	STOP 条件のセットアップ時間	スタンダード モード	4.0			$\mu s$
		ファスト モード	0.6			
		ファスト モード プラス (1)	0.26			
$t_{VD:DAT}$	データ有効時間	スタンダード モード		3.45		$\mu s$
		ファスト モード		0.9		
		ファスト モード プラス (1)		0.45		
$t_{VD:ACK}$	データ有効アクリッジ時間	スタンダード モード		3.45		$\mu s$
		ファスト モード		0.9		
		ファスト モード プラス (1)		0.45		
$C_b$	各バスラインの容量性負荷	スタンダード モード		400		$pF$
		ファスト モード		400		

(1) ファスト モード プラスもサポートされていますが、I<sup>2</sup>C 規格には完全には準拠していません

## 5.7 代表的特性

以下の条件が適用されます (特に記述のない限り)。 $T_J = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{BIAS} = 12\text{V}$

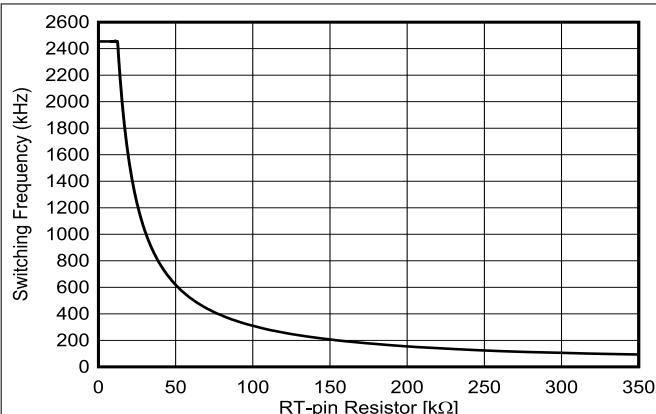


図 5-1. スイッチング周波数と RT 抵抗との関係

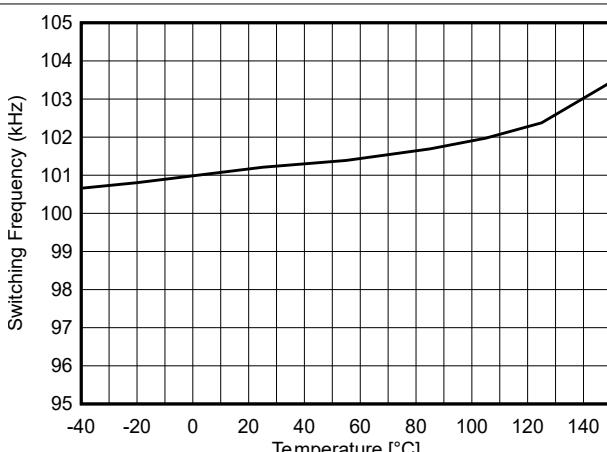


図 5-2. スイッチング周波数 (100kHz、RT = 316kΩ) と温度との関係

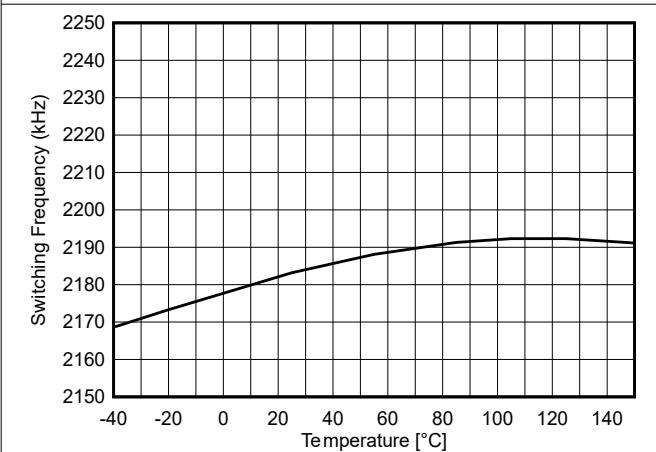


図 5-3. スイッチング周波数 (2200kHz、RT = 14kΩ) と温度との関係

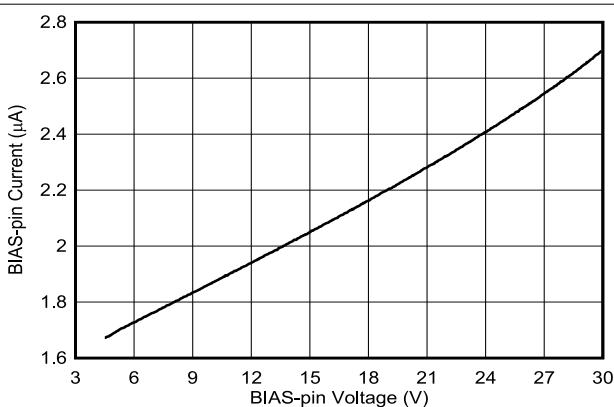


図 5-4. シャットダウン時の BIAS ピンの電流と BIAS ピンの電圧との関係

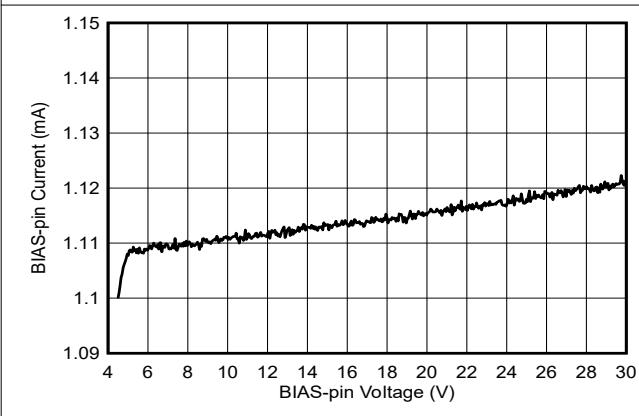


図 5-5. BIAS ピンの電流と BIAS ピンの電圧との関係 (アクティブ、DEM)

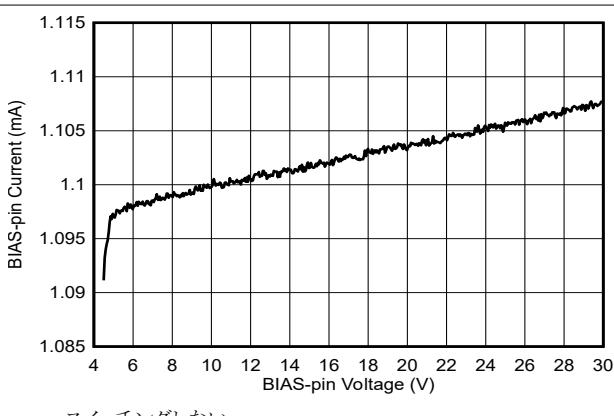


図 5-6. BIAS ピンの電流と BIAS ピンの電圧との関係 (アクティブ、FPWM)

## 5.7 代表的特性 (続き)

以下の条件が適用されます (特に記述のない限り)。 $T_J = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{BIAS} = 12\text{V}$

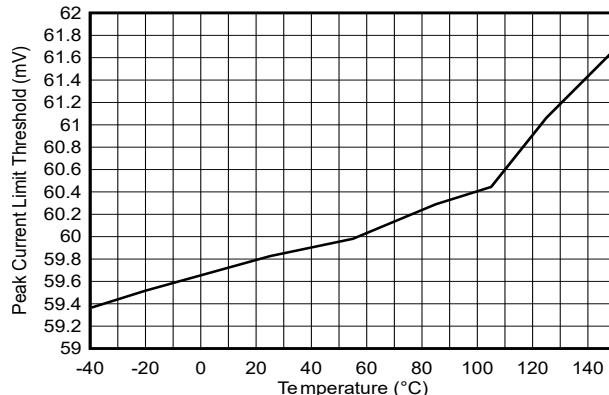


図 5-7. ピーク電流制限スレッショルド電圧  $V_{CLTH}$  と温度との関係

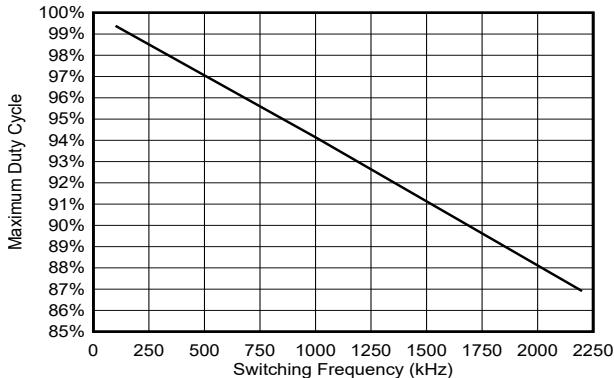


図 5-8. 最大デューティ サイクルとスイッチング周波数との関係

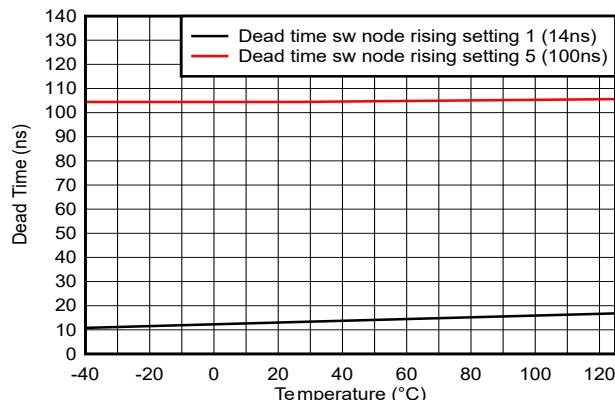


図 5-9. デッドタイムスイッチノードの立ち上がりと温度との関係

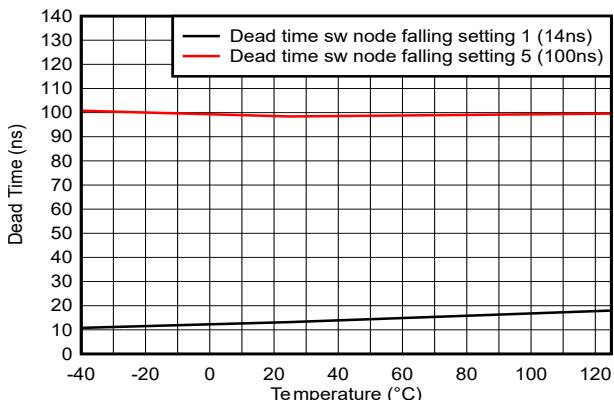


図 5-10. デッドタイムスイッチノードの立ち下がりと温度との関係

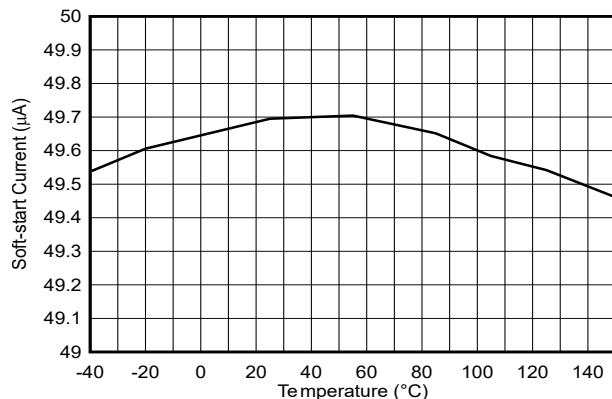


図 5-11. ソフトスタート電流と温度との関係

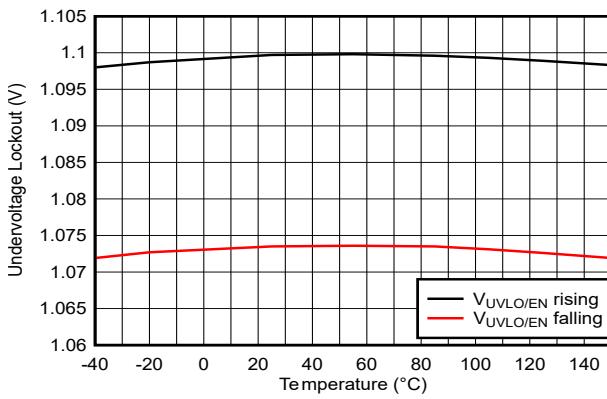


図 5-12. 低電圧誤動作防止 (UVLO) と温度との関係

## 5.7 代表的特性 (続き)

以下の条件が適用されます (特に記述のない限り)。 $T_J = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{BIAS} = 12\text{V}$

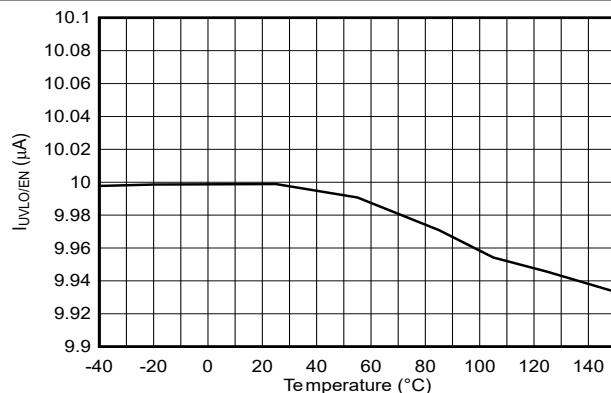


図 5-13. UVLO/EN ピンの電流と温度との関係

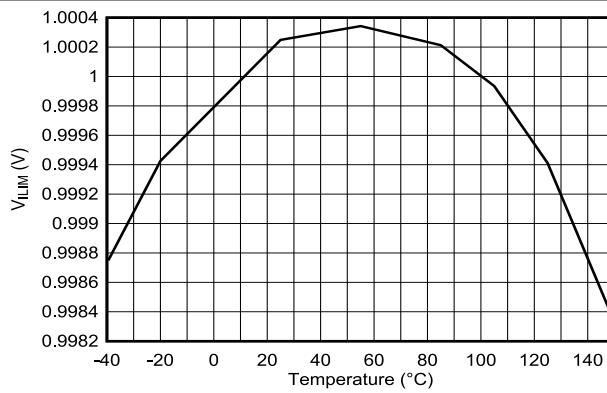


図 5-14. 平均電流制限レギュレーション電圧と温度との関係

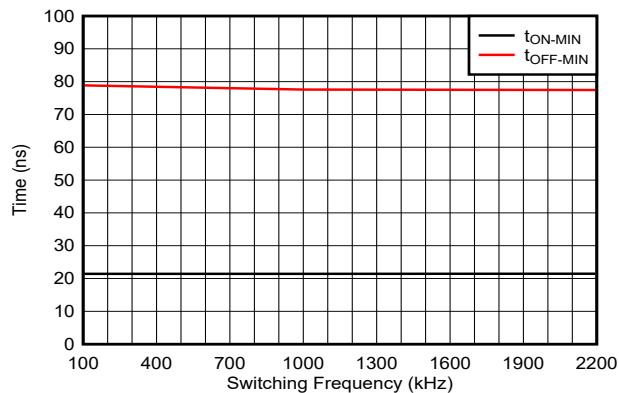


図 5-15. 最小  $t_{ON}$  および  $t_{OFF}$  時間とスイッチング周波数との関係

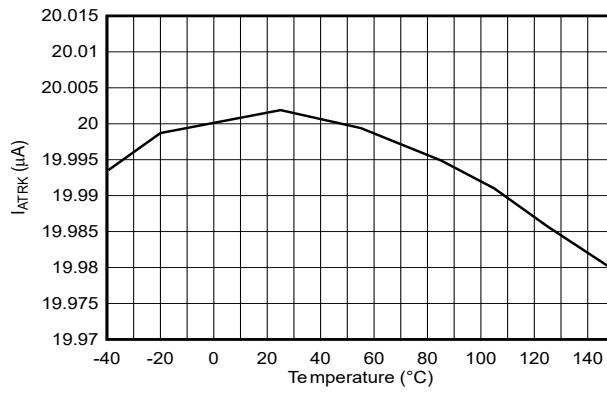
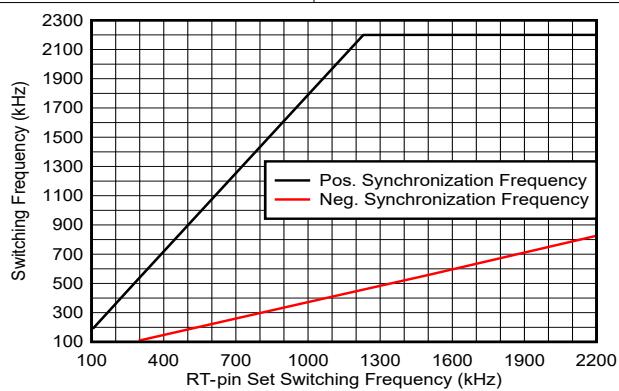


図 5-16. ATRK ピンの電流と温度との関係



スペクトラム拡散 = オフ

図 5-17. 同期スイッチング周波数 (SYNCIN) と RT ピン設定スイッチング周波数との関係

## 6 詳細説明

### 6.1 概要

LM51261A-Q1 は、入力範囲の広い昇圧コントローラです。本デバイスは入力電圧が、調整された出力電圧よりも高等しい、または低い場合に、レギュレートされた出力電圧を供給します。I<sub>2</sub>C インターフェイスにより、デバイス機能を簡単かつ確実に選択できます。

動作モードの DEM (ダイオード エミュレーション モード) と FPWM (強制パルス幅変調) は、動作中にオンザフライでピン選択でき、I<sub>2</sub>C でプログラムできます。ピーク電流モード制御は、RT ピンで設定される固定スイッチング周波数で動作します。デュアルランダムスペクトラム拡散動作を起動することにより、設計プロセスのどの時点でも EMI の低減を実現できます。

内蔵の平均電流モニタは、入力電流の監視や制限に役立ちます。動作中に出力電圧を動的に調整可能 (動的な電圧スケーリングとエンベロープ追跡)。V<sub>OUT</sub> は I<sub>2</sub>C プログラミングで ATRK/DTRK ピンのアナログ基準電圧を変更するか、ATRK/DTRK ピンの PWM 入力信号を使用して調整できます。

内蔵の広入力 LDO は、さまざまな入力および出力電圧状況下で、デバイス機能に対して確実に電源供給します。高い駆動能力と、自動およびヘッドルームによる電圧選択 (V<sub>BIAS</sub> または V<sub>OUT</sub>) により、電力損失は最小限に抑えられます。個別のバイアスピンを V<sub>I</sub>、V<sub>OUT</sub>、出力、または外部電源に接続して、デバイス内の電力損失をさらに減らすことができます。未定義のエラー処理を避けるため、常に内部電源電圧が監視されます。

このデバイスは、ハーフ ブリッジ N チャネル MOSFET ドライバを内蔵しています。ゲート ドライバ回路は、多様な MOSFET を駆動できる高い駆動能力を備えています。このゲートドライバには、高電圧、低ドロップアウトのブートストラップ ダイオードが内蔵されています。内部ブートストラップ回路には、負のスパイクによって注入される過電圧に対する保護機能と、低電圧誤動作防止保護機能があるため、外部パワー FET のリニア動作を防止されます。内蔵チャージポンプにより、バイパスモードで 100% のデューティサイクル動作が可能になります。

内蔵の保護機能により、さまざまな故障状況で安全な動作が実現します。ブラウンアウト状態を回避するため、V<sub>I</sub> 低電圧誤動作防止保護機能があります。入力 UVLO スレッショルドとヒステリシスは外部の帰還デバイダにより構成されるため、さまざまな設計でブラウンアウトは回避されます。このデバイスには、出力過電圧保護機能も搭載されています。選択可能なヒップアップ過電流保護により、内部的なサイクル単位のピーク電流保護機能を使用して、過剰な短絡電流を防止します。デバイスにはサーマル シャットダウンが内蔵されているため、内部 VCC レギュレータの過負荷状態により生じる、熱による損傷から保護されます。すべての出力関連の故障イベントは監視され、オープンドライン nFAULT ピンで通知されます。

## 6.2 機能ブロック図

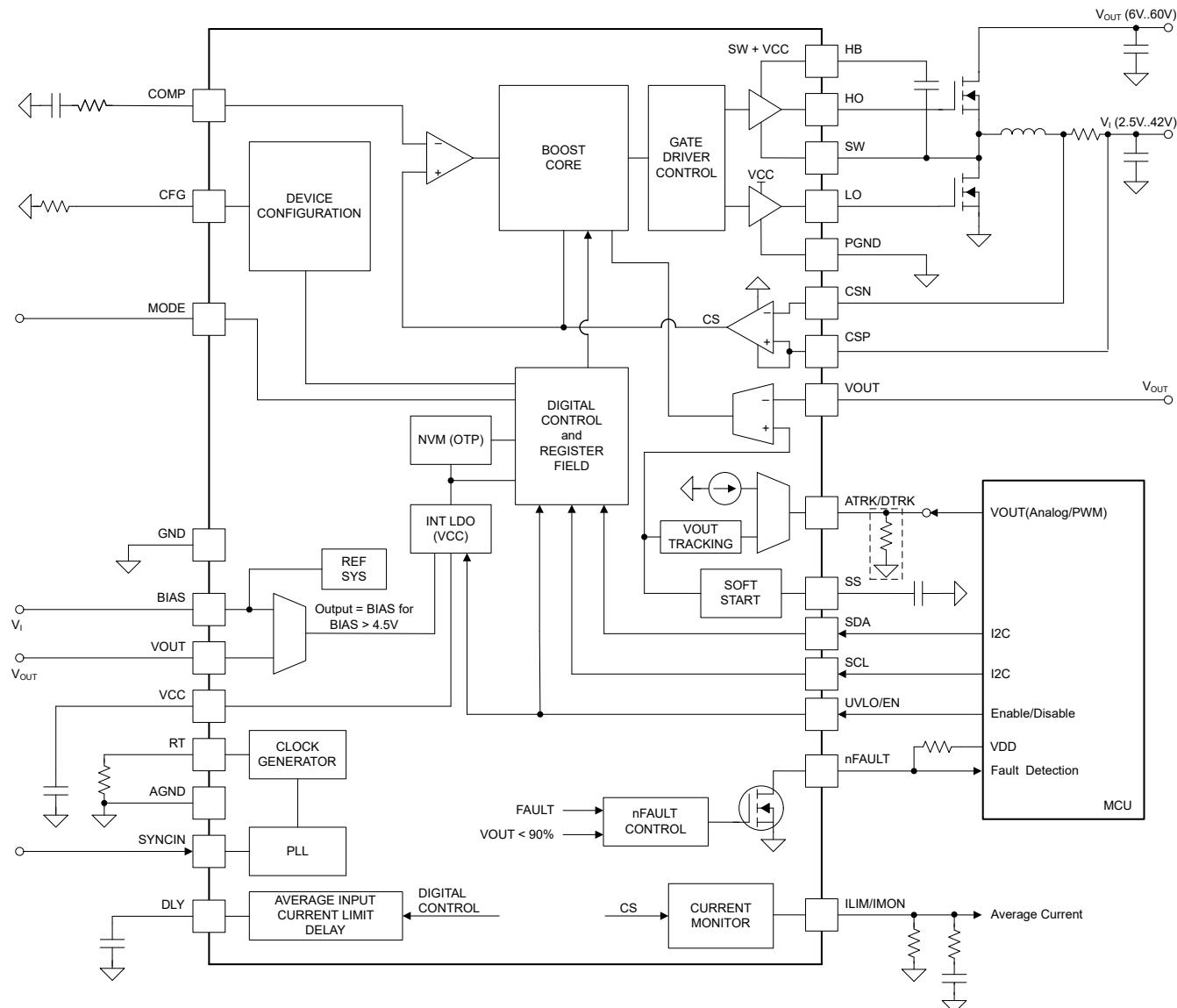


図 6-1. の機能ブロック図

## 6.3 機能説明

### 6.3.1 デバイス構成 (CFG ピン)

CFG ピンは、(LM51261A-Q1) および ATRK/DTRK ピンの  $20\mu\text{A}$  電流を定義します。表 6-1 に示すレベルは、仕様セクションに指定された抵抗によって選択されます。 $V_{\text{OUT}}$  に抵抗をプログラムすると、 $20\mu\text{A}$  の ATRK ピン電流がオンになります、電圧トラッキングのために ATRK ピンの電流がオフになります。

表 6-1. CFG ピンの設定

レベル	I <sub>C</sub> C アドレス	20 $\mu\text{A}$ ATRK 電流
1	1100000	オン
2	1100001	オン
3	1100010	オン
4	1100011	オン
5	1100100	オン
6	1100101	オン
7	1100110	オン
8	1100111	オン
9	1100000	オフ
10	1100001	オフ
11	1100010	オフ
12	1100011	オフ
13	1100100	オフ
14	1100101	オフ
15	1100110	オフ
16	1100111	オフ

### 6.3.2 デバイスの有効化と無効化 (UVLO/EN)

シャットダウン中、UVLO/EN ピンは内部抵抗  $R_{\text{EN}}$  によって Low になります。 $V_{\text{UVLO/EN}}$  が  $V_{\text{EN-RISING}}$  を上回ると、 $R_{\text{EN}}$  がディスエーブルになり、 $I_{\text{UVLO/EN}}$  (標準値  $10\mu\text{A}$ ) 電流ソースがイネーブルになって UVLO 機能を提供します。デバイスが起動し、構成を読み取り、STANDBY 状態に入ります (機能状態図を参照)。 $V_{\text{UVLO/EN}}$  が  $V_{\text{UVLO-RISING}}$  を上回ると、 $I_{\text{UVLO/EN}}$  電流ソースがディスエーブルになり、デバイスは START 状態に移行し、DEM 動作中に  $V_{\text{OUT}}$  を上昇させるソフトスタートを実行します。ヒステリシス  $V_{\text{EN-HYS}}$  および  $V_{\text{UVLO-HYS}}$  が実装されています。式 1 と式 2 に従って、外部 UVLO 抵抗分圧器 ( $R_{\text{UVLOT}}$  と  $R_{\text{UVLOB}}$ ) を選択します。

$$R_{\text{UVLOT}} = \frac{\left(V_{\text{ON}} - \frac{V_{\text{UVLO-RISING}}}{V_{\text{UVLO-FALLING}}} \times V_{\text{OFF}}\right)}{I_{\text{UVLO-HYS}}} \quad (1)$$

$$R_{\text{UVLOB}} = \frac{V_{\text{UVLO-FALLING}} \times R_{\text{UVLOT}}}{V_{\text{OFF}} - V_{\text{UVLO-FALLING}}} \quad (2)$$

UVLO/EN ピンは、I<sub>C</sub>C プログラミングにより上書きすることができます。UVLO ビットは、START 状態への移行とデバイスのスイッチング開始条件として、UVLO/EN ピン電圧を用いるか、UVLO が「1」に設定されているときにデバイスを START 状態へ移行させるかを選択します。

スタートアップ時または低  $V_{\text{I}}$  での負荷過渡時に  $V_{\text{I}}$  が一時的に  $V_{\text{OFF}}$  を下回る場合に備えて、UVLO コンデンサ ( $\text{C}_{\text{UVLO}}$ ) が必要です。必要な UVLO コンデンサが大きい場合、追加の直列 UVLO 抵抗 ( $R_{\text{UVLOS}}$ ) を使用することで、 $I_{\text{UVLO-HYS}}$  が有効化のときに UVLO ピンの電圧を急速に上昇させることができます。

UVLO/EN ピンとバイアス ピンの間の ESD ダイオードが導通しているため、UVLO/EN ピンの電圧はバイアス ピンの電圧  $+ 0.3V$  を超えることはできません (絶対最大定格を参照)。ただし、直列抵抗を使用して電流が最大  $100\mu A$  に制限されている場合、UVLO/EN ピンに最大  $42V$  (推奨動作条件) の高い電圧を印加できます。

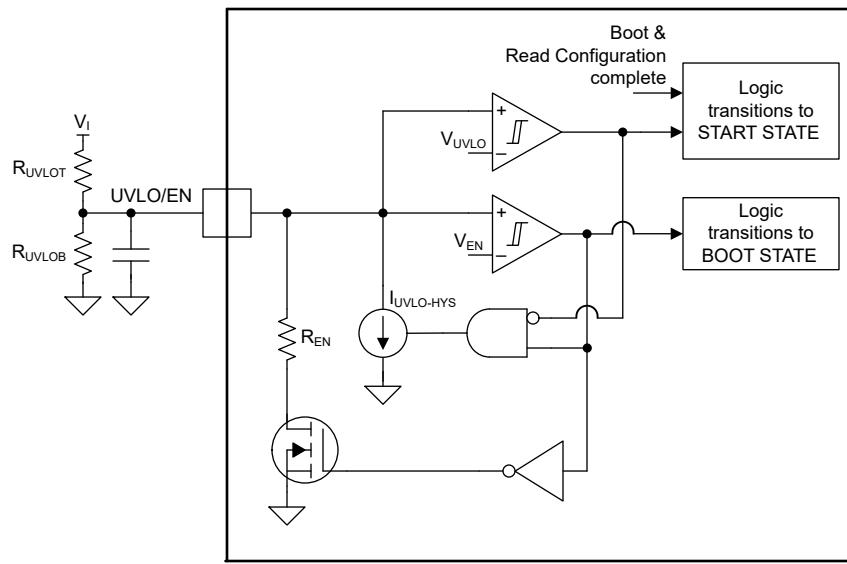


図 6-2. 機能ブロック図 UVLO と EN

### 6.3.3 デュアル デバイス動作

3 相動作の場合、LM51261A-Q1 デバイス (セカンダリ) は LM51251A-Q1 デバイス (プライマリ) と組み合わせてスタック構成にできます。デュアル デバイス構成では、位相間の位相シフトは I<sup>2</sup>C プログラミングです。プライマリ デバイス (LM51251A-Q1) のスイッチング周波数は、プライマリ デバイスの SYNCIN ピンに印加される外部クロックと同期できます (スイッチング周波数および同期 (SYNCIN) を参照)。プライマリ デバイスはスイッチング周波数を設定し、SYNCOUT ピンを使用してセカンダリ デバイスと動作モードを通信します。

SINGLE\_DUAL ビットは、以下の設定を選択します。

シングル デバイス: デバイスは、内部発振器を使用してスタンダード アロンで使用されます。

シングル デバイス 外部クロック: デバイスは内部クロックを使用してスタンダードアロンで使用され、印加される場合は外部クロックと同期します。

SYNCIN: 内部発振器を使用する場合、SYNCIN ピンのクロック同期機能がアクティブ (オン) か無効 (オフ) かを定義します。本デバイスは、SYNCIN がアクティブのとき、SYNCIN ピンに印加された外部クロックとのみ同期します。

クロック ディザリング: 内部発振器を使用する場合、SPREAD\_SPECTRUM ビットの選択に応じてクロック ディザリングを設定します。外部クロックが選択されている場合、SPREAD\_SPECTRUM ビットの設定を無視して、クロック ディザリング機能が無効化されます。

表 6-2. プライマリ デバイスからセカンダリ デバイスへの通信

ピン	プライマリ SYNCIN = オフ	プライマリ SYNCIN = オン	セカンダリ
SYNCIN	ディセーブル	High: 内部発振器を使用。 パルス: 外部クロックに同期。 Low: 内部発振器を使用。	High: バイパス モード。 パルス: MODE ピンの定義により動作。 Low: スイッチングを停止。

表 6-2. プライマリ デバイスからセカンダリ デバイスへの通信 (続き)

ピン	プライマリ SYNCIN = オフ	プライマリ SYNCIN = オン	セカンダリ
SYNCOUT	High: バイパス モードをセカンダリ デバイスへ通信。 パルス: 通常動作を通信。 Low: スイッチング停止をセカンダリ デバイスへ通信。	High: バイパス モードをセカンダリ デバイスへ通信。 パルス: 通常動作を通信。 Low: スイッチング停止をセカンダリ デバイスへ通信。	ディセーブル

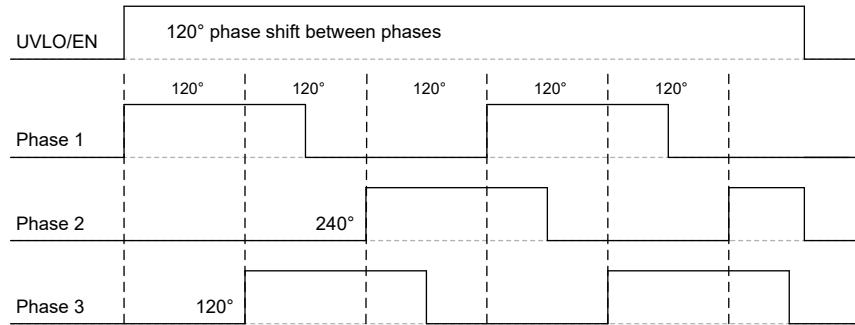


図 6-3. 2 つのデバイスの 3 相動作

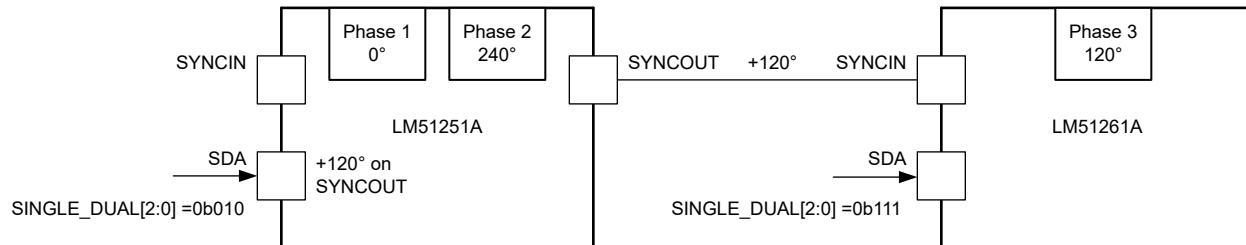


図 6-4. 3 相構成

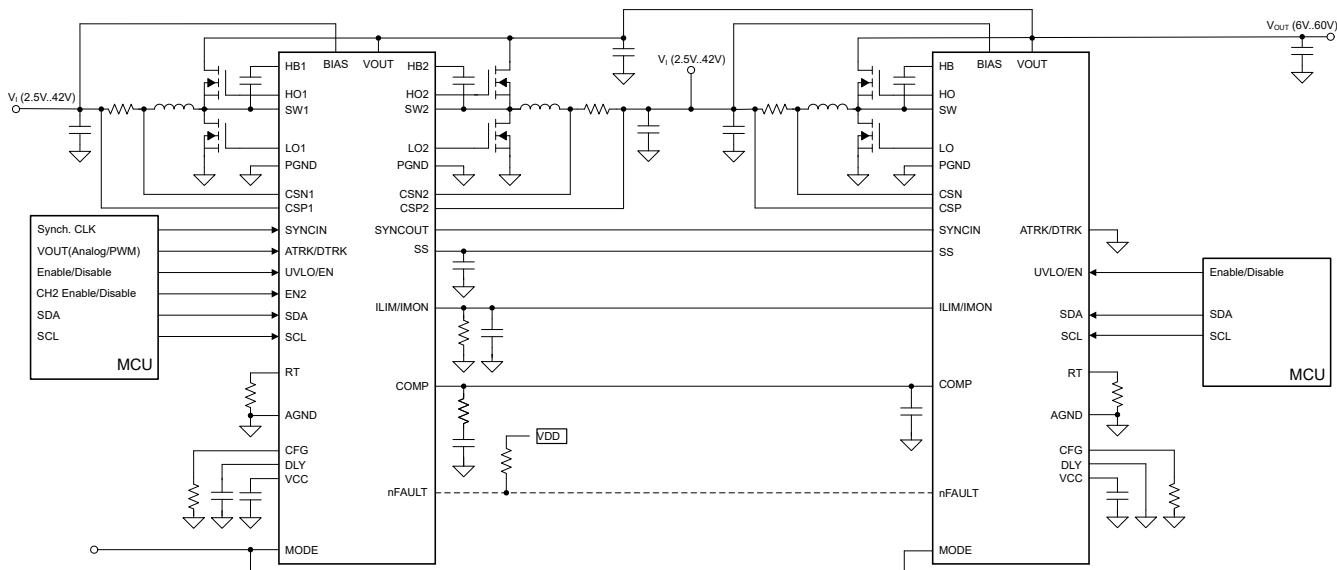


図 6-5. 代表的なアプリケーションの 3 相動作

### 6.3.4 スイッチング周波数および同期(SYNCIN)

100kHz～2.2MHz のスイッチング周波数は、RT ピンおよび AGND ピンの間に接続された RT 抵抗により設定されます。RT 抵抗は、式 4 に従って、14kΩ と 316kΩ の間で選択されます。外部クロックを使用するように構成している場合、デバイスは RT ピンを使用して内部発振器を設定し、SYNCIN ピンに印加される外部クロックに対して ±50% 以内にスイッチング周波数を同期します。外部クロックは、 $f_{SYNC\_DET}$  および  $f_{SYNC\_DET\_min}$  が検出されるように、SYNCIN 周波数動作検出範囲内に設定する必要があります。内部クロックは、SYNCIN ピンに印加された外部クロック信号の立ち上がりエッジで同期されます。外部クロック同期が選択されているとき、スペクトラム拡散設定は無視され、クロック ディザリングは無効になります。

本デバイスは、常に内部クロックで起動し、START 状態およびアクティブ状態の間に、印加される外部クロックと同期を開始します（機能状態図を参照）。本デバイスは、クロックが印加されるとすぐに外部クロックに同期し、外部クロックが停止した場合には内部クロックに戻ります。

$$f_{SW} = \frac{1}{R_{RT} \times \frac{s}{31.5 \text{ G}\Omega} + 18\text{ns}} \quad (3)$$

$$R_{RT} = \left( \frac{1}{f_{SW}} - 18\text{ns} \right) \times 31.5 \frac{\text{G}\Omega}{\text{s}} \quad (4)$$

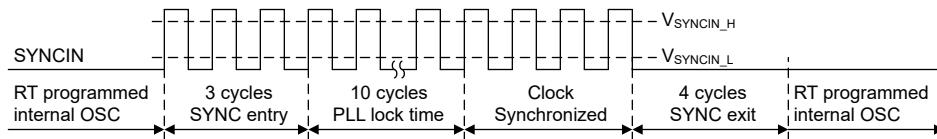


図 6-6. クロックの同期

### 6.3.5 デュアルランダムスペクトラム拡散機能(DRSS)

このデバイスにはデジタル スペクトラム拡散機能があり、広い周波数範囲にわたって電源の EMI を低減します。スペクトラム拡散は、I2C から設定可能な SPREAD\_SPECTRUM ビット、設定によって有効化します。スペクトラム拡散が有効になると、内部変調器が内部クロックをディザリングします。SYNCIN ピンで印加される外部クロックを使用するようにデバイスを構成している場合、内部スペクトラム拡散は無効化されます。DRSS 機能は、低周波数の三角波変調プロファイルと、高周波数のサイクル単位のランダム変調プロファイルを組み合わせたものです。低周波数の三角波変調は低い無線周波数帯域 (AM 帯域など) で性能を向上させ、高周波のランダム変調は高い無線周波数帯域 (FM 帯域など) で性能を向上させます。さらに、可聴音が発生する可能性を低減するために、三角波変調の周波数がさらにランダムに変調されます。スペクトラム拡散により発生する出力電圧リップルを最小限に抑えるため、ディザリングが有効な場合は、デューティサイクルをサイクル単位で調整し、ほぼ一定に維持します。

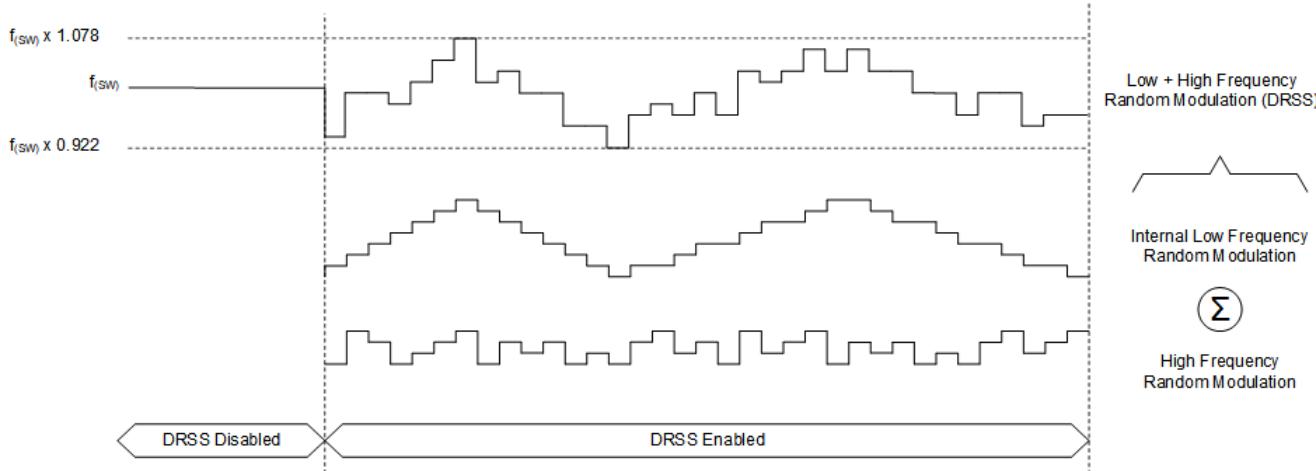


図 6-7. デュアルランダムスペクトラム拡散

### 6.3.6 動作モード(バイパス、DEM、FPWM)

このデバイスは、バイパスモード、強制PWM(FPWM)、ダイオードエミュレーションモード(DEM)動作をサポートしています。このモードは動作中に変更でき、MODEピンのまたはI<sub>2</sub>Cプログラミング(OPTION\_MODEビット)により設定されます。 $V_{OUT} < V_I$ の場合、バイパスモードが自動的に有効になります。デバイスの動作モードは、 $V_{MODE} < 0.4V$ の場合はDEMに、 $V_{MODE} > 1.2V$ の場合はFPWMに設定されます。

表 6-3. MODE ピンの設定

動作モード	MODE ピン
DEM	$V_{MODE} < 0.4V$
FPWM	$V_{MODE} > 1.2V$

ダイオードエミュレーションモード(DEM)では、 $V_{OUT}$ から $V_I$ に電流が流れるのを防ぎます。ハイサイドのオンタイム中にSWピンの電圧が監視され、ゼロ電流検出スレッショルド $V_{ZCD}$ を下回ると、ハイサイドスイッチがオフになります。このデバイスは軽負荷時には不連続導通モード(DCM)で動作し、最後にパルスをスキップして軽負荷時の効率を向上させます。DEM動作では、COMPが標準460mVを下回ると、コントローラはパルスをスキップし始めます。スキップエントリーポイントは、入力電流については式式5を使用し、出力電流については式式6を使用して計算。

$$I_{I\_skip} = \frac{1.5\mu \times \frac{V_I}{L}}{0.48 \times \frac{f_{SW}}{40K} + 250\mu \times R_{SNS} \times \frac{V_I}{L}} \quad (5)$$

$$I_{OUT\_skip} = \frac{\frac{V_I}{V_{OUT}} \times \frac{V_I}{L} \times 1.5\mu}{0.48 \times \frac{f_{SW}}{40K} + 250\mu \times R_{SNS} \times \frac{V_I}{L}} \quad (6)$$

強制パルス変調モード(FPWM)では、コンバータは連続導通モード(CCM)で、固定周波数によって軽負荷時にもスイッチングを継続します。このモードでは、軽負荷の過渡応答が改善されます。

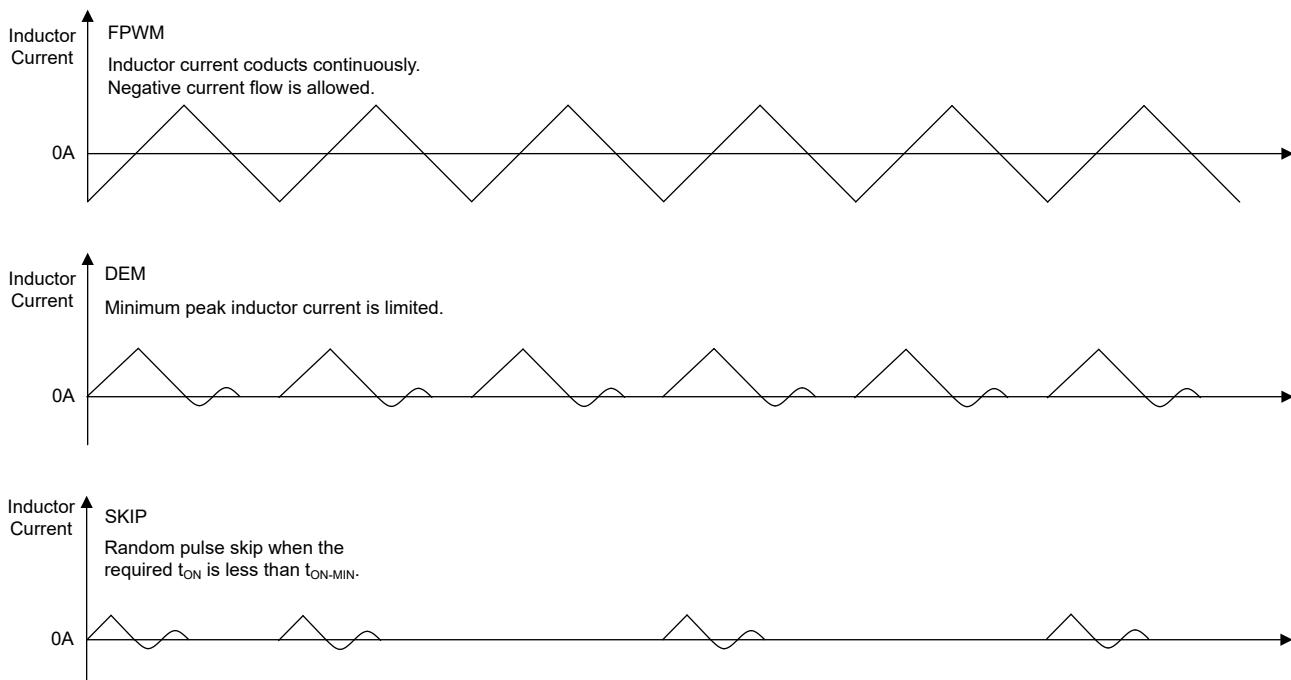


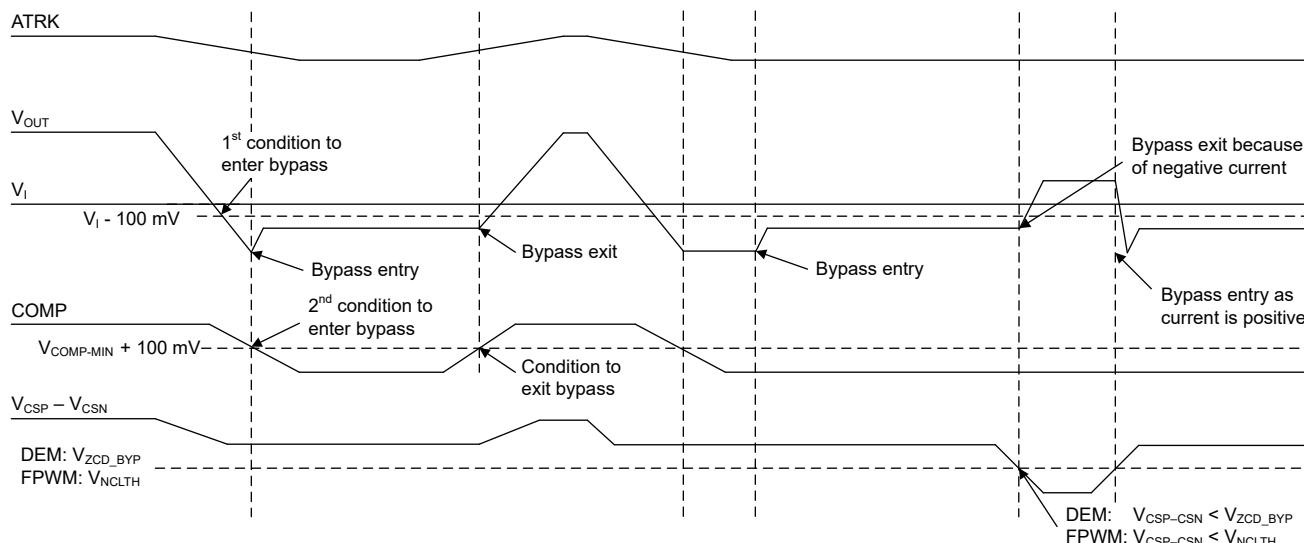
図 6-8. 各種動作モードにおけるインダクタ電流波形。

バイパスモード(BYPASS)では、ハイサイドFETをオンにすることで、 $V_I$ を $V_{OUT}$ (レギュレーションなし)に接続します。DEM 設定では $V_{OUT}$ から $V_I$ への電流の流れが防止され、FPWM 設定では $V_{NCLTH}$ に制限されているため、 $V_I$ から $V_{OUT}$ に流れる正電流は制御できません。内蔵チャージポンプは HO-SWにおいて最小 3.75V の電圧を供給し、55 $\mu$ A ( $I_{CP}$ ) を駆動できます。MOSFET ゲートプルダウン抵抗を使用する場合、チャージポンプが MOSFET とプルダウン抵抗のリーク電流を駆動できるようにしてください。チャージポンプが過負荷になると、 $V_{HB-UVLO}$  ゲート電圧の最小値を維持するために、本デバイスはスイッチングを開始します。

表バイパスモードの開始、終了の条件が満たされると、本デバイスはバイパスモードに移行して終了します。

**表 6-4. バイパスモードの開始、終了**

動作モード	バイパス	条件
DEM/FPWM	開始	$V_{OUT} < V_I - 100\text{mV}$ および $V_{COMP} < V_{COMP-MIN} + 100\text{mV}$
DEM	終了	$V_{COMP} > V_{COMP-MIN} + 100\text{mV}$ または $V_{CSP} - V_{CSN} < V_{ZCD\_BYP}$
FPWM	終了	$V_{COMP} > V_{COMP-MIN} + 100\text{mV}$ または $V_{CSP} - V_{CSN} < V_{NCLTH}$



**図 6-9. バイパスモードの開始、終了**

### 6.3.7 VCC レギュレータ、BIAS (BIAS ピン、VCC ピン)

ゲートドライバは、内部の 5V VCC レギュレータから電力供給されます。VCC レギュレータは、 $V_{BIAS} > V_{BIAS-RISING}$  の場合は BIAS ピンから電力を供給され、最大 42V をサポートし、 $V_{BIAS} < V_{BIAS-FALLING}$  の場合は VOUT ピンから電源を供給されます。リファレンスシステムは BIAS ピンから永続的な電力を供給され、電圧が 2V 未満の場合にシャットダウンできるため、BIAS ピンは 2.5V 以上の電圧(例:  $V_I$  または 5V)に接続します。推奨される VCC コンデンサの値は 4.7 $\mu$ F です。

内蔵の電流制限機能により、VCC の過負荷時、または VCC ピンがグランドに短絡したときにデバイスの損傷を防止します。VCC は、100mA ( $I_{VCC-CL}$ ) までの電圧を供給できます。外部 MOSFET で消費される VCC 電流は、式 7 で計算できます。

$$I_{VCC} = 2 \times Q_{G@5V} \times f_{SW} \quad (7)$$

ここで、

- $Q_{G@5V}$  は 5V のゲートソース電圧における MOSFET ゲート電荷です。

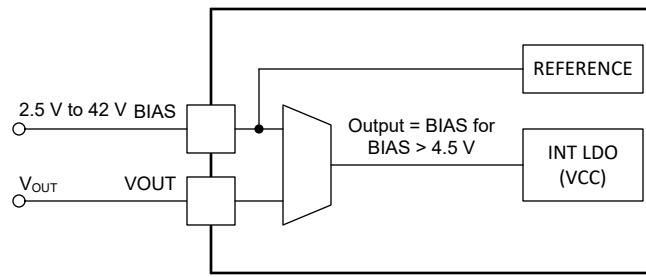


図 6-10. その場でのバイアス電源の選択

### 6.3.8 ソフトスタート(SS ピン)

START 状態 ([機能状態図](#) を参照) での起動時に、デバイスは SS ピン電圧または ATRK/DTRK ピン電圧のいずれか低い方に合わせてエラー アンプのリファレンス電圧を調整します。安定化リファレンスにより、出力電圧  $V_{OUT}$  が次第に上昇します。ソフトスタート中、デバイスは、ソフトスタート完了信号が生成されるまで、強制的にダイオード エミュレーション モード (DEM) を実行します。

外部ソフトスタートコンデンサは、まず  $V_{SS-DIS}$  電圧まで放電され、次に  $I_{SS}$  電流によって充電され、 $V_{SS-DONE}$  に達したときにソフトスタート完了信号が生成されます。昇圧トポロジでは、スタートアップ時に  $V_{OUT}$  が  $V_I$  と等しいため、ソフトスタート時間 ( $t_{SS}$ ) は入力電源電圧によって変化します。[ソフトスタート](#)の図では、 $t_1$  の時点でソフトスタート電流が作動します。 $t_2$  の時点で、ソフトスタート電圧は  $V_I$  電圧レベルに達し、 $V_{OUT}$  が  $t_3$  のプログラムされた  $V_{OUT}$  値に達するまで、 $V_{OUT}$  の上昇を開始します。 $SS$  ピンの電圧が  $V_{SS-DONE}$  に達すると、ソフトスタート完了信号が  $t_4$  に生成されます。 $V_{VCC}$  に達するまで、 $SS$  ピンの電圧は上昇を続け、ここでソフトスタート電流が無効になります。

$$t_{SS\_t1\_t4} = 2.2 \times \frac{C_{SS}}{I_{SS}} \quad (8)$$

$$t_{SS\_t2\_t3} = \frac{C_{SS}}{I_{SS}} \times \frac{V_{OUT} - V_I}{30} \quad (9)$$

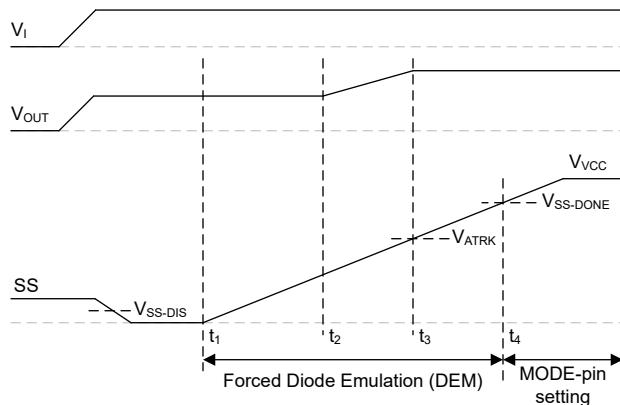


図 6-11. ソフトスタート

### 6.3.9 $V_{OUT}$ のプログラミング( $V_{OUT}$ , $ATRK$ , $DTRK$ )

出力電圧  $V_{OUT}$  は  $V_{OUT}$  ピンで検出されます。 $V_{OUT}$  は、I<sub>C</sub> を使用して 6V~60V の範囲でプログラミングします。10kΩ を 100kΩ 抵抗と  $ATRK/DTRK$  ピンに接続し、0.2V~2V の電圧または 8%~80% のデューティ サイクルの範囲のデジタル信号を印加します。 $V_{OUT}$  ビットは、出力電圧を 1V ステップで設定するか、 $ATRK/DTRK$  ピンを基準として選択します。起動時の STANDBY 状態 ([機能状態図](#)) 時に、 $ATRK/DTRK$  ピンのプログラミング方式のアナログ信号またはデジタル信号が検出されます。START 状態への遷移時に、 $ATRK/DTRK$  ピンのプログラミング方式はラッチされ、動作中の変更ができなくなります。プログラミング方式がラッチされる前に、 $DTRK$  信号を検出できるよう、 $DTRK$  信号は少なくとも 3 サイクル存在するようにします。 $ATRK$  は最大 10kHz の信号をサポートしますが、 $V_{OUT}$  が追従できるように  $ATRK$

ピンの電圧または DTRK のデューティサイクルの変更は十分に遅くする必要があります。ATRK/DTRK ピンの設定基準電圧がコンバータの帯域幅よりも高速に変化した場合、勾配補償が安定するまで、インダクタ電流はピーク電流制限を超えます。インダクタのピーク電流オーバーシュートは 90mV CSP - CSN センス抵抗電圧に制限されます。このデバイスは、ATRK < 0.2V または ATRK > 2V に対しても V<sub>OUT</sub> の調整を試みますが、性能は持続できません。抵抗による V<sub>OUT</sub> プログラミングのために、CFG 設定で 20μA の電流を有効にします。20μA の電流は ATRK ピン経由でソースされ、目標の V<sub>OUT</sub> 電圧に必要な ATRK 電圧を外付け抵抗により生成します。アナログトラッキング (ATRK) またはデジタルトラッキング (DTRK) の場合、TI では 20μA の電流を無効化することを推奨します。

抵抗で V<sub>OUT</sub> をプログラミングする式:

$$R_{ATRK} = \frac{V_{OUT}}{6V} \times 10 k\Omega \quad (10)$$

電圧 (ATRK) で V<sub>OUT</sub> をプログラミングする式:

$$V_{OUT} = V_{ATRK} \times 30 \quad (11)$$

デジタル信号 (DTRK) で V<sub>OUT</sub> をプログラミングする式:

$$V_{OUT} = 0.75 \frac{V}{\%} \times \text{Duty Cycle} \quad (12)$$

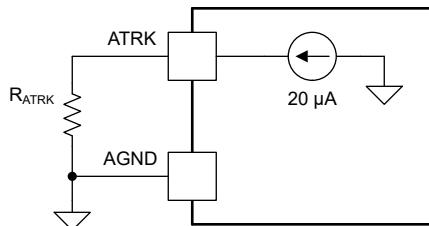


図 6-12. 抵抗による V<sub>OUT</sub> のプログラミング

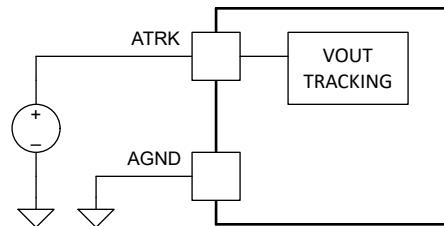


図 6-13. アナログ電圧による V<sub>OUT</sub> のトラッキング

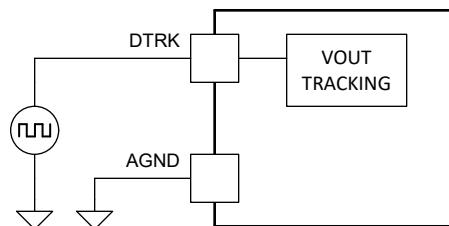


図 6-14. デジタル信号による V<sub>OUT</sub> のトラッキング

### 6.3.10 保護

次の保護機能が実装されています。図 6-15 は、機能状態図 のどの状態でどの保護がアクティブになっているかを示します。保護は、同じグレー シェーディングを持つ灰色の影付きの状態でアクティブになります。たとえば、TSD はサーマルシャットダウン状態を含むスタンバイ状態でアクティブになりますが、フォルト状態ではアクティブになりません。

- 過熱時にデバイスをオフにするサーマルシャットダウン (TSD)。
- 低電圧誤動作防止 (UVLO) により、電源電圧が低いときにデバイスをオフにします。
- VCC 低電圧誤動作防止 (VCC UVLO) により、ローサイドゲートドライバ電圧が低すぎることを回避。VCC が回復するまで、デバイスはスイッチングを停止します。
- HB 低電圧誤動作防止 (HB UVLO) により、ハイサイドゲートドライバ電圧の過度の低下を回避します。本デバイスはリフレッシュパルスを開始します (ヒップモードのオフ時間は 512 サイクル)。詳しくは、MOSFET ドライバ、内蔵ブートダイオード、ヒップモードのフォルト保護 (LO, HO, HB ピン) を参照してください。

- 過電圧保護 (OVP)、トリガが発生すると、 $V_{OUT}$  が目標値に戻るまで、デバイスはスイッチングを停止します。2つのOVPが実装されています。
  - $OVP_{max}$  は、プログラマブル絶対値(通常は 64V、50V、35V、28.5V)です。トリガされると、デバイスはスイッチングを停止してフォルト状態 ( $OVP\_MAX\_LATCH = 1$ ) に遷移するか、または  $V_{OUT}$  が目標値に戻る ( $OVP\_MAX\_LATCH = 0$ ) までスイッチングを停止します。
  - OVP がトリガされ、 $V_{OUT}$  がプログラムされた値の 110% になるとトリガされます。トリガが発生すると、 $V_{OUT}$  が目標値に戻るまで、デバイスはスイッチングを停止します。
- 低電圧保護 (UVP)、トリガされると、デバイスは動作を継続しますが、nFAULT ピンは Low にプルされます。
- ピーク電流制限 (PCL) により、スイッチ電流を制限します。詳しくは、[電流センス設定とスイッチ ピーク電流制限 \(CSPL, CSN\)](#) を参照してください。
- 入力電流制限 (ICL)、ピークスイッチ電流をピーク電流制限の 120% に制限します。この保護は、 $I_{CL\_LATCH}$  プログラミングによりイネーブル / ディセーブルになります。
- 平均入力電流制限 (ILIM) により、平均入力電流を  $R_{ILIM}$  でプログラムされた値に制限します。詳しくは、[入力電流制限および監視 \(ILIM, IMON, DLY\)](#) を参照してください。

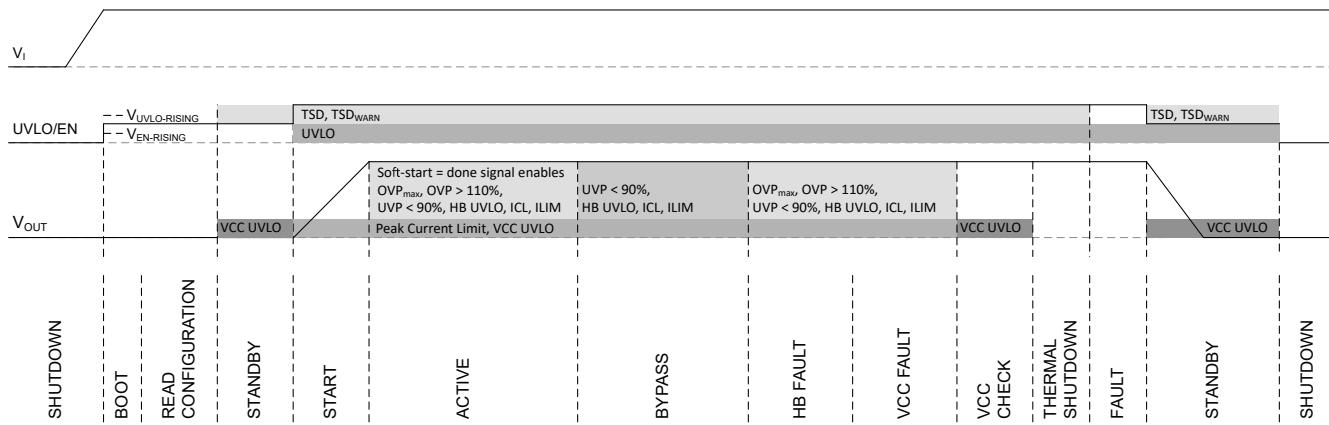


図 6-15. 保護素子

### 6.3.10.1 $V_{OUT}$ 過電圧保護 (OVP)

過電圧保護 (OVP) は、2つのスレッショルドを使用して  $V_{OUT}$  ピンを監視します。I2C プログラマブルスレッショルド  $V_{OVP\_max-H}$  により、 $V_{OUT}$  を 64V、50V、35V、または 28.5V に制限し、 $V_{OVP-H}$  スレッショルドにより、プログラムされた  $V_{OUT}$  をプログラムされた電圧の 110% に制限します。BYPASS 状態では、110%  $V_{OVP-H}$  の検出は無効化されますが、 $V_{OVP\_max-H}$  はアクティブになります。

$V_{OUT}$  が  $V_{OVP-H}$  スレッショルドを上回ると(バイパス中はアクティブではない)、ローサイドドライバはオフに、ハイサイドドライバはオンになります。 $V_i$  から  $V_{OUT}$  への電流が CSP - CSN を介して監視される場合、 $V_i$  から  $V_{OUT}$  に電流が流れるようになります。 $V_i$  から  $V_{OUT}$  の電流がゼロまたは負になると、ハイサイドドライバはオフになり、 $V_{OUT}$  から  $V_i$  に電流が流れるのを防止します。 $V_{OUT}$  が  $V_{OVP\_max-L}$  または  $V_{OVP-L}$  スレッショルドを下回ると、デバイスは通常動作を継続します。

I2C プログラム可能な  $OVP\_MAX\_LATCH$  ビットは、 $V_{OUT}$  が  $V_{OVP\_max-H}$  スレッショルドを上回ったときのデバイスの動作を設定します。 $OVP\_MAX\_LATCH = 0$  のとき、デバイスは  $V_{OVP-H}$  のトリガのように動作し、 $OVP\_MAX\_LATCH = 1$  の場合、ドライバはオフになり、デバイスは FAULT 状態に移行します。 $OVP\_MAX\_LATCH = 1a$  のとき、 $OVP_{max}$  がトリガされると、デバイスを再起動するにはパワー サイクルか  $UVLO/EN$  ピンのトグルが必要です。

110%  $V_{OVP-H}$  と、90%  $V_{UVP}$  機能は、DVS (I2C  $V_{OUT}$  の再プログラミング) 中に無効化されます。

### 6.3.10.2 サーマルシャットダウン (TSD)

内部サーマルシャットダウン (TSD) は、接合部温度 ( $T_J$ ) が  $T_{TSD-RISING}$  スレッショルドを超えると、MOSFET ドライバと VCC レギュレータを無効にすることで、デバイスを保護します。接合部温度 ( $T_J$ ) が  $T_{TSD-HYS}$  ヒステリシスによって低下した後、デバイスは [機能状態図](#) に従って動作を継続します。

デバイスがサーマルシャットダウン動作温度に近づくと、サーマルシャットダウン警告フラグが設定されます（レジスタステータスバイト（0x5）を参照）。

### 6.3.11 フォルトインジケータ（nFAULT ピン）

このデバイスは、フォルトインジケータ（nFAULT ピン）を備えており、シーケンシングと監視を簡素化できます。nFAULT はオープンドレイン出力で、プルアップ抵抗を外部に接続できます。VOUT ピンの電圧が  $V_{UVP-H}$  スレッショルドより高い場合、nFAULT スイッチがオープンになります。nFAULT は次の条件で Low にプルされます。

- VOUT ピンの電圧は、 $V_{OUT}$  立ち下がり低電圧スレッショルド  $V_{UVP-L}$  を下回っています。
- VOUT ピンの電圧は  $110\% V_{OVP\_H}$  またはプログラムされた  $V_{OVP\_max\_H}$  立ち上がりスレッショルドを上回っており、nFAULT<sub>OVP</sub> 機能が有効になっています。nFAULT<sub>OVP</sub> 機能が無効化されている場合、OVP イベントで nFAULT は Low にプルされません。
- デバイスはシャットダウン状態にあり、 $V_{BIAS}$  が約 1.7V を上回ります（機能状態図を参照）。
- EN/UVLO ピンの電圧は、低電圧誤動作防止スレッショルド電圧  $V_{UVLO-FALLING}$  を下回っています。
- VCC レギュレータの電圧 VCC は、低電圧誤動作防止スレッショルド  $V_{VCC-UVLO-FALLING}$  を下回っています。
- サーマルシャットダウンがトリガされます（機能状態図を参照）。
- 加熱警告がトリガされています。
- HB ピンの電圧が  $V_{HB}$  立ち下がり  $V_{HB-UVLO}$  スレッショルドを下回り、ブートリフレッシュは 512 サイクルのヒップモードオフ時間に入ります（MOSFET ドライバ、内蔵ブートダイオード、ヒップモードのフォルト保護（LO、HO、HB ピン）を参照）。nFAULT はヒップモード時間のみ Low にプルされます。
- スイッチのピーク電流制限を 20% 超え、ICL<sub>latch</sub> 機能が有効になっています。
- OTP メモリ故障が発生しました（CRC エラー）。

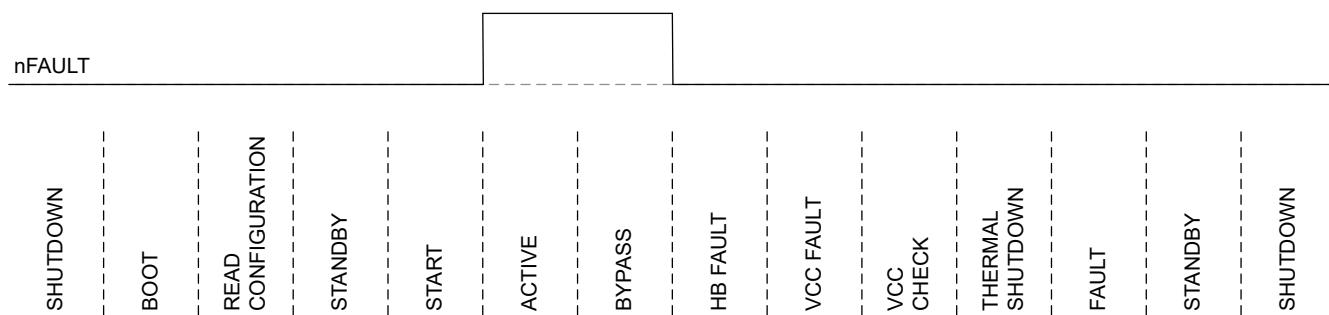


図 6-16. すべてのデバイス状態の nFAULT ステータス

### 6.3.12 勾配補償（CSP、CSN）

電流センスアンプのゲインは 10 (ACS) であり、勾配補償ランプを内蔵することにより、高いデューティサイクルでのサブハーモニック発振を防止できます。補償ランプの勾配は、検出されるインダクタ電流の立ち下がり勾配の半分を上回る必要があります。これは、式 13 でのマージン入力が 1 より大きい場合に満たされます。

$$\frac{V_{OUT} - V_I}{2 \times L} \times R_{SNS} \times Margin < V_{SLOPE} \times f_{SW} \quad (13)$$

### 6.3.13 電流センス設定とスイッチピーク電流制限（CSP、CSN）

ピーク電流制限は、センス抵抗  $R_{SNS}$  で設定されます。正のピーク電流制限は、CSP – CSN がスレッショルド  $V_{CLTH}$ （標準値  $60\text{mV}$ ）に達したときにアクティブになります。負のピーク電流制限は、 $V_{NCLTH}$ （標準値  $-28\text{mV}$ ）に達するとアクティブになります。図 6-17 の  $R_1$  と  $R_2$  は  $0\Omega$ 、 $R_3$  はオープンです。

$$R_{SNS} = \frac{I_{peak\_lim}}{V_{CLTH}} \quad (14)$$

ピーク電流制限は、抵抗  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  を追加することで調整します。抵抗  $R_1$  と  $R_2$  は同じ値にする必要があります。CS アンプは CSP ピンから供給されるため、 $1\Omega$  未満の抵抗を選択する必要があります。 $R_3$  は、 $1\Omega \sim 20\Omega$  の範囲で選択します。

$$I_{peak\_lim} = \left( \frac{R_1 + R_2}{R_3} + 1 \right) \times \frac{V_{CLTH}}{RSNS} \quad (15)$$

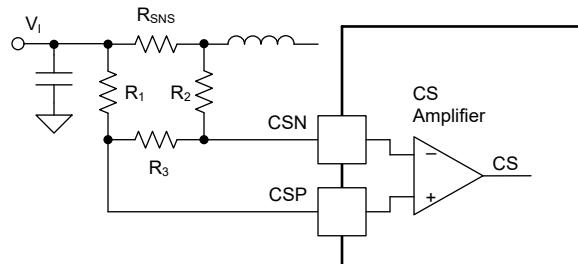


図 6-17. 追加の抵抗によりピーク制限を調整できます

負のピーク電流制限は通常 -28mV であり、負の電流がすでに COMP ピンの電圧によって制限されているため、通常はその値には達しません。 $V_{COMP}$  は標準 200mV でクランプされるため、-20mV 程度のセンス電圧でスイッチ電流が制限されます。

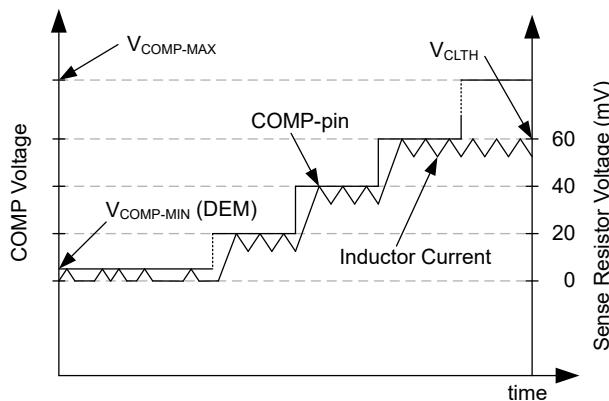


図 6-18. COMP ピンおよびセンス抵抗電圧によるスイッチ電流の制限 (DEM)

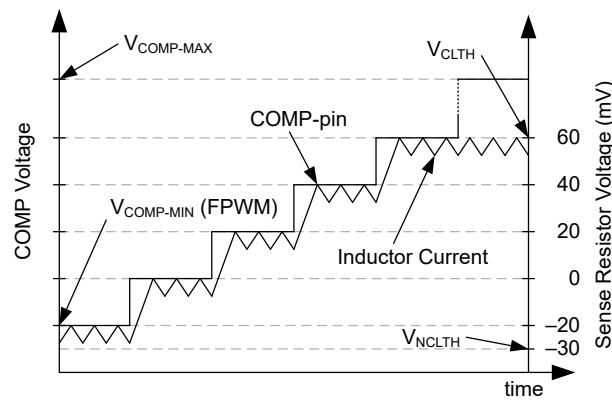


図 6-19. COMP ピンおよびセンス抵抗電圧によるスイッチ電流の制限 (FPWM)

#### 6.3.14 入力電流制限および監視 (ILIM、IMON、DLY)

**IMON** ピンで平均  $V_I$  入力電流を監視します。平均感知入力電流で **IMON** ピンにソース電流を生成します。これは、抵抗  $R_{IMON}$  によって電圧に変換されます。その結果として得られる電圧  $V_{IMON}$  は式 17 に従って、必要な抵抗  $R_{IMON}$  は式 16 に従って計算されます。 $V_{IMON}$  は最大 3V を調整でき、絶対最大値に達しないように自己保護機能が働いています。

$$R_{IMON} = \frac{V_{IMON}}{R_{SNS} \times I_{IN} \times G_{IMON} + I_{OFFSET}} \quad (16)$$

$$V_{IMON} = (R_{SNS} \times I_{IN} \times G_{IMON} + I_{OFFSET}) \times R_{IMON} \quad (17)$$

$R_{SNS}$  はセンス抵抗です。 $I_{IN}$  は入力電流、 $G_{IMON}$  は相互コンダクタンス ゲイン、 $I_{OFFSET}$  は電気的特性表に記載されているオフセット電流です。

平均入力電流は、ILIM ピンに接続される適切な抵抗を選択することで制限します。入力電流制限がアクティブなときには、設定された平均入力電流制限に達するまで、V<sub>OUT</sub> がレギュレートされます。V<sub>OUT</sub> が V<sub>I</sub> 電圧よりも低い値にレギュレートされている場合は、電流はもはや制限できません。DLY ピンコンデンサ C<sub>DLY</sub> は、平均入力電流制限をアクティブおよび非アクティブにするための追加の遅延時間 t<sub>DLY</sub> を追加します（平均電流制限を参照）。ILIM ピンの電圧がスレッショルド V<sub>ILIM</sub>（標準値 1V）に達すると、ソース電流 I<sub>DLY</sub> がアクティブになり、DLY ピンのコンデンサ C<sub>DLY</sub> を充電します。DLY ピンの電圧 V<sub>DLY</sub> は、V<sub>DLY\_peak\_rise</sub> に達するまで上昇し、それによって平均入力電流制限がアクティブになります。ILIM ピンの電圧は V<sub>ILIM</sub> に調整され、入力電流は R<sub>ILIM</sub> で設定された平均入力電流制限まで低下するため、V<sub>OUT</sub> の電圧降下が生じます。平均電流制限レギュレーションを終了するには、出力負荷が低下する必要があります。これにより、V<sub>OUT</sub> が上昇し、V<sub>ILIM</sub> が V<sub>ILIM\_reset</sub>（標準値 0.88V）を下回ります。V<sub>ILIM\_reset</sub> はシンク電流 I<sub>DLY</sub> を有効にして、DLY ピンコンデンサ C<sub>DLY</sub> を放電します。V<sub>DLY</sub> が V<sub>DLY\_peak\_fall</sub> に達すると、平均入力電流制限が無効化され、DLY ピンは V<sub>DLY\_valley</sub> まで放電されます。必要な抵抗値 R<sub>ILIM</sub> は式 18 に、コンデンサ値 C<sub>DLY</sub> は式 20 に従って算出します。

$$R_{ILIM} = \frac{1V}{R_{SNS} \times I_{IN\_LIM} \times G_{IMON} + I_{OFFSET}} \quad (18)$$

$$t_{DLY} = \frac{2.6 \times C_{DLY}}{5 \times 10^{-6}} \quad (19)$$

$$C_{DLY} = t_{DLY} \times \frac{5 \times 10^{-6}}{2.6} \quad (20)$$

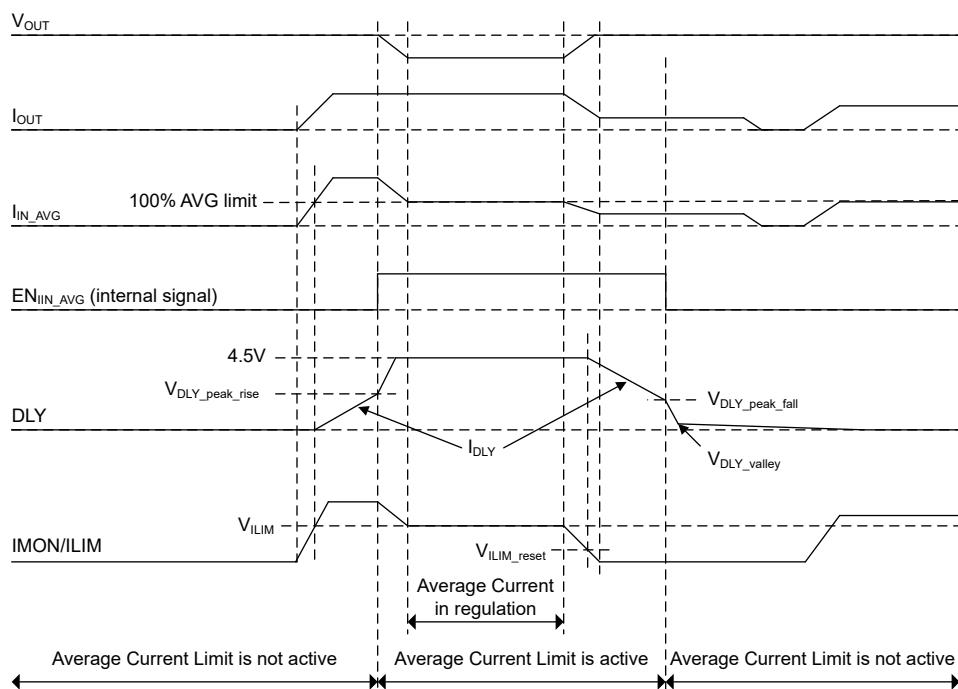


図 6-20. 平均電流制限

DLY ピンに接続されたコンデンサによって一定の遅延が付加されますが、R<sub>ILIM</sub> 抵抗と並列に RC タンクを ILIM/IMON ピンへ追加することで V<sub>OUT</sub> 負荷に依存した遅延をさらに付加することができます。RC タンク抵抗 R<sub>C\_IMON</sub> は、式 21 に、コンデンサ C<sub>IMON</sub> は式 22 に従って算出します。

$$R_{C\_IMON} = \frac{1}{20\pi \times C_{IMON}} \quad (21)$$

$$C_{IMON} = \frac{t_{delay}}{R_{IMON} \times \ln\left(\frac{R_{IMON} \times I_{MON} - V_{IMON\_0A}}{R_{IMON} \times I_{MON} - V_{ILIM}}\right)} \quad (22)$$

### 6.3.15 最大デューティ サイクルと最小の制御可能なオン時間の制限

抵抗性素子による理想的でない要因をカバーするため、最大デューティ サイクル制限  $D_{MAX}$  と最小の強制オフ時間が実装されています。CCM 動作では、プログラムされた出力電圧  $V_{OUT}$  についてサポートされる最小入力電圧  $V_{I\_MIN}$  は、最大デューティ サイクル  $D_{MAX}$  によって定義されます (式 23 を参照)。DEM 動作では、最小入力電圧  $V_{I\_MIN}$  は  $D_{MAX}$  によって制限されません。

$$V_{I\_MIN} \approx V_{OUT} \times (1 - D_{MAX}) + I_{I\_MAX} \times (R_{DCR} + R_{SENSExx} + R_{DS(ON)}) \quad (23)$$

ここで、

- $I_{I\_MAX}$  は、最小入力電圧  $V_{I\_MIN}$  での最大入力電流です
- $R_{DCR}$  はインダクタの DC 抵抗
- $R_{SENSExx}$  はセンス抵抗の抵抗値
- $R_{DS(ON)}$  は MOSFET のオン抵抗

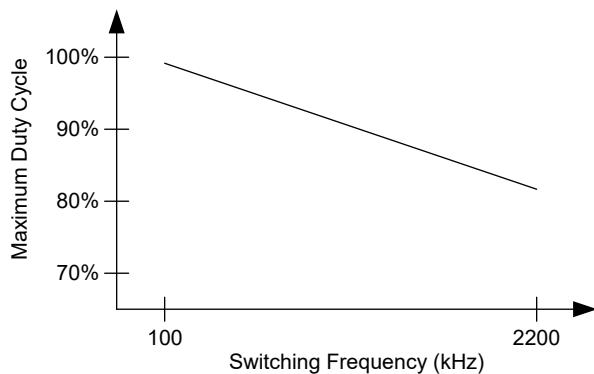


図 6-21. スイッチング周波数と最大デューティ サイクルとの関係

非常に軽い負荷条件、または  $V_I$  が  $V_{OUT}$  に近い場合、 $V_{OUT}$  暴走を回避するために必要なオン時間が  $t_{ON-MIN}$  より短い場合、デバイスはローサイド ドライバのパルスをスキップします。このパルス スキップは、ランダムな動作のように見えます。 $V_I$  が  $V_{OUT}$  よりもさらに高い電圧まで上昇すると、必要なオン時間は 0 になり、最終的にデバイスはバイパス動作に移行します。このモードでは、ハイサイド ドライバが 100% オンになります。

### 6.3.16 信号のグリッヂ除去の概要

以下の画像は信号のグリッヂ除去を示しています。すべての信号について、同じグリッヂ除去時間で、立ち上がりエッジと立ち下がりエッジのグリッヂ除去が行われます。

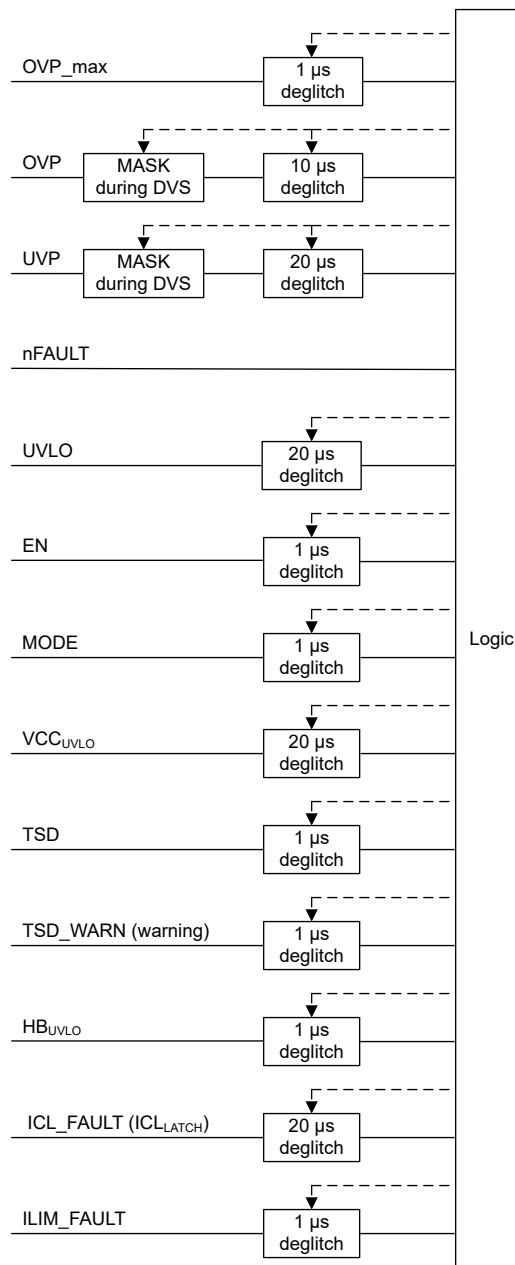


図 6-22. 信号のグリッヂ除去

### 6.3.17 MOSFET ドライバ、内蔵ブートダイオード、ヒカップモードのフォルト保護(LO、HO、HB ピン)

このデバイスは、N チャネル ロジック MOSFET ドライバを内蔵しています。LO ドライバは VCC から、HO ドライバは HB から電力供給されます。SW ピンの電圧がローサイド MOSFET をオンにすることで約 0V になると、コンデンサ  $C_{HB}$  は内部ブートダイオードを経由して VCC から充電されます。 $C_{HB}$  に推奨される値は  $0.1\mu F$  です。シャットダウン中、ゲートドライバの出力はハイインピーダンスになります。

LO と HO の出力はアダプティブ デッドタイム手法により制御され、両方の出力が同時にオンにならないようになっているため、貫通電流を防止できます。デバイスが LO をオンにすると、適応型デッドタイム ロジックは HO をオフにし、HO - SW 電圧が標準値の  $1.5V$  を下回るまで待機します。その後、短くてプログラム可能なデッドタイム遅延  $t_{DHL}$  の後、LO がオンになります。また、LO - PGND 電圧が標準  $1.5V$  を下回るまで、HO ドライバのターンオンは遅延されます。その後、同じプログラム可能なデッドタイム遅延  $t_{DLH}$  の後で HO がオンになります。

ドライバの出力電圧が、スタートアップ時に MOSFET のゲート プラトー電圧よりも低い場合、コンバータが正しくスタートアップせず、最大デューティサイクルで高い消費電力の状態のままになる可能性があります。この条件は、より低いスレッショルドの MOSFET を選択するか、BIAS ピン電圧が十分なときにデバイスをオンにすることで回避します。バイパス動作中、HO - SW の最小電圧は  $3.75V$  です。

ヒカップモードの故障保護は、 $V_{HB-UVLO}$  によってトリガれます。HB-SW の電圧が HB UVLO スレッショルド ( $V_{HB-UVLO}$ ) を下回ると、LO は  $75ns$  にわたって強制的にオンになり、昇圧コンデンサを再充電します。このデバイスでは、最大 4 つの連続した再充電スイッチングサイクルが可能です。最大 4 つの連続したブート再充電スイッチングサイクルの後で、デバイスは 12 サイクルにわたってスイッチングをスキップします。4 つの連続した再充電スイッチングが 4 セット行われた後に、デバイスが昇圧コンデンサを再充電できなかった場合、デバイスはスイッチングサイクルを停止し、ヒカップモードのオフ時間は 512 サイクルに移行します。ヒカップモードのオフ時間中、nFAULT = Low で、SS ピンは接地されています。

必要であれば、プルダウン PNP レジスタと並列にゲート抵抗を追加することで、スイッチングノード電圧のスルーレートを調整します。この抵抗は実効デッドタイムを短縮します。

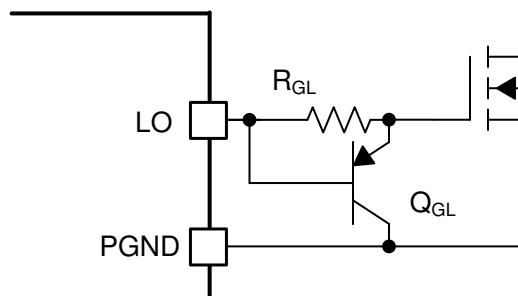


図 6-23. スルーレート制御

### 6.3.18 I2C 機能

I2C アドレスは表 6-1 に従って CFG ピンにより選択され、I2C 機能は以下のレジスタの説明に記載されています (LM51261A-Q1 のレジスタも参照)。I2C インターフェイスは、UVLO/EN ピン >  $V_{EN-RISING}$  の場合にアクティブになります。誤動作を回避するため、起動後にデバイスが START 状態に移行すると、CONFIGURATION 3 レジスタ 0x3 の構成設定 DEAD\_TIME および SINGLE\_DUAL は書き込み保護されます。他の設定は動作中に変更できます。

#### 6.3.18.1 レジスタ VOUT (0x0)

このレジスタは、出力電圧  $V_{OUT}$  を設定します。 $V_{OUT}$  は 1V ステップでプログラム可能であり、設定 0b000000 は 6V を、0b110110 は 60V を選択します。 $\geq 0b110111$  の設定では、ATRK/DTRK ピンを使用して  $V_{OUT}$  を設定します。ATRK/DTRK ピンが選択されている場合、「VOUT プログラミング」セクション  $V_{OUT}$  のプログラミング (VOUT, ATRK, DTRK) に従って  $V_{OUT}$  電圧がプログラムされます。

### 6.3.18.2 レジスタ構成 1 (0x1)

このレジスタは、I<sub>2</sub>C でプログラムされた場合に、OVP<sub>max</sub> レベル、nFAULT ピンがサーマル シヤットダウン警告信号を出すかどうか、ならびに出力電圧 V<sub>OUT</sub> のスルーレートを設定します。

OVP\_MAX ビットは、最大過電圧保護レベル ( $V_{OVP\_max}$ ) を設定します。

$V_{OVP\_max} = 0b00$  による設定 64V

$V_{OVP\_max} = 0b01$  による設定 50V

$V_{OVP\_max} = 0b10$  による設定 35V

$V_{OVP\_max} = 0b10$  による設定 28.5V

デバイスの温度がサーマル シヤットダウン温度に近づくと、過熱警告フラグが生成されます (レジスタ構成 3 (0x3) を参照)。nFAULT\_TWARN ビット = 0b1 のとき、過熱警告中 nFAULT ピンは Low プルされます。nFAULT\_TWARN ビット = 0b1 のとき、nFAULT ピンは過熱警告信号に応答しません。

動作中に出力電圧が I<sub>2</sub>C によって変更された際の大きな入力電流を防止するため、出力電圧はデジタル電圧スケーリング (DVS) によって 1V ステップで変化し、スルーレートをプログラム可能な V<sub>OUT\_SLEW</sub> ランプで新しい目標電圧まで上昇します (図 6-24 を参照)。電圧変化 (DVS) 中、110% の過電圧保護 ( $V_{OVP-H}$ ) および低電圧保護 ( $V_{UVP}$ ) はディセーブルになります。V<sub>OUT</sub> プログラミングが I<sub>2</sub>C の設定電圧と ATRK/DTRK ピンの間で切り替わる場合、V<sub>OUT</sub> 平滑化や制限はありません。

$V_{OUT\_SLEW} = 0b000$  による設定 スルーレート制御なし (DVS = ディセーブル)

$V_{OUT\_SLEW} = 0b001$  による設定 1V/100μs

$V_{OUT\_SLEW} = 0b010$  による設定 1V/200μs

$V_{OUT\_SLEW} = 0b011$  による設定 1V/400μs

$V_{OUT\_SLEW} = 0b100$  による設定 1V/800μs

$V_{OUT\_SLEW} = 0b101$  による設定 1V/1.6ms

$V_{OUT\_SLEW} = 0b110$  による設定 1V/3.2ms

$V_{OUT\_SLEW} = 0b111$  による設定 1V/6.4ms

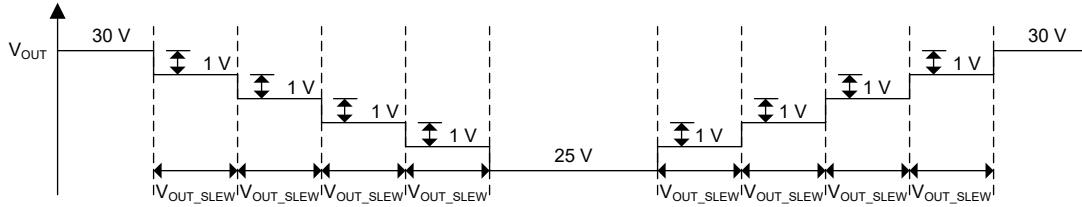


図 6-24.  $V_{OUT}$  プログラミングの例：30V から 25V へ、さらに 30V へ

### 6.3.18.3 レジスタ構成 2 (0x2)

このレジスタは、 $V_{OUT}$  が過電圧保護  $OVP_{max}$  に達したときの動作モード (DEM または FPWM)、および nFAULT ピンが過電圧イベント (OVP) を示すかどうかを設定します。またレジスタは、入力電流制限 (ICL) 保護およびスペクトラム拡散 (DRSS) を有効または無効にします。UVLO ビットは UVLO 機能を上書きし、ソフトスタートを開始される際の UVLO 立ち上がりスレッショルドを超えたかのようにデバイスを動作させます。

OVP_MAX_LATCH:	$OVP_{max}$ がトリガされた場合に、デバイスが組み込みの 1V ヒステリシスを使用してヒップアップ モードで動作するか [0b0]、またはデバイスが FAULT 状態に移行してラッチオフに維持されるか [0b1] を選択します。
OPERATION_MODE:	動作モードが MODE ピンで設定されるか [0b00]、MODE ピンが上書きされて DEM モードに設定されるか [0b01]、FPWM モードに設定されるか [0b10 または 11] を選択します。
nFAULT_OVP:	nFAULT ピンが過電圧 (OVP) に対しても応答するかどうかを選択します。イネーブル [0b1] のとき、 $V_{OUT}$ が OVP (過電圧保護) を上回るか、UV (低電圧) スレッショルドを下回ると、nFAULT ピンは low にプルされます。ディセーブル [0b0] のとき、nFAULT ピンは $V_{OUT}$ が UV (低電圧) スレッショルドを下回ったときのみ low にプルされます。
ICL_LATCH:	$I_{CL\_latch}$ がイネーブルで [0b1]、ピーク電流制限を 20% 超えると、デバイスは FAULT 状態に移行します (ターンオフしてラッチされます)。 $I_{CL\_latch}$ がディセーブルのとき [0b0]、デバイスはアクティブのままで、ピーク電流制限時にインダクタ電流を制限しようとします。
SPREAD_SPECTRUM	デュアルランダムスペクトラム拡散 (DRSS) によるクロック ディザリングを有効にするか [0b1] か、無効にするか [0b0] かを選択します。
UVLO	UVLO 機能の上書き [0b1] が選択されている場合、デバイスは UVLO/EN が UVLO 立ち上がりスレッショルドを上回っているかのように動作します。このビットを [0b0] に戻すと、UVLO 機能が再度有効になり、UVLO/EN ピンに制御が戻ります。

### 6.3.18.4 レジスタ構成 3 (0x3)

このレジスタは、サーマルシャットダウン警告のデルタ温度、ゲートドライバの最小デッド タイム、外部クロック信号を使用するかどうかを設定します。このレジスタは、デバイスをシングルまたはデュアル デバイス構成で使用するかも定義します。誤動作を回避するため、起動後に START 状態に入ると、DEAD\_TIME と SINGLE\_DUAL の設定は書き込み保護されます。

TSDW:	サーマルシャットダウン警告の設定。 $T_{TSD-RISING}$ についてデルタ温度を設定します。 [0b00]: 20°C [0b01]: 35°C [0b10]: 50°C [0b11]: 70°C
-------	---

ゲートドライバの最小デッド タイムを設定します。自動デッドタイム制御はすべての設定に対してアクティブです。

[0b000]: 14ns

[0b001]: 30ns

**DEAD\_TIME:**

[0b010]: 50ns

[0b011]: 75ns

[0b100]: 100ns

[0b101]: 125ns

[0b110]: 150ns

[0b111]: 200ns

デバイスがスタンダード アロンで動作するか、それとも内部クロックまたは外部クロックを使用してスタック構成で動作するかを定義します。

[0b000]: デバイスは、内部発振器を使用してスタンダード アロンで使用されます。

[0b001]: デバイスは、**SYNCIN** ピンに印加される外部クロック信号を使用してスタンダード アロンで使用されます。

[0b010]: デバイスは、クロックを **SYNCIN** ピン信号に同期するセカンダリ デバイスとして使用されます。

[0b011]: デバイスは、クロックを **SYNCIN** ピン信号に同期するセカンダリ デバイスとして使用されます。

**SINGLE\_DUAL:**

[0b100]: デバイスは、クロックを **SYNCIN** ピン信号に同期するセカンダリ デバイスとして使用されます。

[0b101]: デバイスは、クロックを **SYNCIN** ピン信号に同期するセカンダリ デバイスとして使用されます。

[0b110]: デバイスは、クロックを **SYNCIN** ピン信号に同期するセカンダリ デバイスとして使用されます。

[0b111]: デバイスは、クロックを **SYNCIN** ピン信号に同期するセカンダリ デバイスとして使用されます。

### 6.3.18.5 レジスタの動作状態 (0x4)

このレジスタは読み取り専用で、現在の FSM 動作状態を示します ([機能状態図](#))。

[0b0000]: スタンバイ

[0b0001]: START

[0b0010]: アクティブ DEM

[0b0011]: アクティブ FPWM

**状態:**

[0b0100]: バイパス

[0b0101]: HB フォルト

[0b0110]: VCC フォルト

[0b0111]: フォルト

[0b1000]: サーマル シャットダウン

[0b1001]: VCC チェック

### 6.3.18.6 レジスタ ステータス バイト (0x5)

このレジスタは読み取り専用で、デバイスのステータスを示します。[信号のグリッチ除去の概要](#)で説明されているグリッチ除去フィルタを信号が通過するときに、すべてのビットが設定され、ラッチされます。シングル ビットは、そのビットに「1」を書き込むことでリセットできます。すべてのビットをリセットするには、フォルトクリア レジスタ ([レジスタクリア フォルト \(0x6\)](#)) にアクセスするか、デバイスを再起動してリセットする必要があります。

CML:	通信、ロジック、メモリ エラー フラグ。このフォルト フラグは、メモリの CRC チェックサムが失敗した場合に設定されます。 [0b0]: フォルトなし [0b1]: フォルト
HB_FAULT:	このフォルト フラグは、ハイサイド ゲート ドライバ UVLO がトリガされると設定されます。 [0b0]: フォルトなし [0b1]: フォルト
ICL_FAULT	このフォルト フラグは、スイッチのピーク電流を 20% 超過したときに設定されます。 [0b0]: フォルトなし [0b1]: フォルト
ILIM_FAULT	このフォルト フラグは、平均入力電流制限がトリガされたときに設定されます。 [0b0]: フォルトなし [0b1]: フォルト
VOUT_OVP	このフォルト フラグは、VOUT が過電圧保護 (OVP) スレッショルドに達したときに設定されます。 [0b0]: フォルトなし [0b1]: フォルト
VOUT_UVP	このフォルト フラグは、VOUT が低電圧誤動作防止 (UVP) スレッショルドに達したときに設定されます。 [0b0]: フォルトなし [0b1]: フォルト
TSD	このフォルト フラグは、デバイスの接合部温度 $T_J$ が $T_{TSD\text{-RISING}}$ スレッショルドに達し、サーマル シャットダウンをトリガすると設定されます。 [0b0]: フォルトなし [0b1]: フォルト
TSD_WARN	この警告 フラグは、デバイスの接合部温度 $T_J$ がサーマル シャットダウン警告 $T_{SDW}$ スレッショルドに達すると設定されます。 [0b0]: 警告なし [0b1]: 警告

### 6.3.18.7 レジスタ クリア フォルト (0x6)

このレジスタは読み出し専用です。このレジスタにアクセスすると、ステータス バイト レジスタ 0x5 がリセットされ、ラッチされたステータス フラグがすべてクリアされます。

## 6.4 デバイスの機能モード

それぞれの動作モードを「機能状態図」(FSM)に示します。

- (1) : Does not include BOOT, READ CONFIGURATION, THERMAL SHUTDOWN, VCC CHECK, and FAULT state.  
 (2) : GND for  $V_{BAS}$  >1.7 V, HIZ for  $V_{BAS}$  <1.7 V.  
 (3) : ATRK/DTRK function (analog, digital) is detected during STANDBY state and latched at the transition to the START state.

|| : logic OR  
 & : logic AND  
 ! : logic NOT  
 TSD : Thermal Shutdown  
 ①②③: Priority

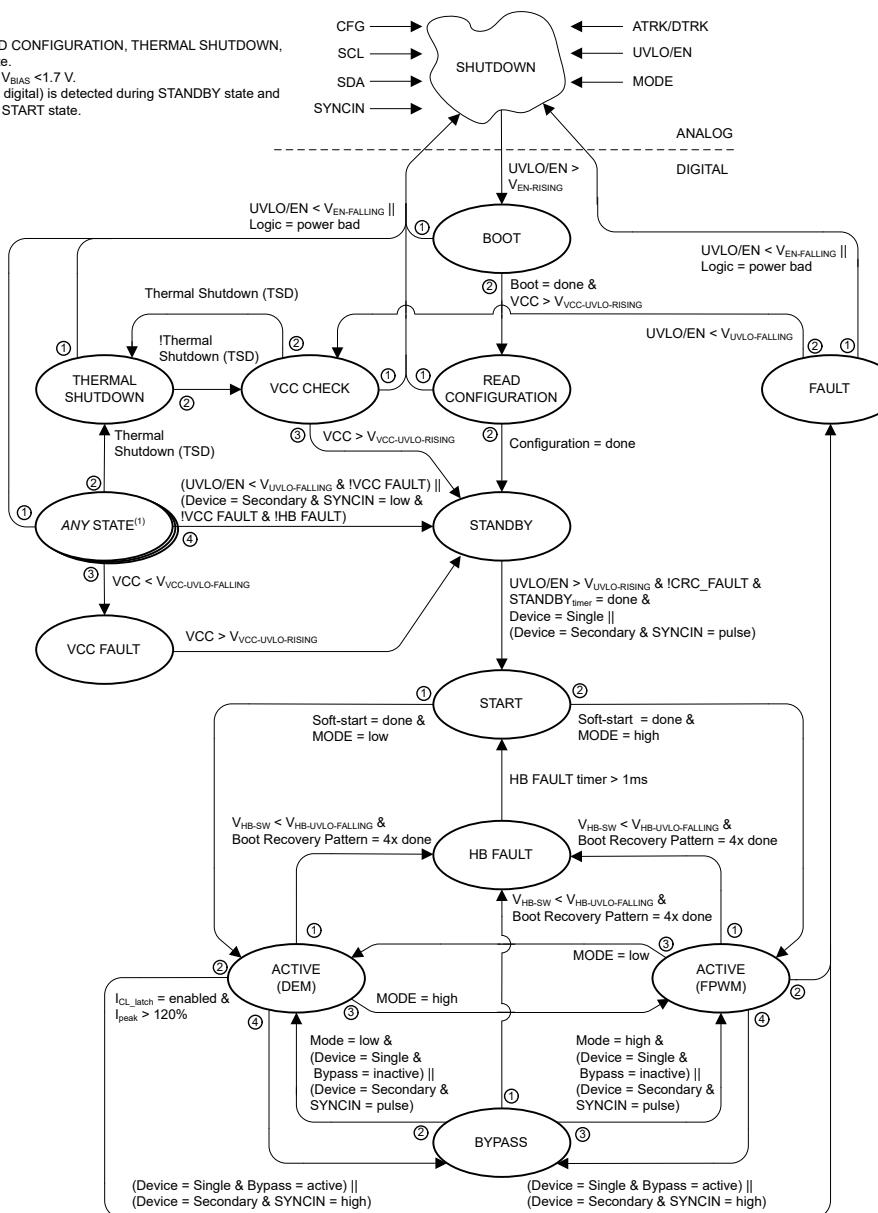
THERMAL SHUTDOWN	
Gate Driver	= OFF
VCC	= OFF
CFG	= OFF
nFAULT	= GND
STANDBY <sub>timer</sub>	= RESET
I2C	= ON

VCC CHECK	
Gate Driver	= OFF
VCC	= ON
CFG	= OFF
nFAULT	= GND
I2C	= ON

VCC FAULT	
Gate Driver	= ON
VCC	= ON
nFAULT	= GND
Operation Mode= no switching	
STANDBY <sub>timer</sub>	= ON
I2C	= ON

HB FAULT	
Gate Driver	= ON
VCC	= ON
nFAULT	= GND
Operation Mode= no switching	
HB FAULT timer = start	
I2C	= ON

BYPASS	
Gate Driver	= ON
VCC	= ON
nFAULT	= HIZ
Operation Mode	= BYPASS
I2C	= ON



SHUTDOWN	
Gate Driver	= OFF
VCC	= OFF
CFG	= RESET
nFAULT	= GND <sup>(2)</sup>
I2C	= OFF

BOOT	
Read OTP	= ON
Gate Driver	= OFF
VCC	= ON
CFG	= OFF
nFAULT	= GND
I2C	= OFF

READ CONFIGURATION	
Read OTP	= OFF
Gate Driver	= OFF
VCC	= ON
CFG	= READ
nFAULT	= GND
STANDBY <sub>timer</sub>	= RESET
I2C	= OFF

FAULT	
Gate Driver	= OFF
VCC	= OFF
nFAULT	= GND
STANDBY <sub>timer</sub>	= RESET
I2C	= ON

STANDBY	
Gate Driver	= ON
VCC	= ON
CFG	= OFF
nFAULT	= GND
Operation Mode= no switching	
ATRK/DTRK Mode= detect <sup>(3)</sup>	
STANDBY <sub>timer</sub>	= ON
I2C	= ON

START	
Gate Driver	= ON
VCC	= ON
CFG	= OFF
nFAULT	= GND
Operation Mode	= DEM
ATRK/DTRK Mode= latched <sup>(3)</sup>	
I2C	= ON

ACTIVE	
Gate Driver	= ON
VCC	= ON
nFAULT	= HIZ
Operation Mode	= DEM/FPWM
ATRK/DTRK Mode= latched <sup>(3)</sup>	
I2C	= ON

図 6-25. 機能状態図

### 6.4.1 シャットダウン状態

デバイスは、UVLO/EN ピンが Low である場合にシャットダウンします。バイアス ピンからの消費電流は通常  $2\mu\text{A}$ 、VOUT ピンからの消費電流は  $0.001\mu\text{A}$  です。シャットダウンでは、COMP、SS、nFAULT はグランドに接続されます。VCC レギュレータは無効です。

## 6.5 プログラミング

このデバイスには、構成設定と電源オン時のデフォルト値を保存するためのワン タイム プログラマブル (OTP) 不揮発性メモリが含まれています。OTP メモリは、TI により工場出荷時のみプログラムできますが、デバイスに電源が投入されて STANDBY 状態に入ってから、I<sup>2</sup>C インターフェイス経由で構成設定を変更することは可能です。

### 6.5.1 I<sup>2</sup>C バス動作

CFG ピンは、デバイス アドレスを設定します。8 つの異なるアドレスを選択できます。

I<sup>2</sup>C バスは、コントローラと一連のレシーバ デバイスの間の通信リンクです。このリンクは、シリアル クロック信号 (SCL) とシリアル データ信号 (SDA) で構成される 2 線式バスを使用して確立されます。コントローラとレシーバ端子との間のデータ通信で、シリアル データラインが双方方向である場合、どの場合でも、シリアル クロックにはコントローラから電源が供給されます。各デバイスは、シリアル データライン (SDA) 上でデータを送信するためのオープンドレイン出力を備えています。データ送信中にドレイン出力を High にするには、シリアル データラインに外部プルアップ抵抗を配置します。このデバイスは、レシーバ I<sup>2</sup>C インターフェイスをホストします。標準モード、高速モード、高速モード プラス動作をサポートし、それぞれ最大 100kbit/s、400kbit/s、1000kbit/s のデータレートで、I<sup>2</sup>C 標準 3.0 と互換性のある自動インクリメント アドレッシング機能を備えています。

図 6-26 に示されているように、データ送信はコントローラのスタートビットを使用して開始されます。START 条件は、SCL 信号の high 部分で SDA ラインが high から low に遷移するとき認識されます。スタートビットを受信すると、デバイスは SDA 入力でシリアル データを受信し、有効なアドレスおよび制御情報をチェックします。デバイスにレシーバ アドレスビットが設定されている場合、デバイスはアクノリッジ パルスを発行し、レジスタ アドレスとデータの受信を準備します。データ送信は、停止条件の受信またはデバイスに送信されるデータワードの受信によって完了します。停止条件は、SCL 信号の high の間に SDA 入力が low から high に遷移することと認識されます。SDA ラインのそれ以外のすべての遷移は、SCL 信号の low 部分の間に発生する必要があります。有効なアドレス、サブアドレス、データワードを受信した後、アクノリッジが発行されます。I<sup>2</sup>C インターフェイスは、レジスタ アドレスを自動シーケンス処理するため、特定の I<sup>2</sup>C 転送について複数のデータワードを送信できます。

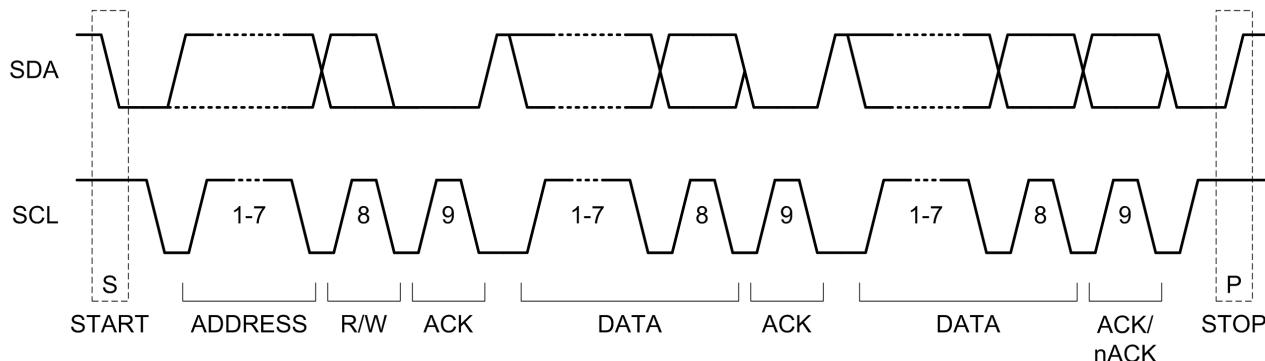


図 6-26. I<sup>2</sup>C スタート/ストップ/アクノリッジのプロトコル

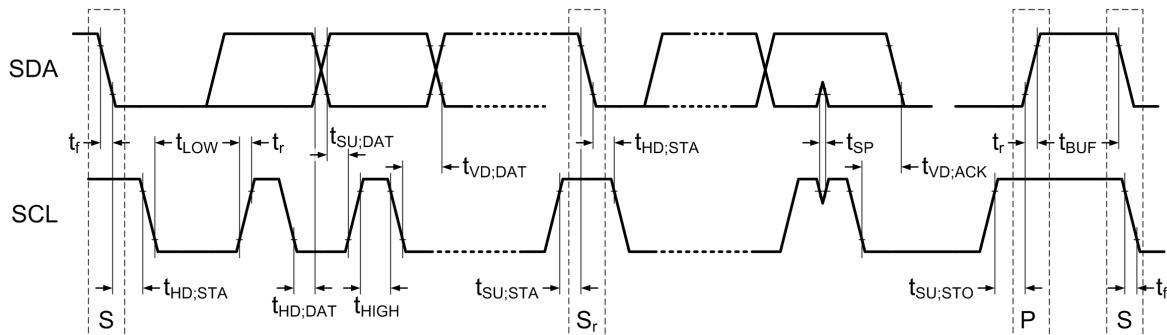


図 6-27. I<sup>2</sup>C データ送信タイミング

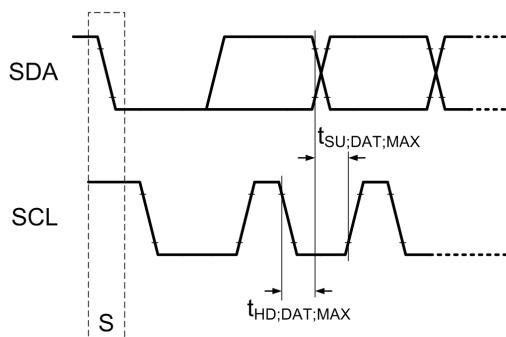


図 6-28. 最大の立ち上がり/立ち下がり時間の I<sup>2</sup>C データ送信タイミング

### クロック ストレッチ

クロック ストレッチはサポートされていません。デバイスがビジーのときにアドレス指定され、受信したデータを処理できない場合、デバイスはそのトランザクションをアクノリッジしません。デバイスが完全に起動していない状態でコントローラが I<sup>2</sup>C トランザクションを開始した場合、デバイスはアクノレッジを返すことができません。

### データ転送フォーマット

このデバイスは、4 種類の読み取り/書き込み動作をサポートしています。

- 定義されたレジスタ アドレスからの 単一読み取り。
- 定義されたレジスタ アドレスからの 単一書き込み。
- 定義されたレジスタ アドレスから開始されるシーケンシャル読み取り
- 定義されたレジスタ アドレスから開始されるシーケンシャル書き込み

### 定義されたレジスタ アドレスからの单一読み取り

図 6-29 に、定義されたレジスタ アドレスから单一読み取りのフォーマットを示します。まず、コントローラは始動条件を発行してから、7 ビットの I<sup>2</sup>C アドレスを送信します。次に、コントローラは 0 を書き込んで、コントローラが書き込み動作を実行していることを示します。コントローラは、レシーバからアクノリッジを受信すると、バス全体に 8 ビットのレジスタ アドレスを送信します。2 回目のアクノリッジ後、デバイスは内部 I<sup>2</sup>C レジスタ番号を定義された値に設定します。次に、コントローラが繰り返し始動条件を発行し、7 ビットの I<sup>2</sup>C アドレスに続いて 1 を発行し、読み取り動作を実行していることを示します。3 回目のアクノリッジを受信すると、コントローラはバスをデバイスに解放します。その後、デバイスはバス上のレジスタ

から 8 ビットのデータ値を返します。コントローラはアクノリッジ (NACK) を返さず、停止条件を発行します。これにより、レジスタ読み出しが終了です。

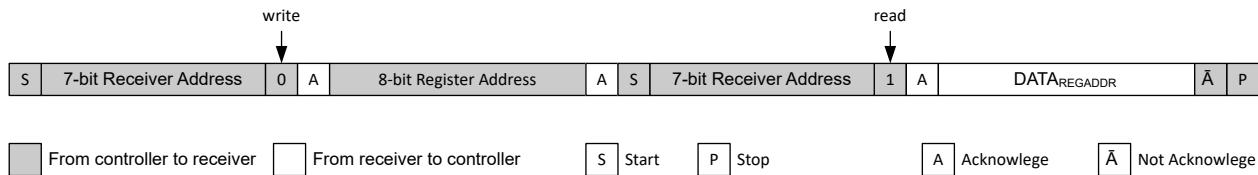


図 6-29. 定義されたレジスタ アドレスからの單一読み取り

#### 定義されたレジスタ アドレスから開始されるシーケンシャル READ

図 6-30 に示されているように、シーケンシャル読み取り動作は、単一読み取りプロトコルを拡張したものです。コントローラはデータバイトを受信したことをアクノリッジし、デバイスはレジスタアドレスを自動的にインクリメントして、次のレジスタからデータを返します。データ転送は、最後のデータバイトをアクノリッジせず、停止条件を送信することによって停止します。

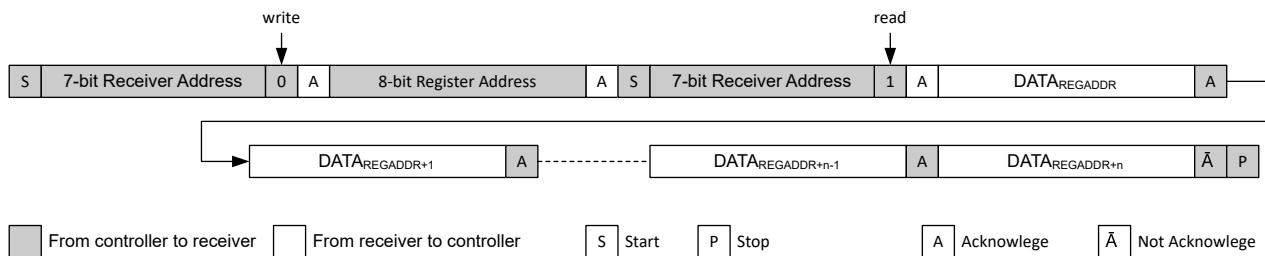


図 6-30. 定義されたレジスタ アドレスから開始されるシーケンシャル READ

#### 定義されたレジスタ アドレスへの 単一書き込み

図 6-31 に、定義されたレジスタアドレスへの 単一書き込みの形式を示します。まず、コントローラは始動条件を発行してから、7 ビットの I<sup>2</sup>C アドレスを送信します。次に、コントローラは書き込み操作を実行することを示すために 0 を書き込みます。コントローラは、レシーバからアクノリッジを受信すると、バス全体に 8 ビットのレジスタアドレスを送信します。2 回目のアクノリッジ後、デバイスは I<sup>2</sup>C レジスタアドレスを定義された値に設定し、コントローラが 8 ビットのデータ値を書き込みます。3 回目のアクノリッジを受信すると、デバイスは I<sup>2</sup>C レジスタアドレスを 1 ズつ自動インクリメントし、コントローラは停止条件を発行します。これにより、レジスタ書き込みは終了です。

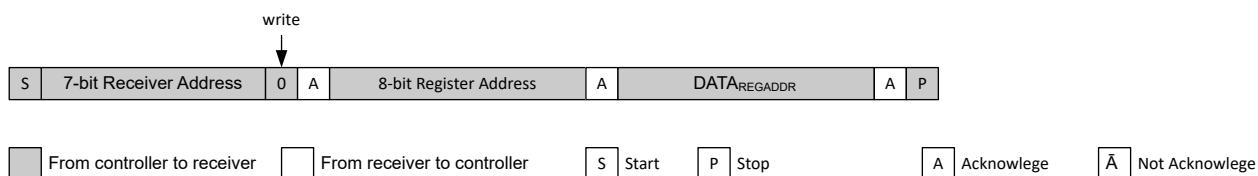


図 6-31. 定義されたレジスタ アドレスへの 単一書き込み

### 定義されたレジスタ アドレスから開始されるシーケンシャル WRITE

シーケンシャル書き込み動作は、図 6-32 に示すように、单一書き込みプロトコルを拡張したものです。デバイスが ACK を発行した後にコントローラが停止条件を送信しない場合、デバイスはレジスタアドレスを 1 つずつ自動的にインクリメントし、コントローラは次のレジスタに書き込みます。

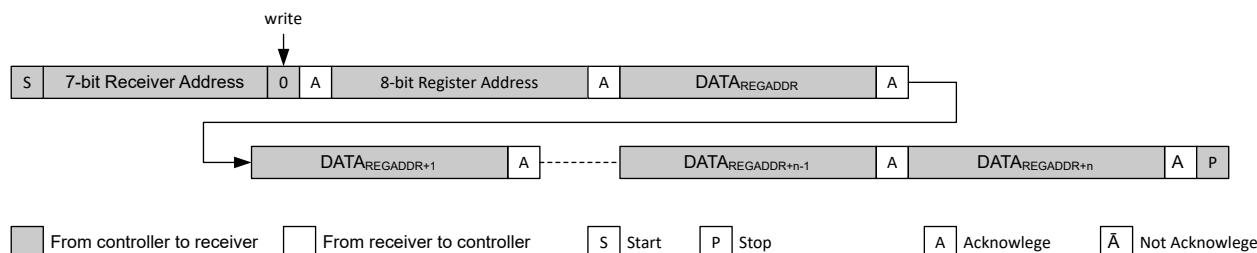


図 6-32. 定義されたレジスタ アドレスから開始されるシーケンシャル WRITE

## 7 LM51261A-Q1 のレジスタ

LM51261A-Q1 レジスタのメモリマップされたレジスタを、表 7-1 に示します。表 7-1 にないレジスタ オフセット アドレスはすべて予約済みと見なして、レジスタの内容は変更しないでください。

表 7-1. LM51261A-Q1 のレジスタ

オフセット	略称	レジスタ名	セクション
0h	VOUT	VOUT	セクション 7.1
1h	CONFIGURATION_1	CONFIGURATION_1	セクション 7.2
2h	CONFIGURATION_2	CONFIGURATION_2	セクション 7.3
3h	CONFIGURATION_3	CONFIGURATION_3	セクション 7.4
4h	OPERATION_STATE	OPERATION_STATE	セクション 7.5
5h	STATUS_BYTE	STATUS_BYTE	セクション 7.6
6h	CLEAR_FAULTS	CLEAR_FAULTS	セクション 7.7

表の小さなセルに収まるように、複雑なビット アクセス タイプを記号で表記しています。表 7-2 に、このセクションでアクセスタイプに使用しているコードを示します。

表 7-2. LM51261A-Q1 のアクセス タイプ コード

アクセス タイプ	コード	説明
読み取りタイプ		
R	R	読み出し
書き込みタイプ		
W	W	書き込み
リセットまたはデフォルト値		
-n		リセット後の値またはデフォルト値

## 7.1 VOUT レジスタ (オフセット = 0h) [リセット = 3Fh]

VOUT を表 7-3 に示します。

概略表に戻ります。

出力電圧プログラミング

表 7-3. VOUT レジスタ フィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-6	NIL	R	0h	このビットはハードウェアには実装されていません。書き込み動作中、このビットのデータは無視されます。読み出し操作中は 0 が返されます。

表 7-3. VOUT レジスタ フィールドの説明 (続き)

ピット	フィールド	タイプ	リセット	説明
5-0	VOUT	R/W	3Fh	出力電圧の設定、または ATRK/DTRK ピン VOUT のプログラミング。 0h = 6 V 1h = 7 V 2h = 8 V 3h = 9 V 4h = 10 V 5h = 11 V 6h = 12 V 7h = 13 V 8h = 14 V 9h = 15 V Ah = 16V Bh = 17V Ch = 18V Dh = 19V Eh = 20V Fh = 21V 10h = 22 V 11h = 23 V 12h = 24 V 13h = 25 V 14h = 26 V 15h = 27 V 16h = 28 V 17h = 29 V 18h = 30 V 19h = 31 V 1Ah = 32 V 1Bh = 33 V 1Ch = 34 V 1Dh = 35 V 1Eh = 36 V 1Fh = 37 V 20h = 38 V 21h = 39 V 22h = 40 V 23h = 41 V 24h = 42 V 25h = 43 V 26h = 44 V 27h = 45 V 28h = 46 V 29h = 47 V 2Ah = 48 V 2Bh = 49 V 2Ch = 50 V 2Dh = 51 V 2Eh = 52 V 2Fh = 53 V 30h = 54 V 31h = 55 V 32h = 56 V 33h = 57 V 34h = 58 V 35h = 59 V 36h = 60 V 37h = ATRK/DTRK 38h = ATRK/DTRK 39h = ATRK/DTRK 3Ah = ATRK/DTRK 3Bh = ATRK/DTRK 3Ch = ATRK/DTRK 3Dh = ATRK/DTRK 3Eh = ATRK/DTRK

表 7-3. VOUT レジスタ フィールドの説明 (続き)

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
				3Fh = ATRK/DTRK

## 7.2 CONFIGURATION\_1 レジスタ (オフセット = 1h) [リセット = 04h]

CONFIGURATION\_1 を表 7-4 に示します。

概略表に戻ります。

デバイス設定 1

表 7-4. CONFIGURATION\_1 レジスタのフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-6	NIL	R	0h	このビットはハードウェアには実装されていません。書き込み動作中、このビットのデータは無視されます。読み出し操作中は 0 が返されます。
5-4	OVP_MAX	R/W	0h	OVP スレッショルド。 0h = <b>64V</b> 1h = 50 V 2h = 35 V 3h = 28.5 V
3	NFAULT_TWARN	R/W	0h	TWARN 上の nFault ピンの動作。 0h = nFAULT ピンは過熱警告信号に応答しません (デフォルト) 1h = nFault ピンは過熱警告信号に応答し、Low にプルされます
2-0	VOUT_SLEW	R/W	4h	出力電圧のスルーレート設定。 0h = スルーレート制御なし 1h = 1V/100us 2h = 1V/200us 3h = 1V/400us 4h = <b>1V/800us</b> 5h = 1V/1.6ms 6h = 1V/3.2ms 7h = 1V/6.4ms

### 7.3 CONFIGURATION\_2 レジスタ (オフセット = 2h) [リセット = 80h]

CONFIGURATION\_2 を表 7-5 に示します。

概略表に戻ります。

デバイス設定 2

**表 7-5. CONFIGURATION\_2 レジスタのフィールドの説明**

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7	OVP_MAX_LATCH	R/W	1h	最大過電圧保護レベル (OVP_max) に達したときのデバイスの動作を設定します。 0h = 1V ヒステリシス 1h = シャットダウンおよびラッチ
6-5	OPERATION_MODE	R/W	0h	動作モードの選択 (MODE ピン、DEM、FPWM)。 0h = MODE ピン 1h = DEM 2h = FPWM 3h = FPWM
4	NFAULT_OVP	R/W	0h	低電圧または過電圧が検出されたときの nFAULT ピンの動作を設定します。有効にした場合、VOUT が過電圧保護スレッショルド (OVP または OVP_max) を上回るか、低電圧スレッショルド (UV) を下回ると、nFAULT ピンが Low にプルされます。無効にした場合、nFAULT ピンは、VOUT が UV (低電圧) スレッショルドを下回ったときのみ Low にプルされます。 0h = ディセーブル 1h = イネーブル
3	ICL_LATCH	R/W	0h	ピーク電流制限を 20% 超えた場合にデバイスをシャットダウンするか (有効)、または動作を継続するか (無効) を選択します。 0h = ディセーブル 1h = イネーブル
2	SPREAD_SPECTRUM	R/W	0h	クロック ディザリングを有効化/無効化します (スペクトラム拡散)。 0h = ディセーブル 1h = イネーブル
1	予約済み	R/W	0h	このビットには影響しません。書き込み動作中、このビットのデータは書き込まれますが無視されます。読み取り動作中は、ビットプログラミングに応じて 0 または 1 が返されます。
0	UVLO	R/W	0h	このビットが「1」に設定されている場合、デバイスは UVLO/EN が立ち上がり側の UVLO スレッショルドを上回っているかのように動作します。したがって、このビットが「1」に設定されている間は、UVLO 機能は無効になります。ビットが「0」に設定されると、UVLO 機能は再度 UVLO/EN ピンによって制御されます。 0h = UVLO/EN ピン 1h = UVLO 機能を上書きします

## 7.4 CONFIGURATION\_3 レジスタ (オフセット = 3h) [リセット = A1h]

CONFIGURATION\_3 を表 7-6 に示します。

概略表に戻ります。

デバイス設定 3

表 7-6. CONFIGURATION\_3 レジスタのフィールドの説明

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-6	TSDW	R/W	2h	サーマル シャットダウン警告の設定。TSD_WARN フラグは、温度が TTSD-RISING に対する $\Delta$ 温度に到達したときに設定されます。 0h = 20°C 1h = 35°C 2h = 50°C 3h = 70°C
5-3	DEAD_TIME	R/W	4h	デッド タイム設定。このビットは、最小デッド タイムを選択します。 0h = 14ns 1h = 30ns 2h = 50ns 3h = 75ns 4h = 100ns 5h = 125ns 6h = 150ns 7h = 200ns
2-0	SINGLE_DUAL	R/W	1h	シングルチップまたはデュアルチップ構成。デュアルチップ構成には、コントローラとして LM5125A-Q1 が必要です。 0h = シングル デバイス、SYNCIN = オフ、クロック ディザリング = SPREAD_SPECTRUM 設定 1h = シングル デバイス外部クロック、SYNCIN = オン、クロック ディザリング = 無効 2h = セカンダリ デバイス、SYNCIN = オン、クロック ディザリング = 無効 3h = セカンダリ デバイス、SYNCIN = オン、クロック ディザリング = 無効 4h = セカンダリ デバイス、SYNCIN = オン、クロック ディザリング = 無効 5h = セカンダリ デバイス、SYNCIN = オン、クロック ディザリング = 無効 6h = セカンダリ デバイス、SYNCIN = オン、クロック ディザリング = 無効 7h = セカンダリ デバイス、SYNCIN = オン、クロック ディザリング = 無効

## 7.5 OPERATION\_STATE レジスタ (オフセット = 4h) [リセット = 00h]

OPERATION\_STATE を、表 7-7 に示します。

概略表に戻ります。

デバイスの動作状態

**表 7-7. OPERATION\_STATE レジスタのフィールドの説明**

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-4	NIL	R	0h	このビットはハードウェアには実装されていません。書き込み動作中、このビットのデータは無視されます。読み出し操作中は 0 が返されます。
3-0	状態	R	0h	このビットは、デバイスがどの動作状態であるかを示します。 0h = スタンバイ 1h = スタート 2h = アクティブ DEM 3h = アクティブ FPWM 4h = バイパス 5h = HB フォルト 6h = VCC フォルト 7h = FAULT 8h = サーマル シャットダウン 9h = VCC チェック

## 7.6 STATUS\_BYTE レジスタ (オフセット = 5h) [リセット = 00h]

STATUS\_BYTE を [表 7-8](#) に示します。

[概略表](#)に戻ります。

フォルトステータス下位バイト

**表 7-8. STATUS\_BYTE レジスタのフィールドの説明**

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7	CML	R	0h	通信、ロジック、メモリ エラー。 0h = 故障なし 1h = 故障
6	HB_FAULT	R	0h	ハイサイド ドライバの UVLO がトリガされています。 0h = 故障なし 1h = 故障
5	ICL_FAULT	R	0h	ピーク電流制限 +20% がトリガされています。 0h = 故障なし 1h = 故障
4	ILIM_FAULT	R	0h	平均入力電流制限がトリガされています。 0h = 故障なし 1h = 故障
3	VOUT_OVP	R	0h	過電圧保護 (OVP) がトリガされています。 0h = 故障なし 1h = 故障
2	VOUT_UVP	R	0h	低電圧保護 (UVP) がトリガされています。 0h = 故障なし 1h = 故障
1	TSD	R	0h	サーマル シャットダウンがトリガされています。 0h = 故障なし 1h = 故障
0	TSD_WARN	R	0h	サーマル シャットダウン警告。デバイスにサーマル シャットダウンが迫っています。 0h = 警告なし 1h = 警告

## 7.7 CLEAR\_FAULTS レジスタ (オフセット = 6h) [リセット = 00h]

CLEAR\_FAULTS を [表 7-9](#) に示します。

[概略表](#)に戻ります。

ラッピングされたステータス フラグをすべてクリア

**表 7-9. CLEAR\_FAULTS レジスタのフィールドの説明**

ビット	フィールド	タイプ	リセット	説明
7-0	CLEAR_FAULTS	R	0h	アドレスへのアクセスだけで、STATUS_BYTE レジスタ 0x05 のフォルトはクリアされます。

## 8 アプリケーションと実装

### 注

以下のアプリケーション セクションにある情報は、TI の製品仕様に含まれるものではなく、TI 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。

### 8.1 アプリケーション情報

LM51261A-Q1 は、単相昇圧コンバータです。LM51261A-Q1 の部品の値を選択するには、以下の設計手順を使用します。

代表的なアプリケーションおよび曲線については、[LM5126A 評価基板](#)を参照してください。

[LM5126A クイック スタート カリキュレータ](#)を使用すると、特定のアプリケーション用に、レギュレータを簡単に設計できます。

あるいは、[WEBENCH®](#) ソフトウェアを使用して完全な設計を生成することもできます。[WEBENCH](#) ソフトウェアは、反復的な設計手順を使用し、包括的な部品データベースにアクセスして設計を生成します。

ここでは、設計手順について簡単に説明します。

#### 8.1.1 帰還補償

昇圧レギュレータのオープン ループ応答は、変調器の伝達関数と帰還伝達関数との積で定義されます。dB スケールでプロットした場合、開ループ ゲインは、変調器のゲインと帰還ゲインとの和として示されます。電流モード昇圧レギュレータの変調器伝達関数には、組み込み電流ループ付きの電力段伝達関数が組み込まれています。伝達関数は、单一のポール、单一のゼロ、单一の右半面ゼロ (RHPZ) 系として単純化されています。

変調器の伝達関数は、次のように定義されます。

$$\frac{\hat{v}_{\text{out}}}{\hat{v}_{\text{comp}}} = A_M \times \frac{\left(1 + \frac{s}{\omega_{Z\_ESR}}\right)\left(1 - \frac{s}{\omega_{RHPZ}}\right)}{1 + \frac{s}{\omega_{P\_LF}}} \times G_{ACB}(s) \quad (24)$$

ここで、

- 変調器の DC ゲイン、 $A_M = \frac{R_{\text{out}} \times D'}{2 \times A_{\text{CS}} \times R_{\text{CS\_eq}}}$
- 負荷ポール、 $\omega_{P\_LF} = \frac{2}{R_{\text{out}} \times C_{\text{out}}}$
- ESR ゼロ、 $\omega_{Z\_ESR} = \frac{1}{R_{\text{ESR}} \times C_{\text{out}}}$
- RHPZ、 $\omega_{RHPZ} = \frac{R_{\text{out}} \times D'^2}{L_{\text{m\_eq}}}$
- 等価負荷抵抗の、 $R_{\text{out}} = \frac{V_{\text{out}}^2}{P_{\text{out\_total}}}$
- 等価インダクタンス、 $L_{\text{m\_eq}} = \frac{L_m}{N_p}$
- 等価電流センス抵抗、 $R_{\text{cs\_eq}} = \frac{R_{\text{cs}}}{N_p}$
- $N_p$  は位相の数です。
- アクティブ電流のバランスング回路のゲイン、 $G_{ACB}(s) = \frac{1}{2} \times \frac{s \times 4 \times 10^{-6} + 1}{s \times 2 \times 10^{-6} + 1}$ . LM5126A-Q1 にはアクティブ電流バランスング回路が採用されており、2 つのインダクタの違いに起因する平均電流誤差を低減しています。

$C_{out}$  ( $R_{ESR}$ ) の等価直列抵抗 (ESR) が十分に小さく、RHPZ 周波数がターゲット クロスオーバー周波数から離れている場合、変調器の伝達関数は単一ポールの系としてさらに簡素化され、電圧ループが 2 つの閉ループ補償部品  $R_{COMP}$  および  $C_{COMP}$  だけで閉じられ、クロスオーバー周波数ではシングル 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。

図 8-1 に示すように、出力電圧エラー アンプとして  $g_m$  アンプが使用されます。帰還伝達関数には、帰還分圧抵抗のゲインと、エラー アンプのループ補償が含まれます。 $R_{COMP}$ 、 $C_{COMP}$ 、および  $C_{HF}$  は、エラー アンプのゲインと位相の特性を設定し、原点のポール、低周波ゼロ点、高周波ポールを形成します。

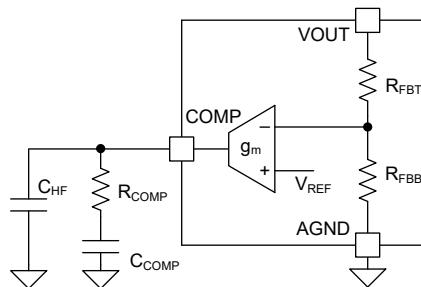


図 8-1. タイプ II  $g_m$  アンプ補償

帰還伝達関数は、次のように定義されます。

$$-\frac{\hat{v}_{comp}}{\hat{v}_{out}} = \frac{A_{VM} \times \omega_{Z\_EA}}{s} \times \frac{1 + \frac{s}{\omega_{Z\_EA}}}{1 + \frac{s}{\omega_{P\_EA}}} \quad (25)$$

ここで、

- 中帯域の電圧ゲイン、 $A_{VM} = K_{FB} \times g_m \times R_{COMP}$
- $g_m = 1\text{mA/V}$ 。
- 帰還分圧抵抗のゲイン  $K_{FB} = \frac{R_{FBB}}{R_{FBT} + R_{FBB}}$ 。 $K_{FB} = \frac{1}{30}$  内部フィードバック抵抗デバイダを使用しています。
- 低周波ゼロ点、 $\omega_{Z\_EA} = \frac{1}{R_{COMP} \times C_{COMP}}$
- 高周波ポール、 $\omega_{P\_EA} \approx \frac{1}{R_{COMP} \times C_{HF}}$

原点のポールは、出力の定常状態誤差を最小化します。低周波ゼロ点は、変調器の負荷ポールを打ち消すように配置します。高周波数の極は、出力コンデンサの ESR により生じるゼロを打ち消すため、またはエラー アンプのノイズ感受性を減らすために使用します。クロスオーバー周波数より 1 枞低い、低周波ゼロ点を配置することで、クロスオーバー周波数において最大限の位相ブーストを実現します。 $C_{HF}$  の追加により、帰還伝達関数にポールが追加されるため、高周波ポールは、クロスオーバー周波数を超える位置に配置してください。

クロスオーバー周波数(開ループ帯域幅)は通常、RHPZ 周波数の 1/5 に制限されます。

クロスオーバー周波数を高くするには、 $R_{COMP}$  を増やし、それに比例して  $C_{COMP}$  を減らします。その逆に、 $R_{COMP}$  を減らし、それに比例して  $C_{COMP}$  を増やすと帯域幅は狭くなり、帰還伝達関数のゼロ周波数は変わらずに維持されます。

### 8.1.2 3 相での動作

より大電力の場合、LM51261A を LM51251A デバイスと組み合わせて 3 相動作に使用できます。

3 相インターリーブ動作を構成するには、LM51251A をプライマリ デバイスとして、LM51261A をセカンダリ デバイスとして構成します。LM51251A と LM51261A デバイスを組み合わせた 3 相構成を図 8-2 に示します。位相 3 の位相シフトは 120 度です。

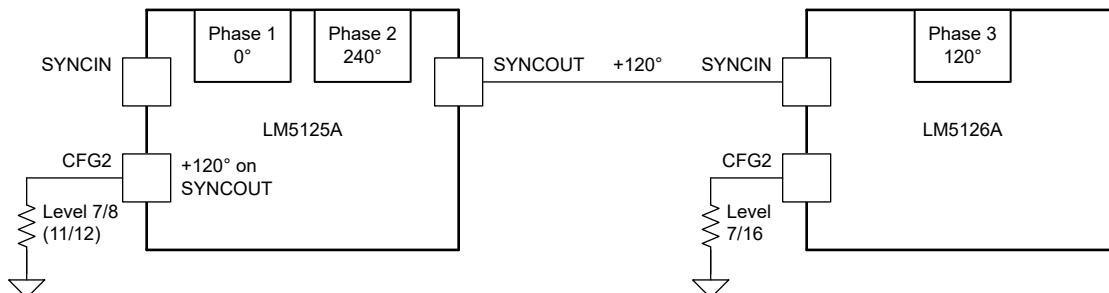


図 8-2. 3 相のインターリーブ昇圧構成

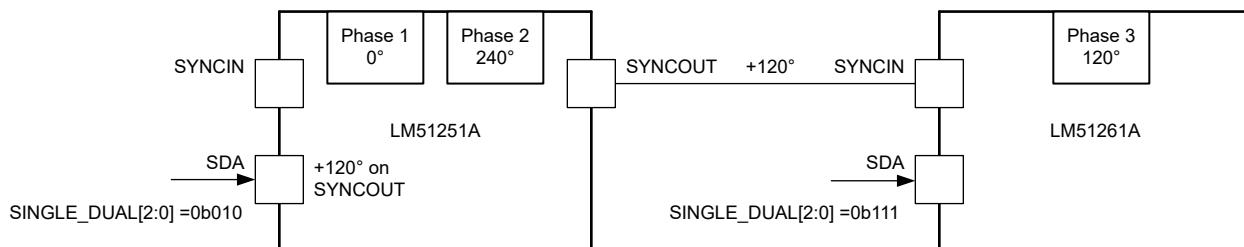


図 8-3. 3 相のインターリーブ昇圧構成

図 8-4 に、3 相動作の代表的なアプリケーションの回路図を示します。

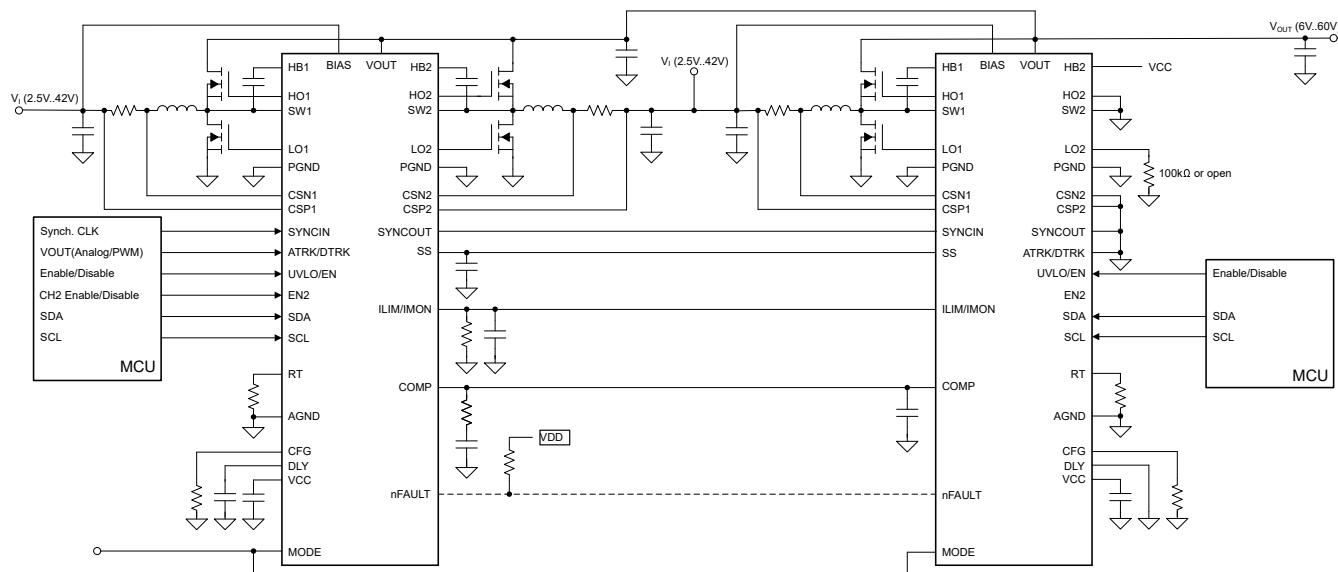


図 8-4. 3 相の代表的なアプリケーション回路

LM51251A の SYNCOUT を LM51261A の SYNCIN に接続します。また、両方のデバイスの COMP、IMON、SS、MODE ピンを相互に接続します。

### 8.1.3 非同期アプリケーション

非同期モードで動作させる場合は、以下の手順に従ってください。

- SW を GND に、HB を VCC に接続します。
- HO はフローティングのままにします。

下の図に示されています。

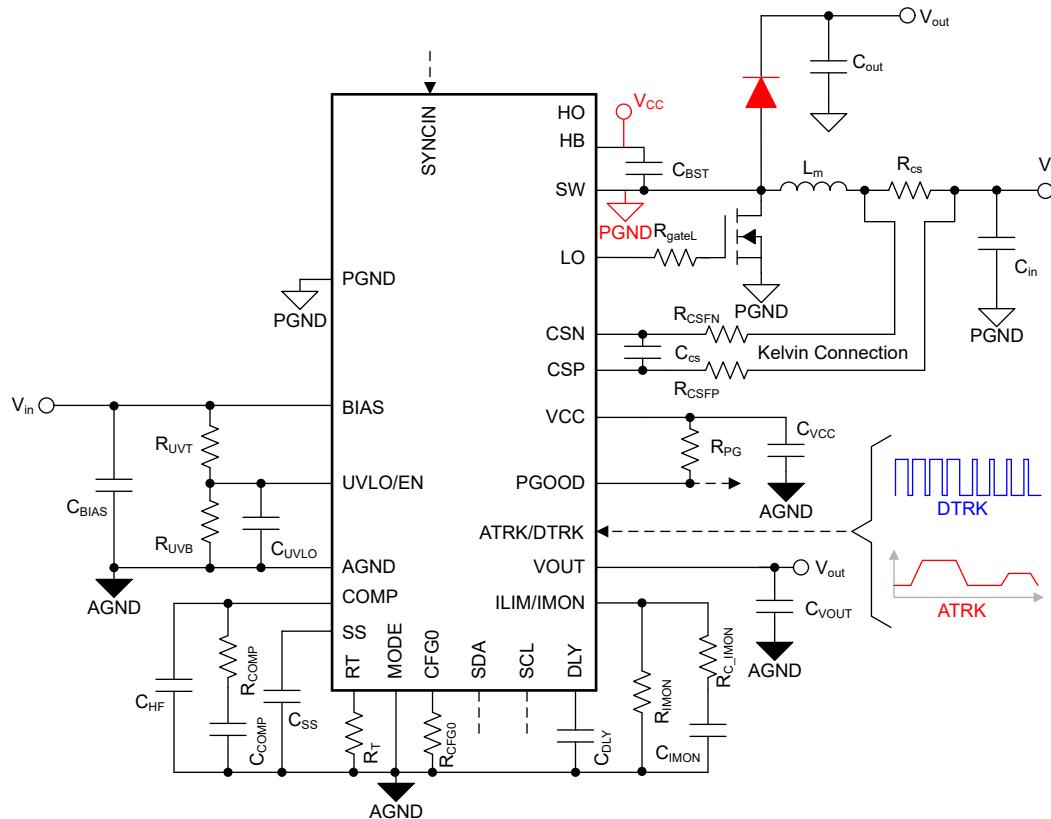


図 8-5. 非同期昇圧コンバータの回路図

### 8.2 代表的なアプリケーション

代表的なアプリケーションの例は、ここに示す単相昇圧コンバータです。このコンバータは、Class-H オーディオ アンプ向けの設計を採用しています。出力電圧は最大 60V まで調整可能です。ピーク電力は 500VA で、入力平均電流制限は 13A です。

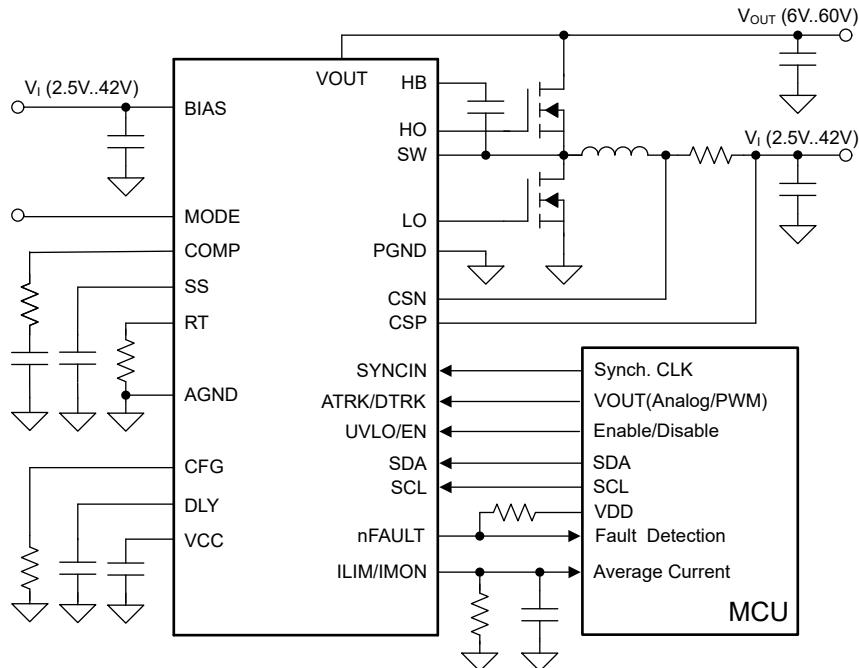


図 8-6. 代表的なアプリケーション

### 8.2.1 設計要件

表 8-1. 設計パラメータ

パラメータ	値
最小入力電圧、 $V_{in\_min}$	9V
標準入力電圧、 $V_{in\_typ}$	14.4V
最大入力電圧、 $V_{in\_max}$	18V
最低出力電圧、 $V_{out\_min}$	8V
最大出力電圧、 $V_{out\_max}$	45V
最大出力電圧と標準入力電圧、 $P_{out\_total}$ での最大出力電力	500W
定格出力電力、 $P_{rated\_total}$	150W
定格出力電力の 2 倍、代表的な入力電圧、 $t_{delay}$ での最大遅延	100ms
推定効率、 $\eta$	95%

### 8.2.2 詳細な設計手順

#### 8.2.2.1 合計フェーズ番号の決定

インターリープ動作には、大電流アプリケーションにおいて、効率の向上、部品への低いストレス、入力および出力リップルの減少など、多くの利点があります。デュアル位相のインターリープ動作では、出力電力パスが分割され、各位相の入力電流を半分に減らします。各チャネルが互いに  $180^\circ$  の位相差で動作するため、入力および出力コンデンサのリップル電流が大幅に減少します。図 8-7 に示すように、入力電流リップルは大幅に低減されています。

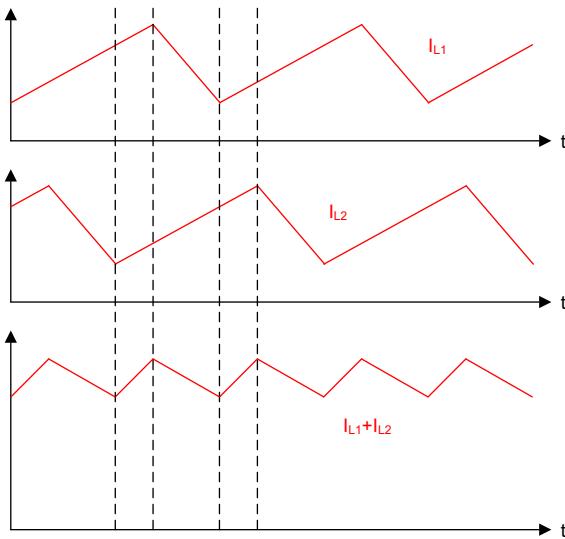


図 8-7. デュアル位相インターリープにより、入力電流リップルが低減

ここでは、設計用に 1 つの相を選択します。

$$N_p = 1 \quad (26)$$

合計電力  $P_{out\_total}$  は位相間で共有され、各位相の電力は次のように求めます。

$$P_{out} = \frac{P_{out\_total}}{N_p} = 500W \quad (27)$$

### 8.2.2.2 デューティ サイクルの決定

CCMにおいて、デューティ サイクルは次のように定義されます。

$$D = \frac{V_{out} - V_{in}}{V_{out}} \quad (28)$$

$$D' = 1 - D \quad (29)$$

このアプリケーションにおいて、最大デューティ サイクルは次のように求められます。

$$D_{max} = \frac{V_{out\_max} - V_{in\_min}}{V_{out\_max}} = 0.8 \quad (30)$$

### 8.2.2.3 タイミング抵抗 $R_T$

一般に、スイッチング周波数 ( $f_{sw}$ ) が高いほど、サイズが小さくなり、損失が大きくなります。サイズ、効率、EMI を考慮すると、400kHz 付近での動作は妥当な折衷点になります。400kHz のスイッチング周波数について、 $R_T$  の値は次のように計算されます。

$$R_T = \left( \frac{1}{f_{sw}} - 18\text{ns} \right) \times 31.5 \frac{\Omega}{\text{ns}} = 78.2\text{k}\Omega \quad (31)$$

$R_T$  には標準値 78.7kΩ が選択されます。

### 8.2.2.4 インダクタの選択 $L_M$

インダクタンス値を選択するときは、次の 3 つの主要パラメータを考慮します。インダクタの電流リップル比 (Rr)、インダクタ電流の立ち下がり勾配、制御ループの RHPZ 周波数。

- インダクタの電流リップル比は、インダクタの巻線損失とコアでの損失との間でバランスをとれるように選択します。リップル電流が増加すると、コアでの損失は増加し、銅での損失は減少します。
- インダクタ電流の立ち下がり勾配は、分数調波発振を防止するのに十分な値まで小さくする必要があります。インダクタンス値が大きいと、インダクタ電流の立ち下がり勾配が小さくなります。
- 制御ループのクロスオーバー周波数を高くするには、RHPZ を高周波数に配置します。インダクタンス値が小さくなると、RHPZ 周波数が上昇します。

ピーク電流モードの制御理論に従い、勾配補償ランプの勾配は、高いデューティ サイクルにおいて分数調波の発振を防止するため、検出されるインダクタ電流の立ち下がり勾配の半分よりも大きい必要があります。

$$V_{slope} \times f_{sw} > \frac{V_{out\_max} - V_{in\_min}}{2 \times L_m} \times R_{cs} \quad (32)$$

ここで、

- $V_{slope}$  は、電流センスアンプの入力における 48mV ピーク (100% デューティ サイクル時) の勾配補償ランプです。

インダクタンスの下限は次のように求めます。

$$L_m > \frac{V_{out\_max} - V_{in\_min}}{2 \times V_{slope} \times f_{sw}} \times R_{cs} \quad (33)$$

$R_{cs}$  は 1.5mΩ と推定されるため、次のことが分かります。

$$L_m > 1.4\mu H \quad (34)$$

RHPZ 周波数は次のように求めます。

$$\omega_{RHPZ} = \frac{R_{out} \times D^2}{L_{m\_eq}} \quad (35)$$

クロスオーバー周波数は RHPZ 周波数の 1/5 よりも低い必要があります。

$$f_c < \frac{1}{5} \times \frac{\omega_{RHPZ}}{2\pi} \quad (36)$$

クロスオーバー周波数として 1kHz が求められると仮定すると、インダクタンスの上限は次のように計算されます。

$$L_m < 5.2\mu H \quad (37)$$

インダクタのリップル電流は、インダクタのコア損失と巻線損失との適切な折衷点として、一般に全負荷電流の 30%~70% に設定されます。

位相ごとの入力電流は次のように計算します。

$$I_{in\_vinmax} = \frac{P_{out}}{\eta \times V_{in\_max}} = 29.2A \quad (38)$$

連続導通モード (CCM) 動作では、最大リップル比はデューティ サイクルが 33% のときに発生します。最大リップル比の結果となる入力電圧は、次のように求めます。

$$V_{in\_RRmax} = V_{out\_max} \times (1 - 0.33) = 30V \quad (39)$$

したがって、最大入力電圧  $V_{in\_max}$  を使用して最大リップル比を計算する必要があります。

この例では、リップル比 0.3、入力電流の 30% が選択されています。スイッチング周波数と標準出力電圧が既知の場合、インダクタの値は次のように計算します。

$$L_m = \frac{V_{in\_max}}{I_{in} \times RR} \times \frac{1}{f_{sw}} \times \left(1 - \frac{V_{in\_max}}{V_{out\_max}}\right) = \frac{18V}{29.2A \times 0.3} \times \frac{1}{400kHz} \times 0.6 = 3.1\mu H \quad (40)$$

最も近い標準値である  $3.3\mu H$  を  $L_m$  に対して選択しました。

標準入力電圧でのインダクタリップル電流は、次のように計算します。

$$I_{pp} = \frac{V_{in\_typ}}{L_m} \times \frac{1}{f_{sw}} \times \left(1 - \frac{V_{in\_typ}}{V_{out}}\right) = 7.4A \quad (41)$$

フェライトコアインダクタを選択する場合は、ピーク電流制限時にインダクタが飽和しないようにしてください。フェライトコアインダクタのインダクタンスは飽和するまでほぼ一定です。フェライトコアは大きなサイズでコア損失が小さい特長があります。

パウダー コア インダクタの場合、DC 電流が大きくなるとインダクタンスは緩やかに低下します。この挙動は、大きいインダクタ電流でリップル電流の増加につながります。この例では、ピーク電流制限時にインダクタンスが  $0A$  に比べて  $70\%$  まで低下します。ピーク電流制限時の電流リップルは、次のように求めます。

$$I_{pp\_bias} = \frac{V_{in\_typ}}{0.7 \times L_m} \times \frac{1}{f_{sw}} \times \left(1 - \frac{V_{in\_typ}}{V_{out}}\right) = 10.6A \quad (42)$$

### 8.2.2.5 電流センス抵抗 $R_{cs}$

標準入力電圧と最大出力電圧における位相ごとの最大平均入力電流は、次のように計算できます。

$$I_{in\_vintyp} = \frac{P_{out}}{\eta \times V_{in\_typ}} = 36.5A \quad (43)$$

ピーク電流は、次のようにで計算されます。

$$I_{pk\_vintyp} = I_{in\_vintyp} + \frac{I_{pp\_bias}}{2} = 36.5A + \frac{10.6A}{2} = 41.8A \quad (44)$$

電流センス抵抗は、次のように求められます。

$$R_{cs} = \frac{V_{CLTH}}{I_{pk\_vintyp}} = \frac{60mV}{41.8A} = 1.43m\Omega \quad (45)$$

$R_{cs}$  には標準値  $1.5m\Omega$  が選択されます。

### 8.2.2.6 電流センス フィルタ $R_{CSFP}$ 、 $R_{CSFN}$ 、 $C_{CS}$

電流センシングには RC フィルタを推奨します。通常は、 $100pF$  の  $C_{CS}$  と  $1\Omega$  の  $R_{CSFP}$  および  $R_{CSFN}$  が推奨されます。 $C_{CS}$  はデバイスの近くに配置します。

**CSP** と **CSN** のパターンは、電流センス抵抗にケルビン接続を使用して一緒に配線します。

$C_{CS}$  と  $R_{CSFN}$  を大きくして、RC 時定数を増やします。 $R_{CSFP}$  を大きくすると、大きな電流検出誤差が発生します。

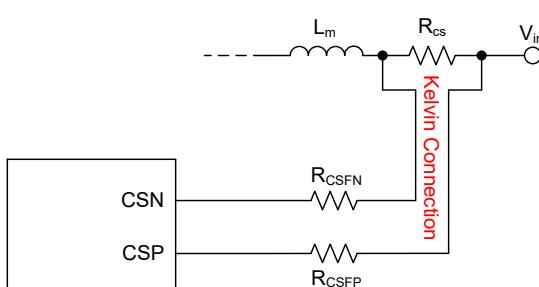


図 8-8. 電流センス フィルタ

### 8.2.2.7 ローサイド パワー スイッチ $Q_L$

5V の VCC で MOSFET を完全にエンハンスできるロジック レベル N チャネル MOSFET を選択してください。また、バイパス動作中の最小 HO-SW 電圧は 3.75V であることに注意してください。この電圧で MOSFET がオンになっていることを確認します。

異なるデバイスの相対効率を比較する方法の 1 つとして、損失の詳細を検討してパワー MOSFET デバイスを選択することが挙げられます。ローサイド N チャネル MOSFET デバイスでの損失は、伝導損失とスイッチング損失に分けます。

ローサイドの伝導損失は、次のように概算されます。

$$P_{COND\_LS} = D \times I_{in}^2 \times R_{DS(on)} \times 1.3 \quad (46)$$

ここで、係数 1.3 は発熱による MOSFET のオン抵抗の増加を表します。または、MOSFET のデータシートに掲載されている  $R_{DS(ON)}$  と温度の関係を示す曲線を使用して、MOSFET の高温オン抵抗を推定します。

スイッチング損失は、ローサイド MOSFET がオン / オフする短い遷移期間に発生します。この遷移期間では、MOSFET デバイスのチャネルに電流と電圧が両方存在します。ローサイドのスイッチング損失は、次のように概算されます。

$$P_{SW\_LS} = 0.5 \times V_{out} \times I_{in} \times (t_R + t_F) \times f_{sw} \quad (47)$$

$t_R$  と  $t_F$  は、ローサイド MOSFET の立ち上がり / 立ち下がり時間です。立ち上がり / 立ち下がり時間は通常、MOSFET のデータシートに記載されているか、オシロスコープにより実験的に観測されます。

ハイサイド MOSFET の逆方向回復によりローサイド MOSFET の立ち下がり時間とターンオン電流が増加し、結果的に大きなターンオン損失が生じます。

SW ノードでの負の電圧スパイクを最小化するため、ローサイド MOSFET と並列にショットキー ダイオードを追加し、ソースとドレインに短い配線で接続します。

### 8.2.2.8 ハイサイド パワー スイッチ $Q_L$

ハイサイド MOSFET デバイスでの損失は、伝導損失、デッド タイム損失、逆方向回復損失に分けます。スイッチング損失は、ローサイド MOSFET デバイスについてのみ計算されます。ハイサイド MOSFET デバイスのスイッチング損失は無視できる程度です。これは、ハイサイド MOSFET デバイスのボディダイオードが、ハイサイド MOSFET デバイスが切り替わる前と後にオンになるためです。

ハイサイドの伝導損失は、次のように概算されます。

$$P_{COND\_HS} = D' \times I_{in}^2 \times R_{DS(on)} \times 1.3 \quad (48)$$

デッド タイム損失は、次のように概算されます。

$$P_{DT\_HS} = V_D \times I_{in} \times (t_{DLH} + t_{DHL}) \times f_{sw} \quad (49)$$

ここで、

- $V_D$  は、ハイサイド MOSFET ボディダイオードの順方向電圧降下です。
- $t_{DLH}$  は、ローサイドスイッチのターンオフとハイサイドスイッチのターンオン間のデッドタイムです。
- $t_{DHL}$  は、ハイサイドスイッチのターンオフとローサイドスイッチのターンオン間のデッドタイムです。

ハイサイド MOSFET スイッチの逆方向回復特性は、特に出力電圧が高いとき、効率に大きな影響を及ぼします。逆方向回復電荷が小さいと、効率が向上し、スイッチング ノイズも最小化されます。

逆方向回復損失は、次のように概算されます。

$$P_{RR\_HS} = V_{out} \times Q_{RR} \times f_{sw} \quad (50)$$

ここで、

- $Q_{RR}$  は、ハイサイド MOSFET のボディダイオードの逆方向回復電荷です。

100k $\Omega$  ゲート抵抗を MOSFET のゲートとソースの間に配置します。この抵抗は、バイパス モードでのチャージ ポンプのソース電流 ( $I_{CP}$ ) によって決定されます。選択した抵抗値が低すぎる場合、ゲート電圧が低すぎてハイサイド MOSFET が完全にターンオンできません。

ハイサイド スイッチと並列にショットキー ダイオードを追加すると、効率を向上できます。通常、このダイオードはデッド タイム中にしか導通しないため、この並列ショットキー ダイオードの電力定格は、ハイサイド スイッチよりも小さいです。並列ダイオードの電力定格は、起動時の突入電流、スイッチング前の負荷存在、ヒップ モード動作などを処理できるよう、十分に高くする必要があります。

### 8.2.2.9 スナバ部品

ハイサイド N チャネル MOSFET デバイスの両端に抵抗-コンデンサのスナバ回路を配置すると、スイッチング ノードのリギングおよびスパイクが減少します。過剰なリギングおよびスパイクは、誤動作を引き起こし、出力電圧にノイズも結合させます。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。抵抗値は、5~50 $\Omega$  から開始します。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、スナバでの損失も大きくなります。スナバ コンデンサは、重負荷時にスイッチ波形のスパイクを十分にダンピングできる、最小の値から開始します。最適化されたレイアウトでは、スナバは必要ありません。

### 8.2.2.10 Vout プログラミング

固定出力電圧の場合、抵抗を ATRK/DTRK に接続して、高精度の内部 20 $\mu$ A 電流源をオンにすることで、 $V_{OUT}$  をプログラムします。

$$R_{ATRK} = \frac{V_{out\_max}}{6V} \times 10k\Omega = 75k\Omega \quad (51)$$

Class-H オーディオ アプリケーションでは、 $V_{out}$  を調整して効率を最適化します。ATRK/DTRK を使用して、アナログ トラッキングまたはデジタル トラッキングを適用します。

デジタル PWM 信号 (DTRK) により出力電圧を設定します。デューティ サイクル  $D_{TRK}$  は次のように求められます。

$$D_{TRK\_max} = \frac{V_{out\_max}}{75V} = 60\% \quad (52)$$

$$D_{TRK\_min} = \frac{V_{out\_min}}{75V} = 10.7\% \quad (53)$$

DTRK 周波数が 100kHz~2200kHz の範囲内であることを確認してください。IC が有効の場合は、DTRK PWM 信号を印加する必要があります。

アナログ トラッキングの場合、ATRK/DTRK に電圧を印加して、 $V_{out}$  をプログラムします。電圧は次のように求められます。

$$V_{ATRK\_max} = \frac{V_{out\_max}}{30} = 1.5V \quad (54)$$

$$V_{ATRK\_min} = \frac{V_{out\_min}}{30} = 0.267V \quad (55)$$

図 8-9 に示すように、オフセット付きの 2 段 RC フィルタを利用して、デジタル PWM 信号をアナログ電圧に変換できます。

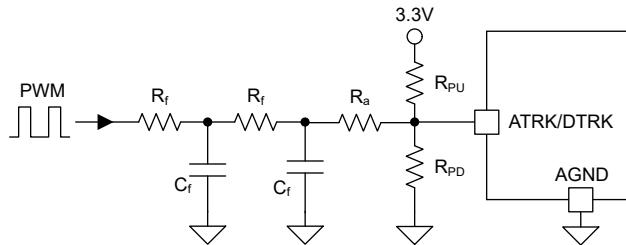


図 8-9. 2 段 RC フィルタから ATRK/DTRK へ

2 段構成の RC フィルタは、PWM 信号をスムーズなアナログ電圧にフィルタリングするために使用されます。ATRK/DTRK の電圧リップルとセトリング タイムを考慮して、2 段構成の RC フィルタが選択されます。

100% の PWM デューティ サイクルでは出力電圧が  $V_{out\_max}$  に設定され、0% の PWM デューティ サイクルでは  $V_{out\_min}$  に設定されます。 $R_t$  と  $R_b$  は、ATRK/DTRK のオフセット電圧の調整に使用されます。

$V_{trk\_max}$  および  $V_{trk\_min}$  は次のように求められます。

$$V_{ATRK\_max} = V_{dd} \frac{R_b}{(2R_f + R_a) \| R_t + R_b} \quad (56)$$

$$V_{ATRK\_min} = V_{dd} \frac{(2R_f + R_a) \| R_b}{(2R_f + R_a) \| R_b + R_t} \quad (57)$$

ここで、 $V_{dd}$  は PWM 信号の振幅、d は PWM のデューティ サイクルです。

入力から  $V_{ATRK}$  への AC 伝達関数は、次のように求められます。

$$G_{trk}(s) = \frac{\frac{R_L}{2R_f + R_L}}{1 + 2\zeta \frac{s}{\omega_n} + \left(\frac{s}{\omega_n}\right)^2} \quad (58)$$

ここで

$$R_L = R_a + R_b \| R_t \quad (59)$$

$$\omega_n = \frac{1}{R_f \times C_f \sqrt{\frac{R_L}{2R_f + R_L}}} \quad (60)$$

$$\zeta = \frac{1}{2} \left( \frac{R_f}{R_L} + 3 \right) \sqrt{\frac{R_L}{2R_f + R_L}} \quad (61)$$

分母のルートは次のように求められます。

$$s_1 = -\zeta\omega_n + \omega_n\sqrt{\zeta^2 - 1} \quad (62)$$

$$s_2 = -\zeta\omega_n - \omega_n\sqrt{\zeta^2 - 1} \quad (63)$$

$\zeta > 1$  なので、これは過剰減衰二次系です。 $s_1$  は支配的なポールです。2% のセトリング タイム  $t_s$  は次のように推定されます。

$$t_s = \frac{1}{s_1} \cdot \ln \left( -\frac{0.02 \cdot 2s_1\sqrt{\zeta^2 - 1}}{\omega_n} \right) \quad (64)$$

このアプリケーションでは、400kHz の PWM 周波数を採用しています。 $R_f = 4.99k\Omega$ 、 $C_f = 47nF$ 、 $R_a = 1.5k\Omega$ 、 $R_t = 51k\Omega$ 、 $R_b = 7.87k\Omega$  が選択されます。2% のセトリング タイムは約 1.3ms です。

### 8.2.2.11 入力電流制限 (ILIM/IMON)

オーディオ アプリケーションでは過渡電力が大きくなります。このアプリケーションでは、ピーク出力電力として 500W を選択します。ただし、通常、平均電力はピーク電力よりもはるかに小さくなります。平均電力として 150W を選択します。適切な ILIM/IMON 設定を使用すると、100ms で 500W のピークを許容しながら、平均入力電流を 150W 未満に制限します。平均電流ループがトリガされると、入力と出力の電力が平衡するまで、 $V_{OUT}$  が低下します。

平均出力電力および標準入力電圧における相ごとの入力電流は、次のように求めます。

$$I_{avg} = \frac{P_{avg\_total}}{1 \times \eta \times V_{in\_typ}} = 11.0A \quad (65)$$

平均入力電流制限として 14A が選択されます。

$$I_{lim} = 14A \quad (66)$$

ILIM/IMON からの電流は、次のように求めます。

$$I_{MON\_lim} = (R_{CS} \times I_{lim} \times G_{IMON} + I_{OFFSET}) = (1.5m\Omega \times 14A \times 0.333mA/V + 4\mu A) = 11\mu A \quad (67)$$

$R_{ILIM}$  は次のように計算されます。

$$R_{IMON} = \frac{V_{ILIM}}{I_{MON}} = \frac{1V}{11\mu A} = 90.9k\Omega \quad (68)$$

$R_{IMON}$  には標準値 90.9kΩ が選択されます。

図 8-10 に示すように、 $C_{IMON}$  と  $R_c$  を使用して、平均電流ループがトリガされる前に適切な遅延を作成します。

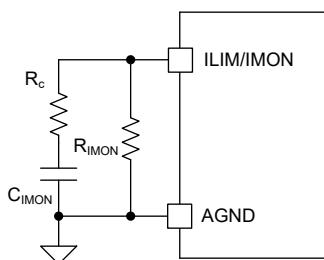


図 8-10. ILIM/IMON ピンの構成

このアプリケーションでは、2 倍の定格電力で 100ms の遅延が必要です。

負荷がゼロのとき、ILIM/IMON から出力される電流は次のように求めます。

$$I_{MON\_0A} = I_{OFFSET} = 4\mu A \quad (69)$$

ゼロ負荷時の ILIM/IMON 電圧は次のように計算されます。

$$V_{IMON\_0A} = R_{IMON} \times I_{MON\_0A} = 0.36V \quad (70)$$

定格電力の 2 倍のとき、ILIM/IMON から出力される電流は次のように求めます。

$$I_{MON\_tr} = (R_{CS} \times 2 \times I_{lim} \times G_{IMON} + I_{OFFSET}) = (1.5m\Omega \times 28A \times 0.333mA/V + 4\mu A) = 18\mu A \quad (71)$$

$C_{IMON}$  は次の式で求めます。

$$C_{IMON} = \frac{t_{delay}}{R_{IMON} \times \ln\left(\frac{R_{IMON} \times I_{MON\_tr} - V_{IMON\_0A}}{R_{IMON} \times I_{MON\_tr} - V_{ILIM}}\right)} = 1.6\mu F \quad (72)$$

$C_{IMON}$  には標準値  $2.2\mu F$  が選択されます。

$R_c$  は次の式で求めます。

$$R_c = \frac{1}{20\pi \times C_{IMON}} = 7.2k \quad (73)$$

$R_c$  には標準値  $6.04k\Omega$  が選択されます。

### 8.2.2.12 UVLO ディバイダ

目的のスタートアップ電圧とヒステリシスは、分圧抵抗  $R_{UVT}$  および  $R_{UVB}$  により設定されます。この設計では、スタートアップ電圧 ( $V_{in\_on}$ ) を  $8.5V$  に設定します。これは、 $V_{in\_min}$  より  $0.5V$  低い値です。UVLO ヒステリシス電圧は  $1V$  に設定されています。この動作により、UVLO シャットダウン電圧 ( $V_{in\_off}$ ) が  $7.5V$  になります。 $R_{UVT}$  と  $R_{UVB}$  の値は次のように計算されます。

$$R_{UVT} = \frac{V_{in\_on} - \frac{V_{UVLO\_RISING}}{V_{UVLO\_FALLING}} \times V_{in\_off}}{I_{UVLO\_HYS}} = \frac{8.5V - \frac{1.1V}{1.075V} \times 7.5V}{10\mu A} = 82.6k\Omega \quad (74)$$

$R_{UVT}$  には標準値  $82.5k\Omega$  が選択されます。

$$R_{UVB} = \frac{V_{UVLO\_FALLING} \times R_{UVT}}{V_{in\_off} - V_{UVLO\_FALLING}} = \frac{1.075V \times 82.5k\Omega}{7.5V - 1.075V} = 13.8k\Omega \quad (75)$$

$R_{UVB}$  には標準値  $13.8k\Omega$  が選択されます。

$100nF$  UVLO コンデンサ ( $C_{UVLO}$ ) は、スタートアップ時、または低入力電圧での厳しい負荷過渡時に  $V_{in}$  が  $V_{in\_off}$  を瞬間に下回った場合に選択されます。

### 8.2.2.13 ソフトスタート

最大出力電圧でのソフトスタート時間が最長です。 $6Ms$  のソフトスタート時間を得るためのソフトスタートコンデンサは次のように求められます。

$$C_{SS} = \frac{I_{SS} \times t_{SS}}{V_{ATRK\_max} \left( \frac{V_{out\_max}}{V_{out\_max} - V_{in\_typ}} \right)} = \frac{50\mu A \times 6ms}{1.5V} \left( \frac{45V}{45V - 14.4V} \right) = 0.29\mu F \quad (76)$$

$C_{SS}$  には標準値  $0.33\mu F$  が選択されます。

### 8.2.2.14 CFG の設定

$I^2C$  アドレスおよび ATRK/DTRK ピンの  $20\mu A$  電流ソースのターンオン / ターンオフに基づいて CFG を選択します。

ここでは、 $I^2C$  アドレス  $0b1100000$  と  $20\mu A$  電流ソースのターンオンが選択されています。CFG にはレベル 1 ( $0\Omega$ ) が選択されています。

この例では、 $I^2C$  を使用してデッドタイムを  $50ns$  に設定し、その他の設定は、セクション 7 に示すようにデフォルトで設定されています。

### 8.2.2.15 出力コンデンサ $C_{OUT}$

出力コンデンサは、出力電圧のリップルを平滑化し、負荷過渡状況において充電の電源になります。

出力コンデンサのリップル電流定格は、注意深く選択します。ブートレギュレータでは、出力は不連続電流によって供給され、通常はリップル電流の要件が高くなります。実際には、大きなアルミ電解コンデンサよりも先に、電力スイッチの近くに高品質のセラミックコンデンサを配置することで、リップル電流の要件を大幅に低減します。

出力電圧リップルは、出力コンデンサの **ESR** の影響を大きく受けます。出力コンデンサの並列化は、実効 **ESR** を最小化し、コンデンサへの出力リップル電流を分割するための適切な選択肢です。

単相昇圧出力 **RMS** リップル電流は、次のように表します。

$$I_{1p\_rms} \approx I_{out} \times \sqrt{\frac{D}{D'}}$$
 (77)

デカップリングコンデンサは、MOSFET の電圧スパイクを最小化し、EMI パフォーマンスを向上させることができます。ごく少数の 0603/100nF セラミックコンデンサを、「垂直ループ」コンセプトに従って、MOSFET の近くに配置しています。詳細については、『最適化された出力段レイアウトによる大電流 DC/DC レギュレータのコストなしでの EMI 性能向上』アプリケーションブリーフを参照してください。

出力電圧リップルを低減し、出力リップル電流を分割するために、いくつかの 10μF セラミックコンデンサも必要です。

通常、高静電容量の場合はアルミ電解コンデンサが必要となります。この例では、4 つの 150μF アルミ電解コンデンサを選択しています。

出力の過渡応答は、ループゲインの帯域幅と出力容量に密接に関係しています。『過渡応答測定から帯域幅を判定する方法』の技術資料から、オーバーシュートまたはアンダーシュート  $V_p$  を次のように推定します。

$$V_p = \frac{\Delta I_{tran}}{2\pi \times f_c \times C_{out}}$$
 (78)

ここで、 $\Delta I_{tran}$  は過渡負荷電流ステップです。

負荷ステップ中に、コンバータが常に CCM または FPWM で動作している場合のみ式 78 は有効であることに注意してください。軽負荷時にコンバータが DCM またはパルススキップモードに移行すると、オーバーシュートが悪化します。

入力から出力への本質的なパスの関係で、入力電圧が急速に上昇して出力コンデンサを充電するときに、無制限の突入電流が発生します。入力電圧の立ち上がりスルーレートは、突入電流がインダクタ、センス抵抗、またはハイサイド MOSFET を損傷しないよう、ホットスワップまたは入力電源のソフトスタートによって制御される必要があります。

#### 8.2.2.16 入力コンデンサ $C_{in}$

安定した入力電圧を供給するために、入力コンデンサは常に必要です。入力コンデンサは、インダクタのリップル電流に対応できることが必要です。

単相昇圧入力 **RMS** リップル電流は、次のように表します。

$$I_{in\_1p\_rms} = \frac{I_{pp}}{\sqrt{12}}$$
 (79)

入力コンデンサは、入力フィルタの重要な部分でもあります。静電容量と **ESR** が大きいほど、入力フィルタの減衰を改善するのに役立ちます。アルミ電解コンデンサは、静電容量と **ESR** が大きい入力コンデンサに最適な選択肢です。詳細については、『スイッキング電源用の入力フィルタ設計』アプリケーションノートを参照してください。

#### 8.2.2.17 ブートストラップコンデンサ

HB ピンと SW ピンとの間のブートストラップコンデンサは、各サイクルのターンオン時にハイサイド MOSFET デバイスを充電するためのゲート電流を供給するとともに、ブートストラップダイオードの回復電荷を供給します。これらの電流のピークは、数アンペアです。ブートストラップコンデンサの推奨値は 0.1μF です。 $C_{BST}$  には、高品質で **ESR** の低いセラミックコンデンサを使用します。配線のインダクタンスから引き起こされる過渡電圧による損傷の可能性を最小限に抑えるため、 $C_{BST}$  はデバイスのピンの近くに配置してください。ブートストラップコンデンサの最小値は次のように計算されます。

$$C_{BST} = \frac{Q_G}{\Delta V_{BST}} \quad (80)$$

ここで、

- $Q_G$  は、 $VCC = 5V$  時のハイサイド MOSFET のゲート電荷です。
- $\Delta V_{BST}$  は、 $C_{BST}$  で許容される電圧ドロープで、控えめにみて、一般に  $VCC$  の 5% または 0.15V 未満です。

この例では、ブートストラップコンデンサの値 ( $C_{BST}$ ) は  $0.1\mu F$  です。

#### 8.2.2.18 VCC コンデンサ $C_{VCC}$

$VCC$  コンデンサの主な目的は、LO ドライバおよびブートストラップダイオードのピーク過渡電流を供給し、 $VCC$  レギュレータを安定させることです。 $CC_{BST}$  の値よりすくなくとも 10 倍以上大きい  $C_{VCC}$  を選択します。 $C_{VCC}$  には、高品質で ESR の低いセラミックコンデンサを使用します。 $C_{VCC}$  は、デバイスのピンの近くに配置します。

この設計例では、 $10\mu F$  の値が選択されています。

#### 8.2.2.19 バイアス コンデンサ

$C_{BIAS}$  には高品質のセラミックコンデンサを使用します。 $C_{BIAS}$  は、物理的にデバイスの近くに配置します。

この設計例では、 $1\mu F$  の値が選択されています。

#### 8.2.2.20 VOUT コンデンサ

$C_{OUT}$  には高品質のセラミックコンデンサを使用します。 $C_{OUT}$  は、物理的にデバイスの近くに配置します。

この設計例では、 $0.1\mu F$  の値が選択されています。

#### 8.2.2.21 ループ補償

$R_{COMP}$ 、 $C_{COMP}$ 、 $C_{HF}$  は、エラー アンプのゲインと位相特性を設定し、安定した電圧ループを生み出します。手早く開始するには、次の 4 つの手順に従います。

1. クロスオーバー周波数  $f_C$  を選択します。 $RHPZ$  周波数の  $1/5$ 、またはスイッチング周波数の  $1/10$  のうち、どちらか低い方のクロスオーバー周波数 ( $f_C$ ) を選択します。最小入力電圧および最大出力電圧で  $RHPZ$  を選択します。

$$\frac{f_{SW}}{10} = 40\text{kHz} \quad (81)$$

$$\frac{f_{RHPZ}}{5} = \frac{R_{out} \times D'^2}{5 \times 2\pi \times L_{m\_eq}} = 1.6\text{kHz} \quad (82)$$

クロスオーバー周波数  $f_c = 1.6\text{kHz}$  を選択します。

2. 必要な  $R_{COMP}$  の判定

$f_c$  が判明していれば、 $R_{COMP}$  は次のように計算されます。

$$R_{COMP} = \frac{2\pi \times f_c \times C_{out} \times A_{CS} \times R_{CS\_eq}}{D' \times K_{FB} \times g_m \times G_{ACB}(2\pi \times f_c)} = \frac{2\pi \times 1.6\text{kHz} \times 900\mu F \times 10 \times 0.75m\Omega}{0.2 \times \frac{1}{30} \times 1\frac{\text{mA}}{\text{V}} \times \frac{1}{2}} = 20.4\text{k}\Omega \quad (83)$$

$R_{COMP}$  には標準値  $20\text{k}\Omega$  が選択されます

3. 必要な  $C_{COMP}$  の判定

負荷ポールを相殺するため、負荷ポールの周波数  $\omega_{P\_LF}$  に  $\omega_{Z\_EA}$  を配置します。 $R_{COMP}$  が判明していれば、 $C_{COMP}$  は次のように計算されます。

$$C_{COMP} = \frac{1}{R_{COMP} \times \omega_{P\_LF}} = \frac{1}{20\text{k}\Omega \times \frac{2}{4.05\Omega \times 650\mu F}} = 65\text{nF} \quad (84)$$

$C_{COMP}$  には標準値 65nF が選択されます

4.  $C_{HF}$  を決定します。

$\omega_{RHPZ}$  または  $\omega_{Z\_ESR}$  のどちらか低い方に  $\omega_{HF}$  を配置します。 $R_{COMP}$ 、 $R_{HPZ}$ 、 $ESR$  ゼロが判明していれば、 $C_{HF}$  は次のように計算されます。

$$C_{HF} = \frac{1}{R_{COMP} \times \omega_{HF}} = \frac{1}{20\text{k}\Omega \times 49\text{kHz}} = 1\text{nF} \quad (85)$$

$C_{HF}$  には標準値 1nF が選択されます。

### 8.2.3 アプリケーション曲線

#### 8.2.3.1 効率

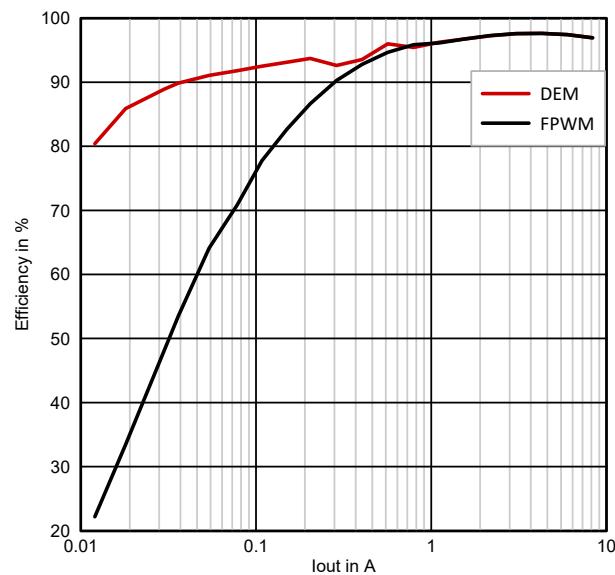


図 8-11. 効率と出力電流との関係、 $V_{in} = 14.4\text{V}$ 、 $V_{out} = 24\text{V}$

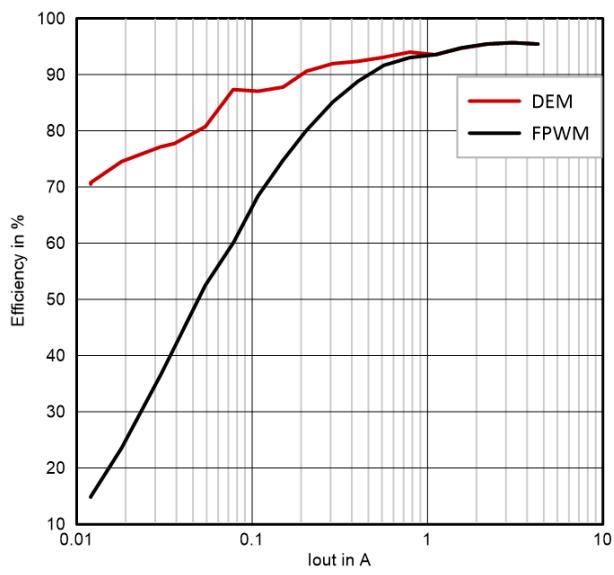


図 8-12. 効率と出力電流との関係、 $V_{in} = 14.4\text{V}$ 、 $V_{out} = 45\text{V}$

#### 8.2.3.2 定常状態波形

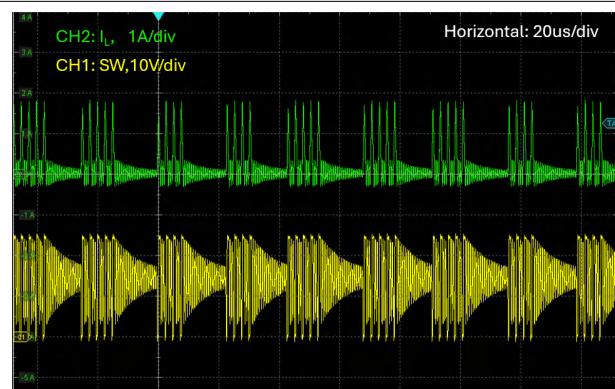


図 8-13.  $V_{in} = 14.4\text{V}$ 、 $V_{out} = 24\text{V}$ 、DEM、 $I_{load} = 0.1\text{A}$

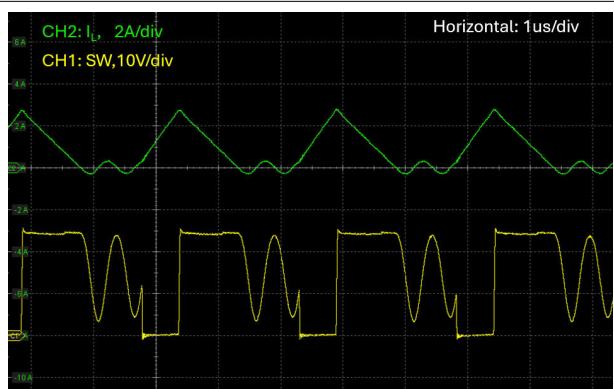


図 8-14.  $V_{in} = 14.4\text{V}$ 、 $V_{out} = 24\text{V}$ 、DEM、 $I_{load} = 0.5\text{A}$

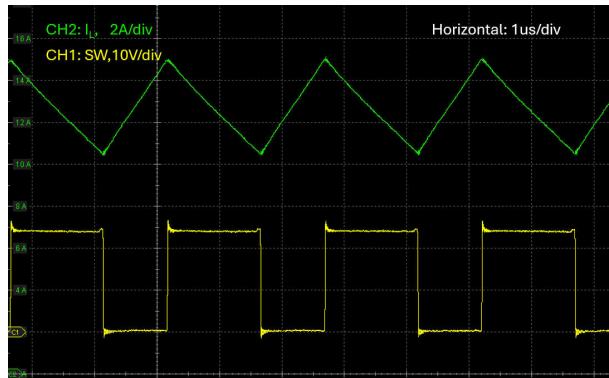


図 8-15.  $V_{in} = 14.4V$ 、 $V_{out} = 24V$ 、DEM、 $I_{load} = 7.5A$

### 8.2.3.3 ステップ負荷応答



図 8-16. 負荷過渡応答、 $V_{in} = 14.4V$ 、 $V_{out} = 24V$ 、  
FPWM、 $I_{load} = 0A \sim 3.125A (1A/\mu s)$

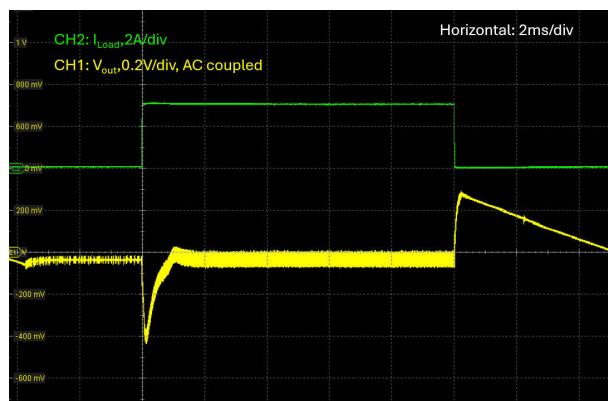


図 8-17. 負荷過渡応答、 $V_{in} = 14.4V$ 、 $V_{out} = 24V$ 、  
DEM、 $I_{load} = 0A \sim 3.125A (1A/\mu s)$

### 8.2.3.4 AC ループ応答曲線

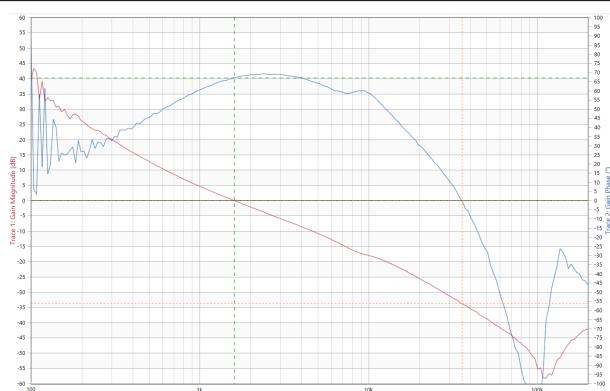
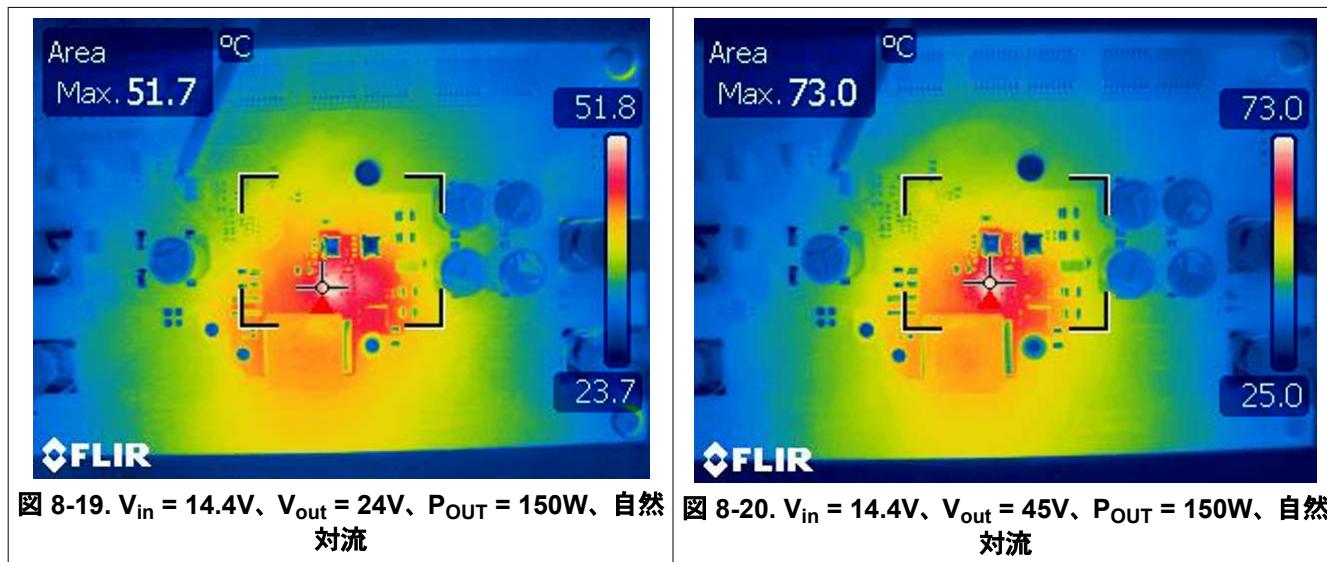


図 8-18. ポード線図、 $V_{in} = 14.4V$ 、 $V_{out} = 45V$ 、 $I_{out} = 3.4A$  (平均電流ループ無効化)

### 8.2.3.5 熱性能



## 8.3 電源に関する推奨事項

LM51261A-Q1 は、広い入力電圧範囲で動作するよう設計されています。入力電源の特性は、「絶対最大定格」と「推奨動作条件」に適合している必要があります。また、入力電源は、全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。平均入力電流を見積るには、式 86 を使用します。

$$I_I = \frac{P_O}{V_I \eta} \quad (86)$$

$\eta$  は効率です。

最悪動作モードにおける効率の値を求めるには、効率セクションのグラフを使用します。ほとんどのアプリケーションでは、昇圧動作は入力電流が最大の領域となります。

デバイスが高インピーダンスを持つ長い配線や PCB パターンを経由して入力電源に接続されている場合は、安定した性能を実現するために特に注意が必要です。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します。寄生インダクタンスと低 ESR セラミック入力コンデンサを組み合わせることで、不足減衰共振回路が形成されます。この回路は、入力電源がオンとオフを周期的に切り替わるたびに、 $V_I$  で過電圧過渡が発生します。寄生抵抗により、負荷過渡中に入力電圧が低下する場合があります。こうした問題を解決する方法の 1 つは、入力電源からレギュレ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製やタンタル製の入力コンデンサを使用することです。電解コンデンサの ESR は比較的低いため、入力共振回路は減衰し、電圧オーバーシュートを低減することができます。コントローラの電力段の前に EMI 入力フィルタをよく使用します。不安定性や前述のような効果の一部を回避するために、EMI 入力フィルタを慎重に設計してください。

## 8.4 レイアウト

### 8.4.1 レイアウトのガイドライン

スイッチングコンバータの性能は、PCB レイアウトの品質に大きく依存します。PCB の設計が不適切な場合、その他のコンバータの不安定性、ロードレギュレーションの問題、ノイズまたは EMI の問題が発生します。 $V_{CC}$  またはブートストラップコンデンサに対する電力パスの熱軽減接続は、熱軽減接続によって大きなインダクタンスが追加されるため、使用できません。

- $V_{CC}$ 、BIAS、HB のコンデンサは、対応するデバイスピンの近くに配置し、短く幅広いパターンで接続すると、コンデンサに大きなピーク電流が流れると、インダクタンスを最小化します。

- CSN および CSP のフィルタ抵抗とコンデンサは、対応するデバイスピンの近くに配置することで、フィルタとデバイスとの間のノイズ結合を最小限に抑えます。インダクタ近くに配置されたセンス抵抗  $R_{CS}$  にパターンを配線し、差動ペアとしてグランドで囲むことで、ノイズ結合を避けることができます。センス抵抗にはケルビン接続を使用します。
- 補償回路  $R_{COMP}$ 、 $C_{COMP}$ 、および周波数設定抵抗  $R_{RT}$  を対応するデバイスピンの近くに配置して、短いパターンで接続することで、ノイズ結合を避けることができます。アナログ グランドピン AGND をこれらの部品に接続します。
- ATRK 抵抗  $R_{ATRK}$  (使用する場合) は ATRK ピンの近くに配置し、AGND に接続します。
- なお、以下の部品のレイアウトはそれほど重要ではありません。
  - ソフトスタートコンデンサ  $C_{SS}$
  - DLY コンデンサ  $C_{DLY}$
  - ILIM/IMON 抵抗とコンデンサ  $R_{ILIM}$  および  $C_{ILIM}$
  - CFG 抵抗
  - UVLO/EN 抵抗
- AGND および PGND ピンを露出パッド (EP) に直接接続して、デバイスでスター接続を形成します。
- いくつかのビアを持つデバイスの露出パッド (EP) をグランドプレーンに接続することで、熱を逃がします。
- 電源と信号のパターンを分けて、ノイズのシールドを実現するためにグランドプレーンを使用します。

ゲートドライバには、短い伝搬遅延、自動デッドタイム制御、高いピーク電流を供給できる低インピーダンス出力段が内蔵されています。立ち上がり / 立ち下がり時間が短いため、パワー MOSFET の高速ターンオン / ターンオフ遷移を確実に実現でき、高効率を実現します。大きいリンクギングを防止するため、浮遊および寄生ゲートループ インダクタンスを最小限に抑えます。

- ハイサイド MOSFET とローサイド MOSFET をデバイスの近くに配置してください。
- ゲートドライバの出力 HO および LO を短いパターンで接続し、インダクタンスを最小化します。
- ブラックスキャンセレーション効果を使用して、HO および SW を差動ペアとして MOSFET に配線することで、ループ面積を減らせます。
- $V_{OUT}$  コンデンサをハイサイド MOSFET の近くに配置します。短く幅広いパターンを使用することで、パワーレベルのループ  $C_{OUT}$  からハイサイド MOSFET のドレイン接続を最小限に抑えることができ、MOSFET での高電圧スパイクを避けることができます。
- MOSFET に高い電圧スパイクを引き起こすインダクタンスを最小化するため、ローサイド MOSFET のソース接続を短く広いパターンで  $V_{OUT}$  および  $V_I$  コンデンサのグランドに接続します。
- MOSFET のサーマルパッドで冷却には銅の面積を使用します。

MOSFET とインダクタの熱を拡散するには、インダクタを電力段 (MOSFET) から離して配置します。ただし、インダクタとローサイド MOSFET (スイッチノード) との間のパターンが長いほど、EMI とノイズ放射は大きくなります。最高の効率を得るには、インダクタを広く短い配線で接続することで、抵抗性損失を最小限に抑えます。

#### 8.4.2 レイアウト例

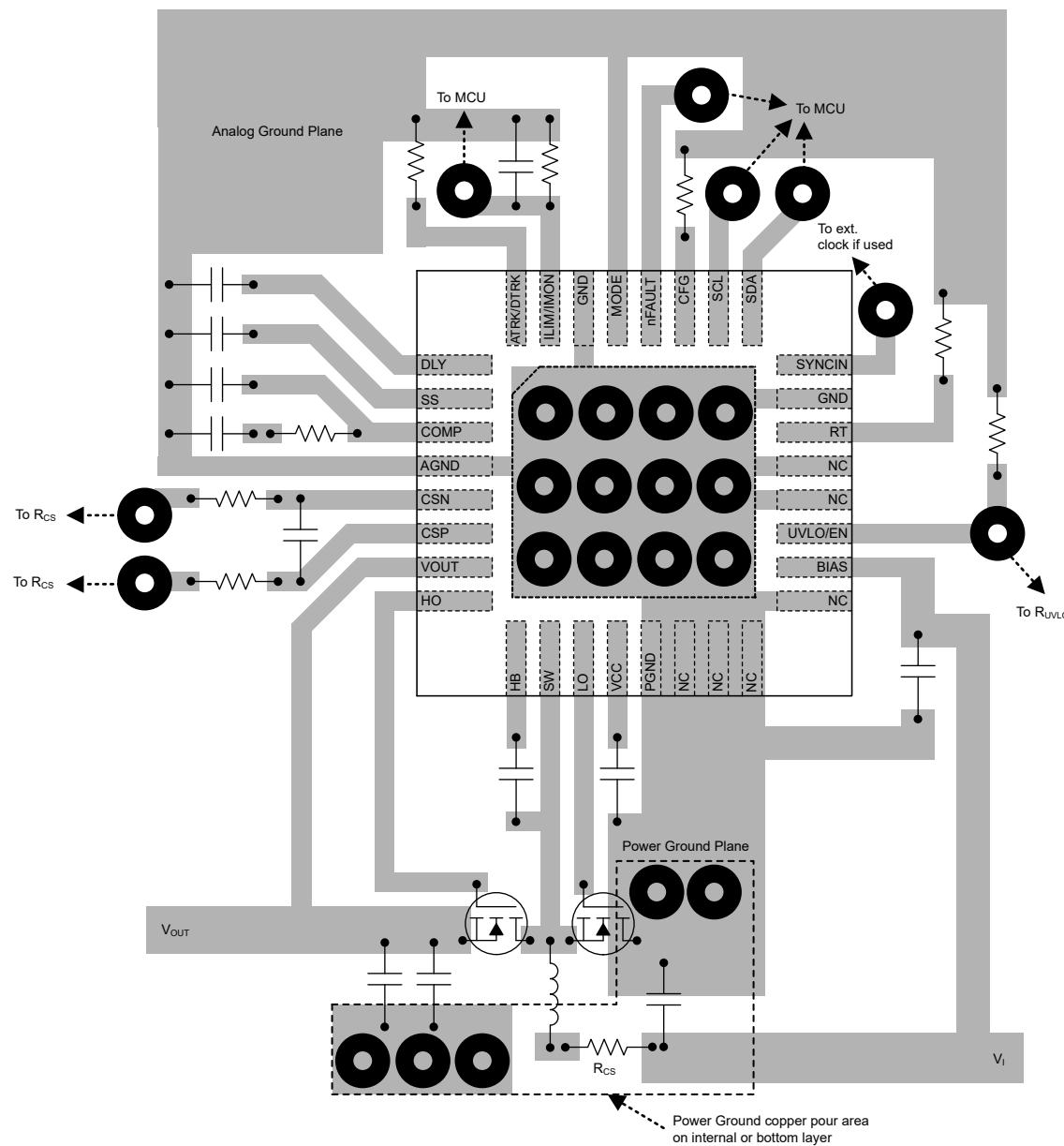


図 8-21. レイアウト例

## 9 デバイスおよびドキュメントのサポート

テキサス・インスツルメンツでは、幅広い開発ツールを提供しています。デバイスの性能の評価、コードの生成、ソリューションの開発を行うためのツールとソフトウェアを以下で紹介します。

### 9.1 ドキュメントのサポート

#### 9.1.1 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、『スイッチング電源の入力フィルタ設計』アプリケーションノート
- テキサス・インスツルメンツ、『最適化された出力段レイアウトによる大電流 DC/DC レギュレータの EMI 性能向上』アプリケーションブリーフ
- テキサス・インスツルメンツ、『過渡応答測定から帯域幅を判定する方法』技術資料

### 9.2 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](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。

### 9.3 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。

### 9.4 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。

### 9.5 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お勧めします。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。

### 9.6 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。

## 10 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。

日付	改訂	注
November 2025	*	初版リリース

## 11 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。

**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)
LM51261AQRHBRQ1	Active	Production	VQFN (RHB)   32	3000   LARGE T&R	-	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 150	LM51 261AQ

<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.

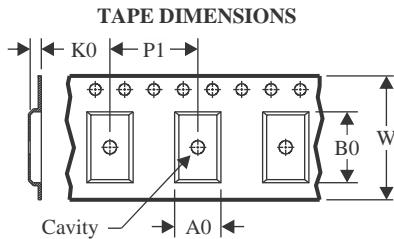
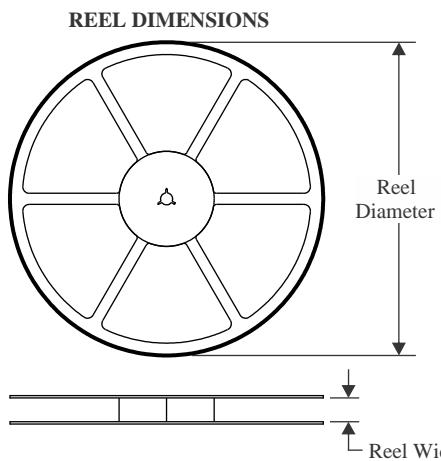
<sup>(6)</sup> **Part marking:** There may be an additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category of the part.

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.

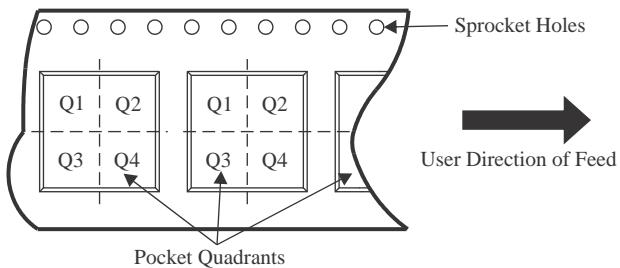
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

## TAPE AND REEL INFORMATION



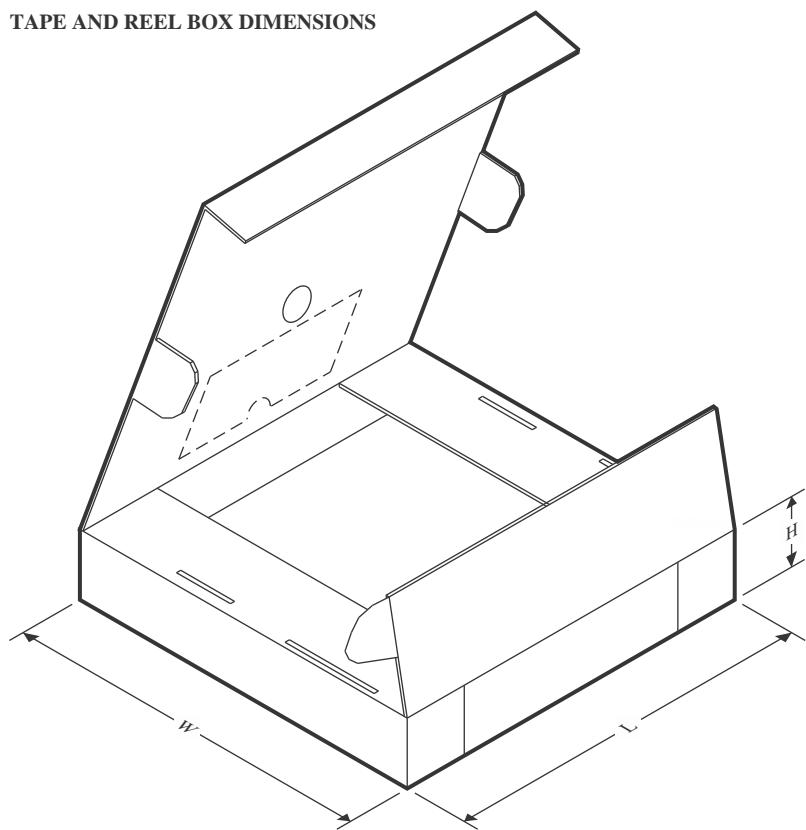
A0	Dimension designed to accommodate the component width
B0	Dimension designed to accommodate the component length
K0	Dimension designed to accommodate the component thickness
W	Overall width of the carrier tape
P1	Pitch between successive cavity centers

**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
LM51261AQRHBRQ1	VQFN	RHB	32	3000	330.0	12.4	5.3	5.3	1.1	8.0	12.0	Q2

**TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS**


\*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
LM51261AQRHBRQ1	VQFN	RHB	32	3000	367.0	367.0	35.0

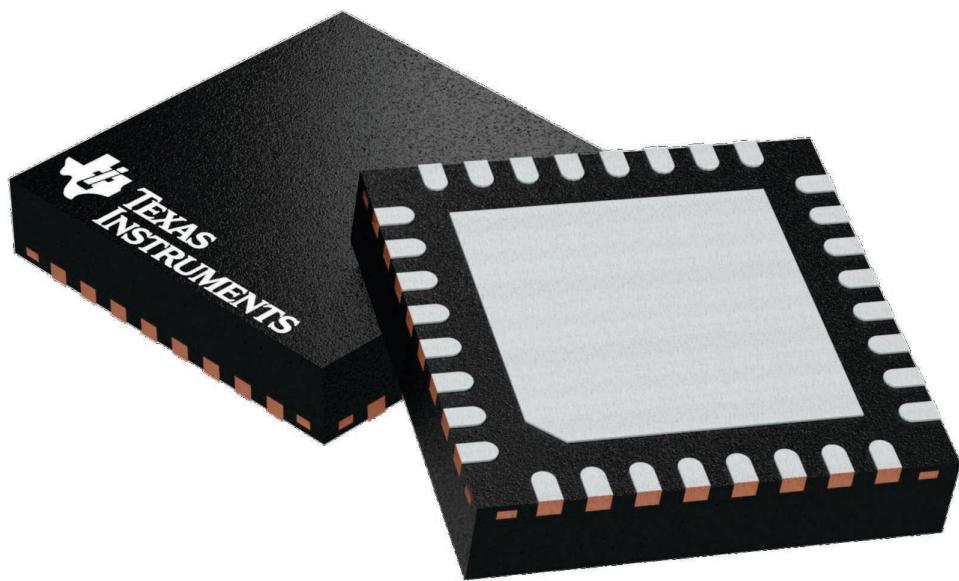
## GENERIC PACKAGE VIEW

**RHB 32**

**VQFN - 1 mm max height**

5 x 5, 0.5 mm pitch

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



Images above are just a representation of the package family, actual package may vary.  
Refer to the product data sheet for package details.

4224745/A

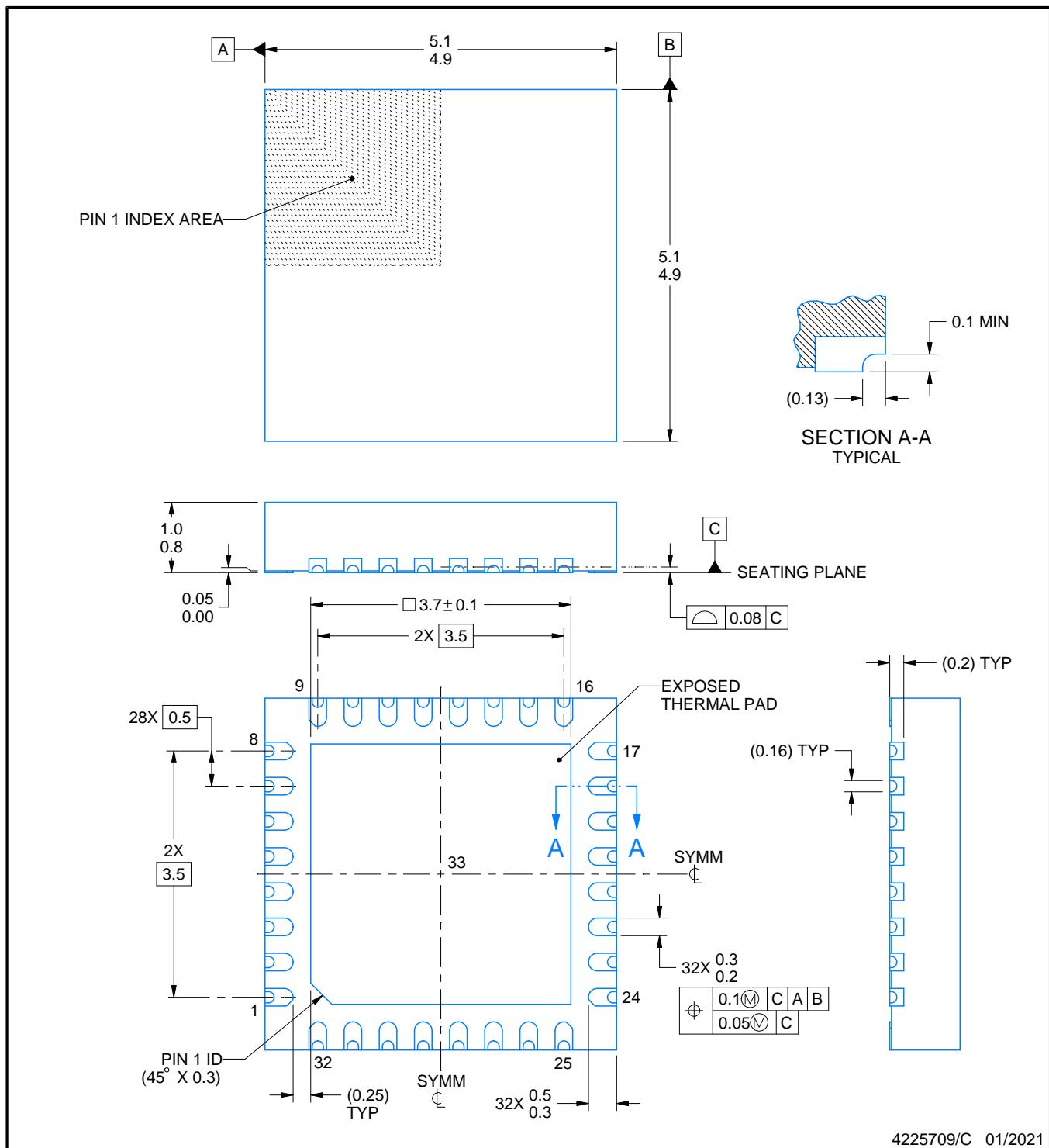
## PACKAGE OUTLINE

RHB0032U



## VQFN - 1 mm max height

#### **PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD**



4225709/C 01/2021

## NOTES:

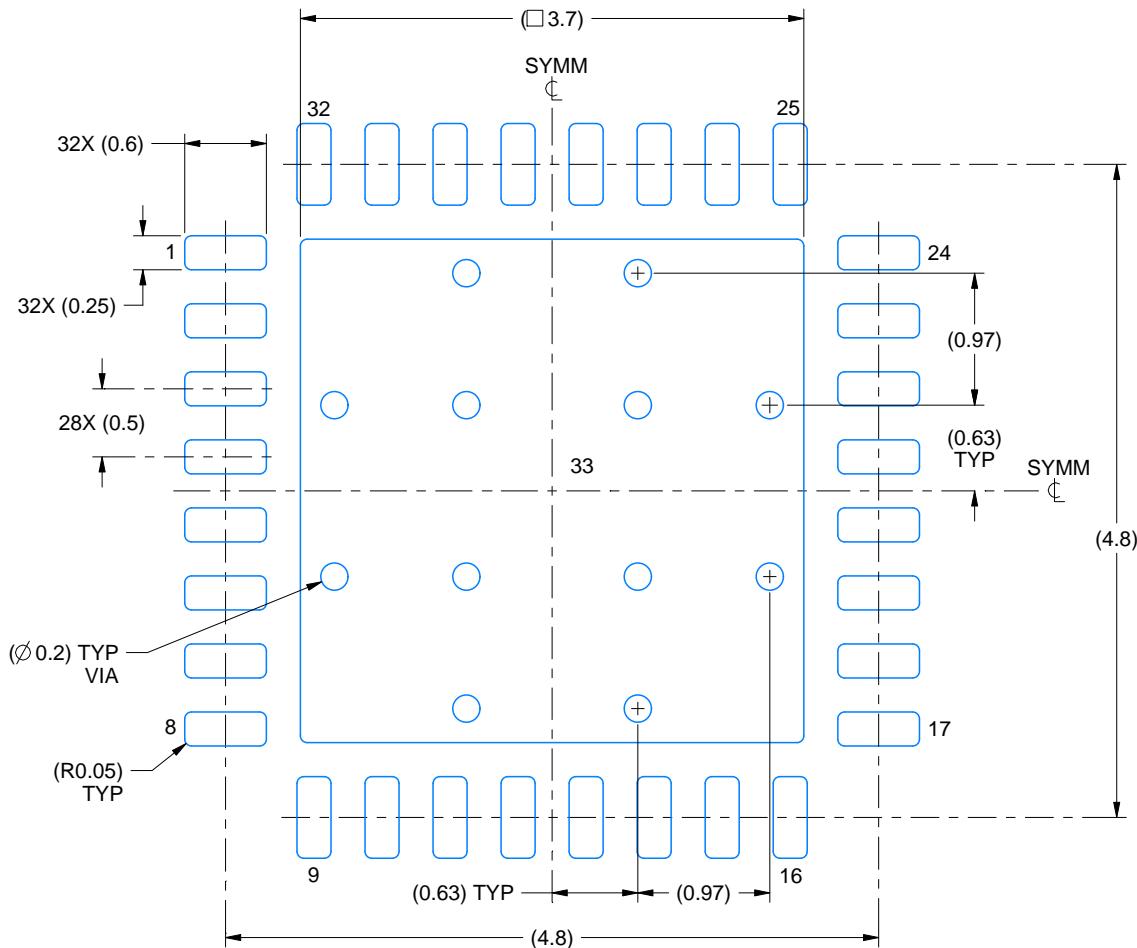
1. All linear dimensions are in millimeters. Any dimensions in parenthesis are for reference only. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
  2. This drawing is subject to change without notice.
  3. The package thermal pad must be soldered to the printed circuit board for thermal and mechanical performance.

# EXAMPLE BOARD LAYOUT

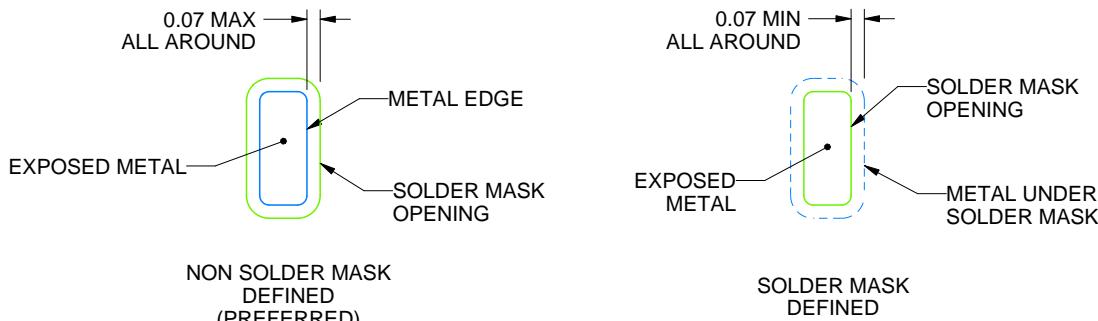
RHB0032U

VQFN - 1 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



LAND PATTERN EXAMPLE  
EXPOSED METAL SHOWN  
SCALE:18X



SOLDER MASK DETAILS

4225709/C 01/2021

NOTES: (continued)

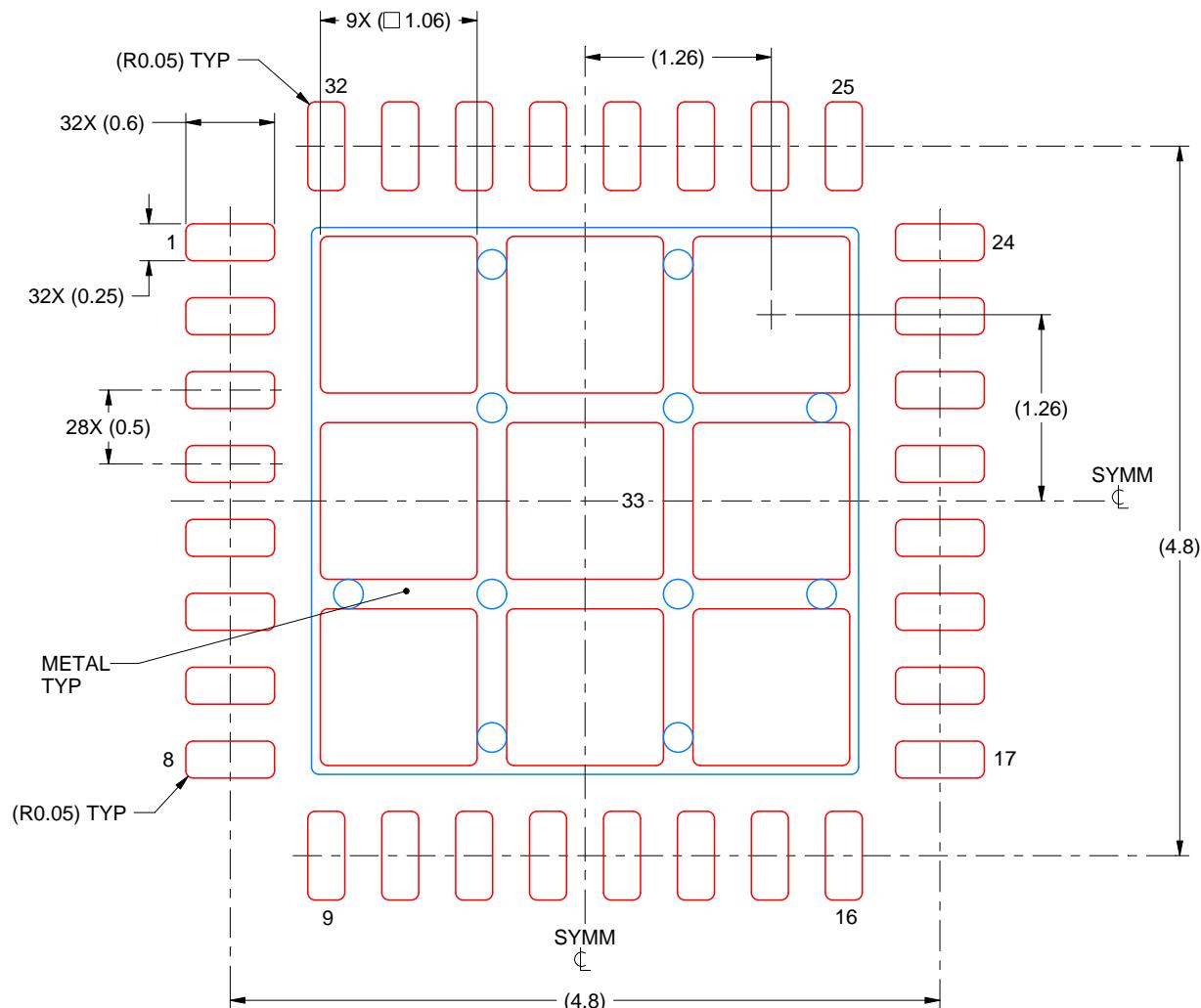
4. This package is designed to be soldered to a thermal pad on the board. For more information, see Texas Instruments literature number SLUA271 ([www.ti.com/lit/slua271](http://www.ti.com/lit/slua271)).
5. Vias are optional depending on application, refer to device data sheet. If any vias are implemented, refer to their locations shown on this view. It is recommended that vias under paste be filled, plugged or tented.

# EXAMPLE STENCIL DESIGN

RHB0032U

VQFN - 1 mm max height

PLASTIC QUAD FLATPACK - NO LEAD



## SOLDER PASTE EXAMPLE BASED ON 0.125 mm THICK STENCIL

EXPOSED PAD 33:  
74% PRINTED SOLDER COVERAGE BY AREA UNDER PACKAGE  
SCALE:20X

4225709/C 01/2021

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、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 © 2025, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025年10月