

デジタル・パワー・システム・ マネージメント機能を搭載した デュアル出力 PolyPhase 降圧 DC/DC コントローラ

特長

- PMBus/I²C 準拠シリアル・インタフェース
 - 遠隔測定での読み出し内容: V_{IN}、I_{IN}、V_{OUT}、I_{OUT}、温度、デューティ・サイクル、およびフォルト
 - プログラム可能な電圧、電流制限、デジタル・ソフトスタート/ストップ、シーケンシング、マージニング、OV/UV、および周波数同期 (250kHz ~ 1MHz)
- 全温度範囲での出力電圧精度: ±0.5%
- 16ビット ADC を内蔵
- V_{OUT} の電圧範囲: 0.5V ~ 5.5V (V_{OUT0}、V_{OUT1})
- 内部 EEPROM とフォルト・ログ機能
- 強力な N チャンネル MOSFET ゲート・ドライバを内蔵
- 広い入力電圧範囲: 4.5V ~ 24V
- アナログ電流モード制御ループ
- PolyPhase[®] アプリケーション対応のリモート差動検出
- 6位相までの PolyPhase 高精度電流分担
- 40ピン (6mm×6mm) QFN パッケージで供給可能

アプリケーション

- 大電流の分散給電システム
- 通信システム、データ通信システム、およびストレージ・システム
- 高度でエネルギー効率の高い電力レギュレーション

概要

LTC[®]3887 は、I²C ベースの PMBus 準拠シリアル・インタフェースを備えたデュアル PolyPhase DC/DC 同期整流式降圧スイッチング・レギュレータ・コントローラです。このコントローラは、グラフィカル・ユーザー・インタフェース (GUI) を備えた LTpowerPlay[™] ソフトウェア開発ツールによってサポートされている固定周波数の電流モード・アーキテクチャを採用しています。

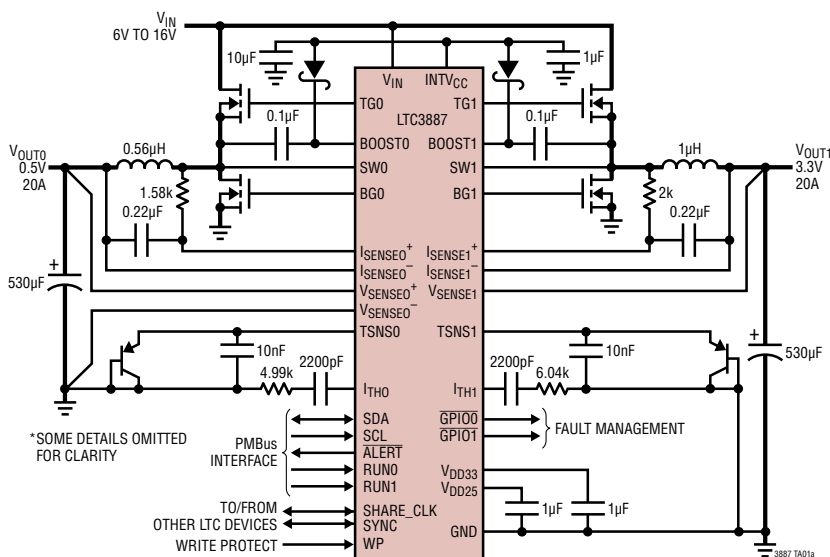
スイッチング周波数、チャンネル位相設定、出力電圧、およびデバイス・アドレスは、外付けの構成抵抗を使用して設定できます。さらに、パラメータはデジタル・インタフェースを介して設定することや、EEPROM に格納することができます。電圧、電流、内部/外部温度、およびフォルト状態は、バス・インタフェースを介して読み出すことができます。

LTC3887 は、不連続 (パルス・スキップ) モード、または連続インダクタ電流モードに合わせて構成できます。LTC3887 はゲート・ドライバを内蔵しています。LTC3887 は LTC3880 の機能向上バージョンであり、出力電圧範囲が広く、デジタル機能が豊富です。詳細については、15 ページを参照してください。

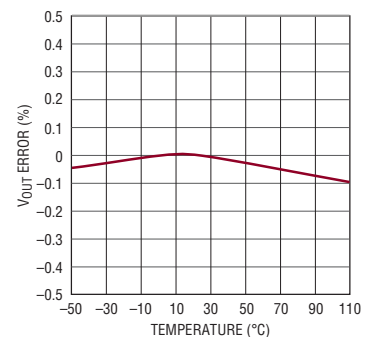
LT、LT、LTC、LTM、PolyPhase、μModule、Linear Technology および Linear のロゴはリニアテクノロジー社の登録商標です。LTpowerPlay はリニアテクノロジー社の商標です。その他全ての商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。5481178、5705919、5929620、6144194、6177787、6580258、5408150、7420359 を含む米国特許により保護されています。米国特許 7000125 および他の関連する国際特許の使用権を許諾されています。

標準的応用例

デュアル 350kHz 3.3V/0.5V 降圧コンバータ



安定化出力電圧と温度、
V_{OUT} = 0.5V



目次

| | | | |
|--|----|--|-----------|
| 特長..... | 1 | OT/UTフォルトに対する応答..... | 26 |
| アプリケーション..... | 1 | 内部過熱フォルト/警告応答..... | 26 |
| 標準的応用例..... | 1 | 外部過熱および低温フォルト応答..... | 26 |
| 概要..... | 1 | 外部フォルトに対する応答..... | 27 |
| 目次..... | 2 | フォルト・ログ..... | 27 |
| 絶対最大定格..... | 4 | バス・タイムアウト保護..... | 27 |
| 発注情報..... | 4 | PMBus、SMBus、I ² C 2線インタフェース間の類似性..... | 27 |
| ピン配置..... | 4 | PMBusシリアル・デジタル・インタフェース..... | 28 |
| 電気的特性..... | 5 | PMBusコマンドの概要..... | 33 |
| 標準的性能特性..... | 9 | PMBusコマンド..... | 33 |
| ピン機能..... | 12 | * データ形式..... | 38 |
| ブロック図..... | 14 | アプリケーション情報..... | 39 |
| 動作..... | 15 | 電流制限のプログラミング..... | 39 |
| 概要..... | 15 | I _{SENSE+} ピンとI _{SENSE-} ピン..... | 39 |
| メイン制御ループ..... | 16 | 値の小さな抵抗による電流検出..... | 40 |
| EEPROM (NVM)..... | 16 | インダクタDCRによる電流検出..... | 41 |
| 電源投入と初期化..... | 17 | スローブ補償とインダクタのピーク電流..... | 42 |
| ソフトスタート..... | 17 | インダクタ値の計算..... | 42 |
| シーケンシング..... | 18 | インダクタのコアの選択..... | 43 |
| イベントベース・シーケンシング..... | 18 | パワー MOSFETとショットキ・ダイオード(オプション)の | |
| シャットダウン..... | 19 | 選択..... | 43 |
| 軽負荷電流動作..... | 19 | 可変遅延時間、ソフトスタート、出力電圧ランプ..... | 44 |
| スイッチング周波数と位相..... | 19 | デジタル・サーボ・モード..... | 45 |
| 出力電圧検出..... | 20 | ソフトオフ(シーケンス制御によるオフ)..... | 45 |
| 電流検出..... | 20 | INTV _{CC} レギュレータ..... | 46 |
| PolyPhase 負荷シェアリング..... | 21 | 上側 MOSFET ドライバの電源 (C _B 、D _B) (LTC3887)..... | 46 |
| 外部/内部温度検出..... | 21 | 低電圧ロックアウト..... | 47 |
| RCONFIG (抵抗構成設定)ピン..... | 22 | C _{IN} とC _{OUT} の選択..... | 47 |
| フォルトの検出と処理..... | 23 | フォルト状態..... | 48 |
| CRC 保護..... | 24 | オープンドレイン・ピン..... | 48 |
| シリアル・インタフェース..... | 24 | フェーズロック・ループと周波数同期..... | 49 |
| 通信保護..... | 24 | 最小オン時間に関する検討事項..... | 50 |
| デバイス・アドレス指定..... | 24 | RCONFIG (外付け抵抗構成設定ピン)..... | 50 |
| V _{OUT} およびI _{OUT} フォルトに対する応答..... | 25 | 電圧の選択..... | 50 |
| 出力過電圧フォルトに対する応答..... | 25 | RCONFIG による周波数と位相の選択..... | 51 |
| 出力低電圧フォルトに対する応答..... | 25 | RCONFIG によるアドレス選択..... | 52 |
| ピーク出力過電流フォルトに対する応答..... | 26 | 効率に関する検討事項..... | 52 |
| タイミング・フォルトに対する応答..... | 26 | トランジェント応答の確認..... | 53 |
| V _{IN} の0Vフォルトに対する応答..... | 26 | | |

目次

| | | | |
|---|-----------|-----------------------------|------------|
| プリント回路基板レイアウトのチェックリスト | 54 | フォルト応答 - 出力電圧 | 81 |
| PC 基板レイアウトのデバッグ | 56 | フォルト応答 - 出力電流 | 84 |
| 設計例 | 57 | フォルト応答 - IC 温度 | 85 |
| 設計に関するその他の確認事項 | 59 | フォルト応答 - 外部温度 | 85 |
| USB から I ² C/SMBus/PMBus へのコントローラを システム内の LTC3887 へ接続 | 59 | フォルト共有 | 87 |
| LTpowerPlay: デジタル電源用の対話型 GUI | 61 | フォルト共有 - 伝播 | 87 |
| PMBus の通信とコマンド処理 | 61 | フォルト共有 - 応答 | 88 |
| PMBus コマンドの詳細 | 63 | スクラッチパッド | 89 |
| アドレス指定および書き込み保護 | 63 | 識別 | 89 |
| 汎用構成レジスタ | 65 | フォルトの警告および状態 | 90 |
| オン/オフ/マージン | 66 | 遠隔測定値 | 97 |
| PWM 構成 | 68 | NVM (EEPROM) メモリ・コマンド | 101 |
| 電圧 | 70 | ストア/リストア | 101 |
| 入力電圧と制限値 | 70 | フォルト・ログ | 101 |
| 出力電圧と制限値 | 71 | ブロック・メモリ書き込み/読み出し | 106 |
| 電流 | 73 | 標準的応用例 | 107 |
| 入力電流の較正 | 73 | パッケージ | 111 |
| 出力電流の較正 | 74 | 標準的応用例 | 112 |
| 入力電流 | 74 | 関連製品 | 112 |
| 出力電流 | 75 | | |
| 温度 | 76 | | |
| 外部温度の較正 | 76 | | |
| 外部温度リミット | 77 | | |
| タイミング | 78 | | |
| タイミング - オン・シーケンス/ランプ | 78 | | |
| タイミング - オフ・シーケンス/ランプ | 79 | | |
| 再起動の前提条件 | 79 | | |
| フォルト応答 | 80 | | |
| フォルト応答 - 全フォルト | 80 | | |
| フォルト応答 - 入力電圧 | 80 | | |

LTC3887

絶対最大定格

(Note 1)

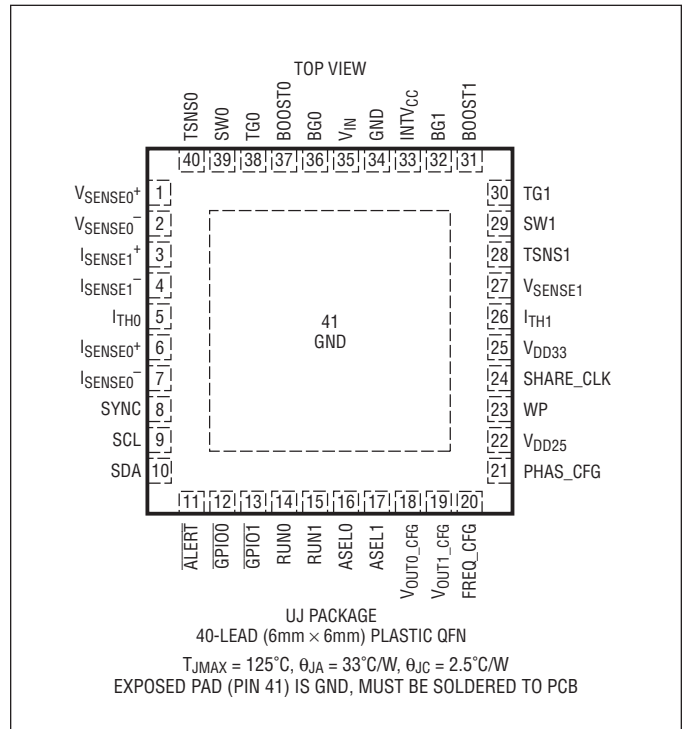
| | |
|--|---------------|
| V_{IN} 電圧 | -0.3V ~ 28V |
| 上側ゲート・トランジエント電圧 TG0、 TG1 LTC3887 | -5V ~ 34V |
| BOOST1、BOOST0 | -0.3V ~ 34V |
| スイッチ・トランジエント電圧 SW1、 SW0 LTC3887 | -5V ~ 28V |
| INTV _{CC} 、(BOOST1 – SW1)、(BOOST0 – SW0)、 BG0、BG1、LTC3887 | -0.3V ~ 6V |
| $V_{SENSE0+}$ 、 V_{SENSE1} 、 $I_{SENSE0n}$ 、 $I_{SENSE1n}$ | -0.3V ~ 6V |
| RUN0、RUN1、SDA、SCL、 \overline{ALERT} | -0.3V ~ 5.5V |
| FREQ_CFG ~ V_{OUTn_CFG} 、ASELO/1、 V_{DD25} | -0.3V ~ 2.75V |
| V_{DD33} 、 $\overline{GPIO0}$ 、 $\overline{GPIO1}$ 、TSNS0、TSNS1、 $V_{SENSE0-}$ 、 SHARE_CLK、WP、SYNC、ITH _n | -0.3V ~ 3.6V |
| INTV _{CC} のピーク出力電流 | 100mA |
| 動作接合部温度範囲 | |

(Note 2)

保存温度範囲

* 接合部温度が 125°C を超える場合には、「アプリケーション情報」セクションの「温度によるEEPROM保持特性のデレーティング」を参照してください。

ピン配置



発注情報

| 無鉛仕上げ | テープアンドリール | 製品マーキング* | パッケージ | 接合部温度範囲 |
|----------------|------------------|-----------|-------------------------------|----------------|
| LTC3887EUJ#PBF | LTC3887EUJ#TRPBF | LTC3887UJ | 40-Lead (6mm×6mm) Plastic QFN | -40°C to 125°C |
| LTC3887IUJ#PBF | LTC3887IUJ#TRPBF | LTC3887UJ | 40-Lead (6mm×6mm) Plastic QFN | -40°C to 125°C |

さらに広い動作温度範囲で規定されるデバイスについては、弊社または弊社代理店にお問い合わせください。

* 温度グレードは出荷時のコンテナのラベルで識別されます。非標準の鉛仕上げ製品の詳細については、弊社または弊社代理店にお問い合わせください。

無鉛仕上げの製品マーキングの詳細については、<http://www.linear-tech.co.jp/leadfree/> をご覧ください。

テープアンドリールの仕様の詳細については、<http://www.linear-tech.co.jp/tapeandree/> をご覧ください。

電気的特性

●は規定動作接合部温度範囲の規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値 (Note 2)。
注記がない限り、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{RUN0,1} = 3.3\text{V}$ 、 $f_{\text{SYNC}} = 500\text{kHz}$ (外部から駆動)。

| SYMBOL | PARAMETER | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS | |
|---------------------|--|--|--------|---------------|-------------|----------------------|----------|
| 入力電圧 | | | | | | | |
| V_{IN} | Input Voltage Range | (Note 12) | ● | 4.5 | 24 | V | |
| I_Q | Input Voltage Supply Current Normal Operation | $V_{RUN0,1} = 3.3\text{V}$, No Caps on TG and BG $V_{RUN0,1} = 0\text{V}$ | | 25 20 | | mA mA | |
| V_{UVLO} | Undervoltage Lockout Threshold when $V_{IN} > 4.3\text{V}$ | V_{INTVCC} Falling V_{INTVCC} Rising | | 3.7 3.95 | | V V | |
| T_{INIT} | Initialization Time | Time from V_{IN} Applied Until the TON_DELAY Timer Starts. | | 70 | | ms | |
| 制御ループ | | | | | | | |
| V_{OUTR0} | Full-Scale Voltage High Range Set Point Accuracy (0.6V to 5V) Resolution LSB Step Size | $V_{OUT_COMMAND} = 5.50\text{V}$ (Note 9) | ● ● | 5.45 -0.5 | 5.55 0.5 | V % Bits mV | |
| V_{OUTR1} | Full-Scale Voltage Low Range Set Point Accuracy (0.6V to 2.5V) Resolution LSB Step Size | $V_{OUT_COMMAND} = 2.75\text{V}$ (Note 9) | ● ● | 2.7 -0.5 | 2.8 0.5 | V % Bits mV | |
| $V_{LINEREG}$ | Line Regulation | $6\text{V} < V_{IN} < 24\text{V}$ | ● | | ± 0.02 | %/V | |
| $V_{LOADREG}$ | Load Regulation | $\Delta V_{ITH} = 1.35\text{V} - 0.7\text{V}$ $\Delta V_{ITH} = 1.35\text{V} - 2.0\text{V}$ | ● ● | 0.01 -0.01 | 0.1 -0.1 | % % | |
| $g_{m0,1}$ | Error Amplifier g_m | $I_{TH0,1} = 1.22\text{V}$ | | 3 | | mmho | |
| $I_{SENSE0,1}$ | Input Current | $V_{SENSE} = 5.5\text{V}$ | ● | ± 1 | ± 3 | μA | |
| $V_{SENSEIN0}$ | V_{SENSE} Input Resistance to Ground | $0\text{V} \leq V_{PIN} \leq 5.5\text{V}$ | | 41 | | $\text{k}\Omega$ | |
| $V_{SENSEIN1}$ | V_{SENSE} Input Resistance to Ground | $0\text{V} \leq V_{PIN} \leq 5.5\text{V}$ | | 37 | | $\text{k}\Omega$ | |
| V_{ILIMIT} | Resolution | | | 3 | | bits | |
| | $V_{ILIMMAX}$ | Hi Range Lo Range | ● ● | 68 44 | 75 50 | 82 56 | mV mV |
| | $V_{ILIMMIN}$ | Hi Range Lo Range | | | 37.5 25 | mV mV | |
| ゲート・ドライバ | | | | | | | |
| $TG_{0,1}$ | TG Transition Time: | (Note 4) | | | | | |
| t_r | Rise Time | $C_{LOAD} = 3300\text{pF}$ | | 30 | | ns | |
| t_f | Fall Time | $C_{LOAD} = 3300\text{pF}$ | | 30 | | ns | |
| $BG_{0,1}$ | BG Transition Time: | (Note 4) | | | | | |
| t_r | Rise Time | $C_{LOAD} = 3300\text{pF}$ | | 30 | | ns | |
| t_f | Fall Time | $C_{LOAD} = 3300\text{pF}$ | | 30 | | ns | |
| TG/BG t_{1D} | Top Gate Off to Bottom Gate On Delay Time | (Note 4) $C_{LOAD} = 3300\text{pF}$ Each Driver | | 30 | | ns | |
| BG/TG t_{2D} | Bottom Gate Off to Top Gate On Delay Time | (Note 4) $C_{LOAD} = 3300\text{pF}$ Each Driver | | 30 | | ns | |
| $t_{ON(MIN)}$ | Minimum On-Time | | | 90 | | ns | |
| OV出力電圧スーパバイザ | | | | | | | |
| N | Resolution | | | 8 | | Bits | |
| V_{RANGE0} | Voltage Monitoring Range | Range Value = 0 | | 1 | 5.6 | V | |
| V_{RANGE1} | Voltage Monitoring Range | Range Value = 1 | | 0.5 | 2.7 | V | |
| V_{OUSTP0} | Threshold Programming Step | Range Value = 0 | | 22.5 | | mV | |
| V_{OUSTP1} | Threshold Programming Step | Range Value = 1 | | 11.25 | | mV | |
| V_{THACC0} | Threshold Accuracy $2\text{V} < V_{OUT} < 5\text{V}$ | Range Value = 0 | ● | | ± 2 | % | |
| V_{THACC1} | Threshold Accuracy $1\text{V} < V_{OUT} < 2.5\text{V}$ | Range Value = 1 | ● | | ± 2 | % | |
| t_{PROPOV} | OV Comparator to GPIO Low Time | $V_{OD} = 10\%$ of Threshold | | | 35 | μs | |

電気的特性

●は規定動作接合部温度範囲の規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値 (Note 2)。
 注記がない限り、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{RUN0,1} = 3.3\text{V}$ 、 $f_{\text{SYNC}} = 500\text{kHz}$ (外部から駆動)。

| SYMBOL | PARAMETER | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|---|---|---|-----|--------------------------------------|----------|------------------------------|
| UV 出力電圧スーパバイザ | | | | | | |
| N | Resolution | | | 8 | | bits |
| V _{RANGE0} | Voltage Range | High Range | 1 | | 5.5 | V |
| V _{RANGE1} | Voltage Range | Low Range | 0.5 | | 2.7 | V |
| V _{OUTP0} | Step Size | Range Value = 0, High Range | | 22 | | mV |
| V _{OUTP1} | Step Size | Range Value = 1, Low Range | | 11 | | mV |
| V _{THACC0} | Threshold Accuracy $2\text{V} < V_{\text{OUT1}} < 5\text{V}$ | Range Value = 0, High Range | ● | | ±2 | % |
| V _{THACC1} | Threshold Accuracy $1\text{V} < V_{\text{OUT1}} < 2.5\text{V}$ | Range Value = 1, Low Range | ● | | ±2 | % |
| t _{PROPUV} | UV Comparator to GPIO Low Time | $V_{\text{OD}} = 10\%$ of Threshold | | | 100 | μs |
| V_{IN} 電圧スーパバイザ | | | | | | |
| N | Resolution | | | 8 | | bits |
| V _{INRANGE} | Full-Scale Voltage | | 4.5 | | 20 | V |
| V _{INSTP} | Step Size | | | 82 | | mV |
| V _{INTHACC} | Threshold Accuracy $9.0\text{V} < V_{\text{IN}} < 20\text{V}$ | | ● | | ±2.5 | % |
| V _{INTHACCM} | Threshold Accuracy $4.5\text{V} < V_{\text{IN}} \leq 9\text{V}$ | | ● | | ±5 | % |
| t _{PROPVIN} | Comparator Response Time (VIN_ON and VIN_OFF) | $V_{\text{OD}} = 10\%$ of Threshold | | | 100 | μs |
| 出力電圧読み出し | | | | | | |
| N | Resolution LSB Step Size | | | 16 244 | | Bits μV |
| V _{OFs} | Full-Scale Voltage | (Note 10) $V_{\text{RUN}n} = 0\text{V}$ (Note 8) | | 8 | | V |
| V _{OUT_TUE} | Total Unadjusted Error | (Note 8) $V_{\text{OUT}n} > 0.6\text{V}$ | ● | | 0.5 | % |
| V _{OS} | Zero-Code Offset Voltage | | | | ±500 | μV |
| t _{CONVERT} | Conversion Time | (Note 6) | | 100 | | ms |
| V_{IN} 電圧読み出し | | | | | | |
| N | Resolution | (Note 5) | | 10 | | Bits |
| V _{IFs} | Full-Scale Voltage | (Note 11) | | 38.91 | | V |
| V _{IN_TUE} | Total Unadjusted Error | $V_{\text{VIN}} > 4.5\text{V}$ (Note 8) | ● | | 0.5 2 | % % |
| t _{CONVERT} | Conversion Time | (Note 6) | | 100 | | ms |
| 出力電流読み出し | | | | | | |
| N | Resolution LSB Step Size | (Note 5) $0\text{V} \leq V_{\text{ISENSE}^+} - V_{\text{ISENSE}^-} < 16\text{mV}$ $16\text{mV} \leq V_{\text{ISENSE}^+} - V_{\text{ISENSE}^-} < 32\text{mV}$ $32\text{mV} \leq V_{\text{ISENSE}^+} - V_{\text{ISENSE}^-} < 63.9\text{mV}$ $63.9\text{mV} \leq V_{\text{ISENSE}^+} - V_{\text{ISENSE}^-} < 127.9\text{mV}$ | | 10 15.625 31.25 62.5 125 | | Bits μV μV μV μV |
| I _{FS} | Full-Scale Current | (Note 7) $R_{\text{ISENSE}} = 1\text{m}\Omega$ | | ±128 | | A |
| I _{OUT_TUE} | Total Unadjusted Error | (Note 8) $V_{\text{ISENSE}} > 6\text{mV}$ | ● | | ±1 | % |
| V _{OS} | Zero-Code Offset Voltage | | | | ±28 | μV |
| t _{CONVERT} | Conversion Time | (Note 6) | | 100 | | ms |
| 入力電流およびデューティ・サイクル読み出し | | | | | | |
| D_RES | Resolution | | | 10 | | Bits |
| D_TUE | Total Unadjusted Error | 16.3% Duty Cycle | | -3 | 3 | % |
| t _{CONVERT} | Update Rate | (Note 6) | | 100 | | ms |
| 温度読み出し (T₀, T₁, T₂) | | | | | | |
| T _{RES_T} | Resolution | | | 0.25 | | °C |
| T _{0,1_TUE} | External TSNS TUE | $\Delta V_{\text{TSNS}} = 72\text{mV}$ (Note 8) | ● | | ±3 | °C |
| T _{2_TUE} | Internal TSNS TUE | $V_{\text{RUN0,1}} = 0.0\text{V}$, $f_{\text{SYNC}} = 0\text{kHz}$ (Note 8) | | | ±1 | °C |
| t _{CONVERT_T} | Update Rate | (Note 6) | | 100 | | ms |

電气的特性

●は規定動作接合部温度範囲の規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値 (Note 2)。

注記がない限り、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{RUN0,1} = 3.3\text{V}$ 、 $f_{\text{SYNC}} = 500\text{kHz}$ (外部から駆動)。

| SYMBOL | PARAMETER | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|---|---|---|-----|---------------------------------|------|---------------------------------|
| INTV_{CC} レギュレータ | | | | | | |
| V_{INTVCC} | Internal V_{CC} Voltage No Load | $6\text{V} < V_{\text{IN}} < 24\text{V}$ | 4.8 | 5 | 5.2 | V |
| $V_{\text{LDO_INT}}$ | INTV _{CC} Load Regulation | $I_{\text{CC}} = 0\text{mA to } 50\text{mA}$ | | 0.5 | ±2 | % |
| V_{DD33} レギュレータ | | | | | | |
| V_{DD33} | Internal V_{DD33} Voltage | $4.5\text{V} < V_{\text{INTVCC}}$ | 3.2 | 3.3 | 3.4 | V |
| $I_{\text{LIM}}(\text{VDD33})$ | V_{DD33} Current Limit | $V_{\text{DD33}} = \text{GND}$ | | 70 | | mA |
| $V_{\text{DD33_OV}}$ | V_{DD33} Overvoltage Threshold | | | 3.5 | | V |
| $V_{\text{DD33_UV}}$ | V_{DD33} Undervoltage Threshold | | | 3.1 | | V |
| V_{DD25} レギュレータ | | | | | | |
| V_{DD25} | Internal V_{DD25} Voltage | | | 2.5 | | V |
| $I_{\text{LIM}}(\text{VDD25})$ | V_{DD25} Current Limit | $V_{\text{DD25}} = \text{GND}$ | | 50 | | mA |
| 発振器とフェーズロック・ループ | | | | | | |
| f_{OSC} | Oscillator Frequency Accuracy | $250\text{kHz} < f_{\text{SYNC}} < 1\text{MHz}$ Measured Falling Edge-to-Falling Edge of SYNC with SWITCH_FREQUENCY = 250.0 and 1000.0 | ● | | ±7.5 | % |
| $V_{\text{TH_SYNC}}$ | SYNC Input Threshold | V_{CLKIN} Falling V_{CLKIN} Rising | | 1 1.5 | | V V |
| $V_{\text{OL_SYNC}}$ | SYNC Low Output Voltage | $I_{\text{LOAD}} = 3\text{mA}$ | | 0.2 | 0.4 | V |
| $I_{\text{LEAK_SYNC}}$ | SYNC Leakage Current in Slave Mode | $0\text{V} \leq V_{\text{PIN}} \leq 3.6\text{V}$ | | | ±5 | µA |
| $\theta_{\text{SYNC-}\theta 0}$ | SYNC to Ch0 Phase Relationship Based on the Falling Edge of Sync and Rising Edge of TG0 | MFR_PWM_CONFIG_LTC3887[2:0] = 0, 2, 3 MFR_PWM_CONFIG_LTC3887[2:0] = 5 MFR_PWM_CONFIG_LTC3887[2:0] = 1 MFR_PWM_CONFIG_LTC3887[2:0] = 4, 6 | | 0 60 90 120 | | Deg Deg Deg Deg |
| $\theta_{\text{SYNC-}\theta 1}$ | SYNC to Ch1 Phase Relationship Based on the Falling Edge of Sync and Rising Edge of TG1 | MFR_PWM_CONFIG_LTC3887[2:0] = 3 MFR_PWM_CONFIG_LTC3887[2:0] = 0 MFR_PWM_CONFIG_LTC3887[2:0] = 2, 4, 5 MFR_PWM_CONFIG_LTC3887[2:0] = 1 MFR_PWM_CONFIG_LTC3887[2:0] = 6 | | 120 180 240 270 300 | | Deg Deg Deg Deg Deg |
| EEPROM の特性 | | | | | | |
| Endurance | (Note 13) | $0^\circ\text{C} < T_J < 85^\circ\text{C}$ During EEPROM Write Operations | ● | 10,000 | | Cycles |
| Retention | (Note 13) | $T_J < T_{\text{JMAX}}$ | ● | 10 | | Years |
| Mass_Write | Mass Write Operation Time | STORE_USER_ALL, $0^\circ\text{C} < T_J < 85^\circ\text{C}$ During EEPROM Write Operations | ● | 440 | 4100 | ms |
| デジタル入力 SCL、SDA、RUN0、RUN1、GPIO0、GPIO1 | | | | | | |
| V_{IH} | Input High Threshold Voltage | SCL, SDA, RUN0, RUN1, GPIO0, GPIO1 | ● | | 2.0 | V |
| V_{IL} | Input Low Threshold Voltage | SCL, SDA, RUN0, RUN1, GPIO0, GPIO1 | ● | 1.4 | | V |
| V_{HYST} | Input Hysteresis | SCL, SDA | | 0.08 | | V |
| C_{PIN} | Input Capacitance | | | | 10 | pF |
| デジタル入力 WP | | | | | | |
| I_{PUWP} | Input Pull-Up Current | WP | | 10 | | µA |
| オープンドレイン出力 SCL、SDA、GPIO0、GPIO1、ALERT、RUN0、RUN1、SHARE_CLK | | | | | | |
| V_{OL} | Output Low Voltage | $I_{\text{SINK}} = 3\text{mA}$ | ● | | 0.4 | V |
| デジタル入力 SHARE_CLK、WP | | | | | | |
| V_{IH} | Input High Threshold Voltage | | | 1.5 | 1.8 | V |
| V_{IL} | Input Low Threshold Voltage | | | 0.6 | 1 | V |
| 漏れ電流 SDA、SCL、ALERT、RUN0、RUN1 | | | | | | |
| I_{OL} | Input Leakage Current | $0\text{V} \leq V_{\text{PIN}} \leq 5.5\text{V}$ | ● | | ±5 | µA |

電気的特性

●は規定動作接合部温度範囲の規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値 (Note 2)。
注記がない限り、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{RUN0,1} = 3.3\text{V}$ 、 $f_{\text{SYNC}} = 500\text{kHz}$ (外部から駆動)。

| SYMBOL | PARAMETER | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|---------------------------------|---|---|-----|-----------|-------|----------|
| 漏れ電流 GPIO0、GPIO1 | | | | | | |
| I_{GL} | Input Leakage Current | $0\text{V} \leq V_{\text{PIN}} < 3.6\text{V}$ | ● | | ±5 | μA |
| GPIO0、GPIO1のデジタル・フィルタリング | | | | | | |
| I_{FLTG} | Input Digital Filtering GPIO | | | 3 | | μs |
| RUN0、RUN1のデジタル・フィルタリング | | | | | | |
| I_{FLTG} | Input Digital Filtering RUN | | | 10 | | μs |
| PMBus インタフェースのタイミング特性 | | | | | | |
| f_{SMB} | Serial Bus Operating Frequency | | ● | 10 | 400 | kHz |
| t_{BUF} | Bus Free Time Between Stop and Start | | ● | 1.3 | | μs |
| $t_{\text{HD,STA}}$ | Hold time After Repeated Start Condition. After this Period, the First Clock is Generated | | ● | 0.6 | | μs |
| $t_{\text{SU,STA}}$ | Repeated Start Condition Setup Time | | ● | 0.6 | | μs |
| $t_{\text{SU,STO}}$ | Stop Condition Setup Time | | ● | 0.6 | | μs |
| $t_{\text{HD,DAT}}$ | Data Hold Time | | ● | 0 | | μs |
| | Receiving Data | | ● | 0.3 | 0.9 | μs |
| | Transmitting Data | | ● | | | μs |
| $t_{\text{SU,DAT}}$ | Data Setup Time | | ● | 0.1 | | μs |
| | Receiving Data | | ● | | | μs |
| $t_{\text{TIMEOUT_SMB}}$ | Stuck PMBus Timer Non-Block Reads Stuck PMBus Timer Block Reads | Measured from the Last PMBus Start Event | | 32 150 | | ms ms |
| t_{LOW} | Serial Clock Low Period | | ● | 1.3 | 10000 | μs |
| t_{HIGH} | Serial Clock High Period | | ● | 0.6 | | μs |

Note 1: 絶対最大定格に記載された値を超えるストレスはデバイスに永続的損傷を与える可能性がある。長期にわたって絶対最大定格条件に曝すと、デバイスの信頼性と寿命に悪影響を与える恐れがある。

Note 2: LTC3887は T_J が T_A にほぼ等しいパルス負荷条件でテストされる。LTC3887Eは $0^\circ\text{C} \sim 85^\circ\text{C}$ の温度範囲で性能仕様に適合することが保証されている。 $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ の動作接合部温度範囲での仕様は設計、特性評価および統計学的なプロセス・コントロールとの相関で確認されている。LTC3887Iは $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ の全動作接合部温度範囲で保証されている。 T_J は周囲温度 T_A および電力損失 P_D から次式に従って計算される。

$$T_J = T_A + (P_D \cdot \theta_{JA})$$

これらの仕様を満たす最大周囲温度は、固有の動作条件と基板レイアウト、パッケージの定格熱インピーダンス、その他の環境要因との組み合わせによって決まる。

Note 3: デバイスのピンに流れ込む電流は全て正。デバイスのピンから流れ出す電流は全て負。注記がない限り、全ての電圧はグラウンドを基準にしている。

Note 4: 立ち上がり時間と立ち下がり時間は10%と90%のレベルを使って測定する。遅延時間は50%レベルを使って測定する。

Note 5: PMBusのデータ形式は、指数部5ビット(符号付き)、仮数部11ビット(符号付き)である。このため、内蔵ADCは16ビット、計算は32ビット・ワードを用いるものの、出力の分解能は10ビットに制限される。

Note 6: データ変換はラウンド・ロピン方式で実行される。全ての入力信号は、標準レイテンシ100msで、連続的に変換される。ただし、MFR_ADC_CONTROLコマンドは使用しない場合。

Note 7: $I_{\text{OUT_CAL_GAIN}} = 1.0\text{m}\Omega$ 、 $MFR_I_{\text{OUT_CAL_GAIN_TC}} = 0.0$ である。READ_IOUTよりアンペア単位で読み出される値。

Note 8: 製品のテストはPWMをディスエーブルして実施される。能力はアプリケーション内での評価によって実証されている。TUE(%) = ADC利得誤差(%) + 100 · [ゼロ・コード・オフセット + ADCの直線性誤差] / 実際の値

Note 9: 全ての V_{OUT} コマンドは、規定の精度を得るために、ADCを用いて出力に対して自動ゼロ点補正を行うことを前提としている。LTC3887は、 V_{OUT} を規定の値にサーボ制御する帰還ループ内でテストされる。

Note 10: 最大 V_{OUT} 電圧は5.5Vである。

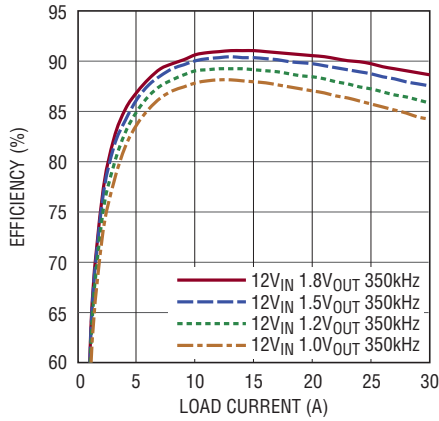
Note 11: 最大 V_{IN} 電圧は28Vである。

Note 12: $V_{\text{IN}} < 6\text{V}$ の場合、INTV_{CC}を V_{IN} に接続する必要がある。

Note 13: EEPROMの耐久性とデータ保持能力は、設計、特性評価および統計学的なプロセス・コントロールとの相関で保証されている。最小保持時間仕様は、内蔵EEPROMの書き込みサイクル数が最小耐久性仕様より少ないデバイスに適用される。RESTORE_USER_ALL (EEPROM読み出し)は、全動作接合部温度範囲で有効なコマンドである。

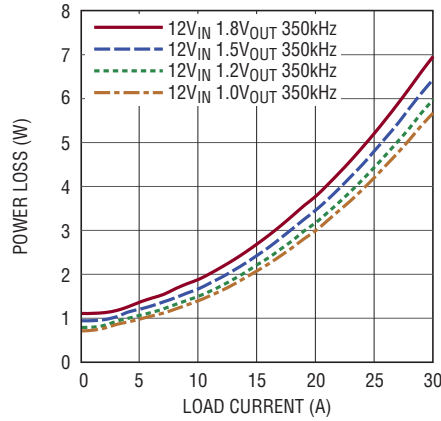
標準的性能特性

効率と負荷電流
F_{sw} = 350kHz (LTC3887)



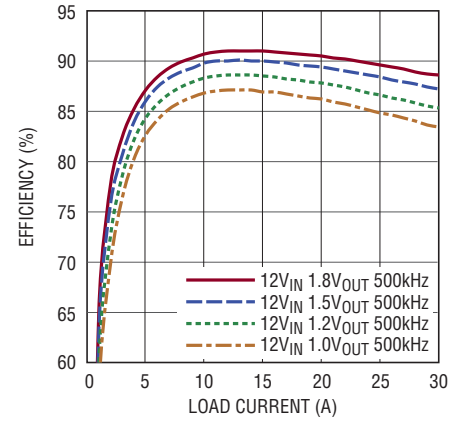
3887 G01

電力損失と負荷電流
F_{sw} = 350kHz (LTC3887)



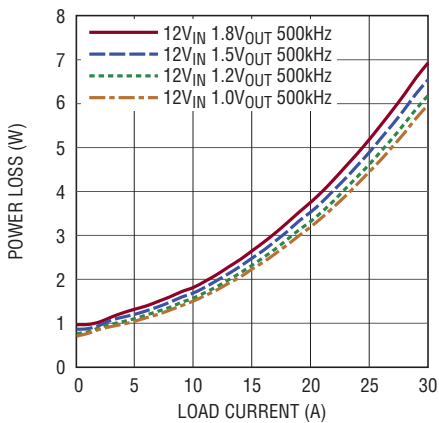
3887 G02

効率と負荷電流
F_{sw} = 500kHz (LTC3887)



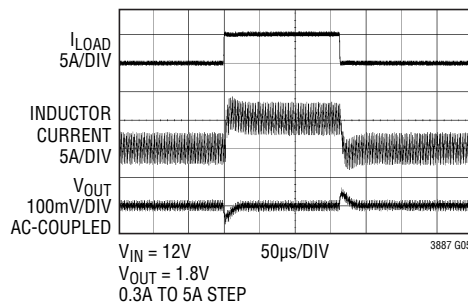
3887 G03

電力損失と負荷電流
F_{sw} = 500kHz (LTC3887)



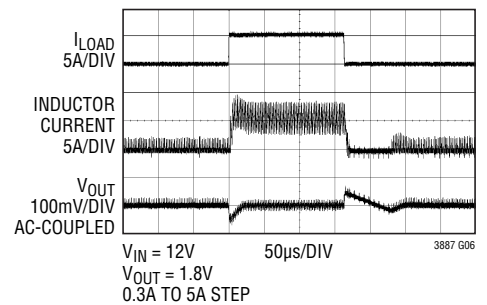
3887 G04

負荷ステップ
(強制連続モード)



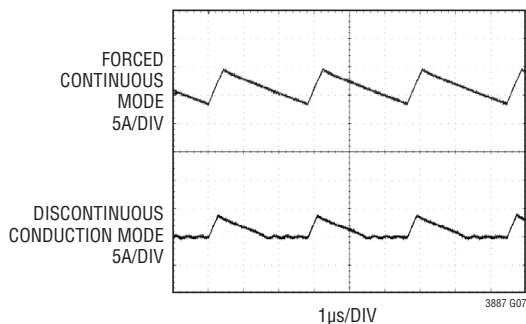
3887 G05

負荷ステップ
(パルス・スキップ・モード)



3887 G06

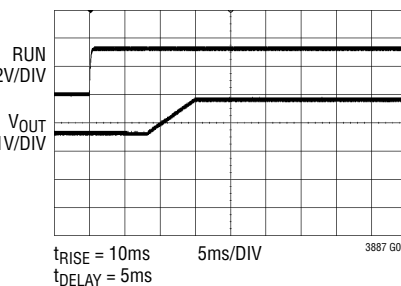
軽負荷時のインダクタ電流



V_{IN} = 12V
V_{OUT} = 1.8V
I_{LOAD} = 1A

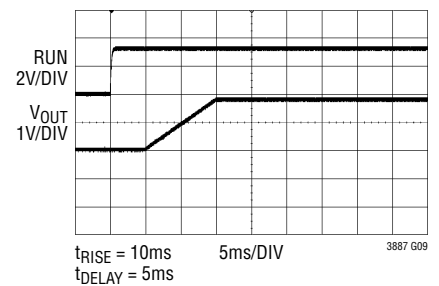
3887 G07

プリバイアスされた負荷までの起動



3887 G08

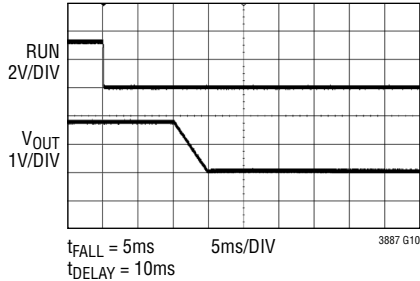
ソフトスタート時のランプ



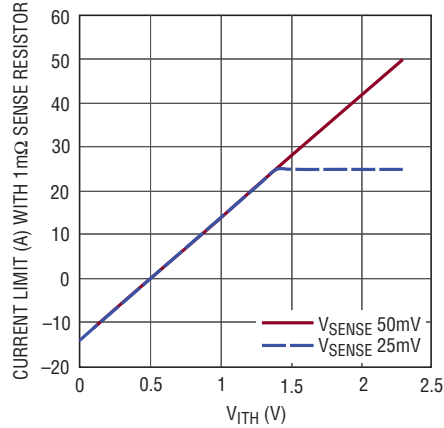
3887 G09

標準的性能特性

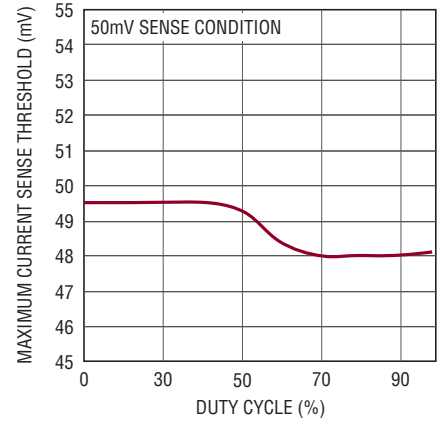
ソフトオフ時のランプ



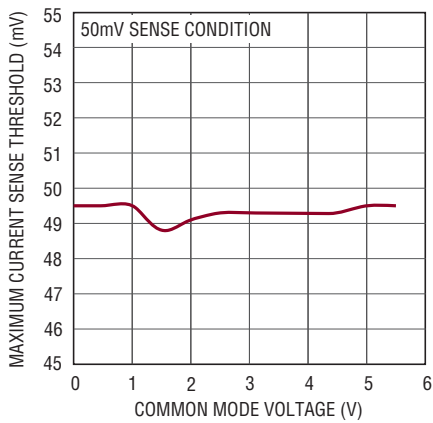
電流検出しきい値と I_{TH} 電圧 (Lowレンジ)



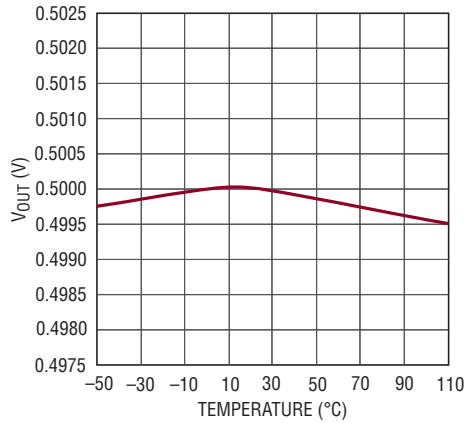
最大電流検出しきい値と デューティ・サイクル、 $V_{OUT} = 0V$



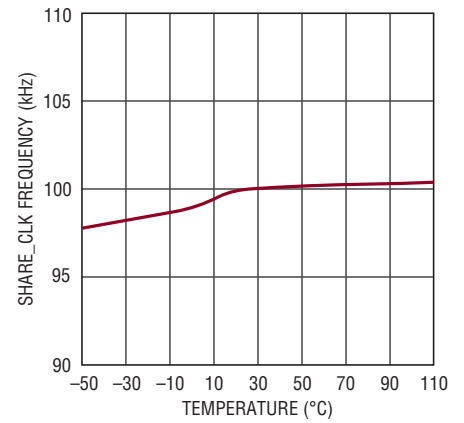
最大電流検出しきい値と同相電圧



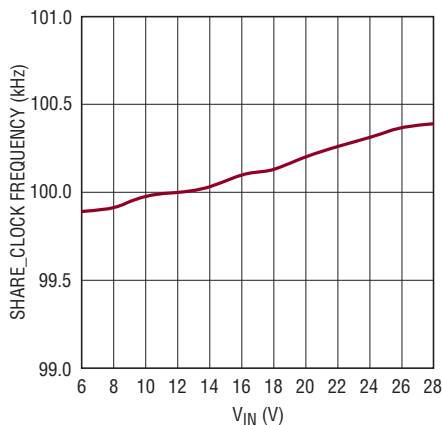
安定化出力電圧と温度



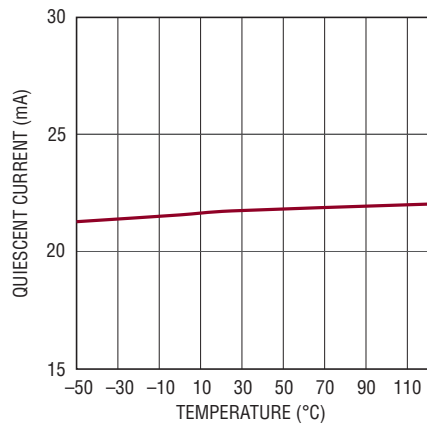
SHARE_CLK周波数と温度



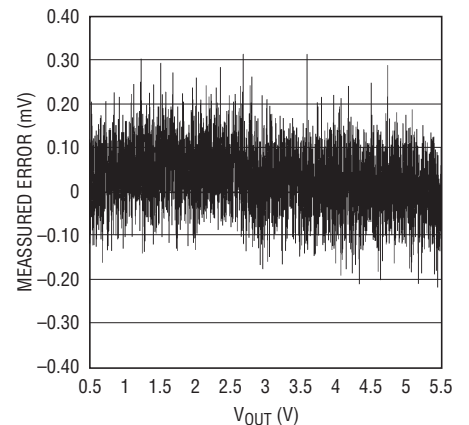
SHARE_CLK周波数と V_{IN}



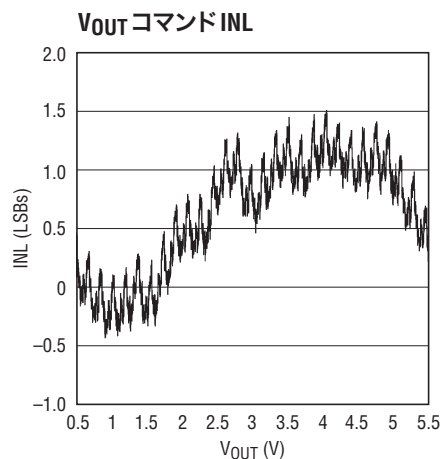
静止電流と温度



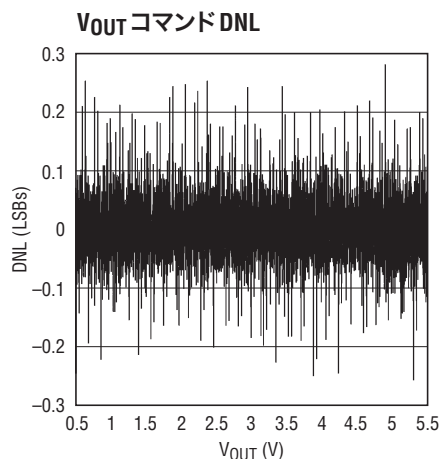
V_{OUT} 測定と V_{OUT}



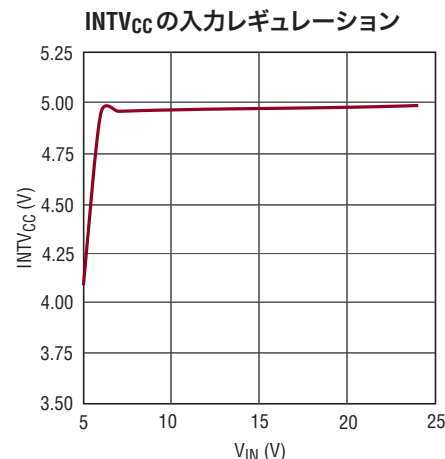
標準的性能特性



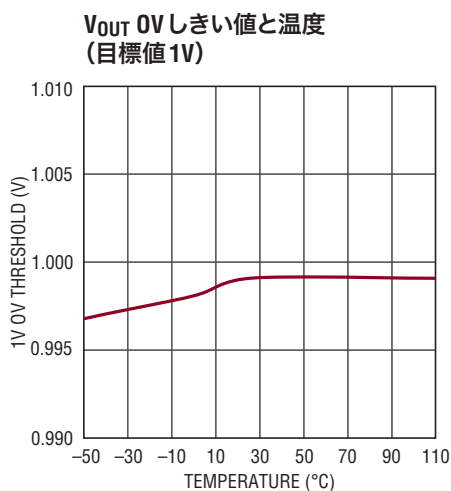
3887 G19



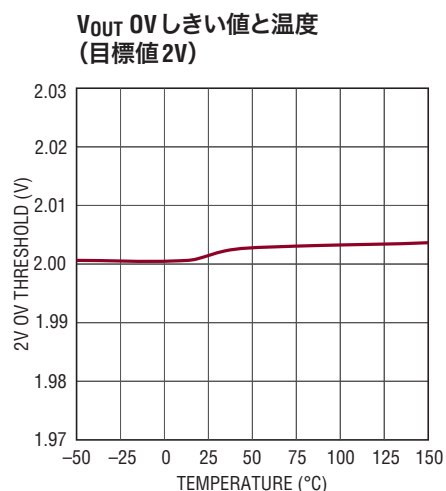
3887 G20



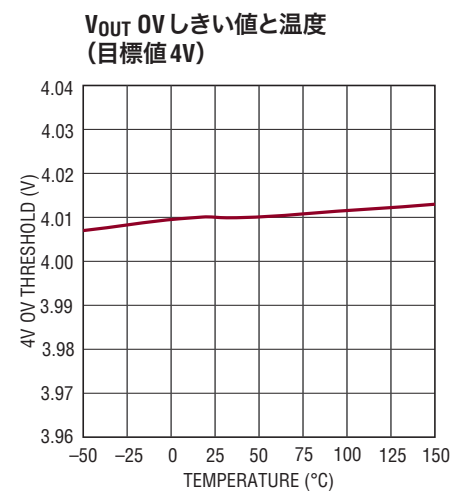
3887 G21



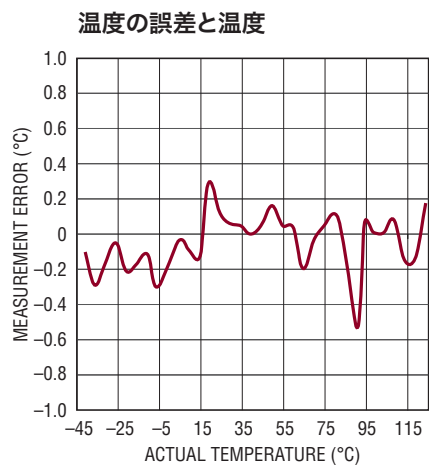
3887 G22



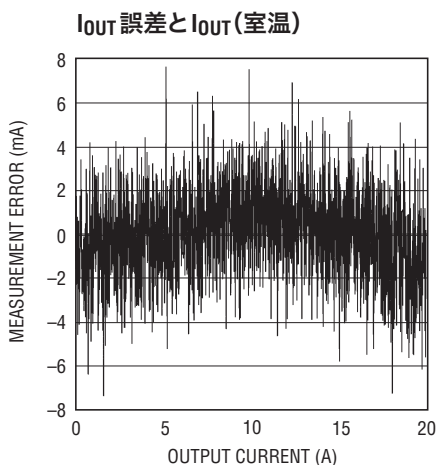
3887 G23



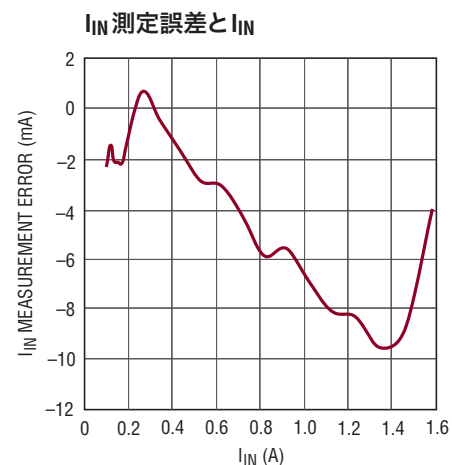
3887 G24



3887 G25

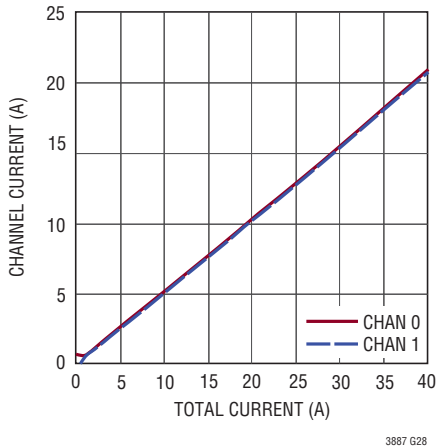
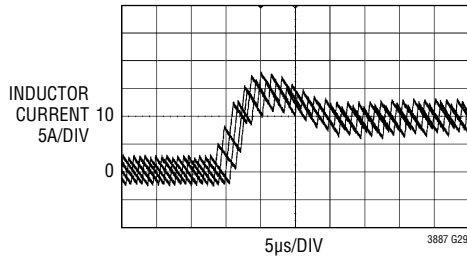
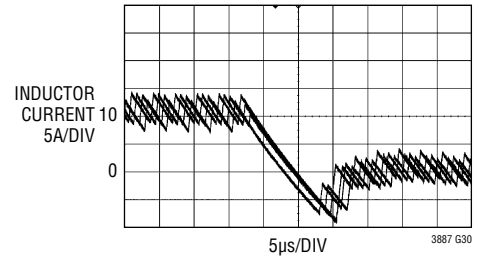


3887 G26



3887 G27

標準的性能特性

2位相システムにおける
DC出力電流の整合性(LTC3887)4位相システムの負荷トランジェント
における動的電流シェアリング4位相システムの負荷トランジェント
における動的電流シェアリング

ピン機能

V_{SENSE0+} (ピン1) : チャネル0の正電圧検出入力。

V_{SENSE0-} (ピン2) : チャネル0の負電圧検出入力。

I_{TH0}/I_{TH1} (ピン5/ピン26) : 電流制御しきい値およびエラー・アンプの補償ノード。対応する各チャネルの電流コンパレータのトリップしきい値は、I_{TH}電圧に応じて増加します。

I_{SENSE0+}/I_{SENSE1+} (ピン6/ピン3) : 電流検出コンパレータの入力。電流コンパレータへの(+)入力は通常、DCR検出ネットワークまたは電流検出抵抗に接続されます。

I_{SENSE0-}/I_{SENSE1-} (ピン7/ピン4) : 電流検出コンパレータの入力。これらの(-)入力は電流検出素子の低電位側に接続されます。

SYNC (ピン8) : 外部クロック同期入力およびオープンドレイン出力ピン。このピンに外部クロックを入力すると、スイッチング周波数がこの外部クロックに同期します。SYNC出力をイネーブリングしている場合、このピンはスイッチング周波数で振動する500nsのパルスによってグランドに引き下げられます。LTC3887のSYNC出力をイネーブリングする場合、アプリケーション回路には3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。

SCL (ピン9) : シリアル・バスのクロック入力。クロック・ストレッチをイネーブリングした場合、オープンドレイン出力が出力を“L”に保持できます。アプリケーション回路には3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。

SDA (ピン10) : シリアル・バスのデータ入力および出力。アプリケーション回路には3.3Vに引き上げるプルアップ抵抗が必要です。

ALERT (ピン11) : オープンドレインのデジタル出力。このピンにはSMBALERT信号を接続します。アプリケーション回路には3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。

GPIO0/GPIO1 (ピン12/ピン13) : デジタル・プログラム可能な汎用入力および出力。オープンドレインの出力です。アプリケーション回路には3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。

RUN0/RUN1 (ピン14/ピン15) : RUNイネーブリング入力および出力。これらのピンをロジック“H”にすると、コントローラがイネーブリングされます。LTC3887がリセット状態を抜けるまで、オープンドレイン出力がこのピンを“L”に保ちます。アプリケーション回路には3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。

ASEL0 (ピン16) : シリアル・バスのアドレス構成入力。シリアル・バス・インタフェース・アドレスの下位4ビットを選択するために、デバイスのV_{DD25}、ASEL0、SGND間に±1%の抵抗分割器を接続します。同一基板上に複数のLTC3887を実装する場合は、ユーザーが各デバイスを独立してプログラムできるように、ASEL0に抵抗分割器を接続することを推奨します。このピンを開放のままにすると、デバイスはEEPROMにプログラムされた値を使用します。ピンを開放のままにする場合は、ピンの状態を正確に検出できるように、容量を最小限に抑えてください。

ASEL1 (ピン17) : シリアル・バスのアドレス構成入力。シリアル・バス・インタフェース・アドレスの上位3ビットを選択するために、デバイスのV_{DD25}、ASEL1、SGND間に±1%の抵抗分割器を接続します。同一基板上に17個以上のLTC3887を実装する場

ピン機能

合は、ユーザーが各デバイスを独立してプログラムできるように、ASEL1に抵抗分割器を接続することを推奨します。このピンを開放のままにすると、デバイスはEEPROMにプログラムされた値を使用します。ピンを開放のままにする場合は、ピンの状態を正確に検出できるように、容量を最小限に抑えてください。

FREQ_CFG (ピン20) : 周波数選択ピン。スイッチング周波数を選択するために、デバイスのV_{DD25}、FREQ_CFG、GND間に±1%の抵抗分割器を接続します。このピンを開放のままにすると、デバイスはEEPROMにプログラムされた値を使用します。ピンを開放のままにする場合は、ピンの状態を正確に検出できるように、容量を最小限に抑えてください。

PHAS_CFG (ピン21) : 位相選択ピン。チャンネルの位相同期を選択するために、デバイスのV_{DD25}、PHAS_CFG、GND間に±1%の抵抗分割器を接続します。このピンを開放のままにすると、デバイスはEEPROMにプログラムされた値を使用します。ピンを開放のままにする場合は、ピンの状態を正確に検出できるように、容量を最小限に抑えてください。

VOUT0_CFG/VOUT1_CFG (ピン18/ピン19) : 電圧選択ピン。出力電圧のセットポイントを調整するために、デバイスのV_{DD25}、VOUT_n_CFG、GND間に±1%の抵抗分割器を接続します。このピンを開放のままにすると、デバイスはEEPROMを使用します。ピンを開放のままにする場合は、ピンの状態を正確に検出できるように、容量を最小限に抑えてください。

VDD25 (ピン22) : 内部で生成される2.5V電源の出力ピン。低ESRの1μFコンデンサを使用してこのピンをGNDにバイパスします。構成ピンに必要な±1%の抵抗分割器を除き、このピンには外部電流による負荷をかけないでください。

WP (ピン23) : アクティブ“H”の書き込み保護ピン。内部の10μA電流源によってV_{DD33}に引き上げられています。WPが“H”の場合、PMBus書き込みが制限されます。

SHARE_CLK (ピン24) : 共有クロック、双方向オープンドレインのクロック共有ピン。公称100kHzです。複数のLTC388X間でタイミングを同期させるために使用します。全てのSHARE_CLKピンを相互に接続します。全てのLTC388Xが、最速のクロックに同期します。3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。

VDD33 (ピン25) : 内部で生成される3.3V電源の出力ピン。低ESRの1μFコンデンサを使用してこのピンをGNDにバイパスします。このピンには外部電流による負荷をかけないでください。ただし、 $\overline{\text{GPIO}}_n$ 、SCLK、およびSYNCで必要になり、RUN_n、ALERT、SDA、およびSCLで必要になる可能性のあるプルアップ抵抗を除きます。

VSENSE1 (ピン27) : チャンネル1の電圧検出入力。この入力電圧は、GNDピンを基準にしています。

INTV_{CC} (ピン33) : 内部レギュレータの5V出力。制御回路には、この電圧源から給電されます。最小4.7μFの低ESRタンタル・コンデンサまたはセラミック・コンデンサを使って、このピンを電源グラウンドにデカップリングします。

GNDSNS (ピン34) : グラウンド検出ピン。このピンは、裏面のパドル・グラウンドに接続し、裏面のパドルと基板の間に適切なグラウンド接続が存在するかどうかの検出に使用できます。

V_{IN} (ピン35) : 主入力電源。0.1μF～1μFのコンデンサによってPGNDにデカップリングしてください。メインの入力電源が5Vのアプリケーションでは、V_{IN}ピンとINTV_{CC}ピンを相互に接続してください。

BG0/BG1 (ピン36/ピン32) : 下側のゲート・ドライバ出力。これらのピンは、下側のNチャンネルMOSFETのゲートをPGNDとINTV_{CC}の間で駆動します。

BOOST0/BOOST1 (ピン37/ピン31) : 昇圧されたフローティング・ドライバ電源。ブートストラップ・コンデンサの(+)端子をこれらのピンに接続します。これらのピンは、INTV_{CC}よりダイオードの電圧降下分だけ低い電圧からV_{IN}+INTV_{CC}まで振幅します。

TG0/TG1 (LTC3887) (ピン38/ピン30) : 上側ゲート・ドライバ出力。これらは、電圧振幅がスイッチ・ノード電圧にINTV_{CC}を重ね合わせた電圧に等しいフローティング・ドライバの出力です。

SW0/SW1 (LTC3887) (ピン39/ピン29) : インダクタへのスイッチ・ノードの接続ピン。このピンの電圧振幅は、グラウンドより(外付け)ショットキ・ダイオードの電圧降下分だけ低い電圧からV_{IN}までです。

TSNS0/TSNS1 (ピン40/ピン28) : チャンネル0、1の外部ダイオードによる温度検出ピン。ダイオード接続したPNPトランジスタのアノードにこのピンを接続し、カソードをSGNDに直接接続することで、離れた場所の温度を検出できます。温度検出用素子を外付けしない場合は、このピンをグラウンドに短絡し、UT_FAULT_LIMITを-275°C、IOUT_CAL_GAIN_TCを0に設定し、UT_FAULT_RESPONSEを無視します。

GND (露出パッド・ピン41) : グラウンド。両方の小信号用および補償用の部品はこのグラウンドに接続し、このグラウンド自体は電源グラウンドに一点接続します。

ブロック図

2つのチャネルの一方(チャネル0)を表示。(LTC3887アプリケーションのみ)

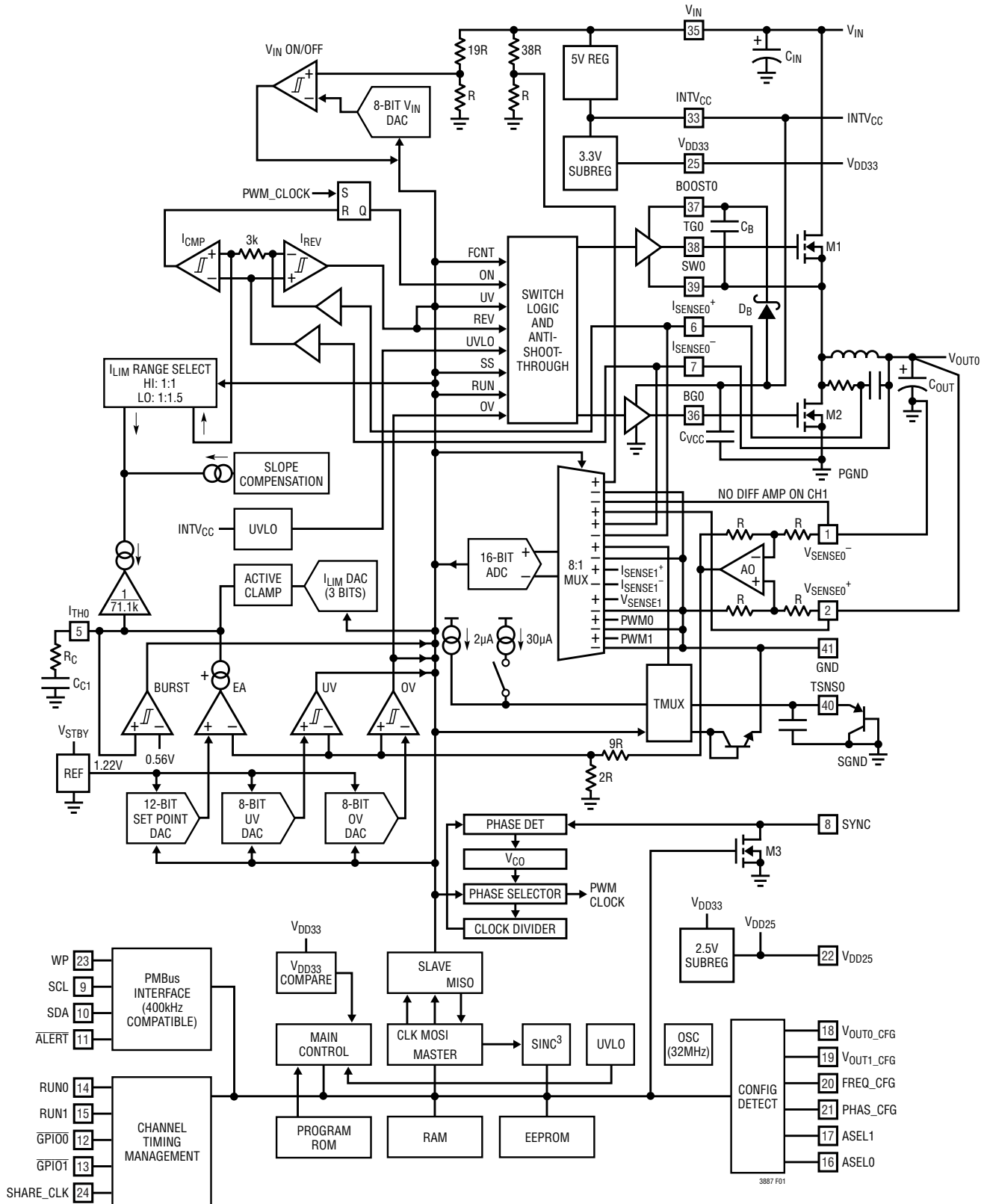


図1. ブロック図

動作

概要

LTC3887はデジタル・インタフェースを備えた、DC/DC降圧アプリケーション向けのデュアル・チャンネル/2相、固定周波数、アナログ電流モードのコントローラです。LTC3887は、ゲート・ドライバを必要とするアプリケーションで使用します。

LTC3887の機能は、LTC3880に非常によく似ています。主な改良点は次のとおりです。

- T_{INIT} 起動時間: 70ms
- VOUT0/VOUT1は両方とも最大5.5Vに設定可能
- PWM同期回路(詳細については、「スイッチング周波数と位相」のセクションを参照)
- 1つのパラメータの高速ADCサンプリングのためのMFR_ADC_CONTROL。「PMBusコマンドの詳細」を参照。
- PAGE_PLUSおよびSMBALERTのマスクを追加するバージョン1.2に対応するPMBus。「PMBusコマンドの詳細」を参照。
- 改良されたフォルト・ログ。「PMBusコマンドの詳細」を参照。
- 2相動作のチャンネル0/1でEAを共有
- 抵抗構成設定ピンを変更。2つのアドレス選択ピン(VOUTn_CFG、PHAS_CFG、およびFREQ_CFG)があります。VOUTn_TRIMピンは削除されました。

LTC3887のデジタル・インタフェースは、最大バス周波数400kHzをサポートするPMBusと互換性があります。標準的アプリケーション回路は、このデータシートの最初のページに記載されています。

主な機能は以下のとおりです。

- プログラム可能な出力電圧
- プログラム可能な入力電圧コンパレータ
- プログラム可能な電流制限
- プログラム可能なスイッチング周波数
- プログラム可能なOV(過電圧)およびUV(低電圧)コンパレータ
- プログラム可能なオン/オフ遅延時間
- プログラム可能な出力立ち上がり/立ち下がり時間
- 同期、PolyPhase動作(2、3、4、6位相)のためのフェーズロック・ループ

- 入力および出力の電圧/電流、温度、デューティ・サイクルのテレメトリ
- 完全差動型の負荷検出
- 内蔵ゲート・ドライバ(LTC3887)
- 不揮発性構成メモリ
- 重要な動作パラメータを格納するオプションの外付け構成設定抵抗
- 複数のコントローラ間で同期を取るためのオプションのタイムベース・インターコネクト
- フォルト・ログ
- 内部構成を保護するWPピン
- ユーザー向け工場出荷時構成済み製品のスタンドアロン動作
- PMBus準拠の400kHzインタフェース

システムの動作中は、パワー・マネージメント上重要となる以下のデータに、PMBusインタフェースを介してアクセスできます。

- 内部ダイ温度
- オプションのダイオード検出素子を用いた外部システム温度
- 平均出力電流
- 平均PWMデューティ・サイクル
- 平均出力電圧
- 平均入力電圧
- 平均入力電流
- 個々のフォルトおよび警告をラッチ/ラッチ解除によって示す構成可能なステータス表示

個々のチャンネルには、PAGEコマンド(PAGE 0または1)を使用してPMBusを介してアクセスします。

フォルト報告動作およびシャットダウン動作は完全に設定可能です。2つのGPIO出力(GPIO0、GPIO1)は個別に供給され、両方の出力を独立してマスクすることができます。また、ALERT専用ピンを備えています。シャットダウン動作は、全てのフォルトの個別マスクにも対応し、ラッチ解除モード(ヒックアップ)またはラッチ・モードのいずれでも使用できます。

動作

個別のステータス・コマンドによってシリアル・バスを介したフォルト報告が可能のため、特定のフォルト・イベントを識別できます。検出可能なフォルトまたは警告は、次のとおりです。

- 出力低電圧/過電圧
- 入力低電圧/過電圧
- 入力および出力の過電流
- 内部過熱
- 外部過熱
- 通信、メモリ、ロジック(CML)のフォルト

メイン制御ループ

LTC3887は、さまざまなユーザー定義の相対位相設定によって動作する、2つのチャンネルを備える固定周波数の電流モード降圧コントローラです。通常動作時は、各チャンネルのクロックがRSラッチをセットすると、そのチャンネルの上側MOSFETがオンし、メインの電流コンパレータ I_{CMP} がRSラッチをリセットするとオフします。 I_{CMP} がRSラッチをリセットするときのピーク・インダクタ電流は、各エラーアンプEAの出力である I_{TH} ピンの電圧によって制御されます。EAの負側端子の電圧は、 V_{SENSE} 電圧を5.5で割った値に等しくなります(レンジ = 1の場合は2.75)。EAの正側端子は、0V ~ 1.024Vの値を取る12ビットDACの出力に接続されています。出力電圧は、EAの帰還によってDAC出力の5.5倍(レンジ = 1の場合は2.75倍)に安定化されます。ユーザーが必要とする出力電圧を合成するために、製品はDACの値を計算します。出力電圧は、表12に詳細を示す抵抗構成設定ピン、または V_{OUT} コマンド(EEPROMまたはPMBusコマンドのいずれかによる)を使ってユーザーがプログラムします。詳細は、本データシートのPMBusコマンドのセクション、またはPMBusの仕様を参照してください。ユーザーはPMBusの $V_{OUT_COMMAND}$ によって、いつでも出力電圧を変更できます。このコマンドには、標準で10ms未満の待ち時間があります。『PMBus Power System Management Protocol Specification』を参照して、LTC3887の設定方法を理解することをお勧めします。この仕様は、<http://www.pmbus.org/specs.html>に掲載されています。

基本動作の説明を続けます。電流モード・コントローラは、ピーク電流に達すると上側ゲートをオフします。負荷電流が増加すると、 V_{SENSE} はDACの基準に対して若干低下します。そのため、平均インダクタ電流が新たな負荷電流に一致するまで、 I_{TH} 電圧が上昇します。上側MOSFETがオフした後に下側MOSFETがオンします。連続導通モードでは、スイッチング・サイクルが終了するまで下側MOSFETがオン状態を保ちます。

EEPROM (NVM)

LTC3887は、構成設定とフォルト・ログの情報を格納するEEPROMまたはNVM(不揮発性メモリ)を内蔵しています。EEPROMの書き込み耐性、保持特性、一括書き込みの動作時間は、「電気的特性」および「絶対最大定格」のセクションに規定されています。 $T_J = 85^\circ\text{C}$ を超える温度での書き込み動作は可能ですが、電気的特性は保証されておらず、EEPROMは劣化します。 $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ での読み出し動作によってEEPROMが劣化することはありません。 85°C を超える温度でEEPROMに書き込むと、保持特性が劣化します。高温で発生しがちなシステム障害のデバッグに役立つフォルト・ログ機能は、EEPROMのフォルト・ログ用アドレスだけに書き込みを実行します。これらのレジスタへの不規則な書き込みが 85°C より高い温度で実行されると、フォルト・ログのデータ保持特性がわずかに劣化するものの、フォルト・ログ機能の有効性が損なわれることはありません。

ダイ温度が 85°C を超えているときにEEPROMに書き込まないことを推奨します。ダイ温度が 130°C を超えると、LTC3887は全てのEEPROMの書き込み動作をディスエーブルします。ダイ温度が 125°C を下回ると、全てのEEPROMの書き込み動作が再度イネーブルされます(ダイ温度が 10°C のヒステリシス付きで 160°C の内部過熱フォルト制限を超えた場合も、コントローラは書き込み動作をディスエーブルします)。

125°C を超える温度でのEEPROMの保持特性の劣化は、次式から無次元の加速係数を計算することによって近似できます。

$$AF = e^{\left[\left(\frac{E_a}{k} \right) \cdot \left(\frac{1}{T_{USE} + 273} - \frac{1}{T_{STRESS} + 273} \right) \right]}$$

動作

ここで、

AF = 加速係数

Ea = 活性化エネルギー = 1.4eV

K = $8.617 \cdot 10^{-5}$ eV/K

T_{USE} = 125°Cの規定接合部温度

T_{STRESS} = 実際の接合部温度 (°C)

例: 接合部温度 135°Cで10時間動作させた場合の保持特性への影響を計算します。

T_{STRESS} = 130°C

T_{USE} = 125°C

AF = $e^{[(1.4/8.617 \cdot 10^{-5}) \cdot (1/398 - 1/403)]} = 1.66$

125°Cでの等価動作時間は16.6時間になります。

したがって、EEPROMの全保持時間は、130°Cの接合部温度で10時間動作させると、6.6時間だけ劣化しました。ただし、EEPROMの125°Cの最大接合部温度での87,600時間の定格全保持時間に比べると、オーバーストレスの影響は無視できます。

EEPROMの完全性は、パワーオン・リセット後やRESTORE_USER_ALLコマンドの実行後など、EEPROMのデータを読み取るたびに、CRC計算によりチェックされます。CRCエラーが発生した場合、STATUS_BYTEコマンドおよびSTATUS_WORDコマンドのMFRビットが設定されます。STATUS_MFR_SPECIFICコマンドのNVM_CRCエラー・ビットが設定され、ALERTピンとRUNピンが“L”に引き下げられ、安全対策としてディスエーブルされます。デバイスは、特殊アドレス0x7Cまたはグローバル・アドレス0x5Aおよび0x5Bでのみ応答します。

電源投入と初期化

LTC3887は、スタンドアロンの電源シーケンシングと制御されたターンオンおよびターンオフ動作を実行できるように設計されています。単一入力電源(4.5V~24V)によって動作し、3つの内蔵リニア・レギュレータが2.5V、3.3V、5Vの内部電圧を生成します。V_{IN}が6Vを超えない場合、INTV_{CC}ピンとV_{IN}ピンを相互に接続する必要があります。コントローラの構成は内部しきい値に基づくUVLOによって初期化されます。その条件は、V_{IN}として約4Vが印加され、5V、3.3V、2.5Vのリニア・レギュレータがレギュレーション値の約20%以内にあることです。

初期化中は、外付けの構成設定抵抗を識別するとともに、EEPROMの内容をコントローラのコマンドに読み出します(または、それらのいずれか一方の動作)。GPIOnピンは、高インピーダンス(Hi-Z)モードになります。TGnピン、BGnピン、およびRUNnピンは、“L”に保たれます。LTC3887は、表12~15の内容に基づいて、抵抗で規定されるパラメータを判断します。詳細は、「抵抗構成設定」のセクションを参照してください。抵抗構成設定ピンが制御するのは、コントローラのプリセット値の一部のみです。その他の値は、工場出荷時またはユーザーによってEEPROMにプログラムされます。

構成設定抵抗が挿入されていない場合、またはRCONFIG無視ビット(構成コマンドMFR_CONFIG_ALL_LTC3887のビット6)がアサートされている場合、LTC3887はEEPROMの内容だけに基づいて、DC/DC特性を決定します。パワーアップ時、リセット時、またはRESTORE_USER_ALLコマンドの実行後に読み出されたASEL0とASEL1の値は、これらのピンがオープン状態でない限り常に採用されます。詳細は、「アプリケーション情報」のセクションを参照してください。

デバイス初期化の完了後、別のコンパレータがV_{IN}をモニタします。出力電源シーケンシングが開始されるには、VIN_ONのしきい値を超える必要があります。V_{IN}が最初に印加された後、TON_DELAYタイマを初期化して始動するのに、デバイスは通常70msを必要とします。電圧と電流の読み出しには、さらに200ms~300ms待つ必要があります。

ソフトスタート

ソフトスタートする前に、デバイスは実行状態に移行していなければなりません。LTC3887は、初期化が完了し、V_{IN}がVIN_ONしきい値を超えると、RUNピンを解放します。アプリケーションが複数のLTC3887を使用する場合、各デバイスは、いずれも初期化が完了して自身のV_{IN}がVIN_ONしきい値を超えるまで、それぞれのRUNピンを“L”に保持します。SHARE_CLKピンは、この信号を接続されたデバイスが、全て同じタイムベースを使用することを保証します。SHARE_CLKピンは、V_{IN}が印加されてV_{IN}の電圧がVIN_ONしきい値を超えた後、デバイスが初期化されるまで“L”に保持されます。SHARE_CLKが“L”の場合にターンオフするように(またはオフ状態を保つように)、LTC3887を設定できます(MFR_CHAN_CONFIG_LTC3887のビット2を1に設定します)。この機能により、基板の制約でRUNピンを相互接続できない場合でも、多数のLTC IC間で確実に同期を取ることができます。一般に、ユーザーがデバイス間の同期を重視する場合は、対応する全てのRUNピンどうし、および対応する全ての

動作

SHARE_CLK ピンどうしを相互に接続することを推奨します。これによって、全てのチップが同時にシーケンシングを開始し、同じタイムベースで動作することを保証できます。

RUN ピンの解放から一定の出力電圧レギュレーション状態に移行するまで、LTC3887は単調な初期ランプ動作「ソフトスタート」を実行します。ソフトスタートは、負荷電圧をアクティブに安定化しながら、目標電圧を0Vから指示した電圧のセットポイントまでデジタルにランプ・アップさせることで実現します。LTC3887がオンするように指示されると(電源投入と初期化の完了後)、コントローラはユーザーが指定するターンオン遅延(TON_DELAY)を待ってから、出力電圧のランプを開始します。電圧ランプの立ち上がり時間はTON_RISE コマンドによってプログラムできるため、起動時の電圧ランプに伴う突入電流を最小限に抑えることができます。ソフトスタート機能は、TON_RISEの値を0.25ms未満の任意の値に設定することでディスエーブルできます。TON_RISE動作中、LTC3887のPWMは常に不連続モードを使用します。不連続モードでは、インダクタで逆電流が検出されると、直ちに下側ゲートがオフされます。この動作により、レギュレータはプリバイアスされた負荷でも起動できるようになります。TON_MAX_FAULT_LIMITの時間が経過すると、デバイスは連続モードに移行します(そのようにプログラムされている場合)。TON_MAX_FAULT_LIMITがゼロに設定されている場合、時間の制限はなくなり、デバイスはTON_RISEが経過し、V_{OUT}がV_{OUT_UV_FAULT_LIMIT}を超えた時点で、I_{OUT_OC}が存在しなければ、目標とする導通モードに移行します。TON_MAX_FAULT_LIMITの値を0に設定することは推奨しません。ここで説明した起動シーケンシングの方法は時間ベースです。

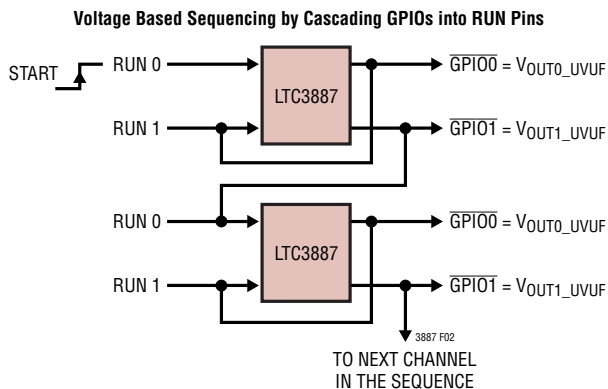


図2. イベント(電圧)ベースのシーケンシング

シーケンシング

出力をオン/オフするシーケンシングのデフォルト・モードは時間ベースです。各出力は、RUNピンが“H”へ遷移するか、PMBus コマンドによりオンされるか、またはV_{IN}があらかじめプログラムされた電圧を超過するのに続き、TON_DELAYの時間が経過した後にイネーブルされます。オフ・シーケンシングも同様に処理されます。適切なシーケンシングを保証するために、全てのデバイスのSHARE_CLKピンが相互接続され、RUNピンが相互接続されていることを確認します。何らかの理由でRUNピンを相互接続できない場合は、MFR_CHAN_CONFIG_LTC3887のビット2を1に設定します。このビットをセットした場合、電源出力を起動する前に、SHARE_CLKピンをクロック駆動しておく必要があります。RUNピンが“L”に引き下げられると、MFR_RESTART_DELAYの間、LTC3887がこのピンを“L”に保持します。MFR_RESTART_DELAYの最小値は、TOFF_DELAY + TOFF_FALL + 136msです。この遅延は、あらゆる電源レールに対する適切なシーケンシングを保証します。LTC3887は、内部でのこの遅延を計算し、これより短い遅延は処理しません。しかし、MFR_RESTART_DELAYコマンドによる、より長い遅延は適用されます。許容される最大値は65.52秒です。

イベントベース・シーケンシング

各出力のUVしきい値を超えた時点で、 $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンをアサートできます。 $\overline{\text{GPIO}}$ ピンの1つの出力を、シーケンス内の次の出力のRUNピンに供給できます。電圧ベースのシーケンシングに $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンを使用するには、MFR_GPIO_n_PROPAGATEコマンドのビット12を1に設定します。ビット12は、フィルタを通していないV_{OUT_UV}コンパレータである、V_{OUT_UVUF}です。フィルタを通していないV_{OUT_UV}フォルト・リミットの使用を推奨します。コンパレータがUVしきい値を超えてから $\overline{\text{GPIO}}$ ピンが解放されるまでに感知できるほどの遅延はほとんどないからです。この方式は、複数のLTC3887にまたがって実装できます。V_{OUT_UVUF}には250 μ sのフィルタが適用されます。V_{OUT}電圧がUVしきい値の前後を長期間にわたり行き来すると、 $\overline{\text{GPIO}}$ 出力が複数回トグルする可能性があります。この問題を最小限に抑えるには、TON_RISE時間を100ms未満に設定します。電源レールのストリング内でフォルトが検出された場合、そのフォルトの生じた電源レールおよびそれより下流の電源レールのみがオフします。デバイス・ストリング内の、フォルトが発生した電源レールより前の電源レールは、コマンドによってオフされない限り、オン状態を保ちます。

動作

シャットダウン

LTC3887には、2つのシャットダウン・モードがあります。第1のモードは、ユーザー定義のターンオフ遅延(TOFF_DELAY)とランプ・ダウン・レート(TOFF_FALL)による閉ループ・シャットダウン応答です。コントローラはTOFF_FALLの期間、動作モードを維持します。不連続導通モードの場合、コントローラは負荷からの電流を流さないため、立ち上がり時間は出力容量と負荷電流によって決まります。

もう1つのシャットダウン・モードは、フォルト状態が発生したか、SHARE_CLKを喪失したか(MFR_CHAN_CONFIG_LTC3887のビット2が1に設定されている場合)、VINがVIN_OFFしきい値を下回るか、またはGPIOが外部から“L”に引き下げられた場合(MFR_GPIO_RESPONSEが禁止に設定されている場合)に、それに対する応答として生じます。これらの条件下では、負荷へのエネルギー伝達をできるだけ迅速に停止するために、電力段がディスエーブルされます。シャットダウン状態にはソフトスタートまたはアクティブなレギュレーション状態から移行できます。いずれの場合も、ユーザーの介入を通じて(RUN_nのディアサートまたはPMBusのOPERATIONコマンド)、あるいは検出されたフォルト、双方向GPIO_nピンを介した外部フォルト、SHARE_CLKの喪失(MFR_CHAN_CONFIG_LTC3887のビット2が1に設定されている場合)、またはVINのVIN_OFFしきい値未満への低下に反応して移行されます。

ヒックアップ・モードの場合、コントローラはフォルトに対して、シャットダウン動作と、プログラム可能な遅延(MFR_RETRY_DELAY)の期間、非アクティブ状態に移行することで応答します。この遅延により、出力が無効化されることでシャットダウンの原因となったフォルトが解消された場合に、自動リトライに伴うデューティ・サイクルを最小限に抑えることができます。リトライの遅延時間は、MFR_RETRY_DELAYコマンドまたは安定化出力がプログラム値の12.5%未満に減衰するまでに要する時間の、いずれか長い方で決まります。複数の出力を同じGPIOピンによって制御している場合、フォルトが発生した出力の減衰時間がリトライ遅延を決定します。出力が自然に減衰するまでの時間が長すぎる場合、MFR_CHAN_CONFIG_LTC3887のビット0をアサートすることでMFR_RETRY_DELAYコマンドの電圧要件を解除できます。あるいは、コントローラがフォルト後にラッチ・オフされたままになり、クリアするにはRUN_nピンをトグルしたり、デバイスをコマンドによりオフしてから再度オンしたりするなどユーザーの介入が必要になるように、コントローラを設定することもできます。

軽負荷電流動作

LTC3887には、不連続導通モードおよび強制連続導通モードという2つの動作モードがあります。これらのモードはMFR_PWM_MODE_LTC3887コマンドによって選択します(起動時のモードは常に不連続導通モード、デフォルトの動作モードは強制連続モードです)。

コントローラが不連続動作するようにイネーブルされていると、インダクタ電流は反転できません。インダクタ電流がゼロに達する直前に、逆電流コンパレータ(I_{REV})が外付けの下側ゲートMOSFETをオフし、インダクタ電流が反転して負になるのを防ぎます。強制連続動作の場合は、軽負荷時または大きなトランジェント状態でインダクタ電流が反転できます。ピーク・インダクタ電流はI_{TH}ピンの電圧だけで決まります。このモードでは、軽負荷での効率が不連続モード動作よりも低下します。ただし、連続モードは出力リップルが小さく、オーディオ回路への干渉が抑えられます。強制連続導通モードはインダクタ電流の反転を招く可能性があり、これによって入力電源が昇圧される場合があります。VIN_OV_FAULT_LIMITは、この状態を検出し、障害が発生したチャンネルをオフすることができます。ただし、このフォルトはADCの読み出し値に基づいて生成されるため、検出に最大120msを要する場合があります。入力電源の昇圧が懸念される場合は、デバイスの動作を不連続導通モードに保ってください。

デバイスを不連続動作に設定した場合、コントローラはインダクタ平均電流の増加に合わせて、動作モードを不連続モードから連続モードへと自動的に切り換えます。

スイッチング周波数と位相

LTC3887コントローラのスイッチング周波数は、内部のクロック基準または外部のタイムベースに基づいて決定できます。LTC3887は、EEPROMに設定された値、PMBusコマンド、またはPHAS_CFGピンでSYNC出力をディスエーブルするように設定することによって、外部クロック入力に構成できます。MFR_PWM_CONFIG_LTC3887コマンドが相対位相を決定します。各レールは互いに位相がずれるように選択してください。FREQUENCYコマンドおよびMFR_PWM_CONFIG_LTC3887コマンドをLTC3887に書き込む前に、両方のRUNピンを“L”にするか、両方のチャンネルをオフに指定しておく必要があります。PolyPhase電源レール内では、全デバイスの相対位相を適切に設定してください。各電源レール間の相対位相は360/nです。nは電源レール内の位相数です。

動作

LTC3887は、外部クロックの周波数が内部PWMクロックの1/2を超えている限り、外部SYNC入力を自動的に受け入れ、必要に応じて専用のSYNC出力をディセーブルします。LTC3887は、SYNC出力を駆動するよう構成されているかどうかに関係なく、後に外部クロック信号が失われると、デバイス自体の内部発振器を使用して、PWM動作を継続することができます。

LTC3887をSYNC、SYNC ENABLEDの発振器出力として構成した場合、スイッチング周波数のソースは外付けの構成設定抵抗またはシリアル・バス・プログラミングのいずれかによって選択できます。FREQ_CFG構成抵抗ピンを使用して、FREQUENCY_SWITCHを選択できます。PHAS_CFGピンを使用してMFR_PWM_CONFIG_LTC3887を設定し、SYNC出力をイネーブルして、表13および14に示した出力周波数を生成できます。あるいは、PMBusコマンドのFREQUENCY_SWITCHおよびMFR_PWM_CONFIG_LTC3887を使って、PWMのスイッチング周波数とPWMチャンネル間の位相関係を選択することも可能です。位相と周波数の関係は互いに完全に独立しているため、アプリケーションにおけるユーザーの選択肢の幅が広がります。

MFR_CONFIG_ALL_LTC3887のビット4を0に設定して、SYNC出力を駆動するようにLTC3887を構成した場合、SYNCピンは、500nsの“L”パルスによって、目標のクロック・レート(FREQUENCY_SWITCHコマンドで設定)で“L”に引き下げられます。アプリケーションでは、SYNCの容量が最低限に抑え、コンデンサ負荷に対するプルアップ抵抗の時定数がアプリケーションにとって十分小さいことを確認する必要があります。さらに、LTC3887は、SYNCピンに接続された外部クロック・ソースに内部発振器を同期させる、フェーズロック・ループ(PLL)も搭載しています。全ての位相の関係性は、SYNCの立ち上がりエッジと、LTC3887のTG出力の立ち上がりエッジの間で決まります。PolyPhaseアレイを実現するために、複数のLTC3887を同期させることができます。

出力電圧検出

チャンネル0の差動アンプによって、離れた場所にある負荷の電圧をVSENSE0nピンによって差動検出できます。チャンネル1の検出ピン(VSENSE1)は、GNDを基準にしています。テレメトリADCは完全差動であり、VSENSE0nピンでチャンネル0の出力電圧を測定し、VSENSE1/GNDピンでチャンネル1の出力電圧を測定します。最大許容検出電圧は5.5Vです。

電流検出

DCR電流検出アプリケーションでは、インダクタの両端にコンデンサと直列に抵抗を接続します。この構成では、図3に示すように、抵抗をインダクタのFET側に、コンデンサをインダクタの負荷側に接続します。RC時定数がインダクタの時定数(L/DCR。DCRはインダクタの直列抵抗)に等しくなるようにRC値を選択すると、その結果コンデンサの両端に生じる電圧がインダクタの直列抵抗に生じる電圧(V_{DCR})に等しくなり、インダクタを流れる電流を反映した値になります。RCは、インダクタの室温におけるDCRに基づいて計算します。

RC時定数は、温度の関数として一定値を保ちます。これによって、回路のトランジェント応答も温度に関わらず一定になります。インダクタのDCRは、約3900ppm/°Cという大きな温度係数を持っています。このインダクタの温度係数をMFR_IOUT_CAL_GAIN_TCレジスタに書き込む必要があります。外部温度は、インダクタの近くで検出され、温度に対して実質的に一定の電流制限値が得られるように内部の電流制限回路を変更するために使用されます。このアプリケーションでは、ISENSEn⁺ピンをコンデンサの電力段側、ISENSEn⁻ピンをコンデンサの負荷側に接続します。この場合、入力で検出される電流は式V_{DCR}/DCRで与えられます。V_{DCR}はLTC3887のテレメトリADCによってデジタル化されます。このADCは、入力範囲が±128mV、ノイズ・フロアが7μV_{RMS}、ピーク・トゥ・ピーク・ノイズが約46.5μVです。LTC3887は、IOUT_CAL_GAINコマンドに格納されたDCR値と、MFR_IOUT_CAL_GAIN_TCコマンドに格納された温度係数に基づいて、インダクタ電流を計算します。計算で得られた電流値は、READ_IOUTコマンドによって返されます。

動作

PolyPhase 負荷シェアリング

複数のLTC3887をアレイ配置し、必要なピンをバス接続することで、バランスの取れた負荷シェアリング・ソリューションを構成できます。図3に負荷シェアリングに必要な、共有接続の方法を示します。

外部発振器が提供されない場合、いずれか1つのLTC3887のみでSYNC出力をイネーブするする必要があります。その他のLTC3887は、MFR_CONFIG_ALL_LTC3887のビット4を使用して、SYNC出力をディスエーブするように設定します。両方のデバイスで、発振器を目的のPWM周波数に設定します。外部発振器が存在する場合、SYNC出力がイネーブされているデバイスは、外部クロックの存在を検出し、SYNC出力の駆動を停止します。

MFR_PWM_CONFIG_LTC3887のビット7をアサートすることによって、同じデバイス上の2つのPWMコントローラのエラーアンプを共有できます。アプリケーションで両方のV_{OUT}ピンが相互に接続され、かつ両方のITHピンが相互に接続されていない場合、このビットをアサートしないでください。これによって、PolyPhaseレールのリモート差動電圧検出が可能になります。

外部/内部温度検出

外部温度は、ダイオード接続したPNPトランジスタ(MMBT3906など)をチップから離れた場所に配置することで、最も確に測定できます。PNPトランジスタのエミッタ端子はTSNS_nピンに接続しますが、ベース端子とコレクタ端子はLTC3887のGNDピンに直接接続して戻す必要があります。インダクタ温度を正確に測定するために、PNPトランジスタをインダクタに近づけて配置します。ノイズ耐性を最大限に高めるには、これらの接続を差動配線し、ダイオード接続したPNPトランジスタと並列に10nFのコンデンサを配置してください。ダイオードに、2つの異なる電流(公称2μAと32μA)を印加し、ΔV_{BE}の測定から温度を計算します。外付けトランジスタの温度はテレメトリADCによってデジタル化され、PMBusコマンドのREAD_TEMPERATURE_1(Chn)によって返されます。

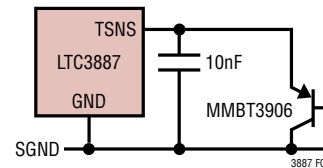


図4. 温度検出回路

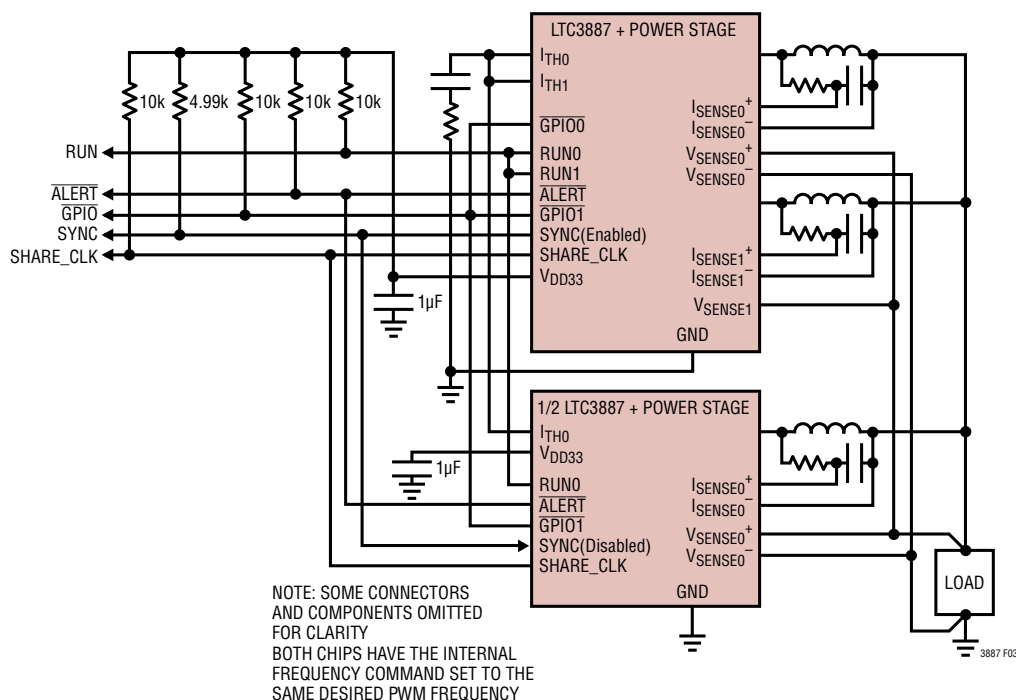


図3. 3位相動作の負荷シェアリング接続

動作

READ_TEMPERATURE_2 コマンドは、内蔵ダイオードによって LTC3887 の接合部温度を返します。外付け温度センサの温度勾配は、MFR_TEMP_1_GAIN に格納された温度勾配係数によって変更できます。一般的な PNP トランジスタでは、1 より若干小さい温度勾配の調整が必要です。MMBT3906 におけるこのコマンド (MFR_TEMP_1_GAIN) の推奨値は、理想性係数が 1.01 であることから、およそ 0.991 になります。MFR_TEMP_1_GAIN の値は、単純に理想係数の逆数から計算できます。理想性係数は、メーカーごと、ロットごとに異なる場合があります。この値を設定する際は、メーカーに問い合わせてください。

外付け温度センサのオフセットは、MFR_TEMP_1_OFFSET によって調整できます。このレジスタの値を 0 にすると、温度オフセットは -273.15°C に設定されます。

PNP トランジスタをインダクタに直付けできない場合、温度の不一致を考慮して勾配またはオフセットを増加させることができます。ユーザーが勾配を調整する場合、グラフの切片が絶対零度の -273.15°C であるため、勾配をわずかに変更しただけでも、見かけの温度測定値が大きく変化する可能性があります。温度の項の勾配を人為的に増加させるもう 1 つの手段として、MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC の値を大きくする方法があります。これは、室温を中心に温度勾配を変化させます。

RCONFIG (抵抗構成設定) ピン

V_{DD25} と GND の間には、重要な動作パラメータを選択するために 1% の抵抗分割器を使用する 6 つの入力ピンがあります。それらのピンは、ASEL0、ASEL1、FREQ_CFG、 V_{OUT0_CFG} 、 V_{OUT1_CFG} 、および PHAS_CFG です。これらのピンをフロート状態にした場合は、対応する EEPROM コマンドに格納された値が使われます。EEPROM 内の MFR_CONFIG_ALL_LTC3887 構成コマンドのビット 6 がアサートされると、電源投入時に抵抗入力は無視されます。ただし、ASEL0 および ASEL1 の値だけは例外であり、常に採用されます。抵抗構成設定ピンが測定されるのは、電源投入リセット時か、MFR_RESET コマンドまたは RESTORE_USER_ALL コマンドの実行後だけです。

V_{OUTn_CFG} ピンの設定は、表 12 に記載されています。これらのピンは、LTC3887 のアナログ PWM コントローラの出電圧を選択します。ピンがオープン状態の場合、EEPROM から VOUT_COMMAND コマンドが読み込まれ、出力電圧が決まります。出荷時の EEPROM のデフォルト設定では、電圧構成ピンを実装していない場合、スイッチャがオフになっています。

ユーザーは、EEPROM をアプリケーションの目的の設定にプログラムし直すことができます。EEPROM 構成を読み込む場合は、MFR_CONFIG_ALL_LTC3887 のビット 6 をアサートし、以降の全てのリセット動作に対して抵抗構成設定ピンをディスエーブルすることを推奨します。

RCONFIG ピンを出電圧の決定に使用する場合は、以下のパラメータは出力電圧に対する比率 (パーセント) として設定されます。

- VOUT_OV_FAULT_LIMIT +10%
- VOUT_OV_WARN +7.5%
- VOUT_MAX +7.5%
- VOUT_MARGIN_HIGH +5%
- VOUT_MARGIN_LOW -5%
- VOUT_UV_WARN -6.5%
- VOUT_UV_FAULT_LIMIT -7%

FREQ_CFG ピンの設定は、表 14 に記載されています。このピンは、スイッチング周波数を選択します。2 つのチャンネルと SYNC ピンの間の位相関係は、表 13 で説明されている PHAS_CFG ピンによって決定されます。外部クロックに同期するには、デバイスを外部クロック・モードに移行させる必要があります (SYNC 出力をディスエーブルするが周波数を公称値に設定)。外部クロックを供給しない場合、デバイスは設定された周波数で駆動されます。アプリケーションがマルチフェーズで、デバイス間の SYNC 信号が失われた場合、各デバイスは同じ周波数にならず、出力でリップル電圧が増加し、望ましくない動作が生じる可能性があります。SYNC 信号が内部で生成されており、イネーブルされた SYNC 出力が選択されていない場合、MFR_PADS_LTC3887 のビット 10 がアサートされます。周波数が選択されておらず、外部 SYNC 周波数が存在しない場合、PLL_FAULT が発生します。パワーアップ時に有効な同期信号が存在しない場合でも、PLL_FAULT による $\overline{\text{ALERT}}$ を出力したくない場合は、PLL_FAULT の $\overline{\text{ALERT}}$ マスクを書き込む必要があります。詳細については、SMBALERT_MASK の説明を参照してください。複数のデバイス間で SYNC ピンを接続する場合、その中の 1 つデバイスのみの SYNC 出力をイネーブルし、残りのデバイスの SYNC 出力を全てディスエーブルするように構成してください。

ASEL0 ピンおよび ASEL1 ピンの設定は、表 15 に記載されています。ASEL1 ピンは LTC3887 のスレーブ・アドレスの上位 3 ビットを選択します。ASEL1 がフロート状態の場合、上位 3 ビットは、EEPROM の MFR_ADDRESS コマンドから取得します。ASEL0 は LTC3887 のスレーブ・アドレスの下位 4 ビットを選択します。ASEL0 がフロート状態の場合、EEPROM の MFR_

動作

ADDRESS コマンドに格納された下位4ビットは、スレープ・アドレスの下位4ビットの決定に使用されます。詳細は表15を参照してください。

注記：PMBusの仕様に基づき、ピンによってプログラムされたパラメータよりもデジタル・インタフェースからのコマンドの方が優先されます。ただし、ASEL0およびASEL1だけは例外であり常にピン設定が優先されます。0x0C、0x5A、0x5B、または0x7Cのアドレスはいずれのデバイスにも割り当てないでください。これらはグローバル・アドレスであり、全てのLTC PMBus デバイスが応答する場合があります。

フォルトの検出と処理

各種のフォルトおよび警告を報告または処理する機能を搭載しています。フォルトおよび警告の検出機能には、次のようなものがあります。

- 入力OV(過電圧)/フォルト保護およびUV(低電圧)警告
- 平均入力OC(過電流)警告
- 出力OV/UVフォルトおよび警告保護
- 出力OCフォルトおよび警告保護
- 内部および外部OT(過熱)フォルトおよび警告保護
- 外部UT(低温)フォルト保護
- CML(通信、メモリ、ロジック)フォルト
- 双方向GPIO_nピンを介した外部フォルト検出

さらに、LTC3887ではフォルト・インジケータの任意の組み合わせを各GPIO_nピンに割り当てることができます。それには、GPIO_n 応答伝播コマンドのMFR_GPIO_PROPAGATE_LTC3887を使用します。GPIOピンの代表的な用途として、外部クローバー・デバイス、過熱アラート、過電圧アラートのドライバや、マイクロコントローラにフォルト・コマンドのポーリングを促す割り込み要因などがあります。あるいは、コントローラの下流で発生し、直ちに応答する必要がある外部フォルトを検出するための入力としてGPIO_nピンを使用できます。GPIO₀ピンまたはGPIO₁ピン(あるいは、その両方)を、パワーグッド出力として構成することもできます。パワーグッドは、コントローラの出力がOV/UVフォルトしきい値の範囲内にあることを示します。電源投入時の初期状態では、このピンはトライステートです。この構成で電源投入時にピンに所望の極性を設定する必要がある場合は、伝播されるパワーグッド信号のRUNピンとGPIO₀ピンの間にショットキ・ダイオードを接続します。

カソードをRUNピンに、アノードをGPIO₀ピンに接続してください。GPIO₀ピンをパワーグッド・ステータスに設定する場合、MFR_GPIO_RESPONSEを無視する必要があります。このように設定しないと、ラッチ・オフ状態になる場合があります。

ソフトスタートのセクションで述べたとおり、イベントの組み合わせによって起動を制御できます。GPIO_nによって他のコントローラのRUNピンを駆動する場合、フィルタされていないVOUT_UVフォルト・リミットをGPIO₀ピンにマッピングしてください。

いずれかのフォルト・イベントまたは警告イベントが発生すると、SMBALERT_MASK コマンドによってALERT₀がマスクされていないければ、ALERT₀ピンが“L”にアサートされます。このピンは、CLEAR_FAULTS コマンドが発行されるか、フォルト・ビットに1が書き込まれるか、PMBus マスタが正常にデバイスのARAレジスタを読み出すか、バイアス電源がオフになって再びオンになるか、MFR_RESET コマンドまたはRESTORE_USER_ALL コマンドが発行されるまで“L”にアサートされたままになります。RUNピンがオフになって再びオンになるか、PMBusによってデバイスがオフ/オンするように指示されると、チャンネル固有のフォルトがクリアされます。MFR_CONFIG_ALL_LTC3887のビット0が1に設定された場合、RUNピンがオフになって再びオンになるか、PMBusによってデバイスがオフ/オンするように指示されると、全てのフォルトがクリアされます。フォルトが検出された場合にGPIO₀ピンが“L”に引き下げられるかどうかは、MFR_GPIO_PROPAGATE_LTC3887 コマンドによって決まります。ただし、ALERT₀ピンは、フォルトまたは警告が検出されてステータス・ビットが更新されると、SMBALERT_MASK コマンドによってALERT₀ピンがマスクされていないければ、必ず“L”に引き下げられます。

出力および入力のフォルト・イベント処理は、表5～9に記載された、対応するフォルト応答バイトによって制御されます。これらの各種フォルトからのシャットダウン回復は、自律的なものとラッチされるものがあります。自律的な回復の場合、フォルトはラッチされないため、リトライ・インターバル時間の経過後にフォルト状態が解消されていれば、新たにソフトスタートが試みられます。フォルト状態が解消されていない場合、コントローラはリトライを繰り返します。リトライ・インターバルはMFR_RETRY_DELAY コマンドによって指定し、電源サイクルが繰り返されることによるデバイスの損傷を防ぎます。MFR_RETRY_DELAYは120msより大きくなければなりません、83.88秒を超えることはできません。

動作

チャンネル間のフォルト依存関係を構築できるようにするには、 $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンを相互に接続します。内部フォルトが発生すると、1つ以上のチャンネルが、バス接続された $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンを“L”に引き下げられるように構成されます。それ以外のチャンネルは、 $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンが“L”に引き下げられるとシャットダウンするように構成されます。自律的グループの再試行では、再試行間隔の経過後、フォルト発生チャンネルが $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンを解放するよう構成され、当初のフォルトは解消されたものとみなします。その後、グループ内の全てのチャンネルがソフトスタート・シーケンスを開始します。フォルト応答が LATCH_OFF の場合、RUN ピンのオフ/オン・トグル、デバイスへのオフ/オン指示のいずれかが実行されるまで、 $\overline{\text{GPIO}}$ ピンは“L”にアサートされたままになります。ピンまたはオフ/オン指示のいずれかによって RUN をトグルすると、チャンネル関連のフォルトはクリアされます。いずれかの RUN ピンがトグルされた場合に、全てのフォルトをクリアする必要がある場合は、MFR_CONFIG_ALL_LTC3887 のビット 0 を 1 に設定します。

全てのフォルトおよび警告のステータスは、STATUS_WORD および STATUS_BYTE コマンド内にまとめて表示されます。

フォルトの検出および処理には、他にも次のような機能があります。

CRC 保護

EEPROM メモリの完全性をパワーオン・リセット後に確認できます。CRC エラーは、コントローラがオフ状態から脱することを妨げます。CRC エラーが発生した場合、STATUS_BYTE および STATUS_WORD コマンド内の CML ビットがセットされます。さらに、STATUS_MFR_SPECIFIC コマンド内の該当するビットがセットされ、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンが“L”に引き下げられます。EEPROM の修復は、必要な構成をコントローラに書き込み、STORE_USER_ALL コマンドに続いて CLEAR_FAULTS コマンドを実行することで可能です。

LTC3887 の EEPROM の製造時セクションには、ミラー・コピーがあります。LTC3887 は、EEPROM 構成の 2 つの製造時セクションのいずれか一方が破壊されている場合にも動作できます。2 つのセクション間に相違が検出されると、STATUS_MFR_SPECIFIC コマンド内に、「NVM CRC フォルト」が設定されます。CLEAR_FAULTS を発行してクリアするか、1 を書き込んだ後も、このビットがセットされたままの場合は、修復できない内部フォルトの発生を意味します。製造時セクションの修復不能 EEPROM フォルトを、ユーザーの手元で修復する方法はありません。

シリアル・インタフェース

LTC3887 のシリアル・インタフェースは PMBus 準拠のスレーブ・デバイスであり、10kHz ~ 400kHz の間の任意の周波数による動作が可能です。アドレスは、EEPROM または外付けの抵抗分割器によって構成できます。さらに、LTC3887 はグローバル・ブロードキャスト・アドレスである 0x5A (7 ビット) または 0x5B (7 ビット) には必ず応答します。アドレス 0x5A はページ指定されず、両方のチャンネルに対して実行されます。0x5B はページ・コマンドに従います。アドレス 0x5A は、ページに対応していないため、ページ指定読み出しコマンドには使用できません。

シリアル・インタフェースは、PMBus 仕様に規定された、以下のプロトコルをサポートします。1) コマンド送信、2) バイト書き込み、3) ワード書き込み、4) グループ、5) バイト読み出し、6) ワード読み出し、7) ブロック読み出し、8) PAGE_PLUS_READ、9) PAGE_PLUS_WRITE、10) SMBALERT_MASK 読み出し、11) SMBALERT_MASK 書き込み全ての読み出し動作は、PMBus マスタが要求している場合、有効な PEC を返します。MFR_CONFIG_ALL_LTC3887 コマンド内の PEC_REQUIRED ビットがセットされている場合、LTC3887 が有効な PEC を受信するまで、PMBus 書き込み動作は処理されません。

通信保護

PEC 書き込みエラー (PEC_REQUIRED がアクティブな場合)、サポート外のコマンドへのアクセス試行、サポート対象のコマンドへの無効データ書き込みは、いずれも CML フォルトを発生させます。STATUS_BYTE および STATUS_WORD コマンド内の CML ビットがセットされます。さらに、STATUS_CML コマンド内の該当するビットがセットされ、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンが“L”に引き下げられます。

デバイス・アドレス指定

LTC3887 の PMBus インタフェースを介したアドレス指定には、次の 4 種類が用意されています。1) グローバル、2) デバイス、3) レールによるアドレス指定および 4) アラート応答アドレス (ARA)。

グローバル・アドレス指定は、バス上の全ての LTC3887 デバイスのアドレスを指定するための手段を PMBus マスタに提供します。LTC3887 のグローバル・アドレスは、固定された 0x5A (7 ビット) または 0xB4 (8 ビット) であり、ディスエーブルすることはできません。グローバル・アドレスに送信されたコマンドは、PAGE が 0xFF の値に設定された場合と同様に機能します。送信されたコマンドは、両方のチャンネルに同時に書き込まれます。

動作

グローバル・コマンド 0x5B (7ビット) または 0xB6 (8ビット) は、ページ指定され、バス上の全ての LTC3887 デバイスのチャンネル固有のコマンドを可能にします。他の LTC デバイス・タイプは、これらのグローバル・アドレスの 1 つまたは両方で応答する可能性があります。そのため、グローバル・アドレスからは読み出さないでください。

レール・アドレス指定は、単一の出力電圧 (PolyPhase) を生成するために相互に接続している全てのチャンネルとバス・マスタが同時に通信する方法を提供します。グローバル・アドレス指定と同様ですが、レール・アドレスには、ページ設定された MFR_RAIL_ADDRESS コマンドを動的に割り当てることができるので、信頼できるシステム制御で要求される場合があるチャンネルの論理的グループ分けに対応します。複数の LTC デバイスが応答する可能性があるため、レール・アドレスからは読み出さないでください。

デバイス・アドレス指定は、PMBus マスタが LTC3887 の 1 つのインスタンスと通信するときの標準的な手段です。デバイス・アドレスの値は、ASEL0 および ASEL1 構成ピンと、MFR_ADDRESS コマンドの組み合わせによって設定します。このアドレス指定方法を使用すると、PAGE コマンドによって動作中のチャンネルを決定できます。デバイス・アドレス指定は、MFR_ADDRESS に値 0x80 を書き込むことでディスエーブルできます。

以上の 4 つの PMBus アドレス指定方法は、いずれもユーザーによる整然とした計画に基づいて適用し、アドレスの競合を防ぐ必要があります。グローバル・アドレスおよびレール・アドレスでの LTC3887 デバイスへの通信は、コマンド書き込み動作に限定してください。

V_{OUT} および I_{OUT} フォルトに対する応答

V_{OUT} の OV および UV 状態は、コンパレータによってモニタされます。OV と UV のリミット値は、次の 3 つの方法で設定できます。

- 抵抗構成設定ピンを使用している場合は V_{OUT} に対するパーセンテージ
- 工場出荷時または GUI のいずれかによってプログラムされている場合は EEPROM 内の値
- PMBus コマンドによる指定

I_{IN} と I_{OUT} の過電流モニタには、ADC の読み出しと計算を使用します。これらの値は平均電流に基づいているため、最大 120ms のレイテンシが必要になる場合があります。I_{OUT} の計算には、検出抵抗と抵抗の温度係数が加味されます。入力電流は、出力電流に各チャンネルのデューティ・サイクルを掛け、

各チャンネルの入力オフセット電流を足した値になります。この入力電流の計算値が IN_OC_WARN_LIMIT を超えた場合、ALERT ピンが“L”に引き下げられ、STATUS_INPUT レジスタの IIN_OC_WARN ビットがアサートされます。

LTC3887 には、フォルトを無視する機能、デバイスをシャットダウンしてラッチ・オフする機能、デバイスをシャットダウンして無期限でリトライを繰り返す機能 (ヒカップ) があります。リトライ・インターバルは、MFR_RETRY_DELAY によって、120ms ~ 83.88 秒の範囲で 1ms 刻みの設定が可能です。OV/UV および OC によるシャットダウンは、フォルト発生後直ちに実行するか、ユーザーが選択するデグリッチ時間の経過後に実行することができます。

出力過電圧フォルトに対する応答

プログラム可能な過電圧 (OV) コンパレータは、出力の過渡的なオーバーシュートと長時間の過電圧からデバイスを保護します。これらの状態が発生した場合、PMBus コマンドの VOUT_OV_FAULT_RESPONSE のバイト値に関わらず、過電圧状態が解消されるまで上側 MOSFET がオフし、下側 MOSFET がオンします。このハードウェア・レベルのフォルト応答の遅延、つまり過電圧状態の発生から BG が“H”にアサートされるまでの標準的な遅延時間は 2μs です。ユーザーは VOUT_OV_FAULT_RESPONSE コマンドによって、次のいずれかの動作を選択できます。

- OV のプルダウンのみ (OV は無視できません)
- 即時シャットダウン (スイッチング停止) — ラッチ・オフ
- 即時シャットダウン — MFR_RETRY_DELAY で指定したインターバルで無期限のリトライ

ラッチ・オフまたはリトライのいずれのフォルト応答も、(0 ~ 7)・10μs 刻みでデグリッチできます。表 5 を参照してください。

出力低電圧フォルトに対する応答

低電圧 (UV) コンパレータ出力に対しては、次のいずれかの応答が可能です。

- 無視
- 即時シャットダウン — ラッチ・オフ
- 即時シャットダウン — MFR_RETRY_DELAY で指定したインターバルで無期限のリトライ

ラッチ・オフまたはリトライのいずれのフォルト応答も、(0 ~ 7)・10μs 刻みでデグリッチできます。表 6 を参照してください。

動作

ピーク出力過電流フォルトに対する応答

電流モードの制御アルゴリズムを使用しているため、インダクタのピーク出力電流は、サイクルごとに常に制限されています。ピーク電流のリミット値は、電気的特性の表の検出電圧に規定されています。電流制限回路は、 I_{TH} の最大電圧を制限することで動作します。DCR検出を使用している場合、 I_{TH} の最大電圧は、インダクタDCRの温度係数に直接比例する温度依存性を持ちます。LTC3887は、外付けの温度センサを自動的にモニタし、この項を補償するために I_{TH} の最大許容値を変更します。

過電流フォルト処理回路では、次のいずれかの動作を実行できます。

- 無期限の電流制限
- 即時シャットダウン — ラッチ・オフ
- 即時シャットダウン — MFR_RETRY_DELAYで指定したインターバルで無期限のリトライ

過電流フォルトに対する応答は、 $(0\sim7) \cdot 16\text{ms}$ 刻みでデグリッチできます。表7を参照してください。

タイミング・フォルトに対する応答

TON_MAX_FAULT_LIMITは、起動時に V_{OUT} が立ち上がり、安定するまでに許される時間です。TON_MAX_FAULT_LIMITの条件は、出力がSOFT_STARTシーケンスを実行している間の、 $V_{OUT_UV_FAULT_LIMIT}$ の検出に基づいて判断されます。TON_MAX_FAULT_LIMITの時間は、TON_DELAYが経過し、SOFT_STARTシーケンスが開始された時点を開始点とします。TON_MAX_FAULT_LIMITの分解能は $10\mu\text{s}$ です。TON_MAX_FAULT_LIMITの時間内に $V_{OUT_UV_FAULT_LIMIT}$ に到達しなかった場合、このフォルトに対する応答がTON_MAX_FAULT_RESPONSEコマンドの値によって決まります。次のいずれかの応答が可能です。

- 無視
- 即時シャットダウン(スイッチング停止) — ラッチ・オフ
- 即時シャットダウン — MFR_RETRY_DELAYで指定したインターバルで無期限のリトライ

このフォルトに対する応答は、デグリッチされません。TON_MAX_FAULT_LIMITの値を0に設定することは、このフォルトの無視を意味します。TON_MAX_FAULT_LIMITは、TON_RISEの時間よりも長くしてください。TON_MAX_

FAULT_LIMITには、常に0以外の値を設定することを推奨します。0を設定すると出力がまったく立ち上がらず、ユーザーに対するフラグも一切セットされない恐れがあります。

表9を参照してください。

V_{IN} の0Vフォルトに対する応答

V_{IN} の過電圧状態は、A/Dコンバータによって測定されます。したがって、その応答はA/Dコンバータの標準応答時間である100msによって自然にデグリッチされます。フォルトには、次の応答が可能です。

- 無視
- 即時シャットダウン — ラッチ・オフ
- 即時シャットダウン — MFR_RETRY_DELAYで指定したインターバルで無期限のリトライ

表9を参照してください。

OT/UTフォルトに対する応答

内部過熱フォルト/警告応答

内部温度センサは、EEPROMを損傷から保護します。 85°C を超える温度におけるEEPROMへの書き込みは推奨できません。 130°C を上回ると、内部過熱警告しきい値を超えて、デバイスがEEPROMの書き込みをディスエーブルし、温度が 125°C に低下するまで再びイネーブルしません。ダイ温度が 160°C を超えると、温度が 150°C 未満に低下するまで内部過熱フォルト応答がイネーブルされ、PWMがディスエーブルされます。温度は、A/Dコンバータによって測定されます。内部温度フォルトは無視できません。ユーザーは内部温度のリミット値を変更できません。

表8を参照してください。

外部過熱および低温フォルト応答

2つの外付け温度センサによって、インダクタやパワーMOSFETなどの重要な回路素子の温度を検出できます。OT_FAULT_RESPONSEコマンドとUT_FAULT_RESPONSEコマンドは、過熱状態と低温状態への適切な応答を決定するためにそれぞれ使用されます。外付けのセンサ素子を使用しない場合(推奨しません)は、UT_FAULT_RESPONSEを「無視」に設定し、UT_FAULT_LIMITを -275°C に設定し、MFR_IOUT_CAL_GAIN_TCを0に設定します。

動作

フォルトには、次の応答が可能です。

- 無視
- 即時シャットダウン — ラッチ・オフ
- 即時シャットダウン — MFR_RETRY_DELAYで指定したインターバルで無期限のリトライ

表9を参照してください。

外部フォルトに対する応答

$\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンのいずれかが“L”に引き下げられると、STATUS_WORDコマンド内のOTHERビットがセットされます。さらに、STATUS_MFR_SPECIFICコマンド内の該当するビットがセットされ、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンが“L”に引き下げられます。応答はデグリッチされません。各チャンネルは、MFR_GPIO_RESPONSEコマンドを変更することで、 $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンの“L”遷移に対して、無視またはシャットダウン後のリトライのいずれかで応答するように構成できます。 $\overline{\text{GPIO}}$ が“L”に引き下げられたときに $\overline{\text{ALERT}}$ ピンが“L”にアサートされるのを防ぐには、MFR_CHAN_CONFIG_LTC3887のビット1をアサートするか、SMBALERT_MASKコマンドを使用して $\overline{\text{ALERT}}$ をマスクします。

フォルト・ログ

LTC3887にはフォルト・ログ記録の機能があります。データは表11に示す順序でメモリに記録されます。フォルト・ログに保存されるデータは、内部揮発性メモリに保存され続けています。フォルト・イベントが発生すると、内部揮発性メモリへの記録が停止し、フォルト・ログ情報をMFR_FAULT_LOGコマンドから入手できるようになり、内部メモリの内容がEEPROMにコピーされます。フォルト・ログ機能は85°Cを超える温度でも使用できますが、10年の保持特性は保証されません。ダイ温度が130°Cを超えると、温度が125°C未満に低下するまでフォルト・ログ記録が遅延します。フォルト・ログ・イベントを発生させたフォルト状態が解消されると、フォルトがクリアされてから、フォルト・ログ・データが消去されます。フォルト状態が解消されない場合、デバイスは即座に別のフォルト・ログを発行します。

LTC3887は、電源投入時に有効なフォルト・ログがないか、EEPROM内を確認します。EEPROM内に有効なフォルト・ログが存在した場合、STATUS_MFR_SPECIFICコマンドの「有効なフォルト・ログ」ビットがセットされ、 $\overline{\text{ALERT}}$ イベントが生成されます。また、LTC3887がMFR_FAULT_LOG_CLEARコマンドを受信するまでフォルト・ログはブロックされ、このコマンドの受信後に再度イネーブルされます。

いずれかのチャンネルのコントローラを無効化するいかなるフォルトが発生した場合も、情報はEEPROMに格納されます。外部で $\overline{\text{GPIO}}_n$ が“L”に引き下げられることによって、フォルト・ログ記録イベントはトリガされません。

バス・タイムアウト保護

シリアル・インタフェースのハングアップを防ぐために、LTC3887にはタイムアウト機能が実装されています。データ・パケット・タイムはデバイス・アドレス書き込みバイトの前の最初のSTARTイベントによって起動されます。データ・パケット情報は25ms以内に完了する必要があります。この時間を超過した場合、LTC3887はバスをトライステート状態に遷移させ、そのデータ・パケットを無視します。さらに多くの時間が必要な場合は、MFR_CONFIG_ALL_LTC3887のビット3をアサートして、255msの標準のバス・タイムアウトを許容します。データ・パケットの情報には、デバイス・アドレス・バイト書き込み、コマンド・バイト、反復スタート・イベント(読み出し動作の場合)、デバイス・アドレス・バイト読み出し(読み出し動作の場合)、全てのデータ・バイト、および該当する場合はPECバイトが含まれます。

LTC3887は、データ・パケットのブロック読み出しに対して、より長いPMBusタイムアウトを許容します。このタイムアウト時間は、ブロック読み出しの長さに比例します。ブロック読み出しのタイムアウト延長は、主にMFR_FAULT_LOGコマンドに適用されます。どのような状況でも、タイムアウト期間がtTIMEOUT_SMBの32ms(標準)の規定値より短くなることはありません。

シリアル・バス・インタフェースを共有する全てのデバイス間の効率的なデータ・パケット伝送を維持するために、できるだけ速いクロック・レートを使用することを推奨します。LTC3887は、PMBusの周波数範囲である10kHz～400kHzの全域をサポートしています。

PMBus、SMBus、I²C 2線インタフェース間の類似性

PMBus 2線インタフェースはSMBusの拡張版です。SMBusは、I²Cを基盤として構築され、両者の間にはタイミング、DCパラメータ、プロトコルにいくつかのわずかな差異が存在します。PMBus/SMBusプロトコルは、バス・エラーを防ぐタイムアウトと、データの完全性を保証するオプションのパケット・エラー・チェック(PEC)を備えているので、シンプルなI²Cのバイト・コマンドよりも堅牢です。通常、I²C通信用に構成できるマスタ・デバイスは、ハードウェアまたはファームウェアにわずかな変更を加えるか、まったく変更なしにPMBusにも適用できます。

動作

反復スタート(リスタート)は、全てのI²Cコントローラでサポートされているわけではありませんが、SMBus/PMBusの読み出しには必要です。汎用I²Cコントローラを使用する場合は、反復スタートをサポートしているか確認してください。

PMBusで適用されたSMBusに対する軽微な拡張や例外については、『PMBus Specification Part 1 Revision 1.2』の第5節「Transport」を参照してください。

SMBusとI²Cの相違点については、『System Management Bus (SMBus) Specification Version 2.0』の付録B「Differences Between SMBus and I²C」を参照してください。

PMBus シリアル・デジタル・インタフェース

LTC3887は、標準PMBusシリアル・バス・インタフェースを使用してホスト(マスタ)と通信します。バス信号のタイミング関係をタイミング図(図5)に示します。バスを使用しない場合、2本のバスライン(SDAとSCL)は“H”にする必要があります。これらのラインには外付けのプルアップ抵抗または電流源が必要です。

LTC3887はスレーブ・デバイスです。マスタは以下の形式でLTC3887と通信できます。

- マスタ・トランスミッタ、スレーブ・レシーバ
- マスタ・レシーバ、スレーブ・トランスミッタ

以下のPMBusプロトコルがサポートされています。

- バイト書き込み、ワード書き込み、バイト送信、ブロック書き込み
- バイト読み出し、ワード読み出し、ブロック読み出し
- アラート応答アドレス

前述のSMBusプロトコルを図7～23に示します。全てのトランザクションがPEC(パリティ・エラー・チェック)とGCP(グループ・コマンド・プロトコル)に対応しています。ブロック読み出しは、戻り値のデータとして255バイトをサポートします。このため、フォルト・ログを読み出す場合にPMBusタイムアウトを延長できます。

図6は、このセクションに示すプロトコル図の凡例です。PECはオプションです。

以下の図のフィールド下に示された値は、そのフィールドに対する必須値です。

PMBusによって実装されるデータ形式は次のとおりです。

- マスタ・トランスミッタがスレーブ・レシーバに送信する。この場合、伝送方向は変化しません。
- 最初のバイトの直後にマスタがスレーブを読み出す。最初のアクノリッジ(スレーブ・レシーバによる)の時点で、マスタ・トランスミッタはマスタ・レシーバになり、スレーブ・レシーバがスレーブ・トランスミッタになります。
- 組み合わせ形式伝送中に方向が変化する時点で、マスタはスタート条件とスレーブ・アドレスの両方を反復しますが、その際R/Wビットを反転させます。その場合、マスタ・レシーバは伝送の最後のバイトとストップ条件に対してNACKを生成して伝送を中止します。

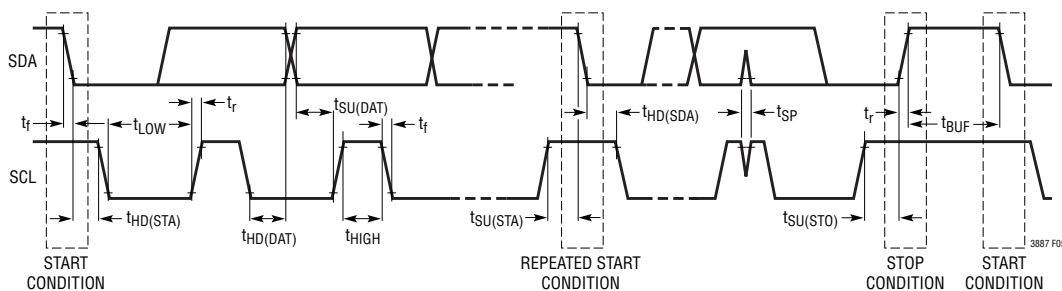


図5. タイミング図

動作

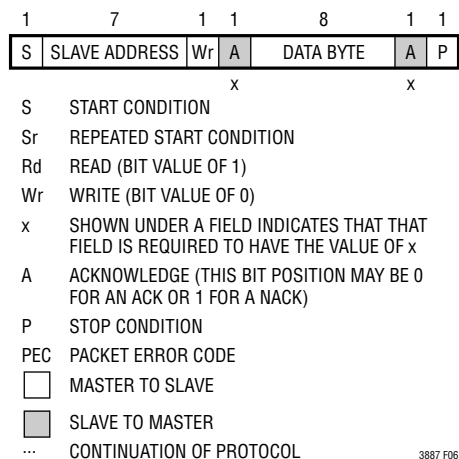


図6. PMBus パケット・プロトコル図の凡例

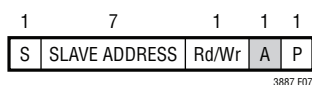


図7. クイック・コマンド・プロトコル

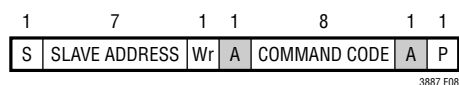


図8. バイト送信プロトコル

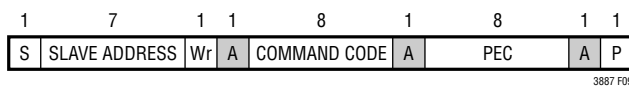


図9. PEC 付きバイト送信プロトコル

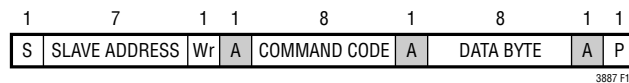


図10. バイト書き込みプロトコル

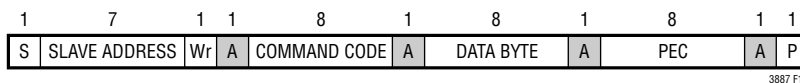


図11. PEC 付きバイト書き込みプロトコル

動作

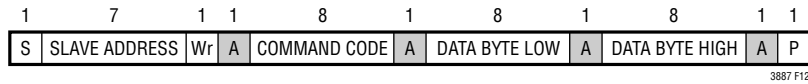


図12. ワード書き込みプロトコル

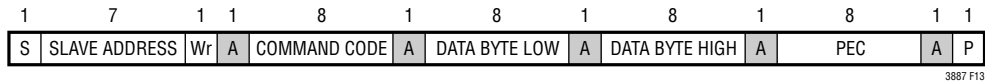


図13. PEC付きワード書き込みプロトコル

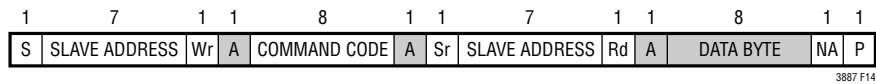


図14. バイト読み出しプロトコル

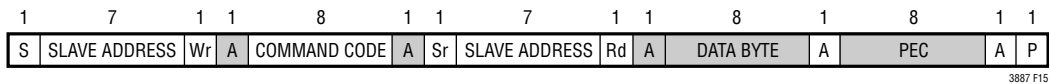


図15. PEC付きバイト読み出しプロトコル

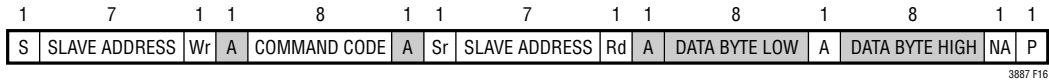


図16. ワード読み出しプロトコル

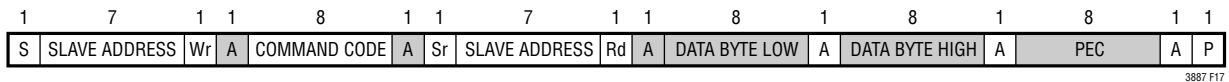


図17. PEC付きワード読み出しプロトコル

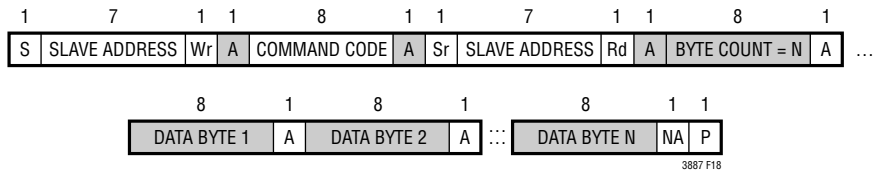


図18. ブロック読み出しプロトコル

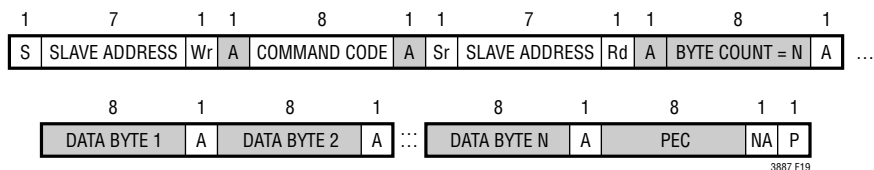


図19. PEC付きブロック読み出しプロトコル

動作

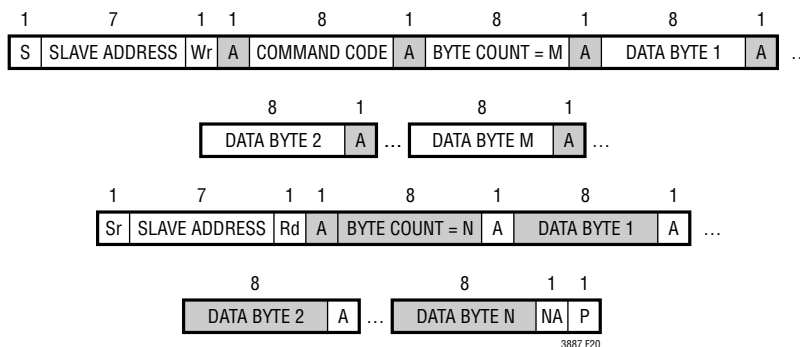


図 20. ブロック書き込み - ブロック読み出しプロセス呼び出し

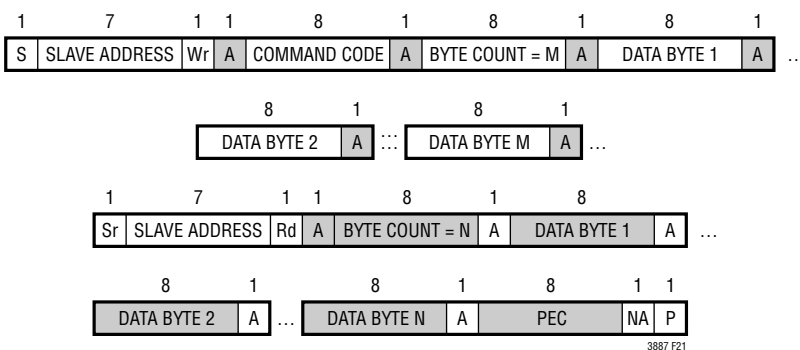


図 21. ブロック書き込み - PEC 付きブロック読み出しプロセス呼び出し

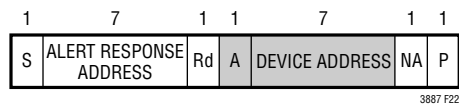


図 22. アラート応答アドレス・プロトコル

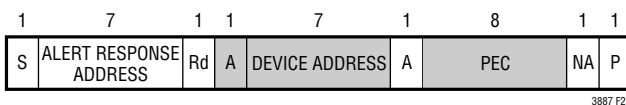


図 23. PEC 付きアラート応答アドレス・プロトコル

動作

表 1. データ形式の用語

| PMBus用語 | 意味 | 仕様、GUI、アプリケーション・ ノートの用語 | コマンドの概要一覧表の略語 | データ形式詳細の 参照先ページ(表 2) |
|------------------------|---------------------|----------------------------|---------------|-------------------------|
| Linear | リニア | Linear_5s_11s | L11 | p. 38 |
| Linear (電圧関連コ マンド用) | リニア | Linear_16u | L16 | p. 38 |
| Direct | メーカーによる 直接カスタマイズ | DirectMfr | CF | p. 38 |
| Hex | | Hex | I16 | |
| ASCII | | ASCII | ASC | |
| | レジスタ・フィールド | Reg | Reg | |

堅牢なシステム通信を保証するためにハンドシェイク機能を備えています。詳細は、「アプリケーション情報」の「PMBusの通信とコマンド処理」の項を参照してください。

PMBus コマンドの概要

PMBus コマンド

以下の表は、サポートされる PMBus コマンドとメーカー固有コマンドの一覧です。これらのコマンドの詳細な説明は、『PMBus Power System Mgt Protocol Specification – Part II – Revision 1.2』に記載されています。この仕様を参照することを推奨します。例外またはメーカー固有の実装については表 2 に掲載されています。表の「デフォルト値」に示した浮動小数点の値は、Linear 16 ビット符号付き (PMBus セクション 8.3.1) または Linear_5s_11s (PMBus セクション 7.1) のいずれかのうち、そのコマンドに該当する形式を取ります。この表に記載されていない 0xD0 ~ 0xFF のコマンドは、いずれもメーカーが暗黙のうちに予約済みとしているものです。デバイスの誤動作を避けるために、ユーザーは、この範囲のコマンドを不用意に書き込まないようにする必要があります。この表に記載されていない 0x00 ~ 0xCF のコマンドは、いずれもメーカーが暗黙

のうちにサポート外としているものです。サポート外または予約済みコマンドにアクセスすると、CML コマンド・フォルト・イベントが発生する可能性があります。出力電圧の設定および測定は、全て VOUT_MODE に対する 0x14 の設定に基づいています。これは、 2^{-12} の指数に相当します。

PMBus コマンドの受信に処理が追いつかなくなると、デバイスがビジー状態となり新たなコマンドを処理できなくなる場合があります。そのような状況になると、デバイスは「PMBus Specification v1.2, Part II, Section 10.8.7」に規定されたプロトコルに従い、ビジーであることを伝えます。デバイスは、堅牢な通信とシステム動作を確保すると同時に、ビジー・エラーをなくし、エラー処理ソフトウェアを簡素化する、ハンドシェイク機能を備えています。詳細は、「アプリケーション情報」の「PMBus の通信とコマンド処理」の項を参照してください。

表 2. コマンド一覧 (注記: データ形式の略語については、この表の最後で説明されています。NVM と EEPROM は同じです。)

| コマンド名 | CMD コード | 説明 | タイプ | ページ指定 | データ形式 | 単位 | NVM | デフォルト値 | ページ |
|------------------|---------|---|-----------|-------|-------|----|-----|-------------------|---------------------|
| PAGE | 0x00 | ページングをサポートしているコマンドの、現在選択されているチャンネルまたはページ。 | R/W Byte | N | Reg | | | 0x00 | 63 |
| OPERATION | 0x01 | 動作モードの制御。オン/オフ、マージン・ハイおよびマージン・ロー。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0x40 | 67 |
| ON_OFF_CONFIG | 0x02 | RUNピンおよびPMBusのオン/オフ・コマンドの構成。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0x1E | 66 |
| CLEAR_FAULTS | 0x03 | セットされている全フォルト・ビットをクリア。 | Send Byte | N | | | | NA | 90 |
| PAGE_PLUS_WRITE | 0x05 | 指定のページにコマンドを直接書き込む。 | W Block | N | | | | | 63 |
| PAGE_PLUS_READ | 0x06 | 指定のページからコマンドを直接読み取る。 | Block R/W | N | | | | | 64 |
| WRITE_PROTECT | 0x10 | 偶発的な変更に対してデバイスが提供する保護のレベル。 | R/W Byte | N | Reg | | Y | 0x00 | 64 |
| STORE_USER_ALL | 0x15 | ユーザー動作メモリをEEPROMに格納する。 | Send Byte | N | | | | NA | 101 |
| RESTORE_USER_ALL | 0x16 | ユーザー使用メモリをEEPROMからリストアする。 | Send Byte | N | | | | NA | 101 |
| CAPABILITY | 0x19 | デバイスがサポートするPMBusオプション通信プロトコルの要約。 | R Byte | N | Reg | | | 0xB0 | 89 |
| SMBALERT_MASK | 0x1B | ALERT動作をマスクする | Block R/W | Y | Reg | | | CMDを参照 | 91 |
| VOUT_MODE | 0x20 | 出力電圧の形式および指数 (2^{-12})。 | R Byte | Y | Reg | | | 2^{-12} 0x14 | 71 |
| VOUT_COMMAND | 0x21 | 公称出力電圧の設定ポイント。 | R/W Word | Y | L16 | V | Y | 1.0 0x1000 | 72 |
| VOUT_MAX | 0x24 | 指示した出力電圧に対する VOUT_MARGIN_HIGH を含む上限。 | R/W Word | Y | L16 | V | Y | 5.6 0x599A | 71 |
| VOUT_MARGIN_HIGH | 0x25 | マージン・ハイの出力電圧設定ポイント。VOUT_COMMAND よりも大きくなければならない。 | R/W Word | Y | L16 | V | Y | 1.05 0x10CD | 72 |
| VOUT_MARGIN_LOW | 0x26 | マージン・ローの出力電圧設定ポイント。VOUT_COMMAND よりも小さくなければならない。 | R/W Word | Y | L16 | V | Y | 0.95 0x0F33 | 73 |

PMBus コマンドの概要

| コマンド名 | CMD コード | 説明 | タイプ | ページ 指定 | データ 形式 | 単位 | NVM | デフォルト 値 | ページ |
|------------------------|------------|--|----------|-----------|-----------|------|-----|-----------------|--------------------|
| VOUT_TRANSITION_RATE | 0x27 | VOUTに新しい値を指定したときに出力が変化する速度。 | R/W Word | Y | L11 | V/ms | Y | 0.25 AA00 | 78 |
| FREQUENCY_SWITCH | 0x33 | コントローラのスイッチング周波数。 | R/W Word | N | L11 | kHz | Y | 350 0xFABC | 70 |
| VIN_ON | 0x35 | デバイスが電力変換を開始する入力電圧。 | R/W Word | N | L11 | V | Y | 6.5 0xCB40 | 71 |
| VIN_OFF | 0x36 | デバイスが電力変換を停止する入力電圧。 | R/W Word | N | L11 | V | Y | 6.0 0xCB00 | 71 |
| IOUT_CAL_GAIN | 0x38 | 検出電流に対する電流検出ピンの電圧の比。 固定された電流検出抵抗を使用している デバイスの場合はmΩ単位の抵抗値となる。 | R/W Word | Y | L11 | mΩ | Y | 1.8 0xBB9A | 74 |
| VOUT_OV_FAULT_LIMIT | 0x40 | 出力過電圧フォルト・リミット。 | R/W Word | Y | L16 | V | Y | 1.1 0x119A | 72 |
| VOUT_OV_FAULT_RESPONSE | 0x41 | 出力過電圧フォルトが検出されたときのデバイスの動作。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0xB8 | 81 |
| VOUT_OV_WARN_LIMIT | 0x42 | 出力の過電圧警告リミット。 | R/W Word | Y | L16 | V | Y | 1.075 0x1133 | 72 |
| VOUT_UV_WARN_LIMIT | 0x43 | 出力の低電圧警告リミット。 | R/W Word | Y | L16 | V | Y | 0.925 0x0ECD | 73 |
| VOUT_UV_FAULT_LIMIT | 0x44 | 出力低電圧フォルト・リミット。 | R/W Word | Y | L16 | V | Y | 0.9 0x0E66 | 73 |
| VOUT_UV_FAULT_RESPONSE | 0x45 | 出力低電圧フォルトが検出されたときのデバイスの動作。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0xB8 | 82 |
| IOUT_OC_FAULT_LIMIT | 0x46 | 出力の過電流フォルト制限値。 | R/W Word | Y | L11 | A | Y | 29.75 0xDBB8 | 75 |
| IOUT_OC_FAULT_RESPONSE | 0x47 | 出力過電流フォルトが検出されたときのデバイスの動作。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0x00 | 84 |
| IOUT_OC_WARN_LIMIT | 0x4A | 出力の過電流警告制限値。 | R/W Word | Y | L11 | A | Y | 20.0 0xDA80 | 76 |
| OT_FAULT_LIMIT | 0x4F | 外部過熱フォルト制限値。 | R/W Word | Y | L11 | C | Y | 100.0 0xEB20 | 77 |
| OT_FAULT_RESPONSE | 0x50 | 外部過熱フォルトが検出されたとき、 デバイスが取るアクション。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0xB8 | 86 |
| OT_WARN_LIMIT | 0x51 | 外部過熱警告制限値。 | R/W Word | Y | L11 | C | Y | 85.0 0xEAA8 | 77 |
| UT_FAULT_LIMIT | 0x53 | 外部低温フォルト制限値。 | R/W Word | Y | L11 | C | Y | -40.0 0xE580 | 77 |
| UT_FAULT_RESPONSE | 0x54 | 外部低温フォルトが検出されたとき、 デバイスが取るアクション。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0xB8 | 86 |
| VIN_OV_FAULT_LIMIT | 0x55 | 入力電源の過電圧フォルト・リミット。 | R/W Word | N | L11 | V | Y | 15.5 0xD3E0 | 70 |
| VIN_OV_FAULT_RESPONSE | 0x56 | 入力の過電圧フォルトが検出されたときの デバイスの動作。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0x80 | 80 |
| VIN_UV_WARN_LIMIT | 0x58 | 入力電源の低電圧警告リミット。 | R/W Word | N | L11 | V | Y | 6.3 0xCB26 | 70 |

PMBus コマンドの概要

| コマンド名 | CMD コード | 説明 | タイプ | ページ 指定 | データ 形式 | 単位 | NVM | デフォルト 値 | ページ |
|----------------------------|------------|--|----------|-----------|-----------|----|-----|-----------------|--------------------|
| IIN_OC_WARN_LIMIT | 0x5D | 入力電源の過電流警告リミット。 | R/W Word | N | L11 | A | Y | 10.0 0xD280 | 74 |
| TON_DELAY | 0x60 | RUNおよびOPERATION(または、そのいずれか)によるオンから、出力レールのターンオンまでの時間。 | R/W Word | Y | L11 | ms | Y | 0.0 0x8000 | 78 |
| TON_RISE | 0x61 | 出力の立ち上がり開始から、出力電圧がVOUT コマンドで指定された値に達するまでの時間。 | R/W Word | Y | L11 | ms | Y | 8.0 0xD200 | 78 |
| TON_MAX_FAULT_LIMIT | 0x62 | TON_RISEの開始から、VOUTがVOUT_UV_FAULT_ LIMITをよぎるまでの最大時間。 | R/W Word | Y | L11 | ms | Y | 10.00 0xD280 | 78 |
| TON_MAX_FAULT_ RESPONSE | 0x63 | TON_MAX_FAULT イベントが検出されたときの デバイスの動作。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0xB8 | 83 |
| TOFF_DELAY | 0x64 | RUNおよびOPERATION(またはそのいずれか)に よるオフから TOFF_FALL ランプの開始までの時間。 | R/W Word | Y | L11 | ms | Y | 0.0 0x8000 | 79 |
| TOFF_FALL | 0x65 | 出力の立ち下がり開始から、出力が0Vに達する までの時間。 | R/W Word | Y | L11 | ms | Y | 8.00 0xD200 | 79 |
| TOFF_MAX_WARN_ LIMIT | 0x66 | TOFF_FALLが完了してから、デバイスが12.5% 未満に減衰するまでの最大許容時間。 | R/W Word | Y | L11 | ms | Y | 150 0xF258 | 79 |
| STATUS_BYTE | 0x78 | ユニットのフォルト状態の1バイトの要約。 | R/W Byte | Y | Reg | | | NA | 92 |
| STATUS_WORD | 0x79 | ユニットのフォルト状態の2バイトの要約。 | R/W Word | Y | Reg | | | NA | 92 |
| STATUS_VOUT | 0x7A | 出力電圧のフォルトおよび警告の状態。 | R/W Byte | Y | Reg | | | NA | 93 |
| STATUS_IOUT | 0x7B | 出力電流のフォルトおよび警告の状態。 | R/W Byte | Y | Reg | | | NA | 93 |
| STATUS_INPUT | 0x7C | 入力電源のフォルトおよび警告の状態。 | R/W Byte | N | Reg | | | NA | 93 |
| STATUS_TEMPERATURE | 0x7D | READ_TEMPERATURE_1の外部温度フォルトおよび 警告の状態。 | R/W Byte | Y | Reg | | | NA | 94 |
| STATUS_CML | 0x7E | 通信およびメモリのフォルトおよび警告の状態。 | R/W Byte | N | Reg | | | NA | 94 |
| STATUS_MFR_SPECIFIC | 0x80 | メーカー固有のフォルトおよび状態の情報。 | R/W Byte | Y | Reg | | | NA | 94 |
| READ_VIN | 0x88 | 入力電源電圧の測定値。 | R Word | N | L11 | V | | NA | 97 |
| READ_IIN | 0x89 | 入力電源電流の測定値。 | R Word | N | L11 | A | | NA | 97 |
| READ_VOUT | 0x8B | 出力電圧の測定値。 | R Word | Y | L16 | V | | NA | 97 |
| READ_IOUT | 0x8C | 出力電流の測定値。 | R Word | Y | L11 | A | | NA | 98 |
| READ_TEMPERATURE_1 | 0x8D | 外部温度センサ。IOUT_CAL_GAINをはじめとする、 全ての温度関連処理に使用される値。 | R Word | Y | L11 | C | | NA | 98 |
| READ_TEMPERATURE_2 | 0x8E | 内部ダイ温度。他のいずれのレジスタにも影響を 与えない。 | R Word | N | L11 | C | | NA | 98 |
| READ_DUTY_CYCLE | 0x94 | 上側ゲート制御信号のデューティ・サイクル。 | R Word | Y | L11 | % | | NA | 98 |
| READ_POUT | 0x96 | 出力電力の測定値。 | R Word | Y | L11 | W | | NA | 98 |
| PMBUS_REVISION | 0x98 | デバイスがサポートするPMBusのリビジョン。 現在のリビジョンは1.2。 | R Byte | N | Reg | | | 0x22 | 89 |
| MFR_ID | 0x99 | LTC3887のメーカーIDをASCIIで示した値。 | R String | N | ASC | | | LTC | 89 |
| MFR_MODEL | 0x9A | メーカー製品番号をASCIIで示した値。 | R String | N | ASC | | | LTC3887 | 90 |
| MFR_SERIAL | 0x9E | この特定のユニットのシリアル番号。 | R Block | N | CF | | | NA | 90 |
| MFR_VOUT_MAX | 0xA5 | VOUT_OV_FAULT_LIMITを含む最大許容出力電圧。 | R Word | Y | L16 | V | | 5.7 0x5B34 | 73 |

PMBus コマンドの概要

| コマンド名 | CMD コード | 説明 | タイプ | ページ 指定 | データ 形式 | 単位 | NVM | デフォルト 値 | ページ |
|----------------------------|------------|--|-----------|-----------|-----------|----|-----|---------------|---------------------|
| USER_DATA_00 | 0xB0 | OEMにより予約。通常、デバイスのシリアル化に使用。 | R/W Word | N | Reg | | Y | NA | 89 |
| USER_DATA_01 | 0xB1 | メーカーにより、LTpowerPlay用に予約。 | R/W Word | Y | Reg | | Y | NA | 89 |
| USER_DATA_02 | 0xB2 | OEMにより予約。通常、デバイスのシリアル化に使用。 | R/W Word | N | Reg | | Y | NA | 89 |
| USER_DATA_03 | 0xB3 | ユーザーが使用可能な NVM ワード。 | R/W Word | Y | Reg | | Y | 0x0000 | 89 |
| USER_DATA_04 | 0xB4 | ユーザーが使用可能な NVM ワード。 | R/W Word | N | Reg | | Y | 0x0000 | 89 |
| MFR_EE_UNLOCK | 0xBD | MFR_EE_ERASE コマンドと MFR_EE_DATA コマンドによるアクセスのために、ユーザーの EEPROM のロックを解除する。 | R/W Byte | N | Reg | | | NA | 106 |
| MFR_EE_ERASE | 0xBE | MFR_EE_DATA による一括プログラミングのために、ユーザーの EEPROM を初期化する。 | R/W Byte | N | Reg | | | NA | 106 |
| MFR_EE_DATA | 0xBF | PMBus ワードの順次読み出しまたは書き込みによって EEPROM との間で伝送されるデータ。一括プログラミングをサポートする。 | R/W Word | N | Reg | | | NA | 106 |
| MFR_CHAN_CONFIG_LTC3887 | 0xD0 | チャンネル固有の構成ビット。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0x1D | 65 |
| MFR_CONFIG_ALL_LTC3887 | 0xD1 | 全てのページで共通の構成ビット。 | R/W Byte | N | Reg | | Y | 0x01 | 66 |
| MFR_GPIO_PROPAGATE_LTC3887 | 0xD2 | GPIO ピンに伝播するフォルトを決定する設定。 | R/W Word | Y | Reg | | Y | 0x6993 | 87 |
| MFR_PWM_MODE_LTC3887 | 0xD4 | 各チャンネルの PWM エンジンの設定。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0xC1 | 68 |
| MFR_GPIO_RESPONSE | 0xD5 | GPIO ピンが外部から“L”にアサートされたとき、デバイスが取るアクション。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0xC0 | 88 |
| MFR_OT_FAULT_RESPONSE | 0xD6 | 内部過熱フォルトが検出されたとき、デバイスが取るアクション。 | R Byte | N | Reg | | | 0xC0 | 85 |
| MFR_IOUT_PEAK | 0xD7 | 最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降に測定された READ_IOUT の最大値を報告する。 | R Word | Y | L11 | A | | NA | 99 |
| MFR_ADC_CONTROL | 0xD8 | A/D コンバータの反復される高速読み出しのために選択する ADC テレメトリ・パラメータ。 | R/W Byte | N | Reg | | | 0x00 | 99 |
| MFR_ADC_TELEMETRY_STATUS | 0xDA | ショート・ラウンド・ロビン ADC ループがイネーブルされたときに、最後に変換されたパラメータを示す ADC テレメトリ・ステータス。 | R/W Byte | N | Reg | | Y | NA | 100 |
| MFR_RETRY_DELAY | 0xDB | フォルト再試行モードでの再試行間隔。 | R/W Word | Y | L11 | ms | Y | 350 0xFABC | 80 |
| MFR_RESTART_DELAY | 0xDC | LLTC3887 が RUN ピンを“L”に保持する最小時間。 | R/W Word | Y | L11 | ms | Y | 500 0xFBE8 | 80 |
| MFR_VOUT_PEAK | 0xDD | 最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降に測定された READ_VOUT の最大値。 | R Word | Y | L16 | V | | NA | 98 |
| MFR_VIN_PEAK | 0xDE | 最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降に測定された READ_VIN の最大値。 | R Word | N | L11 | V | | NA | 99 |
| MFR_TEMPERATURE_1_PEAK | 0xDF | 最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降に測定された外部温度 (READ_TEMPERATURE_1) の最大値。 | R Word | Y | L11 | C | | NA | 99 |
| MFR_CLEAR_PEAKS | 0xE3 | 全てのピーク値をクリアする。 | Send Byte | N | | | | NA | 91 |
| MFR_PADS | 0xE5 | I/O パッドのデジタル・ステータス。 | R Word | N | Reg | | | NA | 95 |
| MFR_ADDRESS | 0xE6 | 7ビットの I ² C アドレス・バイトを設定する。 | R/W Byte | N | Reg | | Y | 0x4F | 65 |
| MFR_SPECIAL_ID | 0xE7 | LTC3887 を表すメーカー・コード。 | R Word | N | Reg | | | 0x470X | 90 |

PMBus コマンドの概要

| コマンド名 | CMD コード | 説明 | タイプ | ページ 指定 | データ 形式 | 単位 | NVM | デフォルト 値 | ページ |
|------------------------|------------|--|-----------|-----------|-----------|----|-----|-----------------|---------------------|
| MFR_IIN_OFFSET | 0xE9 | デバイスのIQを考慮するために入力電流への追加に使用される係数。 | R/W Word | Y | L11 | A | Y | 0.050 0X9333 | 74 |
| MFR_FAULT_LOG_STORE | 0xEA | RAMからEEPROMへのフォルト・ログの伝送を命令する。 | Send Byte | N | | | | NA | 102 |
| MFR_FAULT_LOG_CLEAR | 0xEC | フォルト・ログ用に予約されたEEPROMブロックを初期化する。 | Send Byte | N | | | | NA | 106 |
| MFR_READ_IIN | 0xED | チャンネルごとに測定された入力電流。 | R Word | Y | L11 | A | | NA | 98 |
| MFR_FAULT_LOG | 0xEE | フォルト・ログのデータ・バイト。この順次取得データを使用して完全なフォルト・ログをアSEMBルする。 | R Block | N | Reg | | Y | NA | 102 |
| MFR_COMMON | 0xEF | 複数のLTCチップに共通するメーカー・ステータス・ビット。 | R Byte | N | Reg | | | NA | 95 |
| MFR_COMPARE_USER_ALL | 0xF0 | 現在のコマンドの内容をNVMと比較する。 | Send Byte | N | | | | NA | 101 |
| MFR_TEMPERATURE_2_PEAK | 0xF4 | 最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降の内部ダイ温度のピーク。 | R Word | N | L11 | C | | NA | 99 |
| MFR_PWM_CONFIG_LTC3887 | 0xF5 | 位相設定をはじめとするDC/DCコントローラの多数のパラメータを設定する。 | R/W Byte | N | Reg | | Y | 0x10 | 69 |
| MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC | 0xF6 | 電流検出素子の温度係数。 | R/W Word | Y | CF | | Y | 3900 0x0F3C | 74 |
| MFR_TEMP_1_GAIN | 0xF8 | 外付け温度センサの勾配を設定する。 | R/W Word | Y | CF | | Y | 1.0 0x4000 | 76 |
| MFR_TEMP_1_OFFSET | 0xF9 | 外付け温度センサの-273.1°Cを基準としたオフセットを設定する。 | R/W Word | Y | L11 | C | Y | 0.0 0x8000 | 76 |
| MFR_RAIL_ADDRESS | 0xFA | PolyPhase出力の共通パラメータを調整するための共通アドレス。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0x80 | 65 |
| MFR_RESET | 0xFD | パワーダウン不要の、コマンドによるリセット。 | Send Byte | N | | | | NA | 68 |

Note 1: 「Y」と書かれたコマンドは、STORE_USER_ALL コマンドによって格納され、RESTORE_USER_ALL コマンドによってリストアされることを意味する。

Note 2: デフォルト値に「NA」と示されたコマンドは、「該当値なし」を意味する。デフォルト値に「FS」と示されたコマンドは、「デバイスごとに工場設定済み」を意味する。

Note 3: LTC3887には、この表には記載されていない他のコマンドも実装されている。これらのコマンドの読み出しがICの動作に悪影響を及ぼすことはないが、その内容や意味は予告なく変更される場合がある。

Note 4: 未公開のコマンドの一部は読み出し専用であり、書き込むとCMLビット6のフォルトが発生する。

Note 5: この表に公開されていないコマンドへの書き込みは禁止されている。

Note 6: たとえコマンド名が同じであっても、異なるデバイス間でコマンドに互換性があると見なさないこと。必ずデバイスごとにメーカーのデータシートを参照してコマンド機能の詳細な定義を確認すること。

LTCは、コマンド機能のデバイス間互換性を保つように相応の取り組みを行ってきたものの、製品の要件を満たすために相違点が生じる場合もある。

PMBus コマンドの概要

* データ形式

| | | |
|-----|---------------|--|
| L11 | Linear_5s_11s | <p>PMBus のデータ・フィールド b[15:0] 値 = $Y \cdot 2^N$ ここで、N = b[15:11] は 5 ビットの 2 の補数の整数、Y = b[10:0] は 11 ビットの 2 の補数の整数 例： b[15:0] = 0x9807 = 'b10011_000_0000_0111 の場合 値 = $7 \cdot 2^{-13} = 854 \cdot 10^{-6}$ 「PMBus Spec Part II: Paragraph 7.1」より</p> |
| L16 | Linear_16u | <p>PMBus のデータ・フィールド b[15:0] 値 = $Y \cdot 2^N$ ここで、Y = b[15:0] は符号なしの整数、N = Vout_mode_parameter は 5 ビットの 2 の補数の指数で、10 進数の -12 に固定配線されている 例： b[15:0] = 0x4C00 = 'b0100_1100_0000_0000 の場合 値 = $19456 \cdot 2^{-12} = 4.75$ 「PMBus Spec Part II: Paragraph 8.2」より</p> |
| Reg | レジスタ | <p>PMBus のデータ・フィールド b[15:0] または b[7:0] ビット・フィールドの意味は PMBus コマンド・レジスタの詳細解説で定義されている</p> |
| I16 | Integer Word | <p>PMBus のデータ・フィールド b[15:0] 値 = Y ここで、Y = b[15:0] は 16 ビットの符号なし整数 例： b[15:0] = 0x9807 = 'b1001_1000_0000_0111 の場合 値 = 38919 (10 進)</p> |
| CF | Custom Format | <p>値は PMBus コマンド・レジスタの説明で詳細に定義されている。 多くの場合、MFR 固有の一定の倍率が掛けられる、符号なし整数または 2 の補数の整数である</p> |
| ASC | ASCII Format | <p>ISO/IEC8859-1 規格に準拠した、可変長の文字列。</p> |

アプリケーション情報

裏表紙の「標準的応用例」はLTC3887の一般的なアプリケーション回路です。LTC3887は、DCR（インダクタの抵抗）検出または低い値の抵抗による検出のどちらかを使うように構成することができます。2つの電流検出方式のどちらを選択するかは、主として設計上、コスト、消費電力、精度のどれを採るかで決まります。DCRによる検出は高価な電流検出抵抗を省くことができ、特に大電流のアプリケーションで電力効率が高いので普及しています。LTC3887は、設計上DCR検出素子の温度依存性を考慮しています。電流の読み出し値や電流制限値の精度は、通常DCR抵抗の精度（LTC3887のIOUT_CAL_GAINレジスタに反映）によって制限されます。したがって、電流検出抵抗がアプリケーションのより正確な電流検出と電流制限の値を提供します。他の外付け部品の選択は負荷条件に基づいて行い、(もしR_{SENSE}が使われていれば) R_{SENSE}とインダクタ値の選択から始めます。次に、パワーMOSFETを選択します。続いて、入力と出力のコンデンサを選択します。最後に電流制限の値を選択します。これらの部品および値の範囲は、いずれも外付けの補償用部品を計算する前に決定しておく必要があります。電流制限の範囲が必要となるのは、MFR_PWM_MODE_LTC3887コマンド内のビット7で設定される、EAの利得が2つのレンジ(25mV～50mVと37.5mV～70mV)で異なるためです。電圧のRANGEビットでもループ利得を変更可能であり、MFR_PWM_MODE_LTC3887のビット1によって設定される補償ネットワークにも影響を与えます。プログラム可能なその他のパラメータはループ利得に影響を与えないため、負荷に対するトランジェント応答に影響を与えずに変更できます。

電流制限のプログラミング

LTC3887には電流制限のプログラミング・レンジが2つ、各レンジ内には計8つのレベルがあります。PMBusコマンドのIOUT_OC_FAULT_LIMITのセクションを参照してください。各レンジ内ではエラー・アンプの利得が固定されているため、ループ利得は一定になります。LTC3887はインダクタのDCRの温度係数を考慮し、インダクタの温度変化に応じて電流制限を自動的に更新します。DCRの温度係数はMFR_IOUT_CAL_GAIN_TCレジスタに格納します。

電流制限の精度を最大限に高めるには、75mVの設定を使用してください。25mVに設定するとDCRが非常に小さなインダクタまたは検出抵抗を使用できますが、電流制限の精度が劣化します。電流制限はサイクルごとであり、インダクタのピーク電流だけで決まります。インダクタの平均電流はADCによってモニタされ、過大な平均出力電流が流れた場合に警告を発することができます。過電流フォルトは、ITH電圧が最大値に達した時点で検出されます。LTC3887内のデジタル・プロセッサには、フォルトを無視する機能、デバイスをシャットダウンしてラッチ・オフする機能、デバイスをシャットダウンして無期限でリトライを繰り返す機能(ヒカップ)があります。詳細は、「動作」のセクションの過電流の項を参照してください。

I_{SENSE}⁺ピンとI_{SENSE}⁻ピン

I_{SENSE}⁺ピンとI_{SENSE}⁻ピンは、電流コンパレータとA/Dの入力です。電流コンパレータの同相入力電圧範囲は、0V～5.5Vです。SENSEピンは両方とも高インピーダンス入力であり、通常1μA未満の小さなベース電流が流れます。I_{SENSE}ピンが0Vから1.4Vにランプアップすると、小さなベース電流がSENSEピンから流れ出します。I_{SENSE}ピンの電圧が1.4Vを超えると、ベース電流がI_{SENSE}ピンに流れ込みます。電流コンパレータへの入力は高インピーダンスなので、DCRによる正確な検出が可能です。通常動作中は、これらのピンをフロート状態にしないでください。

I_{SENSE}ラインに接続されるフィルタ部品はデバイスの近くに配置してください。正側と負側のトレースは差動配線とし、電流検出素子にケルビン接続します(図24参照)。非ケルビン接続によって、電流検出素子の寄生インダクタンスや寄生容量が増加し、検出端子における情報が劣化して、プログラムされた電流制限が正しく機能しないことがあります。PolyPhaseシステムにおいて検出素子の配置をおろそかにすると、電力段間で最適の電流シェアリングが行われなくなる恐れがあります。DCR検出を使用する場合は(図25a)、検出抵抗R1をスイッチング・ノード(SW)の近くに配置して、敏感な小信号ノードにノイズが結合することを防ぐ必要があります。コンデンサ

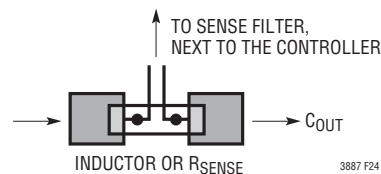


図24. 検出ラインの最適配置

アプリケーション情報

C1はICのピンの近くに配置します。このインピーダンスの差がADCの電流読み出し値の精度劣化につながる恐れがあります。電流読み出し値の精度は、2つのISENSE 入力インピーダンスを整合させることで改善する場合があります。それには、VOUTとISENSE間にR1に等しい直列抵抗を追加します。この抵抗と並列に1μF以上のコンデンサを接続します。室温のピーク電圧が75mV未満の場合、R2は不要です。

値の小さな抵抗による電流検出

ディスクリート抵抗を使用した標準的な検出回路を図25bに示します。RSENSEは必要な出力電流に基づいて選択します。

電流コンパレータの最大しきい値VSENSE(MAX)はILIMITの設定によって決まります。電流コンパレータの入力同相電圧の範囲は0V～5.5Vです(VINが6Vよりも大きい場合)。電流コンパレータのしきい値によってインダクタ電流のピーク値が設定され、このピーク値からピーク・トゥ・ピーク・リップル電流ΔILの半分を差し引いた値に等しい最大平均出力電流IMAXが得られます。検出抵抗の値を計算するには次式を使用します。

$$R_{SENSE} = \frac{V_{SENSE(MAX)}}{I_{MAX} + \frac{\Delta I_L}{2}}$$

電流検出ループにPCBノイズが存在する可能性があるため、 $\Delta V_{SENSE} = \Delta I_L \cdot R_{SENSE}$ のAC電流検出リップルも設計でチェックして、信号対雑音比(SNR)を良くする必要があります。一般に、適度に良好なPCBレイアウトを得るには、RSENSEまたはDCRのいずれの検出アプリケーションの場合でも、検討着手時の控えめな値として15mVの最小ΔVSENSE電圧を推奨します。

従来の電流モード・コントローラでは、最大検出電圧が十分高く(例えば、LTC1628/LTC3728製品ファミリでは75mV)、検出抵抗の寄生インダクタンス両端の電圧降下は比較的小さな誤差にしかありませんでした。ただし、より新しく高い電流密度のソリューションでは、検出抵抗の値は1mΩに満たないことがあり、ピーク検出電圧が20mVを下回る場合があります。さらに、最大1MHzの動作でインダクタのリップル電流が50%を超えることも普通になってきています。これらの条件では、もはや検出抵抗の寄生インダクタンスによる電圧降下を無視できません。ディスクリート抵抗を使用した標準的な検出回路を図18bに示します。従来のコントローラでは、PCBの検出トレースに結合した容量性および誘導性のノイズの影響を低減するのに、通常はデバイスの近くに配置した小さなRCフィルタが使用されていました。標準的なフィルタは1000pFの並列コンデンサに接続された2個の直列100Ω抵抗で構成され、時定数は200nsになります。

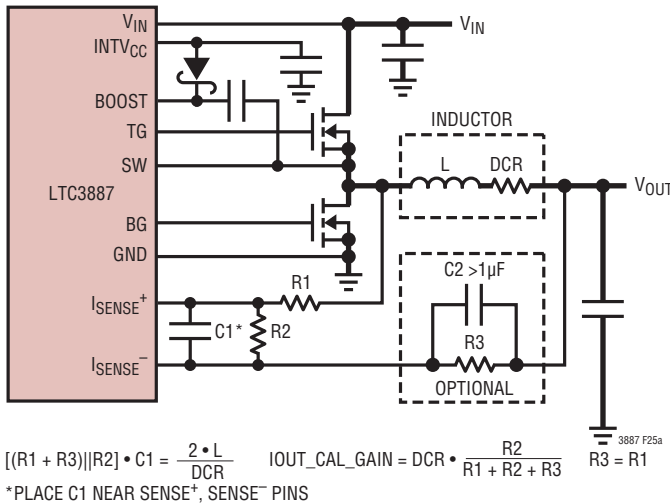


図25a. インダクタ DCR による電流検出回路

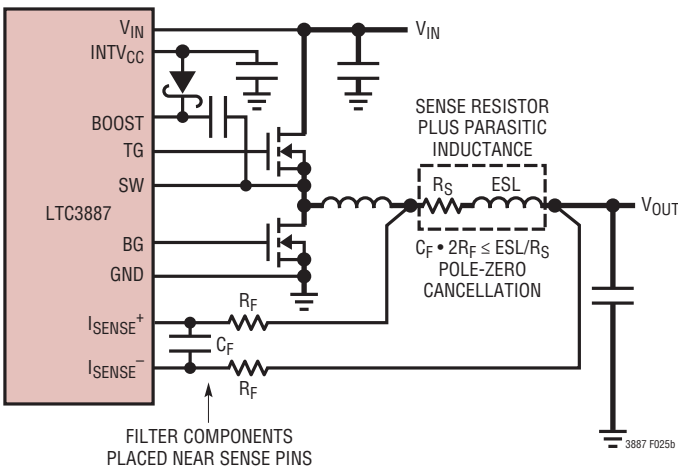


図25b. 抵抗による電流検出回路

アプリケーション情報

この同じRCフィルタは、若干の変更を加えることで寄生インダクタンスが存在する環境における、電流検出信号の抵抗性成分の抽出に使用できます。例えば、図26は2010フットプリントの2mΩ抵抗両端の電圧波形です。波形は、純粋な抵抗性成分と純粋な誘導性成分が重畳されたものです。これは、差動測定による結果を得るため、オシロスコープの2つのプローブと波形計算を使用して測定しています。インダクタのリプル電流および上側スイッチのオン時間とオフ時間の追加測定に基づき、寄生インダクタンスの値は次式によって0.5nHであると計算されました。

$$ESL = \frac{V_{ESL(STEP)}}{\Delta I_L} \cdot \frac{t_{ON} \cdot t_{OFF}}{t_{ON} + t_{OFF}} \quad (1)$$

寄生インダクタンスを検出抵抗で割った値(L/R)に近くなるようにRC時定数を選択すると、得られる波形は図27に示すように抵抗性に見えます。低い最大検出電圧を使用するアプリケーションでは、検出抵抗メーカーのデータシートに記載された寄生インダクタンスの情報を確認してください。データが存在しない場合は、検出抵抗の両端で電圧降下を直接測定してESLステップの大きさを求め、式1を使用してESLを決定します。ただし、信号にフィルタをかけすぎないでください。RC時定数をインダクタの時定数以下にしてV_{RSENSE}のリプル電圧を十分高く保ち、電流ループ・コントローラの最適動作を確保します。

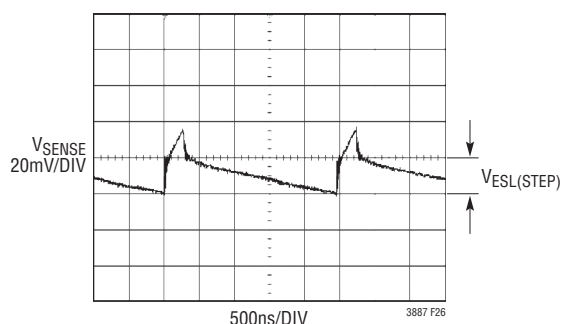


図26. R_{SENSE} 両端で直接測定した電圧

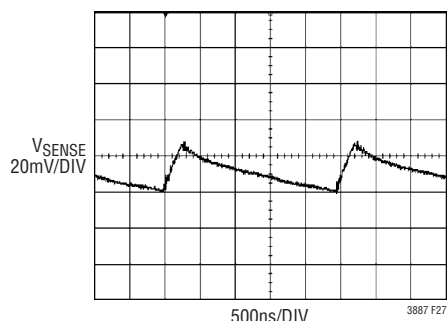


図27. R_{SENSE} のフィルタ後に測定した電圧

インダクタDCRによる電流検出

LTC3887は、高負荷電流で可能な限り高い効率を必要とするアプリケーション向けに、図25aに示した方法でインダクタのDCR両端の電圧降下を検出できます。インダクタのDCRとは、銅巻線のDC抵抗の小さな値を表し、最近の値の小さい大電流インダクタでは1mΩより小さいことがあります。このようなインダクタを必要とする大電流アプリケーションでは、検出抵抗による導通損失は、DCRによる検出に比べると数ポイントの効率低下になると考えられます。

外部の(R1+R3) || R2・C1の時定数が正確に2・L/DCRの時定数に等しくなるように選択し、R1 = R3と仮定すると、外付けコンデンサ両端の電圧降下はインダクタのDCR両端の電圧降下にR2/(R1 + R2 + R3)を掛けたものに等しくなります。R2は、目標とする検出抵抗値よりもDCRが大きいアプリケーションの検出端子両端の電圧のスケールを設定します。R2が不要な場合、DCRの値はIOUT_CAL_GAINにmΩ単位で入力します。R2を使用する場合は、IOUT_CAL_GAIN = DCR・R2/(R1 + R2 + R3)となります。信号を減衰させる必要がない場合は、R2を省くことができます。外付けのフィルタ部品の大きさを適切に決定するには、インダクタのDCRを知る必要があります。DCRは適切なRLCメータを使って測定できますが、DCRの許容誤差は常に同じとは限らず、温度によって変化します。詳細については、メーカーのデータシートを参照してください。MFR_IOUT_CAL_GAIN_TCレジスタに正確なパラメータを入力すれば、LTC3887は温度変動を考慮して動作します。通常、抵抗の温度係数は3900ppm/°Cです。

R1 = R3と仮定して次の式を使用し、平坦な周波数応答が得られるようにC2を最適化できます。

$$C2 = [2R1 \cdot R2 \cdot C1 - L/DCR \cdot (2R1 + R2)]/R1^2$$

「インダクタの値の計算」のセクションのインダクタ・リプル電流値を使用すると、目標とする検出抵抗値は次のようになります。

$$R_{SENSE(EQUIV)} = \frac{V_{SENSE(MAX)}}{I_{MAX} + \frac{\Delta I_L}{2}}$$

アプリケーション情報

アプリケーションが、動作温度範囲の全域で最大負荷電流を確実に供給できるように、MFR_IOUT_CAL_GAINに入力するパラメータに応じて、DCRの誤差を考慮した最適のI_{LIMIT}を選択してください。

次に、インダクタのDCRを決定します。提供されている場合、通常は20°Cで規定されるメーカーの最大値を使用します。温度検出素子自体の3°C～5°Cの誤差や、温度センサ素子とインダクタ間の距離に伴うその他の誤差を全て加味して、この値を増加させます。

インダクタの最大DCRを必要な検出抵抗値に合わせてスケール調整するには、次の分圧器の比を使います。

$$RD = \frac{R_{\text{SENSE(EQUIV)}}}{DCR_{\text{(MAXERROR)}} \text{ at } T_{\text{L(MAX)}}}$$

C1は通常、0.047μF～4.7μFの範囲で選択します。これによって、R1||R2は自動的に約2kになります。この抵抗値によって、SENSEピンの漏れ電流によって生じる誤差が最小限に抑えられます。図18aに示すようにオプションの素子R3とC2を追加すると、これらの漏れ電流に伴うオフセット誤差を最小化できます。

等価抵抗(R1+R3)||R2は室温のインダクタンスと最大DCRに従って次のようにスケールされます。

$$(R1+R3)||R2 = \frac{2 \cdot L}{(DCR \text{ at } 20^\circ\text{C}) \cdot C1}$$

検出抵抗の値は、次のようになります。

$$R1=R3; R1 = \frac{R1||R2}{RD}; R2 = \frac{R1 \cdot RD}{1-RD}$$

R1による最大電力損失はデューティ・サイクルと関係があり、連続モード時の最大入力電圧で発生します。

$$P_{\text{LOSS R1}} = \frac{(V_{\text{IN(MAX)}} - V_{\text{OUT}}) \cdot V_{\text{OUT}}}{R1}$$

R1の電力定格がこの値より大きいことを確認してください。軽負荷時に高い効率が必要な場合、DCR検出と検出抵抗のどちらを使用するかを決定するときに、この電力損失を検討します。軽負荷での電力損失は、R1によって生じる余分なスイッチング損失のため、検出抵抗を使う場合よりDCR回路網を使う方がやや高いことがあります。ただし、DCRによる検出では検出抵抗が省かれることで、導通損失が減少し、重負荷時の効率が高くなります。ピーク効率はどちらの方法でもほぼ同じです。不連続モードを選択すると、電流検出方式に関係なく、軽負荷時のコンバータ効率が向上します。

電流検出信号の信号対雑音比を良好に保つには、10mV～15mVの最小ΔV_{SENSE}を使います。DCR検出を使用するアプリケーションにおける、実際のリップル電圧は次式で求められます。

$$\Delta V_{\text{SENSE}} = \frac{V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}}}{R1 \cdot C1} \cdot \frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}} \cdot f_{\text{OSC}}}$$

スロープ補償とインダクタのピーク電流

スロープ補償により、高いデューティ・サイクルでの低調波発振が防止されるので、固定周波数電流モード・アーキテクチャの安定性が得られます。これは、35%を超えるデューティ・サイクルの場合、インダクタ電流信号に内部で補償ランプを重畳させることで実現します。LTC3887は、補償ランプに対抗する特許取得済みの電流制限手法を使用しています。この手法により、デューティ・サイクルがどのような値を取っても、インダクタの最大ピーク電流には影響が及びません。

インダクタ値の計算

必要な入力電圧と出力電圧が与えられると、インダクタ値と動作周波数f_{OSC}によって直ちにインダクタのピーク・トゥ・ピーク・リップル電流が決まります。

$$I_{\text{RIPPLE}} = \frac{V_{\text{OUT}} (V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}})}{V_{\text{IN}} \cdot f_{\text{OSC}} \cdot L}$$

リップル電流が小さいと、インダクタのコア損失、出力コンデンサのESR損失、および出力電圧リップルが減少します。このため、最大効率の動作は、最低周波数でリップル電流が小さい場合に得られます。ただし、これを達成するには大きなインダクタが必要になります。

アプリケーション情報

妥当な出発点として、 $I_{OUT(MAX)}$ の約40%のリップル電流を選択します。入力電圧が最大のときに最大リップル電流が生じることに注意してください。リップル電流が規定の最大値を超えないことを保証するには、次式に従ってインダクタを選択します。

$$L \geq \frac{V_{OUT}(V_{IN} - V_{OUT})}{V_{IN} \cdot f_{OSC} \cdot I_{RIPPLE}}$$

インダクタのコアを選択

インダクタ値が決定されたら、次にインダクタの種類を選択する必要があります。インダクタ値が一定の場合、コア損失はコア・サイズには依存せず、インダクタンスに強く依存します。インダクタンスが増加すると、コア損失は減少します。しかし残念なことに、インダクタンスを大きくするにはワイヤの巻数を増やす必要があり、銅損失が増加します。

フェライトを使用した設計ではコア損失がきわめて小さく、高いスイッチング周波数に適しているため、設計目標を飽和の防止と銅損失に集中することができます。フェライト・コアの材質は「ハードに」飽和します。つまり、設計ピーク電流を超えるとインダクタンスは急激に低下します。その結果、インダクタのリップル電流が急激に増加し、そのため出力電圧リップルも増加します。コアは絶対に飽和させないでください。

パワー MOSFET とショットキ・ダイオード (オプション) の選択

LTC3887ではコントローラ1つにつき、2個の外付けパワー MOSFETを選択する必要があります。上側(メイン)スイッチ用および下側(同期)スイッチ用にそれぞれ1個のNチャネル MOSFETです。

ピーク・トゥ・ピーク駆動レベルはINTV_{CC}電圧により設定されます。この電圧は、標準で5Vです。したがって、ほとんどのアプリケーションでは、ロジック・レベルのしきい値を持つ MOSFETを使用する必要があります。唯一の例外は、低い入力電圧($V_{IN} < 5V$)が想定される場合です。この場合は、サブロジック・レベルのしきい値を持つ MOSFET ($V_{GS(TH)} < 3V$)を使用してください。MOSFETのBV_{DSS}の仕様にも十分注意を払ってください。ほとんどのロジック・レベル MOSFETは、30V以下に制限されています。

パワー MOSFETの選択基準には、オン抵抗 $R_{DS(ON)}$ 、ミラー容量 C_{MILLER} 、入力電圧、および最大出力電流が含まれます。ミラー容量 C_{MILLER} は、MOSFETのメーカーのデータシートに通常記載されているゲート電荷曲線から推定することができます。 C_{MILLER} は、曲線がほぼ平らな区間の水平軸に沿ったゲート電荷の増分を、規定の V_{DS} 電圧変化で割ったものに等しくなります。次に、この結果に、アプリケーションで印加される V_{DS} とゲート電荷曲線で規定されている V_{DS} との比を掛けます。このデバイスが連続モードで動作しているときのトップ MOSFETとボトム MOSFETのデューティ・サイクルは以下の式で与えられます。

$$\text{Main Switch Duty Cycle} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$$

$$\text{Synchronous Switch Duty Cycle} = \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{V_{IN}}$$

最大出力電流での MOSFET の電力損失は、以下の式で与えられます。

$$P_{MAIN} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} (I_{MAX})^2 (1 + \delta) R_{DS(ON)} + (V_{IN})^2 \left(\frac{I_{MAX}}{2} \right) (R_{DR}) (C_{MILLER}) \cdot \left[\frac{1}{V_{INTVCC} - V_{TH(MIN)}} + \frac{1}{V_{TH(MIN)}} \right] \cdot f_{OSC}$$

$$P_{SYNC} = \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{V_{IN}} (I_{MAX})^2 (1 + \delta) R_{DS(ON)}$$

ここで、 δ は $R_{DS(ON)}$ の温度依存性、 R_{DR} (約2 Ω)は MOSFET のミラーしきい値電圧での実効ドライブ抵抗です。 $V_{TH(MIN)}$ は、MOSFETの最小しきい値電圧の標準値です。

I^2R 損失はいずれの MOSFET でも発生しますが、上側のNチャネルの式には遷移時の損失の項が追加され、これは入力電圧が高いときに最も高くなります。 $V_{IN} < 20V$ では、高電流のときの効率はより大型の MOSFET を使用すると向上しますが、 $V_{IN} > 20V$ では遷移損失が急激に増加し、その影響は、 C_{MILLER} が小さく、 $R_{DS(ON)}$ が大きなデバイスを使用する方がむしろ効率が良くなるほどです。同期 MOSFET の損失は、上側スイッチのデューティ・ファクタが低く入力電圧が高い場合、または同期スイッチが周期の100%近くオンになる短絡時に最も大きくなります。

アプリケーション情報

一般的に、MOSFETの $(1 + \delta)$ の項は、正規化された $R_{DS(ON)}$ と温度の関係を示す曲線の形式で与えられますが、低電圧のMOSFETの場合は、近似値として $\delta = 0.005/^\circ\text{C}$ を使用できます。

オプションのショットキ・ダイオードは、2つのパワー MOSFETの導通期間に挟まれたデッドタイム中に導通します。これにより、下側 MOSFET のボディ・ダイオードがオンしてデッドタイム中に電荷を蓄積するのを防止し、逆回復時間を不要にします。逆回復時間があると、 V_{IN} が高いときに効率が最大3%低下することがあります。平均電流は比較的小さいので、通常は1A～3Aのショットキが両方の動作領域に対する適切な妥協点となります。これより大きなダイオードは接合容量が大きいため、遷移損失が増加します。

可変遅延時間、ソフトスタート、出力電圧ランプ

LTC3887は、ソフトスタートの前に動作状態に移行している必要があります。デバイスの初期化が完了し、 V_{IN} が V_{IN_ON} しきい値を超えると、RUNピンが解放されます。アプリケーションで複数のLTC3887を使用する場合、同じRUNピンを共用するように構成してください。全てのデバイスで初期化が完了し、 V_{IN} が V_{IN_ON} しきい値を超えるまで、いずれのデバイスも、それぞれの対応するRUNピンを“L”に保持します。SHARE_CLKピンは、この信号を接続されたデバイスが、全て同じタイムベースを使用することを保証します。

RUNピンの解放後、コントローラはユーザーが指定するターンオン遅延(TON_DELAY)の経過を待ってから、出力電圧のランプを開始します。複数のLTC3887および他のLTCデバイスは、可変遅延時間で起動するように構成できます。適切に動作させるには、全てのデバイスで同じタイミング・クロック(SHARE_CLK)を使用し、全てのデバイスがRUNピンを共用する必要があります。これによって、全てのデバイスの相対遅延が同期されます。遅延の実際の変化は、SHARE_CLKピンに接続されたデバイスの最も高速なクロック速度によって決まります(リニアテクノロジーのICは、最高速のSHARE_CLK信号によって全デバイスのタイミングを制御できるように構成されています)。SHARE_CLK信号の周波数は $\pm 10\%$ 変動する可能性があるため、実際の時間遅延は、これと同様に変動します。

ソフトスタートは、負荷電圧をアクティブに安定化しながら、目標電圧を0Vから指定された電圧設定値までデジタルにランプ・アップさせることで実現します。電圧ランプの立ち上がり時間はTON_RISEコマンドによってプログラムできるため、起動時の電圧ランプに伴う突入電流を最小限に抑えることができます。ソフトスタート機能は、TON_RISEの値を0.250ms未満の任意の値に設定することでデイスエーブルできます。LTC3887は必要な計算を内部で実行して、電圧を確実に目的の勾配に制御します。ただし、電力段の基本的な制限値よりも急峻な電圧勾配を得ることはできません。TON_RISE時間を短く設定するほど、TON_RISEのランプはギザギザになります。ランプには、TON_RISE/0.1msの数だけステップが現れます。

TON_RISE動作中、LTC3887のPWMは常に不連続モードを使用します。不連続モードでは、インダクタで逆電流が検出されると、直ちに下側ゲートがオフされます。この動作により、レギュレータはプリバイアスされた負荷でも起動できるようになります。

LTC3887はトラッキング機能を備えていませんが、2つの出力に同じTON_RISEとTON_DELAY時間を設定すれば、実効的に両者は同時にランプ・アップします。RUNピンが同時に解放され、両方のデバイスが同じタイムベースを使用しているため、出力は互いにわずかな差異でトラッキングします。回路がPolyPhase構成の場合、全てのタイミング・パラメータが同じでなければなりません。

ここで説明した起動シーケンシングの方法は時間ベースです。連結イベントによる起動では、異なるコントローラのGPIOピンを使って、RUNピンを制御できます。GPIOピンは、コンバータの出力電圧が $V_{OUT_UV_FAULT_LIMIT}$ よりも大きくなった時点で解放されるように構成できます。その場合は、フィルタを通していない V_{OUT} のUVフォルト・リミットの使用を推奨します。コンバータがUVしきい値をよぎってからGPIOピンが解放されるまでに、短いながら無視できない時間遅延が存在するためです。フィルタを通していない出力は、MFR_GPIO_PROPAGATE_VOUT_UVUFコマンドを使用してイネーブルできます。(本書のPMBusコマンドMFRのセクションを参照してください。)フィルタを通していない信号でも、 V_{OUT} 信号がコンパレータのしきい値を超えて遷移する際に、ある程度のグリッチが生じる場合があります。この問題を最小限に抑えるために、250 μs の小さなデジタル・フィルタが内蔵されています。GPIOピンにグリッチが発生する危険性をできるだけ小さくするために、TON_RISEの時間は100msより短くしてください。それでもGPIOに好ましくない遷移が発生する場合は、

アプリケーション情報

$\overline{\text{GPIO}}$ ピンからグラウンドにコンデンサを接続して波形をフィルタリングします。このフィルタのRC時定数は十分に短くして、検知できるほどの遅延が発生しないようにします。値を300 μs ～500 μs とすれば、トリガ・イベントを著しく遅延させることなく、フィルタリングの効果をある程度強化できます。

デジタル・サーボ・モード

安定化出力電圧に最大限の精度を求めるならば、MFR_PWM_MODE_LTC3887コマンドのビット6をアサートして、デジタル・サーボ・ループをイネーブルします。デジタル・サーボ・モードでは、ADCによる電圧読み出し値に基づいて安定化出力電圧を調整します。デジタル・サーボ・ループは、A/Dコンバータによる正確な測定値に出力が達するまで、100msごとにDACのLSB (電圧レンジ・ビットに応じて公称1.375mVまたは0.6875mV)だけ電圧を調整します。電源投入時、このモードはTON_MAX_FAULT_LIMITの経過後に起動します (値が0 (無期限) に設定されていない場合)。TON_MAX_FAULT_LIMITが0 (無期限) に設定されている場合、サーボ制御はTON_RISEが経過し、VOUTがVOUT_UV_FAULT_LIMITを超えた時点で開始され、IOUT_OCは存在しません。これと同時に、出力は不連続モードから、MFR_PWM_MODE_LTC3887のビット0によってプログラムされたモードに移行します。時間ベースのシーケンシングにおけるVOUT波形の詳細は、図28を参照してください。

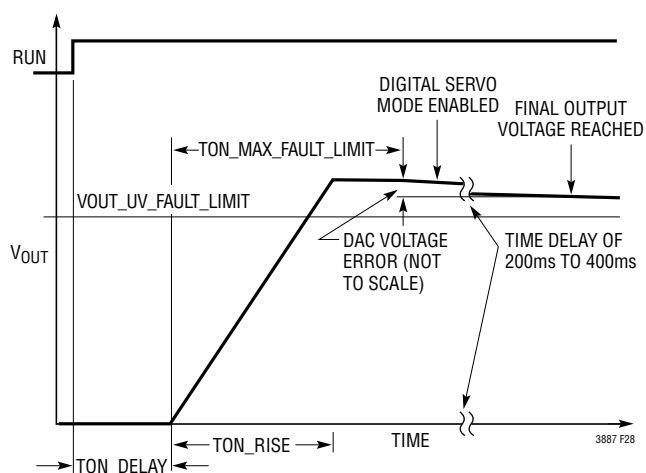


図28. タイミング制御されたV_{OUT}の立ち上がり

TON_MAX_FAULT_LIMITに0より大きい値が設定され、TON_MAX_FAULT_RESPONSEが「無視」(0x00)に設定されている場合、サーボ制御は次の時点で始まります。

1. TON_RISEシーケンスの完了後

2. TON_MAX_FAULT_LIMITの時間の経過後、および
3. VOUT_UV_FAULT_LIMITを超えるか、IOUT_OC_FAULT_LIMITがアクティブでなくなった時点

TON_MAX_FAULT_LIMITに0より大きい値が設定され、TON_MAX_FAULT_RESPONSEが「無視」(0x00)に設定されていない場合、サーボ制御は次の時点で始まります。

1. TON_RISEシーケンスの完了後
2. TON_MAX_FAULT_LIMITの時間が経過し、VOUT_UV_FAULTとIOUT_OC_FAULTのいずれも存在しない場合。

立ち上がり時間の最大値は1.3秒に制限されています。

PolyPhase構成の場合、制御ループのうち1つだけでデジタル・サーボ・モードを有効にすることを推奨します。これによって、リファレンス回路のわずかな違いによって生じる、複数のループ間の競合を防ぐことができます。

ソフトオフ(シーケンス制御によるオフ)

LTC3887は、制御された起動に加えて、制御されたターンオフにも対応しています。図29にTOFF_DELAYとTOFF_FALLの機能を示します。TOFF_FALLはRUNピンが“L”に遷移するか、デバイスがオフするように指示されたときに処理されます。デバイスがフォルトによってオフしたり、 $\overline{\text{GPIO}}$ が外部から“L”に引き下げられ、デバイスがこれに応答するようにプログラムされていた場合、出力は制御されたランプ動作を示す代わりにトライステート状態に移行します。この場合の出力は、負荷に応じて減衰します。

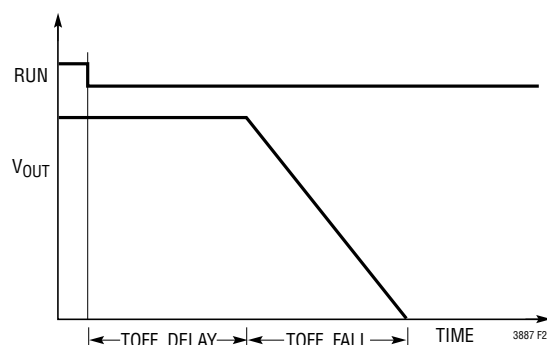


図29. TOFF_DELAYとTOFF_FALL

アプリケーション情報

出力電圧は、デバイスが強制連続モードで動作し、十分に長い $TOFF_FALL$ 時間が設定されていて電力段が目標とする勾配を実現できる場合は、図 29 のように動作します。 $TOFF_FALL$ 時間を満足できるのは、電力段とコントローラが十分な電流をシンクでき、立ち下がり時間が終了するまでに出力を確実に 0V まで低下させることができる場合だけです。 $TOFF_FALL$ 時間が負荷容量の放電に必要な時間よりも短いと、出力は目標とする 0V 状態に到達しません。 $TOFF_FALL$ 時間が経過すると、コントローラは電流のシンクを停止し、その後の V_{OUT} は負荷インピーダンスで決まる速度で自然に減衰していきます。コントローラが不連続モードで動作している場合、コントローラは負の電流を流さず、出力は電力段ではなく負荷によって“L”に引き下げられます。立ち下がり時間の最大値は 1.3 秒に制限されています。 $TOFF_FALL$ 時間を短く設定するほど、 $TOFF_FALL$ のランプはギザギザになります。ランプには、 $TOFF_FALL/0.1ms$ の数だけステップが現れます。

INTV_{CC}レギュレータ

LTC3887 は V_{IN} 電源から $INTV_{CC}$ に電力を供給する、NPN リニア・レギュレータを備えています。 $INTV_{CC}$ はゲート・ドライバ、 V_{DD33} 、および LTC3887 の内部回路のほとんどに電力を供給します。 V_{IN} が 6.5V より高いとき、リニア・レギュレータは、 $INTV_{CC}$ ピンの公称 5V の電圧を生成します。このレギュレータは 100mA のピーク電流を供給可能であり、 $1\mu F$ 以上のセラミック・コンデンサまたは低 ESR の電解コンデンサでグラウンドにバイパスする必要があります。どのような種類のバルク・コンデンサを使用するにしても、追加の $0.1\mu F$ セラミック・コンデンサを $INTV_{CC}$ ピンと GND ピンのすぐ近くに接続することを強く推奨します。MOSFET ゲート・ドライバが必要とする大きなトランジェント電流を供給し、チャネル間の相互作用を防ぐため、十分なバイパスが必要です。

大きな MOSFET が高い周波数で駆動される高入力電圧アプリケーションでは、LTC3887 のダイ温度が上昇する場合があります。大部分がゲート充電電流からなる $INTV_{CC}$ 電流は、内部の 5V リニア・レギュレータから供給されます。デバイスで消費される電力は、 $V_{IN} \cdot I_{INTVCC}$ に等しくなります。「効率に関する検討事項」のセクションで説明されているように、ゲート充電電流は動作周波数に依存します。接合部温度は「電気的特性」の Note 2 の式を使って推定できます。例えば、入力電源 24V で動作する LTC3887 の $INTV_{CC}$ 電流が 69mA 未満に制限されている場合の接合部温度は、次のように計算できます。

$$T_j = 70^\circ\text{C} + 69\text{mA} \cdot 24\text{V} \cdot 33^\circ\text{C/W} = 125^\circ\text{C}$$

LTC3887 の $INTV_{CC}$ を外部電源に接続しないでください（ただし、 V_{IN} もその電源に接続した場合を除きます）。 $INTV_{CC}$ が外部電源を“H”に引き上げようとして電流制限に達し、ダイ温度を著しく高めるためです。

V_{IN} が 5V のアプリケーションでは、 V_{IN} ピンと $INTV_{CC}$ ピンを相互に接続し、結合されたこれらのピンを、図 30 に示すように 1Ω または 2.2Ω の抵抗を使って 5V 入力に接続します。ゲート充電電流による電圧降下を最小限に抑えるために、 $V_{IN}/INTV_{CC}$ ピンに低 ESR のコンデンサを接続する必要があります。この構成により、 $INTV_{CC}$ リニア・レギュレータを無効にし、 $INTV_{CC}$ が低くなりすぎないようにし、デバイスの消費電力を最小限に抑えます。 $INTV_{CC}$ 電圧が MOSFET の $R_{DS(ON)}$ テスト電圧（ロジック・レベルのデバイスの場合、標準 4.5V）より高いことを確認してください。 $INTV_{CC}$ の UVLO は約 4V に設定されています。

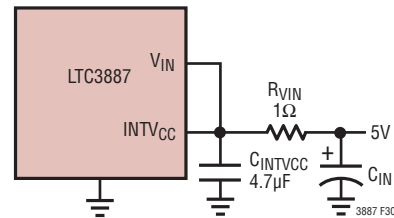


図 30. 5V 入力に対する設定

上側 MOSFET ドライバの電源 (C_B , D_B) (LTC3887)

BOOST ピンに接続された外部ブートストラップ・コンデンサ C_B は、トップサイド MOSFET にゲート・ドライブ電圧を供給します。SW ピンが“L”のとき、「ブロック図」のコンデンサ C_B が $INTV_{CC}$ から外付けダイオード D_B を介して充電されます。上側 MOSFET の 1 つをオンさせるとき、ドライバは対象となる MOSFET のゲート・ソース間に C_B の電圧を印加します。これによって MOSFET が導通し、上側のスイッチがオンします。スイッチ・ノード電圧 SW は V_{IN} まで上昇し、それに従って BOOST ピンの電圧も上昇します。上側 MOSFET がオンしているとき、昇圧電圧は次のように入力電源より高くなります。 $V_{BOOST} = V_{IN} + V_{INTVCC}$ 昇圧コンデンサ C_B には上側 MOSFET の全入力容量の 100 倍の値が必要です。外付けショットキ・ダイオードの逆ブレークダウン電圧は $V_{IN(MAX)}$ より大きくなければなりません。ゲートの駆動レベルを調整する場合の最終的な決定要因はレギュレータの全入力電流です。変更を加えて入力電流が減少すれば、効率は向上しています。入力電流に変化がなければ効率にも変化がありません。

アプリケーション情報

V_{IN}/V_{OUT} の比率が大きいデザイン中には、PWMジッタが観測されたものがありました。しかし、このジッタは回路の精度にさほど大きな影響を与えません。図31を参照して、ダイオードのカソードとBOOST_nピンの間に1Ω～5Ωの直列抵抗を挿入すれば、PWMジッタは除去できます。ESLを減らして最適の結果を得るには、ケース・サイズが0603以上の抵抗を推奨します。

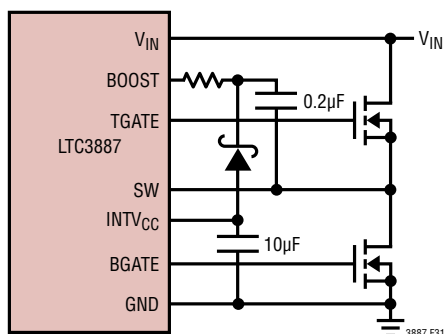


図31. PWMジッタを最小限に抑える昇圧回路

低電圧ロックアウト

LTC3887は、内部しきい値に基づくUVLOによって初期化されます。その条件は、 V_{IN} が約4V、INTV_{CC}、V_{DD33}、V_{DD25}がレギュレーション値の約20%以内にあることです。さらに、RUNピンが解放される前に、V_{DD33}が目標値の約7%以内に入っていない必要があります。デバイス初期化の完了後、別のコンパレータが V_{IN} をモニタします。電源シーケンシングが開始されるには、VIN_ONのしきい値を超える必要があります。 V_{IN} がVIN_OFFしきい値よりも低下すると、RUNピンが“L”に引き下げられます。コントローラが再起動するには、 V_{IN} がVIN_ONしきい値よりも高くなる必要があります。VIN_ONしきい値を超えると、通常の起動シーケンスが有効になります。

V_{DD33}電源を外部から駆動している場合、アプリケーション内でEEPROMの内容をプログラムできます。この構成では、高電圧部分を動作させずに、LTC3887のデジタル部分をアクティブにします。この電源構成ではPMBus通信が有効です。 V_{IN} が印加されたことのないLTC3887では、MFR_COMMONのビット3 (NVMが未初期化)が“L”にアサートされます。この状態が検出された場合、デバイスはアドレス5Aと5Bにしか応答しません。デバイスを初期化するには、次の一連のコマンドを発行します。グローバル・アドレス0x5B、コマンド0xBD、データ0x2Bに続いて、グローバル・アドレス5B、コマンド0xBD、データ0xC4。この操作によって、デバイスは正しいアドレスに응答するようになります。デバイスに必要な構成を設定し、STORE_USER_ALLを発行します。 V_{IN} を印加したらMFR_RESETコマンドを発行して、PWMをイネーブルし、有効なADC変換を読み出せるようにする必要があります。

C_{IN}とC_{OUT}の選択

2フェーズ・アーキテクチャと、入力回路(バッテリー/ヒューズ/コンデンサ)を流れるワーストケースRMS電流へのこのアーキテクチャの影響によって、C_{IN}の選択が簡単になります。コンデンサのRMS電流の最悪条件は、片方のコントローラだけが動作しているときです。最大RMSコンデンサ電流の条件を求めるには、V_{OUT}とI_{OUT}の積が最大になる方のコントローラを以下の式で使用する必要があります。他方のコントローラから供給される出力電流を増やすと、実際には入力RMSリップル電流がこの最大値から減少します。逆位相方式では、1フェーズの電源ソリューションと比較すると、入力コンデンサのRMSリップル電流が一般に30%～70%ほど減少します。

連続モードでは、トップMOSFETのソース電流はデューティサイクルがV_{OUT}/V_{IN}の方形波になります。大きな電圧トランジェントを防止するには、1チャンネルの最大RMS電流に対応するサイズの低ESRコンデンサを使用する必要があります。コンデンサの最大RMS電流は次式で与えられます。

$$C_{IN} \text{ Required } I_{RMS} \approx \frac{I_{MAX}}{V_{IN}} \left[(V_{OUT})(V_{IN} - V_{OUT}) \right]^{1/2}$$

アプリケーション情報

この式は $V_{IN} = 2V_{OUT}$ のときに最大値になります。ここで、 $I_{RMS} = I_{OUT}/2$ です。設計では多くの場合、この単純なワーストケース条件が使用されます。条件を大きく振っても値は改善されないからです。コンデンサ・メーカーが定めるリップル電流定格は、多くの場合、わずか2000時間の動作寿命に基づいていることに注意が必要です。このため、コンデンサをさらにデレーティングする、つまり要件よりも高い温度定格のコンデンサを選択するようにしてください。設計でのサイズまたは高さの要件に適合させるため、複数のコンデンサを並列に接続できます。LTC3887は動作周波数が高いため、 C_{IN} にセラミック・コンデンサを使用することもできます。疑問点については、必ずメーカーに問い合わせてください。

LTC3887の2フェーズ動作のメリットは、電力の大きい方のコントローラに対して上記の式を使用し、次に両方のコントローラのチャンネルが同時にオンするとき生じるとされる損失を計算することによって推測することができます。両方のコントローラが動作しているときは、入力コンデンサのESRを流れる電流パルスのオーバーラップが減るため、総RMS電力損失が減少します。これが、デュアル・コントローラの設計では、ワーストケースのコントローラについて上式で計算した入力コンデンサの要件で十分である理由です。さらに、2フェーズ・システムではピーク電流が減少するため、入力保護ヒューズの抵抗、バッテリー抵抗、およびPC基板のトレース抵抗による各損失も減少します。マルチフェーズ設計の総合的なメリットが全て得られるのは、効率のテストに電源/バッテリーのソース・インピーダンスが含まれている場合だけです。上側MOSFETのソースは互いに1cm以内に配置し、 C_{IN} を共有させます。ソースと C_{IN} を離すと、 V_{IN} に望ましくない電圧共振や電流共振が生じる可能性があります。

小さな(0.1 μ F ~ 1 μ F)バイパス・コンデンサをLTC3887の近くに配置し、 V_{IN} ピンとグラウンドの間に挿入することを推奨します。 C_{IN} ($C1$) と V_{IN} ピンの間に抵抗(2.2 Ω ~ 10 Ω) を置くと2つのチャンネル間の絶縁を強化できます。

C_{OUT} は、等価直列抵抗(ESR)に基づいて選択します。一般に、ESRの要件が満たされていれば、その容量はフィルタリング機能にも十分です。出力リップル(ΔV_{OUT})は次式で近似できます。

$$\Delta V_{OUT} \approx I_{RIPPLE} \left(ESR + \frac{1}{8fC_{OUT}} \right)$$

ここで、 f は動作周波数、 C_{OUT} は出力容量、 I_{RIPPLE} はインダクタのリップル電流です。 I_{RIPPLE} は入力電圧に応じて増加するため、出力リップルは入力電圧が最大のときに最も大きくなります。

フォルト状態

LTC3887の \overline{GPIO}_n ピンは、OV/UV、OC、OT、タイミング、ピーク過電流などの各種フォルトを示すように設定できます。さらに、 \overline{GPIO}_n ピンを外部ソースによって“L”に引き下げ、システムの他の部分で発生したフォルトを示すことも可能です。フォルトに対する応答は設定可能であり、次のようなオプションを選択できます。

- 無視
- 即時シャットダウン — ラッチ・オフ
- 即時シャットダウン — MFR_RETRY_DELAYで指定したインターバルで無期限のリトライ

詳細は、データシートのPMBusのセクション、およびPMBusの仕様を参照してください。

アナログOVに対する応答は自動的であり、事実上即時です。OVが検出されると、TGが“L”に遷移しBGがアサートされます。

LTC3887ではフォルト・ログが可能です。フォルト・ログ機能は、デバイスのフォルト・オフを引き起こすフォルトが発生したときにデータを自動的に格納するように設定できます。フォルト・ログ・テーブルのヘッダ部分にはピーク値が格納されます。これらの値は、いつでも読み出すことができます。このデータはフォルトのトラブルシューティングに役立ちます。

LTC3887の内部温度が85°Cを超えている場合、EEPROMへの(フォルト・ログ記録以外の)書き込みは推奨されません。そのような場合でも、3.3V電源がUVLOしきい値を下回っていないければデータはRAM内に保持されます。ダイ温度が130°Cを超えると、あらゆる温度で有効なRESTORE_USER_ALLコマンドを除き、全てのEEPROM通信はダイ温度が125°C未満に低下するまでディスエーブルされます。

オープンドレイン・ピン

LTC3887には、次のオープンドレイン・ピンがあります。

- 3.3Vピン
1. \overline{GPIO}_n
 2. SYNC
 3. SHARE_CLK

アプリケーション情報

5Vピン(5Vピンは3.3Vに引き下げられても正常に動作します。)

1. RUN \bar{n}
2. $\overline{\text{ALERT}}$
3. SCL
4. SDA

上記のピンには、いずれも0.4Vで3mAをシンクできる内蔵プルダウン・トランジスタが接続されています。ピンの“L”しきい値は1.4Vであることから電流3mAのデジタル信号に対して十分なマージンが確保されています。3.3Vピンの場合、3mAの電流は1k抵抗によって得られます。プルアップ抵抗やグラウンドへの寄生容量のRC時定数に伴うトランジェント速度が問題にならないならば、通常、10k以上の抵抗を推奨します。

SDA、SCL、SYNCなどの高速の信号には、より小さな値の抵抗が必要になる可能性があります。タイミングの問題を避けるために、RC時定数は必要な立ち上がり時間の1/3～1/5にしてください。負荷が100pF、PMBusの通信速度が400kHzの場合、立ち上がり時間は300ns未満でなければなりません。時定数を立ち上がり時間の1/3に設定したSDAおよびSCLピンのプルアップ抵抗の値は、次式で計算できます。

$$R_{\text{PULLUP}} = \frac{t_{\text{RISE}}}{3 \cdot 100\text{pF}} = 1\text{k}$$

通信の問題を防ぐために、SDAとSCLピンの寄生容量は可能な限り小さくなるように注意してください。負荷容量を見積もるには、対象となる信号をモニタし、目的の信号が出力値の約63%に達するまでにどれくらいの時間がかかるかを測定します。これが時定数の1単位になります。

SYNCピンには、公称500nsの間、出力を“L”に保持する内蔵プルダウン・トランジスタが接続されています。内部発振器が500kHzに設定され、負荷が100pF、3単位の時定数が必要な場合、抵抗は次のように計算できます。

$$R_{\text{PULLUP}} = \frac{2\mu\text{s} - 500\text{ns}}{3 \cdot 100\text{pF}} = 5\text{k}$$

最も近い1%抵抗は4.99kです。

タイミング誤差が発生する場合、またはSYNC周波数に必要な速度が得られない場合は、波形をモニタし、RC時定数がアプリケーションに対して長すぎないかを判断します。可能ならば、寄生容量を低減します。それが困難な場合は、適切な

タイミングが得られるようにプルアップ抵抗を十分に小さくします。SHARE_CLKのプルアップ抵抗は、周期を10 μs 、プルダウン時間を1 μs として、同じ式で計算されます。RC時定数は、約3 μs 以下にする必要があります。

フェーズロック・ループと周波数同期

LTC3887には内部の電圧制御発振器(VCO)と位相検出器によって構成されるフェーズロック・ループ(PLL)が内蔵されています。PLLはSYNCピンの立ち下がりエッジにロックされます。チャンネル0、チャンネル1およびSYNCの立ち下がりエッジの間の位相関係は、MFR_PWM_CONFIG_LTC3887コマンドの下位3ビットで制御されます。PolyPhaseアプリケーションでは、全ての位相を等間隔に離すことを推奨します。したがって、2フェーズのシステムでは信号間の位相差を180°に、4フェーズのシステムでは90°にします。

位相検出器はエッジに反応するデジタル・タイプで、外部発振器と内部発振器の位相シフトを既知の値に設定します。この種の位相検出器は、外部クロックの高調波に誤ってロックすることがありません。

位相検出器の出力は、内部フィルタ・ネットワークを充放電する、1対の相補型電流源です。PLLロックの範囲は、250kHz～1MHzの間で保証されています。公称デバイスは、この範囲を超えても動作すると思われませんが、これより広い周波数範囲での動作は保証されていません。

PLLにはロック検出回路があります。動作中にPLLのロックが外れた場合、STATUS_MFR_SPECIFICコマンドのビット4がアサートされ、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンが“L”に引き下げられます。このフォルトは、上記のビットに1を書き込むことでクリアできます。PLL_FAULTの発生時に $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートさせたくない場合は、SMBALERT_MASKコマンドを使用します。

アプリケーションでSYNC信号がクロック動作していない場合、設定された公称周波数がPWM回路を制御します。ただし、複数のデバイスがSYNCピンを共有している場合、SYNC信号がクロック動作していないと、各デバイスは同期せず、出力に過剰な電圧リップルが発生する恐れがあります。この状態が存在する場合、MFR_PADS_LTC3887のビット10が“L”にアサートされます。周波数コマンドを外部発振器に設定した場合、LTC3887のPWMエンジンはPLL発振器の最小自走周波数で動作します。これによって、過剰なインダクタ電流と望ましくない動作が発生する可能性があります。

アプリケーション情報

PWM信号の動作周波数が高すぎると思われる場合は、SYNCピンをモニタします。立ち下がりエッジに余分な遷移が含まれると、PLLは目的とする信号ではなく、ノイズに対してロックしようとしてしまいます。デジタル制御信号の配線を再確認し、SYNC信号に対するクロストークを最小限に抑えて問題を予防してください。PolyPhase構成では、複数のLTC3887の間でSYNCピンを共用する必要があります。その他の構成の場合は必要に応じて共用します。複数のLTC3887間でSYNCピンを共用する場合、SYNC出力をイネーブルに設定するLTC3887は1つだけにしてください。他の全てのLTC3887は、SYNC出力をディスエーブルするように設定してください。ただし、それらの周波数を目的の公称値に設定する必要があります。

最小オン時間に関する検討事項

最小オン時間 $t_{ON(MIN)}$ は、LTC3887が上側MOSFETをオンすることができる最小時間です。これは内部タイミング遅延と上側MOSFETをオンするのに必要なゲート電荷の量によって決まります。低デューティ・サイクルのアプリケーションでは、この最小オン時間の限度に接近する可能性があるため、次の条件を満たすように注意してください。

$$t_{ON(MIN)} < \frac{V_{OUT}}{V_{IN} \cdot f_{OSC}}$$

デューティ・サイクルが最小オン時間で対応可能な値より低くなると、コントローラはサイクル・スキップを開始します。出力電圧は引き続き安定化されますが、リップル電圧とリップル電流が増加します。

LTC3887の最小オン時間は(PCBレイアウトが適切であれば)約90ns、インダクタ電流リップルは最小で30%、電流検出信号のリップルは少なくとも10mV～15mVです。最小オン時間はPCBの電圧ループや電流ループのスイッチング・ノイズの影響を受けることがあります。ピーク電流検出電圧が低下するに従って最小オン時間は130nsまで徐々に増加します。これは、強制連続アプリケーションでリップル電流が小さく負荷が軽い場合に、特に懸念される点です。この状況でデューティサイクルが最小オン時間の限度を下回ると、大きなサイクル・スキップが発生する可能性があり、それに応じて電流リップルと電圧リップルが大きくなります。

RCONFIG (外付け抵抗構成設定ピン)

LTC3887のEEPROMのデフォルトは、RCONFIGピンを優先して参照するように設定されています。出力電圧、PWMの周波数や位相、およびアドレスを、ユーザーによるデバイスのプログラミングなしに設定したい場合、または特別にプログラム済みのデバイスを購入した場合は、RCONFIGピンによって、これらのパラメータを設定できます。RCONFIGピンは全て、LTC3887のV_{DD25}とSGNDの間に抵抗分割器を必要とします。RCONFIGピンがモニタされるのは、初期の電源投入時とリセット時だけです。したがって、デバイスへの通電後に例えばA/Dなどによってこれらの値を変更しても、何の効果も得られません。適切な動作を確保するには、許容誤差1%以下の抵抗を使用する必要があります。また、これらのピンの近くにノイズの大きいクロック信号を配線しないでください。

電圧の選択

RCONFIGピンのVOUT_n_CFGを使って出力電圧を設定した場合、以下のパラメータが出力電圧のパーセント値として設定されます。

- VOUT_OV_FAULT_LIMIT +10%
- VOUT_OV_WARN +7.5%
- VOUT_MAX +7.5%
- VOUT_MARGIN_HIGH +5%
- VOUT_MARGIN_LOW -5%
- VOUT_UV_WARN -6.5%
- VOUT_UV_FAULT_LIMIT -7%

RCONFIGピンのVOUT_n_CFGを使用して出力電圧を設定するには、表12を参照してください。R_{TOP}をV_{DD25}とこのピンの間に接続し、R_{BOTTOM}をこのピンとSGNDの間に接続します。適切な動作を確保するには、許容誤差1%の抵抗を使用する必要があります。

出力電圧のセットポイントは次式で表されます。

$$V_{SETPOINT} = V_{OUTn_CFG}$$

例えば、VOUT_n_CFGピンに24.9kのR_{TOP}と4.32kのR_{BOTTOM}を接続した場合、次のようになります。

$$V_{SETPOINT} = 0.75V$$

アプリケーション情報

出力のセットポイントが5Vの場合、 V_{OUTn_CFG} には10kの R_{TOP} と23.2kの R_{BOTTOM} を接続する必要があります。 V_{OUT} が2.5ボルト以下の場合、低電圧レンジが使用されます。チャンネル0または1に対する最大電圧コマンドは、 $V_{OUT_MARGIN_HIGH}$ および V_{OUT} を含む5.5Vです。

表 12. V_{OUTn_CFG}

| R_{TOP} (k Ω) | R_{BOTTOM} (k Ω) | V_{OUT} (V) | オン/オフ |
|-------------------------|----------------------------|---------------|-------|
| 0または開放 | 開放 | NVM | NVM |
| 10 | 23.2 | 5.0 | オン |
| 10 | 15.8 | 3.3 | オン |
| 16.2 | 20.5 | 2.5 | オン |
| 16.2 | 17.4 | 1.8 | オン |
| 20 | 17.8 | 1.5 | オン |
| 20 | 15 | 1.35 | オン |
| 20 | 12.7 | 1.25 | オン |
| 20 | 11 | 1.2 | オン |
| 24.9 | 11.3 | 1.15 | オン |
| 24.9 | 9.09 | 1.1 | オン |
| 24.9 | 7.32 | 1.05 | オン |
| 24.9 | 5.76 | 0.9 | オン |
| 24.9 | 4.32 | 0.75 | オン |
| 30.1 | 3.57 | 0.65 | オン |
| 30.1 | 1.96 | 0.6 | オン |
| 開放 | 0 | NVM | オフ |

表 13. PHAS_CFG

| R_{TOP} (k Ω) | R_{BOTTOM} (k Ω) | $\theta_{SYNC \sim \theta_0}$ 位相差 | $\theta_{SYNC \sim \theta}$ 位相差 | SYNC DIS/EN |
|-------------------------|----------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-------------|
| 0または開放 | 開放 | NVM | NVM | NVM |
| 10 | 23.2 | NVM | NVM | NVM |
| 10 | 15.8 | NVM | NVM | NVM |
| 16.2 | 20.5 | 120 | 300 | ディスエーブル |
| 16.2 | 17.4 | 60 | 240 | ディスエーブル |
| 20 | 17.8 | 120 | 240 | ディスエーブル |
| 20 | 15 | 0 | 120 | ディスエーブル |
| 20 | 12.7 | 0 | 240 | ディスエーブル |
| 20 | 11 | 90 | 270 | ディスエーブル |
| 24.9 | 11.3 | 0 | 180 | ディスエーブル |
| 24.9 | 9.09 | 120 | 300 | イネーブル |
| 24.9 | 7.32 | 60 | 240 | イネーブル |
| 24.9 | 5.76 | 120 | 240 | イネーブル |
| 24.9 | 4.32 | 0 | 120 | イネーブル |
| 30.1 | 3.57 | 0 | 240 | イネーブル |
| 30.1 | 1.96 | 90 | 270 | イネーブル |
| 開放 | 0 | 0 | 180 | イネーブル |

RCONFIGによる周波数と位相の選択

周波数コマンドと位相コマンドは、RCONFIGピンまたはPMBusコマンドのいずれを使用する場合も、関連がありません。出力を生成するのに複数のLTC3887を使用するPolyPhase構成では、SYNCピンを共有する必要があります。構成がPolyPhaseでなければSYNCピンを共有する必要はありません。SYNCピンを複数のLTC3887間で共有した場合、1つのSYNC出力のみをイネーブルし、他の全てのSYNC出力をディスエーブルする必要があります。SYNC出力をイネーブルした場合、オープンレインのSYNCピンには、発振器周波数が存在します。SYNCピンには、 V_{DD33} へのプルアップ抵抗が必要です。

例えば、425kHzのクロックによって駆動される4位相構成の場合、全てのLTC3887を、目的の周波数と位相に設定し、1つのLTC3887を、SYNC出力をイネーブルして目的の周波数に設定する必要があります。全ての位相の基準は、SYNCの立ち上がりエッジです。

LTC3887 デバイス1は、SYNC出力をイネーブルして、90°と270°の位相シフトで周波数を425kHzに設定します。

周波数: $R_{TOP} = 24.9k\Omega$, $R_{BOTTOM} = 4.32k\Omega$

位相: $R_{TOP} = 20k\Omega$, $R_{BOTTOM} = 11k\Omega$

LTC3887 デバイス2は、SYNC出力をディスエーブルして、0°と180°の位相シフトで周波数を425kHzに設定します。

周波数: 24.9k Ω および $R_{BOTTOM} = 4.32k\Omega$

位相: R_{TOP} は開放、 $R_{BOTTOM} = 0\Omega$

周波数および位相は、全てFREQ_CFGピンおよびPHAS_CFGピンによって構成できます。上記のアプリケーションでは、SYNCピンの接続がデバイス1から失われた場合、デバイス2が内部で周波数が失われたことを検出し、引き続き425kHzでスイッチングします。ただし、デバイス間でSYNCピンが切断されるため、出力電圧リップルが目的の値よりも高くなる可能性があります。デバイス2でMFR_PADSのビット10が“L”にアサートされ、外部からSYNCへの入力期待されているときに、デバイス2がその内部発信器からクロックを供給していることを示します。

アプリケーション情報

表14. FREQ_CFG (SYNCの立ち下がりエッジを基準とした位相)

| R _{TOP} (kΩ) | R _{BOTTOM} (kΩ) | 周波数 (kHz) |
|-----------------------|--------------------------|----------------|
| 0または開放 | 開放 | NVM |
| 10 | 23.2 | NVM |
| 10 | 15.8 | NVM |
| 16.2 | 20.5 | NVM |
| 16.2 | 17.4 | NVM |
| 20 | 17.8 | NVM |
| 20 | 15 | NVM |
| 20 | 12.7 | NVM |
| 20 | 11 | 1000 |
| 24.9 | 11.3 | 750 |
| 24.9 | 9.09 | 650 |
| 24.9 | 7.32 | 575 |
| 24.9 | 5.76 | 500 |
| 24.9 | 4.32 | 425 |
| 30.1 | 3.57 | 350 |
| 30.1 | 1.96 | 250 |
| 開放 | 0 | External Clock |

RCONFIGによるアドレス選択

LTC3887のアドレスは、EEPROMに格納されたアドレス、ASEL0ピン、およびASEL1ピンの組み合わせによって選択されます。ASELの上位ビットは、EEPROM内の上位ビットまたはASEL1でデコードされた値のいずれかであり、下位ビットは、ASEL0でデコードされた値です。これにより、LTC3887は、単一の基板上で、EEPROMに設定された1つのアドレスを使用して、使用可能な全てのPMBusアドレスをデコードすることができます。基板上に16個以下のLTC3887が存在し、全てのLTC3887が同じ上位ビットアドレスを共有できる場合、ユーザーは抵抗をASEL0に接続するだけで済みます。

EEPROMに格納したアドレスが0x4Fの場合、ASEL0およびASEL1を使用して0x40～0x4Fのデバイス・アドレスを設定できます。(標準のデフォルト・アドレスは0x4Fです。) 0x5Aまたは0x5Bのアドレスはいずれのデバイスにも割り当てないでください。これらはグローバル・アドレスであり、全てのデバイスが応答します。

アドレス0x40を選択するには、ASEL0のR_{TOP}は開放、R_{BOTTOM}は0Ω、

ASEL1は開放とします。

アドレス0x45を選択するには、ASEL0のR_{TOP}は24.9k、R_{BOTTOM}は7.32k、

ASEL1は開放とします。

アドレス0x3Eを選択するには、ASEL0のR_{TOP}は10.0k、R_{BOTTOM} = 15.8k、

ASEL1のR_{TOP}は24.9k、R_{BOTTOM}は4.32kとします。

表15. ASEL_n抵抗のプログラミング

| R _{TOP} (kΩ) | R _{BOT} (kΩ) | ASEL1 | | ASEL0 | |
|-----------------------|-----------------------|----------------------------|-----|----------------------------|-----|
| | | LTC3886のデバイス・アドレス・ビット[6:4] | | LTC3886のデバイス・アドレス・ビット[3:0] | |
| | | バイナリ | 16進 | バイナリ | 16進 |
| 0または開放 | 開放 | NVM | | NVM | |
| 10 | 23.2 | | | 1111 | F |
| 10 | 15.8 | | | 1110 | E |
| 16.2 | 20.5 | | | 1101 | D |
| 16.2 | 17.4 | | | 1100 | C |
| 20 | 17.8 | | | 1011 | B |
| 20 | 15 | | | 1010 | A |
| 20 | 12.7 | | | 1001 | 9 |
| 20 | 11 | | | 1000 | 8 |
| 24.9 | 11.3 | 111 | 7 | 0111 | 7 |
| 24.9 | 9.09 | 110 | 6 | 0110 | 6 |
| 24.9 | 7.32 | 101 | 5 | 0101 | 5 |
| 24.9 | 5.76 | 100 | 4 | 0100 | 4 |
| 24.9 | 4.32 | 011 | 3 | 0011 | 3 |
| 30.1 | 3.57 | 010 | 2 | 0010 | 2 |
| 30.1 | 1.96 | 001 | 1 | 0001 | 1 |
| 開放 | 0 | 000 | 0 | 0000 | 0 |

効率に関する検討事項

スイッチング・レギュレータのパーセント表示の効率は、出力電力を入力電力で割って100%を掛けたものに等しくなります。個々の損失を解析して、効率を制限する要素がどれであり、また何が変化すれば最も効率が改善されるかを判断できる場合がよくあります。パーセント表示での効率は、次式で表すことができます。

$$\% \text{ 効率} = 100\% - (L1 + L2 + L3 + \dots)$$

ここで、L1、L2などは入力電力に対するパーセント値で表した個々の損失です。

アプリケーション情報

表 15B¹. LTC3887 の MFR_ADDRESS コマンドの例
(7ビットと8ビットの両アドレス指定について表示)

| 説明 | デバイス・アドレス (16進) | | ビット 7 | ビット 6 | ビット 5 | ビット 4 | ビット 3 | ビット 2 | ビット 1 | ビット 0 | R/W |
|---------------------------|-----------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| | 7ビット | 8ビット | | | | | | | | | |
| Rail ⁴ | 0x5A | 0xB4 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Global ⁴ | 0x5B | 0xB6 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| デフォルト | 0x4F | 0x9E | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Example 1 | 0x60 | 0xC0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Example 2 | 0x61 | 0xC2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Disabled ^{2,3,5} | | | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Note 1: この表は、MFR_RAIL_ADDRESS コマンドと MFR_ADDRESS コマンドに適用される。

Note 2: 1つのコマンド内でディスエーブルに設定された値が、デバイスを無効にしたり、グローバル・アドレスを無効にすることはない。

Note 3: 1つのコマンド内でディスエーブルに設定された値が、他のコマンドでアドレスを指定されたデバイスの応答を禁止することはない。

Note 4: MFR_ADDRESS または MFR_RAIL_ADDRESS コマンドに、0x00、0x0C (7ビット) あるいは 0x5A または 0x5B (7ビット) を書き込むことは推奨できない。

Note 5: アドレスを無効にするには、MFR_ADDRESS コマンドに 0x80 を入力する。0x80 は 7ビットのアドレス・フィールドよりも大きく、アドレスを無効にする。

回路内の電力を消費する全ての要素で損失が生じますが、LTC3887の回路の損失の大部分は、次の4つの主な損失要因によって生じます。1) デバイスの V_{IN} 電流、2) INTV_{CC} レギュレータの電流、3) I²R 損失、4) 上側 MOSFET の遷移損失です。

1. V_{IN} 電流は「電気的特性」の表に記載されている DC 電源電流であり、これには MOSFET ドライバ電流や制御電流は含まれません。 V_{IN} 電流による損失は通常小さな値です (0.1% 未満)。
2. INTV_{CC} 電流は、MOSFET ドライバ電流と制御電流の合計です。MOSFET ドライバ電流は、パワー MOSFET のゲート容量をスイッチングすることによって流れます。MOSFET のゲートが“L”から“H”、そして再び“L”に切り替わる度に、INTV_{CC} からグラウンドに一定量の電荷 dQ が移動します。それによって生じる dQ/dt は INTV_{CC} から流出する電流であり、一般に制御回路の電流よりはるかに大きくなります。連続モードでは、 $I_{GATECHG} = f(Q_T + Q_B)$ です。ここで、 Q_T と Q_B はトップ MOSFET とボトム MOSFET のゲート電荷です。

3. I²R 損失は、ヒューズ(使用する場合)、MOSFET、インダクタ、電流検出抵抗の各 DC 抵抗から予測できます。連続モードでは、L や R_{SENSE} に平均出力電流が流れますが、上側 MOSFET と同期 MOSFET の間で「チョッピング」されます。2つの MOSFET の R_{DS(ON)} がほぼ同じ場合は、いずれか一方の MOSFET の抵抗に L の抵抗と R_{SENSE} を加算するだけで I²R 損失を求めることができます。例えば、各 MOSFET の R_{DS(ON)} が 10mΩ、R_L = 10mΩ、R_{SENSE} = 5mΩ であれば、全抵抗は 25mΩ になります。この結果、5V 出力では出力電流が 3A から 15A まで増加すると損失は 2% ~ 8% の範囲になり、3.3V 出力では 3% ~ 12% の範囲になります。外付け部品および出力電力レベルが同じ場合、効率は V_{OUT} の 2 乗に反比例して変化します。高性能デジタル・システムでは低出力電圧と大電流がますます要求されているので、その相乗効果により、スイッチング・レギュレータ・システムの損失項の重要性は倍増ではなく 4 倍増となります。

4. 遷移損失は上側の MOSFET にのみ適用され、しかも高入力電圧 (通常 15V 以上) で動作している場合にのみ大きくなります。遷移損失は次式から概算できます。

$$\text{遷移損失} = (1.7) V_{IN}^2 I_{O(MAX)} C_{RSS} f$$

銅トレースや内部バッテリー抵抗など他の「隠れた」損失は、携帯用システムではさらに 5% ~ 10% の効率低下を生じる可能性があります。これらの「システム」レベルの損失を設計段階で含めることが非常に重要です。内部バッテリーとヒューズの抵抗損失は、スイッチング周波数において C_{IN} に適切な電荷を蓄積し、ESR を小さくすれば最小に抑えることができます。25W 電源では、通常容量を 20μF ~ 40μF 以上、ESR を 20mΩ ~ 50mΩ 以下にする必要があります。LTC3887 の 2 位相アーキテクチャの場合、通常必要な入力容量は競合製品に比べて半分になります。その他の損失 (デッドタイム中のショットキ・ダイオードの導通損失やインダクタのコア損失など) は、合計しても一般には 2% 未満の損失増にしかなりません。

トランジェント応答の確認

レギュレータのループ応答は、負荷電流のトランジェント応答を調べることで確認できます。スイッチング・レギュレータは、DC (抵抗性) 負荷電流のステップに反応するのに数サイクルを要します。負荷ステップが発生すると、V_{OUT} は ΔI_{LOAD} (ESR) に等しい大きさだけシフトします。ここで、ESR は C_{OUT} の等価直列抵抗です。また ΔI_{LOAD} は、C_{OUT} の充電または放電を開始して、帰還誤差信号を発生します。この信号によりレ

アプリケーション情報

ギュレータは、電流変化に適応して V_{OUT} を定常状態の値に戻すよう強制されます。この回復期間に、安定性に問題があることを示す過度のオーバーシュートやリングングが発生しないか、 V_{OUT} をモニタできます。 I_{TH} ピンを備えているため、制御ループの動作を最適化できるだけでなく、DC結合され、ACフィルタを通した閉ループ応答のテスト・ポイントが与えられます。このテスト・ポイントでのDCステップ、立ち上がり時間、およびセトリングは、閉ループ応答を正確に反映します。2次特性が支配的なシステムを想定すれば、位相余裕や減衰係数は、このピンに現れるオーバーシュートのパーセンテージから概算できます。このピンの立ち上がり時間を調べることで、帯域幅も概算できます。「標準的応用例」の回路に示す I_{TH} ピンの外付け部品は、ほとんどのアプリケーションにおいて検討着手時の妥当な初期値として使えます。ループ利得に影響を与えるプログラム可能なパラメータは2つだけです。電圧レンジを決めるMFR_PWM_MODE_LTC3887コマンドのビット1、および電流レンジを決めるMFR_PWM_MODE_LTC3887コマンドのビット7です。補償の計算の前に、必ずこれらのパラメータを確定しておいてください。

I_{TH} の直列 R_C - C_C フィルタにより、支配的なポール-ゼロループ補償が設定されます。これらの値は、最終的なプリント基板のレイアウトを完了し、特定の出力コンデンサの種類と容量値を決定してからは、トランジェント応答を最適化するために多少の(推奨値の0.5~2倍)変更が可能です。ループの利得と位相は、出力コンデンサのさまざまな種類と値によって決まるため、出力コンデンサを適切に選択する必要があります。立ち上がり時間が $1\mu s \sim 10\mu s$ の最大負荷電流の20%~80%の出力電流パルスによって発生する出力電圧波形と I_{TH} ピンの波形により、帰還ループを開くことなく全体的なループの安定性を判断することができます。パワーMOSFETと出力コンデンサの両端に接地された抵抗を直接接続し、適当な信号発生器でそのゲートを駆動するのが、負荷ステップを発生する実用的な方法です。MOSFETと R_{SERIES} によって、およそ V_{OUT}/R_{SERIES} に等しい出力電流が生じます。 R_{SERIES} には、電流制限の設定とプログラムされた出力電圧に応じた、 $0.1\Omega \sim 2\Omega$ の値が妥当です。出力電流のステップ変化によって生じる初期出力電圧ステップは帰還ループの帯域幅内にない場合があるため、位相余裕を決定する際にこの信号を使用することはできません。このため、 I_{TH} ピンの信号を調べる方が確実です。この信号は帰還ループ内にあり、フィルタされ、補償された制御ループ応答です。ループの利得は R_C を大きくすると増加し、ループの帯域幅は C_C を小さくすると広がります。 C_C を減少させると同じ比率で R_C を増加させると、ゼロの周波数は変化しないため、帰還ループの最も重要な周波数範囲で

位相シフトが一定に保たれます。出力電圧のセトリング動作は閉ループ・システムの安定性に関係し、電源全体の実際の性能を表します。

次に、大容量の($>1\mu F$)電源バイパス・コンデンサが接続されている負荷をスイッチングすると、さらに大きなトランジェントが発生します。放電しきったバイパス・コンデンサが実質的に C_{OUT} と並列接続状態になるため、 V_{OUT} が急激に低下します。負荷スイッチの抵抗が小さく、かつ急速に駆動されると、どのようなレギュレータでも、出力電圧の急激なステップ変化を防止するだけ素早く電流供給を変えることはできません。 C_{LOAD} 対 C_{OUT} の比率が1:50より大きい場合は、スイッチの立ち上がり時間を制御して、負荷の立ち上がり時間を約 $25 \cdot C_{LOAD}$ に制限するようにしてください。そうすることにより、 $10\mu F$ のコンデンサでは $250\mu s$ の立ち上がり時間が必要とされ、充電電流は約200mAに制限されるようになります。

プリント回路基板レイアウトのチェックリスト

プリント回路基板をレイアウトするときは、以下のチェックリストを使用して、このデバイスが正しく動作するようにします。これらの項目は図32のレイアウト図にも示してあります。連続モードで動作している2フェーズ同期式レギュレータの様々な枝路に現れる電流波形を図33に示します。レイアウトでは、以下の項目をチェックしてください。

1. 上側NチャンネルMOSFETのM1とM2は互いに1cm以内に配置され、 C_{IN} で共通ドレイン接続されていますか。2つのチャンネルの入力デカップリングを分割すると大きな共振ループが形成されることがあるので、入力デカップリングは分割しないでください。
2. 信号グランドと電源グランドは分離されていますか。1つにまとめたこのデバイスの信号グランド・ピンと C_{INTVCC} のグランド・リターンは、1つにまとめた C_{OUT} の(-)端子に戻す必要があります。 I_{TH} のトレースはできるだけ短くします。上側のNチャンネルMOSFET、ショットキ・ダイオードおよび C_{IN} コンデンサで形成される経路のリードとPCトレースを短くします。コンデンサは互いに隣接させ、また上記のショットキ・ループからは離して配置し、出力コンデンサの(-)端子と入力コンデンサの(-)端子を可能な限り近づけて接続してください。

アプリケーション情報

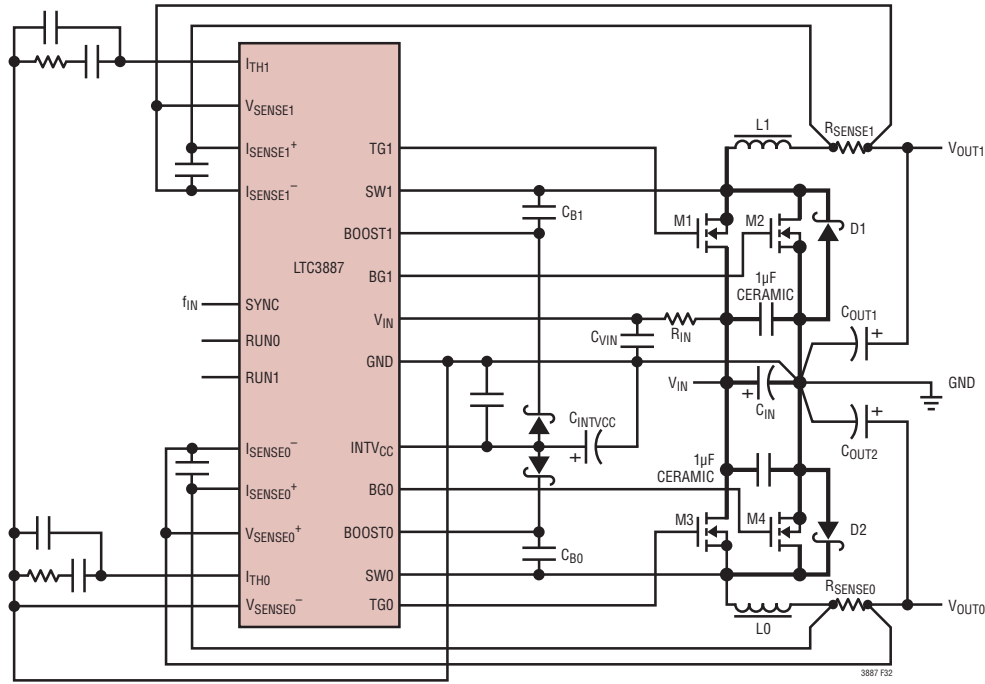


図 32. プリント回路基板の推奨レイアウト図

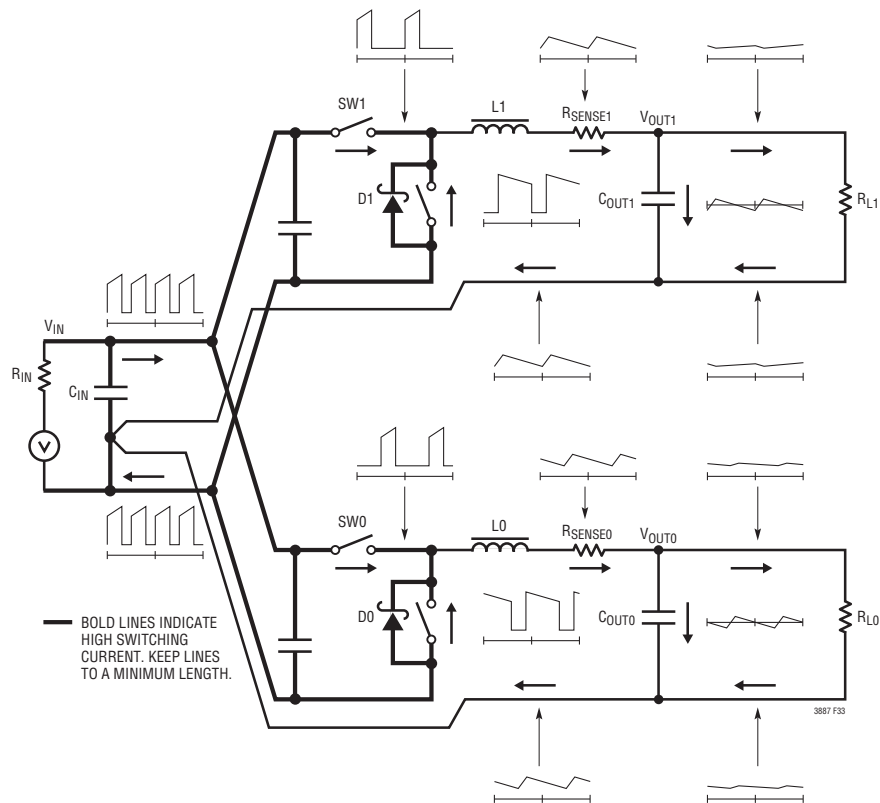


図 33. 分岐電流の波形

アプリケーション情報

3. LTC3887の V_{SENSE} ラインの電圧は V_{OUT} と同じですか。 V_{OUT0} は差動電圧です。 V_{OUT1} は、負荷1のグラウンドに接続されたGND(ピン41)を基準にする必要があります。
4. I_{SENSE}^+ と I_{SENSE}^- のリードは、PCの最小トレース間隔で並走するように配線されていますか。 I_{SENSE}^+ と I_{SENSE}^- 間のフィルタ・コンデンサは、デバイスにできるだけ近づけてください。検出抵抗またはインダクタのうち、いずれか電流検出に使用する素子に対してはケルビン接続を用い、正確に電流を検出できるようにします。
5. $INTV_{CC}$ のデカップリング・コンデンサは、デバイスの近くで $INTV_{CC}$ ピンと電源グラウンド・ピン間に接続されていますか。このコンデンサはMOSFETドライバのピーク電流を供給します。1 μ Fのセラミック・コンデンサを1個、 $INTV_{CC}$ ピンとGNDピンのすぐ隣に追加すると、ノイズ性能を大幅に改善できます。
6. スイッチング・ノード(SW1、SW0)、上側ゲート・ノード(TG1、TG0)、およびブースト・ノード(BOOST1、BOOST0)は、敏感な小信号ノード、特に反対側のチャネルの電圧および電流検出帰還ピンから離してください。これら全てのノードの信号は非常に大きく高速に変化するので、LTC3887の出力側に置き、基板のトレース面積を最小限に抑えます。DCR検出を使用する場合、上側の抵抗(図18aのR1)をスイッチング・ノードの近くに配置します。
7. 改良型の「スター・グラウンド」手法を使用します。これは、入力コンデンサおよび出力コンデンサと同じ基板面に低インピーダンスの大きな銅領域の中央接地点を設け、ここに $INTV_{CC}$ デカップリング・コンデンサの下側、電圧帰還抵抗分割器の下側、およびデバイスのGNDピンを接続する方法です。

PC基板レイアウトのデバッグ

最初に1つのコントローラだけをオンします。回路をテストするとき、DC~50MHzの電流プローブを使用してインダクタの電流をモニタすることは有用です。出力スイッチング・ノード(SWピン)をモニタして、オシロスコープを内部発振器に同期させ、実際の出力電圧も調べてください。アプリケーションで予想される動作電圧および電流範囲で、適切な性能が達成されていることをチェックします。動作周波数は、ドロップアウト状態になるまでの全入力電圧範囲で一定に保たれている必要があります。

適切に設計によって実装された低ノイズのPCBにおいては、デューティ・サイクルのパーセンテージがサイクル間で変動しません。低調波の周期でデューティ・サイクルが変動する場合、電流検出入力または電圧検出入力でノイズを拾っているか、またはループ補償が適当でない可能性があります。レギュレータの帯域幅の最適化が不要であれば、ループの過補償を用いてPCレイアウトの不備を補うことができます。両方のコントローラを同時にオンするのは必ず各コントローラの個々の性能をチェックした後にしてください。特に条件の厳しい動作領域は、一方のコントローラ・チャネルが電流コンパレータの作動点に近づいているときに他方のチャネルが上側MOSFETをオンする場合です。これは内部クロックの位相同期のために、どちらかのチャネルのデューティ・サイクルが50%付近のとき発生し、デューティ・サイクルの小さなジッタを引き起こす可能性があります。

V_{IN} をその公称レベルから下げて、ドロップアウト状態のレギュレータ動作を確認します。出力をモニタしながらさらに V_{IN} を下げて動作を確認し、低電圧ロックアウト回路の動作をチェックします。

問題があるのは出力電流が大きいときのみ、または入力電圧が高いときのみであるかどうかを調べます。入力電圧が高かつ出力電流が小さいときに問題が発生する場合は、BOOST、SW、TG、場合によってはBGと、ノイズの影響を受けやすい電圧ピンおよび電流ピンとの間に容量性結合がないかを調べます。電流検出ピン間に接続するコンデンサは、デバイスのピンのすぐ近くに配置する必要があります。このコンデンサは、高周波容量性結合による差動ノイズの混入の影響を最小限に抑えるのに役立ちます。入力電圧が低く電流出力負荷が大きいときに問題が生じる場合は、 C_{IN} 、ショットキ・ダイオード、および上側MOSFETと、影響を受けやすい電流および電圧検出トレースとの間に誘導性結合がないかを調べます。さらに、これらの部品とデバイスのGNDピンの間の、共通グラウンド経路の電圧ピックアップも調べてください。

アプリケーション情報

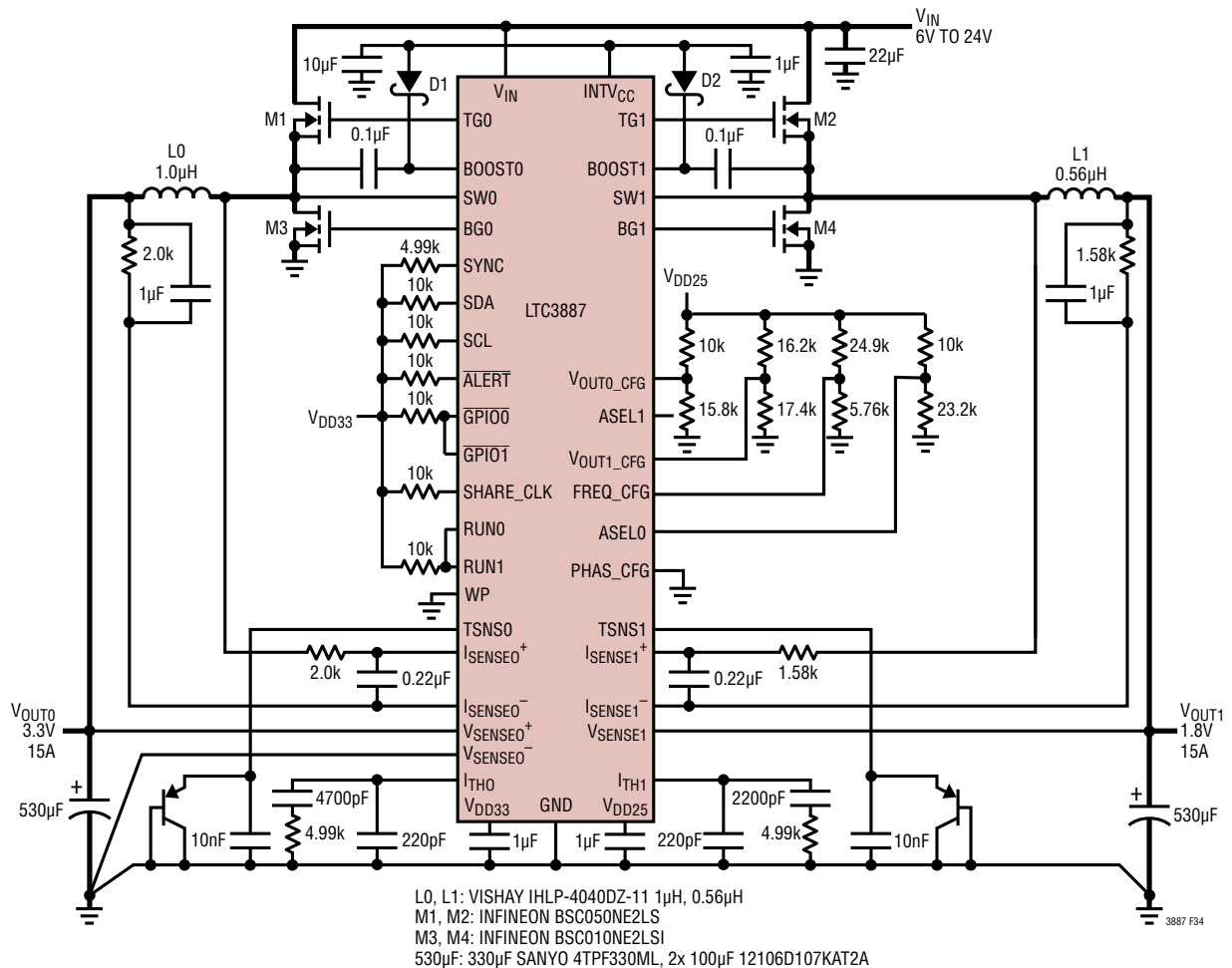


図 34. 高効率のデュアル500kHz 3.3V/1.8V 降圧コンバータ

設計例

中程度の2チャンネル電流レギュレータの設計例として、以下を仮定します： $V_{IN} = 12V$ (公称値)、 $V_{IN} = 20V$ (最大値)、 $V_{OUT0} = 3.3V$ 、 $V_{OUT1} = 1.8V$ 、 $I_{MAX0,1} = 15A$ 、および $f = 500kHz$ (図 34 参照)。

安定化出力は、EEPROM に格納された $V_{OUT_COMMAND}$ または、次の値を持つ、 V_{DD25} 、 R_{CONFIG} ピン、 GND 間の抵抗分割器によって決まります。

1. V_{OUT0_CFG} : $R_{TOP} = 10k$ 、 $R_{BOTTOM} = 15.8k$
2. V_{OUT1_CFG} : $R_{TOP} = 16.2k$ 、 $R_{BOTTOM} = 17.4k$

周波数と位相は、EEPROM によって設定するか、 V_{DD25} 、 $FREQ_CFG$ 、 GND の間、および V_{DD25} 、 $PHAS_CFG$ 、 GND の間に次の抵抗分割器を接続することによって設定します。

周波数: $R_{TOP} = 24.9k\Omega$ 、 $R_{BOTTOM} = 5.76k\Omega$

位相: $R_{TOP} = \text{開放}$ 、 $R_{BOTTOM} = 0\Omega$

アドレスは XF に設定します。X は EEPROM に格納された上位ビットです。

抵抗構成設定ピンによって出力電圧を決定している場合、以下のパラメータは出力電圧に対する比率(パーセント)として設定されます。

- $V_{OUT_OV_FAULT_LIMIT}$ +10%
- $V_{OUT_OV_WARN}$ +7.5%
- V_{OUT_MAX} +7.5%

アプリケーション情報

- VOUT_MARGIN_HIGH.....+5%
- VOUT_MARGIN_LOW.....-5%
- VOUT_UV_WARN-6.5%
- VOUT_UV_FAULT_LIMIT.....-7%

その他のユーザー定義パラメータは、全てEEPROMにプログラムする必要があります。GUIを使用すると、デバイスに必要な動作パラメータを簡単に設定できます。

インダクタンス値は最大35%のリップル電流(各チャンネルにつき5.25A)の仮定に基づいています。リップル電流の最大値は、最大入力電圧で発生します。

$$L = \frac{V_{OUT}}{f \cdot \Delta I_L(MAX)} \left[1 - \frac{V_{OUT}}{V_{IN(MAX)}} \right]$$

チャンネル0には1.05μH、チャンネル1には0.624μHが必要になります。最も近い標準値は、それぞれ1μHおよび0.68μHです。公称入力におけるリップル電流は次のように計算できます。

$$\Delta I_L(NOM) = \frac{V_{OUT}}{f \cdot L} \left[1 - \frac{V_{OUT}}{V_{IN(NOM)}} \right]$$

チャンネル0のリップル電流は4.79A (32%)になり、チャンネル1のリップル電流は5.5A (30%)になります。ピーク・インダクタ電流は、DCの最大値にリップル電流の1/2を加えた値(つまり、チャンネル0の場合は17.39A、チャンネル1の場合は17.75A)になります。チャンネル1での最小オン時間は最大V_{IN}で生じ、90nsより短くならないようにします。

$$t_{ON(MIN)} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN(MAX)} \cdot f} = \frac{1.8V}{20V(500kHz)} = 180ns$$

チャンネル0ではVishay IHLP4040DZ-11 1μH (25°Cで2.3mΩのDCR_{Typ})、チャンネル1ではVishay IHLP4040DZ-11 0.56μH (25°Cで1.61mΩのDCR_{Typ})を選択します。

インダクタの温度測定が正確であり、C1を0.2μFに設定したとすると、R_Dは無限大となり式から除外されます。

$$R_0 = \frac{L}{(DCR \text{ at } 25^\circ C) \cdot C1} = \frac{1\mu H}{2.3m\Omega \cdot 0.22\mu F} = 2k$$

R0による最大電力損失はデューティ・サイクルと関係があり、連続モード時の最大入力電圧で発生します。

$$P_{LOSSR0} = \frac{(V_{IN(MAX)} - V_{OUT}) \cdot V_{OUT}}{R1} \\ = \frac{(20 - 3.3) \cdot 3.3}{2k} = 27.55mW$$

チャンネル1の各値は、R1 = 2k、R2は開放、P_{LOSSR1} = 20.73mWです。

電流制限はピーク値よりも20%高い値に設定し、部品のばらつきやシステム内のノイズによって平均電流が制限されないようにします。

$$V_{ILIMIT} = I_{PEAK} \cdot R_{DCR(MAX)} = 17.39A \cdot 2.5m\Omega = 43mV$$

この値に最も近いV_{ILIMIT}の設定は、42.9mVまたは46.4mVです。これらの値は、IOUT_OC_FAULT_LIMITコマンドによって入力します。予想される変動と検出コンデンサの実験室における測定に基づいて、ユーザーは最適の設定を決定できます。チャンネル1の場合、V_{ILIMIT}の値は28.6mVです。最も近い値は28.6mVです。

上側MOSFETの電力損失は容易に推定できます。上側MOSFETとしてINFINEON BSC050NE2LSを選択します。R_{DS(ON)} = 5.7mΩ、C_{MILLER} = 35pFとなります。最大入力電圧、推定温度50°C、下側MOSFETにINFINEON BSC010NE2LSI (R_{DS(ON)} = 1.1mΩ)を使用した場合、上側MOSFETの損失は次のようになります。

$$P_{MAIN} = \frac{3.3V}{20V} \cdot (17.39)^2 \cdot [1 + (0.005)(50^\circ C - 25^\circ C)] \\ \cdot 0.0057\Omega + (20V)^2 (8.695A) \cdot \left(\frac{1}{5 - 2.3} + \frac{1}{2.3} \right) \\ (35pF)(500kHz) = 0.369W$$

下側MOSFETの損失は、次のように計算できます。

$$P_{SYNC} = \frac{(20V - 3.3V)}{20V} \cdot (17.39A)^2 \cdot \\ [1 + (0.005)(50^\circ C - 25^\circ C)] \cdot 0.0011\Omega \\ = 0.312W$$

アプリケーション情報

I^2R 損失は両方の MOSFET で発生しますが、 P_{MAIN} の式には遷移損失の項が追加され、その値は入力電圧が高いときに最大になります。

C_{IN} は、次式で表される RMS 電流定格に適合するように選択します。

$$C_{IN} \text{ Required } I_{RMS} = \frac{17.39}{20} [(3.3) \cdot (20 - 3.3)]^{1/2} \\ = 6.5A$$

ここで、温度は、チャンネル 0 またはチャンネル 1 のみがオンの場合を想定しています。 C_{OUT} は、出力リップルが小さくなるように ESR が 0.006Ω のものを選択します。連続モードでの出力リップルは、入力電圧が最大のときに最大になります。ESR による出力電圧リップルは、次のとおりです。

$$V_{ORIPPLE} = R(\Delta I_L) = 0.006\Omega \cdot 5.5A = 33mV$$

設計に関するその他の確認事項

- $\overline{GPIO0}$ と $\overline{GPIO1}$ を相互に接続し、10k の抵抗を使用して V_{DD33} にプルアップします。
- $RUN0$ と $RUN1$ を相互に接続し、10k の抵抗を使用して V_{DD33} にプルアップします。
- 他の LTC PSM デバイスが存在する場合、 RUN ピンをデバイス間で接続し、 \overline{GPIO} ピンをデバイス間で接続します。
- アプリケーションでは、必ず全ての PMBus ピンを、抵抗を使用して V_{DD33} にプルアップし、これらの入力を全ての LTC PSM デバイス間で接続します。
- アプリケーションでは、 $SHARE_CLK$ を 4.99k の抵抗に接続して V_{DD33} にプルアップし、全ての LTC PSM デバイス間で共有します。
- 各デバイスの一意のアドレスを、 $ASEL0$ ピンおよび $ASEL1$ ピンを使用してデコードできるようにします。表 15 を参照してください。
- 柔軟性を最大にするには、 $ASEL0$ や $ASEL1$ など、抵抗を使用して設定する全てのパラメータについて、 R_{TOP} と R_{BOTTOM} の基板面積を許容します。

USB から I²C/SMBus/PMBus へのコントローラをシステム内の LTC3887 へ接続

USB と I²C/SMBus/PMBus を接続する LTC コントローラは、プログラミング、テレメトリおよびシステム・デバッグのために、ユーザーの基板上的 LTC3887 との間のインタフェースを提供します。このコントローラを LTpowerPlay と併用すると、電源システム全体の強力なデバッグ手段になります。テレメトリ、フォルト・ステータス・レジスタおよびフォルト・ログを使って、短時間でフォルトを診断することができます。最終構成を短時間で開発し、LTC3887 の EEPROM に格納できます。

システム電源の有無に関わらず、LTC の I²C/SMBus/PMBus コントローラを介して、1 個または複数の LTC3887 に対する給電、プログラミングおよび通信が可能な応用回路を図 35 に示します。システム電源が存在しない場合、 V_{DD33} 電源ピンからドングルによって LTC3887 に給電します。 V_{IN} を印加せず、 V_{DD33} ピンが給電されているデバイスを初期化するには、グローバル・アドレス 5B、コマンド 0xBD、データ 0x2B、続いてアドレス 5B、コマンド 0xBD、データ 0xC4 を使用します。これによって、デバイスとの通信が可能になり、プロジェクト・ファイルが更新されます。更新されたプロジェクト・ファイルを EEPROM に書き込むには、 $STORE_USER_ALL$ コマンドを発行します。 V_{IN} を印加したら MFR_RESET コマンドを発行して、PWM をイネーブルし、ADC の有効な値を読み出せるようにする必要があります。

コントローラの電流ソース能力が制限されているため、LTC のドングル DC1613A から OR 接続された 3.3V 電源からは、LTC3887、それらに関連したプルアップ抵抗、および I²C のプルアップ抵抗だけに給電します。さらに、I²C バス接続を LTC3887 と共有しているどのデバイスも、 SDA/SCL ピンとその V_{DD} ノードの間にボディ・ダイオードが形成されないようにします。これは、システム電源が存在しない場合にバス通信に干渉するからです。 V_{IN} が基板に印加されている場合、ドングルは基板上的 LTC3887 に給電しません。デバイスの構成が完了するまで負荷に電力が供給されないように、 RUN ピンを“L”に保持するか、電圧設定抵抗を挿入しないことを推奨します。

LTC のコントローラの I²C 接続は、LTC ドングル DC1613A を使用して PC の USB から光絶縁されています。コントローラの 3.3V と LTC3887 の V_{DD33} ピンは、独立した PFET によって各 LTC3887 を駆動する必要があります。 V_{IN} を印加していない場合、内蔵 LDO がオフしているため、 V_{DD33} ピンは並列にすることができます。DC1613A の 3.3V の電流制限は 100mA ですが、 V_{DD33} の電流の標準値は 15mA 未満です。 V_{DD33} は $INTV_{CC}$ ピンを逆ドライブします。通常、 V_{IN} が開放であれば、これは問題になりません。

アプリケーション情報

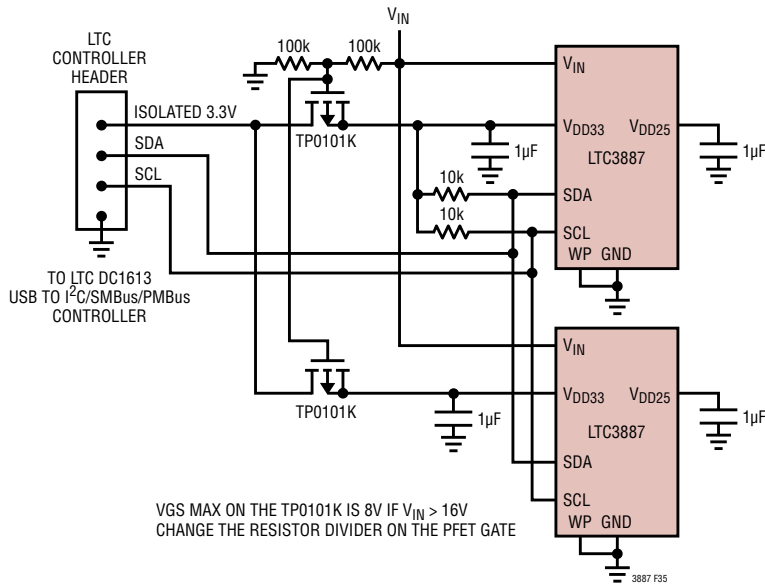


図 35. LTC コントローラの接続

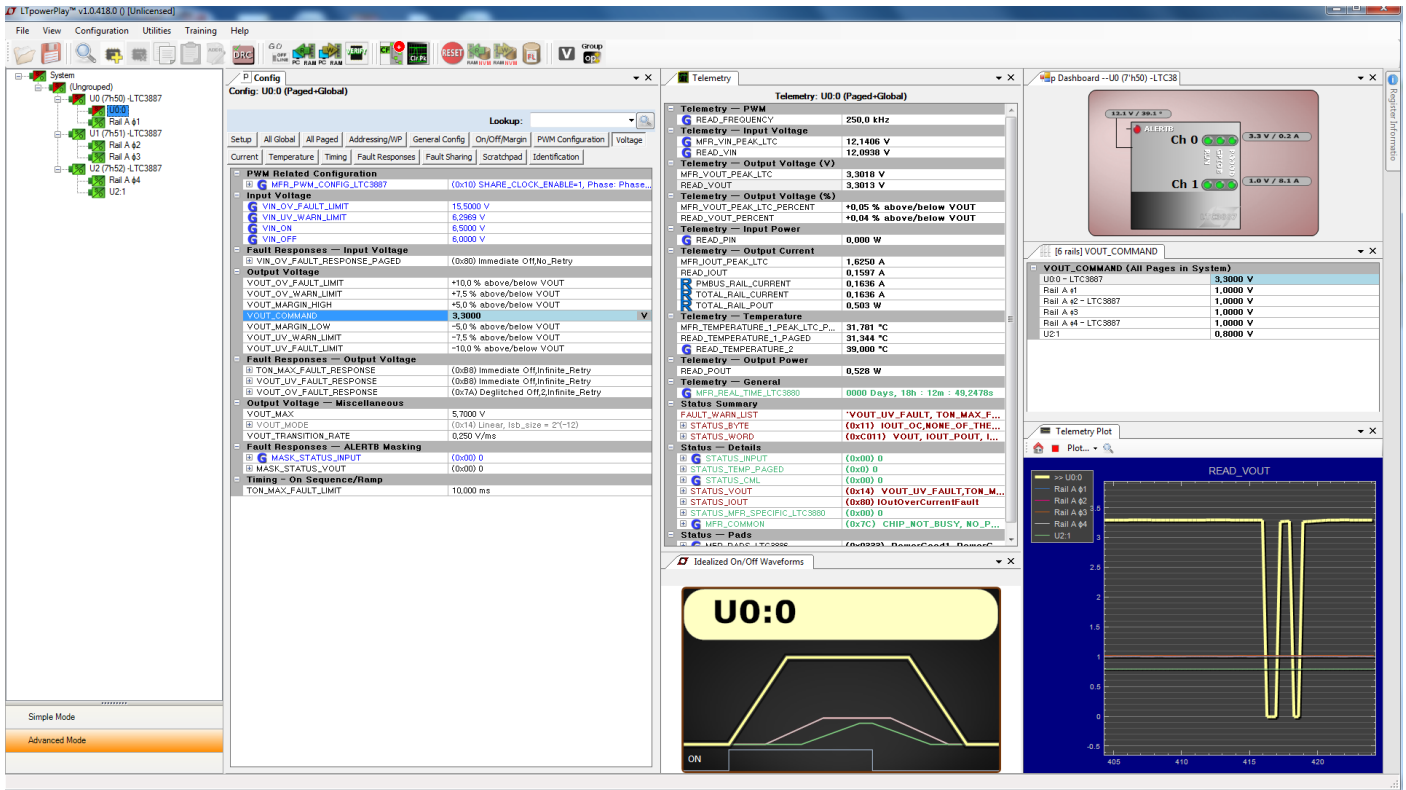


図 36

アプリケーション情報

LTpowerPlay: デジタル電源用の対話型 GUI

LTpowerPlay は、LTC3887をはじめとするリニアテクノロジー社のデジタル・パワー IC をサポートする、Windows ベースの強力な開発環境です。このソフトウェアは、さまざまな作業を幅広く支援します。LTpowerPlay にデモ・ボードやユーザー・アプリケーションを接続することで、リニアテクノロジーの IC を評価できます。LTpowerPlay はオフライン・モード（ハードウェア不要）による使用も可能です。このモードは、保存しておいて後ほど再度読み込むことができる、複数の IC 構成ファイルを作成するために使用します。過去に例のない高度な診断とデバッグ機能も装備されました。いまや基板開発時の電源システムのプログラムや調整、あるいは電源レール開発時の電源に関する問題の診断における、貴重な診断ツールとなりました。LTpowerPlay は、DC1590B-A/B デモ・ボード、DC1709A ソケット付きプログラミング・ボード、顧客ターゲット・システムをはじめとする多くの潜在的ターゲットの 1 つと、リニアテクノロジー社の USB-to-I²C/SMBus/PMBus コントローラを介して通信します。このソフトウェアは、最新のデバイス・ドライバやマニュアルとともにリビジョンを常に最新に保つ自動更新機能も備えています。LTpowerPlay では、いくつかのチュートリアルやデモを含む、充実したコンテキスト対応のヘルプを利用することができます。詳細な情報は、<http://www.linear-tech.co.jp/ltpowerplay> より入手できます。

PMBus の通信とコマンド処理

LTC3887 は、サポート対象コマンドのそれぞれに対して最後に書き込まれたデータを処理前に保持しておく深さ 1 のバッファを備えています (図 37 「書き込みコマンドのデータ処理」参照)。デバイスは、バスから新しいコマンドを受信すると、そのデータを書き込みコマンド・データ・バッファにコピーします。次に内部プロセッサに対して、このコマンド・データのフェッチが必要であることを知らせ、さらにコマンドを実行できるように内部形式に変換します。

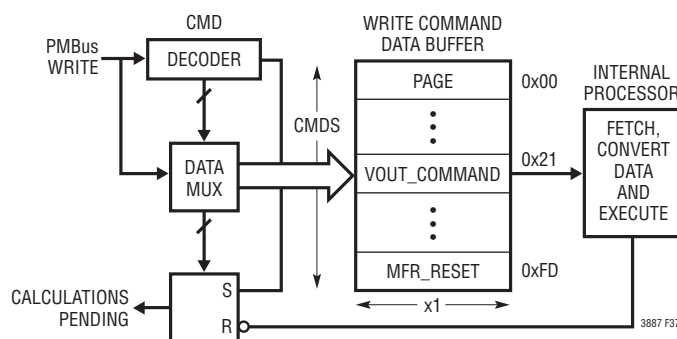


図 37. コマンド・データ書き込み処理

2つの独立した並列ブロックがコマンドのバッファ入出力とコマンド処理（フェッチ、変換、実行）を管理するため、いかなるコマンドであれ最後に書き込まれたデータは決して失われることはありません。このバッファ入出力動作では、受信される PMBus 書き込みを処理するために、書き込みコマンド・データ・バッファにコマンド・データを格納し、将来の処理に備えてそれらにマークを付けます。内部プロセッサは並列動作することで、処理が必要としてマークされたコマンドのフェッチ、変換、実行など、低速となる可能性のあるタスクに対処します。

計算の比重が大きいコマンド（例：タイミング・パラメータ、温度、電圧と電流）の一部では、内部プロセッサの処理時間が PMBus のタイミングに比べて長くなる場合があります。コマンド処理のためにデバイスがビジーの間新たなコマンドが受信されると、実行が遅延されたり、受信とは異なる順序で処理される場合があります。デバイスは、内部で計算処理中であることを、MFR_COMMON のビット 5（「計算は保留中ではない」）によって表示します。デバイスが計算のためにビジーである間、ビット 5 はクリアされます。このビットがセットされた時点で、デバイスは新たなコマンドを実行できるようになります。図 37 にポーリング・ループの例を示します。コマンドが確実に順序どおり処理されるようにするとともに、エラー処理ルーチンを簡素化するループです。

アプリケーション情報

デバイスはビジー中に新しいコマンドを受信すると、ビジー状態であることを標準PMBusプロトコルによって知らせます。デバイスの構成に応じて、コマンドに対してNACKを返すか、読み出しのために全て1 (0xFF)を返します。BUSYフォルトの生成とALERT通知、またはSCLクロック“L”のストレッチも行うことができます。詳細については、『PMBus Specification v1.2, Part II, Section 10.8.7』および『SMBus v2.0 section 4.3.3』を参照してください。クロック・ストレッチは、MFR_CONFIG_ALL_LTC3887のビット1をアサートすることによってイネーブルできます。クロック・ストレッチが行われるのは、この機能がイネーブルされ、かつバス通信速度が100kHzを超えている場合だけです。

PMBusのビジー・プロトコルは広く受け入れられた規格ですが、書き込みのシステム・レベル・ソフトウェアがある程度複雑化する可能性があります。このデバイスには3つの「ハンドシェイク」ステータス・ビットがあり、これによって信頼性の高いシステム・レベルの通信が可能になる一方で、複雑さが軽減されます。

これら3つのハンドシェイク・ステータス・ビットはMFR_COMMONレジスタ内にあります。内部動作の実行によってビジーの間、デバイスはMFR_COMMONのビット6(「チップはビジーではない」)をクリアします。特にVOUTが遷移状態(マージン・ハイ/ロー切り換え、電源オフ/オン、新しい出力電圧セットポイントへの移行など)にあることでビジーな場合、MFR_COMMONのビット4(「出力は遷移中でない」)がクリアされます。内部計算が進行中の時は、MFR_COMMONのビット5(「計算は保留されていない」)がクリアされます。これら3つのステータス・ビットは、3つのビット全てが設定されるまで、MFR_COMMONレジスタのPMBus読み出しバイトによってポーリングすることができます。ステータス・ビットがセットされた直後のコマンドは、NACK応答またはBUSYフォルト/ALERT通知を生成することなく、受け入れられます。ただし、PMBus仕様が要求する他の理由によってコマンドにNACK応答が返される可能性はあります(例えば、無効なコマンドやデータなど)。VOUT_COMMANDレジスタに対する信頼性の高いコマンド書き込みアルゴリズムの例を図38に示します。

```
// wait until bits 6, 5, and 4 of MFR_COMMON are all set
do
{
    mfrCommonValue = PMBUS_READ_BYTE(0xEF);
    partReady = (mfrCommonValue & 0x68) == 0x68;
}while(!partReady)

// now the part is ready to receive the next command
PMBUS_WRITE_WORD(0x21, 0x2000); //write VOUT_COMMAND to 2V
```

図38. VOUT_COMMANDのコマンド書き込みの例

全てのコマンド書き込み(バイト書き込み、ワード書き込みなど)の前には、ビジー動作や不要なALERT通知を扱うことによって処理がより複雑になるのを避けるために、ポーリング・ループを使用することを推奨します。これを簡単に実現するには、SAFE_WRITE_BYTE()およびSAFE_WRITE_WORD()サブルーチンを作成します。上記のポーリング・メカニズムにより、ソフトウェアをクリーンかつシンプルに保ちながら、デバイスとの信頼性の高い通信を実現することができます。これらのトピックやその他の個々のケースに関する詳細な検討については、www.linear-tech.co.jp/designtools/app_notesのアプリケーションノート中のセクションを参照してください。

100kHz以下のバス・スピードで通信する場合、ここに示したポーリング・メカニズムは、クロック・ストレッチなしで信頼性の高い通信を確保する、簡単な解決策となります。バス・スピードが100kHzを超える場合は、デバイスをクロック・ストレッチ可能に構成することを強く推奨します。これには、クロック・ストレッチをサポートするPMBusマスタが必要です。通信を行うには、「PMBus Specification v1.2, Part II, Section 10.8.7」に記載された方法で標準のPMBus NACK/BUSYフォルトを検出し、適切に復帰できるシステム・ソフトウェアが必要です。

バス・スピードが400kHzを超えるアプリケーションでは、LTC3887は推奨されません。

PMBus コマンドの詳細

アドレス指定および書き込み保護

| コマンド名 | CMD コード | 説明 | タイプ | ページ 指定 | データ 形式 | 単位 | NVM | デフォルト 値 |
|------------------|------------|--|----------------------|-----------|-----------|----|-----|------------|
| PAGE | 0x00 | いずれかのページ設定コマンドに現在選択されているチャンネル(ページ)。 | R/W Byte | N | Reg | | | 0x00 |
| PAGE_PLUS_WRITE | 0x05 | 指定のページにコマンドを直接書き込む。 | W Block | N | | | | |
| PAGE_PLUS_READ | 0x06 | 指定のページからコマンドを直接読み取る。 | Block R/W Process | N | | | | |
| WRITE_PROTECT | 0x10 | 意図しないPMBus変更からデバイスを保護する。 | R/W Byte | N | Reg | | ● | 0x00 |
| MFR_ADDRESS | 0xE6 | 右ぞろえした7ビットのデバイス・アドレスを指定する。 | R/W Byte | N | Reg | | ● | 0x4F |
| MFR_RAIL_ADDRESS | 0xFA | PolyPhase出力を構成するチャンネルに対して、右ぞろえした独自の7ビット・アドレスを指定する。 | R/W Byte | Y | Reg | | ● | 0x80 |

関連コマンド: MFR_COMMON。

PAGE

PAGEコマンドには、MFR_ADDRESSまたはGLOBALデバイス・アドレスのいずれか一方の物理アドレスだけで両方のPWMチャンネルの構成、制御、およびモニタを行う機能があります。各PAGEには、一方のPWMチャンネルの動作メモリが含まれます。

ページ0x00および0x01は、それぞれこのデバイスのチャンネル0およびチャンネル1に相当します。

PAGEを0xFFに設定すると、以下のいずれかのページ設定コマンドが両方の出力に適用されます。PAGEを0xFFに設定すると、LTC3887は、PAGEを0x00(チャンネル0)に設定した場合と同様に読み出しコマンドに対して応答します。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

PAGE_PLUS_WRITE

PAGE_PLUS_WRITEコマンドは、デバイス内にページを設定し、コマンドを送信して、その後コマンドのデータを1つの通信パケットで全て送信する方法を提供します。現在の書き込み禁止レベルによって許可されているコマンドは、PAGE_PLUS_WRITEを使用すれば送信できます。

PAGEコマンドで保存された値は、PAGE_PLUS_WRITEによる影響を受けません。PAGE_PLUS_WRITEを使用してページ設定以外のコマンドを送信する場合、Page Numberバイトは無視されます。

このコマンドはWrite Blockプロトコルを使用します。2つのデータ・バイトがあるコマンドを送信するPAGE_PLUS_WRITEコマンドとPECの一例を図39に示します。

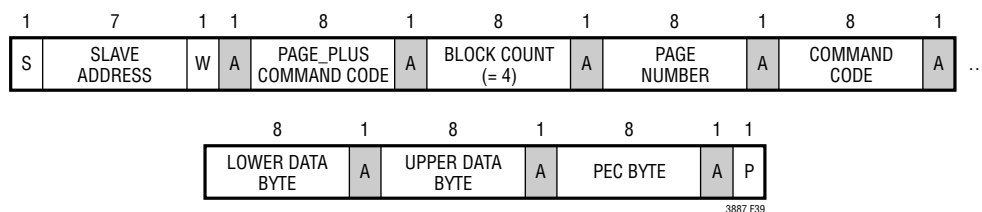


図39. PAGE_PLUS_WRITEの例

PMBus コマンドの詳細

PAGE_PLUS_READ

PAGE_PLUS_READ コマンドは、デバイス内にページを設定し、コマンドを送信して、その後コマンドによって返されるデータを1つの通信パケットで全て読み取る機能を提供します。

PAGE コマンドで保存された値は、PAGE_PLUS_READ による影響を受けません。PAGE_PLUS_READ を使用してページ設定以外のコマンドによりデータにアクセスする場合、Page Number バイトは無視されます。

このコマンドはBlock Write – Block Read Process Callを使用します。PAGE_PLUS_READ コマンドとPECの一例を図40に示します。

注記：PAGE_PLUS コマンドをネストすることはできません。PAGE_PLUS コマンドは、別のPAGE_PLUS コマンドの読み取りまたは書き込みに使用することはできません。これを試行すると、LTC3887はPAGE_PLUS パケット全体にNACKを返し、無効なデータ/サポートされていないデータに対してCMLフォルトを出します。

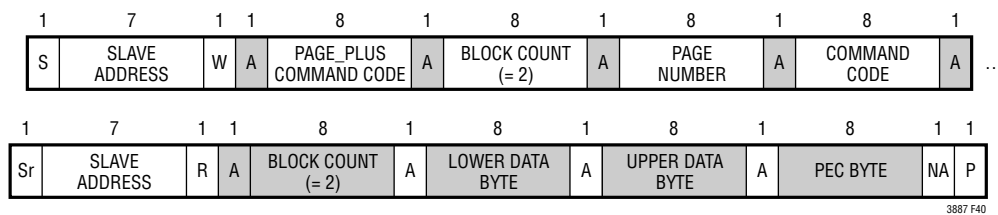


図 40. PAGE_PLUS_READ の例

WRITE_PROTECT

WRITE_PROTECT コマンドは、LTC3887 デバイスへの書き込みを制御するために使用します。このコマンドは、MFR_COMMON コマンド内で定義される WP ピンの状態を表示するものではありません。WRITE_PROTECT コマンドがより厳格でない限り、WP ピンの状態が、このコマンドの値よりも優先されます。

| バイト | 意味 |
|------|---|
| 0x80 | WRITE_PROTECT、PAGE、MFR_EE_UNLOCK、STORE_USER_ALL コマンドに対する書き込みを除く、全ての書き込みをディスエーブルする。 |
| 0x40 | WRITE_PROTECT、PAGE、MFR_EE_UNLOCK、MFR_CLEAR_PEAKS、STORE_USER_ALL、OPERATION、および CLEAR_FAULTS の各コマンドに対する書き込みを除く、全ての書き込みをディスエーブルする。個々のフォルト・ビットは、STATUS レジスタの対応するビットに1を書き込むことでクリアできる。 |
| 0x20 | WRITE_PROTECT、OPERATION、MFR_EE_UNLOCK、MFR_CLEAR_PEAKS、CLEAR_FAULTS、PAGE、ON_OFF_CONFIG、VOUT_COMMAND、STORE_USER_ALL コマンドに対する書き込みを除く、全ての書き込みをディスエーブルする。個々のフォルト・ビットは、STATUS レジスタの対応するビットに1を書き込むことでクリアできる。 |
| 0x10 | 予約済み。0とする必要がある。 |
| 0x08 | 予約済み。0とする必要がある。 |
| 0x04 | 予約済み。0とする必要がある。 |
| 0x02 | 予約済み。0とする必要がある。 |
| 0x01 | 予約済み。0とする必要がある。 |

WRITE_PROTECT を 0x00 に設定すると、全てのコマンドに対する書き込みがイネーブルされます。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細

WP ピンが“H”の場合、PAGE、OPERATION、MFR_CLEAR_PEAKS、MFR_EE_UNLOCK、CLEAR_FAULTS コマンドがサポートされます。個々のフォルト・ビットは、STATUS レジスタの対応するビットに 1 を書き込むことでクリアできる。

MFR_ADDRESS

MFR_ADDRESS コマンド・バイトは、このデバイスの PMBus スレーブ・アドレスの 7 ビットを設定します。

このコマンドの値を 0x80 に設定すると、デバイス・アドレス指定がディスエーブルされます。グローバル・デバイス・アドレスである 0x5A と 0x5B はディスエーブルできません。RCONFIG を無視するように設定した場合も、ASEL0 ピンと ASEL1 ピンは、チャネル・アドレスの下位ビットおよび上位ビットをそれぞれ決定するために使用されます。ASEL1 ピンが開放の場合、LTC3887 は EEPROM に格納された MFR_ADDRESS の上位 3 ビットを使用します。ASEL0 ピンが開放の場合、LTC3887 は EEPROM に格納された MFR_ADDRESS の下位 4 ビットを使用します。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

MFR_RAIL_ADDRESS

MFR_RAIL_ADDRESS コマンドは、PAGE によってアクティブ化されたチャネルに対して、デバイス・アドレスによる直接アクセスを可能にします。このコマンドの値は、1 つの電源レールに接続された全てのデバイスで共通でなければなりません。

ユーザーは、このアドレスに対して、コマンド書き込みだけを実行してください。このアドレスからの読み出しを実行した場合に、レール・デバイスが完全に同じ値で応答しないと、LTC3887 はバス競合を検出して、CML 通信フォルトをセットします。

このコマンドの値を 0x80 に設定すると、そのチャネルに対するレール・デバイス・アドレス指定がディスエーブルされます。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

汎用構成レジスタ

| コマンド名 | CMD コード | 説明 | タイプ | ページ指定 | データ形式 | 単位 | NVM | デフォルト値 |
|-------------------------|---------|------------------|----------|-------|-------|----|-----|--------|
| MFR_CHAN_CONFIG_LTC3887 | 0xD0 | チャネル固有の構成ビット。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0x1D |
| MFR_CONFIG_ALL_LTC3887 | 0xD1 | 全てのページで共通の構成ビット。 | R/W Byte | N | Reg | | Y | 0x01 |

MFR_CHAN_CONFIG_LTC3887

複数の LTC 製品に共通する汎用構成コマンドです。

| ビット | 意味 |
|-----|---|
| 7 | 予備 |
| 6 | 予備 |
| 5 | 予備 |
| 4 | RUN ピンの“L”遷移をディスエーブルする。このビットをアサートすると、オフするように指示された場合も、RUN ピンに“L”パルスが出力されない。 |
| 3 | ショート・サイクル。このビットをアサートすると、TOFF_DELAY または TOFF_FALL の待機中にオンするように指示された場合、出力が直ちにオフする。120ms の TOFF_MIN を遵守したうえで、デバイスはオンする。 |
| 2 | SHARE_CLOCK 制御。SHARE_CLOCK を“L”に保持すると、出力がディスエーブルされる。 |
| 1 | GPIO ALERT を生成しない。GPIO が外部から“L”に引き下げられた場合、ALERT が“L”に引き下げられない。POWER_GOOD または VOUT_UVUF のいずれかを GPIO 上に伝播する場合に、このビットをアサートする。 |
| 0 | MFR_RETRY_TIME 処理の VOUT 減衰値の要件をディスエーブルする。このビットを 0 に設定した場合、レールをオフするあらゆるアクションにおいて、出力はプログラムされた値の 12.5% 未満に減衰しなければならない。ここでいう動作には、フォルト、OFF/ON コマンド、RUN の“H”-“L”-“H”トグルが含まれる。 |

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細

MFR_CONFIG_ALL_LTC3887

複数の LTC 製品に共通する汎用構成コマンドです。

| ビット | 意味 |
|-----|---|
| 7 | フォルト・ログをイネーブルする。 |
| 6 | 抵抗構成設定ピンを無視する。 |
| 5 | 予備 |
| 4 | SYNC 出力をディスエーブルする。 |
| 3 | 255ms のタイムアウトをイネーブルする。 |
| 2 | PMBus 書き込みを受け付ける際に有効な PEC を要求する。このビットがセットされていない場合、デバイスは PEC が無効のコマンドも受け付ける。 |
| 1 | PMBus クロック・ストレッチの使用を可能にする。 |
| 0 | いずれかの RUN ピンが "L" から "H" に遷移して CLEAR_FAULTS コマンドを発行するのを可能にする。 |

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

オン/オフ/マージン

| コマンド名 | CMD コード | 説明 | タイプ | ページ 指定 | データ 形式 | 単位 | NVM | デフォルト 値 |
|---------------|------------|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|----|-----|------------|
| ON_OFF_CONFIG | 0x02 | RUN ピンおよび PMBus のオン/オフ・コマンドの構成。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0x1E |
| OPERATION | 0x01 | 動作モードの制御。オン/オフ、マージン・ハイおよびマージン・ロー。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0x40 |
| MFR_RESET | 0xFD | パワーダウン不要のコマンドによるリセット。 | Send Byte | N | | | | NA |

ON_OFF_CONFIG

ON_OFF_CONFIG コマンドは、デバイスのオン/オフに必要な RUN_n ピンの入力とシリアル・バス・コマンドの組み合わせを構成します。これには、電源が印加されたときのデバイスの応答方法も含まれます。

以下のビットだけが変更可能です。

3: シリアル・バスから受信したコマンドに対するデバイスの応答方法を制御します。

0: デバイスにオフするように指示するときの RUN ピンの動作。ビット 0 を 1 に設定すると、デバイスは即座に出力段への電力伝送を停止します。これには、出力コンデンサを負荷によって放電する効果があります。ビット 0 を 0 に設定すると、レギュレータはプログラムされたターンオフ遅延と立ち下がり時間を適用します。デバイスが連続モードで動作している場合、プログラムされたターンオフ応答は、負荷から即座に電源を切り離れたときよりも格段に速く出力を 0V まで引き下げることができます。

ビット 4、2、1 の値を変更すると、CML フォルトが発生します。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細

表 3. ON_OFF_CONFIG レジスタの詳細情報
ON_OFF_CONFIG のデータの内容

| ビット | シンボル | 動作 |
|--------|--------------------------------|--|
| b[7:5] | 予備 | ドントケア。常に 0 を返す。 |
| b[3] | On_off_config_use_pmbus | シリアル・バスから受信したコマンドに対するデバイスの応答方法を制御する。 0: デバイスは OPERATION コマンドの b[7:6] を無視する。 1: デバイスは OPERATION コマンドの b[7:6] に応答する。デバイスの起動に RUN _n ピンのアサートも必要となる。 |
| b[0] | On_off_config_control_fast_off | デバイスにオフするように指示するときの RUN _n ピンのターンオフ動作。 0: プログラムされた TOFF_DELAY を使用する。 1: 出力をオフし、可能な限り迅速にエネルギー伝送を停止する。デバイスは、出力電圧の立ち下がり時間を短縮するための電流シンクを行わない。 |

Note: 電力変換を開始するには、常に RUN ピンが“H”でなければならない。電力変換は、RUN が“L”に遷移すると常に停止する。

OPERATION

OPERATION コマンドは、RUN_n ピンからの入力と組み合わせて、デバイスをオン/オフするために使います。デバイスの出力電圧をマージン電圧のハイまたはローに設定する場合にも使用します。デバイスは、後続の OPERATION コマンドか RUN_n ピンの状態遷移が他のモードへの変更を指示するまで、このコマンドによって指示された動作モードにとどまります。デバイスが MARGIN_LOW/HIGH ステートで格納された場合は、次の RESET または POWER_ON サイクルで、そのステートまでランプします。OPERATION コマンドが変更された場合、例えば ON が MARGIN_LOW に変更された場合、出力は VOUT_TRANSITION_RATE で設定された一定の勾配で変化します。デフォルトの動作コマンドはシーケンス・オフです。V_{IN} をデフォルトのデバイスに印加し、VOUT_CONFIG 抵抗構成設定ピンを実装していない場合、出力がオフするように指示されます。電圧抵抗構成設定ピンを実装している場合、出力動作はオンに設定され、デバイスは、抵抗によって構成された出力電圧に安定化します。

LTC3887 では、マージン・ハイ (フォルト無視) およびマージン・ロー (フォルト無視) 動作はサポートされていません。

デバイスは、デフォルトでシーケンス・オフ状態になります。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

表 4. OPERATION コマンドの詳細情報
On_Off_Config_Use_PMBus が Operation_Control を
イネーブルした場合の OPERATION コマンドのデータ内容

| シンボル | 動作 | 値 |
|------|----------|------|
| ビット | | |
| 機能 | 即座にオフ | 0x00 |
| | ターンオン | 0x80 |
| | マージン・ロー | 0x98 |
| | マージン・ハイ | 0xA8 |
| | シーケンス・オフ | 0x40 |

PMBus コマンドの詳細

チャンネルのオン/オフ指示に OPERATION コマンドを使用しないように On_Off_Config を構成した場合の OPERATION コマンドのデータ内容

| シンボル | 動作 | 値 |
|------|---------|------|
| ビット | | |
| 機能 | 公称値で出力 | 0x80 |
| | マージン・ロー | 0x98 |
| | マージン・ハイ | 0xA8 |

注記: 予約済みの値を書き込もうとすると CML フォルトが発生する。

MFR_RESET

このコマンドは、ユーザーが LTC3887 のリセット動作を実行する手段を提供します。

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトがありません。

PWM 構成

| コマンド名 | CMD コード | 説明 | タイプ | ページ指定 | データ形式 | 単位 | NVM | デフォルト値 |
|------------------------|---------|---|----------|-------|-------|-----|-----|---------------|
| MFR_PWM_MODE_LTC3887 | 0xD4 | 各チャンネルの PWM エンジンの設定。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0x01 |
| MFR_PWM_CONFIG_LTC3887 | 0xF5 | 位相設定をはじめとする DC/DC コントローラの多数のパラメータを設定する。 | R/W Byte | N | Reg | | Y | 0x10 |
| FREQUENCY_SWITCH | 0x33 | コントローラのスイッチング周波数。 | R/W Word | N | L11 | kHz | Y | 350 0xFABC |

MFR_PWM_MODE_LTC3887

MFR_PWM_MODE_LTC3887 コマンドによって、ユーザーは PWM コントローラが不連続モード (パルス・スキップ・モード) または強制連続導通モードのいずれを使用するかをプログラムできます。このコマンドのビット 7 およびビット 1 は各チャンネルのループ利得に影響を与えるため、外付けの補償ネットワークに変更が必要になる場合があります。

| ビット | 意味 |
|-----|--|
| 7 | ILIMIT のレンジ 0 - 低電流レンジ 1 - 高電流レンジ |
| 6 | サーボ・モードをイネーブルする |
| 5 | 予備 |
| 4 | 予備 |
| 3 | 予備 |
| 2 | 予備 |
| 1 | 電圧レンジ 0 - 高電圧レンジ (最大 5.5V) 1 - 低電圧レンジ (最大 2.75V) |
| 0 | PWM モード 0 - 不連続モード 1 - 連続モード |

PMBus コマンドの詳細

チャンネルがランプ・アップするときは、このコマンドの値に関わらず、PWM モードは常に不連続になります。

このコマンドのビット7は、デバイスが IOUT_OC_FAULT_LIMIT コマンドの高電流レンジまたは低電流レンジのいずれで動作するかを決定します。このビットの値を変更すると、PWM ループの利得と補償が変化します。出力がアクティブな状態でこのビットの値を変更すると、システムに有害な結果をもたらす可能性があります。

ビット6を0に設定すると、LTC3887がオフ、ランプ・オン、ランプ・オフ中にサーボ動作しません。1に設定すると、出力サーボがイネーブルされます。出力セットポイントDACは、READ_VOUT_ADCとVOUT_COMMAND(または該当するマージン設定値)の差を最小化するように、徐々に調整されます。

このコマンドのビット1は、デバイスが高電圧レンジまたは低電圧レンジのいずれで動作するかを決定します。このビットの値を変更すると、PWM ループの利得と補償が変化します。このビットの値は、出力がアクティブのときに変更できません。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

MFR_PWM_CONFIG_LTC3887

MFR_PWM_CONFIG_LTC3887 コマンドは、SYNC 信号の立ち上がりエッジを基準としたスイッチング周波数の位相オフセットを設定します。このコマンドを処理するには、デバイスがOFF状態になければなりません。RUNピンを“L”にするか、デバイスにオフするように指示する必要があります。デバイスがRUN状態にある間にこのコマンドを書き込むと、無視されBUSYフォルトがアサートされます。ビット7によって、PolyPhase レール・アプリケーションで、リモート差動電圧検出が可能になります。

| ビット | 意味 | |
|----------|---|-----------|
| 7 | EA 接続 0 - 独立したEAおよびチャンネル出力 1 - PolyPhase 動作の場合、EA1がEA0入力を使用 | |
| 6 | 予備。 | |
| 5 | 予備 | |
| 4 | SHARE_CLKを、以下の条件でイネーブルする。 このビットが1の場合、 $V_{IN} > V_{IN_ON}$ になるまでSHARE_CLKピンは解放されない。 $V_{IN} < V_{IN_OFF}$ の間、SHARE_CLKピンは“L”に引き下げられる。このビットが0の場合、VINの初期印加を除き、 $V_{IN} < V_{IN_OFF}$ であってもSHARE_CLKピンは“L”に引き下げられない。 | |
| 3 | 予備 | |
| ビット[2:0] | チャンネル0(度) | チャンネル1(度) |
| 000b | 0 | 180 |
| 001b | 90 | 270 |
| 010b | 0 | 240 |
| 011b | 0 | 120 |
| 100b | 120 | 240 |
| 101b | 60 | 240 |
| 110b | 120 | 300 |

PolyPhase アプリケーションでは、両方のVOUTピンを相互に接続し、両方のITHピンを相互に接続している場合にのみ、ビット7をアサートしてください。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細

FREQUENCY_SWITCH

FREQUENCY_SWITCH コマンドは、PMBus デバイスのスイッチング周波数を kHz 単位で設定します。

対応する周波数は次のとおりです。

| 値[15:0] | 得られる周波数(TYP) |
|---------|--------------|
| 0x0000 | 外部発振器 |
| 0xF3E8 | 250kHz |
| 0xFABC | 350kHz |
| 0xFB52 | 425kHz |
| 0xFBE8 | 500kHz |
| 0x023F | 575kHz |
| 0x028A | 650kHz |
| 0x02EE | 750kHz |
| 0x03E8 | 1000kHz |

このコマンドを処理するには、デバイスがOFF状態になければなりません。RUNピンを“L”にするか、デバイスにオフするように指示する必要があります。デバイスがRUN状態にある間にこのコマンドを書き込むと、無視されBUSYフォルトがアサートされます。デバイスにオフを指示し、周波数を変更すると、PLLが新しい周波数にロックする際にPLL_UNLOCKステータスが検出される場合があります。

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

電圧

入力電圧と制限値

| コマンド名 | CMDコード | 説明 | タイプ | ページ指定 | データ形式 | 単位 | NVM | デフォルト値 |
|--------------------|--------|---------------------|----------|-------|-------|----|-----|----------------|
| VIN_OV_FAULT_LIMIT | 0x55 | 入力電源の過電圧フォルト・リミット。 | R/W Word | N | L11 | V | Y | 15.5 0xD3E0 |
| VIN_UV_WARN_LIMIT | 0x58 | 入力電源の低電圧警告リミット。 | R/W Word | N | L11 | V | Y | 6.3 0xCB26 |
| VIN_ON | 0x35 | デバイスが電力変換を開始する入力電圧。 | R/W Word | N | L11 | V | Y | 6.5 0xCB40 |
| VIN_OFF | 0x36 | デバイスが電力変換を停止する入力電圧。 | R/W Word | N | L11 | V | Y | 6.0 0xCB00 |

VIN_OV_FAULT_LIMIT

VIN_OV_FAULT_LIMIT コマンドは、入力過電圧フォルトを発生する入力電圧の測定値をV単位で設定します。フォルトはA/Dコンバータによって検出されるため、最大120msのレイテンシが生じます。

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

VIN_UV_WARN_LIMIT

VIN_UV_WARN_LIMIT コマンドは、入力低電圧警告を発生する入力電圧の値を設定します。警告はA/Dコンバータによって検出されるため、最大120msのレイテンシが生じます。

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細

VIN_ON

VIN_ON コマンドは、デバイスが電力変換を開始する入力電圧をV単位で設定します。

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

VIN_OFF

VIN_OFF コマンドは、デバイスが電力変換を停止する入力電圧をV単位で設定します。

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

出力電圧と制限値

| コマンド名 | CMDコード | 説明 | タイプ | ページ指定 | データ形式 | 単位 | NVM | デフォルト値 |
|---------------------|--------|---|----------|-------|-------|----|-----|-------------------|
| VOUT_MODE | 0x20 | 出力電圧の形式および指数 (2^{-12})。 | R Byte | Y | Reg | | | 2^{-12} 0x14 |
| VOUT_MAX | 0x24 | 指示した出力電圧に対する VOUT_MARGIN_HIGH を含む上限。 | R/W Word | Y | L16 | V | Y | 5.6 0x599A |
| VOUT_OV_FAULT_LIMIT | 0x40 | 出力過電圧フォルト・リミット。 | R/W Word | Y | L16 | V | Y | 1.1 0x119A |
| VOUT_OV_WARN_LIMIT | 0x42 | 出力の過電圧警告リミット。 | R/W Word | Y | L16 | V | Y | 1.075 0x1133 |
| VOUT_MARGIN_HIGH | 0x25 | マージン・ハイの出力電圧設定ポイント。VOUT_COMMAND よりも大きくなければならない。 | R/W Word | Y | L16 | V | Y | 1.05 0x10CD |
| VOUT_COMMAND | 0x21 | 公称出力電圧の設定ポイント。 | R/W Word | Y | L16 | V | Y | 1.0 0x1000 |
| VOUT_MARGIN_LOW | 0x26 | マージン・ローの出力電圧設定ポイント。VOUT_COMMAND よりも小さくなければならない。 | R/W Word | Y | L16 | V | Y | 0.95 0x0F33 |
| VOUT_UV_WARN_LIMIT | 0x43 | 出力の低電圧警告リミット。 | R/W Word | Y | L16 | V | Y | 0.925 0x0ECD |
| VOUT_UV_FAULT_LIMIT | 0x44 | 出力低電圧フォルト・リミット。 | R/W Word | Y | L16 | V | Y | 0.9 0x0E66 |
| MFR_VOUT_MAX | 0xA5 | VOUT_OV_FAULT_LIMIT を含む最大許容出力電圧。 | R Word | Y | L16 | V | | 5.7 0x5B33 |

VOUT_MODE

出力電圧の指示と読み出しに使用する VOUT_MODE コマンドのデータ・バイトは、3ビットのモード (リニア形式のみサポート) と、出力電圧の読み出し/書き込みコマンドで使用する指数を表す5ビットのパラメータから構成されます。

この読み出し専用コマンドは1バイトのデータを伴います。

VOUT_MAX

VOUT_MAX コマンドは、VOUT_MARGIN_HIGH を含む任意の電圧の上限を設定します。デバイスは、他のいかなるコマンドまたはその組み合わせにも関係なく、この設定を指示できます。このコマンドの最大許容値は、5.7V です。LTC3887 が生成できる最大出力電圧は、VOUT_MARGIN_HIGH を含めて 5.5V です。ただし、VOUT_OV_FAULT_LIMIT は、最大 5.7V まで指示できます。

このコマンドは、Linear_16u形式の2バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細

VOUT_OV_FAULT_LIMIT

VOUT_OV_FAULT_LIMIT コマンドは、出力過電圧フォルトを発生する、検出ピンにおける出力電圧の測定値を V 単位で設定します。

スイッチャがアクティブである間に VOUT_OV_FAULT_LIMIT を変更した場合、新しい値が確実に設定されるように、コマンドの変更後 10ms 待機してください。デバイスは計算によるビジー状態を表示します。MFR_COMMON のビット 5 と 6 をモニタしてください。デバイスがビジーの場合、いずれかのビットが“L”になります。上記の待機時間を守らずに、VOUT_COMMAND を変更前の過電圧リミットよりも高い電圧に変更すると、一時的に OV 状態が検出され、好ましくない動作をもたらしたり、スイッチャに損傷を与える恐れがあります。

VOUT_OV_FAULT_RESPONSE が OV_PULLDOWN に設定されている場合、VOUT_OV_FAULT が伝播されても、 $\overline{\text{GPIO}}$ ピンはアサートされません。LTC3887 は、過電圧状態が検出されると、すぐに TG を“L”に引き下げ、BG ビットをアサートします。

このコマンドは、Linear_16u 形式の 2 バイトのデータを伴います。

VOUT_OV_WARN_LIMIT

VOUT_OV_WARN_LIMIT コマンドは、出力過電圧警告を発生する、検出ピンにおける出力電圧の測定値を V 単位で設定します。このリミットを超えたか否かの判断には、READ_VOUT の値を使用します。

VOUT_OV_WARN_LIMIT の超過に対して、デバイスは次のように応答します。

- STATUS_BYTE の NONE_OF_THE_ABOVE ビットをセットする。
- STATUS_WORD の VOUT ビットをセットする。
- STATUS_VOUT コマンドの VOUT 過電圧警告ビットをセットする。
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートしてホストに通知する。

この状態は ADC によって検出するため、最大 120ms の応答時間を要する場合があります。

このコマンドは、Linear_16u 形式の 2 バイトのデータを伴います。

VOUT_MARGIN_HIGH

VOUT_MARGIN_HIGH コマンドは、OPERATION コマンドが「マージン・ハイ」に設定された場合の、変更後の出力電圧を V 単位でデバイスに読み込みます。この値は VOUT_COMMAND より大きくなければなりません。VOUT_MARGIN_HIGH に対する最大保証値は、5.5V です。

このコマンドは、TON_RISE と TOFF_FALL の出力シーケンス実行中は処理されません。出力がアクティブな定常状態にある間に、このコマンドを変更すると、VOUT_TRANSITION_RATE が適用されます。

このコマンドは、Linear_16u 形式の 2 バイトのデータを伴います。

VOUT_COMMAND

VOUT_COMMAND は 2 バイトから構成され、出力電圧を V 単位で設定するために使用します。VOUT に対する最大保証値は、5.5V です。

このコマンドは、TON_RISE と TOFF_FALL の出力シーケンス実行中は処理されません。出力がアクティブな定常状態にある間に、このコマンドを変更すると、VOUT_TRANSITION_RATE が適用されます。

このコマンドは、Linear_16u 形式の 2 バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細

VOUT_MARGIN_LOW

VOUT_MARGIN_LOW コマンドは、OPERATION コマンドが「マージン・ロー」に設定された場合の、変更後の出力電圧をV単位でデバイスに読み込みます。この値はVOUT_COMMANDより小さくなければなりません。

このコマンドは、TON_RISEとTOFF_FALLの出力シーケンス実行中は処理されません。出力がアクティブな定常状態にある間に、このコマンドを変更すると、VOUT_TRANSITION_RATEが適用されます。

このコマンドは、Linear_16u形式の2バイトのデータを伴います。

VOUT_UV_WARN_LIMIT

VOUT_UV_WARN_LIMIT コマンドは、出力低電圧警告を発生する、検出ピンにおける出力電圧の測定値をV単位で読み出します。

VOUT_UV_WARN_LIMITの超過に対して、デバイスは次のように応答します。

- STATUS_BYTEのNONE_OF_THE_ABOVEビットをセットする。
- STATUS_WORDのVOUTビットをセットする。
- STATUS_VOUTコマンドのVOUT低電圧警告ビットをセットする。
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートしてホストに通知する。

この状態はADCによって検出するため、最大120msの応答時間を要する場合があります。

このコマンドは、Linear_16u形式の2バイトのデータを伴います。

VOUT_UV_FAULT_LIMIT

VOUT_UV_FAULT_LIMIT コマンドは、出力低電圧フォルトを発生する、検出ピンにおける出力電圧の測定値をV単位で読み出します。

このコマンドは、Linear_16u形式の2バイトのデータを伴います。

MFR_VOUT_MAX

MFR_VOUT_MAX コマンドは、VOUT_OV_FAULT_LIMITを含むチャンネルごとの最大出力電圧(V単位)です。出力電圧を高電圧レンジに設定した場合(MFR_PWM_MODE_LTC3887のビット1を0に設定)、チャンネル0とチャンネル1のMFR_VOUT_MAXは5.7Vです。出力電圧を低電圧レンジに設定した場合(MFR_PWM_MODE_LTC3887のビット1を1に設定)、両方のチャンネルのMFR_VOUT_MAXは2.75Vです。これより大きな値をVOUT_COMMANDの値に入力すると、CMLフォルトが発生し、出力電圧の設定は最大レベルにクランプされます。

この読み出し専用コマンドは、Linear_16u形式の2バイトのデータを伴います。

電流

入力電流の較正

| コマンド名 | CMDコード | 説明 | タイプ | ページ指定 | データ形式 | 単位 | NVM | デフォルト値 |
|----------------|--------|----------------------------------|----------|-------|-------|----|-----|-----------------|
| MFR_IIN_OFFSET | 0xE9 | デバイスのIQを考慮するために入力電流への追加に使用される係数。 | R/W Word | Y | L11 | A | Y | 0.050 0x9333 |

PMBus コマンドの詳細

MFR_IIN_OFFSET

MFR_IIN_OFFSET コマンドを使用して、各チャンネルの静止電流を表す入力電流を設定できます。低出力電流において正確な結果を得るには、デバイスを連続導通モードで動作させる必要があります。

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

出力電流の較正

| コマンド名 | CMDコード | 説明 | タイプ | ページ指定 | データ形式 | 単位 | NVM | デフォルト値 |
|----------------------|--------|--|----------|-------|-------|----|-----|----------------|
| IOUT_CAL_GAIN | 0x38 | 検出電流に対する電流検出ピンの電圧の比。固定された電流検出抵抗を使用しているデバイスの場合はmΩ単位の抵抗値となる。 | R/W Word | Y | L11 | mΩ | Y | 1.8 0xBB9A |
| MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC | 0xF6 | 電流検出素子の温度係数。 | R/W Word | Y | CF | | Y | 3900 0x0F3C |

IOUT_CAL_GAIN

IOUT_CAL_GAIN コマンドは、電流検出抵抗の抵抗値をmΩ単位で設定します。(MFR_IOUT_CAL_GAIN_TCも参照してください。)

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC

MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC コマンドによって、ユーザーは検出抵抗IOUT_CAL_GAINまたはインダクタDCRの温度係数を、ppm/°C単位でプログラムできます。

このコマンドは、16ビットの2の補数の整数形式で表される2バイトのデータ(ppm)を伴います。N = $-32768 \sim 32767 \cdot 10^{-6}$ 。公称温度は27°Cであることから、IOUT_CAL_GAINには次の係数が掛けられます。

$[1.0 + \text{MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC} \cdot (\text{READ_TEMPERATURE_1} - 27)]$ DCR 検出における標準値は3900です。

IOUT_CAL_GAINとMFR_IOUT_CAL_GAIN_TCは、次を含む全ての電流パラメータに影響を与えます: READ_IOUT、READ_IIN、IOUT_OC_FAULT_LIMIT、およびIOUT_OC_WARN_LIMIT。

入力電流

| コマンド名 | CMDコード | 説明 | タイプ | ページ指定 | データ形式 | 単位 | NVM | デフォルト値 |
|-------------------|--------|---------------|----------|-------|-------|----|-----|----------------|
| IIN_OC_WARN_LIMIT | 0x5D | 入力の過電流警告リミット。 | R/W Word | N | L11 | A | Y | 10.0 0xD280 |

IIN_OC_WARN_LIMIT

IIN_OC_WARN_LIMIT コマンドは、入力過電流警告を発生する入力電流の値をA単位で設定します。このリミットを超えたか否かの判断には、READ_IINの値を使用します。

IIN_OC_WARN_LIMITの超過に対して、デバイスは次のように応答します。

- STATUS_BYTEのOTHERビットをセットする。
- STATUS_WORD上位バイトのINPUTビットをセットする。

PMBus コマンドの詳細

- STATUS_INPUT コマンドの IIN 過電流警告ビットをセットする。
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートしてホストに通知する。

この状態は ADC によって検出するため、最大 120ms の応答時間を要する場合があります。

このコマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

出力電流

| コマンド名 | CMDコード | 説明 | タイプ | ページ指定 | データ形式 | 単位 | NVM | デフォルト値 |
|---------------------|--------|-----------------|----------|-------|-------|----|-----|-----------------|
| IOUT_OC_FAULT_LIMIT | 0x46 | 出力過電流フォルト・リミット。 | R/W Word | Y | L11 | A | Y | 29.75 0xDBB8 |
| IOUT_OC_WARN_LIMIT | 0x4A | 出力の過電流警告リミット。 | R/W Word | Y | L11 | A | Y | 20.0 0xDA80 |

IOUT_OC_FAULT_LIMIT

IOUT_OC_FAULT_LIMIT コマンドは、ピーク出力電流リミットを A 単位で設定します。コントローラに電流制限が適用されている場合、過電流検出回路が過電流フォルト状態を表示します。過電流フォルト・リミットのプログラム値は、下表のディスクリートの値のいずれか最も近いものに丸められます。

| | |
|----------------------|---|
| 25mV/IOUT_CAL_GAIN | 低電流レンジ(1.5x公称ループ利得) MFR_PWM_MODE_LTC3887 [7]=0 |
| 28.6mV/IOUT_CAL_GAIN | |
| 32.1mV/IOUT_CAL_GAIN | |
| 35.7mV/IOUT_CAL_GAIN | |
| 39.3mV/IOUT_CAL_GAIN | |
| 42.9mV/IOUT_CAL_GAIN | |
| 46.4mV/IOUT_CAL_GAIN | |
| 50mV/IOUT_CAL_GAIN | 高電流レンジ(公称ループ利得) MFR_PWM_MODE_LTC3887 [7]=1 |
| 37.5mV/IOUT_CAL_GAIN | |
| 42.9mV/IOUT_CAL_GAIN | |
| 48.2mV/IOUT_CAL_GAIN | |
| 53.6mV/IOUT_CAL_GAIN | |
| 58.9mV/IOUT_CAL_GAIN | |
| 64.3mV/IOUT_CAL_GAIN | |
| 69.6mV/IOUT_CAL_GAIN | |
| 75mV/IOUT_CAL_GAIN | |

Note : これは電流波形のピークです。READ_IOUT コマンドは、平均電流を返します。ピーク出力電流リミットは、次式を使い、MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC の値に基づいて温度補正されます。

$$\text{IOUT_OC_FAULT_LIMIT} = \text{IOUT_CAL_GAIN} \cdot (1 + \text{MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC} \cdot (\text{READ_TEMPERTURE_1} - 27.0))$$

LTpowerPlay の GUI は、自動的に電圧を電流に変換します。

IOUT のレンジは、MFR_PWM_MODE_LTC3887 コマンドのビット 7 によって設定されます。

TON_RISE と TOFF_FALL の期間は、IOUT_OC_FAULT_LIMIT を無視します。

このコマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細

IOUT_OC_WARN_LIMIT

このコマンドは、出力過電流警告を発生する出力電流の値を A 単位で設定します。このリミットを超えたか否かの判断には、READ_IOUT の値を使用します。

IOUT_OC_WARN_LIMIT の超過に対して、デバイスは次のように応答します。

- STATUS_BYTE の NONE_OF_THE_ABOVE ビットをセットする。
- STATUS_WORD の IOUT ビットをセットする。
- STATUS_IOUT コマンドの IOUT 過電流警告ビットをセットする。
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートしてホストに通知する。

この状態は ADC によって検出するため、最大 120ms の応答時間を要する場合があります。

TON_RISE と TOFF_FALL の期間は、IOUT_OC_FAULT_LIMIT を無視します。

このコマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

温度

外部温度の較正

| コマンド名 | CMD コード | 説明 | タイプ | ページ指定 | データ形式 | 単位 | NVM | デフォルト値 |
|-------------------|---------|--------------------------------------|-------------|-------|-------|----|-----|-------------|
| MFR_TEMP_1_GAIN | 0xF8 | 外付け温度センサの勾配を設定する。 | R/W Word | Y | CF | | Y | 1 0x4000 |
| MFR_TEMP_1_OFFSET | 0xF9 | 外付け温度センサの -273.1°C を基準としたオフセットを設定する。 | R/W Word | Y | L11 | C | Y | 0 0x8000 |

MFR_TEMP_1_GAIN

MFR_TEMP_1_GAIN コマンドは、素子の非理想性およびインダクタ温度を遠隔測定していることで生じる誤差を考慮して、外付け温度センサの勾配を補正します。

このコマンドは、16 ビットの 2 の補数の整数形式で表される 2 バイトのデータを伴います。N = 8192 ~ 32767。実効的な補正値は $N \cdot 2^{-14}$ です。公称値は 1 です。

MFR_TEMP_1_OFFSET

MFR_TEMP_1_OFFSET コマンドは、素子の非理想性およびインダクタ温度を遠隔測定していることで生じる誤差を考慮して、外付け温度センサのオフセットを補正します。

このコマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。デバイスは、値 -273.15 から計算を開始するため、デフォルトの補正値は 0 です。

PMBus コマンドの詳細

外部温度リミット

| コマンド名 | CMDコード | 説明 | タイプ | ページ指定 | データ形式 | 単位 | NVM | デフォルト値 |
|----------------|--------|----------------|----------|-------|-------|----|-----|-----------------|
| OT_FAULT_LIMIT | 0x4F | 外部過熱フォルト・リミット。 | R/W Word | Y | L11 | C | Y | 100.0 0xEB20 |
| OT_WARN_LIMIT | 0x51 | 外部過熱警告リミット。 | R/W Word | Y | L11 | C | Y | 85.0 0xEAA8 |
| UT_FAULT_LIMIT | 0x53 | 外部低温フォルト・リミット。 | R/W Word | Y | L11 | C | Y | -40.0 0xE580 |

OT_FAULT_LIMIT

OT_FAULT_LIMIT コマンドは、過熱フォルトを発生する外部検出温度の値を°C単位で設定します。このリミットを超えたか否かの判断には、READ_TEMPERATURE_1の値を使用します。

この状態はADCによって検出するため、最大120msの応答時間を要する場合があります。

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

OT_WARN_LIMIT

OT_WARN_LIMIT コマンドは、過熱警告を発生する外部検出温度の値を°C単位で設定します。このリミットを超えたか否かの判断には、READ_TEMPERATURE_1の値を使用します。

OT_WARN_LIMITの超過に対して、デバイスは次のように応答します。

- STATUS_BYTEのTEMPERATUREビットをセットする。
- STATUS_TEMPERATUREコマンドの過熱警告ビットをセットする。
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートしてホストに通知する。

この状態はADCによって検出するため、最大120msの応答時間を要する場合があります。

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

UT_FAULT_LIMIT

UT_FAULT_LIMIT コマンドは、低温フォルトを発生する外部検出温度の値を°C単位で設定します。このリミットを超えたか否かの判断には、READ_TEMPERATURE_1の値を使用します。

注記: 温度センサを実装していない場合、UT_FAULT_LIMITを-275°Cに、UT_FAULT_LIMIT応答を「無視」に設定することで、 $\overline{\text{ALERT}}$ がアサートされないようにすることができます。

この状態はADCによって検出するため、最大120msの応答時間を要する場合があります。

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細

タイミング

タイミング - オン・シーケンス/ランプ

| コマンド名 | CMDコード | 説明 | タイプ | ページ指定 | データ形式 | 単位 | NVM | デフォルト値 |
|----------------------|--------|--|----------|-------|-------|------|-----|-------------|
| TON_DELAY | 0x60 | RUN および OPERATION (または、そのいずれか) によるオンから、出力レールのターンオンまでの時間。 | R/W Word | Y | L11 | ms | Y | 0.0 0x8000 |
| TON_RISE | 0x61 | 出力の立ち上がり開始から、出力電圧が VOUT コマンドで指定された値に達するまでの時間。 | R/W Word | Y | L11 | ms | Y | 8.0 0xD200 |
| TON_MAX_FAULT_LIMIT | 0x62 | TON_RISE の開始から、VOUT が VOUT_UV_FAULT_LIMIT をよぎるまでの最大時間。 | R/W Word | Y | L11 | ms | Y | 10.0 0xD280 |
| VOUT_TRANSITION_RATE | 0x27 | VOUT に新しい値を指定したときに出力が変化する速度。 | R/W Word | Y | L11 | V/ms | Y | 0.25 0xAA00 |

TON_DELAY

TON_DELAY コマンドは、スタート条件を受信してから、出力電圧が立ち上がりはじめるまでの時間を ms 単位で設定します。有効な値の範囲は、0ms ~ 83 秒です。

このコマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

TON_RISE

TON_RISE コマンドは、出力が立ち上がりはじめてから、レギュレーション範囲に入るまでの時間を ms 単位で設定します。有効な値の範囲は、0 ~ 1.3 秒です。TON_RISE イベントの間、デバイスは不連続モードで動作します。TON_RISE が 0.25ms より短い場合、LTC3887 のデジタル・スロープ制御はバイパスされます。出力電圧の遷移は PWM スイッチャのアナログ性能で決まります。許容される勾配の最大値は 4V/ms です。

このコマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

TON_MAX_FAULT_LIMIT

TON_MAX_FAULT_LIMIT コマンドは、出力電圧が低電圧フォルト・リミットに到達しないときに、デバイスがどれだけの時間パワーアップを試みるかを ms 単位で設定します。

データ値の 0ms は制限なしを意味します。つまり、デバイスは出力電圧の立ち上げを無期限で試みます。リミットの最大値は 83 秒です。

このコマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

VOUT_TRANSITION_RATE

PMBus デバイスが、出力電圧を変化させる VOUT_COMMAND または OPERATION (マージン・ハイ、マージン・ロー) のいずれかを受信したときに、出力電圧が変化する速度を V/ms 単位で設定します。ここで指定した変化率は、デバイスにオン/オフするように指示した場合には適用されません。

0.1V/ms よりも大きい値を推奨します。

このコマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細

タイミング - オフ・シーケンス/ランプ

| コマンド名 | CMD コード | 説明 | タイプ | ページ 指定 | データ 形式 | 単位 | NVM | デフォルト 値 |
|---------------------|------------|--|----------|-----------|-----------|----|-----|---------------|
| TOFF_DELAY | 0x64 | RUNおよびOPERATION(またはそのいずれか)によるオフからTOFF_FALLランプの開始までの時間。 | R/W Word | Y | L11 | ms | Y | 0.0 0x8000 |
| TOFF_FALL | 0x65 | 出力の立ち下がり開始から、出力が0Vに達するまでの時間。 | R/W Word | Y | L11 | ms | Y | 8.0 0xD200 |
| TOFF_MAX_WARN_LIMIT | 0x66 | TOFF_FALLが完了してから、デバイスが12.5%未満に減衰するまでの最大許容時間。 | R/W Word | Y | L11 | ms | Y | 150 0xF258 |

TOFF_DELAY

TOFF_DELAY コマンドは、ストップ条件を受信してから、出力電圧が立ち下がり始めるまでの時間をms単位で設定します。有効な値の範囲は、0～83秒です。

このコマンドは、フォルト・イベントから除外されています。

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

TOFF_FALL

TOFF_FALL コマンドは、ターンオフ遅延時間の終了時点から、出力電圧のゼロが指示されるまでの時間をms単位で設定します。これは、V_{OUT}DACのランプ時間です。V_{OUT}DACが0になると、デバイスはトライステート状態に移行します。

デバイスは、プログラムされた動作モードを維持します。定義されたTOFF_FALLの期間は、デバイスを連続導通モードに設定してください。最大値を読み込むと、デバイスは可能な限り最大の時間をかけてランプ・ダウンします。サポートされる最短の立ち下がり時間は0.25msです。0.25msよりも小さな値を設定した場合は、0.25msでランプ・ダウンします。立ち下がり時間の最大値は1.3秒です。許容される勾配の最大値は4V/msです。

不連続導通モードの場合、コントローラは負荷からの電流を流さないため、立ち下がり時間は出力容量と負荷電流によって決まります。

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

TOFF_MAX_WARN_LIMIT

TOFF_MAX_WARN_LIMIT コマンドは、デバイスがどれだけの時間出力のターンオフを試みた後に警告をアサートするかをms単位で設定します。V_{OUT}電圧が、プログラムされたV_{OUT}COMMANDの値の12.5%を下回った時点、出力のターンオフ完了と見なします。計算は、TOFF_FALLの完了後に開始されます。V_{OUT}DECAYがディスエーブルされている状態では、TOFF_MAX_WARNはイネーブルされません。

データ値の0msは制限なしを意味します。つまり、デバイスは出力電圧のターンオフを無期限で試みます。有効な値は、0を除いた120ms～524秒です。

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

再起動の前提条件

| コマンド名 | CMD コード | 説明 | タイプ | ページ 指定 | データ 形式 | 単位 | NVM | デフォルト 値 |
|-------------------|------------|--|----------|-----------|-----------|----|-----|---------------|
| MFR_RESTART_DELAY | 0xDC | RUNの実際のアクティブ・エッジからRUNの仮想のアクティブ・エッジまでの遅延。 | R/W Word | Y | L11 | ms | Y | 500 0xFBE8 |

PMBus コマンドの詳細

MFR_RESTART_DELAY

このコマンドは、RUNのオフ時間の最小値をms単位で指定します。デバイスは、RUNの立ち下がりエッジを検出すると、このコマンドで設定した時間だけRUNピンを“L”に保持します。設定の推奨最小値は136msです。

Note：再起動遅延は、リトライ遅延とは異なります。再起動遅延では、指定された時間だけRUNを“L”に保持した後、標準の起動シーケンスを開始します。最小の再起動遅延は、TOFF_DELAY + TOFF_FALL + 136msに等しくなります。有効な設定は、136ms～65.52秒の範囲の16ms刻みの値です。最小オフ時間を確保するために、MFR_RESTART_DELAYには目標値より16ms長い時間を設定してください。MFR_CHAN_CONFIG_LTC3887の出力減衰ビット1がイネーブルに設定されていて、出力がプログラムされた値の12.5%未満まで減衰するのに長時間を要した場合は、RUNピンが“H”に引き上げられた後の出力レールのオフ期間がMFR_RESTART_DELAYの設定値よりも長くなる可能性があります。

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

フォルト応答

フォルト応答 - 全フォルト

| コマンド名 | CMDコード | 説明 | タイプ | ページ指定 | データ形式 | 単位 | NVM | デフォルト値 |
|-----------------|--------|--------------------|----------|-------|-------|----|-----|---------------|
| MFR_RETRY_DELAY | 0xDB | フォルト再試行モードでの再試行間隔。 | R/W Word | Y | L11 | ms | Y | 350 0xFABC |

MFR_RETRY_DELAY

このコマンドは、フォルト応答が、指定した間隔でコントローラにリトライ動作させる設定の場合に、その再起動間隔をms単位で設定します。このコマンドの値は、リトライを必要とする全てのフォルト応答に適用されます。リトライ時間は、障害のあるチャンネルでフォルトが検出された時点を起点とします。有効な設定は、120ms～83.88秒の範囲の10μs刻みの値です。

Note：リトライの遅延時間は、MFR_RETRY_DELAYコマンドまたは安定化出力がプログラム値の12.5%未満に減衰するまでの時間の、いずれか長い方で決まります。出力が自然に減衰するまでの時間が長すぎる場合、MFR_CHAN_CONFIG_LTC3887のビット0をアサートすることでMFR_RETRY_DELAYコマンドの電圧要件を解除できます。

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

フォルト応答 - 入力電圧

| コマンド名 | CMDコード | 説明 | タイプ | ページ指定 | データ形式 | 単位 | NVM | デフォルト値 |
|-----------------------|--------|------------------------------------|----------|-------|-------|----|-----|--------|
| VIN_OV_FAULT_RESPONSE | 0x56 | 入力電源の過電圧フォルトが検出されたとき、デバイスが取るアクション。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0x80 |

VIN_OV_FAULT_RESPONSE

VIN_OV_FAULT_RESPONSEコマンドは、入力の過電圧フォルトに対する応答としてデバイスが取るべきアクションを指示します。データ・バイトは表9に示した形式です。

デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- STATUS_BYTEのNONE_OF_THE_ABOVEビットをセットする。
- STATUS_WORD上位バイトのINPUTビットをセットする。

PMBus コマンドの詳細

- STATUS_INPUT コマンドの VIN 過電圧フォルト・ビットをセットする。
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートしてホストに通知する。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

フォルト応答 - 出力電圧

| コマンド名 | CMD コード | 説明 | タイプ | ページ 指定 | データ 形式 | 単位 | NVM | デフォルト 値 |
|------------------------|------------|-------------------------------------|----------|-----------|-----------|----|-----|------------|
| VOUT_OV_FAULT_RESPONSE | 0x41 | 出力過電圧フォルトが検出されたときのデバイスの動作。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0xB8 |
| VOUT_UV_FAULT_RESPONSE | 0x45 | 出力低電圧フォルトが検出されたときのデバイスの動作。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0xB8 |
| TON_MAX_FAULT_RESPONSE | 0x63 | TON_MAX_FAULT イベントが検出されたときのデバイスの動作。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0xB8 |

VOUT_OV_FAULT_RESPONSE

VOUT_OV_FAULT_RESPONSE コマンドは、出力の過電圧フォルトに対する応答としてデバイスが取るべきアクションを指示します。データ・バイトは表5に示した形式です。

デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- STATUS_BYTE の VOUT_OV ビットをセットする。
- STATUS_WORD の VOUT ビットをセットする。
- STATUS_VOUT コマンドの VOUT 過電圧フォルト・ビットをセットする。
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートしてホストに通知する。

このコマンドは、以下に示す値のみを認識します。

0x80 - デバイスはシャットダウンし(出力をディスエーブル)、リトライは試みません。出力は、フォルトがクリアされるまでディスエーブルされたままになります (PMBus, Part II, Section 10.7)。

0xB8 - デバイスはシャットダウンし(出力をディスエーブル)、オフを指示されるか (RUN ピンまたは OPERATION コマンド、または両方による)、バイアス電源が遮断されるか、他のフォルト条件によってシャットダウンされるまで、リトライを継続して無期限に試みます。

0x4n - デバイスはシャットダウンし、リトライは試みません。デバイスが、オフに続いてオンするように指示されるか、RUN ピンが“L”にアサートされた後に“H”にアサートされた場合、または RESET コマンドの発行、VIN の遮断のいずれかが発生するまで、出力はディスエーブルされたままになります。OV フォルトは $n \cdot 10\mu\text{s}$ の期間、アクティブを保つ必要があります。ここで、n は 0~7 の値です。

0x78 + n - デバイスはシャットダウンし、フォルト条件がクリアされるか、デバイスがオフに続いてオンするように指示されるか、RUN ピンが“L”にアサートされた後に“H”にアサートされた場合、または RESET コマンドの発行、VIN の遮断のいずれかが発生するまで、リトライを継続して試みます。OV フォルトは $n \cdot 10\mu\text{s}$ の期間、アクティブを保つ必要があります。ここで、n は 0~7 の値です。

その他の値は、いずれも CML フォルトを発生し、書き込みは無視されます。

PMBus コマンドの詳細

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

表5. VOUT_OV_FAULT_RESPONSE のデータ・バイトの内容

| ビット | 説明 | 値 | 意味 |
|-----|--|---------|--|
| 7:6 | 応答。 ビット [7:6] の全ての値に対して、LTC3887 は以下のように動作します。 ・ステータス・コマンドの該当するフォルト・ビットをセットする。 ・マスクされていない限り、ALERT ピンをアサートしてホストに通知する。 フォルト・ビットはいったんセットされると、以下のイベントのうち1つまたは複数が発生するまでクリアされない。 ・デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受信した場合。 ・RUN _n ピン、OPERATION コマンド、RUN _n ピンと OPERATION コマンドの組み合わせアクションのいずれかによって、オフを指示された後、再びオンを指示された場合。 ・LTC3887へのバイアス電源が遮断された後、再び印加された場合。 | 00 | デバイスはOVプルダウンのみを実行する(すなわち、V _{OUT} > VOUT_OV_FAULTの間、上側MOSFETをオフ、下側MOSFETをオンする) |
| | | 01 | PMBus デバイスはビット [2:0] に指定された遅延時間の数値と、特定のフォルトに対して規定された遅延時間の単位で表される期間だけ動作を継続する。この遅延時間の経過後もフォルト条件が解消されていない場合、デバイスはリトライ設定(ビット [5:3]) にプログラムされた方法で応答する。 |
| | | 10 | デバイスは直ちにシャットダウンし(出力をディスエーブル)、ビット [5:3] のリトライ設定に従って応答する。 |
| | | 11 | サポートされていない。この値を書き込むと CML フォルトが発生する。 |
| 5:3 | リトライ設定 | 000-110 | デバイスは再起動を試みない。フォルトがクリアされるか、デバイスがオフするように指示されるか、バイアス電源が遮断されるまで、出力はディスエーブルされたままになる。 |
| | | 111 | PMBus デバイスはオフを指示されるか(RUN _n ピンまたは OPERATION コマンド、または両方による)、バイアス電源が遮断されるか、他のフォルト条件によってリトライなしでシャットダウンされるまで、再起動を継続して無期限に試みる。 注記: リトライ・インターバルは MFR_RETRY_DELAY コマンドによって設定される。 |
| 2:0 | 遅延時間 | XXX | 10 μ s 刻みの遅延時間。この遅延時間は、フォルトの検出後、コントローラが動作を継続する時間を決定する。 デグリッチされたオフ・ステートに対してのみ有効。 |

VOUT_UV_FAULT_RESPONSE

VOUT_UV_FAULT_RESPONSE コマンドは、出力の低電圧フォルトに対する応答としてデバイスが取るべきアクションを指示します。データ・バイトは表6に示した形式です。

デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- ・ STATUS_WORD の VOUT ビットをセットする。
- ・ STATUS_VOUT コマンドの VOUT 低電圧フォルト・ビットをセットする。
- ・ マスクされていない限り、ALERT ピンをアサートしてホストに通知する。

次の基準が満たされるまで、UV フォルトおよび警告はマスクされます。

- 1) TON_MAX_FAULT_LIMIT に達する。
- 2) TON_DELAY シーケンスが完了する。
- 3) TON_RISE シーケンスが完了する。
- 4) VOUT_UV_FAULT_LIMIT しきい値に達する。
- 5) IOUT_OC_FAULT_LIMIT が存在しない。

チャンネルがアクティブでない場合は、常にUVフォルトおよび警告がマスクされます。

PMBus コマンドの詳細

UVフォルトおよび警告は、TON_RISEとTOFF_FALLシーケンスの実行中もマスクされます。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

表 6. VOUT_UV_FAULT_RESPONSE のデータ・バイトの内容

| ビット | 説明 | 値 | 意味 |
|-----|---|---------|---|
| 7:6 | 応答。 ビット [7:6] の全ての値に対して、LTC3887 は以下のように動作します。 ・ステータス・コマンドの該当するフォルト・ビットをセットする。 ・マスクされていない限り、ALERT ピンをアサートしてホストに通知する。 フォルト・ビットはいったんセットされると、以下のイベントのうち1つまたは複数が発生するまでクリアされない。 ・デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受信した場合。 ・RUNn ピン、OPERATION コマンド、RUNn ピンと OPERATION コマンドの組み合わせアクションのいずれかによって、オフを指示された後、再びオンを指示された場合。 ・LTC3887 へのバイアス電源が遮断された後、再び印加された場合。 | 00 | PMBus デバイスは中断せずに動作を続ける。 (フォルト機能を無視) |
| | | 01 | PMBus デバイスはビット [2:0] に指定された遅延時間の数値と、特定のフォルトに対して規定された遅延時間の単位で表される期間だけ動作を継続する。この遅延時間の経過後もフォルト条件が解消されていない場合、デバイスはリトライ設定 (ビット [5:3]) にプログラムされた方法で応答する。 |
| | | 10 | デバイスはシャットダウンし (出力をディスエーブル)、ビット [5:3] のリトライ設定に従って応答する。 |
| | | 11 | サポートされていない。この値を書き込むと CML フォルトが発生する。 |
| 5:3 | リトライ設定 | 000-110 | デバイスは再起動を試みない。フォルトがクリアされるか、デバイスがオフするように指示されるか、バイアス電源が遮断されるまで、出力はディスエーブルされたままになる。 |
| | | 111 | PMBus デバイスはオフを指示されるか (RUNn ピンまたは OPERATION コマンド、または両方による)、バイアス電源が遮断されるか、他のフォルト条件によってリトライなしでシャットダウンされるまで、再起動を継続して無期限に試みる。 注記: リトライ・インターバルは MFR_RETRY_DELAY コマンドによって設定される。 |
| 2:0 | 遅延時間 | XXX | 10 μ s 刻みの遅延時間。この遅延時間は、フォルトの検出後、コントローラが動作を継続する時間を決定する。 デグレッチされたオフ・ステートに対してのみ有効。 |

TON_MAX_FAULT_RESPONSE

TON_MAX_FAULT_RESPONSE コマンドは、TON_MAX フォルトに対する応答としてデバイスが取るべきアクションを指示します。データ・バイトは表 9 に示した形式です。

デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- STATUS_BYTE の NONE_OF_THE_ABOVE ビットをセットする。
- STATUS_WORD の VOUT ビットをセットする。
- STATUS_VOUT コマンドの TON_MAX_FAULT ビットをセットする。
- マスクされていない限り、ALERT ピンをアサートしてホストに通知する。
- 値 0 を設定すると、TON_MAX_FAULT_RESPONSE がディスエーブルされます。0 を設定することは推奨できません。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細

フォルト応答 - 出力電流

| コマンド名 | CMDコード | 説明 | タイプ | ページ指定 | データ形式 | 単位 | NVM | デフォルト値 |
|------------------------|--------|----------------------------|----------|-------|-------|----|-----|--------|
| IOUT_OC_FAULT_RESPONSE | 0x47 | 出力過電流フォルトが検出されたときのデバイスの動作。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0x00 |

IOUT_OC_FAULT_RESPONSE

IOUT_OC_FAULT_RESPONSE コマンドは、出力の過電流フォルトに対する応答としてデバイスが取るべきアクションを指示します。データ・バイトは表7に示した形式です。

デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- STATUS_BYTE の IOUT_OC ビットをセットする。
- STATUS_WORD の IOUT ビットをセットする。
- STATUS_IOUT コマンドの IOUT 過電流フォルト・ビットをセットする。
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートしてホストに通知する。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

表7. IOUT_OC_FAULT_RESPONSE のデータ・バイトの内容

| ビット | 説明 | 値 | 意味 |
|-----|--|---------|--|
| 7:6 | 応答。 ビット [7:6] の全ての値に対して、LTC3887 は以下のように動作します。 ・ステータス・コマンドの該当するフォルト・ビットをセットする。 ・マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートしてホストに通知する。 フォルト・ビットはいったんセットされると、以下のイベントのうち1つまたは複数が発生するまでクリアされない。 ・デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受信した場合。 ・RUN n ピン、OPERATION コマンド、RUN n ピンと OPERATION コマンドの組み合わせアクションのいずれかによって、オフを指示された後、再びオンを指示された場合。 ・LTC3887 へのバイアス電源が遮断された後、再び印加された場合。 | 00 | LTC3887 は、出力電圧の変動は無視して、IOUT_OC_FAULT_LIMIT によって設定された値の出力電流を保ちつつ、無期限に動作を継続する(定電流リミット動作またはブリックウォール・リミット動作とも呼ばれる)。 |
| | | 01 | サポートされていない。 |
| | | 10 | LTC3887 は、出力電圧の変動は無視して、IOUT_OC_FAULT_LIMIT によって設定された値の出力電流を保ちつつ、ビット [2:0] で設定された遅延時間だけ動作を継続する。この遅延時間の経過後もデバイスが電流制限値で動作している場合、リトライ設定(ビット [5:3]) にプログラムされた方法で応答する。 |
| | | 11 | LTC3887 は直ちにシャットダウンし、ビット [5:3] のリトライ設定にプログラムされた方法で応答する。 |
| 5:3 | リトライ設定 | 000-110 | デバイスは再起動を試みない。RUN n ピンをサイクルさせるか、バイアス電源を遮断することでフォルトをクリアするまで、出力はディスエーブルされたままになる。 |
| | | 111 | デバイスはオフを指示されるか(RUN n ピンまたは OPERATION コマンド、または両方による)、バイアス電源が遮断されるか、他のフォルト条件によってシャットダウンされるまで、再起動を継続して無期限に試みる。注記:リトライ・インターバルは MFR_RETRY_DELAY コマンドによって設定される。 |
| 2:0 | 遅延時間 | XXX | 16ms 単位の数で表した遅延時間。この遅延時間は、フォルトが検出されてからシャットダウンされるまでデバイスが動作を継続する時間を決定する。デグリッチされたオフ・ステートに対してのみ有効。 |

PMBus コマンドの詳細

フォルト応答 - IC 温度

| コマンド名 | CMDコード | 説明 | タイプ | ページ指定 | データ形式 | 単位 | NVM | デフォルト値 |
|-----------------------|--------|--------------------------------|--------|-------|-------|----|-----|--------|
| MFR_OT_FAULT_RESPONSE | 0xD6 | 内部過熱フォルトが検出されたとき、デバイスが取るアクション。 | R Byte | N | Reg | | | 0xC0 |

MFR_OT_FAULT_RESPONSE

MFR_OT_FAULT_RESPONSE コマンド・バイトは、内部過熱フォルトに対する応答としてデバイスが取るべきアクションを指示します。データ・バイトは表8に示した形式です。

デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- STATUS_WORD の MFR ビットをセットする。
- STATUS_MFR_SPECIFIC コマンドの過熱フォルト・ビットをセットする。
- マスクされていない限り、ALERT ピンをアサートしてホストに通知する。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

表8. MFR_OT_FAULT_RESPONSE のデータ・バイトの内容

| ビット | 説明 | 値 | 意味 |
|-----|---|---------|---|
| 7:6 | 応答。 ビット [7:6] の全ての値に対して、LTC3887 は以下のように動作します。 <ul style="list-style-type: none"> • ステータス・コマンドの該当するフォルト・ビットをセットする。 • マスクされていない限り、ALERT ピンをアサートしてホストに通知する。 フォルト・ビットはいったんセットされると、以下のイベントのうち1つまたは複数が発生するまでクリアされない。 <ul style="list-style-type: none"> • デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受信した場合。 • RUN_n ピン、OPERATION コマンド、RUN_n ピンと OPERATION コマンドの組み合わせアクションのいずれかによって、オフを指示された後、再びオンを指示された場合。 • LTC3887 へのバイアス電源が遮断された後、再び印加された場合。 | 00 | サポートされていない。この値を書き込むと CML フォルトが発生する。 |
| | | 01 | サポートされていない。この値を書き込むと CML フォルトが発生する。 |
| | | 10 | デバイスは直ちにシャットダウンし(出力をディスエーブル)、ビット [5:3] のリトライ設定に従って応答する。 |
| | | 11 | フォルトが解消されない限り、デバイスの出力はディスエーブルされたままになる。フォルト条件が解消されると、動作が再開し、出力がイネーブルされる。 |
| 5:3 | リトライ設定 | 000 | デバイスは再起動を試みない。フォルトがクリアされるまで出力はディスエーブルされたままになる。 |
| | | 001-111 | サポートされていない。この値を書き込むと CML フォルトが発生する。 |
| 2:0 | 遅延時間 | XXX | サポートされていない。値は無視される。 |

フォルト応答 - 外部温度

| コマンド名 | CMDコード | 説明 | タイプ | ページ指定 | データ形式 | 単位 | NVM | デフォルト値 |
|-------------------|--------|--------------------------------|----------|-------|-------|----|-----|--------|
| OT_FAULT_RESPONSE | 0x50 | 外部過熱フォルトが検出されたとき、デバイスが取るアクション。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0xB8 |
| UT_FAULT_RESPONSE | 0x54 | 外部低温フォルトが検出されたとき、デバイスが取るアクション。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0xB8 |

PMBus コマンドの詳細

OT_FAULT_RESPONSE

OT_FAULT_RESPONSE コマンドは、外付け温度センサによる外部過熱フォルトに対する応答としてデバイスが取るべきアクションを指示します。データ・バイトは表9に示した形式です。

デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- STATUS_BYTE の TEMPERATURE ビットをセットする。
- STATUS_TEMPERATURE コマンドの過熱フォルト・ビットをセットする。
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートしてホストに通知する。

この状態は ADC によって検出するため、最大 120ms の応答時間を要する場合があります。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

UT_FAULT_RESPONSE

UT_FAULT_RESPONSE コマンドは、外付け温度センサによる外部低温フォルトに対する応答としてデバイスが取るべきアクションを指示します。データ・バイトは表9に示した形式です。

デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- STATUS_BYTE の TEMPERATURE ビットをセットする。
- STATUS_TEMPERATURE コマンドの低温フォルト・ビットをセットする。
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートしてホストに通知する。

この状態は ADC によって検出するため、最大 120ms の応答時間を要する場合があります。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

表9. データ・バイトの内容: TON_MAX_FAULT_RESPONSE、VIN_OV_FAULT_RESPONSE、OT_FAULT_RESPONSE、UT_FAULT_RESPONSE

| ビット | 説明 | 値 | 意味 |
|-----|--|---------|---|
| 7:6 | 応答。 ビット [7:6] の全ての値に対して、LTC3887 は以下のように動作します。 ・ステータス・コマンドの該当するフォルト・ビットをセットする。 ・マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートしてホストに通知する。 フォルト・ビットはいったんセットされると、以下のイベントのうち 1 つまたは複数が発生するまでクリアされない。 ・デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受信した場合。 ・RUN n ピン、OPERATION コマンド、RUN n ピンと OPERATION コマンドの組み合わせアクションのいずれかによって、オフを指示された後、再びオンを指示された場合。 ・LTC3887 へのバイアス電源が遮断された後、再び印加された場合。 | 00 | PMBus デバイスは中断せずに動作を続ける。 |
| | | 01 | サポートされていない。この値を書き込むと CML フォルトが発生する。 |
| | | 10 | デバイスは直ちにシャットダウンし(出力をディスエーブル)、ビット [5:3] のリトライ設定に従って応答する。 |
| | | 11 | サポートされていない。この値を書き込むと CML フォルトが発生する。 |
| 5:3 | リトライ設定 | 000-110 | デバイスは再起動を試みない。フォルトがクリアされるか、デバイスがオフするように指示されるか、バイアス電源が遮断されるまで、出力はディスエーブルされたままになる。 |
| | | 111 | PMBus デバイスはオフを指示されるか(RUN n ピンまたは OPERATION コマンド、または両方による)、バイアス電源が遮断されるか、他のフォルト条件によってリトライなしでシャットダウンされるまで、再起動を継続して無期限に試みる。注記: リトライ・インターバルは MFR_RETRY_DELAY コマンドによって設定される。 |
| 2:0 | 遅延時間 | XXX | サポートされていない。値は無視される。 |

3887f

PMBus コマンドの詳細

フォルト共有

フォルト共有 - 伝播

| コマンド名 | CMDコード | 説明 | タイプ | ページ指定 | データ形式 | 単位 | NVM | デフォルト値 |
|----------------------------|--------|-------------------------|----------|-------|-------|----|-----|--------|
| MFR_GPIO_PROPAGATE_LTC3887 | 0xD2 | GPIOピンに伝播するフォルトを決定する設定。 | R/W Word | Y | Reg | | Y | 0x6993 |

MFR_GPIO_PROPAGATE_LTC3887

MFR_GPIO_PROPAGATE_LTC3887 コマンドは、 $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンを“L”にアサートするフォルトをイネーブルします。コマンドは表10に示した形式です。応答するようにプログラムされたフォルトだけが $\overline{\text{GPIO}}$ に伝播されます。

このコマンドは2バイトのデータを伴います。

表 10. $\overline{\text{GPIO}}_n$ 伝播フォルトの構成

GPIO0ピンおよびGPIO1ピンは、選択されたイベントをユーザーに電氣的に通知できるように設計されています。これらのイベントの一部は、両方の出力チャンネルに共通しています。その他のイベントは、1つの出力チャンネルに固有です。これらのイベントは、チャンネル間でのフォルトの共有にも使用できます。

| ビット | シンボル | 動作 |
|-------|---|--|
| B[15] | VOUT disabled while not decayed. | このビットはMFR_CHAN_CONFIG_LTC3887のビット0が0の場合のPolyPhase構成で使われる。RUNピンのトグルまたはデバイスをオフする指示によってチャンネルをオフした後、出力が減衰する前にRUNを再度アサートするか、デバイスに再びオンするように指示したとしても、12.5%の減衰要件が満たされるまでVOUTを再起動しない。ビット15がアサートされている場合、この状態の間はGPIOピンがアサートされる。 |
| B[14] | Mfr_gpio_propagate_short_CMD_cycle | 0: アクションなし。 1: デバイスがオフするように指示され、出力のオフ・シーケンスが完了する前に再度オンを指示された場合に“L”にアサートされる。オフ・シーケンスの120ms後に、再度“H”にアサートされる。 |
| b[13] | Mfr_gpio_propagate_ton_max_fault | 0: TON_MAX_FAULTフォルトがアサートされてもアクションなし。 1: TON_MAX_FAULTフォルトがアサートされた場合、関連する出力が“L”にアサートされる。 GPIO0は、ページ0のTON_MAX_FAULTフォルトに関連付けられる。 GPIO1は、ページ1のTON_MAX_FAULTフォルトに関連付けられる。 |
| b[12] | Mfr_gpio0_propagate_vout_uvuf, Mfr_gpio1_propagate_vout_uvuf | フィルタを通していないVOUT_UV_FAULT_LIMITコンパレータの出力 GPIO0はチャンネル0に関連付けられる GPIO1はチャンネル1に関連付けられる |
| b[11] | Mfr_gpio0_propagate_int_ot, Mfr_gpio1_propagate_int_ot | 0: MFR_OT_FAULT_LIMITフォルトがアサートされてもアクションなし。 1: MFR_OT_FAULT_LIMITフォルトがアサートされた場合、関連する出力を“L”にアサートする。 |
| b[10] | Mfr_pwrgrd1_en | 0: チャンネル1のPOWER_GOODが真ではない場合もアクションなし。 1: チャンネル1のPOWER_GOODが真ではない場合、関連する出力を“L”にアサートする。 このビットがアサートされた場合、GPIO_FAULT_RESPONSEを無視する必要がある。GPIO_FAULT_RESPONSEを「無視」に設定していない場合、デバイスはラッチ・オフされ、起動できなくなる。 |
| b[9] | Mfr_pwrgrd0_en | 0: チャンネル0のPOWER_GOODが真ではない場合もアクションなし。 1: チャンネル0のPOWER_GOODが真ではない場合、関連する出力を“L”にアサートする。 このビットがアサートされた場合、GPIO_FAULT_RESPONSEを無視する必要がある。GPIO_FAULT_RESPONSEを「無視」に設定していない場合、デバイスはラッチ・オフされ、起動できなくなる。 |
| b[8] | Mfr_gpio0_propagate_ut, Mfr_gpio1_propagate_ut | 0: UT_FAULT_LIMITフォルトがアサートされてもアクションなし。 1: UT_FAULT_LIMITフォルトがアサートされた場合、関連する出力を“L”にアサートする。 GPIO0は、ページ0のUTフォルトに関連付けられる。 GPIO1は、ページ1のUTフォルトに関連付けられる。 |

PMBus コマンドの詳細

| ビット | シンボル | 動作 |
|------|---|--|
| b[7] | Mfr_gpio0_propagate_ot、 Mfr_gpio1_propagate_ot | 0: OT_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされてもアクションなし。 1: OT_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされた場合、関連する出力を“L”にアサートする。 GPIO0 は、ページ0のOTフォルトに関連付けられる。 GPIO1 は、ページ1のOTフォルトに関連付けられる。 |
| b[6] | 予備 | |
| b[5] | 予備 | |
| b[4] | Mfr_gpio0_propagate_input_ov、 Mfr_gpio1_propagate_input_ov | 0: VIN_OV_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされてもアクションなし。 1: VIN_OV_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされた場合、関連する出力を“L”にアサートする。 |
| b[3] | 予備 | |
| b[2] | Mfr_gpio0_propagate_iout_oc、 Mfr_gpio1_propagate_iout_oc | 0: IOUT_OC_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされてもアクションなし。 1: IOUT_OC_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされた場合、関連する出力を“L”にアサートする。 GPIO0 は、ページ0のOCフォルトに関連付けられる。 GPIO1 は、ページ1のOCフォルトに関連付けられる。 |
| b[1] | Mfr_gpio0_propagate_vout_uv、 Mfr_gpio1_propagate_vout_uv | 0: VOUT_UV_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされてもアクションなし。 1: VOUT_UV_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされた場合、関連する出力を“L”にアサートする。 GPIO0 は、ページ0のUVフォルトに関連付けられる。 GPIO1 は、ページ1のUVフォルトに関連付けられる。 |
| b[0] | Mfr_gpio0_propagate_vout_ov、 Mfr_gpio1_propagate_vout_ov | 0: VOUT_OV_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされてもアクションなし。 1: VOUT_OV_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされた場合、関連する出力を“L”にアサートする。 GPIO0 は、ページ0のOVフォルトに関連付けられる。 GPIO1 は、ページ1のOVフォルトに関連付けられる。 |

フォルト共有 - 応答

| コマンド名 | CMDコード | 説明 | タイプ | ページ指定 | データ形式 | 単位 | NVM | デフォルト値 |
|-------------------|--------|------------------------------------|----------|-------|-------|----|-----|--------|
| MFR_GPIO_RESPONSE | 0xD5 | GPIOピンが“L”にアサートされたとき、デバイスが取るアクション。 | R/W Byte | Y | Reg | | Y | 0xC0 |

MFR_GPIO_RESPONSE

このコマンドは、GPIO_n ピンが外部ソースによって“L”に引き下げられた場合のコントローラの応答を決定します。

| 値 | 意味 |
|------|---|
| 0xC0 | GPIO_INHIBIT。LTC3887 は GPIO ピンの“L”アサートに対する応答として出力をトライステート化する。 |
| 0x00 | GPIO_IGNORE。LTC3887 は中断せずに動作を継続する。 |

デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- STATUS_BYTE の NONE_OF_THE_ABOVE ビットをセットする。
- STATUS_WORD の MFR ビットをセットする。
- STATUS_MFR_SPECIFIC コマンドの GPIOB ビットをセットする。
- マスクされていない限り、ALERT ピンをアサートしてホストに通知する。ALERT ピンの“L”アサートは、MFR_CHAN_CFG_LTC3887 のビット1をセットすることでディスエーブルできる。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細

スクラッチパッド

| コマンド名 | CMDコード | 説明 | タイプ | ページ指定 | データ形式 | 単位 | NVM | デフォルト値 |
|--------------|--------|----------------------------|----------|-------|-------|----|-----|--------|
| USER_DATA_00 | 0xB0 | OEMにより予約。通常、デバイスのシリアル化に使用。 | R/W Word | N | Reg | | Y | NA |
| USER_DATA_01 | 0xB1 | メーカーにより、LTpowerPlay用に予約。 | R/W Word | Y | Reg | | Y | NA |
| USER_DATA_02 | 0xB2 | OEMが確保。通常、デバイスのシリアル化に使用。 | R/W Word | N | Reg | | Y | NA |
| USER_DATA_03 | 0xB3 | ユーザーが使用可能なNVMワード。 | R/W Word | Y | Reg | | Y | 0x0000 |
| USER_DATA_04 | 0xB4 | ユーザーが使用可能なNVMワード。 | R/W Word | N | Reg | | Y | 0x0000 |

USER_DATA_00～USER_DATA_04

これらのコマンドは、顧客が格納用として使用する不揮発性メモリの位置を示します。顧客には、USER_DATA_nnに、いつでも任意の値を書き込むことができるオプションが提供されています。ただし、LTpowerPlayソフトウェアおよび提携メーカーはこれらのコマンドの一部を在庫管理のために使用します。予約済みのUSER_DATA_nnコマンドの変更は、在庫管理上の不具合やこれらの製品との互換性の問題を招く恐れがあります。

これらのコマンドはレジスタ形式の2バイトのデータを伴います。

識別

| コマンド名 | CMDコード | 説明 | タイプ | ページ指定 | データ形式 | 単位 | NVM | デフォルト値 |
|----------------|--------|--------------------------------------|----------|-------|-------|----|-----|---------|
| PMBUS_REVISION | 0x98 | デバイスがサポートするPMBusのリビジョン。現在のリビジョンは1.2。 | R Byte | N | Reg | | | 0x22 |
| CAPABILITY | 0x19 | デバイスがサポートするPMBusオプション通信プロトコルの要約。 | R Byte | N | Reg | | | 0x22 |
| MFR_ID | 0x99 | LTC3887のメーカーIDをASCIIで示した値。 | R String | N | ASC | | | LTC |
| MFR_MODEL | 0x9A | メーカー製品番号をASCIIで示した値。 | R String | N | ASC | | | LTC3887 |
| MFR_SERIAL | 0x9E | この特定のユニットのシリアル番号をASCIIで示した値。 | R Block | N | CF | | | NA |
| MFR_SPECIAL_ID | 0xE7 | LTC3887を表すメーカーコード。 | R Word | N | Reg | | | 0x470X |

PMBus_REVISION

PMBUS_REVISIONコマンドは、デバイスが準拠するPMBusのリビジョンを示します。LTC3887は、PMBusバージョン1.2のPart IおよびPart IIの両方に準拠しています。

この読み出し専用コマンドは1バイトのデータを伴います。

CAPABILITY

このコマンドにより、ホスト・システムがPMBusデバイスのいくつかの主要機能を識別する手段が提供されます。

LTC3887は、パケット・エラー・チェック、400kHzのバス・スピード、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをサポートします。

この読み出し専用コマンドは1バイトのデータを伴います。

MFR_ID

MFR_IDコマンドは、LTC3887のメーカーIDをASCII文字で示します。

この読み出し専用コマンドはブロック形式です。

PMBus コマンドの詳細

MFR_MODEL

MFR_MODEL コマンドは、LTC3887のメーカー製品番号をASCII文字で示します。

この読み出し専用コマンドはブロック形式です。

MFR_SERIAL

MFR_SERIAL コマンドには、LTC3887の構成を一意に識別するための、最大9バイトのカスタム形式のデータが含まれています。

この読み出し専用コマンドはブロック形式です。

MFR_SPECIAL_ID

デバイスの名称を表す、16ビットのワードです。0x470はデバイスがLTC3887であることを意味し、Xはメーカーが変更できます。

この読み出し専用コマンドは2バイトのデータを伴います。

フォルトの警告および状態

| コマンド名 | CMD コード | 説明 | タイプ | ページ 指定 | 形式 | 単位 | NVM | デフォルト 値 |
|---------------------|------------|--|-----------|-----------|-----|----|-----|--------------------|
| CLEAR_FAULTS | 0x03 | セットされている全フォルト・ビットをクリア。 | Send Byte | N | | | | NA |
| SMBALERT_MASK | 0x1B | ALERT 動作をマスクする。 | Block R/W | Y | Reg | | Y | CMD の 詳細を 参照 |
| MFR_CLEAR_PEAKS | 0xE3 | 全てのピーク値をクリアする。 | Send Byte | N | | | | NA |
| STATUS_BYTE | 0x78 | ユニットのフォルト状態の1バイトの要約。 | R/W Byte | Y | Reg | | | NA |
| STATUS_WORD | 0x79 | ユニットのフォルト状態の2バイトの要約。 | R/W Word | Y | Reg | | | NA |
| STATUS_VOUT | 0x7A | 出力電圧のフォルトおよび警告の状態。 | R/W Byte | Y | Reg | | | NA |
| STATUS_IOUT | 0x7B | 出力電流のフォルトおよび警告の状態。 | R/W Byte | Y | Reg | | | NA |
| STATUS_INPUT | 0x7C | 入力電源のフォルトおよび警告の状態。 | R/W Byte | N | Reg | | | NA |
| STATUS_TEMPERATURE | 0x7D | READ_TEMPERATURE_1の外部温度フォルト および警告の状態。 | R/W Byte | Y | Reg | | | NA |
| STATUS_CML | 0x7E | 通信およびメモリのフォルトおよび警告の状態。 | R/W Byte | N | Reg | | | NA |
| STATUS_MFR_SPECIFIC | 0x80 | メーカー固有のフォルトおよび状態の情報。 | R/W Byte | Y | Reg | | | NA |
| MFR_PADS | 0xE5 | I/Oパッドのデジタル・ステータス。 | R Word | N | Reg | | | NA |
| MFR_COMMON | 0xEF | 複数のLTCチップに共通するメーカー・ ステータス・ビット。 | R Byte | N | Reg | | | NA |

CLEAR_FAULTS

CLEAR_FAULTS コマンドは、現在までにセットされている全てのフォルト・ビットをクリアするために使われます。このコマンドは、全てのステータス・コマンドに含まれる全てのビットを同時にクリアします。さらに、デバイスがALERTピン信号をアサート中であった場合は、ALERTピン信号出力を否定(クリア、解放)します。ビットをクリアする時点でフォルトが依然として存在する場合、フォルト・ビットはセットされたままになり、ALERTピンの“L”アサートによってホストに通知されます。CLEAR_FAULTSの処理には、最大で10μsかかります。この時間内にフォルトが発生した場合、ステータス・レジスタが設定される前に、そのフォルトがクリアされる場合があります。

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトがありません。

PMBus コマンドの詳細

CLEAR_FAULTS コマンドは、フォルト状態のためにラッチ・オフしているデバイスを再起動させることはありません。フォルト状態によってシャットダウンされたデバイスが再起動するのは、以下の場合です。

- RUNピン、OPERATION コマンド、RUNピンと OPERATION コマンドの組み合わせアクションのいずれかによって、オフを指示された後、再びオンを指示された場合。
- MFR_RESET コマンドまたは RESTORE_USER_ALL コマンドが発行された場合。
- ICへのバイアス電源が遮断された後、再び印加された場合。

MFR_CLEAR_PEAKS

MFR_CLEAR_PEAKS コマンドは、MFR_*_PEAK のデータ値をクリアします。リセットによってこのコマンドが開始されます。この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトがありません。

SMBALERT_MASK

SMBALERT_MASK コマンドを使用すると、単数または複数の特定のステータス・ビットが $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートしないようにすることができます。サポートされているビットのみをマスクすることができます。

図41は、 $\overline{\text{ALERT}}$ マスクを(この場合はPECなしで)設定するときを使用されるワード書き込み形式の例を示します。マスク・バイト内のビットは、指定のステータス・レジスタ内のビットと一致します。例えば、STATUS_TEMPERATURE コマンドが最初のデータ・バイトで送られ、マスク・バイトに0x40が含まれている場合、後続の外部過熱警告は引き続き STATUS_TEMPERATURE のビット6を設定しますが、 $\overline{\text{ALERT}}$ はアサートしません。サポートされているその他の STATUS_TEMPERATURE ビットが全て設定されている場合は、これらのビットによって引き続き $\overline{\text{ALERT}}$ がアサートされます。

図42は、サポートされている任意のステータス・レジスタの現在の状態を読み出すときに使用する「ブロック書き込み – ブロック読み出しプロセス呼び出し」プロトコルの例を示します。この場合もやはりPECなしです。

SMBALERT_MASK は、STATUS_BYTE、STATUS_WORD、MFR_COMMON、または MFR_PADS_LTC3887 には適用できません。適用できるステータス・レジスタの工場出荷時のデフォルトのマスキング設定を以下に示します。サポートされていないコマンド・コードを SMBALERT_MASK に設定すると、無効なデータ/サポートされていないデータに対して CML が生成されます。

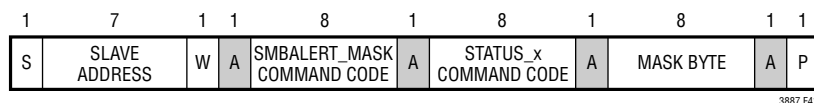


図 41. SMBALERT_MASK の設定例

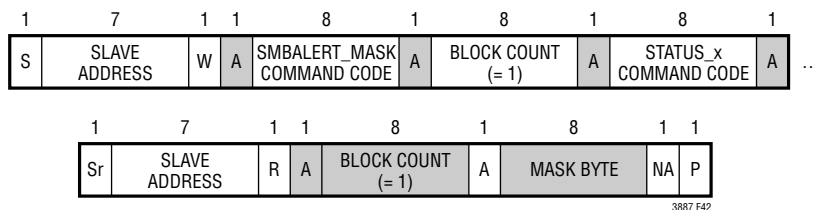


図 42. SMBALERT_MASK の読み出し例

PMBus コマンドの詳細

SMBALERT_MASK のデフォルト設定：(図 43「ステータス・レジスタ一覧」も参照してください。)

| ステータス・レジスタ | ALERT のマスク値 | マスクされたビット |
|---------------------|-------------|--|
| STATUS_VOUT | 0x00 | なし |
| STATUS_IOUT | 0x00 | なし |
| STATUS_TEMPERATURE | 0x00 | なし |
| STATUS_CML | 0x00 | なし |
| STATUS_INPUT | 0x00 | なし |
| STATUS_MFR_SPECIFIC | 0x11 | ビット 4 (内部 PLL 非同期)、ビット 0 (GPIO が外部デバイスによって "L" に引き下げられる) |

STATUS_BYTE

STATUS_BYTE コマンドは、最も重大なフォルトの 1 バイトの要約を返します。

STATUS_BYTE のメッセージの内容：

| ビット | ステータス・ビット名 | 意味 |
|-----|------------|---|
| 7 | BUSY | LTC3887 が応答できないので、フォルトが宣言された。 |
| 6 | オフ | このビットは、単にイネーブルされていない場合も含めて、理由に関係なく、チャンネルが出力に電力を供給していない場合に設定される。 |
| 5 | VOUT_OV | 出力過電圧フォルトが生じている。 |
| 4 | IOUT_OC | 出力過電流フォルトが生じている。 |
| 3 | VIN_UV | サポートされていない (LTC3887 は 0 を返す)。 |
| 2 | 温度 | 温度フォルトまたは警告が生じている。 |
| 1 | CML | 通信、メモリ、またはロジック・フォルトが生じている。 |
| 0 | 上記のいずれでもない | ビット [7:1] に記載されていないフォルトが生じている。 |

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

このコマンドに含まれる、サポート対象のフォルト・ビットは、いずれも $\overline{\text{ALERT}}$ イベントを起動します。

STATUS_WORD

STATUS_WORD コマンドは、チャンネルのフォルト状態の 2 バイトの要約を返します。STATUS_WORD コマンドの下位バイトは STATUS_BYTE コマンドと同じです。

STATUS_WORD 上位バイトのメッセージの内容：

| ビット | ステータス・ビット名 | 意味 |
|-----|--------------|--------------------------------------|
| 15 | VOUT | 出力電圧フォルトまたは警告が生じている。 |
| 14 | IOUT | 出力電流フォルトまたは警告が生じている。 |
| 13 | 入力 | 入力電圧フォルトまたは警告が生じている。 |
| 12 | MFR_SPECIFIC | LTC3887 に固有のフォルトまたは警告が生じている。 |
| 11 | POWER_GOOD# | このビットが設定されている場合、POWER_GOOD 状態は正しくない。 |
| 10 | FANS | サポートされていない (LTC3887 は 0 を返す)。 |
| 9 | OTHER | サポートされていない (LTC3887 は 0 を返す)。 |
| 8 | UNKNOWN | サポートされていない (LTC3887 は 0 を返す)。 |

このコマンドに含まれる、サポート対象のフォルト・ビットは、いずれも $\overline{\text{ALERT}}$ イベントを起動します。

このコマンドは 2 バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細 (フォルト応答および通信)

STATUS_VOUT

STATUS_VOUT コマンドは、1 バイトの V_{OUT} ステータス情報を返します。

STATUS_VOUT のメッセージの内容:

| ビット | 意味 |
|-----|-------------------------------|
| 7 | V _{OUT} の過電圧フォルト。 |
| 6 | V _{OUT} の過電圧警告。 |
| 5 | V _{OUT} の低電圧警告。 |
| 4 | V _{OUT} の低電圧フォルト。 |
| 3 | VOUT_MAX 警告。 |
| 2 | TON_MAX フォルト。 |
| 1 | TOFF_MAX 警告。 |
| 0 | LTC3887 によってサポートされていない(0を返す)。 |

ビット [7:1] のいずれかを設定した場合は、ALERT をアサートできます。これらのビットは、CLEAR_FAULTS コマンドの代わりに、STATUS_VOUT 内でそれらのビット位置に 1 を書き込むことによりクリアできます。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

STATUS_IOUT

STATUS_IOUT コマンドは、1 バイトの I_{OUT} ステータス情報を返します。

STATUS_IOUT のメッセージの内容:

| ビット | 意味 |
|-----|------------------------------|
| 7 | I _{OUT} の過電流フォルト。 |
| 6 | サポートされていない(LTC3887 は 0 を返す)。 |
| 5 | I _{OUT} の過電流警告。 |
| 4:0 | サポートされていない(LTC3887 は 0 を返す)。 |

サポートされているいずれかのビットを設定した場合は、ALERT をアサートできます。サポートされているビットは、CLEAR_FAULTS コマンドの代わりに、STATUS_IOUT 内でそのビット位置に 1 を書き込むことによりクリアできます。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

STATUS_INPUT

STATUS_INPUT コマンドは、1 バイトの V_{IN} (VINSNS) ステータス情報を返します。

STATUS_INPUT のメッセージの内容:

| ビット | 意味 |
|-----|----------------------------------|
| 7 | V _{IN} の過電圧フォルト。 |
| 6 | サポートされていない(LTC3887 は 0 を返す)。 |
| 5 | V _{IN} の低電圧警告。 |
| 4 | サポートされていない(LTC3887 は 0 を返す)。 |
| 3 | V _{IN} が不十分なため、デバイスはオフ。 |
| 2 | サポートされていない(LTC3887 は 0 を返す)。 |
| 1 | 入力過電流警告。 |
| 0 | サポートされていない(LTC3887 は 0 を返す)。 |

ビット 7 を設定した場合は、ALERT をアサートできます。ビット 7 は、CLEAR_FAULTS コマンドの代わりに、1 を書き込むことによりクリアできます。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

LTC3887

PMBus コマンドの詳細

STATUS_TEMPERATURE

STATUS_TEMPERATURE コマンドは、1バイトの外部温度検出ステータス情報を返します。

STATUS_TEMPERATURE のメッセージの内容:

| ビット | 意味 |
|-----|---------------------------|
| 7 | 外部過熱フォルト。 |
| 6 | 外部過熱警告。 |
| 5 | サポートされていない(LTC3887は0を返す)。 |
| 4 | 外部低温フォルト。 |
| 3:0 | サポートされていない(LTC3887は0を返す)。 |

サポートされているいずれかのビットを設定した場合は、ALERTをアサートできます。サポートされているビットは、CLEAR_FAULTS コマンドの代わりに、STATUS_TEMPERATURE 内でそのビット位置に1を書き込むことによりクリアできます。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

STATUS_CML

STATUS_CML コマンドは、受信したコマンド、内部メモリおよびロジックの1バイトのステータス情報を返します。

STATUS_CML のメッセージの内容:

| ビット | 意味 |
|-----|---------------------------------|
| 7 | 無効なコマンドまたはサポートされていないコマンドを受け取った。 |
| 6 | 無効なデータまたはサポートされていないデータを受け取った。 |
| 5 | パケット・エラー検査が失敗した。 |
| 4 | メモリ・フォルトが検出された。 |
| 3 | プロセッサ・フォルトが検出された。 |
| 2 | 予備(LTC3887は0を返す)。 |
| 1 | その他の通信フォルト。 |
| 0 | その他のメモリ・フォルトまたはロジック・フォルト。 |

サポートされているいずれかのビットを設定した場合は、ALERTをアサートできます。サポートされているビットは、CLEAR_FAULTS コマンドの代わりに、STATUS_CML 内でそのビット位置に1を書き込むことによりクリアできます。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

STATUS_MFR_SPECIFIC

STATUS_MFR_SPECIFIC コマンドは、メーカー固有のステータス情報を1バイトで返します。

各チャンネルは同じ情報のコピーを保持します。ビット0のみがページに固有です。

このバイトの形式は次のとおりです。

| ビット | 意味 |
|-----|--------------------------------------|
| 7 | 内部温度フォルト・リミットを超過した。 |
| 6 | 内部温度警告リミットを超過した。 |
| 5 | NVM CRC フォルト。 |
| 4 | PLLのロックが外れた。 |
| 3 | フォルト・ログが存在する。 |
| 2 | V _{DD33} のUVまたはOVフォルト |
| 1 | V _{OUT} が短時間でサイクルした。 |
| 0 | 外部デバイスによってGPIOピンが“L”にアサートされた(ページ指定)。 |

3887f

PMBus コマンドの詳細

これらのビットのいずれかがセットされた場合、STATUS_WORD の MFR ビットもセットされます。

ユーザーは、このコマンド内の任意のビットに1を書き込むことで、特定のフォルトをクリアできます。このビットにより、ユーザーは CLEAR_FAULTS コマンドの使用以外の手段によって、ステータスをクリアできます。例外：フォルト・ログの存在を示すビットは、MFR_FAULT_LOG_CLEAR コマンドの発行によってのみクリアできます。

このコマンドに含まれる、サポート対象のフォルト・ビットは、いずれも $\overline{\text{ALERT}}$ イベントを起動します。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

MFR_PADS

このコマンドは、ユーザーがデバイスの I/O ピンのデジタル・ステータスを直接読み出す手段を提供します。このコマンドのビット割り当ては次のとおりです。

| ビット | 割り当てられるデジタル・ピン |
|-----|---------------------------------|
| 15 | V _{DD33} OV フォルト |
| 14 | V _{DD33} UV フォルト |
| 13 | 予備 |
| 12 | 予備 |
| 11 | ADCの値が無効。起動時に発生する。 |
| 10 | 外部クロックのため、SYNC 出力がディスエーブルされている。 |
| 9 | パワーグッド1 |
| 8 | パワーグッド0 |
| 7 | デバイスが RUN1 を“L”に駆動中。 |
| 6 | デバイスが RUN0 を“L”に駆動中。 |
| 5 | RUN1 |
| 4 | RUN0 |
| 3 | デバイスが GPIO1 を“L”に駆動中。 |
| 2 | デバイスが GPIO0 を“L”に駆動中。 |
| 1 | GPIO1 |
| 0 | GPIO0 |

1は、条件が真であることを意味します。

この読み出し専用コマンドは2バイトのデータを伴います。

MFR_COMMON

MFR_COMMON コマンドには、LTC のデジタル電源およびテレメトリ製品の全てに共通するビットが含まれます。

| ビット | 意味 |
|-----|---|
| 7 | デバイスは $\overline{\text{ALERT}}$ を“L”に駆動していない。 |
| 6 | デバイスは BUSY ではない。 |
| 5 | 計算が保留中でない。 |
| 4 | 出力は遷移中ではない。 |
| 3 | NVM が初期化済み。 |
| 2 | 予備 |
| 1 | SHARE_CLK のタイムアウト。 |
| 0 | WP ピンのステータス。 |

この読み出し専用コマンドは1バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細

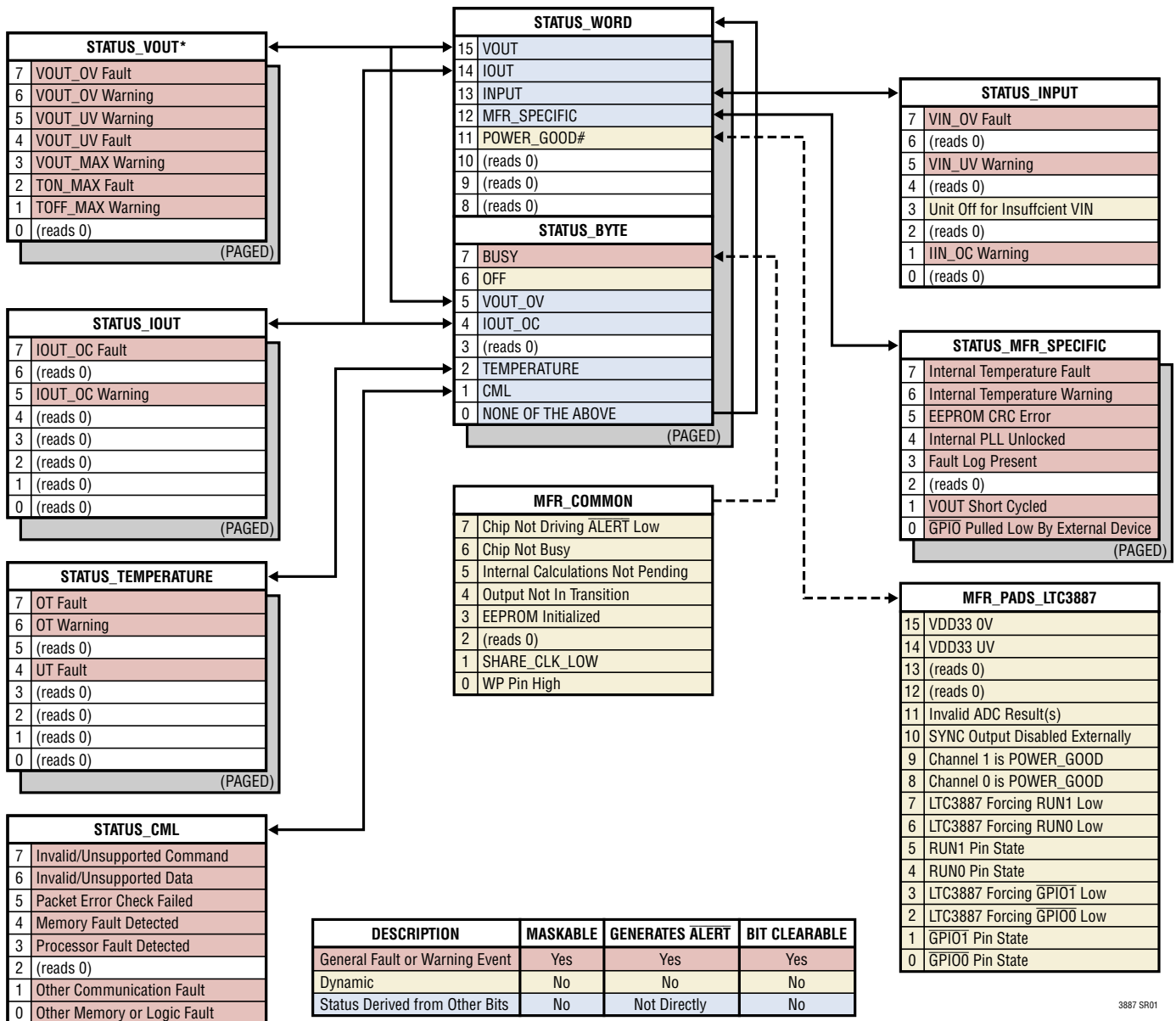


図 43. ステータス・レジスタ一覧

PMBus コマンドの詳細

遠隔測定値

| コマンド名 | CMD コード | 説明 | タイプ | ページ 指定 | 形式 | 単位 | NVM | デフォルト 値 |
|--------------------------|------------|---|----------|-----------|-----|----|-----|------------|
| READ_VIN | 0x88 | 入力電源電圧の測定値。 | R Word | N | L11 | V | | NA |
| READ_VOUT | 0x8B | 出力電圧の測定値。 | R Word | Y | L16 | V | | NA |
| READ_IIN | 0x89 | 入力電源電流の計算値。 | R Word | N | L11 | A | | NA |
| MFR_READ_IIN | 0xED | チャンネルごとに計算された入力電流。 | R Word | Y | L11 | A | | NA |
| READ_IOUT | 0x8C | 出力電流の測定値。 | R Word | Y | L11 | A | | NA |
| READ_TEMPERATURE_1 | 0x8D | 外部温度センサ。IOUT_CAL_GAINをはじめとする、全ての温度関連処理に使用される値。 | R Word | Y | L11 | C | | NA |
| READ_TEMPERATURE_2 | 0x8E | 内部ダイ温度。他のいずれのレジスタにも影響を与えない。 | R Word | N | L11 | C | | NA |
| READ_DUTY_CYCLE | 0x94 | 上側ゲート制御信号のデューティ・サイクル。 | R Word | Y | L11 | % | | NA |
| READ_POUT | 0x96 | 出力電力の計算値。 | R Word | Y | L11 | W | | NA |
| MFR_VOUT_PEAK | 0xDD | 最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降に測定されたREAD_VOUTの最大値。 | R Word | Y | L16 | V | | NA |
| MFR_VIN_PEAK | 0xDE | 最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降に測定されたREAD_VINの最大値。 | R Word | N | L11 | V | | NA |
| MFR_TEMPERATURE_1_PEAK | 0xDF | 最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降に測定された外部温度(READ_TEMPERATURE_1)の最大値。 | R Word | Y | L11 | C | | NA |
| MFR_TEMPERATURE_2_PEAK | 0xF4 | 最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降に測定された外部温度(READ_TEMPERATURE_2)の最大値。 | R Word | N | L11 | C | | NA |
| MFR_IOUT_PEAK | 0xD7 | 最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降に測定されたREAD_IOUTの最大値を報告する。 | R Word | Y | L11 | A | | NA |
| MFR_ADC_CONTROL | 0xD8 | A/D コンバータの反復される高速読み出しのために選択するADCテレメトリ・パラメータ。 | R/W Byte | N | Reg | | | 0x00 |
| MFR_ADC_TELEMETRY_STATUS | 0xDA | ショート・ラウンド・ロビンADCループがイネーブルされたときに、最後に変換されたパラメータを示すADCテレメトリ・ステータス。 | R/W Byte | N | Reg | | | NA |

READ_VIN

READ_VIN コマンドは、測定された入力電圧 (V 単位) を返します。

この読み出し専用コマンドは、Linear_5s_11s 形式の2バイトのデータを伴います。

READ_VOUT

READ_VOUT コマンドは、VOUT_MODE コマンドによって設定されたものと同じ形式で出力電圧の測定値を返します。

この読み出し専用コマンドは、Linear_16u 形式の2バイトのデータを伴います。

READ_IIN

READ_IIN コマンドは、入力電流 (A 単位) を返します。注記：入力電流は、両方の出力からの READ_IOUT 電流と READ_DUTY_CYCLE 値、および MFR_IIN_OFFSET から計算されます。低電流において正確な値を得るには、デバイスを連続導通モードで動作させる必要があります。DCR 検出を使用した場合の誤差の最大の発生源は、室温の IOUT_CAL_GAIN でのインダクタの寄生 DC 抵抗 (DCR) の精度です。

$$\text{READ_IIN} = \text{MFR_READ_IIN_PAGE0} + \text{MFR_READ_IIN_PAGE1}$$

この読み出し専用コマンドは、Linear_5s_11s 形式の2バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細

MFR_READ_IIN

MFR_READ_IIN コマンドは、ページ指定された MFR_IIN_OFFSET パラメータを適用する入力電流のページ指定読み出しです。この計算は、ページ指定値を使用することを除き、READ_IIN と同じです。

$$\text{MFR_READ_IIN} = \text{MFR_IIN_OFFSET} + (\text{IOUT} \cdot \text{DUTYCYCLE})$$

このコマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

READ_IOUT

READ_IOUT コマンドは、平均出力電流を A 単位で返します。IOUT の値は、以下の値によって決まります。

- a) I_{SENSE} ピンで測定される差動電圧。
- b) IOUT_CAL_GAIN の値
- c) MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC の値
- d) READ_TEMPERATURE_1 の値
- e) MFR_TEMP_1_GAIN と MFR_TEMP_1_OFFSET

この読み出し専用コマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

READ_TEMPERATURE_1

READ_TEMPERATURE_1 コマンドは、外付けの検出素子で測定される温度 (°C) を返します。

この読み出し専用コマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

READ_TEMPERATURE_2

READ_TEMPERATURE_2 コマンドは、内部検出素子で測定される温度を °C 単位で返します。

この読み出し専用コマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

READ_DUTY_CYCLE

READ_DUTY_CYCLE コマンドは、コントローラのデューティ・サイクルを % 単位で返します。

この読み出し専用コマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

READ_POUT

READ_POUT コマンドは、DC/DC コンバータの出力電力のページ指定読み出し値を W 単位で返します。POUT は、最新の相関する出力電圧と電流読み出し値に基づいて計算されます。

このコマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

MFR_VOUT_PEAK

MFR_VOUT_PEAK コマンドは、READ_VOUT 測定によって報告される最大電圧を V 単位で返します。

このコマンドは、MFR_CLEAR_PEAKS コマンドによってクリアされます。

この読み出し専用コマンドは、Linear_16u 形式の 2 バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細

MFR_VIN_PEAK

MFR_VIN_PEAK コマンドは、READ_VIN 測定によって報告される最大電圧を V 単位で返します。

このコマンドは、MFR_CLEAR_PEAKS コマンドによってクリアされます。

この読み出し専用コマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

MFR_TEMPERATURE_1_PEAK

MFR_TEMPERATURE_1_PEAK コマンドは、READ_TEMPERATURE_1 測定によって報告される最大温度を °C 単位で返します。

このコマンドは、MFR_CLEAR_PEAKS コマンドによってクリアされます。

この読み出し専用コマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

MFR_TEMPERATURE_2_PEAK

MFR_TEMPERATURE_2_PEAK コマンドは、READ_TEMPERATURE_2 測定によって報告される最大温度を °C 単位で返します。

このコマンドは、MFR_CLEAR_PEAKS コマンドによってクリアされます。

この読み出し専用コマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

MFR_IOUT_PEAK

MFR_IOUT_PEAK コマンドは、READ_IOUT 測定によって報告される最大電流を A 単位で返します。

このコマンドは、MFR_CLEAR_PEAKS コマンドによってクリアされます。

この読み出し専用コマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

MFR_ADC_CONTROL

MFR_ADC_CONTROL コマンドは、A/D コンバータの読み出し選択を決定します。このコマンドのデフォルト値 0 によって、ラウンド・ロビン方式で 100ms の標準待ち時間で全てのパラメータが更新され、標準テレメトリ・ループが動作します。ユーザーは、0 以外の値を指示して、約 8ms の更新レートで 1 つのパラメータをモニタできます。このコマンドには、最大で 2 つの ADC 変換の待ち時間、つまり約 16ms の待ち時間があります (外部温度変換には、最大で 3 つの ADC 変換、つまり約 24ms の待ち時間がある場合があります)。0x0D の値を選択すると、ショート・ラウンド・ロビン・ループがイネーブルされます。この値を指示すると、ラウンド・ロビン方式で VOUT0、IOUT0、VOUT1、および IOUT1 のみを選択する短いテレメトリ・ループが動作します。ラウンド・ロビンの標準待ち時間は 27ms です。1 つのパラメータについて高速な A/D コンバータの更新が必要になる特殊な場合を除き、デバイスを標準テレメトリ・モードのままにすることを推奨します。限定された時間 (1 秒未満) の間目的のパラメータをモニタしてから、このコマンドを標準ラウンド・ロビン・モードに再設定するように、デバイスに指示する必要があります。このコマンドを、標準ラウンド・ロビン・テレメトリ (0) 以外の値に設定した場合、選択したパラメータ以外のテレメトリに関連する全ての警告およびフォルトは事実上ディスエーブルされ、電圧のサーボ制御はディスエーブルされます。ラウンド・ロビンを再びアサートすると、全ての警告とフォルト、およびサーボ・モードが再びイネーブルされます。

PMBus コマンドの詳細

| コマンド値 | 選択される遠隔測定値 |
|-----------|-----------------------|
| 0x0E-0xFF | 予備 |
| 0x0D | ADC ショート・ラウンド・ロビン |
| 0x0C | チャンネル1の外部温度 |
| 0x0B | 予備 |
| 0x0A | チャンネル1の IOUT |
| 0x09 | チャンネル1の VOUT |
| 0x08 | チャンネル0の外部温度 |
| 0x07 | 予備 |
| 0x06 | チャンネル0の IOUT |
| 0x05 | チャンネル0の VOUT |
| 0x04 | 内部デバイス温度 |
| 0x03 | 予備 |
| 0x02 | 予備 |
| 0x01 | V _{IN} |
| 0x00 | 標準 ADC ラウンド・ロビン・テレメトリ |

予備のコマンド値を入力した場合、デフォルトで内部デバイス温度に設定され、CML[6] フォルトが発行されます。CML[6] フォルトは、有効なコマンド値が入力されるまで、LTC3887によって継続的に発行されます。

この読み出し/書き込みコマンドは、レジスタ形式の1バイトのデータを伴います。

MFR_ADC_TELEMETRY_STATUS

MFR_ADC_TELEMETRY_STATUS コマンドは、コマンド 0xD8 の値 0x0D を使用して MFR_ADC_CONTROL のショート・ラウンド・ロビン・ループをイネーブルした場合に、最後の ADC 変換を決定する手段を提供します。このコマンドのビット割り当ては次のとおりです。

| ビット | 使用可能な遠隔測定値データ |
|-----|-----------------------------|
| 7 | 予備、0を返す。 |
| 6 | 予備、0を返す。 |
| 5 | 予備、0を返す。 |
| 4 | 予備、0を返す。 |
| 3 | チャンネル1の IOUT の読み出し (IOUT1)。 |
| 2 | チャンネル1の VOUT の読み出し (VOUT1)。 |
| 1 | チャンネル0の IOUT の読み出し (IOUT0)。 |
| 0 | チャンネル0の VOUT の読み出し (VOUT0)。 |

1 に設定されたデータ・ビットを MFR_ADC_TELEMETRY_STATUS に書き込むと、対応するビットがクリアされます。

この読み出し/書き込みコマンドは、レジスタ形式の1バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細

NVM (EEPROM) メモリ・コマンド

ストア/リストア

| コマンド名 | CMD コード | 説明 | タイプ | ページ 指定 | 形式 | 単位 | NVM | デフォルト 値 |
|----------------------|------------|---------------------------|-----------|-----------|----|----|-----|------------|
| STORE_USER_ALL | 0x15 | ユーザー動作メモリをEEPROMに格納する。 | Send Byte | N | | | | NA |
| RESTORE_USER_ALL | 0x16 | ユーザー使用メモリをEEPROMからリストアする。 | Send Byte | N | | | | NA |
| MFR_COMPARE_USER_ALL | 0xF0 | 現在のコマンドの内容をNVMと比較する。 | Send Byte | N | | | | NA |

STORE_USER_ALL

STORE_USER_ALL コマンドは、PMBus デバイスに、動作メモリ内の不揮発性ユーザー・コンテンツを、不揮発性ユーザー NVM メモリ (EEPROM) の対応する位置にコピーするように指示します。

ダイ温度が 85°C を超える場合は、このコマンドの実行を推奨できません。また、データ保持期間の 10 年も保証できません。ダイ温度が 130°C を超えると、STORE_USER_ALL コマンドはディスエーブルされます。IC 温度が 125°C を下回ると、コマンドは再度イネーブルされます。

LTC3887 との通信、および EEPROM のプログラミングは、VDD33 が使用可能になり、かつ VIN が印加されていない場合に開始できます。デバイスをこの状態に移行させるには、グローバル・アドレスの 0x5B を使用して 0x2B を書き込み、続いて 0xC4 を書き込みます。これによって、デバイスとの通信が可能になり、プロジェクト・ファイルが更新されます。更新されたプロジェクト・ファイルを EEPROM に書き込むには、STORE_USER_ALL コマンドを発行します。VIN を印加したら MFR_RESET コマンドを発行して、PWM をイネーブルし、ADC の有効な値を読み出せるようにする必要があります。

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトがありません。

RESTORE_USER_ALL

RESTORE_USER_ALL コマンドは、ユーザーが LTC3887 のリセット動作を実行する手段を提供します。

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトがありません。

MFR_COMPARE_USER_ALL

MFR_COMPARE_USER_ALL コマンドは、PMBus デバイスに、現在のコマンド内容を、不揮発性メモリに格納された内容と比較するように指示します。この比較動作によって相違が検出された場合、CML ビット 0 フォルトが生成されます。

MFR_COMPARE_USER_ALL コマンドは、ダイ温度が 130°C を超えるとディスエーブルされ、ダイ温度が 125°C を下回るまで再度イネーブルされません。

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトがありません。

フォルト・ログ

| コマンド名 | CMD コード | 説明 | タイプ | ページ 指定 | データ 形式 | 単位 | NVM | デフォルト 値 |
|---------------------|------------|---|-----------|-----------|-----------|----|-----|------------|
| MFR_FAULT_LOG | 0xEE | フォルト・ログのデータ・バイト。この順次取得データを使用して完全なフォルト・ログをアセンブルする。 | R Block | N | CF | | Y | NA |
| MFR_FAULT_LOG_STORE | 0xEA | RAM から EEPROM へのフォルト・ログの伝送を命令する。 | Send Byte | N | | | | NA |
| MFR_FAULT_LOG_CLEAR | 0xEC | フォルト・ログ用に予約された EEPROM ブロックを初期化する。 | Send Byte | N | | | | NA |

PMBus コマンドの詳細

MFR_FAULT_LOG

MFR_FAULT_LOG コマンドによって、ユーザーはMFR_FAULT_LOG_CLEAR コマンドを最後に書き込んで以降、最初のフォルト発生後のFAULT_LOGの内容を読み出すことができます。このコマンドの内容は不揮発メモリに格納され、MFR_FAULT_LOG_CLEAR コマンドによってクリアされます。表 11 に、このコマンドの長さとおよその内容の一覧を示します。ユーザーがMFR_FAULT_LOG コマンドにアクセスしたときに、フォルト・ログが存在しなかった場合、データ長 0 が返されます。フォルト・ログが存在した場合は、常に長さ 147 バイトのデータ・ブロックが返されます。電源印加後、最初の 1 秒以内にフォルトが発生した場合、フォルト・ログの前寄りのページの一部分には有効なデータが格納されていない可能性があります。

NOTE: このコマンドのおよその伝送時間は、400kHz クロックを使用した場合、3.4ms です。

この読み出し専用コマンドはブロック形式です。

MFR_FAULT_LOG_STORE

MFR_FAULT_LOG_STORE コマンドは、フォルト・イベントが発生したかのように、フォルト・ログ動作が強制的にEEPROMに書き込まれるようにします。このコマンドは、MFR_CONFIG_ALL_LTC3887 コマンドで「フォルト・ログ記録のイネーブル」ビットが設定されるとMFR_SPECIFIC フォルトを発生させます。

MFR_FAULT_LOG_STORE コマンドは、ダイ温度が 130°C を超えると、IC 温度が 125°C を下回るまでディスエーブルされます。

フォルト・ログのヘッダにはアップタイム・カウンタがあります。このカウンタは、最後のリセット後の経過時間を 200μs 刻みで示したものです。これは、48 ビット・バイナリ・カウンタです。

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトがありません。

表 11. フォルト・ログ

この表は、MFR_FAULT_LOG コマンドのブロック・データ読み出しに使われるブロック・データの形式についてまとめたものです。

| データ形式の定義 | | | | LIN 11 = PMBus = Rev 1.1, Part 2, section 7.1。 |
|---------------|---------|-------|-------|---|
| | | | | LIN 16 = PMBus Rev 1.1, Part 2, section 8. 仮数部分のみ。 |
| | | | | BYTE = このコマンドの定義に従って解釈される 8 ビット |
| データ | ビット | データ形式 | バイト番号 | ブロック読み出しコマンド |
| Block Length | | BYTE | 147 | MFR_FAULT_LOG コマンドの長さは 147 バイト固定である。 データ・ログ・イベントが取得されていない場合、ブロック長は 0 になる。 |
| ヘッダ情報 | | | | |
| フォルト・ログの前書き | [7:0] | ASC | 0 | 部分的なフォルト・ログまたは完全なフォルト・ログが存在する場合、 バイト 0 で始まる LTxx を返します。ワード xx はデバイスごとに 変更することができる工場識別子です。 |
| | [7:0] | | 1 | |
| | [15:8] | Reg | 2 | |
| | [7:0] | | 3 | |
| フォルト発生源 | [7:0] | Reg | 4 | 表 3 を参照してください。 |
| MFR_REAL_TIME | [7:0] | Reg | 5 | フォルト発生時の 48 ビット共有クロック・カウンタの値 (分解能 200μs)。 |
| | [15:8] | | 6 | |
| | [23:16] | | 7 | |
| | [31:24] | | 8 | |
| | [39:32] | | 9 | |
| | [47:40] | | 10 | |

PMBus コマンドの詳細

| | | | | |
|----------------------------|--------|-----|----|--|
| MFR_VOUT_PEAK (PAGE 0) | [15:8] | L16 | 11 | 最後の電源投入以来または CLEAR_PEAKS コマンド以来のチャンネル0でのピーク READ_VOUT。 |
| | [7:0] | | 12 | |
| MFR_VOUT_PEAK (PAGE 1) | [15:8] | L16 | 13 | 最後の電源投入以来または CLEAR_PEAKS コマンド以来のチャンネル1でのピーク READ_VOUT。 |
| | [7:0] | | 14 | |
| MFR_IOUT_PEAK (PAGE 0) | [15:8] | L11 | 15 | 最後の電源投入以来または CLEAR_PEAKS コマンド以来のチャンネル0でのピーク READ_IOUT。 |
| | [7:0] | | 16 | |
| MFR_IOUT_PEAK (PAGE 1) | [15:8] | L11 | 17 | 最後の電源投入以来または CLEAR_PEAKS コマンド以来のチャンネル1でのピーク READ_IOUT。 |
| | [7:0] | | 18 | |
| MFR_VIN_PEAK | [15:8] | L11 | 19 | 最後の電源投入以来または CLEAR_PEAKS コマンド以来のチャンネル0でのピーク READ_VIN。 |
| | [7:0] | | 20 | |
| READ_TEMPERATURE1 (PAGE 0) | [15:8] | L11 | 21 | 最後のイベント発生時の外部温度センサ0。 |
| | [7:0] | | 22 | |
| READ_TEMPERATURE1 (PAGE 1) | [15:8] | L11 | 23 | 最後のイベント発生時の外部温度センサ1。 |
| | [7:0] | | 24 | |
| READ_TEMPERATURE2 | [15:8] | L11 | 25 | 最後のイベント発生時の内部温度センサ。 |
| | [7:0] | | 26 | |

巡回データ

| | | | | |
|--|--------|--------|----|---|
| EVENT n (フォルトが発生したデータ。最新データ) | | | | イベント「n」は、フォルト発生時のMUXを介したADC読み出しの完全な1サイクルを表す。例:ADCがステップ15を処理しているときにフォルトが発生した場合、ステップ25まで読み出し値の取得を続けた後、ヘッダと6つのイベント・ページの全てをEEPROMに格納する。 |
| READ_VOUT (PAGE 0) | [15:8] | LIN 16 | 27 | |
| | [7:0] | LIN 16 | 28 | |
| READ_VOUT (PAGE 1) | [15:8] | LIN 16 | 29 | |
| | [7:0] | LIN 16 | 30 | |
| READ_IOUT (PAGE 0) | [15:8] | LIN 11 | 31 | |
| | [7:0] | LIN 11 | 32 | |
| READ_IOUT (PAGE 1) | [15:8] | LIN 11 | 33 | |
| | [7:0] | LIN 11 | 34 | |
| READ_VIN | [15:8] | LIN 11 | 35 | |
| | [7:0] | LIN 11 | 36 | |
| READ_IIN | [15:8] | LIN 11 | 37 | |
| | [7:0] | LIN 11 | 38 | |
| STATUS_VOUT (PAGE 0) | | BYTE | 39 | |
| STATUS_VOUT (PAGE 1) | | BYTE | 40 | |
| STATUS_WORD (PAGE 0) | [15:8] | WORD | 41 | |
| | [7:0] | WORD | 42 | |

PMBus コマンドの詳細

| | | | | |
|------------------------------|--------|--------|-----|--|
| STATUS_WORD (PAGE 1) | [15:8] | WORD | 43 | |
| | [7:0] | WORD | 44 | |
| STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 0) | | BYTE | 45 | |
| STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 1) | | BYTE | 46 | |
| EVENT n-1 | | | | |
| (フォルトの検出前に測定されたデータ) | | | | |
| READ_VOUT (PAGE 0) | [15:8] | LIN 16 | 47 | |
| | [7:0] | LIN 16 | 48 | |
| READ_VOUT (PAGE 1) | [15:8] | LIN 16 | 49 | |
| | [7:0] | LIN 16 | 50 | |
| READ_IOUT (PAGE 0) | [15:8] | LIN 11 | 51 | |
| | [7:0] | LIN 11 | 52 | |
| READ_IOUT (PAGE 1) | [15:8] | LIN 11 | 53 | |
| | [7:0] | LIN 11 | 54 | |
| READ_VIN | [15:8] | LIN 11 | 55 | |
| | [7:0] | LIN 11 | 56 | |
| READ_IIN | [15:8] | LIN 11 | 57 | |
| | [7:0] | LIN 11 | 58 | |
| STATUS_VOUT (PAGE 0) | | BYTE | 59 | |
| STATUS_VOUT (PAGE 1) | | BYTE | 60 | |
| STATUS_WORD (PAGE 0) | [15:8] | WORD | 61 | |
| | [7:0] | WORD | 62 | |
| STATUS_WORD (PAGE 1) | [15:8] | WORD | 63 | |
| | [7:0] | WORD | 64 | |
| STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 0) | | BYTE | 65 | |
| STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 1) | | BYTE | 66 | |
| * | | | | |
| * | | | | |
| * | | | | |
| EVENT n-5 | | | | |
| (記録された最も古いデータ) | | | | |
| READ_VOUT (PAGE 0) | [15:8] | LIN 16 | 127 | |
| | [7:0] | LIN 16 | 128 | |
| READ_VOUT (PAGE 1) | [15:8] | LIN 16 | 129 | |
| | [7:0] | LIN 16 | 130 | |
| READ_IOUT (PAGE 0) | [15:8] | LIN 11 | 131 | |
| | [7:0] | LIN 11 | 132 | |

PMBus コマンドの詳細

| | | | | |
|------------------------------|--------|--------|-----|--|
| READ_IOUT (PAGE 1) | [15:8] | LIN 11 | 133 | |
| | [7:0] | LIN 11 | 134 | |
| READ_VIN | [15:8] | LIN 11 | 135 | |
| | [7:0] | LIN 11 | 136 | |
| READ_IIN | [15:8] | LIN 11 | 137 | |
| | [7:0] | LIN 11 | 138 | |
| STATUS_VOUT (PAGE 0) | | BYTE | 139 | |
| STATUS_VOUT (PAGE 1) | | BYTE | 140 | |
| STATUS_WORD (PAGE 0) | [15:8] | WORD | 141 | |
| | [7:0] | WORD | 142 | |
| STATUS_WORD (PAGE 1) | [15:8] | WORD | 143 | |
| | [7:0] | WORD | 144 | |
| STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 0) | | BYTE | 145 | |
| STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 1) | | BYTE | 146 | |

表 11a. Position_Fault の値の説明

| POSITION_FAULT の値 | フォルト・ログの発生要因 |
|-------------------|-----------------------|
| 0xFF | MFR_FAULT_LOG_STORE |
| 0x00 | TON_MAX_FAULT チャンネル 0 |
| 0x01 | VOUT_OV_FAULT チャンネル 0 |
| 0x02 | VOUT_UV_FAULT チャンネル 0 |
| 0x03 | IOUT_OC_FAULT チャンネル 0 |
| 0x05 | OT_FAULT チャンネル 0 |
| 0x06 | UT_FAULT チャンネル 0 |
| 0x07 | VIN_OV_FAULT チャンネル 0 |
| 0x0A | MFR_OT_FAULT チャンネル 0 |
| 0x10 | TON_MAX_FAULT チャンネル 1 |
| 0x11 | VOUT_OV_FAULT チャンネル 1 |
| 0x12 | VOUT_UV_FAULT チャンネル 1 |
| 0x13 | IOUT_OC_FAULT チャンネル 1 |
| 0x15 | OT_FAULT チャンネル 1 |
| 0x16 | UT_FAULT チャンネル 1 |
| 0x17 | VIN_OV_FAULT チャンネル 1 |
| 0x1A | MFR_OT_FAULT チャンネル 1 |

PMBus コマンドの詳細

MFR_FAULT_LOG_CLEAR

MFR_FAULT_LOG_CLEAR コマンドは、フォルト・ログ・ファイルに格納された値を消去します。さらに、STATUS_MFR_SPECIFIC コマンドのビット3もクリアします。クリア・コマンドの発行後、ステータスがクリアされるまでに最大8msかかる場合があります。

この書き込み専用コマンドの形式はバイト送信です。

ブロック・メモリ書き込み/読み出し

| コマンド名 | CMD コード | 説明 | タイプ | ページ 指定 | データ 形式 | 単位 | NVM | デフォルト 値 |
|---------------|------------|--|----------|-----------|-----------|----|-----|------------|
| MFR_EE_UNLOCK | 0xBD | MFR_EE_ERASE コマンドと MFR_EE_DATA コマンドによるアクセスのために、ユーザーのEEPROMのロックを解除する。 | R/W Byte | N | Reg | | | NA |
| MFR_EE_ERASE | 0xBE | MFR_EE_DATA による一括プログラミングのために、ユーザーのEEPROMを初期化する。 | R/W Byte | N | Reg | | | NA |
| MFR_EE_DATA | 0xBF | PMBus ワードの順次読み出しまたは書き込みによってEEPROMとの間で伝送されるデータ。一括プログラミングをサポートする。 | R/W Word | N | Reg | | | NA |

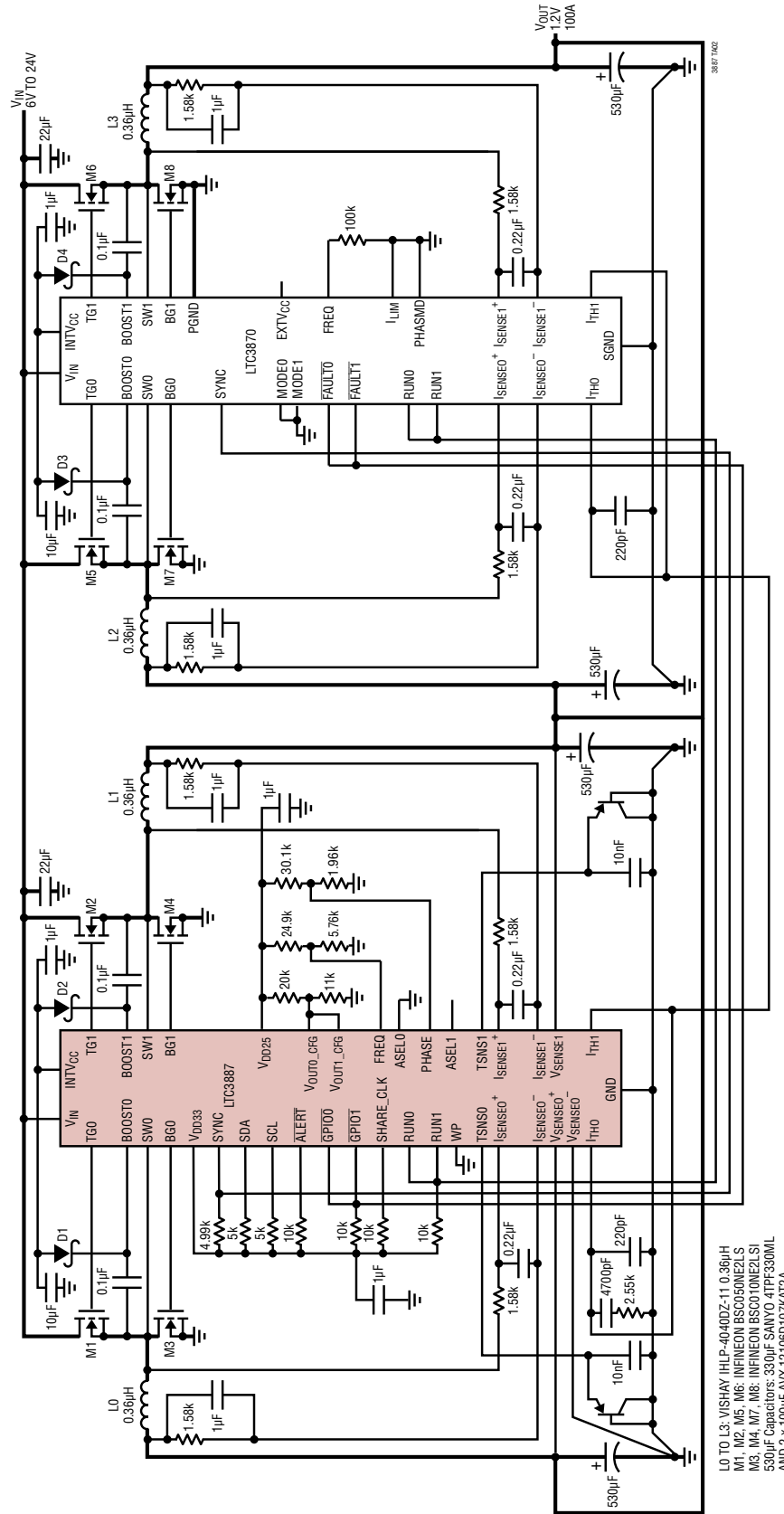
全ての(EEPROM) コマンドは、ダイ温度が130°Cを超えるとディスエーブルされ、ダイ温度が125°Cを下回ると再度イネーブルされます。

MFR_EE_xxxx

MFR_EE_XXXX コマンドは、内部EEPROMの一括プログラミングを容易にするために使用されます。詳細については、弊社にご連絡ください。

標準的応用例

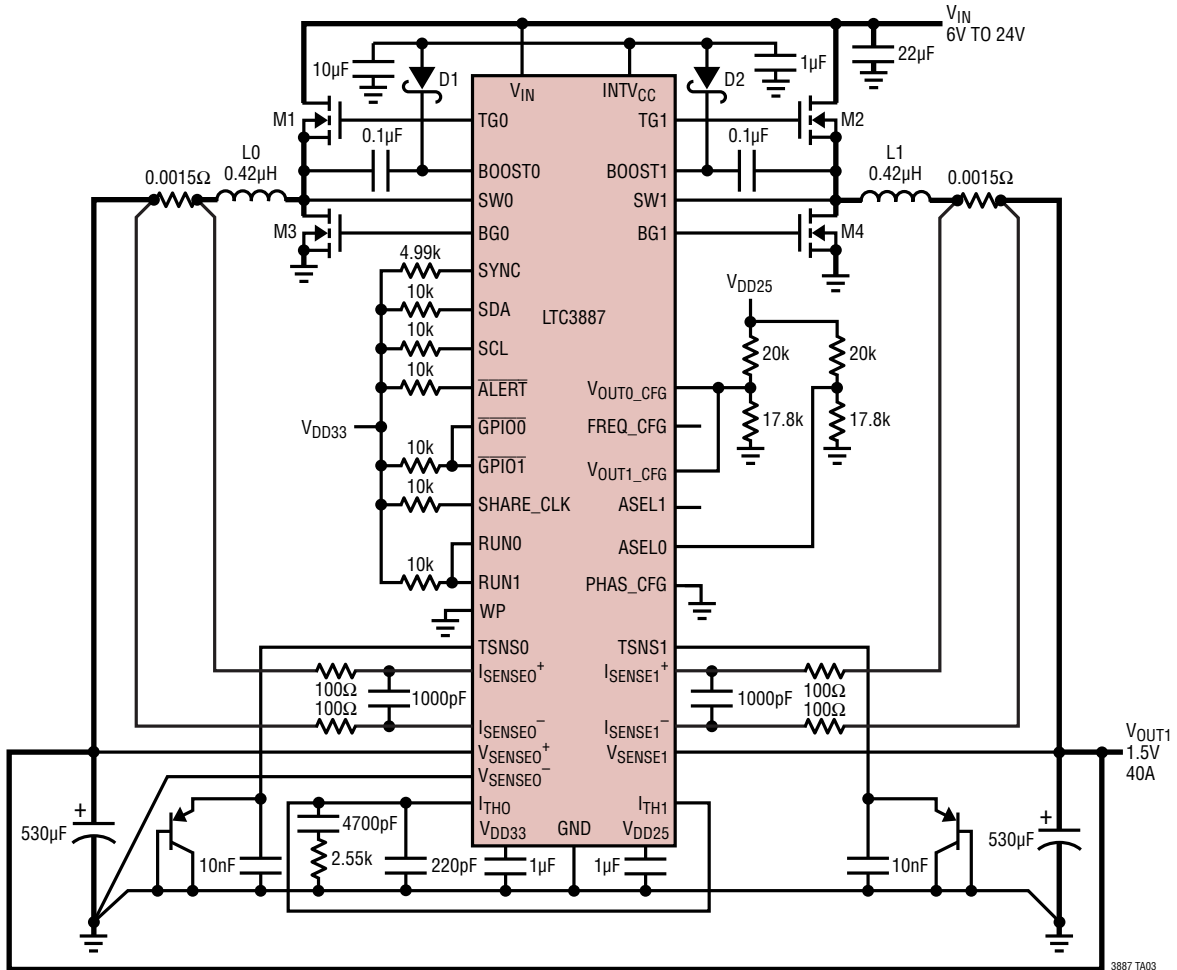
LTC3887およびLTC3870を使用した高効率クワッド500kHz/1.2V降圧コンバータ



- L0 TO L3: VISHAY IHP-4040Z-11 0.36µH
- M1, M2, M5, M6: INFINEON BSC050NE2LS
- M3, M4, M7, M8: INFINEON BSC010NE2LSI
- 530µF Capacitors: 330µF SANYO 41PF330ML
- AND 2 x 100µF AVX 12106D107KATZA

標準的応用例

高効率 350kHz/2 位相 /1.5V デュアル降圧コンバータ (検出抵抗付き)

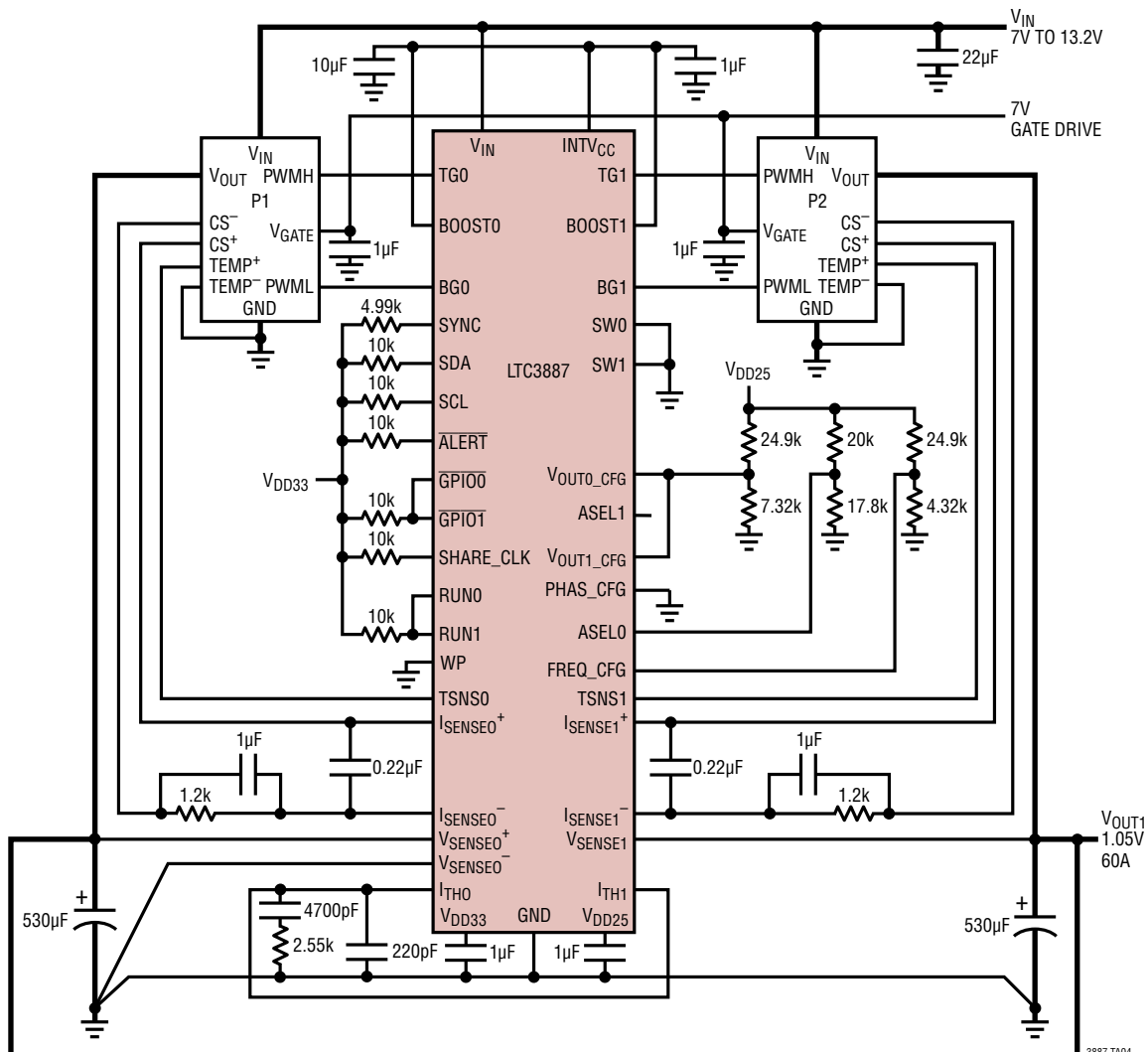


L0, L1: VITEC 59PR9875 0.42μH
M1, M2: INFINEON BSC050NE2LS
M3, M4: INFINEON BSC010NE2LSI
530μF: 330μF SANYO 4TPF330ML, 2x 100μF 12106D107KAT2A

3887 TA03

標準的応用例

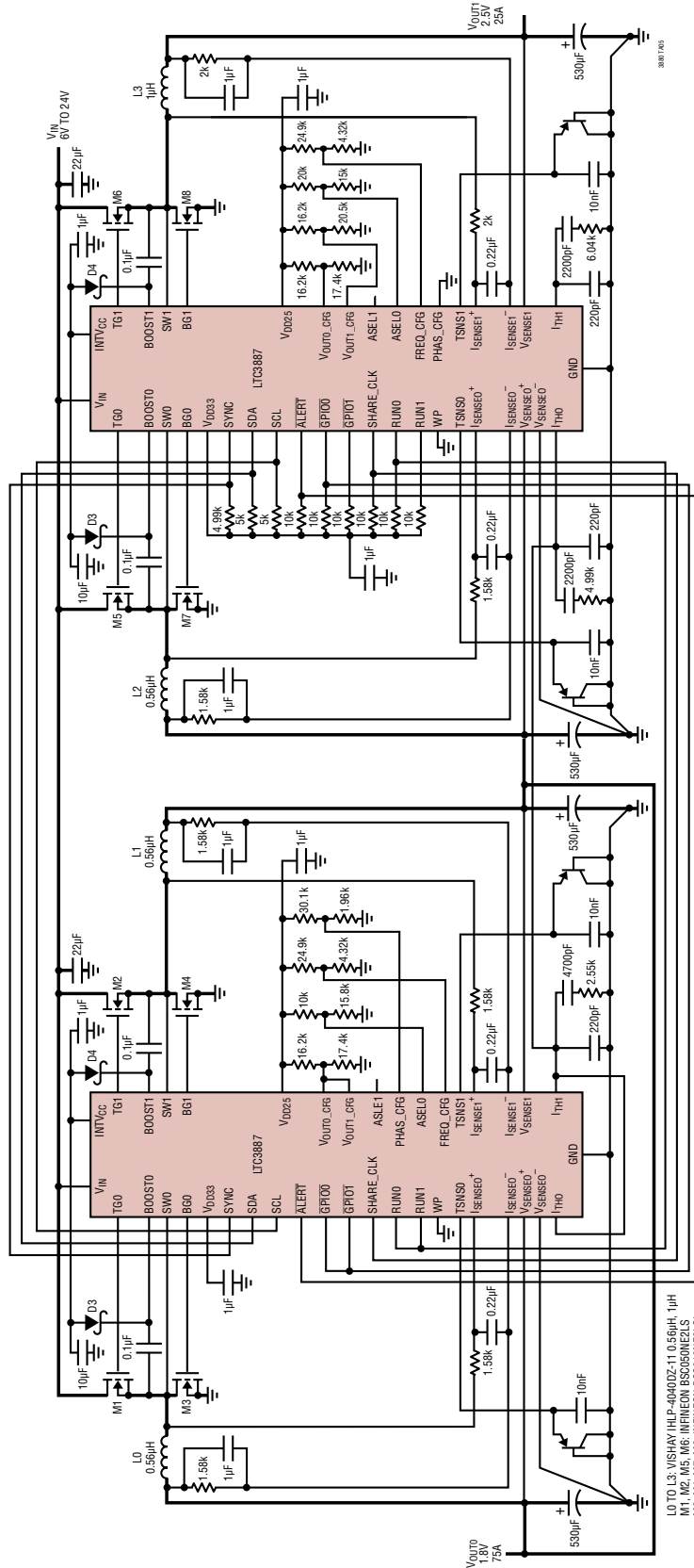
LTC3887を使用した高効率425kHz/1.05V/降圧デュアル・フェーズ・コンバータ(パワー・ブロック付き)



P1, P2: VRA001-4C3G ACBEL POWER BLOCK
530µF: 330µF SANYO 4TPF330ML, 2x 100µF 12106D107KAT2A

3887 TA04

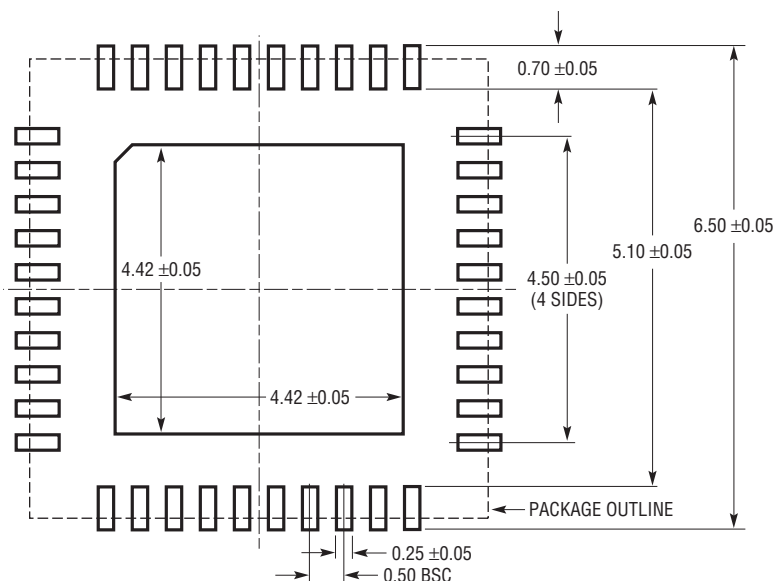
高効率の 425kHz、3 位相 / 1.8V および 1 位相 / 2.5V 降圧コンバータ



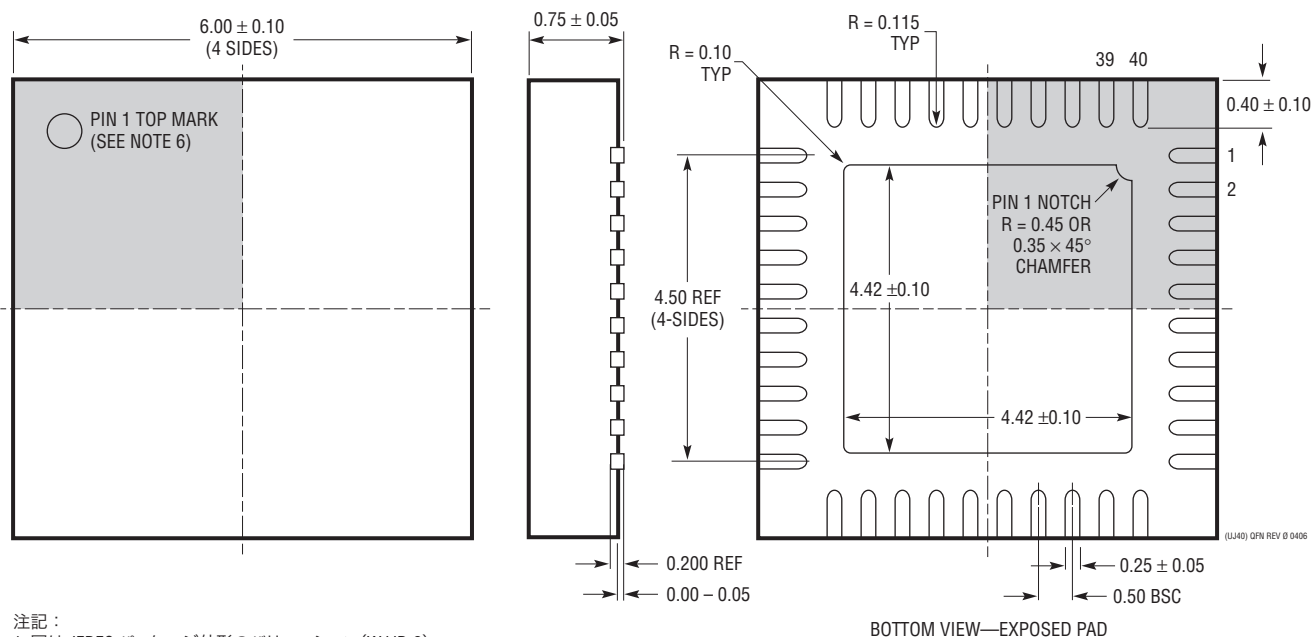
パッケージ

最新のパッケージ図面については、<http://www.linear-tech.co.jp/designtools/packaging/> を参照してください。

UJ Package
40-Lead Plastic QFN (6mm×6mm)
 (Reference LTC DWG # 05-08-1728 Rev 0)



RECOMMENDED SOLDER PAD PITCH AND DIMENSIONS
 APPLY SOLDER MASK TO AREAS THAT ARE NOT SOLDERED



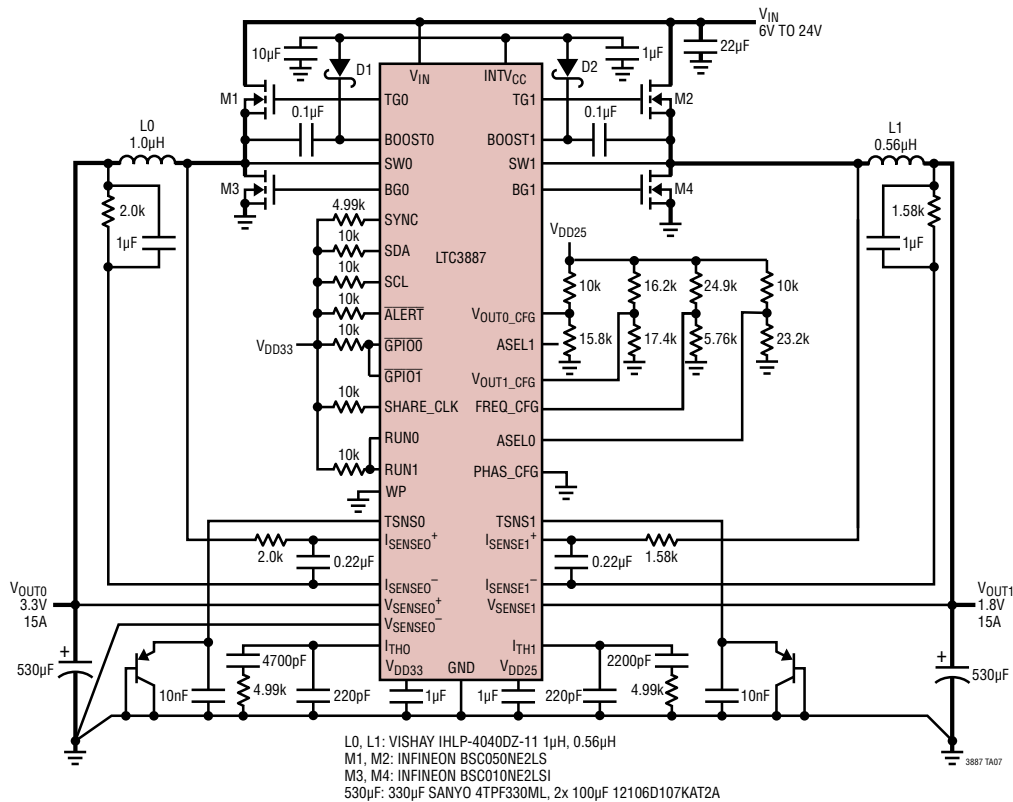
注記:

1. 図は JEDEC パッケージ外形のバリエーション (WJJD-2)
2. 図は実寸とは異なる
3. すべての寸法はミリメートル
4. パッケージ底面の露出パッドの寸法にはモールドのバリを含まない
 モールドのバリは (もしあれば) 各サイドで 0.20mm を超えないこと
5. 露出パッドは半田メッキとする
6. 灰色の部分はパッケージの上面と底面のピン 1 の位置の参考に過ぎない

BOTTOM VIEW—EXPOSED PAD

標準的応用例

高効率の500kHz、3.3V/1.8Vデュアル降圧コンバータ



関連製品

| 製品番号 | 説明 | 注釈 |
|------------------------------------|---|---|
| LTC3880/ LTC3880-1 | デジタル・パワー・システム・マネージメント機能付き、デュアル出力PolyPhase降圧コントローラ | V_{IN} : 最大24V、 $0.5V \leq V_{OUT} \leq 5.4V$ 、アナログCM制御ループ、EEPROMおよび16ビットADCとのI ² C/PMBusインタフェース |
| LTC3883/ LTC3883-1 | 入力電流検出およびデジタル・パワー・システム・マネージメント機能付き、シングル出力PolyPhase降圧コントローラ | V_{IN} : 最大24V、 $0.5V \leq V_{OUT} \leq 5.4V$ 、アナログCM制御ループ、EEPROMおよび16ビットADCとのI ² C/PMBusインタフェース |
| LTC3882 | デジタル・パワーシステム・マネージメント機能を搭載したデュアル出力PolyPhase降圧DC/DC電圧モード・コントローラ | リーディングエッジ電圧モード、同期可能、 $3V \leq V_{IN} \leq 38V$ 、 $0.5V \leq V_{OUT} \leq 5.25V$ |
| LTC2977 | PMBus準拠のオクタル電源モニタ、スーパバイザ、シーケンサ、マージン・コントローラ | 内蔵EEPROMへのフォルト・ログ機能、出力8チャンネルと入力電圧1チャンネルのモニタ機能 |
| LTC2974 | 正確な出力電流を特長とする4チャンネルPMBusパワーシステム・マネージャ | 全末調整誤差が0.25%の16ビットADC、電圧/電流/温度モニタおよび監視 |
| LTC3855 | 差動アンプおよびDCRによる温度補償機能付き、デュアル、マルチフェーズ、同期整流式降圧DC/DCコントローラ | PLLによる固定周波数: 250kHz~770kHz、 $4.5V \leq V_{IN} \leq 38V$ 、 $0.8V \leq V_{OUT} \leq 12V$ |
| LTC3869 | 並列時に電流バランスの優れた、デュアル2相同期整流式降圧DC/DCコントローラ | PLLによる固定周波数: 250kHz~770kHz、 $4V \leq V_{IN} \leq 38V$ 、 $0.6V \leq V_{OUT} \leq 12.5V$ |
| LTC3861 | 差動アンプおよびスリーステート出力駆動回路付き、デュアル、マルチフェーズ、同期整流式降圧DC/DCコントローラ | パワーブロック、DRMOSデバイスまたは外付けMOSFETで動作、 $3V \leq V_{IN} \leq 24V$ 、 $t_{ON(MIN)} = 20ns$ |
| LTC3856 | 差動アンプおよびDCR温度補償機能を備えたシングル出力、2相同期整流式降圧DC/DCコントローラ | PLLによる固定周波数: 250kHz~770kHz、 $4.5V \leq V_{IN} \leq 38V$ 、 $0.6V \leq V_{OUT} \leq 5.25V$ |
| LTC3870 | デジタル・パワーシステム・マネージメント機能を備えたLTC3880/LTC3883向けのPolyPhase降圧スレーブ・コントローラ | LTC3880/LTC3883の位相拡張器、 $4.5V \leq V_{IN} \leq 60V$ 、PLLによる周波数: 100kHz~1MHz、28ピン(4mm×5mm)QFNパッケージ |
| LTM [®] 4676/ LTM4676A | デジタル・パワー・システム・マネージメント機能付き、デュアル13Aまたはシングル26A µModule [®] 電源 | $4.5V \leq V_{IN} \leq 26V$ 、 $0.5V \leq V_{OUT} \leq 5.4V$ 、16mm×16mm×5.01mm BGAパッケージ |

3887f