

# デジタル・パワー・システム・ マネージメント機能付き、60V デュアル出力降圧コントローラ

## 特長

- PMBus/I<sup>2</sup>C 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<sub>IN</sub>、I<sub>IN</sub>、V<sub>OUT</sub>、I<sub>OUT</sub>、温度、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/ソフトストップ、シーケンシング、マージニング、OV/UV/OC、周波数、および制御ループ補償
- 全温度範囲での出力誤差: ±0.5% 未満
- 16ビット ADCと12ビット DACを内蔵
- ハイサイド電流検出アンプを内蔵
- 内部EEPROMとフォルト・ログ機能
- NチャンネルMOSFETゲート・ドライバを内蔵

## 電力変換

- 広い入力電圧範囲: 4.5V ~ 60V
- V<sub>OUT0</sub> および V<sub>OUT1</sub> の範囲: 0.5V ~ 13.8V
- アナログ電流モード制御
- 6フェーズまでの PolyPhase<sup>®</sup> 高精度電流分担 (100kHz ~ 750kHz)
- 7mm×8mm の52ピン QFNパッケージで供給

## アプリケーション

- 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
- 産業用およびポイントオプロード・アプリケーション

## 概要

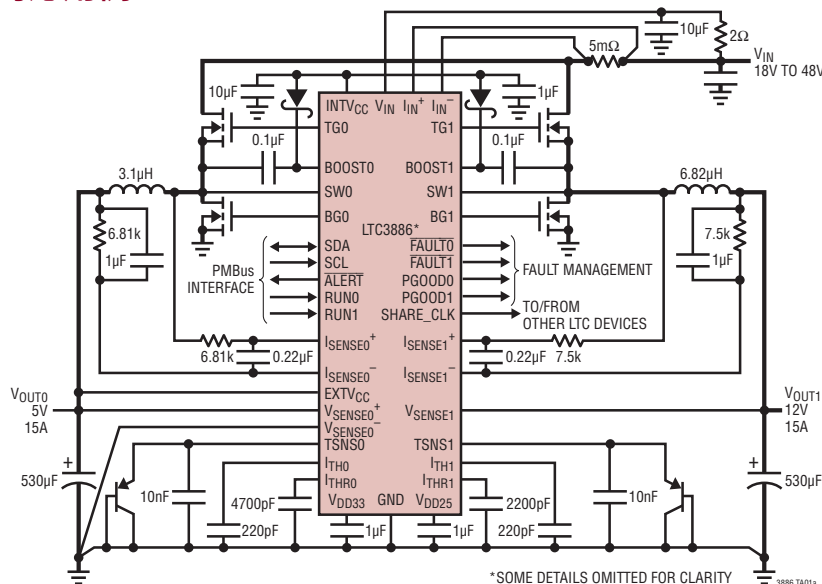
LTC<sup>®</sup>3886は、I<sup>2</sup>CベースのPMBus準拠シリアル・インタフェースを備えたデュアル PolyPhase DC/DC同期整流式降圧スイッチング・レギュレータ・コントローラです。このコントローラは固定周波数電流モード・アーキテクチャを採用し、高い入力電圧と出力電圧が可能で、プログラム可能なループ補償機能を備えています。LTC3886はグラフィカル・ユーザ・インタフェース(GUI)を備えたソフトウェア開発ツールLTpowerPlay™によってサポートされています。

EXTV<sub>CC</sub>ピンは最大14Vの電圧に対応できるので、回路の効率とダイ温度を最適化でき、コントローラの出力からデバイスに電力を供給できます。スイッチング周波数、出力電圧、およびデバイス・アドレスは、デジタル・インタフェースと外付けの構成設定抵抗のどちらを使用しても設定できます。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。どちらの出力も個別のパワーグッド・インジケータとFAULT機能を備えています。

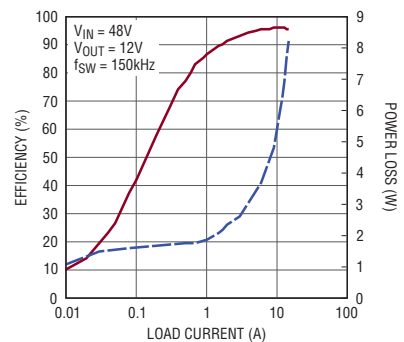
LTC3886は、不連続(パルス・スキップ)モード、または連続インダクタ電流モードに設定できます。

LT、LTC、LTM、μModule、PolyPhase、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、6100678、6144194、6177787、5408150、6580258、6304066、7420359、8786268を含む米国特許により保護されています。他にも特許申請中。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



効率および電力損失と  
負荷電流



## 目次

## 3886

特長.....	1	V <sub>OUT</sub> およびI <sub>OUT</sub> フォルトに対する応答.....	27
アプリケーション.....	1	出力過電圧フォルトに対する応答.....	27
標準的応用例.....	1	出力低電圧フォルトに対する応答.....	27
概要.....	1	ピーク出力過電流フォルトに対する応答.....	27
目次.....	2	タイミング・フォルトに対する応答.....	28
絶対最大定格.....	4	V <sub>IN</sub> のOVフォルトに対する応答.....	28
発注情報.....	4	OT/UTフォルトに対する応答.....	28
ピン配置.....	4	内部過熱フォルト/警告応答.....	28
電気的特性.....	5	外部過熱および低温フォルト応答.....	28
標準的性能特性.....	10	入力過電流および出力低電流フォルトに対する応答.....	29
ピン機能.....	13	外部フォルトに対する応答.....	29
ブロック図.....	15	フォルト・ログ.....	29
動作.....	16	バス・タイムアウト保護.....	29
概要.....	16	PMBus、SMBus、およびI <sup>2</sup> C 2線インタフェース間の類似性.....	30
メイン制御ループ.....	16	PMBusシリアル・デジタル・インタフェース.....	30
EEPROM.....	17	<b>PMBus コマンドの概要</b> .....	<b>35</b>
パワーアップおよび初期化.....	17	PMBus コマンド.....	35
ソフトスタート.....	18	* データ形式.....	40
時間ベースのシーケンシング.....	18	<b>アプリケーション情報</b> .....	<b>41</b>
イベントベースのシーケンシング.....	19	電流制限のプログラミング.....	41
シャットダウン.....	19	I <sub>SENSE+</sub> ピンとI <sub>SENSE-</sub> ピン.....	41
軽負荷電流動作.....	19	値の小さな抵抗による電流検出.....	42
PWMループ補償.....	20	インダクタDCRによる電流検出.....	43
スイッチング周波数と位相.....	20	スローブ補償とインダクタのピーク電流.....	44
出力電圧検出.....	20	インダクタ値の計算.....	44
出力電流検出.....	21	インダクタのコアの選択.....	45
入力電流検出.....	21	パワー MOSFETとオプションのショットキ・ダイオードの選択.....	45
PolyPhase 負荷シェアリング.....	21	C <sub>IN</sub> とC <sub>OUT</sub> の選択.....	46
外部/内部温度検出.....	21	可変遅延時間、ソフトスタート、出力電圧ランプ.....	46
RCONFIG (抵抗構成設定)ピン.....	22	デジタル・サーボ・モード.....	47
フォルト処理.....	23	ソフトオフ(シーケンス制御によるオフ).....	48
ステータス・レジスタおよびALERTのマスキング.....	24	INTV <sub>CC</sub> レギュレータ.....	49
<b>FAULT</b> ピンへのフォルトのマッピング.....	24	上側 MOSFET ドライバの電源 (C <sub>B</sub> 、D <sub>B</sub> ).....	49
パワーグッド・ピン.....	26	低電圧ロックアウト.....	50
CRC保護.....	26	フォルト表示.....	50
シリアル・インタフェース.....	26	オープンドレイン・ピン.....	50
通信保護.....	26	フェーズロック・ループと周波数同期.....	51
デバイス・アドレス指定.....	26		

## 目次

最小オン時間に関する検討事項.....	52	入力電流と制限値 .....	82
外部温度検出.....	52	温度.....	83
温度によるEEPROM保持特性のディレーティング .....	53	外部温度の較正 .....	83
入力電流検出アンブ .....	53	外部温度リミット.....	83
外付け抵抗構成設定ピン(RCONFIG) .....	54	タイミング.....	84
電圧の選択 .....	54	タイミング - オン・シーケンス/ランプ.....	84
周波数の選択 .....	55	タイミング - オフ・シーケンス/ランプ.....	85
位相の選択 .....	55	再起動の前提条件 .....	86
RCONFIGによるアドレス選択 .....	56	フォルト応答.....	86
効率に関する検討事項.....	56	フォルト応答 - 全フォルト .....	86
プログラム可能なループ補償.....	57	フォルト応答 - 入力電圧.....	87
トランジェント応答の確認.....	57	フォルト応答 - 出力電圧 .....	87
PolyPhase構成.....	58	フォルト応答 - 出力電流 .....	90
PC基板レイアウトのチェックリスト.....	60	フォルト応答 - IC温度.....	91
PC基板レイアウトのデバッグ .....	60	フォルト応答 - 外部温度.....	92
設計例.....	62	フォルト共有 .....	93
設計に関するその他の確認事項.....	63	フォルト共有 - 伝播.....	93
USBからI <sup>2</sup> C/SMBus/PMBusへのアダプタを		フォルト共有 - 応答.....	95
システム内のLTC3886へ接続.....	63	スクラッチパッド .....	95
LTpowerPlay: デジタル電源用の対話型GUI .....	64	識別.....	96
PMBusの通信とコマンド処理.....	65	フォルトの警告および状態 .....	97
<b>PMBusコマンドの詳細 .....</b>	<b>67</b>	遠隔測定値.....	103
アドレス指定および書き込み保護.....	67	EEPROMメモリ・コマンド.....	106
汎用構成コマンド.....	69	ストア/リストア .....	106
オン/オフ/マージン .....	70	フォルト・ログ .....	107
ON_OFF_CONFIG .....	71	ブロック・メモリ書き込み/読み出し .....	111
PWM構成.....	72	<b>標準的応用例.....</b>	<b>112</b>
電圧.....	76	<b>パッケージ寸法 .....</b>	<b>115</b>
入力電圧と制限値.....	76	<b>標準的応用例.....</b>	<b>116</b>
出力電圧と制限値 .....	77	<b>関連製品.....</b>	<b>116</b>
出力電流と制限値.....	80		

# LTC3886

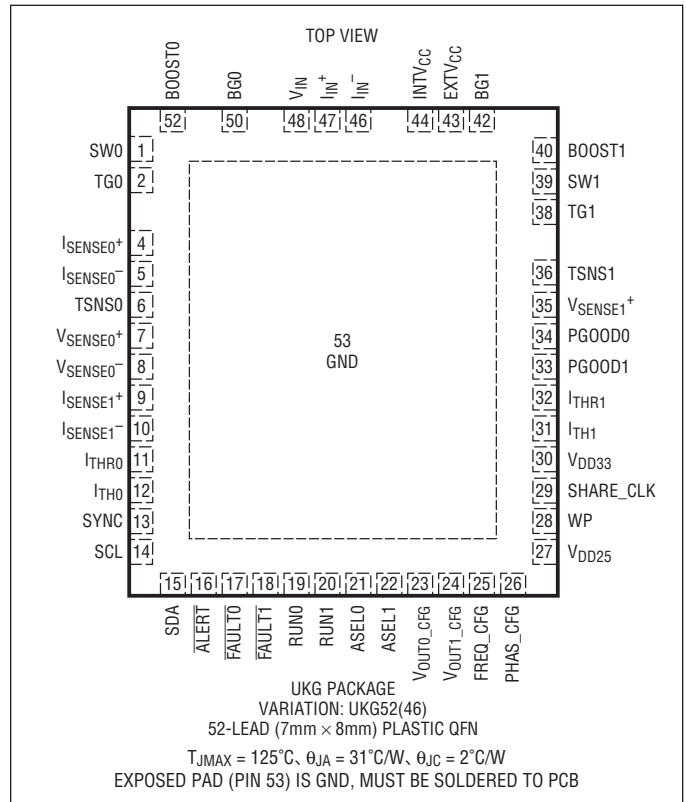
## 絶対最大定格

### (Note 1)

$V_{IN}$ , $I_{IN}^+$ , $I_{IN}^-$ .....	-0.3V ~ 65V
上側ゲート・トランジエント電圧 (TG0, TG1) .....	-0.3V ~ 71V
BOOST0, BOOST1 .....	-0.3V ~ 71V
スイッチ・トランジエント電圧 (SW0, SW1) .....	-5V ~ 65V
INTV <sub>CC</sub> , BG0, BG1, (BOOST0-SW0)、 (BOOST1-SW1) .....	-0.3V ~ 6V
$V_{SENSE0}^+$ , $V_{SENSE1}^+$ , $I_{SENSE0}^+$ , $I_{SENSE1}^+$ 、 $I_{SENSE0}^-$ , $I_{SENSE1}^-$ , EXTV <sub>CC</sub> .....	-0.3V ~ 15V
$V_{SENSE0}^-$ .....	-0.3V ~ 0.3V
RUN, SDA, SCL, $\overline{ALERT}$ .....	-0.3V ~ 5.5V
ASEL <sub>n</sub> , V <sub>OUTn_CFG</sub> , FREQ_CFG、 PHAS_CFG, V <sub>DD25</sub> .....	-0.3V ~ 2.75V
( $V_{IN} - I_{INP}$ ), ( $V_{IN} - I_{INM}$ ) .....	-0.3V ~ 0.3V
PGOOD0, PGOOD1, $\overline{FAULT}$ , SHARE_CLK、 I <sub>TH0</sub> , I <sub>TH1</sub> , I <sub>THR0</sub> , I <sub>THR1</sub> , V <sub>DD33</sub> , WP、 TSNS0, TSNS1, SYNC .....	-0.3V ~ 3.6V
(EXTV <sub>CC</sub> - $V_{IN}$ ) .....	13.2V
INTV <sub>CC</sub> のピーク出力電流 .....	100mA
動作接合部温度範囲 (Note 2, 15, 16) .....	-55°C ~ 125°C*
保存温度範囲 .....	-65°C ~ 150°C*

\* 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保持特性のデレターティング」を参照してください。

## ピン配置



注記: 高入力電圧定格を実現するために、ピンが省略されています。

## 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	温度範囲
LTC3886EUKG#PBF	LTC3886EUKG#TRPBF	LTC3886UKG	52-Lead (7mm×8mm) Plastic QFN	-40°C to 125°C
LTC3886IUKG#PBF	LTC3886IUKG#TRPBF	LTC3886UKG	52-Lead (7mm×8mm) 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。非標準の鉛ベース仕様の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/tapeandreeel/> 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  $T_J = 25^\circ\text{C}$  の値 (Note 2)。

注記がない限り、 $V_{IN} = 16\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{CC} = 0\text{V}$ 、 $V_{RUN0} = 3.3\text{V}$ 、 $V_{RUN1} = 3.3\text{V}$ 、 $f_{\text{SYNC}} = 350\text{kHz}$  (外部から駆動)、プログラム可能な全てのパラメータは工場出荷時のデフォルト設定。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
<b>入力電圧</b>							
$V_{IN}$	Input Voltage Range	(Note 12)	●	4.5	60	V	
$I_Q$	Input Voltage Supply Current Normal Operation	(Note 14) $V_{RUN} = 3.3\text{V}$ , No Caps on TG and BG $V_{RUN} = 0\text{V}$		26 22		mA mA	
$V_{UVLO}$	Undervoltage Lockout Threshold When $V_{IN} > 4.2\text{V}$	$V_{INTVCC}$ Falling $V_{INTVCC}$ Rising		3.7 3.95		V V	
$T_{INIT}$	Initialization Time	Delay from RESTORE_USER_ALL, MFR_REST, or $V_{INTVCC} > V_{UVLO}$ Until TON_DELAY Can Begin		70		ms	
<b>制御ループ</b>							
$V_{OUT0}$	Range 0 Maximum $V_{OUT}$ Range 0 Set Point Accuracy Range 0 Resolution Range 0 LSB Step Size, FSR = 16.38	$2.0\text{V} \leq V_{OUT} \leq 13.8\text{V}$  (Note 10)	●	-0.5 14.0 12 4	0.5	V % Bits mV	
$V_{OUT1}$	Range 1 Maximum $V_{OUT}$ Range 1 Set Point Accuracy Range 1 Resolution Range 1 LSB Step Size, FSR = 8.19V	$(1.0\text{V} \leq V_{OUT} \leq 6.6\text{V})$	●	-0.5 7.0 12 2	0.5	V % Bits mV	
$V_{LINEREG}$	Line Regulation	$16\text{V} < V_{IN} < 60\text{V}$	●		$\pm 0.02$	%/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	% %	
$g_{m0,1}$	Resolution			3		bits	
	Error Amplifier $g_{m(\text{MAX})}$	$I_{TH} = 1.35\text{V}$		5.76		mmho	
	Error Amplifier $g_{m(\text{MIN})}$	$I_{TH} = 1.35\text{V}$		1.00		mmho	
	Error Amplifier $g_m$ LSB Step Size	$I_{TH} = 1.35\text{V}$		0.68		mmho	
$R_{ITHR0,1}$	Resolution			5		bits	
	Compensation Resistor $R_{ITHR(\text{MAX})}$			62		k $\Omega$	
	Compensation Resistor $R_{ITHR(\text{MIN})}$			0		k $\Omega$	
$I_{\text{SENSE}}$	Input Current	$V_{\text{SENSE}} = 14\text{V}$	●	$\pm 1$	$\pm 2$	$\mu\text{A}$	
$V_{\text{SENSE0(RIN)}}$	$V_{\text{SENSE0}}$ Input Current	$V_{\text{PIN}} = 14\text{V}$		200		$\mu\text{A}$	
$V_{\text{SENSE1(RIN)}}$	$V_{\text{SENSE1}}$ Input Current	$V_{\text{PIN}} = 14\text{V}$		250		$\mu\text{A}$	
$V_{I(\text{LIMIT})}$	Resolution			3		bits	
	$V_{I(\text{LIM})}(\text{MAX})$	Hi Range Lo Range	● ●	68 44	75 50	82 56	mV mV
	$V_{I(\text{LIM})}(\text{MIN})$	Hi Range Lo Range			37.5 25		mV mV
<b>ゲート・ドライバ</b>							
TG $t_r$ $t_f$	TG Transition Time: Rise Time Fall Time	(Note 4) $C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$ $C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$					
					30 30	ns ns	
BG $t_r$ $t_f$	BG Transition Time: Rise Time Fall Time	(Note 4) $C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$ $C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$					
					20 20	ns ns	
TG/BG $t_{1D}$	Top Gate Off to Bottom Gate On Delay Time	(Note 4) $C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$		10		ns	
BG/TG $t_{2D}$	Bottom Gate Off to Top Gate On Delay Time	(Note 4) $C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$		30		ns	

**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  $T_J = 25^\circ\text{C}$  の値 (Note 2)。

注記がない限り、 $V_{IN} = 16\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{CC} = 0\text{V}$ 、 $V_{RUN0} = 3.3\text{V}$ 、 $V_{RUN1} = 3.3\text{V}$ 、 $f_{\text{SYNC}} = 350\text{kHz}$  (外部から駆動)、プログラム可能な全てのパラメータは工場出荷時のデフォルト設定。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$t_{\text{ON(MIN)}}$	Minimum On-Time			90		ns

#### OV/UV出力電圧スーパバイザ

N	Resolution			9		Bits
$V_{\text{RANGE0}}$	Range 0 Maximum Threshold			14		V
$V_{\text{RANGE1}}$	Range 1 Maximum Threshold			7		V
$V_{\text{OUSTP0}}$	Range 0 Step Size, FSR = 16.352V	(Note 10)		32		mV
$V_{\text{OUSTP1}}$	Range 1 Step Size, FSR = 8.176V			16		mV
$V_{\text{THACC0}}$	Range 0 Threshold Accuracy	$2\text{V} < V_{\text{OUT}} < 14\text{V}$	●		±2.5	%
$V_{\text{THACC1}}$	Range 1 Threshold Accuracy	$1\text{V} < V_{\text{OUT}} < 7\text{V}$	●		±2.5	%
$t_{\text{PROPOV1}}$	OV Comparator to FAULT Low Time	$V_{\text{OD}} = 10\%$ of Threshold			35	μs
$t_{\text{PROPUV1}}$	UV Comparator to FAULT Low Time	$V_{\text{OD}} = 10\%$ of Threshold			100	μs

#### $V_{IN}$ 電圧スーパバイザ

N	Resolution			9		Bits
$V_{\text{IN(RANGE)}}$	Full-Scale Voltage	(Note 11)	4.5		61.32	V
$V_{\text{IN(STP)}}$	Step Size			120		mV
$V_{\text{IN(THACCH)}}$	Threshold Accuracy $12\text{V} < V_{\text{IN}} < 60\text{V}$				±3	%
$V_{\text{IN(THACCL)}}$	Threshold Accuracy $4.5\text{V} < V_{\text{IN}} < 15\text{V}$				±6	%
$t_{\text{PROP(VIN)}}$	Comparator Response Time ( $V_{\text{IN\_ON}}$ and $V_{\text{IN\_OFF}}$ )	$V_{\text{OD}} = 10\%$ of Threshold			100	μs

#### 出力電圧読み出し

N	Resolution LSB Step Size			16 250		Bits μV
$V_{\text{F/S}}$	Full-Scale Sense Voltage	(Note 10) $V_{\text{RUN}} = 0\text{V}$ (Note 8)		16.384		V
$V_{\text{OUT\_TUE}}$	Total Unadjusted Error	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $V_{\text{OUT}} > 1.0\text{V}$ (Note 8)	●	0.2	0.5	% %
$V_{\text{OS}}$	Zero-Code Offset Voltage		●		±500	μV
$t_{\text{CONVERT}}$	Conversion Time	(Note 6)		100		ms

#### $V_{IN}$ 電圧読み出し

N	Resolution	(Note 5)		10		Bits
$V_{\text{F/S}}$	Full-Scale Input Voltage	(Note 11)		66.56		V
$V_{\text{IN\_TUE}}$	Total Unadjusted Error	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $V_{\text{VIN}} > 4.5\text{V}$	●		0.4 2	% %
$t_{\text{CONVERT}}$	Conversion Time	(Note 6)		100		ms

#### 出力電流読み出し

N	Resolution LSB Step Size	(Note 5) $0\text{V} \leq  V_{\text{ISENSE}^+} - V_{\text{ISENSE}^-}  < 16\text{mV}$ $16\text{mV} \leq  V_{\text{ISENSE}^+} - V_{\text{ISENSE}^-}  < 32\text{mV}$ $32\text{mV} \leq  V_{\text{ISENSE}^+} - V_{\text{ISENSE}^-}  < 64\text{mV}$ $64\text{mV} \leq  V_{\text{ISENSE}^+} - V_{\text{ISENSE}^-}  < 100\text{mV}$		10 15.26 30.52 61 122		Bits μV μV μV μV
$I_{\text{F/S}}$	Full-Scale Output Current	(Note 7) $R_{\text{ISENSE}} = 1\text{m}\Omega$		±100		A
$I_{\text{OUT\_TUE}}$	Total Unadjusted Error	(Note 8) $10\text{mV} \leq V_{\text{ISENSE}} \leq 120\text{mV}$	●		±1.5	%
$V_{\text{OS}}$	Zero-Code Offset Voltage				±32	μV



**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  $T_J = 25^\circ\text{C}$  の値 (Note 2)。

注記がない限り、 $V_{IN} = 16\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{CC} = 0\text{V}$ 、 $V_{RUN0} = 3.3\text{V}$ 、 $V_{RUN1} = 3.3\text{V}$ 、 $f_{SYNC} = 350\text{kHz}$  (外部から駆動)、プログラム可能な全てのパラメータは工場出荷時のデフォルト設定。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$t_{\text{CONVERT}}$	Conversion Time	(Note 6)		100		ms

#### 入力電流読み出し

N	Resolution	(Note 5)		10		Bits
	LSB Step Size, Full-Scale Range = 16mV	$8\times$ Gain, $0\text{V} \leq  I_{IN}^+ - I_{IN}^-  \leq 5\text{mV}$		15.26		$\mu\text{V}$
	LSB Step Size, Full-Scale Range = 32mV	$4\times$ Gain, $0\text{V} \leq  I_{IN}^+ - I_{IN}^-  \leq 20\text{mV}$		30.52		$\mu\text{V}$
	LSB Step Size, Full-Scale Range = 64mV	$2\times$ Gain, $0\text{V} \leq  I_{IN}^+ - I_{IN}^-  \leq 50\text{mV}$		61		$\mu\text{V}$
$I_{IN\_TUE}$	Total Unadjusted Error (Note 8)	$8\times$ Gain, $2.5\text{mV} \leq  I_{IN}^+ - I_{IN}^-  \leq 5\text{mV}$ $4\times$ Gain, $4\text{mV} \leq  I_{IN}^+ - I_{IN}^-  \leq 20\text{mV}$ $2\times$ Gain, $6\text{mV} \leq  I_{IN}^+ - I_{IN}^-  \leq 50\text{mV}$	● ● ●		$\pm 1.6$ $\pm 1.3$ $\pm 1.2$	% % %
$V_{OS}$	Zero-Code Offset Voltage			$\pm 50$		$\mu\text{V}$
$t_{\text{CONVERT}}$	Conversion Time	(Note 6)		100		ms

#### 電源電流読み出し

N	Resolution	(Note 5)		10		Bits
	LSB Step Size, Full-Scale Range = 256mV			244		$\mu\text{V}$
$I_{\text{CHIP\_TUE}}$	Total Unadjusted Error	$20\text{mV} \leq  I_{IN}^+ - V_{IN}  \leq 200\text{mV}$	●		$\pm 2.5$	%
$t_{\text{CONVERT}}$	Conversion Time	(Note 6)		100		ms

#### 温度読み出し (T0, T1)

$T_{\text{RES\_T}}$	Resolution			0.25		$^\circ\text{C}$
$T0\_TUE$	External TSNS TUE (Note 8) MFR_PWM_MODE_LTC3886[5] = 0 MFR_PWM_MODE_LTC3886[5] = 1	$\Delta V_{\text{TSNS}} = 72\text{mV}$ (Note 17)	●		$\pm 3$	$^\circ\text{C}$
		$V_{\text{TSNS}} \leq 1.85\text{mV}$ (Note 17)	●		$\pm 7$	$^\circ\text{C}$
$T1\_TUE$	Internal TSNS TUE	$V_{\text{RUN}} = 0.0\text{V}$ , $f_{\text{SYNC}} = 0\text{kHz}$ (Note 8)			$\pm 1$	$^\circ\text{C}$
$t_{\text{CONVERT\_T}}$	Update Rate	(Note 6)		100		ms

#### INTV<sub>CC</sub> レギュレータ

$V_{\text{INTVCC\_VIN}}$	Internal $V_{CC}$ Voltage No Load	$6\text{V} < V_{IN} < 60\text{V}$	●	4.8	5	5.2	V
$V_{\text{LDO\_VIN}}$	INTV <sub>CC</sub> Load Regulation	$I_{CC} = 0\text{mA}$ to $50\text{mA}$			0.5	$\pm 2$	%
$V_{\text{INTVCC\_EXT}}$	Internal $V_{CC}$ Voltage No Load	$5.5\text{V} < \text{EXTV}_{CC} < 14\text{V}$	●	4.8	5	5.2	V
$V_{\text{LDO\_EXT}}$	INTV <sub>CC</sub> Load Regulation	$I_{CC} = 0\text{mA}$ to $50\text{mA}$ , $\text{EXTV}_{CC} = 12\text{V}$			0.5	$\pm 2$	%
$V_{\text{EXT\_THRES}}$	EXTV <sub>CC</sub> Switchover Voltage	EXTV <sub>CC</sub> Ramping Positive	●	4.5	4.7	4.9	v
$V_{\text{EXT\_HYS}}$	EXTV <sub>CC</sub> Hysteresis Voltage				20		mV

#### V<sub>DD33</sub> レギュレータ

$V_{\text{DD33}}$	Internal $V_{\text{DD33}}$ Voltage	$4.5\text{V} < V_{\text{INTVCC}}$		3.2	3.3	3.4	V
$I_{\text{LIM}}$	$V_{\text{DD33}}$ Current Limit	$V_{\text{DD33}} = \text{GND}$ , $V_{IN} = \text{INTV}_{CC} = 4.5\text{V}$			100		mA
$V_{\text{DD33\_OV}}$	$V_{\text{DD33}}$ Overvoltage Threshold				3.5		V
$V_{\text{DD33\_UV}}$	$V_{\text{DD33}}$ Undervoltage Threshold				3.1		V

#### V<sub>DD25</sub> レギュレータ

$V_{\text{DD25}}$	Internal $V_{\text{DD25}}$ Voltage				2.5		V
$I_{\text{LIM}}$	$V_{\text{DD25}}$ Current Limit	$V_{\text{DD25}} = \text{GND}$ , $V_{IN} = \text{INTV}_{CC} = 4.5\text{V}$			80		mA

#### 発振器とフェーズロック・ループ

$f_{\text{OSC}}$	Oscillator Frequency Accuracy	$100\text{kHz} < f_{\text{SYNC}} < 750\text{kHz}$ Measured Falling Edge-to-Falling Edge of SYNC with SWITCH_FREQUENCY = 100.0 and 750.0	●			$\pm 10$	%
$V_{\text{TH(SYNC)}}$	SYNC Input Threshold	$V_{\text{CLKIN}}$ Falling			1		V
		$V_{\text{CLKIN}}$ Rising			1.5		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	$0\text{V} \leq V_{\text{PIN}} \leq 3.6\text{V}$				$\pm 5$	$\mu\text{A}$

# LTC3886

**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  $T_J = 25^\circ\text{C}$  の値 (Note 2)。  
 注記がない限り、 $V_{IN} = 16\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{CC} = 0\text{V}$ 、 $V_{RUN0} = 3.3\text{V}$ 、 $V_{RUN1} = 3.3\text{V}$ 、 $f_{\text{SYNC}} = 350\text{kHz}$  (外部から駆動)、  
 プログラム可能な全てのパラメータは工場出荷時のデフォルト設定。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$\theta_{\text{SYNC-}\theta 0}$	SYNC to Channel 0 Phase Relationship Based on the Falling Edge of Sync and Rising Edge of TGO	MFR_PWM_CONFIG_LTC3886[2:0] = 0,2,3		0		Deg
		MFR_PWM_CONFIG_LTC3886[2:0] = 5		60		Deg
		MFR_PWM_CONFIG_LTC3886[2:0] = 1		90		Deg
		MFR_PWM_CONFIG_LTC3886[2:0] = 4,6		120		Deg
$\theta_{\text{SYNC-}\theta 1}$	SYNC to Channel 1 Phase Relationship Based on the Falling Edge of Sync and Rising Edge of TG1	MFR_PWM_CONFIG_LTC3886[2:0] = 3		120		Deg
		MFR_PWM_CONFIG_LTC3886[2:0] = 0		180		Deg
		MFR_PWM_CONFIG_LTC3886[2:0] = 2,4,5		240		Deg
		MFR_PWM_CONFIG_LTC3886[2:0] = 1		270		Deg
		MFR_PWM_CONFIG_LTC3886[2:0] = 6		300		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)	$T_J < 125^\circ\text{C}$	●	10		Years
Mass_Write	Mass Write Operation Time	STORE_USER_ALL, $0^\circ\text{C} < T_J \leq 85^\circ\text{C}$ During EEPROM Write Operations	●	440	4100	ms

## デジタル入力 SCL、SDA、RUN<sub>n</sub>、FAULT<sub>n</sub>

$V_{IH}$	Input High Threshold Voltage	SCL, SDA, RUN, FAULT	●		2.0	V
$V_{IL}$	Input Low Threshold Voltage	SCL, SDA, RUN, FAULT	●	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		$\mu\text{A}$
------------	-----------------------	----	--	----	--	---------------

## オーブンドレイン出力 SCL、SDA、FAULT<sub>n</sub>、ALERT、RUN<sub>n</sub>、SHARE\_CLK、PGOOD<sub>n</sub>

$V_{OL}$	Output Low Voltage	$I_{SINK} = 3\text{mA}$	●		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	1.0	V

## 漏れ電流 SDA、SCL、ALERT、RUN

$I_{OL}$	Input Leakage Current	$0\text{V} \leq V_{PIN} \leq 5.5\text{V}$	●		$\pm 5$	$\mu\text{A}$
----------	-----------------------	-------------------------------------------	---	--	---------	---------------

## 漏れ電流 FAULT<sub>n</sub>、PGOOD<sub>n</sub>

$I_{GL}$	Input Leakage Current	$0\text{V} \leq V_{PIN} \leq 3.6\text{V}$	●		$\pm 2$	$\mu\text{A}$
----------	-----------------------	-------------------------------------------	---	--	---------	---------------

## FAULT<sub>n</sub> のデジタル・フィルタリング

$t_{FLTG}$	Input Digital Filtering FAULT <sub>n</sub>			3		$\mu\text{s}$
------------	--------------------------------------------	--	--	---	--	---------------

## PGOOD<sub>n</sub> のデジタル・フィルタリング

$t_{FLTG}$	Output Digital Filtering PGOOD <sub>n</sub>			60		$\mu\text{s}$
------------	---------------------------------------------	--	--	----	--	---------------

## RUN<sub>n</sub> のデジタル・フィルタリング

$t_{FLTG}$	Input Digital Filtering RUN <sub>n</sub>			10		$\mu\text{s}$
------------	------------------------------------------	--	--	----	--	---------------

## PMBus インタフェースのタイミング特性

$f_{\text{SCL}}$	Serial Bus Operating Frequency		●	10	400	kHz
$t_{\text{BUF}}$	Bus Free Time Between Stop and Start		●	1.3		$\mu\text{s}$
$t_{\text{HD(STA)}}$	Hold Time After Start Condition. After This Period, the First Clock Is Generated		●	0.6		$\mu\text{s}$
$t_{\text{SU(STA)}}$	Repeated Start Condition Setup Time		●	0.6	10000	$\mu\text{s}$
$t_{\text{SU(STO)}}$	Stop Condition Setup Time		●	0.6		$\mu\text{s}$
$t_{\text{HD(DAT)}}$	Data Hold Time		●	0		$\mu\text{s}$
	Receiving Data Transmitting Data		●	0.3	0.9	$\mu\text{s}$

3886f



## 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 $T_J = 25^\circ\text{C}$ の値 (Note 2)。

注記がない限り、 $V_{IN} = 16\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{CC} = 0\text{V}$ 、 $V_{RUN0} = 3.3\text{V}$ 、 $V_{RUN1} = 3.3\text{V}$ 、 $f_{\text{SYNC}} = 350\text{kHz}$  (外部から駆動)、プログラム可能な全てのパラメータは工場出荷時のデフォルト設定。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$t_{\text{SU,DAT}}$	Data Setup Time Receiving Data		●	0.1		$\mu\text{s}$
$t_{\text{TIMEOUT\_SMB}}$	Stuck PMBus Timer Non-Block Reads Stuck PMBus Timer Block Reads	Measured from the Last PMBus Start Event		32/255 255		ms ms
$t_{\text{LOW}}$	Serial Clock Low Period		●	1.3	10000	$\mu\text{s}$
$t_{\text{HIGH}}$	Serial Clock High Period		●	0.6		$\mu\text{s}$

**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。また、長期間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おそれがある。

**Note 2:** LTC3886 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。LTC3886E 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。LTC3886I は  $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$  の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。

**Note 7:**  $I_{\text{OUT\_CAL\_GAIN}} = 1.0\text{m}\Omega$ 、 $\text{MFR\_IOUT\_TC} = 0.0$  である。 $\text{READ\_IOUT}$  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。 $\text{TUE}(\%) = \text{ADC 利得誤差}(\%) + 100 \cdot [\text{ゼロ・コード・オフセット} + \text{ADC の直線性誤差}] / \text{実際の値}$

**Note 9:** 全ての  $V_{\text{OUT}}$  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。LTC3886 は、 $V_{\text{OUT}}$  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:** プログラム可能な最大  $V_{\text{OUT}}$  電圧は 13.8V である。

**Note 11:** 最大  $V_{\text{IN}}$  電圧は 60V である。

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

**Note 13:** EEPROM の書き換え耐性は設計、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。データ保持特性はウェハ・レベルでの高温ベークによって量産テストされている。保持特性の最小仕様値は、EEPROM の書き換えサイクル数が書き換え耐性の最小仕様値よりも少ないデバイスに対して適用される。 $\text{RESTORE\_USER\_ALL}$  (EEPROM 読み出し) は、全動作温度範囲で有効なコマンドである。

**Note 14:** LTC3886 の静止電流 ( $I_Q$ ) は、 $V_{\text{IN}}$  の  $I_Q$  と  $\text{EXTV}_{CC}$  の  $I_Q$  を足したものに等しい。

**Note 15:** LTC3886 は、短時間の過負荷状態の間デバイスを保護するための過熱保護機能を備えている。過熱保護機能が動作しているとき接合部温度は  $125^\circ\text{C}$  を超える。規定された最大動作接合部温度を超えた状態で動作が継続すると、デバイスの信頼性を損なう恐れがある。

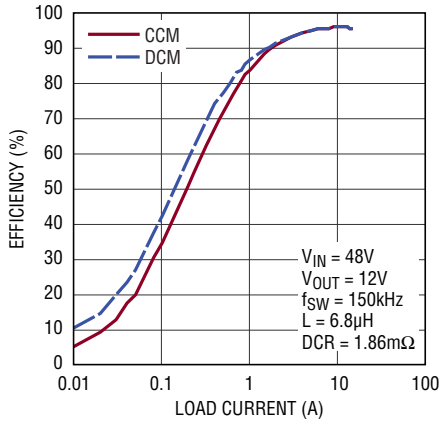
**Note 16:** 書き込み動作は  $T_J = 85^\circ\text{C}$  を超える温度、または  $0^\circ\text{C}$  を下回る温度でも可能ですが、電気的特性は保証外であり、EEPROM は劣化します。 $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$  での読み出し動作によって EEPROM が劣化することはありません。 $85^\circ\text{C}$  を超える温度で EEPROM に書き込むと、保持特性が劣化します。

**Note 17:** 制限値は、ADC の読み出し値を含めて、テスト時に TSNS の電圧と電流の測定値によって保証される。

## 標準的性能特性

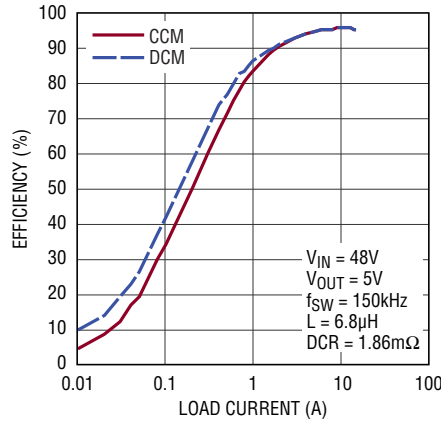
注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 16\text{V}$ 、 $EXTV_{CC} = 0\text{V}$ 。

効率と負荷電流  
 $V_{OUT} = 12\text{V}$



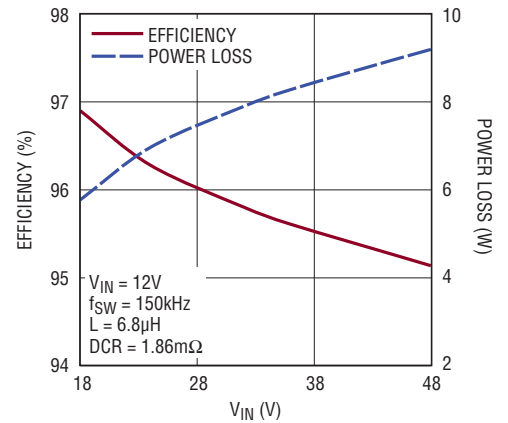
3886 G01

効率と負荷電流、 $V_{OUT} = 5\text{V}$



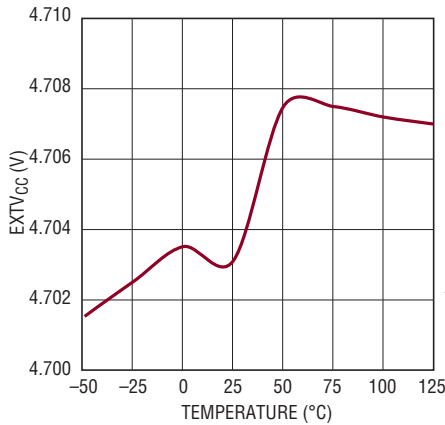
3883 G02

効率および電力損失と入力電圧



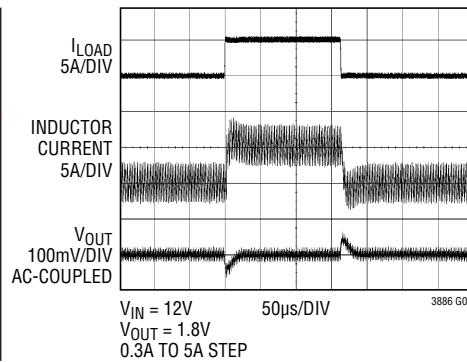
3886 G03

$EXTV_{CC}$ の切り替えと温度



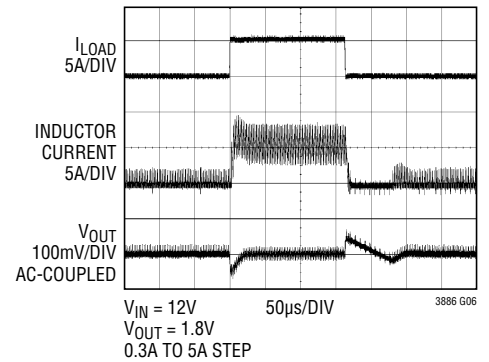
3886 G04

負荷ステップ  
(強制連続モード)



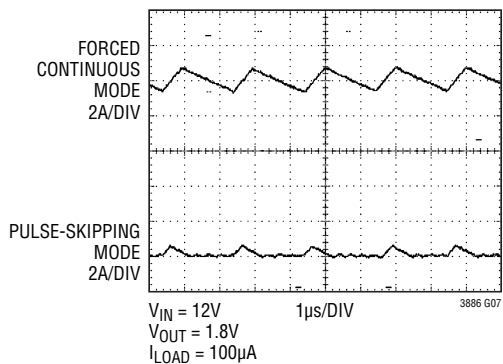
3886 G05

負荷ステップ  
(パルス・スキップ・モード)



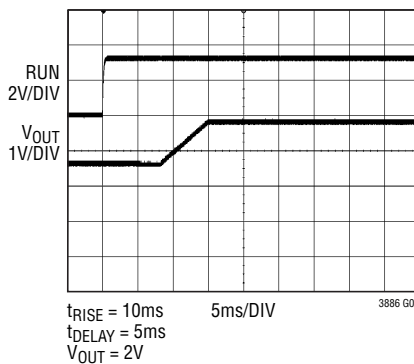
3886 G06

軽負荷時のインダクタ電流



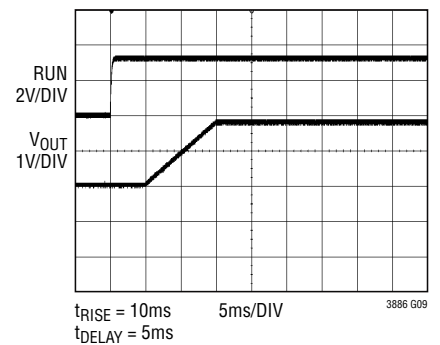
3886 G07

プリバイアスされた負荷に対する  
起動



3886 G08

ソフトスタート時のランプ

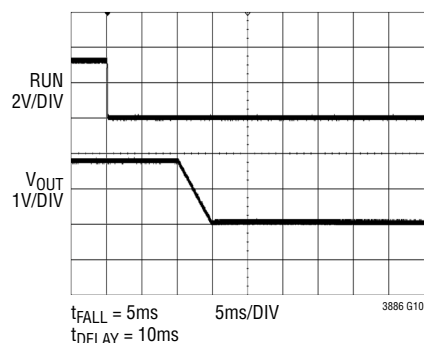


3886 G09

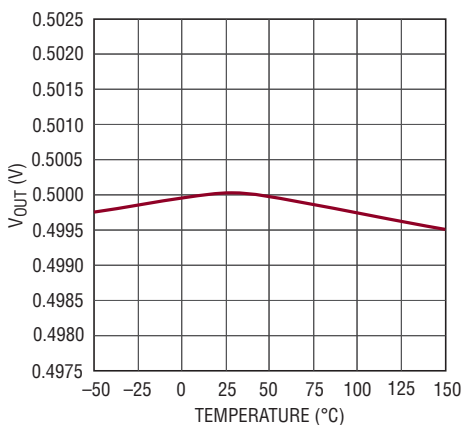
## 標準的性能特性

注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 16\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{CC} = 0\text{V}$ 。

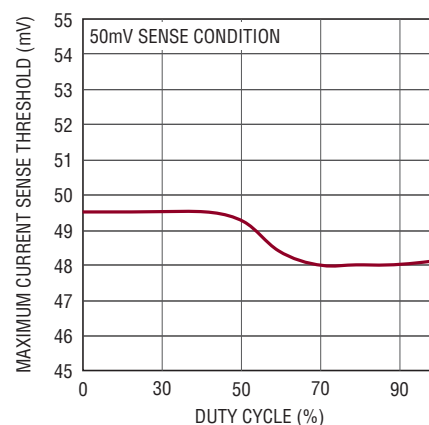
ソフトオフ時のランブ



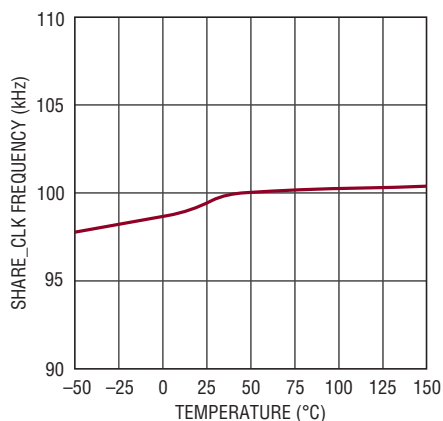
安定化出力電圧と温度



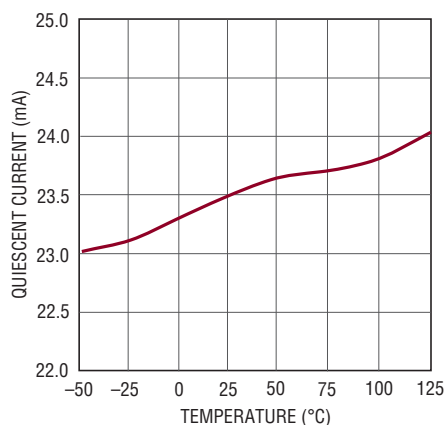
最大電流検出しきい値と  
デューティ・サイクル、 $V_{OUT} = 0\text{V}$



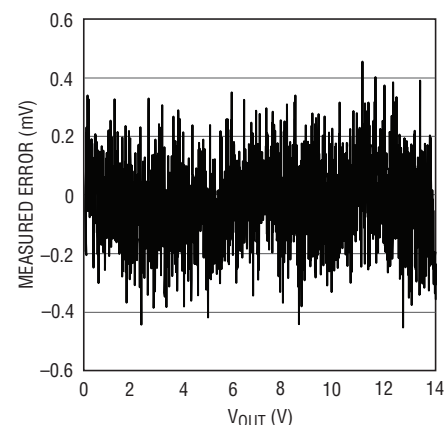
SHARE\_CLK周波数と温度



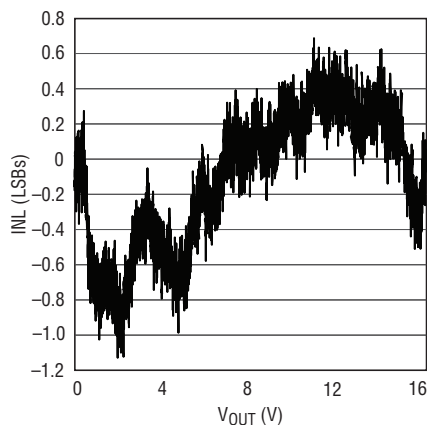
静止電流と温度



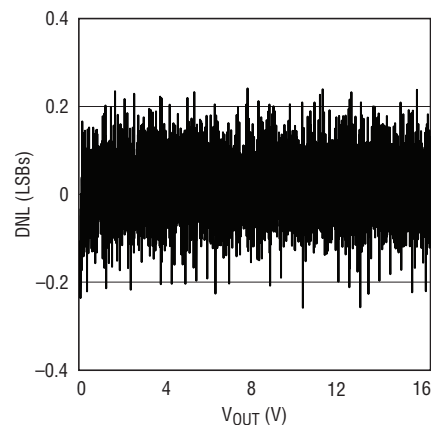
$V_{OUT}$  測定誤差と  $V_{OUT}$



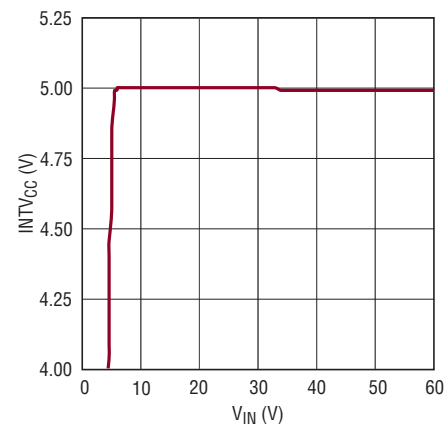
$V_{OUT}$  コマンド INL



$V_{OUT}$  コマンド DNL



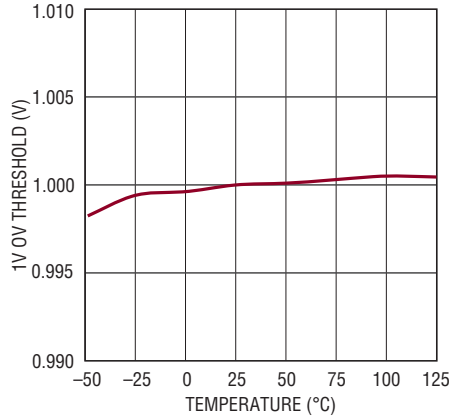
INTV<sub>CC</sub> の入力レギュレーション



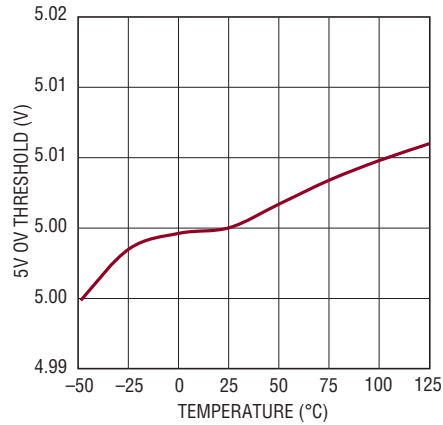
## 標準的性能特性

注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 16\text{V}$ 、 $EXTV_{CC} = 0\text{V}$ 。

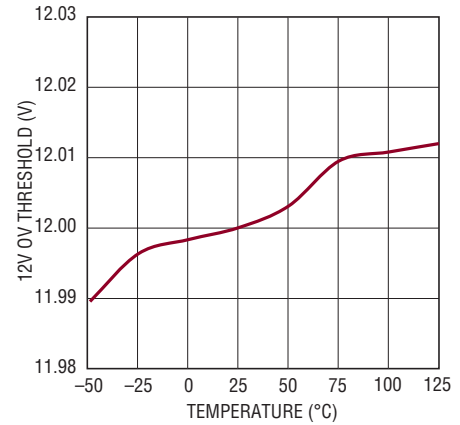
$V_{OUT}$  OVしきい値と温度  
(目標値 1V)



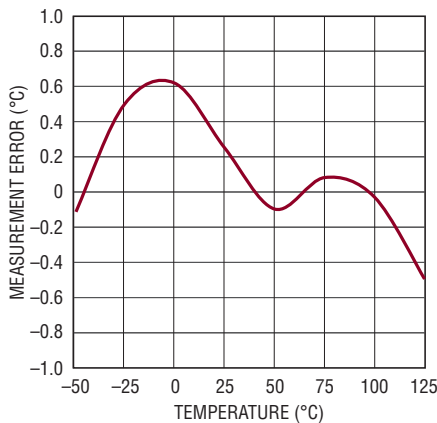
$V_{OUT}$  OVしきい値と温度  
(目標値 2V)



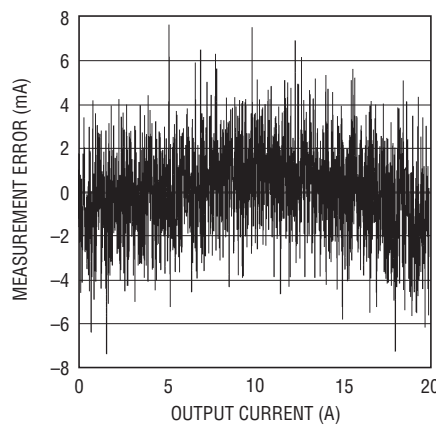
$V_{OUT}$  OVしきい値と温度  
(目標値 4V)



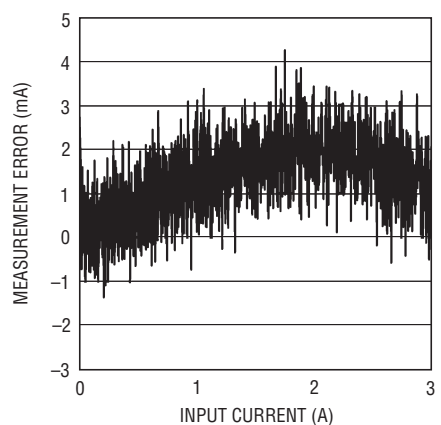
外部温度誤差と温度



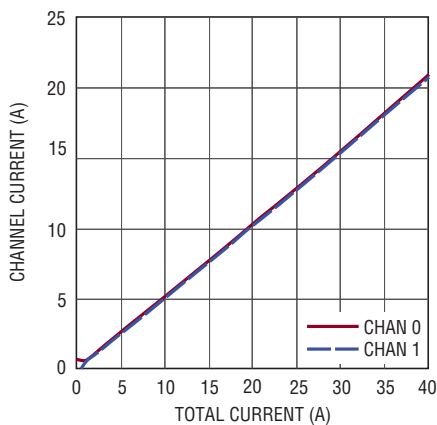
$I_{OUT}$  の誤差と  $I_{OUT}$



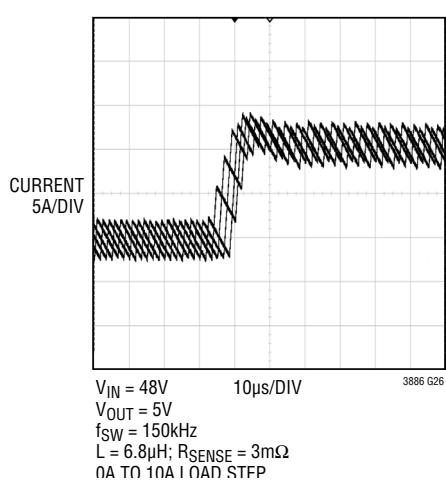
$I_{IN}$  の誤差と  $I_{IN}$



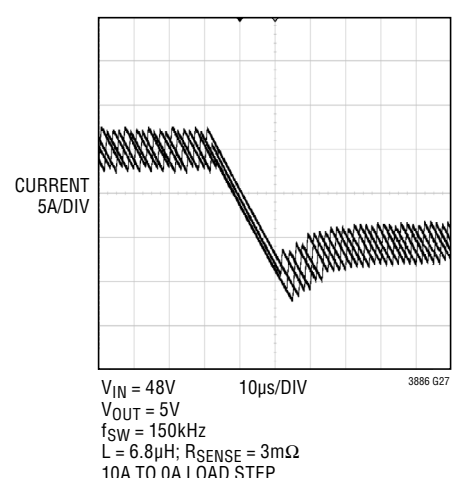
2位相システムにおける  
DC 出力電流の整合性 (LTC3886)



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

**SW0/SW1 (ピン1、ピン39) :** 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。

**TG0/TG1 (ピン2、ピン38) :** 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。

**$I_{SENSE0+}/I_{SENSE1+}$  (ピン4、9) :** 電流検出コンパレータの入力。電流コンパレータの(+)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します。

**$I_{SENSE0-}/I_{SENSE1-}$  (ピン5、10) :** 電流検出コンパレータの入力。(-)入力は出力に接続します。

**TSNS0/TSNS1 (ピン6、ピン36) :** 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することで、離れた場所の温度を検出できます。カソードを、別のグランド・リターン経路を使用してLTC3886のピン53に直接接続します。アノードとカソードの間のバイパス・コンデンサは、トランジスタに近づけて配置する必要があります。温度検出用素子を外付けしない場合は、このピンをグランドに短絡し、 $UT\_FAULT\_LIMIT$  を  $-275^{\circ}C$  に設定し、 $UT\_FAULT\_RESPONSE$  を無視します。

**$V_{SENSE0+}/V_{SENSE1+}$  (ピン7、ピン35) :** 正の出力電圧検出出力。

**$V_{SENSE0-}$  (ピン8) :** チャンネル0の負出力電圧検出出力。

**$I_{THRO}/I_{THR1}$  (ピン11、32) :** ループ補償ノード。

**$I_{TH0}/I_{TH1}$  (ピン12、ピン31) :** 電流制御しきい値およびエラー・アンプの補償ノード。対応する各チャン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。

**SYNC (ピン13) :** 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。クロック・マスタ・モード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幅500nsのパルスによってグランドに引き下げられます。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。

**SCL (ピン14) :** 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15) :** 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へのプルアップ抵抗が必要です。

**$\overline{ALERT}$  (ピン16) :** 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。

**$\overline{FAULT0}/\overline{FAULT1}$  (ピン17、ピン18) :** デジタル・プログラム可能な汎用入力および出力。オープンドレイン出力。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19、ピン20) :** RUN イネーブリング入力および出力。このピンをロジック“H”にすると、コントローラがイネーブリングされます。LTC3886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。このピンは、オープンドレイン・デジタル出力によって駆動される必要があります。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。

**ASELO/ASEL1 (ピン21/ピン22) :** シリアル・バスのアドレス選択入力。オプションの1%精度抵抗分割器を  $V_{DD25}$  と GND の間とこれらのピンに接続して、シリアル・バス・インタフェース・アドレスを選択します。詳細については「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。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。

**$V_{OUT\_CFG0}/V_{OUT\_CFG1}$  (ピン23、24) :** 出力電圧選択ピン。出力電圧を選択するために、チップの  $V_{DD25}$ 、 $V_{OUT\_CFG}$ 、GND 間に  $\pm 1\%$  の抵抗分割器を接続してください。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。詳細については「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。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25) :** 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  $\pm 1\%$  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。詳細については「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。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。



## ピン機能

**PHAS\_CFG (ピン 26) :** 位相の構成入力。オプションの 1% 精度抵抗分割器を  $V_{DD25}$  と GND の間とこのピンに接続して、各 PWM チャンネルの位相を SYNC を基準にして構成します。詳細については「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。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。

**$V_{DD25}$  (ピン 27) :** 内部発生 の 2.5V 電源出力。低 ESR の  $1\mu\text{F}$  コンデンサによって GND にバイパスしてください。LTC3886 の抵抗構成ピンに必要な抵抗分割器を除いて、外部からこのピンに負荷を与えないでください。

**WP (ピン 28) :** アクティブ“H”の書き込み保護ピン。内部の  $10\mu\text{A}$  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 29) :** 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  $100\text{kHz}$  です。複数の LTC コントローラ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 LTC コントローラが、最速のクロックに同期します。 $V_{DD33}$  への  $5.49\text{k}$  のプルアップ抵抗が必要です。アプリケーション回路には  $3.3\text{V}$  へのプルアップ抵抗が必要です。

**$V_{DD33}$  (ピン 30) :** 内部発生 の  $3.3\text{V}$  電源出力。低 ESR の  $1\mu\text{F}$  コンデンサによって GND にバイパスしてください。このピンには外部電流負荷を接続しないでください。

**PGOOD0/PGOOD1 (ピン 34、33) :** パワーグッド・インジケータの出力。出力が OV/UV しきい値を超えたときにグラウンドに引き下げられる、オープンドレインのロジック出力。この出力は、内部の  $100\mu\text{s}$  フィルタによってデグリッチされます。アプリケーション回路には  $3.3\text{V}$  へのプルアップ抵抗が必要です。

**BOOST1/BOOST0 (ピン 40、ピン 52) :** 昇圧されたフローティング・ドライバ電源。このピンにはブートストラップ・コンデンサの (+) 端子を接続します。このピンは、INTV<sub>CC</sub> よりダイオードの電圧降下分だけ低い電圧から  $V_{IN} + \text{INTV}_{CC}$  まで振幅します。

**BG0/BG1 (ピン 42、ピン 50) :** 下側ゲート・ドライバ出力。このピンは、下側の N チャンネル MOSFET のゲートを GND と INTV<sub>CC</sub> の間でドライブします。

**EXTV<sub>CC</sub> (ピン 43) :** INTV<sub>CC</sub> に接続された内部 LDO への外部電源入力。EXTV<sub>CC</sub> が  $4.7\text{V}$  を超えると、 $V_{IN}$  から電力を供給される内部の LDO を迂回して、この LDO が INTV<sub>CC</sub> 電源に電力を供給します。「アプリケーション情報」セクションの「EXTV<sub>CC</sub> の接続」を参照してください。このピンをフロートさせたり、電圧が  $14\text{V}$  を超えたりしないようにしてください。このピンは、 $4.7\mu\text{F}$  以上の低 ESR タンタル・コンデンサまたはセラミック・コンデンサを使用して GND にデカップリングします。EXTV<sub>CC</sub> ピンを使用しない場合、このピンを GND に接続します。EXTV<sub>CC</sub> は、 $V_{IN}$  ピンよりも高い電圧に接続することができます。

**INTV<sub>CC</sub> (ピン 44) :** 内部レギュレータの  $5\text{V}$  出力。制御回路には、この電圧源から給電されます。このピンは、 $4.7\mu\text{F}$  以上の低 ESR タンタル・コンデンサまたはセラミック・コンデンサを使用して GND にデカップリングします。

**$I_{IN}^-$  (ピン 46) :** ハイサイド電流検出アンプの負入力。

**$I_{IN}^+$  (ピン 47) :** ハイサイド電流検出アンプの正入力。

**$V_{IN}$  (ピン 48) :** 主入力電源。このピンはコンデンサ ( $0.1\mu\text{F} \sim 1\mu\text{F}$ ) を使用して GND にデカップリングしてください。メインの入力電源が  $5\text{V}$  のアプリケーションでは、 $V_{IN}$  ピンと INTV<sub>CC</sub> ピンを相互に接続してください。入力電流検出アンプを使用しない場合は、このピンを  $I_{IN}^+$  ピンと  $I_{IN}^-$  ピンに短絡させる必要があります。

**GND (露出パッド・ピン 53) :** グラウンド。全ての小信号用部品および補償用部品は、このグラウンドに一点接続してください。



ブロック図

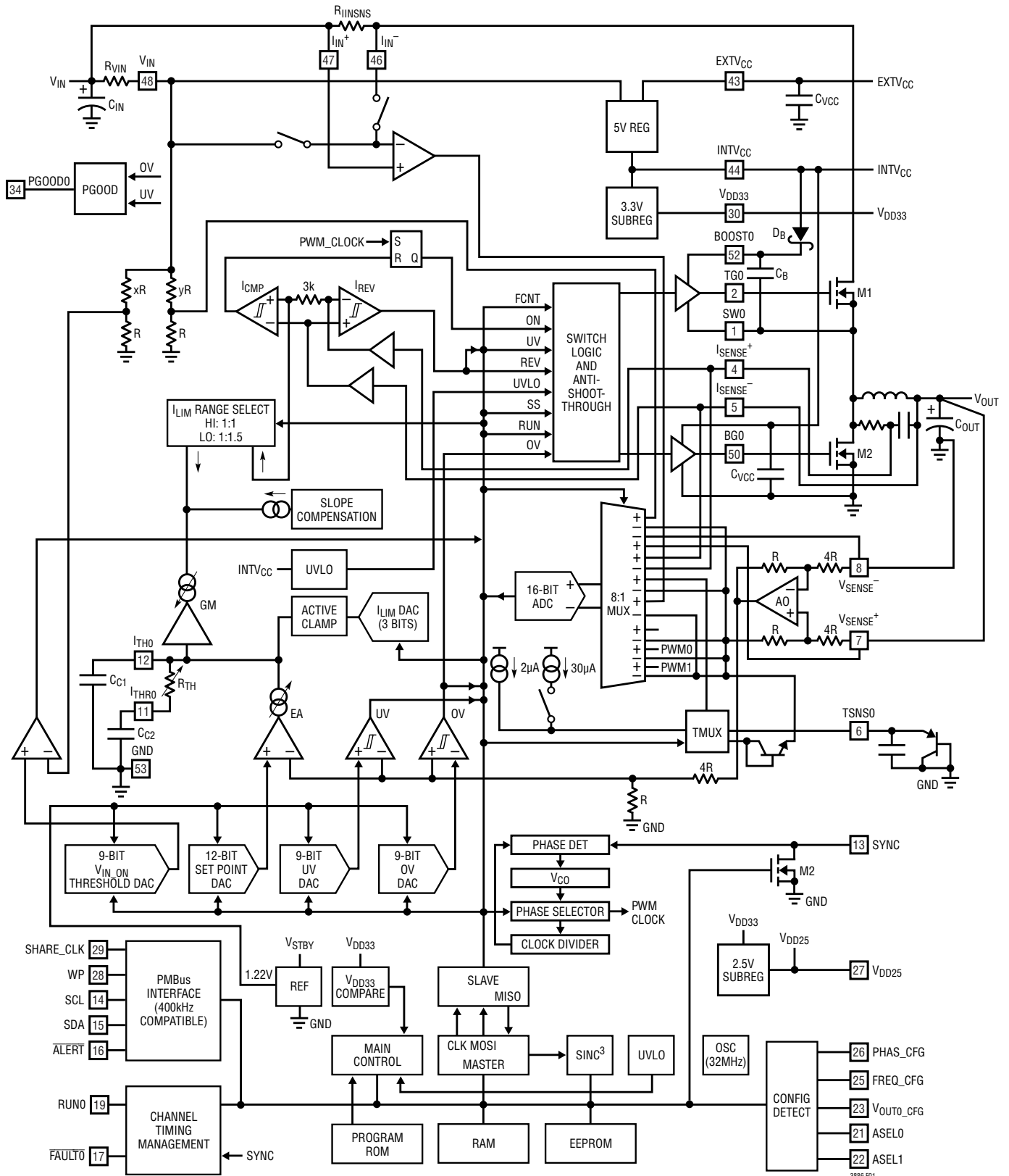


図1. ブロック図、2つのチャネルうちの1つ (CH0) を示す

## 動作

### 概要

LTC3886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。LTC3886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
- プログラム可能なループ補償
- 各チャンネル専用のパワーグッド・ピン
- 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、温度のテレメトリ
- チャンネル0の完全差動リモート検出
- 内蔵ゲート・ドライバ
- 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EEPROM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バージョン1.2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。

フォルトの報告やシャットダウン動作は、いずれも $\overline{\text{FAULT}}_n$ 出力を使用して完全に構成できます。また、 $\overline{\text{ALERT}}$ 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(リトライ)またはラッチ・モードのいずれでも使用できます。

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

LTC3886は、ユーザー定義の相対位相設定によって動作する、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、ある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、メイン電流コンパレータ $I_{\text{CMP}}$ がRSラッチをリセットするとオフします。 $I_{\text{CMP}}$ 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、エラー・アンプ(EA)の出力である $I_{\text{TH}}$ 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、 $V_{\text{SENSE}}$ 電圧を16で割った値に等しくなります(レンジ=1の場合は8)。EAの正側端子は、0V~1.024V

## 動作

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16倍(レンジ = 1の場合は8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3に詳細を示す抵抗構成設定ピン、またはV<sub>OUT</sub> 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VOUT\_COMMANDによって、いつでも出力電圧を変更できます。このコマンドのレイテンシは、通常10ms未満です。LTC3886のプログラム方法を修得するには、PMBus パワーシステム・マネージメント・プロトコルの仕様を参照することを推奨します。この仕様は、次に掲載されています。

<http://www.pmbus.org/specs.html>

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<sub>SENSE</sub> 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<sub>TH</sub> 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

LTC3886は、ユーザー構成設定とフォルト・ログの情報を格納するEEPROMを内蔵しています。ユーザー空間およびフォルト・ログ・ページに関するEEPROMの耐久性とデータ保持能力は、「絶対最大定格」および「電気的特性」の表に規定されています。LTC3886のEEPROMには、内部冗長性のある製造時調整部も組み込まれています。

内蔵のEEPROM全体の完全性は、パワーオン・リセット後または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エラーが発生すると、STATUS\_BYTE コマンドおよびSTATUS\_WORD コマンド内のCMLビットが設定され、STATUS\_MFR\_SPECIFIC コマンド内のEEPROM CRC Errorビットが設定され、さらにALERTピンとRUNピンが“L”に(PWMチャンネルがオフ)になります。その時点で、デバイスは特別なアドレス0x7Cでのみ応答するようになります。このアドレスは、無効なCRCが検出された後にのみ有効になります。

デバイスはグローバル・アドレス0x5A および0x5Bでも応答しますが、CRCの問題から回復させようとするときにこれらのアドレスを使用することは推奨しません。無効のCRCを報告するデバイスのいずれかのPWMチャンネルに関連した電源レールは、問題が解決するまで全て無効のままにする必要があります。

リニアテクノロジーでは、ダイ温度が85°Cより高いときはEEPROMに書き込まないことを推奨します。内部ダイ温度が130°Cを超えると、RESTORE\_USER\_ALL およびMFR\_RESET 以外のEEPROM動作は全て無効になります。ダイ温度が125°Cより低くなるまで、EEPROMの完全な動作が再度可能になることはありません。動作温度の上昇による保持特性の低下を予測する式については、「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。

LTC3886がやはりサポートしている、EEPROMの一括プログラミングを含む効率的なシステム内EEPROMプログラミングの詳細については、「アプリケーション情報」のセクションを参照するか、弊社にご連絡ください。

## パワーアップおよび初期化

LTC3886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V<sub>IN</sub> 入力電源(4.5V ~ 60V)から動作することができ、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<sub>IN</sub>が6Vを超えず、EXTV<sub>CC</sub>ピンを外部電源から駆動しない場合、INTV<sub>CC</sub>ピンとV<sub>IN</sub>ピンを相互に接続する必要があります。回路の効率を向上し、LTC3886の消費電力を最小化するには、LTC3886のEXTV<sub>CC</sub>ピンを外部電源によって駆動します。INTV<sub>CC</sub>の電圧LDOがEXTV<sub>CC</sub>ピンから動作する前に、EXTV<sub>CC</sub>ピンの電圧が約4.8Vを超える必要があります。アプリケーションの消費電力を最小限に抑えるために、EXTV<sub>CC</sub>ピンにはスイッチング・レギュレータまたはLTC3886の出力を使って給電できます。EXTV<sub>CC</sub>の電圧は、V<sub>IN</sub>の電圧を超えることができます。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<sub>IN</sub>として約4.2V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。PMBus RESTORE\_USER\_ALL コマンドまたはMFR\_RESET コマンドを実行すると、これと同じ初期化が強制的に行われます。

## 動作

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に読み出します(または、それらのいずれか一方の動作)。BGnピン、TGnピン、PGOODnピン、およびRUNnピンは、“L”に保たれます。FAULTnピンは、高インピーダンスモードになります。LTC3886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\_LTC3886のビット6)がアサートされている場合、LTC3886はEEPROMの内容だけに基いて、DC/DC特性を決定します。電源投入時またはリセット時に読み出されるASEL0およびASEL1の値は、このピンが開放でない限り常に優先されます。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VIN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。VIN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待つことが必要な場合があります。

## 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ません。LTC3886は、初期化が完了し、VIN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LTC3886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VIN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、VINが印加されてVIN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)、LTC3886を設定できます(MFR\_CHAN\_CONFIG\_LTC3886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、ユーザーがチップ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SHARE\_CLKピンどうしを相互に接続し、10kの抵抗で

VDD33にプルアップ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。

RUNn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、LTC3886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。LTC3886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isableできます。TON\_RISE動作中、LTC3886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、VOUTがVOUT\_UV\_FAULT\_LIMITを超えた時点で、IOUT\_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。

## 時間ベースのシーケンシング

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。出力は、RUNn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VINピン電圧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IC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\_LTC3886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。RUNnピンが“L”に引き下げられると、MFR\_RESTART\_DELAYの間、LTC3886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、



## 動作

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。LTC3886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。

### イベントベースのシーケンシング

出力UVしきい値を超えると、PGOOD<sub>n</sub>ピンがアサートされます。1つのLTC3886のPGOOD<sub>n</sub>ピン出力を、シーケンス内の次のLTC3886のRUNピンに供給できます。これは、複数のLTC3886間で実施できます。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。

#### Event-Based Sequencing by Cascading PGOODs Into RUN Pins

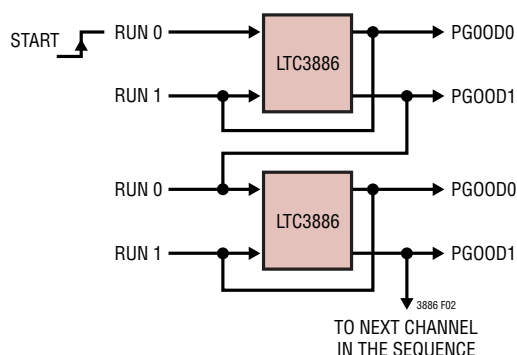


図2. イベント(電圧)ベースのシーケンシング

### シャットダウン

LTC3886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)による連続導通モードです。コントローラは負荷から電流を流し、TOFF\_FALLを強制します。第2のモードは、不連続導通モードです。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。

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\_LTC3886のビット2が1に設定されている場合)、V<sub>IN</sub>がVIN\_OFFしきい値を下回るか、またはFAULT<sub>n</sub>が外部から“L”に引き下げられた場合(MFR\_FAULT\_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FAULT<sub>n</sub>ピンを介した外部フォルト、SHARE\_CLKの喪失(MFR\_CHAN\_CONFIG\_LTC3886のビット2が1に設定されている場合)、またはV<sub>IN</sub>のVIN\_OFFしきい値未満への低下に応答して移行されます。

リトライ・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FAULT<sub>n</sub>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\_LTC3886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・オフされたまま留まり、クリアするにはRUN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

LTC3886には、不連続導通モードまたは強制連続導通モードという2つのPWM動作モードがあります。これらのモードはMFR\_PWM\_MODE\_LTC3886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導通動作するようにイネーブルされると、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<sub>REV</sub>)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。したがって、コントローラは不連続動作する

## 動作

場合があります。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導通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100ms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に保ってください。

## PWM ループ補償

LTC3886の内部PWMループ補償抵抗 $R_{ITHn}$ は、MFR\_PWM\_COMPコマンドのビット[4:0]を使用して調整できます。

LTC3886のPWMエラーアンプの相互コンダクタンスは、MFR\_PWM\_COMPコマンドのビット[7:5]を使用して調整できます。

詳細は、「アプリケーション情報」の「プログラム可能なループ補償」の項を参照してください。

## スイッチング周波数と位相

PWMのスイッチング周波数は、内部発振器または外付けのタイムベースを使用して設定できます。クロックが内部で供給されるか外部的に供給されるかに関係なく、内部フェーズロック・ループ(PLL)は、適切な位相関係によりPWM制御をこの時間基準に同期させます。表5に概要を示すように、PMBusコマンド、EEPROMの設定、または外付けの構成抵抗によってデバイスを構成し、マスタ・クロックを他のICに供給することもできます。

LTC3886は、クロック・マスタとして、そのオープンドレインSYNCピンを、選択したレートと500nsのパルス幅で駆動します。この場合には、SYNCと $V_{DD33}$ の間に外付けのプルアップ抵抗が必要です。SYNCに接続されている1つのデバイスだけがピンを駆動するよう指定します。クロック・マスタとして設

定された複数のLTC3886がプルアップ抵抗を使用して同じSYNCラインに配線されている場合、それらのデバイスのうちの1つのみが自動的に選択されてクロックを供給し、その他のデバイスのSYNC出力はディセーブルされます。

LTC3886は外部SYNC入力を自動的に受け取り、必要に応じてそれ自身のSYNC駆動をディセーブルします。LTC3886は、SYNC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。MFR\_CONFIG\_ALL\_LTC3886のビット4を設定することによって、PWM動作に必ず外部発振器を必要とするようにデバイスを設定することもできます。SYNCドライバ回路の状態は、MFR\_PADSのビット10によって示されます。

MFR\_PWM\_CONFIG\_LTC3886コマンドを使用して、各チャンネルの位相を構成することができます。表5に概要を示すように、EEPROMまたは外付けの構成抵抗から目的の位相を設定することもできます。設定された位相は、SYNCの立ち上がりエッジと、上側パワー・スイッチをオンにするPWMラッチを設定する内部クロック・エッジの間の関係を表します。PWM制御ピンには小規模の伝播遅延も追加されません。FREQUENCY\_SWITCHコマンドおよびMFR\_PWM\_CONFIG\_LTC3886コマンドをLTC3886に書き込む前に、両方のチャンネルをオフにしておく必要があります。

位相関係と周波数は互いに独立しているので、多数のアプリケーション・オプションが得られます。複数のLTC3886 ICを同期させてPolyPhase配列を実現できます。この場合、位相は $360/n$ 度で分離します。ここで、 $n$ は出力電圧レールを駆動する位相の数です。

## 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 $V_{SENSE0n}$ 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( $V_{SENSE1}$ )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、 $V_{SENSE0n}$ ピンでチャンネル0の出力電圧を測定し、 $V_{SENSE1}/GND$ ピンでチャンネル1の出力電圧を測定します。 $V_{SENSE0}^+$ および $V_{SENSE0}^-$ 間の最大許容差動検出電圧は、14Vです。



## 動作

### 出力電流検出

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( $V_{DCR}$ )がインダクタの直列抵抗に生じる電圧に等しくなり、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コマンド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、ISENSE<sup>+</sup>ピンをコンデンサのFET側、ISENSE<sup>-</sup>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LTC3886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±100mV、ノイズ・フロアが7 $\mu$ V<sub>RMS</sub>、ピーク・トゥ・ピーク・ノイズが約46.5 $\mu$ Vです。LTC3886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。

### 入力電流検出

LTC3886と電力段が消費する全入力電流を検出するために、電源電圧と上側NチャンネルMOSFETのドレイン間に抵抗が挿入されています。I<sub>IN</sub><sup>+</sup>ピンおよびI<sub>IN</sub><sup>-</sup>ピンは、検出抵抗に接続します。フィルタされた電圧は内部の上側電流検出アンプによって増幅され、LTC3886のテレメトリADCによってデジタル化されます。入力電流検出アンプでは2x、4x、8xの3つの利得設定を使用でき、これらはMFR\_PWM\_MODE\_3886コマンドのビット[3:2]によって設定します。これら3つの利得設定に対する最大差動入力検出電圧は、それぞれ50mV、20mV、5mVです。LTC3886は、IIN\_CAL\_GAINコマンドに格納されたRの値に基づいて入力電流を計算します。得られた電力段電流の測定値は、READ\_IINコマンドによって返されます。

LTC3886は、自身が消費するV<sub>IN</sub>ピン電源電流を測定するために、RVIN抵抗を使用します。この値は、MFR\_READ\_ICHIPコマンドによって返されます。デバイスの電流は、MFR\_RVINコマンドに格納されたRの値を使用して計算されます。詳細は、「アプリケーション情報」の「入力電流検出アンプ」の項を参照してください。

### PolyPhase 負荷シェアリング

複数のLTC3886を並列に接続し、必要なピンを接続することで、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。

1つのLTC3886のSYNCピンのみをイネーブルしてください。その他のLTC3886は、発振器周波数を公称値に設定して、SYNCをディスエーブルするように設定します。MFR\_PWM\_CONFIGコマンドのビット[5]を設定すると、チャンネル1は、チャンネル0の帰還ノードをレギュレーション・ポイントとして使用します。PolyPhaseアプリケーションでは、両方のV<sub>OUT</sub>ピンを相互に接続し、両方のI<sub>TH</sub>ピンを相互に接続している場合のみ、MFR\_PWM\_CONFIGのビット[5]をアサートしてください。

### 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、最も的確に測定できます。PNPトランジスタのエミッタ端子はTSNSピンに接続し、ベース端子とコレクタ端子はケルビン接続を使用してLTC3886のピン53(GND)に直接戻す必要があります。バイパス・コンデンサを、エミッタとコレクタの間で、トランジスタに近づけて接続する必要があります。異なる2つの電流(公称2 $\mu$ Aおよび32 $\mu$ A)がダイオードに流れ、内部の16ビット・モニタA/Dコンバータで行われる $\Delta V_{BE}$ 測定により温度が計算されます。

LTC3886は、V<sub>BE</sub>ベースの直接の外部温度測定もサポートしています。この場合、ダイオードまたはダイオード回路網は特定の電流および温度で特定の電圧に調整されます。一般にこの方法は単一PNPトランジスタほど正確な結果をもたらしますが、ノイズの多いアプリケーションでは適切に機能する場合があります。これら2つの外部温度検出構成のためのLTC3886のプログラミングに関する追加情報については、「PMBusコマンドの詳細」セクションのMFR\_PWM\_MODE\_LTC3886を参照してください。

## 動作

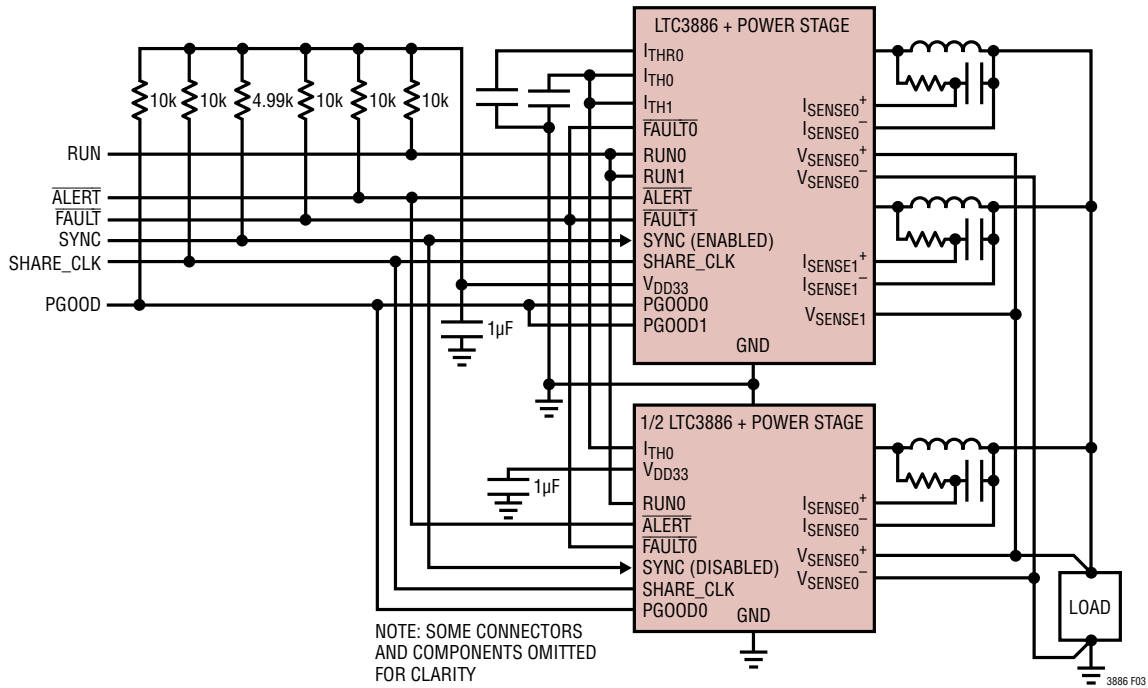


図3. 3位相動作の負荷シェアリング接続

温度の計算結果は、PMBusのREAD\_TEMPERATURE\_1コマンドによって返されます。外部温度検出素子の適切なレイアウトと、温度計算結果の精度を向上するために使用できるPMBusコマンドの詳細については、「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。

READ\_TEMPERATURE\_2コマンドは、内蔵のダイオードと $\Delta V_{BE}$ 測定および計算を使用して、LTC3886の内部接合部温度を返します。

### 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\_LTC3886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。抵抗構成ピンが測定されるのは、電源投入時と、RESTORE\_USER\_ALLコマンドまたはMFR\_RESETコマンドの実行時だけです。

$V_{OUTn\_CFG}$ ピンの設定は、表3に記載されています。これらのピンは、LTC3886のアナログPWMコントローラの出力電圧を選択します。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。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。

RCONFIGピンを出力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\_LIMIT .....+7.5%
- VOUT\_MAX .....+7.5%
- VOUT\_MARGIN\_HIGH.....+5%
- VOUT\_MARGIN\_LOW.....-5%
- VOUT\_UV\_WARN\_LIMIT .....-6.5%
- VOUT\_UV\_FAULT\_LIMIT .....-7%

## 動作

FREQ\_CFGピンの設定は、表4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5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。外部SYNC信号が内部で生成されており、外部SYNCが選択されていない場合、MFR\_PADS\_LTC3886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ALERTを出力したくない場合は、PLL\_FAULTの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つデバイスのみをSYNCピンをイネーブルし、残りのデバイスのSYNCピン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6に記載されています。ASEL1ピンはLTC3886のスレーブ・アドレスの上位3ビットを選択します。ASEL0はLTC3886のスレーブ・アドレスの下位4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がフロート状態の場合、EEPROMのMFR\_ADDRESSコマンドに格納された下位4ビットは、スレーブ・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6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、ASEL<sub>n</sub>だけは例外であり常にピン設定が優先されます。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予備アドレスであり、全てのデバイスが応答します。

## フォルト処理

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)フォルトおよび警告保護
- CML(通信、メモリ、ロジック)フォルト
- 双方向FAULT<sub>n</sub>ピンを介した外部フォルト検出

さらに、LTC3886ではフォルト・インジケータの任意の組み合わせをFAULT<sub>n</sub>ピンに割り当てることができます。それには、FAULT<sub>n</sub>応答伝播コマンドのMFR\_FAULT\_PROPAGATE\_LTC3886を使用します。FAULT<sub>n</sub>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FAULT<sub>n</sub>ピンを使用できます。

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。FAULT<sub>n</sub>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FAULT<sub>n</sub>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によってフォルトまたは警告がマスクされていなければ、ALERTピンが“L”にアサートされます。ピンは、CLEAR\_FAULTSコマンドの発行、フォルト・ビットへの1書き込み、バイアス電源の遮断/再投入、MFR\_RESETコマンドの発行、RUNピンのオフ/オン・トグル、PMBusを介したオフ/オン指示のいずれかが実行されるまで、“L”アサートの状態を保ちます。MFR\_FAULT\_PROPAGATE\_LTC3886コマンドは、フォルトが検出された場合にFAULT<sub>n</sub>ピンを“L”に引き下げるかどうかを決定します。



## 動作

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ます。フォルト状態自体は直ちにデバイスを損傷しない場合に、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。

### ステータス・レジスタおよびALERTのマスクング

図4はPMBusコマンドでアクセス可能なLTC3886内部のステータス・レジスタをまとめたものです。さまざまなフォルト、警告、およびその他の重要な動作状態の表示がこれらに含まれます。ここに示すように、STATUS\_BYTE コマンドとSTATUS\_WORD コマンドも、他のステータス・レジスタの内容を示します。具体的な情報については、「PMBus コマンドの詳細」を参照してください。

STATUS\_BYTE 内に上記のいずれも存在しない場合は、STATUS\_WORD の最上位ニブルの1ビット以上も設定されていることを示します。

一般に、アサートされたビットがSTATUS\_xレジスタにある場合も、ALERTピンは“L”になります。ALERTは、いったん設定されると、次のいずれかが生じるまで“L”のままです。

- CLEAR\_FAULTS、RESTORE\_USER\_ALL、またはMFR\_RESET コマンドが発行される
- 関連のステータス・ビットに1が書き込まれる
- フォルト発生チャンネルに対してオフ命令およびオンへの復帰命令が適切に行われる
- LTC3886がPMBus ARA中にアドレスを正常に送信する
- バイアス電源が入れ直される

いくつかの例外を除き、SMBALERT\_MASK コマンドを使用することにより、LTC3886がこれらのレジスタ内のビットにビット単位でALERTをアサートするのを防止できます。これらのマスク設定はステータス・ビット自体と同じ方法でSTATUS\_WORDとSTATUS\_BYTEに適用されます。例えば、チャンネル0のSTATUS\_VOUT内の全てのビットに対してALERTが

マスクされる場合、 $\overline{\text{ALERT}}$ は実質的にPAGE 0のSTATUS\_WORD内のVOUTビットに対してマスクされます。

STATUS\_BYTEにBUSYビットがある場合も、 $\overline{\text{ALERT}}$ が“L”にアサートされ、マスクすることはできません。このビットは、PMBus通信とのさまざまな内部の相互作用の結果として設定される場合があります。このフォルトが生じるのは、1チャンネルまたは両方のチャンネルがイネーブルされている場合には安全に実行できないコマンドを受け取った場合です。「アプリケーション情報」で説明しているように、BUSYフォルトはいくつかのコマンドを実行する前にMFR\_COMMONをポーリングすれば回避できます。

マスクされたフォルトが電源投入の直後に発生した場合、 $\overline{\text{ALERT}}$ が“L”に引き下げられたままになることがあります。これは、設定された全てのマスク情報をEEPROMから取得する時間がなかったために生じます。

MFR\_COMMONおよびMFR\_PADSに含まれている状態情報を使用して、前に示したようにSTATUS\_BYTEまたはSTATUS\_WORDの内容をさらにデバッグするか、明示することができ、これらのレジスタの内容はALERTピンの状態には影響せず、STATUS\_BYTEまたはSTATUS\_WORD内のビットには直接影響しない場合があります。

### FAULTピンへのフォルトのマッピング

LTC3886の $\overline{\text{FAULT}}_n$ ピンは、チャンネル間およびLTC3880、LTC2974、LTC2978、LTC4676  $\mu$ Module<sup>®</sup>などの全てのLTC PMBus製品で、フォルトを共有することができます。内部フォルトの発生時に、1つ以上のLTC3886が、バス接続された $\overline{\text{FAULT}}_n$ ピンを“L”に引き下げよう構成されます。それ以外のLTC3886は、 $\overline{\text{FAULT}}_n$ ピンのバスが“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、LTC3886のフォルト発生チャンネルが $\overline{\text{FAULT}}_n$ ピンのバス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、 $\overline{\text{FAULT}}_n$ 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、LTC3886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\_LTC3886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。

動作

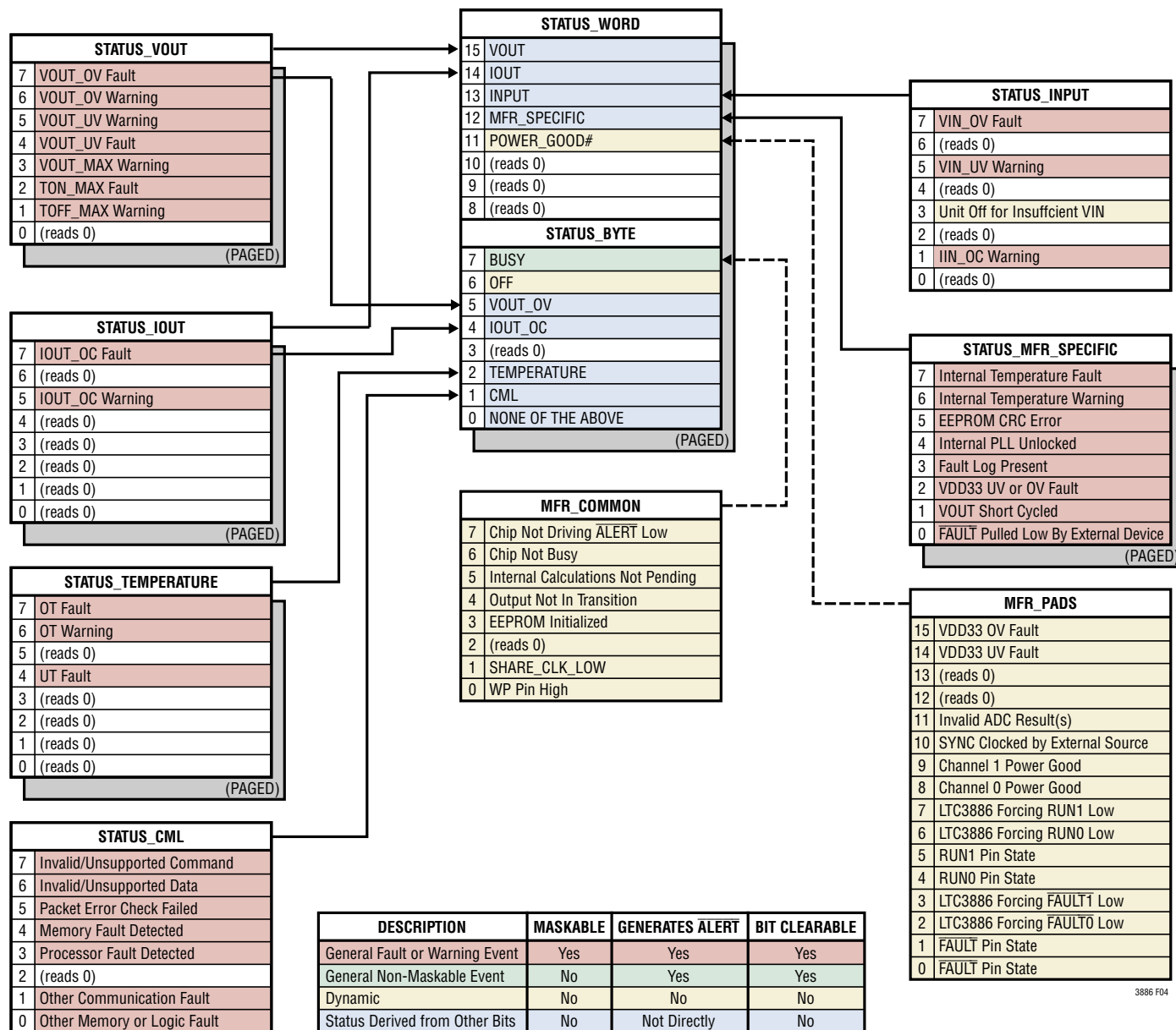


図 4. LTC3886 のステータス・レジスタのまとめ

3886 F04

## 動作

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。

### パワーグッド・ピン

LTC3886のPGOOD<sub>n</sub>ピンは、内部MOSFETのオープンドレインに接続されています。チャンネル出力電圧がチャンネルのUV電圧しきい値とOV電圧しきい値の範囲内でない場合、MOSFETがオンになり、PGOOD<sub>n</sub>ピンを“L”に引き下げます。TON\_DELAYおよびTON\_RISEのシーケンス制御時に、PG<sub>n</sub>ピンは“L”に保持されます。対応するRUN<sub>n</sub>ピンが“L”のときも、PGOOD<sub>n</sub>ピンは“L”になります。PGOOD<sub>n</sub>ピンの応答は、内部の60μsデジタル・フィルタによってデグリッチされます。PGOOD<sub>n</sub>ピンおよびPGOODの状態は、内部の最大10μsの通信待ち時間に起因して、異なる場合があります。

### 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、コントローラがリセット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、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。

LTC3886のEEPROMの製造時セクションには、ミラー・コピーがあります。コピーが両方とも破損すると、STATUS\_MFR\_SPECIFICコマンド内に、「EEPROM 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

LTC3886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、LTC3886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。

シリアル・インタフェースは、PMBus仕様に規定された、次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)ブロック書き込み、9)PAGE\_PLUS\_READ、10)PAGE\_PLUS\_WRITE、11)SMBALERT\_MASK読み出し、12)SMBALERT\_MASK。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\_LTC3886コマンド内のPEC\_REQUIREDビットがセットされている場合、LTC3886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、ALERTピンが“L”に引き下げられます。

### デバイス・アドレス指定

LTC3886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)ル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LTC3886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。LTC3886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。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LTC3886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。

ルール・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、ルール・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、ルール・アドレスからは読み出さないでください。



## 動作

デバイス・アドレス指定は、PMBus マスタが LTC3886 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。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イ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 LTC3886 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<sub>OUT</sub> および I<sub>OUT</sub> フォルトに対する応答

V<sub>OUT</sub> 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<sub>OUT</sub> 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<sub>IN</sub> と I<sub>OUT</sub> 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<sub>OUT</sub> 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、R<sub>IINSENS</sub> 抵抗の両端で測定された電圧を、MFR\_RVIN コマンドで設定された抵抗値で割った値に等しくなります。この入力電流の計算値が I<sub>IN\_OC\_WARN\_LIMIT</sub> を超えた場合、ALERT ピンが“L”に引き下げられ、STATUS\_INPUT コマンドの I<sub>IN\_OC\_WARN</sub> ビットがアサートされます。

LTC3886 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（リトライ）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 7 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

UV 応答はデグリッチできます。表 8 を参照してください。

### 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<sub>TH</sub> 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<sub>TH</sub> 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。LTC3886 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<sub>TH</sub> の最大許容値を変更します。

## 動作

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、(0~7)・16ms刻みでデグリッチできます。表9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<sub>OUT</sub>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、出力がソフトスタート・シーケンスを実行している間の、V<sub>OUT\_UV\_FAULT\_LIMIT</sub>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、ソフトスタート・シーケンスが開始された時点を起点とします。TON\_MAX\_FAULT\_LIMITの分解能は10μsです。TON\_MAX\_FAULT\_LIMITの時間内にV<sub>OUT\_UV\_FAULT\_LIMIT</sub>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。

表11を参照してください。

### V<sub>IN</sub>の0Vフォルトに対する応答

V<sub>IN</sub>の過電圧は、ADCで測定されます。この応答は、ADCの100msの標準応答時間によって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11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。デバイスは、130°Cよりも高くなると内部過熱警告しきい値を超え、RESTORE\_USER\_ALLまたはMFR\_RESETを除く全てのEEPROM関連コマンドにNACKを返し、無効な/サポートされていないコマンドに対してCMLフォルトを発行します。内部温度が125°C未満に低下すると、完全なEEPROMの動作が再びイネーブルされます。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がデイスエーブルされます。温度はADCで測定されます。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11を参照してください。

### 外部過熱および低温フォルト応答

外付けの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。外付け検出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に設定します。ただし、外付け温度検出素子を使用しないことは推奨されません。

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11を参照してください。

## 動作

### 入力過電流および出力低電流フォルトに対する応答

入力過電流および出力低電流の状態は、多重化されたADCによって測定します。これらの測定値は、いずれもADCの標準応答時間である100msによって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11を参照してください。

### 外部フォルトに対する応答

いずれかの $\overline{\text{FAULT}}_n$ ピンが“L”に引き下げられた場合、MFR\_PADS コマンドの対応する $\overline{\text{FAULT}}_n$ ビットがデアサートされ、STATUS\_MFR\_SPECIFIC コマンドの $\overline{\text{FAULT}}_n$ ビットが設定され、STATUS\_BYTE コマンドのNONE\_OF\_THE\_ABOVE ビットが設定され、 $\overline{\text{ALERT}}$ 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。各チャネルは、MFR\_FAULT\_RESPONSE コマンドを変更することで、 $\overline{\text{FAULT}}_n$ 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。 $\overline{\text{FAULT}}$ 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\_LTC3886のビット1をアサートするか、SMBALERT\_MASK コマンドを使用してALERTをマスクします。

### フォルト・ログ

LTC3886にはフォルト・ログ記録の機能があります。データは表13に示す順序でメモリに記録されます。データは、RAM内の継続的に更新されるバッファに格納されます。フォルト・イベントが発生すると、フォルト・ログ・バッファがRAMバッファから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・ログ機能が遅延します。フォルト・ログ・データは、MFR\_FAULT\_LOG\_CLEAR コマンドが発行されるまでEEPROMに残ります。このコマンドを発行するとフォルト・ログ機能が再度イネーブルされます。フォルト・ログを再度イネーブルする前に、フォルトが一切発生していないこと、およびCLEAR\_FAULTS コマンドが発行済みであることを確認してください。

LTC3886は、電源投入時またはリセット状態の終了時に、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、LTC3886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。

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。 $\overline{\text{FAULT}}_n$ ピンが外部から“L”に引き下げられた場合は、フォルト・ログ・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・インタフェースの持続的なフォルトを防ぐために、LTC3886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30ms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、LTC3886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\_LTC3886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。

LTC3886は、データ・パケットのブロック読み出しに対して、255msの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。タイムアウト時間は、デフォルトで32msに設定されます。

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。LTC3886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。



## 動作

### PMBus、SMBus、およびI<sup>2</sup>C 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、I<sup>2</sup>C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、持続的なバス・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 packets・エラー・チェック(PEC)を備えているので、シンプルなI<sup>2</sup>Cのバイト・コマンドよりも堅牢です。通常、I<sup>2</sup>C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、まったく変更することなくPMBus通信に使用できます。反復スタート(リスタート)は、全てのI<sup>2</sup>C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I<sup>2</sup>C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。

LTC3886はSMBusクロックの最大スピードである100kHzをサポートし、MFR\_COMMONのポーリングまたはクロック・ストレッチをイネーブルすれば、より高速のPMBus仕様(100kHz~400kHz)との互換性も確保できます。通信および動作の信頼性を高めるには、「PMBusコマンドの概要」のNoteのセクションを参照してください。クロック・ストレッチは、MFR\_CONFIG\_ALL\_LTC3886のビット1をアサートすることでイネーブルされます。

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 1.1』の第5節「Transport」を参照してください。

SMBusとI<sup>2</sup>C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 I<sup>2</sup>C」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

LTC3886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。

LTC3886はスレーブ・デバイスです。マスタは以下の形式でLTC3886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
- バイト読み出し、ワード読み出し、ブロック読み出し、ブロック書き込み
- アラート応答アドレス

前述のPMBusプロトコルを図6~23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。

凡例は図6を参照してください。

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。

## 動作

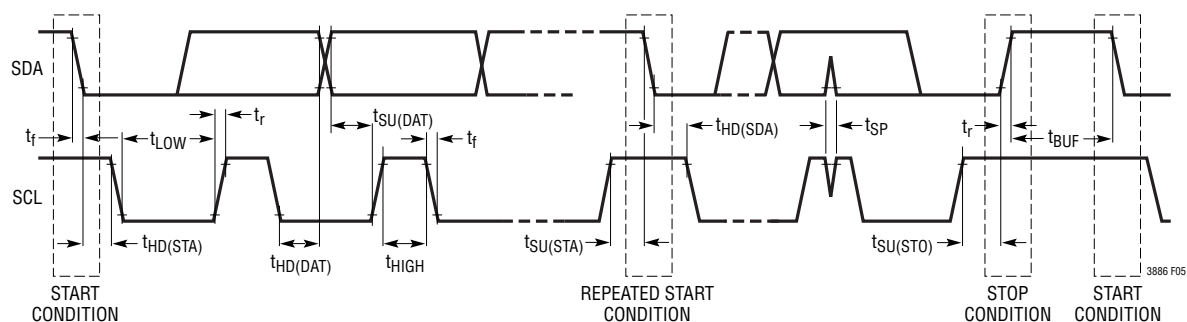


図5. タイミング図

表1. サポート対象データ形式の省略形

	PMBus		リニアテクノロジーの用語	定義	例
	用語	仕様の参照先			
L11	Linear	Part II ¶7.1	Linear_5s_11s	浮動小数点の16ビット・データ: 値 = $Y \cdot 2^N$ , ここで $N = b[15:11]$ および $Y = b[10:0]$ 、どちらも2の補数形式の 2進整数。	$b[15:0] = 0x9807 = 10011\_000\_0000\_0111$ 値 = $7 \cdot 2^{-13} = 854E-6$
L16	Linear VOUT_MODE	Part II ¶8.2	Linear_16u	浮動小数点の16ビット・データ: 値 = $Y \cdot 2^{-12}$ , ここで $Y = b[15:0]$ 、 符号なしの整数。	$b[15:0] = 0x4C00 = 0100\_1100\_0000\_0000$ 値 = $19456 \cdot 2^{-12} = 4.75$
CF	DIRECT	Part II ¶7.2	Varies	PMBusコマンドの詳細な記述で 定義されたカスタム形式の 16ビット・データ。	多くの場合は符号なしの整数または 2の補数形式の整数。
Reg	レジスタ・ビット	Part II ¶10.3	Reg	PMBusコマンドの詳細な説明で 定義されているビットごとの意味。	PMBus STATUS_BYTE コマンド。
ASC	テキスト文字	Part II ¶22.2.1	ASCII	ISO/IEC 8859-1 [A05]	LTC(0x4C5443)

## 動作

- S START CONDITION
- Sr REPEATED START CONDITION
- Rd READ (BIT VALUE OF 1)
- Wr WRITE (BIT VALUE OF 0)
- A ACKNOWLEDGE (THIS BIT POSITION MAY BE 0 FOR AN ACK OR 1 FOR A NACK)
- P STOP CONDITION
- PEC PACKET ERROR CODE
- MASTER TO SLAVE
- SLAVE TO MASTER
- ... CONTINUATION OF PROTOCOL

3886 F06

図 6. PMBus パケット・プロトコル図の凡例

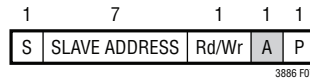


図 7. クイック・コマンド・プロトコル

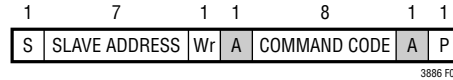


図 8. バイト送信プロトコル

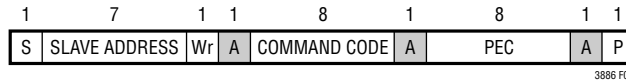


図 9. PEC 付きバイト送信プロトコル

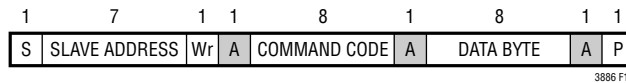


図 10. バイト書き込みプロトコル

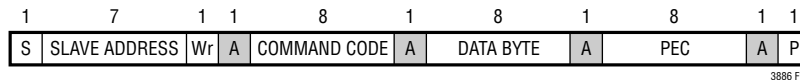


図 11. PEC 付きバイト書き込みプロトコル

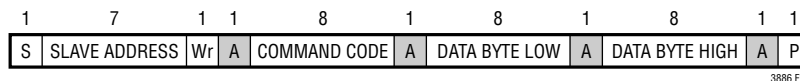


図 12. ワード書き込みプロトコル

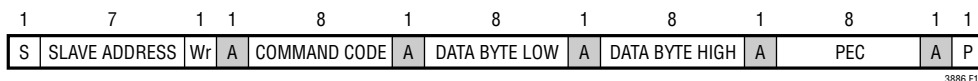


図 13. PEC 付きワード書き込みプロトコル



動作

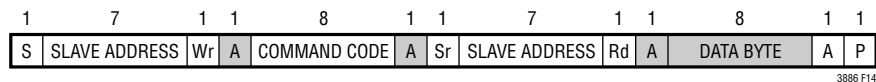


図 14. バイト読み出しプロトコル

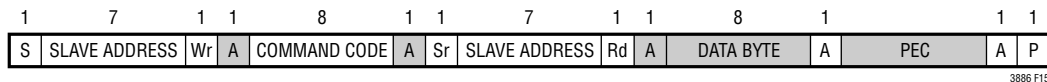


図 15. PEC 付きバイト読み出しプロトコル

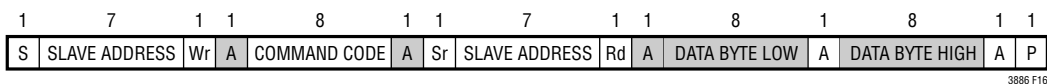


図 16. ワード読み出しプロトコル

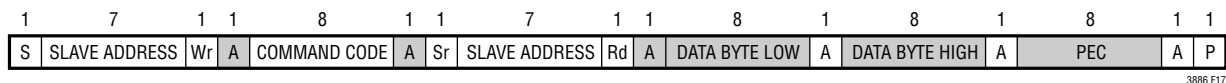


図 17. PEC 付きワード読み出しプロトコル

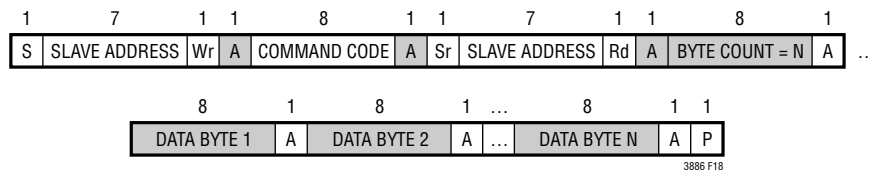


図 18. ブロック読み出しプロトコル

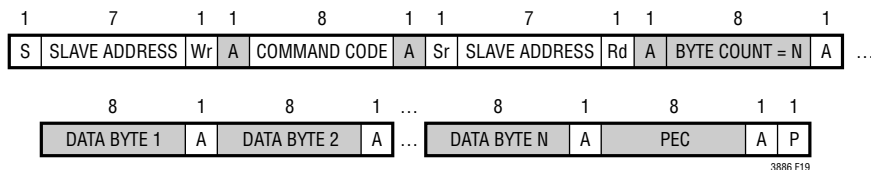


図 19. PEC 付きブロック読み出しプロトコル

## 動作

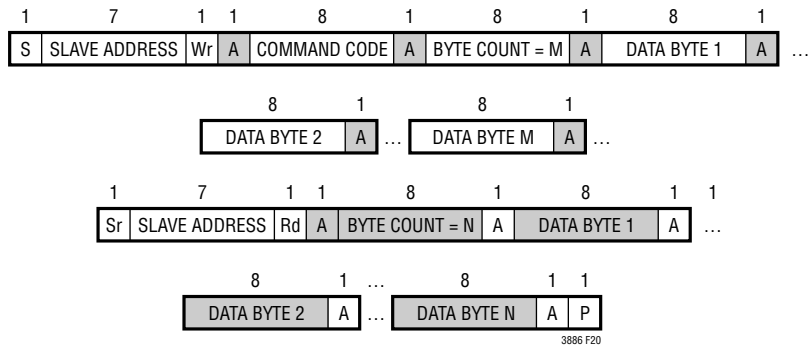


図 20. ブロック書き込み - ブロック読み出しプロセス呼び出し

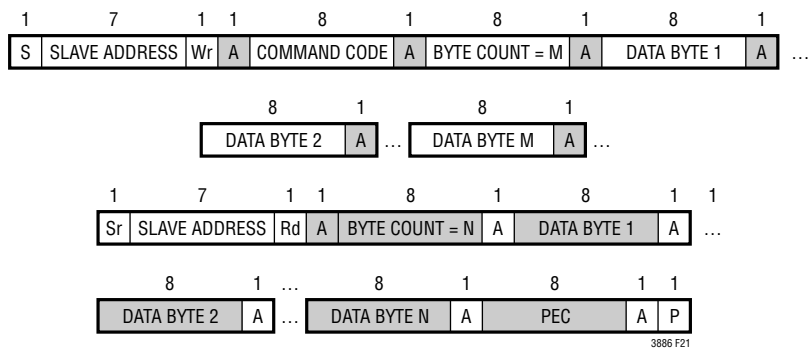


図 21. ブロック書き込み - PEC 付きブロック読み出しプロセス呼び出し

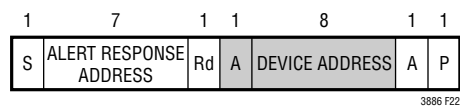


図 22. アラート応答アドレス・プロトコル

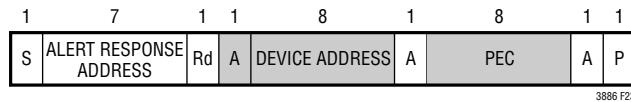


図 23. PEC 付きアラート応答アドレス・プロトコル

## 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 v1.1, 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: データ形式の略号はこの表の末尾で説明しています。)

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	EEPROM	デフォルト値	ページ
PAGE	0x00	マルチページ PMBus デバイスの統合を可能にする。	R/W Byte	N	Reg			0x00	<a href="#">67</a>
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	<a href="#">71</a>
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	<a href="#">71</a>
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	<a href="#">97</a>
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					<a href="#">67</a>
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					<a href="#">68</a>
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	<a href="#">68</a>
STORE_USER_ALL	0x15	ユーザー動作メモリを EEPROM に格納する。	Send Byte	N				NA	<a href="#">107</a>
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	<a href="#">107</a>
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	<a href="#">96</a>
SMBALERT_MASK	0x1B	ALERT 動作をマスクする	Block R/W	Y	Reg		Y	CMD を参照	<a href="#">97</a>
VOUT_MODE	0x20	出力電圧の形式および指数 ( $2^{-12}$ )。	R Byte	Y	Reg			$2^{-12}$ 0x14	<a href="#">78</a>
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	<a href="#">79</a>
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	14.0 0xE000	<a href="#">78</a>
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	<a href="#">79</a>

## 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	EEPROM	デフォルト 値	ページ
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	<a href="#">79</a>
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	<a href="#">85</a>
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 0xFAFC	<a href="#">76</a>
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	<a href="#">77</a>
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	<a href="#">77</a>
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	<a href="#">80</a>
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	<a href="#">78</a>
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	<a href="#">87</a>
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	<a href="#">78</a>
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	<a href="#">79</a>
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	<a href="#">79</a>
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	<a href="#">88</a>
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	<a href="#">81</a>
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	<a href="#">90</a>
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	<a href="#">82</a>
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	<a href="#">83</a>
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	<a href="#">92</a>
OT_WARN_LIMIT	0x51	外部過熱警告制限値。	R/W Word	Y	L11	C	Y	85.0 0xEAA8	<a href="#">83</a>
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	<a href="#">84</a>
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	<a href="#">92</a>
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	48.0 0xE300	<a href="#">76</a>
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	<a href="#">87</a>
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	<a href="#">77</a>
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	<a href="#">82</a>



## 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	EEPROM	デフォルト 値	ページ
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	<a href="#">84</a>
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	<a href="#">84</a>
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	<a href="#">85</a>
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	<a href="#">90</a>
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	<a href="#">85</a>
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	<a href="#">85</a>
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	150.0 0xF258	<a href="#">86</a>
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	<a href="#">98</a>
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	<a href="#">98</a>
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	<a href="#">99</a>
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	<a href="#">100</a>
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	<a href="#">100</a>
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	<a href="#">101</a>
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	<a href="#">101</a>
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	<a href="#">102</a>
READ_VIN	0x88	入力電源電圧の測定値。	R Word	N	L11	V		NA	<a href="#">104</a>
READ_IIN	0x89	入力電源電流の測定値。	R Word	N	L11	A		NA	<a href="#">104</a>
READ_VOUT	0x8B	出力電圧の測定値。	R Word	Y	L16	V		NA	<a href="#">104</a>
READ_IOUT	0x8C	出力電流の測定値。	R Word	Y	L11	A		NA	<a href="#">104</a>
READ_TEMPERATURE_1	0x8D	外部温度センサの温度。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	<a href="#">104</a>
READ_TEMPERATURE_2	0x8E	内部ダイ接合部温度。他のいずれのコマンドにも影響を与えない。	R Word	N	L11	C		NA	<a href="#">104</a>
READ_FREQUENCY	0x95	PWMスイッチング周波数の測定値。	R Word	Y	L11	Hz		NA	<a href="#">104</a>
READ_POUT	0x96	出力電力の計算値。	R Word	Y	L11	W		NA	<a href="#">105</a>
READ_PIN	0x97	入力電力の計算値。	R Word	N	L11	W		NA	<a href="#">105</a>
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	<a href="#">96</a>
MFR_ID	0x99	LTC3886のメーカーIDをASCIIで示した値。	R String	N	ASC			LTC	<a href="#">96</a>
MFR_MODEL	0x9A	メーカー製品番号をASCIIで示した値。	R String	N	ASC			LTC3886	<a href="#">96</a>
MFR_VOUT_MAX	0xA5	VOUT_OV_FAULT_LIMITを含む最大許容出力電圧。	R Word	Y	L16	V		14.0 0xE000	<a href="#">80</a>

## 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	EEPROM	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	<a href="#">96</a>
USER_DATA_01	0xB1	メーカーにより、LTpowerPlay用に予約。	R/W Word	Y	Reg		Y	NA	<a href="#">96</a>
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	<a href="#">96</a>
USER_DATA_03	0xB3	ユーザーが使用可能なEEPROMワード。	R/W Word	Y	Reg		Y	0x0000	<a href="#">96</a>
USER_DATA_04	0xB4	ユーザーが使用可能なEEPROMワード。	R/W Word	N	Reg		Y	0x0000	<a href="#">96</a>
MFR_EE_UNLOCK	0xBD	工場に問い合わせのこと。							<a href="#">111</a>
MFR_EE_ERASE	0xBE	工場に問い合わせのこと。							<a href="#">111</a>
MFR_EE_DATA	0xBF	工場に問い合わせのこと。							<a href="#">111</a>
MFR_CHAN_CONFIG_LTC3886	0xD0	チャンネル固有の構成ビット。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x1D	<a href="#">70</a>
MFR_CONFIG_ALL_LTC3886	0xD1	汎用構成ビット。	R/W Byte	N	Reg		Y	0x21	<a href="#">70</a>
MFR_FAULT_PROPAGATE_LTC3886	0xD2	どのフォルトをFAULTピンに伝播するかを決める構成。	R/W Word	Y	Reg		Y	0x6993	<a href="#">93</a>
MFR_PWM_COMP	0xD3	PWMループ補償の構成。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x70	<a href="#">73</a>
MFR_PWM_MODE_LTC3886	0xD4	PWMエンジンの構成。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xC1	<a href="#">72</a>
MFR_FAULT_RESPONSE	0xD5	FAULT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	<a href="#">95</a>
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	<a href="#">91</a>
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	<a href="#">105</a>
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	<a href="#">108</a>
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	350.0 0xFABC	<a href="#">86</a>
MFR_RESTART_DELAY	0xDC	LTC3886がRUNピンを“L”に保持する最小時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	500.0 0xFBE8	<a href="#">86</a>
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	<a href="#">105</a>
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	<a href="#">105</a>
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	<a href="#">105</a>
MFR_READ_IIN_PEAK	0xE1	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降に測定されたREAD_IINコマンドの最大値。	R Word	N	L11	A		NA	<a href="#">105</a>
MFR_CLEAR_PEAKS	0xE3	全てのピーク値をクリアする。	Send Byte	N				NA	<a href="#">98</a>
MFR_READ_ICHIP	0xE4	LTC3886の電源電流の測定値。	R Word	N	L11	A		NA	<a href="#">106</a>
MFR_PADS	0xE5	I/Oパッドのデジタル・ステータス。	R Word	N	Reg			NA	<a href="#">102</a>
MFR_ADDRESS	0xE6	7ビットのI <sup>2</sup> Cアドレス・バイトを設定する。	R/W Byte	N	Reg		Y	0x4F	<a href="#">69</a>
MFR_SPECIAL_ID	0xE7	LTC3886およびリビジョンを表すメーカー・コード。	R Word	N	Reg			0x460X	<a href="#">96</a>

## 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	EEPROM	デフォルト 値	ページ
MFR_IIN_CAL_GAIN	0xE8	入力電流検出素子の抵抗値(mΩ)。	R/W Word	N	L11	mΩ	Y	5.0 0xCA80	<a href="#">82</a>
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	<a href="#">108</a>
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	<a href="#">111</a>
MFR_FAULT_LOG	0xEE	フォルト・ログのデータ・バイト。	R Block	N	Reg		Y	NA	<a href="#">108</a>
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	<a href="#">103</a>
MFR_COMPARE_USER_ALL	0xF0	現在のコマンドの内容をEEPROMと比較する。	Send Byte	N				NA	<a href="#">107</a>
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	<a href="#">106</a>
MFR_PWM_CONFIG_LTC3886	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	<a href="#">75</a>
MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC	0xF6	電流検出素子の温度係数。	R/W Word	Y	CF	ppm/°C	Y	3900 0x0F3C	<a href="#">80</a>
MFR_RVIN	0xF7	V <sub>IN</sub> ピン・フィルタ素子の抵抗値(mΩ)。	R/W Word	N	L11	mΩ	Y	2000 0x0BE8	<a href="#">77</a>
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	<a href="#">83</a>
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	<a href="#">83</a>
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	<a href="#">69</a>
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	<a href="#">72</a>

**Note 1:**EEPROM列の「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で設定済み」を意味する。

**Note 3:**LTC3886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。

リニアテクノロジーは、全てのLTCデバイス間でコマンド機能の互換性を維持するよう努力しています。ただし、個別の製品要件に対処するため、違いが生じる場合があります。

## 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 = <math>Y \cdot 2^N</math>  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 = <math>7 \cdot 2^{-13} = 854 \cdot 10^{-6}</math>  「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 = <math>Y \cdot 2^N</math>  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] = 0x9800 = 'b1001_1000_0000_0000 の場合  値 = <math>38912 \cdot 2^{-12} = 9.50</math>  「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 コマンドの説明に詳述されている</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 コマンドの説明で詳述に定義されている。  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

このデータシートの最後のページの「標準的応用例」は、LTC3886の一般的なアプリケーション回路です。LTC3886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。LTC3886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、通常インダクタのDCRの精度 (LTC3886のIOUT\_CAL\_GAINレジスタで設定される) によって制限されます。ただし、電流検出抵抗が最も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<sub>SENSE</sub>が使われていれば) R<sub>SENSE</sub>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。これらの部品と範囲を全て決定してから、MFR\_PWM\_COMPレジスタのRITHとEA\_GMの値を選択し、外付け補償部品を計算する必要があります。電流制限の範囲が必要となるのは、MFR\_PWM\_MODE\_LTC3886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 ~ 75mV)で異なるためです。電圧のRANGEビットもループ利得に作用し、補償ネットワークに影響を与えます。電圧のRANGEは、MFR\_PWM\_MODE\_LTC3886のビット1で設定します。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、負荷の変化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

LTC3886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。LTC3886はインダクタのDCRの温度係数を考慮し、インダクタの温度が変化したときに電流制限を自動的に調整します。DCRの温度係数はMFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TCコマンドに格納します。

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。ピーク電流制限は、サイクルごとに行われます。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、I<sub>TH</sub>電圧がIOUT\_OC\_FAULT\_LIMITで設定された制限を超えた時点で検出されます。LTC3886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(リトライ)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<sub>SENSE</sub><sup>+</sup>ピンとI<sub>SENSE</sub><sup>-</sup>ピン

I<sub>SENSE</sub><sup>+</sup>ピンとI<sub>SENSE</sub><sup>-</sup>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 ~ 14V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未満の小さな入力電流が流れます。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、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<sub>SENSE</sub>のトレース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)。非ケルビン接続または不適切な配置によって、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、検出端子における信号が劣化して、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をインダクタの近くに配置して、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C1はICのピンの近くに配置します。I<sub>SENSE</sub><sup>+</sup>信

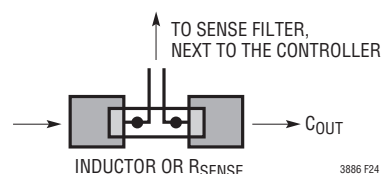
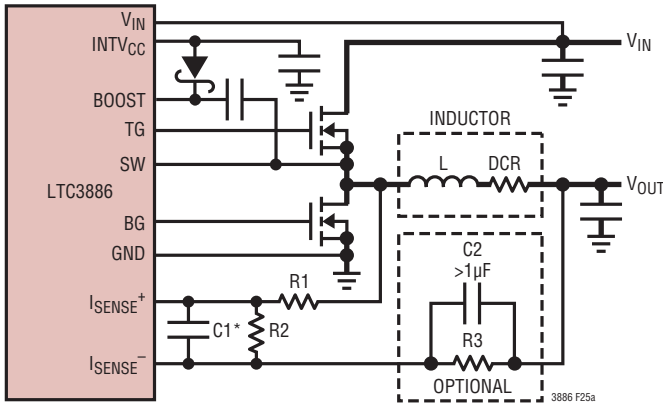


図24. 検出ラインの最適配置

## アプリケーション情報

号経路および  $I_{SENSE}$  信号経路間のインピーダンスの差により、ADCの電流読み出し値の精度が低下する場合があります。電流読み出し値の精度は、2つの信号経路の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、 $V_{OUT}$  と  $I_{SENSE}$  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  $1\mu F$  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。



$$((R1 + R3) \parallel R2) \times C1 = \frac{2 \times L}{DCR} \quad I_{OUT\_CAL\_GAIN} = DCR \times \frac{R2}{R1 + R2 + R3}$$

$R3 = R1$

\*PLACE C1 NEAR SENSE+, SENSE- PINS

図 25a. インダクタ DCR による電流検出回路

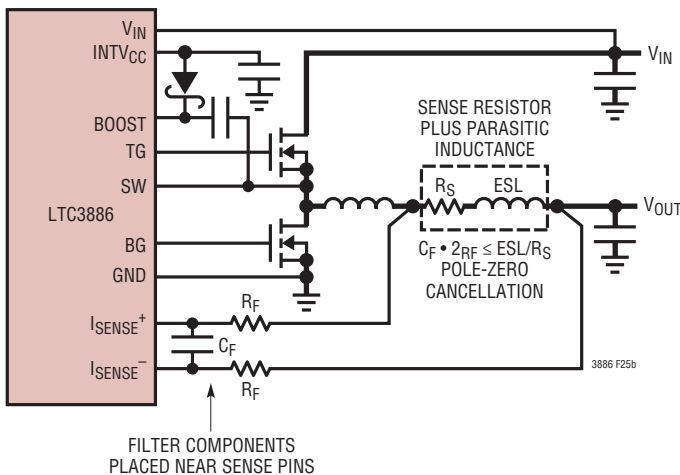


図 25b. 抵抗による電流検出回路

## 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。 $R_{SENSE}$  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  $V_{SENSE(MAX)}$  は  $I_{LIMIT}$  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  $0V \sim 14V$  です ( $V_{IN}$  が  $15V$  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  $\Delta I_L$  の半分を差し引いた値に等しい最大平均出力電流  $I_{MAX}$  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、 $R_{SENSE}$  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  $\Delta V_{SENSE}$  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。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  $1m\Omega$  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。また、最大  $750kHz$  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 25b 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  $100\Omega$  抵抗で構成され、時定数は  $200ns$  になります。

## 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PCB実装面積が2010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。さらに、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 $t_{ON}$ とオフ時間 $t_{OFF}$ も測定することで、次式より寄生インダクタンスの値0.5nHが得られました。

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

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

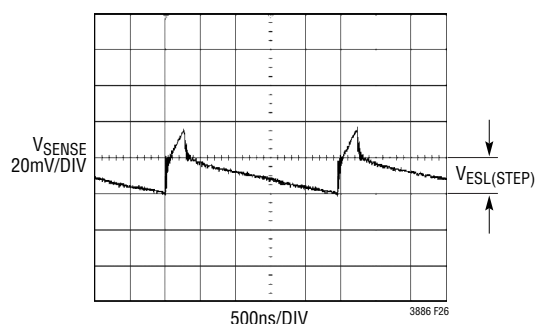


図 26. R<sub>SENSE</sub> 両端で直接測定した電圧

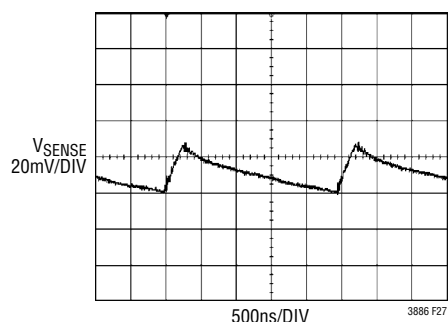


図 27. R<sub>SENSE</sub> のフィルタ後に測定した電圧

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<sub>RSENSE</sub>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。

## インダクタDCRによる電流検出

LTC3886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による検出に比べて数パーセントの効率低下をもたらします。

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(C1)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をスケール調整します。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、次式を使用します。

$$IOUT\_CAL\_GAIN = DCR \cdot \frac{R2}{R1 + R2 + R3}$$

目的の電流検出範囲内に留まるために電流検出信号を減衰させる必要がない場合、R2を削除できます。外部フィルタ部品を適切に選択するには、インダクタのDCRを知る必要があります。DCRは高精度のRLCメータによ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、インダクタ・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コマンドに正確な温度係数値を入力すれば、LTC3886は温度変動に対して補正します。通常、抵抗の温度係数は3900ppm/°Cです。



## アプリケーション情報

R1 = R3と仮定すると、平坦な周波数応答を得るために、次の式を使用してC2を最適化できます。

$$C2 = \frac{2R1 \cdot R2 \cdot C1 - \frac{L}{DCR} (2R1 + R2)}{R1^2}$$

「インダクタの値の計算」のセクションのインダクタ・リッ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の許容誤差を考慮した最適のILIMITを選択してください。

次に、インダクタのDCRを決めます。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の許容誤差や、温度センサ素子とインダクタ間の距離に伴うその他の温度差を全て加味して、この値を増加させます。

C1は通常、0.047μF~4.7μFの範囲で選択します。これによって、(R1 + R3) || R2は自動的に約2kになります。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、ISENSE漏れ電流に伴うオフセット誤差を最小化できます。R3はR1と同じ値にします。C2は1μF以上として、適切なノイズ・フィルタリング効果が得られるようにします。

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。

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

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。

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

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ΔVISENSE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。

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

## 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。LTC3886は、補償ランプの影響を相殺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fOSC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。

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

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。コアを飽和させないでください。

### パワー MOSFET とオプションのショットキ・ダイオードの選択

LTC3886では出力チャンネル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チャンネル MOSFETです。

ピーク・トゥ・ピークのゲート・ドライブ・レベルは、INTV<sub>CC</sub>電圧によって設定されます。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・レベルのしきい値の 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<sub>DSS</sub>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<sub>DS(ON)</sub>、ミラー容量C<sub>MILLER</sub>、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<sub>MILLER</sub>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<sub>MILLER</sub>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<sub>DS</sub>の変化量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<sub>DS</sub>とゲート電荷曲線で規定されているV<sub>DS</sub>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側 MOSFETと下側 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、次式で与えられます。

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

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

ここで、 $\delta$ はR<sub>DS(ON)</sub>の温度依存性、R<sub>DR</sub>(約2 $\Omega$ )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<sub>TH(MIN)</sub>は、MOSFETの最小しきい値電圧の標準値です。

I<sup>2</sup>R損失は両方の MOSFETに共通していますが、上側Nチャンネルの式には遷移損失の項が追加されており、これは入力電圧が高いときに最も大きくなります。V<sub>IN</sub> < 20Vでは、大電流での効率は一般に大きい MOSFETを使用すると向上しますが、V<sub>IN</sub> > 20Vでは遷移損失が急激に増加し、R<sub>DS(ON)</sub>が大きくC<sub>MILLER</sub>が小さい MOSFETを使用した方が実際には効率が高くなる点に達します。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。

一般的に、MOSFETの(1 +  $\delta$ )の項は、正規化されたR<sub>DS(ON)</sub>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 $\delta = 0.005/^{\circ}C$ を使用できます。

## アプリケーション情報

グラウンドからSW<sub>n</sub>に接続された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<sub>IN</sub>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。

### C<sub>IN</sub>とC<sub>OUT</sub>の選択

連続モードでは、上側MOSFETのソース電流がデューティ・サイクル(V<sub>OUT</sub>)/(V<sub>IN</sub>)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。

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

この式はV<sub>IN</sub> = 2・V<sub>OUT</sub>のときに最大値になります。ここで、I<sub>RMS</sub> = I<sub>OUT</sub>/2です。設計ではこの単純なワーストケース条件がよく使用されます。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イレートイングする、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。LTC3886は動作周波数が高いため、C<sub>IN</sub>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、必ずメーカーにお問い合わせください。

LTC3886の2位相動作によるメリットは、電力の大きい方のチャンネルに対して上式を使用し、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に生じるとされる損失を計算することによって推定できます。両方のチャンネル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、ワーストケースのシナ

リオ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、該当する場合、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、V<sub>IN</sub>のソース・インピーダンス、およびPC基板のトレース抵抗の損失による電力損失も減少します。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V<sub>IN</sub>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のドレイン端子は互いに1cm以内に配置し、C<sub>IN</sub>を共有させます。電圧源とC<sub>IN</sub>を離すと、V<sub>IN</sub>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(0.1μF～1μF)バイパス・コンデンサをLTC3886の近くに配置し、V<sub>IN</sub>ピンとグラウンドの間に挿入することを推奨します。複数のLTC3886を使用する場合、C<sub>IN</sub>(C1)とV<sub>IN</sub>ピンの間に2.2Ω～10ΩのR<sub>VIN</sub>抵抗を置くとさらに分離されます。

C<sub>OUT</sub>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<sub>OUT</sub>)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<sub>OUT</sub>は出力容量、I<sub>RIPPLE</sub>はインダクタのリップル電流です。I<sub>RIPPLE</sub>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。

### 可変遅延時間、ソフトスタート、出力電圧ランプ

LTC3886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<sub>IN</sub>がVIN\_ONしきい値を超えると、RUN<sub>n</sub>ピンが解放されます。アプリケーションで複数のLTC3886を使用する場合、同じRUN<sub>n</sub>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<sub>IN</sub>がVIN\_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<sub>n</sub>ピンを“L”に保持します。SHARE\_CLKピンは、この信号に接続されたデバイスが、時間遅延動作で全て同じタイムベースを使用することを保証します。

## アプリケーション情報

RUN<sub>n</sub>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LTC3886および他のLTCデバイスは、等しい遅延時間または固有の遅延時間で起動するように構成できます。目的の同期方式で動作させるには、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<sub>n</sub>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±10%変動する可能性があるため、実際の時間遅延は、これに比例して変動します。

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0.0V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ィスエーブルできます。LTC3886は必要な計算を実行して、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のランプに大きい離散ステップが現れます。ランプのステップ数はTON\_RISE/0.1msに等しくなります。

TON\_RISE動作中、LTC3886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。

LTC3886は、従来のトラッキング機能を備えていません。ただし、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ピンを同時に解放し、両方のLTC3886が同じタイムベースを使用していれば、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、そのレールの全てのタイミング・パラメータが同じでなければなりません。

前に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FAULT<sub>n</sub>ピンまたはLTC3886のPGOOD<sub>n</sub>ピンを使って、RUN<sub>n</sub>ピンを制御できます。FAULT<sub>n</sub>ピンは、コンバータの出力電圧がVOUT\_UV\_FAULT\_LIMITよりも大きくなった時点で解放されるように設定できます。その場合は、デグリッチされたVOUT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しきい値を超えてからFAULT<sub>n</sub>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。デグリッチされた出力は、MFR\_FAULT\_PROPAGATE\_LTC3886コマンドのMfr\_FAULT\_propagate\_vout\_uvufビットをセットすることで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。VOUT信号がコンパレータのしきい値を超えて遷移する際に、UVコンパレータの出力信号に、ある程度のグリッチが生じる場合があります。LTC3886は、複数の遷移が発生する可能性を大幅に減らすために、250μsのデジタル・デグリッチ・フィルタを備えています。FAULT<sub>n</sub>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FAULT<sub>n</sub>に好ましくない遷移が発生する場合は、FAULT<sub>n</sub>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。遅延を300μs～500μs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の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\_LTC3886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4mVまたは2mV)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、V<sub>OUT</sub>がVOUT\_UV\_FAULT\_LIMITを超えた時点で開始されます。これと同時に、出力は不連続モードから、MFR\_PWM\_MODE\_LTC3886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V<sub>OUT</sub>の波形の詳細は、図28を参照してください。



## アプリケーション情報

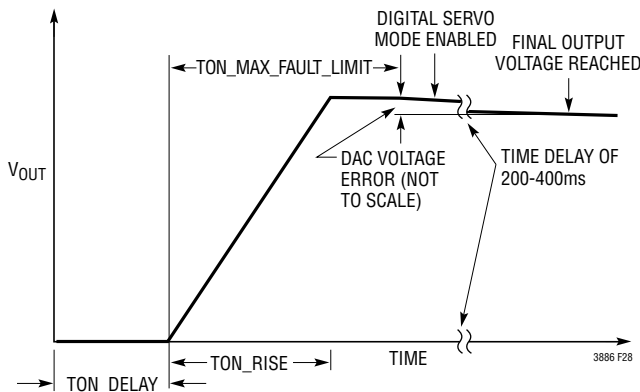
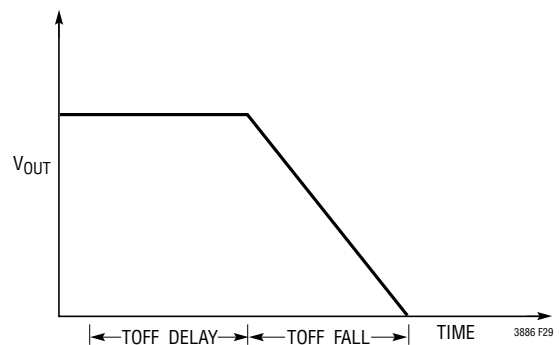
図 28. タイミング制御された  $V_{OUT}$  の立ち上がり

図 29. TOFF\_DELAY と TOFF\_FALL

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
3.  $V_{OUT\_UV\_FAULT\_LIMIT}$  を超えるか、 $I_{OUT\_OC\_FAULT\_LIMIT}$  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、 $V_{OUT\_UV\_FAULT}$  と  $I_{OUT\_OC\_FAULT}$  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 アプリケーションでは、1 つの位相のみのデジタル・サーボ・モードをイネーブするする必要があります。これによって、位相が必ず同じ出力レギュレーション・ポイントにサーボ制御されます。

## ソフトオフ(シーケンス制御によるオフ)

LTC3886 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、 $FAULT_n$  が外部から“L”に引き下げられ、デバイスが  $FAULT_n$  に応答するようにプログラムされていた場合、出力はメイン MOSFET および同期 MOSFET の両方をオフにすることによって、トライステート状態に移行します。出力は、制御されたランプを示さず、負荷に応じて減衰します。

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 のように変化します。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 のランプに大きい離散ステップが現れます。ランプのステップ数は、通常、TOFF\_FALL/0.1ms になります。

## アプリケーション情報

### INTV<sub>CC</sub>レギュレータ

LTC3886はV<sub>IN</sub>またはEXTV<sub>CC</sub>電源からINTV<sub>CC</sub>に電力を供給する、PMOSリニア・レギュレータを備えています。INTV<sub>CC</sub>はゲート・ドライバ、V<sub>DD33</sub>、およびLTC3886の内部回路のほとんどに電力を供給します。リニア・レギュレータは、V<sub>IN</sub>またはEXTV<sub>CC</sub>が約5.5Vより高い場合、INTV<sub>CC</sub>ピンに5Vを発生します。このレギュレータは100mAのピーク電流を供給可能であり、1μF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0.1μFセラミック・コンデンサをINTV<sub>CC</sub>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するには、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、LTC3886の最大ダイ接合部温度定格を超える恐れがあります。ダイ温度を下げるために、INTV<sub>CC</sub>電流(この電流の大部分はゲート充電電流に起因する)をV<sub>IN</sub>ピンまたはEXTV<sub>CC</sub>ピンのいずれかから供給できます。LTC3886の内部レギュレータにV<sub>IN</sub>ピンから給電する場合、ICを介した電力はV<sub>IN</sub>・INTV<sub>CC</sub>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、周囲温度が70°Cで、入力電源40Vで動作するLTC3886のINTV<sub>CC</sub>電流が44mA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。

$$T_J = 70^\circ\text{C} + 44\text{mA} \cdot 40\text{V} \cdot 31^\circ\text{C}/\text{W} = 125^\circ\text{C}$$

最大接合部温度を超えるのを防ぐために、LTC3886の内部LDOにEXTV<sub>CC</sub>ピンから給電できます。EXTV<sub>CC</sub>ピンを使用してINTV<sub>CC</sub>に給電しない場合は、EXTV<sub>CC</sub>ピンをGNDに接続する必要があります。このピンをフロート状態にしないでください。ゲート・ドライバおよび制御回路に起因するV<sub>IN</sub>電流は、外部電源または出力から派生した電源を使用してEXTV<sub>CC</sub>ピンからINTV<sub>CC</sub>電流を供給することによって、最小値に減少します。

EXTV<sub>CC</sub>ピンを5V電源に接続すると、前の例の接合部温度は125°Cから次の値にまで下がります。

$$T_J = 70^\circ\text{C} + 44\text{mA} \cdot 5\text{V} \cdot 31^\circ\text{C}/\text{W} + 2\text{mA} \cdot 40\text{V} \cdot 31^\circ\text{C}/\text{W} = 80^\circ\text{C}$$

LTC3886のINTV<sub>CC</sub>を外部電源に接続しないでください。INTV<sub>CC</sub>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<sub>IN</sub>が5Vのアプリケーションでは、V<sub>IN</sub>ピンとINTV<sub>CC</sub>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<sub>IN</sub>/INTV<sub>CC</sub>ピンに低ESRのコンデンサを接続する必要があります。上記の構成による動作は、INTV<sub>CC</sub>リニア・レギュレータよりも優先され、INTV<sub>CC</sub>の過度の低下を防ぎます。INTV<sub>CC</sub>電圧がMOSFETのR<sub>DS(ON)</sub>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<sub>CC</sub>のUVLOは約4Vに設定されています。

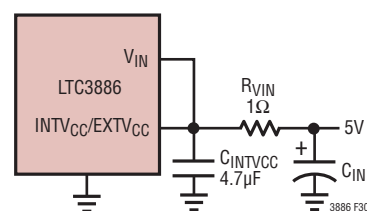


図30. 5V入力に対する設定

### 上側MOSFETドライバの電源(C<sub>B</sub>、D<sub>B</sub>)

BOOST<sub>n</sub>ピンに接続された外付けブートストラップ・コンデンサC<sub>B</sub>は、上側MOSFETにゲート駆動電圧を供給します。SW<sub>n</sub>ピンが“L”のとき、「ブロック図」のコンデンサC<sub>B</sub>がINTV<sub>CC</sub>から外付けダイオードD<sub>B</sub>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<sub>B</sub>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<sub>n</sub>はV<sub>IN</sub>まで上昇し、BOOST<sub>n</sub>ピンの電圧もこれに追従します。上側MOSFETがオンしているとき、昇圧電圧は入力電源より高くなります。V<sub>BOOST</sub> = V<sub>IN</sub> + V<sub>INTVCC</sub>。昇圧コンデンサC<sub>B</sub>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イクダウン電圧はV<sub>IN(MAX)</sub>より大きくなければなりません。

V<sub>IN</sub>/V<sub>OUT</sub>の比率が大きいデザイン中には、TGピンおよびBGピンで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出力電圧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<sub>n</sub>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。



## アプリケーション情報

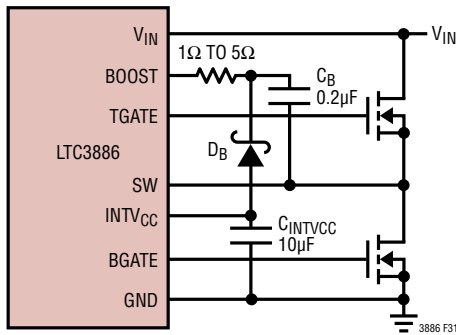


図31. PWMジッタを最小限に抑える昇圧回路

## 低電圧ロックアウト

LTC3886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となりません。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、 $V_{IN\_ON}$ のしきい値を超える必要があります。 $V_{IN}$ が $V_{IN\_OFF}$ しきい値よりも低下すると、 $SHARE\_CLK$ 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 $V_{IN\_ON}$ しきい値よりも高くなる必要があります。 $V_{IN\_ON}$ の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。 $V_{IN}$ が印加されたときに $FAULTn$ が“L”に保持されると、 $FAULTn$ が“L”に保持されたときにデバイスが $ALERT$ をアサートしないように設定されている場合でも、 $ALERT$ が“L”にアサートされます。LTC3886がリセットを終了する前にI<sup>2</sup>C通信が発生し、デバイスがコマンドの一部のみを受信した場合、CMLフォルトが発生したと解釈されることがあります。CMLフォルトが検出された場合、 $ALERT$ が“L”にアサートされます。

$V_{DD33}$ 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、LTC3886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LTC3886では、 $MFR\_COMMON$ のビット3 (EEPROM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回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。

## フォルト表示

LTC3886の $FAULTn$ 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、 $FAULTn$ 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構成可能であり、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

フォルトに対する応答の詳細は、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。

OVに対する応答は常に自動です。OV状態が検出されると、 $TGn$ が“L”に遷移し $BGn$ がアサートされます。

## オープンドレイン・ピン

LTC3886には、次のオープンドレイン・ピンがあります。

## 3.3Vピン

1.  $FAULTn$
2. SYNC
3.  $SHARE\_CLK$
4.  $PGOODn$

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.  $RUNn$
2.  $ALERT$
3. SCL
4. SDA

## アプリケーション情報

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。このピンの入力“L”しきい値は1.4Vです。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。

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

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10μs、プルダウン時間を1μsとして、同じ式で計算されます。RC時定数は、約3μs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

LTC3886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。PWMコントローラとSYNCの立ち下がりエッジとの間の位相関係は、MFR\_PWM\_CONFIG\_LTC3886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、100kHz～750kHz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、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が発生したときにALERTピンをアサートしたくない場合、SMBALERT\_MASKコマンドを使用してアラートを防ぐことができます。

アプリケーションでSYNCピンに外部信号が供給されていない場合、設定された公称周波数がPWM回路を制御します。FREQUENCY\_SWITCHを外部発振器に設定し、外部SYNC信号が存在しない場合、LTC3886のPWMエンジンはPLL発振器の最低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。複数のデバイスがSYNCピンを共有している場合、外部SYNC信号が存在しないと、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。

## アプリケーション情報

PolyPhase構成では、複数のLTC3886が1つのSYNC信号を共有する必要があります。その他の構成では、複数のSYNCピンを接続して1つのSYNC信号を形成するのは任意です。複数のLTC3886間でSYNCピンを共用する場合、周波数出力用にプログラムするLTC3886は1つだけにしてください。他の全てのLTC3886は、それらの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、LTC3886を周波数出力用に設定し、外部信号が存在する場合、それらの周波数を目的の公称周波数に設定する必要があります。この状態が存在する場合、MFR\_PADS\_LTC3886のビット10が“L”にアサートされます。

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。立ち上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。

### 最小オン時間に関する検討事項

最小オン時間 $t_{ON(MIN)}$ は、LTC3886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をオフ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リミットに接近する可能性があるため、次の条件が成り立つように注意する必要があります。

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

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。

LTC3886の最小オン時間は、約90nsです。最小オン時間が増加するのを防ぐには、適切なPCBレイアウト、30%以上のインダクタ電流リップル、および電流検出信号での10mV～15mVのリップル電圧が必要です。最小オン時間はPCBの電圧ループや電流ループのスウィッチング・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リミットを下回ると、大きなサイクル・スキップが発生する可能性があり、それに伴って電流および電圧のリップルが大きくなります。

### 外部温度検出

LTC3886は、各チャネルの電力段の温度を測定することができます。シリコン接合リモート・センサを使用する複数の方法がサポートされています。リモート検出回路で発生した電圧は内部A/Dコンバータによってデジタル化され、ページ設定されたREAD\_TEMPERATURE\_1遠隔測定コマンドによって温度の計算値が返されます。

最も正確な外部温度測定は、図25に示すように、MMBT3906などのダイオード接続されたPNPトランジスタを使用して行うことができます。このセンサ構成を使用する場合、MFR\_PWM\_MODE\_LTC3886のビット5を0 ( $\Delta V_{BE}$ 法)に設定します。トランジスタは電力段のインダクタに接触させるか、すぐ近くに配置します。PNPトランジスタのエミッタ端子はTSNS<sub>n</sub>ピンに接続し、ベース端子とコレクタ端子はケルビン接続を使用してLTC3886のピン53に直接戻す必要があります。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、ダイオード接続された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。コンデンサおよびトランジスタ間のPCBトレースの寄生インダクタンスを最小限に抑える必要があります。トランジスタとコンデンサの間にPCBのビアを配置しないでください。

MFR\_PWM\_MODE\_LTC3886のビット5を1に設定した場合、LTC3886は接合部電圧の直接測定もサポートします。工場出荷時のデフォルト設定では、図33に示すような抵抗調整型のデュアル・ダイオード回路網をサポートします。この2番目の測定法は、一般に最初の測定法ほど正確ではありませんが、従来型のパワー・ブロックをサポートします。あるいは、高ノイズ環境のために $\Delta V_{BE}$ 法を低信号レベルで使用できない場合に、この方法が必要であると分かる場合があります。

いずれの方法の場合も、外付け温度センサの温度勾配は、MFR\_TEMP\_1\_GAINに格納された温度係数を使用して変更できます。 $\Delta V_{BE}$ 法を使用する場合、標準的なPNPでは、温度勾配を調整して1よりわずかに小さくすることが必要になります。MMBT3906におけるMFR\_TEMP\_1\_GAINの推奨値は、理想係数が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。直接pn接合測定法を使用する場合、最終的なMFR\_TEMP\_1\_GAINの値を選択する前に、温度に関してプロトタイプの特性評価を行うことを推奨します。



## アプリケーション情報

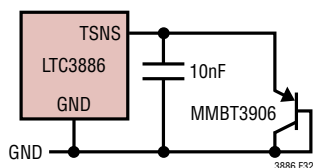
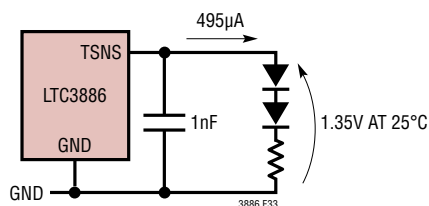
図 32. 外部の  $\Delta V_{BE}$  による温度検出

図 33. 2D+R による温度検出

外付け温度センサのオフセットは、MFR\_TEMP\_1\_OFFSET を使用して調整できます。

外付けの温度検出素子を使用しない場合、TSNS<sub>n</sub>ピンを GND に短絡し、UT\_FAULT\_LIMIT を  $-275^{\circ}\text{C}$  に設定し、UT\_FAULT\_RESPONSE を「無視」に設定し、IOUT\_CAL\_GAIN\_TC の値を 0 に設定する必要があります。

これらの温度調整パラメータを正しく使用するには、MFR\_PWM\_MODE\_LTC3886 コマンドのセクションに記載された 2 つの方法で与えられる具体的な式を参照してください。

## 温度による EEPROM 保持特性のディレーティング

$-40^{\circ}\text{C}$  と  $125^{\circ}\text{C}$  の間の EEPROM 読み出し動作はデータ記憶に影響しません。ただし、 $85^{\circ}\text{C}$  より高い温度で EEPROM が書き込まれるか、 $125^{\circ}\text{C}$  より高い温度で保存されるか、動作した場合、保持特性は劣化します。 $85^{\circ}\text{C}$  より高い温度で不定期のフォルト・ログが生成された場合、EEPROM フォルト・ログ領域でのデータ保持率のわずかな減少が、この機能の使用や他の EEPROM の記憶に影響することはありません。その他の高温での EEPROM 機能の詳細については、「動作」のセクションを参照してください。次式を使用して無次元の加速係数を計算することにより、データの劣化を近似できます。

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

ここで、

AF = 加速係数

$E_a$  = 活性化エネルギー =  $1.4\text{eV}$

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

$T_{\text{USE}}$  = 規定の接合部温度

$T_{\text{STRESS}}$  = 実際の接合部温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )

一例として、デバイスを  $130^{\circ}\text{C}$  で 10 時間にわたって保存した場合、

$T_{\text{STRESS}} = 130^{\circ}\text{C}$  であり、

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

これはデバイスを  $125^{\circ}\text{C}$  で  $10 \cdot 1.66 = 16.6$  時間動作させるのと同じ効果があることを示しており、6.6 時間の保持特性ディレーティングになります。

## 入力電流検出アンプ

LTC3886 の入力電流検出アンプは、外付け抵抗を用いて、 $V_{\text{IN}}$  ピンに流れ込む電源電流を検出できます。また、外付けの検出抵抗によって、電力段の電流の検出も可能です。不連続な入力電流によって発生する周波数ノイズを軽減するように注意しないと、入力電流測定に大きな誤差が生じる場合があります。このノイズは、大電流アプリケーションや降圧比が大きいアプリケーションにおいて最大になります。慎重にレイアウトし、 $V_{\text{IN}}$  ピンでフィルタリングして、測定誤差を最小限に抑えることを推奨します。 $V_{\text{IN}}$  ピンは、抵抗とセラミック・コンデンサを使用してフィルタリングします。フィルタは、できるだけ  $V_{\text{IN}}$  ピンに近づけて配置する必要があります。 $V_{\text{IN}}$  ピン・フィルタの電源側は、 $R_{\text{IINSNS}}$  抵抗の電源側にケルビン接続します。ほとんどのアプリケーションでは  $2\Omega$  の抵抗で十分です。この抵抗は、 $V_{\text{IN}}$  ピンに流れ込む電流によって、電源から  $V_{\text{IN}}$  ピンに向けて IR 電圧降下を発生します。この電圧降下を補償するために、MFR\_RVIN コマンドの値に抵抗の公称値を設定してください。LTC3886 は、MFR\_READ\_ICHIP の測定値に、ユーザーが定義した MFR\_RVIN の値を掛け、得られた電圧を  $V_{\text{IN}}$  ピンの電圧測定値に加えます。

$$\text{READ\_VIN} = V_{\text{VIN\_PIN}} + (\text{MFR\_READ\_ICHIP} \cdot \text{MFR\_RVIN})$$

## アプリケーション情報

つまり、READ\_VIN コマンドは、VIN ピン・フィルタの電源側の電圧値を返します。VIN フィルタ素子を使用しない場合は、MFR\_RVIN = 0 に設定します。

上側 MOSFET のドレインからグランドへのコンデンサには、低 ESR のセラミック・コンデンサを使用します。このコンデンサは、上側 MOSFET のドレインのできるだけ近くに配置し、高周波のトランジェント入力電流を供給できるようにします。これによって、上側ゲート MOSFET によるノイズが、入力電流検出アンプの入力や電源に乗ることを防止できます。

入力電流検出アンプを使用しない場合は、VIN、IIN<sup>+</sup>、IIN<sup>-</sup> ピンを相互に短絡します。

### 外付け抵抗構成設定ピン (RCONFIG)

LTC3886 は、外付け抵抗構成を使用するように工場出荷時に設定されます。これによって、ユーザーは、PMBus インタフェース介してデバイスを設定したり、設定済みのカスタム・デバイスを購入したりすることなく、出力電圧、PWM 周波数、PWM 位相、および PMBus アドレスを設定できるようになります。抵抗設定を使用するには、VDD25 および GND 間の抵抗分割器を RCONFIG ピンに接続する必要があります。RCONFIG ピンが問い合わせられるのは、初期の電源投入時とリセット時だけです。したがって、デバイスが給電されている動作中にこれらの値を変更しても、何の効果も得られません。同一のプログラミングが必要な場合は、同じデバイスの RCONFIG ピンを 1 個の抵抗分割器で共有することができます。許容差が 1% 以内の抵抗を使用して正常な動作を保証する必要があります。以下の表では、R<sub>TOP</sub> を VDD25 ピンと RCONFIG ピンの間に接続し、一方で R<sub>BOT</sub> を RCONFIG ピンと GND の間に接続します。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。

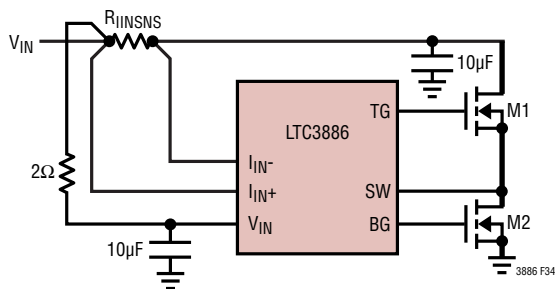


図 34. 低ノイズの入力電流検出回路

### 電圧の選択

VOUT\_CFGn ピン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に対するパーセント値として設定されます。

- VOUT\_OV\_FAULT\_LIMIT .....+10%
- VOUT\_OV\_WARN\_LIMIT .....+7.5%
- VOUT\_MAX .....+7.5%
- VOUT\_MARGIN\_HIGH.....+5%
- VOUT\_MARGIN\_LOW.....-5%
- VOUT\_UV\_WARN\_LIMIT .....-6.5%
- VOUT\_UV\_FAULT\_LIMIT .....-7%

VOUT\_CFGn ピンによる出力電圧の設定については、表 3 を参照してください。

表 3. VOUT\_CFGn

R <sub>TOP</sub> (kΩ)	R <sub>BOTTOM</sub> (kΩ)	V <sub>OUT</sub> (V)
0 または開放	開放	EEPROM
10	23.2	12.0
10	15.8	8.0
16.2	20.5	7.0
16.2	17.4	6.0
20	17.8	5.0
20	15	3.3
20	12.7	2.5
20	11	1.8
24.9	11.3	1.5
24.9	9.09	1.2
24.9	7.32	1.1
24.9	5.76	1.0
24.9	4.32	0.9
30.1	3.57	0.75
30.1	1.96	0.65
開放	0	出力オフ* (EEPROM からの V <sub>OUT</sub> )



## アプリケーション情報

### 周波数の選択

PWMスイッチング周波数は、表4に従って設定します。出力を生成するのに複数のLTC3886または複数のLTC3886とLTC3870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LTC3886間で共有した場合、1つのSYNCピンのみをイネーブルし、他の全てのSYNCピンをディスエーブルする必要があります。SYNCピンでは、プルアップ抵抗をV<sub>DD33</sub>に接続する必要があります。

例えば、250kHz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LTC3886を、目的の周波数と位相に設定し、1つのLTC3886を、SYNCピン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の立ち下がりエッジです。

LTC3886デバイス1は、SYNCピンをイネーブルして、90°と270°の位相シフトで周波数を250kHzに設定します。

周波数: R<sub>TOP</sub> = 24.9kΩ、R<sub>BOT</sub> = 11.3kΩ

位相: R<sub>TOP</sub> = 30.1kΩ、R<sub>BOT</sub> = 1.96kΩ

LTC3886デバイス2は、SYNCピンをディスエーブルして、0°と180°の位相シフトで周波数を250kHzに設定します。

周波数: R<sub>TOP</sub> = 24.9kΩ、R<sub>BOT</sub> = 11.3kΩ

位相: R<sub>TOP</sub> = 24.9kΩ、R<sub>BOT</sub> = 11.3kΩ

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250kHz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。

表4. FREQ\_CFGの抵抗プログラミング

R <sub>TOP</sub> (kΩ)	R <sub>BOT</sub> (kΩ)	スイッチング周波数 (kHz)
0または開放	開放	EEPROM
10	23.2	EEPROM
10	15.8	750

R <sub>TOP</sub> (kΩ)	R <sub>BOT</sub> (kΩ)	スイッチング周波数 (kHz)
16.2	20.5	650
16.2	17.4	575
20	17.8	500
20	15	425
20	12.7	350
20	11	300
24.9	11.3	250
24.9	9.09	225
24.9	7.32	200
24.9	5.76	175
24.9	4.32	150
30.1	3.57	125
30.1	1.96	100
開放	0	外部同期のみ

### 位相の選択

SYNCの立ち下がりエッジを基準にしたチャンネルの位相は、表5の値を使用して設定します。

表5. PHAS\_CFGの抵抗によるプログラミング

R <sub>TOP</sub> (kΩ)	R <sub>BOT</sub> (kΩ)	θ <sub>SYNC ~ θ<sub>0</sub></sub> 位相差	θ <sub>SYNC ~ θ<sub>1</sub></sub> 位相差	SYNC出力
0または開放	開放	EEPROM	EEPROM	EEPROM
10	23.2	EEPROM	EEPROM	EEPROM
10	15.8	EEPROM	EEPROM	EEPROM
16.2	20.5	120°	300°	DISABLED
16.2	17.4	60°	240°	
20	12.7	120°	240°	
20	15	0°	120°	
20	12.7	0°	240°	
20	11	90°	270°	
24.9	11.3	0°	180°	
24.9	9.09	120°	300°	
24.9	7.32	60°	240°	
24.9	5.76	120°	240°	
24.9	4.32	0°	120°	ENABLED
30.1	3.57	0°	240°	
30.1	1.96	90°	270°	
開放	0	0°	180°	

## アプリケーション情報

### RCONFIGによるアドレス選択

LTC3886のアドレス選択は、表6に従って2つの構成ピンASEL0およびASEL1をプログラミングすることに基づきます。ASEL0はLTC3886のデバイス・アドレスの下位4ビットをプログラムし、ASEL1は最上位3ビットをプログラムします。アドレスのどの部分も、EEPROM内にあるMFR\_ADDRESSの値から取り出すことができます。両方のピンを開放状態のままにすると、EEPROMに格納されている7ビットのMFR\_ADDRESS値は、全てデバイス・アドレスを決定するために使用されます。LTC3886は、7ビットのグローバル・アドレス(0x5Aおよび0x5B)に必ず応答します。MFR\_ADDRESSを、これらのいずれの値にも設定しないでください。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。

表6. ASEL<sub>n</sub>抵抗のプログラミング

R <sub>TOP</sub> (kΩ)	R <sub>BOT</sub> (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	EEPROM		EEPROM	
10	23.2			1	F
10	15.8			10	E
16.2	20.5			101	D
16.2	17.4			100	C
20	17.8			101	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何であり、また何が変化すれば最も効率が改善されるかを判断することが、多くの場合有益です。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。

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、LTC3886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<sub>IN</sub>電流、2) INTV<sub>CC</sub>レギュレータの電流、3) I<sup>2</sup>R損失、4) 上側MOSFETの遷移損失です。

- V<sub>IN</sub>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ドライブ電流や制御電流は含まれません。外部電源を使用してEXTV<sub>CC</sub>ピンからINTV<sub>CC</sub>電流を供給すると、必要なV<sub>IN</sub>電流を最小限に抑えます。
- INTV<sub>CC</sub>電流は、MOSFETドライブ電流と制御電流の合計です。MOSFETドライブ電流は、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<sub>CC</sub>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<sub>CC</sub>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<sub>GATECHG</sub> = f(Q<sub>T</sub> + Q<sub>B</sub>)です。ここで、Q<sub>T</sub>とQ<sub>B</sub>は上側MOSFETと下側MOSFETのゲート電荷です。
- I<sup>2</sup>R損失は(もし使用されていれば)ヒューズ、MOSFET、インダクタ、電流検出抵抗の各DC抵抗から予測されます。連続モードでは、LやR<sub>SENSE</sub>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個のMOSFETのR<sub>DS(ON)</sub>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<sub>SENSE</sub>を加算するだけでI<sup>2</sup>R損失を求めることができます。例えば、各MOSFETのR<sub>DS(ON)</sub>が10mΩ、R<sub>L</sub> = 10mΩ、R<sub>SENSE</sub> = 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

## アプリケーション情報

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  $20\mu\text{F} \sim 40\mu\text{F}$  以上、ESRを  $20\text{m}\Omega \sim 50\text{m}\Omega$  以下にする必要があります。LTC3886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。

## プログラム可能なループ補償

LTC3886は、ハードウェアを変更することなくトランジェント応答を最適化するためのプログラム可能なループ補償を備えています。図35に示すように、コントローラ内で、エラーアンプの利得  $g_m$  は  $1.0\text{mmho} \sim 5.73\text{mmho}$  の範囲で変化し、補償抵抗  $R_{TH}$  は  $0\text{k}\Omega \sim 62\text{k}\Omega$  の範囲で変化します。設計では2つの補償コンデンサ  $C_{TH}$  および  $C_{THP}$  が必要になり、 $C_{TH}$  および  $C_{THP}$  間の標準的な比率は10です。

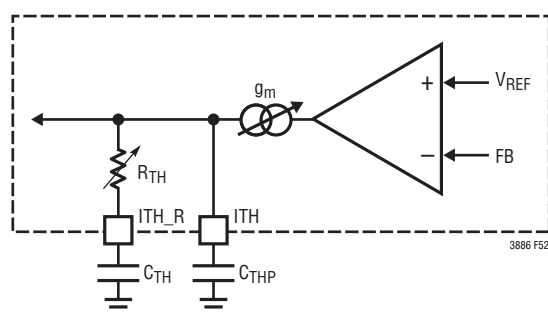


図35. プログラム可能なループ補償

$g_m$  と  $R_{TH}$  を調整するだけで、LTC3886は柔軟なタイプII補償ネットワークを提供し、出力コンデンサの広い範囲にわたってループを最適化します。 $g_m$  を調整すると、ポールとゼロの位置が移動せず、周波数範囲全体にわたって補償の利得が変化します(図36を参照)。

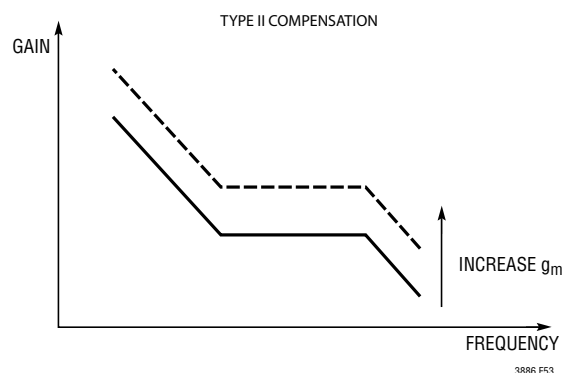


図36. エラーアンプの  $g_m$  の調整

$R_{TH}$  を調整すると、図37に示すように、ポールとゼロの位置が変化します。ユーザーがLTPowerCADツールを使用して  $g_m$  と  $R_{TH}$  の適切な値を決定することを推奨します。

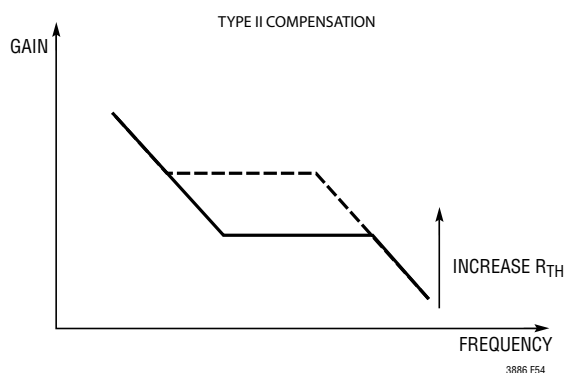


図37.  $R_{TH}$  の調整

## 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  $\Delta I_{LOAD}$  (ESR) に等しい大きさだけシフトします。ここで、ESRは  $C_{OUT}$  の実効直列抵抗です。また  $\Delta I_{LOAD}$  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ア



## アプリケーション情報

トやリ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、このピンで見られるオーバーシュートのパーセンテージを使用して概算することができます。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 $I_{THR}$ ピンの外付けコンデンサは、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設定可能なパラメータは、電圧範囲、MFR\_PWM\_CONFIG\_LTC3886コマンドのビット[1]、電流範囲、MFR\_PWM\_MODE\_LTC3886コマンドのビット7、PWMチャネル・アンプの $g_m$ 、MFR\_PWM\_COMPのビット[7:5]、および内部 $R_{ITH}$ 補償抵抗、MFR\_PWM\_COMPのビット[4:0]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。

$I_{TH}$ の内部直列 $R_{ITH}$ -外部 $C_C$ 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。内部 $R_{ITH}$ の値は、MFR\_PWM\_COMPコマンドのビット[4:0]を使用して( $0\Omega \sim 62k\Omega$ の範囲で)変更できます。PCのレイアウトを完了し、特定の $C_C$ フィルタ・コンデンサおよび出力コンデンサの種類と容量値を決定したら、 $R_{ITH}$ の値を調整してトランジェント応答を最適化することができます。出力コンデンサのさまざまな種類と値によってループの利得と位相が決まるので、まず出力コンデンサを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 $R_{ITH}$ 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。 $C_C$ を減少させるのと同じ比率で $R_{ITH}$ 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。ループの利得は、MFR\_PWM\_COMPコマンドのビット[7:5]を使用して設定されるエラーアンプの相互コンダクタンスに比例します。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。

## PolyPhase 構成

複数のLTC3886によるPolyPhaseレールを構成する場合、両デバイスでSYNC、ITH、SHARE\_CLK、 $\overline{FAULT}_n$ 、PGOOD $_n$ 、ALERTの各ピンを共有する必要があります。 $\overline{FAULT}_n$ 、PGOOD $_n$ 、SYNC、SHARE\_CLK、ALERTにプルアップ抵抗を接続することを忘れないでください。1つのLTC3886のSYNCピンを目標とするスイッチング周波数に設定し、その他の全てのデバイスのFREQUENCY\_SWITCHコマンドは外部クロックに設定します。外部発振器からクロックを供給する場合は、全てのLTC3886のFREQUENCY\_SWITCHコマンドを外部クロックに設定します。全チャンネル間の相対位相は、等間隔にしてください。また、全てのデバイスのMFR\_RAIL\_ADDRESSを同じ値に設定します。

PolyPhaseのレールを複数のLTC3886に接続する場合、LTC3886の $V_{IN}$ ピンは、 $V_{IN}$ フィルタ・ネットワークを介して直接電源電圧に戻します。

アプリケーション情報

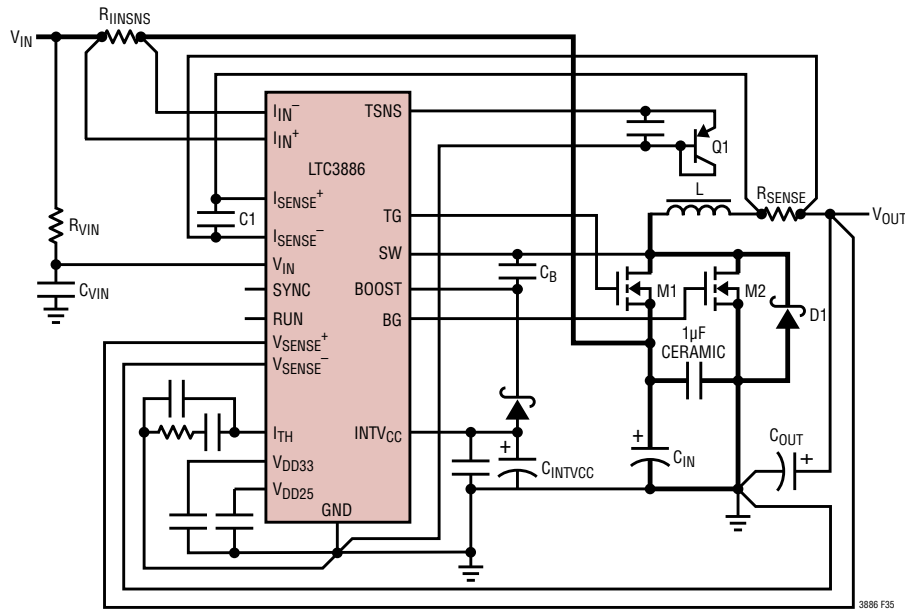


図38. 推奨プリント回路レイアウト図(単一位相を示す)

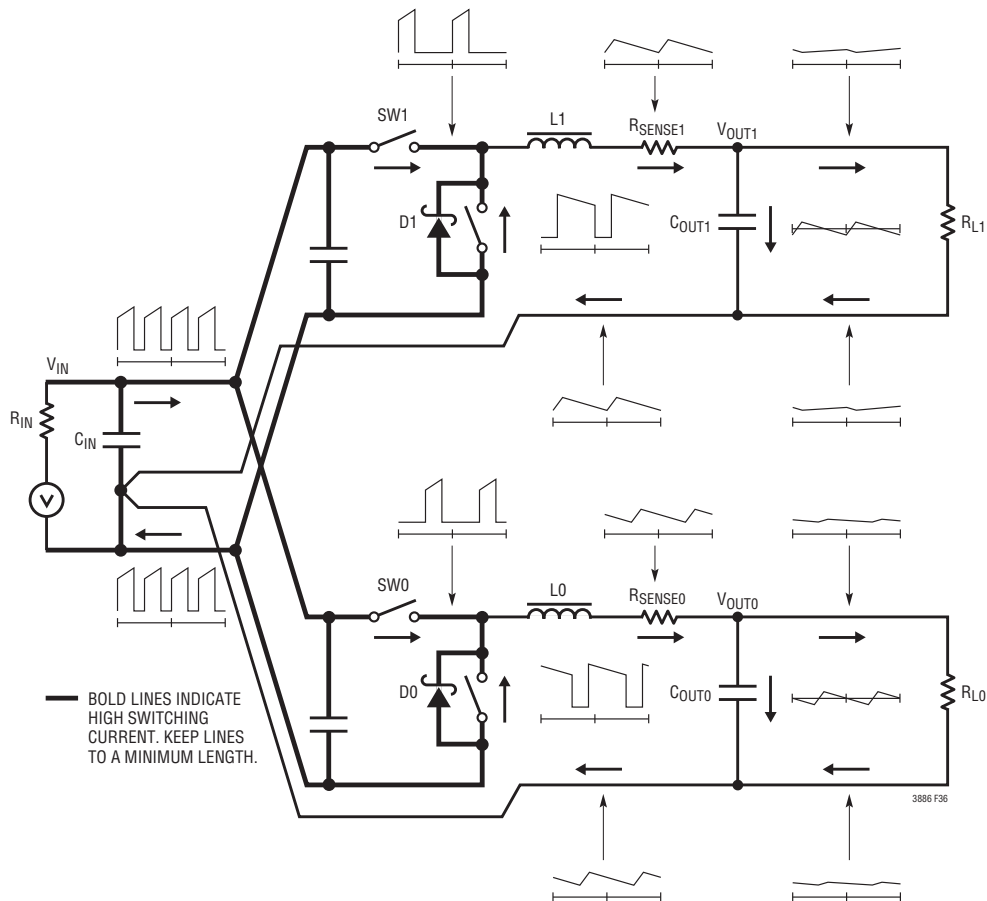


図39. 分岐電流の波形



## アプリケーション情報

## PC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38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同期レギュレータのさまざまな枝路に現れる電流波形を図39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(M1)が、 $C_{IN}$ から1cm以内に配置されていますか。
2. 信号グラウンドと電源グラウンドが分離されていますか。 $C_{INTVCC}$ のグラウンド帰路は、1つにまとめた $C_{OUT}$ の(-)端子に戻す必要があります。
3.  $I_{TH}$ のトレースはできるだけ短くします。
4. 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ループのリードとPCトレースを短くします。
5. コンデンサは互いに隣接させ、また4項で説明したショットキ・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。
6.  $I_{SENSE}^+$ 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。
7.  $INTVCC$ のデカップリング・コンデンサは、 $INTVCC$ と電源グラウンド・ピン間に、デバイスの近くで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。 $1\mu F$ のセラミック・コンデンサを1個、 $INTVCC$ 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。
8. スイッチング・ノード( $SW_n$ )、上側のゲート・ノード( $TG_n$ )、およびブースト・ノード( $BOOST_n$ )は、影響を受けやすい小信号ノード、特に電圧および電流の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、LTC3886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25aのR1)をスイッチング・ノードの近くに配置します。

9. 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 $INTVCC$ および $EXTVCC$ のデカップリング・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。
10.  $I_{IN}^+$ ピンおよび $I_{IN}^-$ ピンは、検出抵抗 $R_{SENSEIN}$ にケルビン接続されていますか。この接続方法は、PCBのトレース抵抗による入力電流測定の見誤差を予防します。これらのトレースは、できるだけ短くするとともに、スイッチング・ノードやブースト・ノードなどのノイズの大きなノードから離して配線する必要があります。
11.  $V_{IN}$ のフィルタは、 $R_{SENSEIN}$ 抵抗の入力側にケルビン接続されていますか。電力段の不連続な電流によって生じる、アンプの入力とアンプの電源間の電圧トランジェントを低減すると、入力電流検出アンプのノイズ性能を向上する効果が得られます。

## PC基板レイアウトのデバッグ

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( $SW_n$ 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。ドロップアウト状態になるまでの入力電圧範囲で、出力負荷が低電流動作しきい値より低くなるまで動作周波数が保たれるようにしてください。

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、ループを過補償にしてPCBレイアウトの不備を補うことができます。

## アプリケーション情報

$V_{IN}$ を公称レベルより小さくして、ドロップアウト状態のレギュレータ動作を検証します。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、 $BOOSTn$ 、 $SWn$ 、 $TGn$ 、場合によっては $BGn$ 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、共通グランド経路の電圧ピックアップも調べてください。

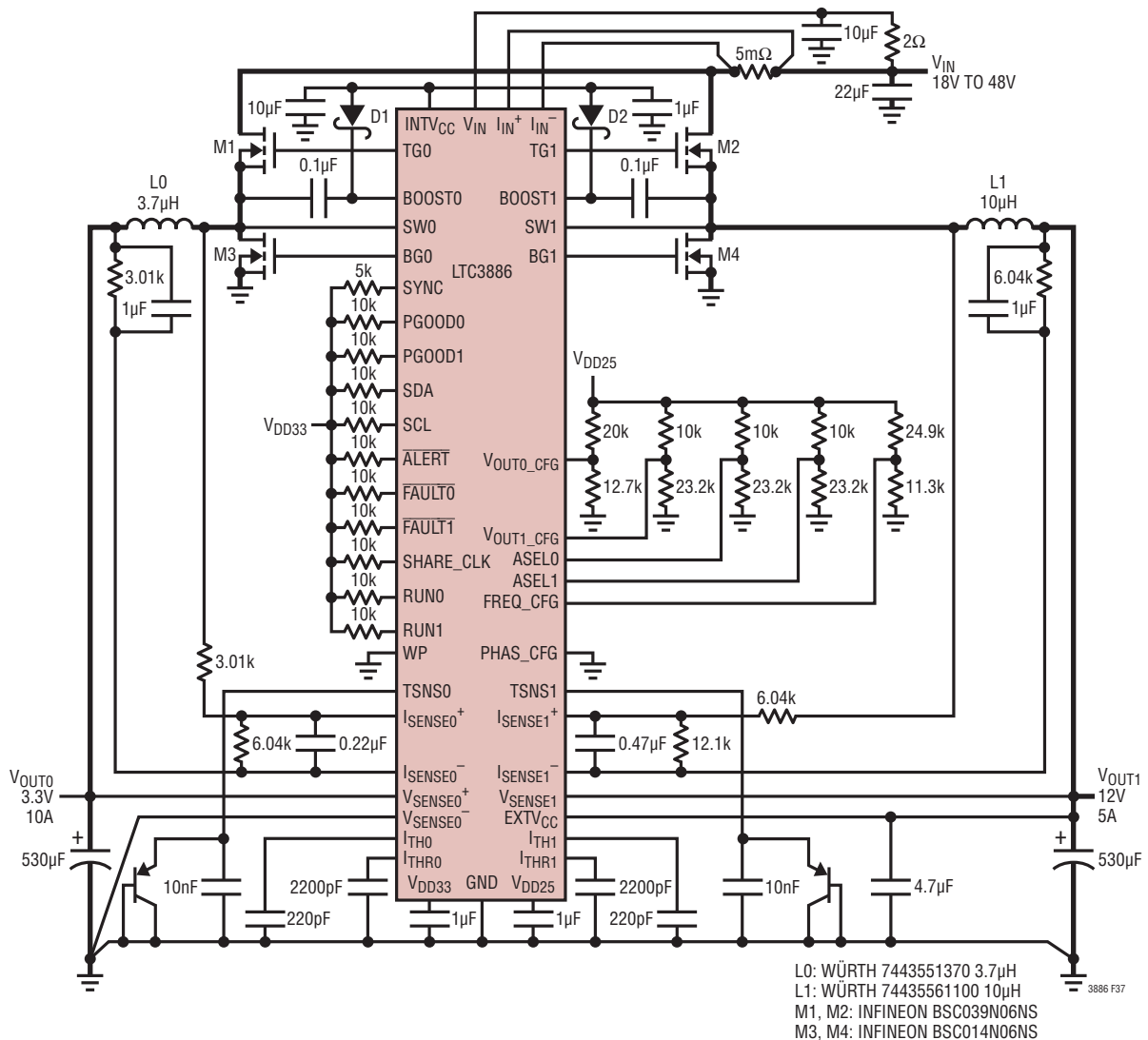


図40. 高効率のデュアル 250kHz 12V/3.3V 降圧コンバータ

## アプリケーション情報

### 設計例

中程度の電流レギュレータの設計例として、次のように仮定します： $V_{IN} = 48V$  (公称値)、 $V_{IN} = 55V$  (最大値)、 $V_{OUT0} = 3.3V$ 、 $V_{OUT1} = 12V$ 、 $I_{MAX0,1} = 10A$ 、および  $f = 250kHz$  (図40を参照)。

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、 $V_{DD25}$ 、 $V_{OUTn\_CFG}$  ピン、および  $GND$  の間の抵抗分割器によって決まります。

1.  $V_{OUT0\_CFG} : R_{TOP} = 20k$ 、 $R_{BOTTOM} = 12.7k$
2.  $V_{OUT1\_CFG} : R_{TOP} = 10k$ 、 $R_{BOTTOM} = 23.2k$

周波数と位相は、EEPROMによって設定するか、 $V_{DD25}$  および  $GND$  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。

1.  $FREQ\_CFG : R_{TOP} = 24.9k$ 、 $R_{BOTTOM} = 11.3k$
2.  $PHAS\_CFG : R_{TOP} = \text{開放}$ 、 $R_{BOTTOM} = 0$

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%
- $V_{OUT\_OV\_WARN\_LIMIT}$  ..... +7.5%
- $V_{OUT\_MAX}$  ..... +7.5%
- $V_{OUT\_MARGIN\_HIGH}$  ..... +5%
- $V_{OUT\_MARGIN\_LOW}$  ..... -5%
- $V_{OUT\_UV\_WARN\_LIMIT}$  ..... -6.5%
- $V_{OUT\_UV\_FAULT\_LIMIT}$  ..... -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(3.5A)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。

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

チャンネル0には  $3.5\mu H$ 、チャンネル1には  $10.7\mu H$  が必要になります。最も近い標準値は、それぞれ  $3.7\mu H$  および  $10\mu H$  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。

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

チャンネル0のリップル電流は  $3.32A$  (33%) になり、チャンネル1のリップル電流は  $3.6A$  (36%) 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  $11.6A$ 、チャンネル1の場合は  $11.8A$ ) になります。チャンネル0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。

$$t_{ON(MIN)} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN(MAX)} \cdot f} = \frac{3.3V}{55V(250kHz)} = 240ns$$

チャンネル0では Würth 7443551370  $3.7\mu H$  ( $25^\circ C$  で  $7m\Omega$  の  $DCR_{TYP}$ )、チャンネル1では Würth 744355611000  $10\mu H$  ( $25^\circ C$  で  $7m\Omega$  の  $DCR_{TYP}$ ) のインダクタが選択されます。

$$(R1+R3) \parallel R2 = \frac{2 \cdot L}{(DCR \text{ at } 25^\circ C) \cdot C1} = \frac{2 \cdot 3.7\mu H}{4.9m\Omega \cdot 0.22\mu F} = 6.86k$$

$R1 = R3 = 3.48\Omega$ 、 $R2 = 6.81k\Omega$  に設定します。

$$I_{OUT\_CAL\_GAIN} = DCR \cdot \frac{R2}{R1+R2+R3} = 2.45m\Omega$$

$R1$  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。

$$P_{LOSS} \cdot R1 = \frac{(V_{IN(MAX)} - V_{OUT}) \cdot V_{OUT}}{R1} = \frac{(55 - 3.3) \cdot 3.3}{3.05k} = 55.9mW$$

チャンネル1の各値は、 $C1 = 0.47\mu F$ 、 $R1 = R3 = 6.08k\Omega$ 、 $R3 = 12.16k\Omega$ 、 $I_{OUT\_CAL\_GAIN} = 3.5m\Omega$ 、および  $P_{LOSSR1} = 84.9mW$  です。

## アプリケーション情報

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。

$$V_{ILIMIT} = I_{PEAK} \cdot R_{DCR}(\text{MAX}) = 1.2 \cdot 11.3\text{A} \cdot 3.5\text{m}\Omega = 47.46\text{mV}$$

この値に最も近い  $V_{ILIMIT}$  の設定は、42.9mV または 48.2mV です。これらの値は、 $I_{OUT\_OC\_FAULT\_LIMIT}$  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49.56mVです。最も近い値は53.6mV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 BSC039N06NSを選択します。 $R_{DS(ON)} = 3.9\text{m}\Omega$ 、 $C_{MILLER} = 75\text{pF}$ となります。最大入力電圧、推定温度50°C、下側MOSFETにINFINEON BSC014N06NS ( $R_{DS(ON)} = 1.45\text{m}\Omega$ )を使用した場合、上側MOSFETの損失は次のようになります。

$$P_{\text{MAIN}} = \frac{3.3\text{V}}{55\text{V}} \cdot (11.6)^2 \cdot \left[ 1 + (0.005)(50^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \right] \\ \cdot 0.0039\Omega + (55\text{V})^2 (5.8\text{A}) \cdot \left( \frac{1}{5-2.8} + \frac{1}{2.8} \right) \\ (59\text{pF})(250\text{kHz}) = 0.245\text{W}$$

下側MOSFETの損失は、次のように計算できます。

$$P_{\text{SYNC}} = \frac{(55\text{V} - 3.3\text{V})}{55\text{V}} \cdot (11.6\text{A})^2 \cdot \\ \left[ 1 + (0.005)(50^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \right] \cdot 0.00145\Omega \\ = 0.206\text{W}$$

$I^2R$  損失は両方のMOSFETで発生しますが、 $P_{\text{MAIN}}$  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。

必要な  $C_{IN}$  の最小実効値電流定格は次のとおりです。

$$I_{\text{RMS}} = \frac{11.8}{55} \left[ (3.3) \cdot (55 - 3.3) \right]^{1/2} = 2.8\text{A}$$

$C_{OUT}$  は、出力リップルが小さくなるようにESRが0.01Ω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。

$$V_{\text{ORIPPLE}} = R(\Delta I_L) = 0.01\Omega \cdot 3.6\text{A} = 36\text{mV}$$

## 設計に関するその他の確認事項

FAULT0とFAULT1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、FAULT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10k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6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、 $R_{\text{TOP}}$  と  $R_{\text{BOTTOM}}$  の基板面積を許容します。

## USBからI<sup>2</sup>C/SMBus/PMBusへのアダプタをシステム内のLTC3886へ接続

USBとI<sup>2</sup>C/SMBus/PMBusを接続するLTCアダプタ(DC1613Aまたは同等のもの)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、ユーザーの基板内のLTC3886との間のインターフェースを提供します。このアダプタを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、フォルト状態コマンドおよびフォルト・ログを使って、短時間で故障を診断できます。最終構成を短時間で開発し、LTC3886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I<sup>2</sup>C/SMBus/PMBusアダプタを介して、1個または複数のLTC3886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41に示します。システム電源が存在しない場合、 $V_{DD33}$  電源ピンからアダプタによってLTC3886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0x5B、コマンド0xBD、データ0x2B、続いてアドレス0x5B、コマンド0xBD、データ0xC4を使用します。これによって、LTC3886が正常に通信し、プロジェクト・ファイルを更新できます。更新されたプロジェクト・ファイルをEEPROMに書



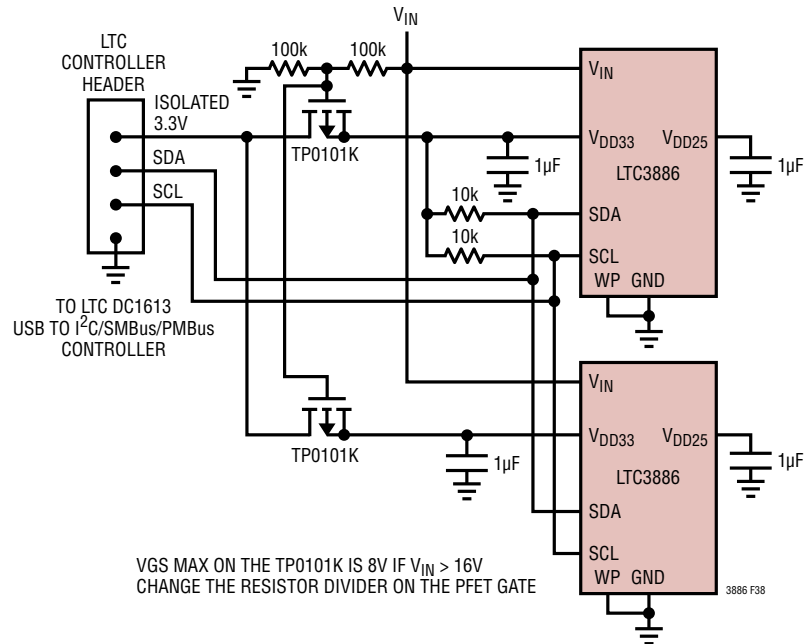


図41. LTCコントローラの接続

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。

アダプタの電流ソース能力が制限されているため、OR 接続された 3.3V 電源からは、LTC3886、それらに関連したプルアップ抵抗および I<sup>2</sup>C のプルアップ抵抗だけに給電します。さらに、I<sup>2</sup>C バス接続を LTC3886 と共有しているどのデバイスも、SDA/SCL ピンとその V<sub>DD</sub> ノードの間にボディ・ダイオードを形成しないようにします。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。VIN が印加されている場合、DC1613A は基板上の LTC3886 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<sub>n</sub> 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。

LTC3886 は、DC1613A によってホスト PC のグラウンドから完全に絶縁されます。アダプタの 3.3V と LTC3886 の V<sub>DD33</sub> ピンは、独立した PFET によって各 LTC3886 を駆動する必要があります。VIN を印加していない場合、内蔵 LDO がオフしているため、V<sub>DD33</sub> 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<sub>DD33</sub> の電流の標準値は 15mA 未満です。V<sub>DD33</sub> は INTV<sub>CC</sub>/EXTV<sub>CC</sub> ピンをバック・ドライブします。通常、VIN が開放であれば、これは問題になりません。

## LTpowerPlay: デジタル電源用の対話型 GUI

LTpowerPlay は、LTC3886 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、DC2155A デモ・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-I<sup>2</sup>C/SMBus/PMBus アダプタ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・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。詳細情報は次のサイトで提供されています。

<http://www.linear-tech.co.jp/ltpowerplay>



アプリケーション情報

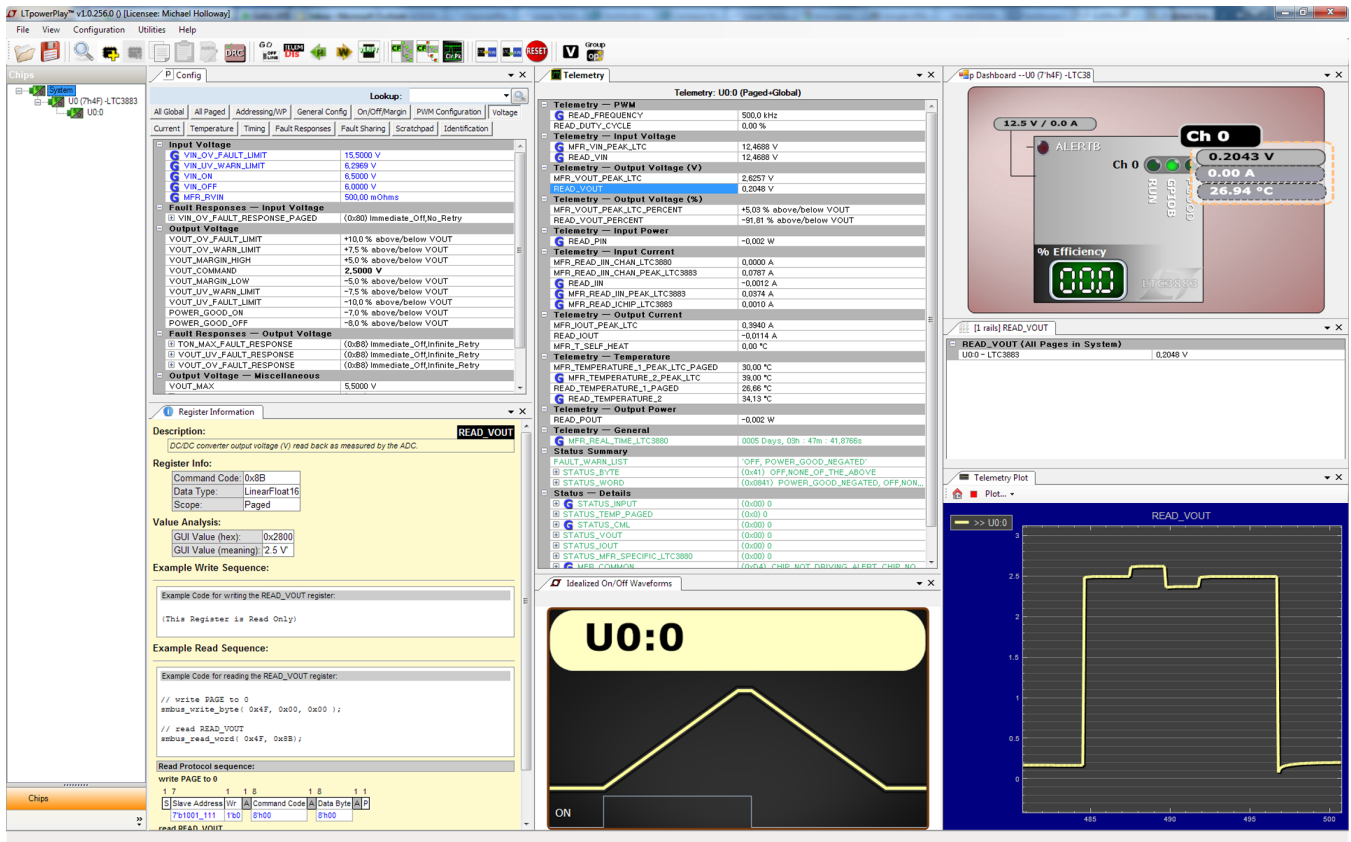


図 42. LTpowerPlay の画面

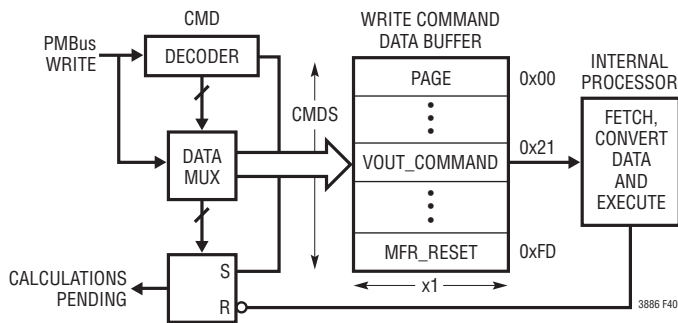


図 43. コマンド・データ書き込み処理

PMBus の通信とコマンド処理

LTC3886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43「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。

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に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

## アプリケーション情報

```
// wait until chip is not busy
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 44. VOUT\_COMMAND のコマンド書き込みの例

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 44 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。

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 v1.1, Part II, Section 10.8.7」と「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\_LTC3886 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 通知を生成されることなく、受け付けられます。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 44 に示します。

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](http://www.linear-tech.co.jp/designtools/app_notes) のアプリケーションノート of the 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 v1.1, 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、LTC3886 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	EEPROM	デフォルト 値
PAGE	0x00	マルチページ PMBus デバイスの統合を可能にする。	R/W Byte	N	Reg			0x00
PAGE_PLUS_WRITE	0x05	サポートされているコマンドを PWM チャンネルに直接書き込む。	W Block	N				
PAGE_PLUS_READ	0x06	サポートされているコマンドを PWM チャンネルから直接読み出す。	Block R/W	N				
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
MFR_ADDRESS	0xE6	7ビットの I <sup>2</sup> C アドレス・バイトを設定する。	R/W Byte	N	Reg		Y	0x4F
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

### 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 チャンネルの動作コマンドが含まれます。

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 に設定したデバイスからの読み取りは推奨されません。

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 45 に示します。

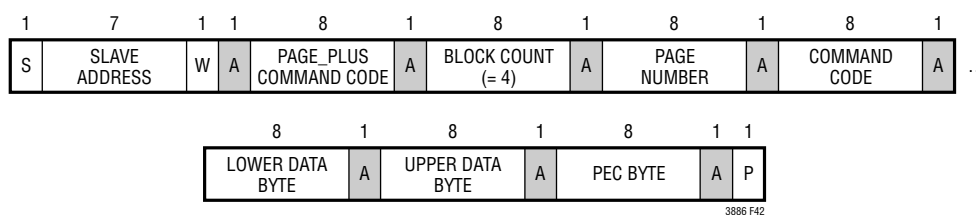


図 45. PAGE\_PLUS\_WRITE の例

## 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 プロトコルを使用します。PAGE\_PLUS\_READ コマンドと PEC の一例を図46に示します。

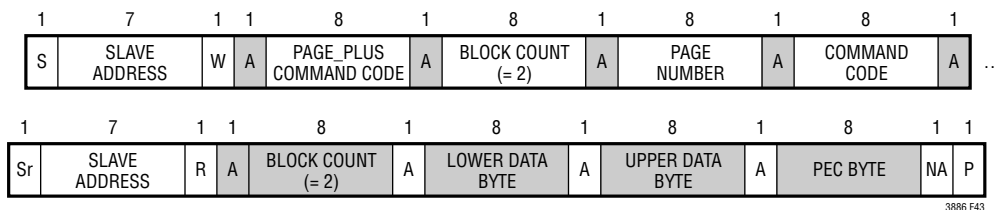


図46. PAGE\_PLUS\_READ の例

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、LTC3886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。

### WRITE\_PROTECT

WRITE\_PROTECT コマンドは、LTC3886 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。WPピンは、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、CLEAR_FAULTS コマンドに対する書き込みを除く、すべ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 コマンド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 コマンド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。



## PMBus コマンドの詳細

WRITE\_PROTECT を 0x00 に設定すると、全てのコマンドへの書き込みがイネーブルされます。

WP ピンが“H”の場合、PAGE、OPERATION、MFR\_CLEAR\_PEAKS、MFR\_EE\_UNLOCK、WRITE\_PROTECT、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 コマンドの対応するビットに 1 を書き込むことでクリアできます。

### 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セーブルされます。グローバル・デバイス・アドレスである 0x5A と 0x5B はディセーブルできません。RCONFIG を無視するように設定した場合も、ASEL0 ピンと ASEL1 ピンは、チャンネル・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。ASEL0 ピンおよび ASEL1 ピンが両方とも開放の場合、LTC3886 は EEPROM に格納されたアドレス値を使用します。ASEL0 ピンが開放の場合、LTC3886 は EEPROM に格納された MFR\_ADDRESS 値の下位 4 ビットを使用してデバイスの実効アドレスを作成します。ASEL1 ピンが開放の場合、LTC3886 は EEPROM に格納された MFR\_ADDRESS 値の上位 3 ビットを使用してデバイスの実効アドレスを作成します。

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ンネルに対して、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、LTC3886 はバス競合を検出して、CML 通信フォルトをセットする可能性があります。

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

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

## 汎用構成コマンド

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	EEPROM	デフォルト値
MFR_CHAN_CONFIG_LTC3886	0xD0	チャンネル固有の構成ビット。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x1D
MFR_CONFIG_ALL_LTC3886	0xD1	汎用構成ビット。	R/W Byte	N	Reg		Y	0x21

# LTC3886

## PMBus コマンドの詳細

### MFR\_CHAN\_CONFIG\_LTC3886

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	FAULTが外部から“L”に引き下げられた場合、ALERTは“L”に引き下げられない。
0	MFR_RETRY_TIME処理のV <sub>OUT</sub> 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。

### MFR\_CONFIG\_ALL\_LTC3886

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	クイック・コマンド・メッセージのCMLフォルトをディスエーブルする。
4	SYNC出力をディスエーブルする。
3	255msのPMBus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	いずれのRUNピンの立ち上がりエッジでCLEAR_FAULTSを実行する。

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	EEPROM	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
動作	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

## PMBus コマンドの詳細

### ON\_OFF\_CONFIG

ON\_OFF\_CONFIG コマンドは、PWM チャネルをオン/オフするのに必要な RUN<sub>n</sub> ピンの入力状態と PMBus コマンドの組み合わせを指定します。

#### サポートされている値:

値	意味
0x1F	OPERATION の値と RUN <sub>n</sub> ピンからの命令は、どちらもデバイスが起動/動作する命令にする必要があります。デバイスはオフするよう命令されると直ちにオフになります。
0x1E	OPERATION の値と RUN <sub>n</sub> ピンからの命令は、どちらもデバイスが起動/動作する命令にする必要があります。デバイスは、オフするよう命令されると TOFF_ コマンドの値を使用します。
0x17	RUN <sub>n</sub> ピンは、オフするよう命令されると、直ちにオフするよう制御します。OPERATION によるオン/オフ制御は無視されます。
0x16	RUN <sub>n</sub> ピンは、オフするよう命令されると、TOFF_ コマンドの値を使用して制御します。OPERATION によるオン/オフ制御は無視されます。

サポートされていない ON\_OFF\_CONFIG の値をプログラムすると、CML フォルトが発生し、コマンドは無視されます。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

### OPERATION

OPERATION コマンドは、RUN<sub>n</sub> 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<sub>n</sub> 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<sub>IN</sub> を工場出荷時のデフォルト設定でデバイスに印加し、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。

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。

#### サポートされている値:

値	意味
0xA8	上方マージン
0x98	下方マージン
0x80	オン (ON_OFF_CONFIG のビット 3 がセットされていない場合でも V <sub>OUT</sub> は公称値に戻る)。
0x40*	ソフトオフ (シーケンス制御あり)
0x00*	即時オフ (シーケンス制御なし)

\*ON\_OFF\_CONFIG のビット 3 がセットされていない場合、デバイスはこれらのコマンドに応答しません。

サポートされていない OPERATION の値をプログラムすると、CML フォルトが発生し、コマンドは無視されます。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

# LTC3886

## PMBus コマンドの詳細

### MFR\_RESET

このコマンドは、シリアル・バスからLTC3886をリセットする方法を与えます。このコマンドにより、LTC3886は両方のPWMチャンネルをオフにして、内部EEPROMから動作メモリを読み込み、フォルトを全てクリアして、両方のPWMチャンネルのソフトスタートを実行します(イネーブルしている場合)。

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	EEPROM	デフォルト値
MFR_PWM_COMP	0xD3	PWMループ補償の構成。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x70
MFR_PWM_MODE_LTC3886	0xD4	PWMエンジンの構成。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xC1
MFR_PWM_CONFIG_LTC3886	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\_LTC3886

MFR\_PWM\_MODE\_LTC3886コマンドは、重要なPWM制御をチャンネルごとに設定します。アドレス指定されたチャンネルがオンのときにビット[0]および[6]を変更することはできますが、コマンドを発行するときにその他のビットを変更した場合、チャンネルをオフにする必要があります。チャンネルがオンの場合、[0]および[6]以外のビットが変更されると、LTC3886はCMLフォルトを発行してコマンドとそのデータを無視します。

MFR\_PWM\_MODE\_LTC3886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。

ビット	意味
7	I <sub>LIMIT</sub> の高電流レンジを使用する
0b	低電流レンジ
1b	高電流レンジ
6	サーボ・モードをイネーブルする
5	外部温度の検出: 0: ΔV <sub>BE</sub> の測定。 1: 電圧を直接測定。
[4:2]	Reserved
1	V <sub>OUT</sub> の電圧範囲
0b	最大検出電圧は13.2V
1b	最大検出電圧は7V
ビット[0]	モード
0b	不連続
1b	強制連続

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。このビットの値は、チャンネルの出力がアクティブのときに変更できません。チャンネルがアクティブのときにこのビットに書き込むと、CMLフォルトが発生します。



## PMBus コマンドの詳細

ビット [6] を 0 に設定すると、LTC3886 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。

ビット [5] がクリアされると、LTC3886 は TSNS<sub>n</sub> ピンで A/D コンバータによって測定された  $\Delta V_{BE}$  に基づいて温度 (°C) を次式で計算します。

$$T = (G \cdot \Delta V_{BE} \cdot q / (K \cdot \ln(16))) - 273.15 + 0$$

ビット [5] が設定されると、LTC3886 は A/D コンバータによって測定された TSNS<sub>n</sub> の電圧に基づいて温度 (°C) を次式で計算します。

$$T = (G \cdot (1.35 - V_{TSNSn} + 0) / 4.3e-3) + 25$$

これら 2 つの式では、

$$G = \text{MFR\_TEMP\_1\_GAIN} \cdot 2^{-14}、および$$

$$O = \text{MFR\_TEMP\_1\_OFFSET}$$

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かで動作するのかを決定します。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、チャンネルの出力がアクティブのときに変更できません。チャンネルがアクティブのときにこのビットに書き込むと、CML フォルトが発生します。

ビット [0] は、PWM の動作モードが不連続 (パルススキップ・モード) モードなのか、強制連続導通モードなのかを決定します。このコマンドは、1 バイトのデータを伴っています。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。

### MFR\_PWM\_COMP

MFR\_PWM\_COMP コマンドは、PWM チャンネルのエラーアンプの gm および内部 R<sub>ITHn</sub> 補償抵抗の値を設定します。このコマンドは PWM 出力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
<b>ビット [7:5]</b>	<b>EA<sub>gm</sub> (ms)</b>
000b	1.00
001b	1.68
010b	2.35
011b	3.02
100b	3.69
101b	4.36
110b	5.04
111b	5.73
<b>ビット [4:0]</b>	<b>R<sub>ITH</sub> (kΩ)</b>
00000b	0
00001b	0.25
00010b	0.5
00011b	0.75
00100b	1
00101b	1.25

## PMBus コマンドの詳細

ビット	意味
00110b	1.5
00111b	1.75
01000b	2
01001b	2.5
01010b	3
01011b	3.5
01100b	4
01101b	4.5
01110b	5
01111b	5.5
10000b	6
10001b	7
10010b	8
10011b	9
10100b	11
10101b	13
10110b	15
10111b	17
11000b	20
11001b	24
11010b	28
11011b	32
11100b	38
11101b	46
11110b	54
11111b	62

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

### **MFR\_PWM\_CONFIG\_LTC3886**

MFR\_PWM\_CONFIG\_LTC3886 コマンドは、SYNC 信号の立ち下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 ステート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。チャンネルが RUN ステートにある間にこのコマンドを書き込むと、コマンドに NACK が返され、BUSY フォルトがアサートされます。

ビット	意味
7	VFB0 を使用
0b	両方のチャンネルの帰還ノードは独立している。
1b	チャンネル1はチャンネル0の帰還ノードを使用する。
[6:5]	入力電流検出利得。
00b	利得 2x。0mV ~ 50mV の範囲。
01b	利得 4x。0mV ~ 25mV の範囲。
10b	利得 8x。0mV ~ 5mV の範囲。
11b	

## PMBus コマンドの詳細

ビット	意味	
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。	
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 構成で使用する場合以外に、ビット [7] をアサートしないでください。このビットをアサートした場合、 $V_{SENSEn}^+$ 、 $I_{THn}$ 、 $PGOODn$ 、および  $RUNn$  をチャンネル間で共有する必要があります。

### 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
0xEB20	100kHz
0xFB E8	125kHz
0xF258	150kHz
0xF2BC	175kHz
0xF320	200kHz
0xF384	225kHz
0xF3E8	250kHz
0xFA58	300kHz
0xFABC	350kHz
0xFB52	425kHz
0xFB E8	500kHz
0x023F	575kHz
0x028A	650kHz
0x02EE	750kHz

このコマンドを処理するには、デバイスが OFF ステートになければなりません。RUN ピンを“L”にするか、両方のチャンネル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 ステートにある間にこのコマンドを書き込むと、コマンドに NACK が返され、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。

## PMBus コマンドの詳細

## 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	EEPROM	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	48.0 0xE300
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
MFR_RVIN	0xF7	V <sub>IN</sub> ピン・フィルタ素子の抵抗値(mΩ)。	R/W Word	N	L11	mΩ	Y	3000 0x12EE

**VIN\_OV\_FAULT\_LIMIT**

VIN\_OV\_FAULT\_LIMIT コマンドは、入力過電圧フォルトの原因となる、A/D コンバータが測定した入力電圧の値を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\_UV\_WARN\_LIMIT**

VIN\_UV\_WARN\_LIMIT コマンドは、入力低電圧警告の原因となる、A/D コンバータが測定した入力電圧の値を設定します。入力が、VIN\_ON コマンドで設定した入力起動しきい値を超えてデバイスがイネーブル状態になるまで、この警告は無効です。その後、VIN\_UV\_WARN\_LIMIT を超えると、デバイスは以下のように動作します。

- STATUS\_WORD の INPUT ビットを設定する。
- STATUS\_INPUT コマンドの V<sub>IN</sub> 低電圧警告ビットを設定する。
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$  をアサートしてホストに通知する。

**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。



## PMBus コマンドの詳細

### MFR\_RVIN

MFR\_RVIN コマンドは、V<sub>IN</sub> ピンのフィルタ素子の抵抗値を mΩ 単位で設定します。(READ\_VIN も参照してください。) フィルタ素子を使用していない場合は MFR\_RVIN を 0 に設定します。

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	EEPROM	デフォルト値
VOUT_MODE	0x20	出力電圧の形式および指数 (2 <sup>-12</sup> )。	R Byte	Y	Reg			2 <sup>-12</sup> 0x14
VOUT_MAX	0x24	他のいかなるコマンドにも関係なく、デバイスが指示できる出力電圧の上限。	R/W Word	Y	L16	V	Y	14.0 0xE000
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	最大許容出力電圧。	R Word	Y	L16	V		14.0 0xE000

### 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、14V です。LTC3886 が生成できる最大出力電圧は、VOUT\_MARGIN\_HIGH を含めて 14V です。ただし、VOUT\_OV\_FAULT\_LIMIT は、最大 14V 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、OV スーパーバイザ・コンパレータによって検出ピンで測定され、出力過電圧フォルトを引き起こす出力電圧の値をV単位で設定します。

デバイスがRUN状態にある間に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 (0x00) に設定されている場合、VOUT\_OV\_FAULTが伝播されても、 $\overline{\text{FAULT}}$ ピンはアサートされません。LTC3886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、ADCによって検出ピンで測定され、出力過電圧警告を引き起こす出力電圧の値を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、MFR\_VOUT\_PEAK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、13.8V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\_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、13.2V 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\_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、ADC によって検出ピンで測定され、出力低電圧警告を引き起こす出力電圧の値を 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、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、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、UV スーパーバイザ・コンパレータによって検出ピンで測定され、出力低電圧フォルトを引き起こす出力電圧の値を 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\_CONFIG\_LTC3886 のビット 6 を 0 に設定) の MFR\_VOUT\_MAX は 14.0V です。出力電圧を低電圧レンジに設定した場合 (MFR\_PWM\_CONFIG\_LTC3886 のビット 6 を 1 に設定) の MFR\_VOUT\_MAX は 7.0V 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。さらに、STATUS\_VOUT コマンドのビット 3 VOUT\_MAX\_Warning もセットされます。

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

## 出力電流と制限値

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	EEPROM	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_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
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

**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 ~ 32767 • 10<sup>-6</sup> 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、MFR\_READ\_IIN\_CHAN、IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT、および IOUT\_OC\_WARN\_LIMIT。



## PMBus コマンドの詳細

### 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_LTC3886 [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	
37.5mV/IOUT_CAL_GAIN	高電流レンジ(公称ループ利得) MFR_PWM_MODE_LTC3886 [7]=1
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	

注記：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。

$$\text{ピーク電流リミット} = \text{IOUT\_CAL\_GAIN} \cdot (1 + \text{MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TC} \cdot (\text{READ\_TEMPERATURE}_1 - 27.0))$$

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\_LTC3886 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。

IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT を超えると、デバイスは以下のように動作します。

- STATUS\_WORD の IOUT ビットをセットする。
- STATUS\_IOUT 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、 $\overline{\text{ALERT}}$  をアサートしてホストに通知する。

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、ADCによって測定され、出力過電流警告を引き起こす出力電流の値を 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。

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。

### 入力電流と制限値

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	データ形式	単位	EEPROM	デフォルト 値
MFR_IIN_CAL_GAIN	0xE8	入力電流検出素子の抵抗値 (mΩ)。	R/W Word	L11	mΩ	Y	5.000 0xCA80

### MFR\_IIN\_CAL\_GAIN

IOUT\_CAL\_GAIN コマンドは、入力電流検出抵抗の抵抗値を mΩ 単位で設定します。(READ\_IIN 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。

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	EEPROM	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、ADCによって測定され、入力過電流警告を引き起こす入力電流の値を 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 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。
- STATUS\_INPUT コマンドの IIN 過電流警告ビット [1] をセットする。
- $\overline{\text{ALERT}}$  ピンをアサートしてホストに通知する。

このコマンドは、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

### 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	EEPROM	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	1.0 0x4000
MFR_TEMP_1_OFFSET	0xF9	外付け温度センサのオフセットを設定する。	R/W Word	Y	L11	C	Y	0.0 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。実効的な利得の補正値は  $N \cdot 2^{-14}$  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。

### 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	EEPROM	デフォルト値
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
OT_WARN_LIMIT	0x51	外部過熱警告制限値。	R/W Word	Y	L11	C	Y	85.0 0xEAA8
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

#### **OT\_FAULT\_LIMIT**

OT\_FAULT\_LIMIT コマンドは、ADCによって測定され、過熱フォルトを引き起こす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、ADCによって測定され、過熱警告を引き起こす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。

## PMBus コマンドの詳細

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、ADC によって測定され、低温フォルトを引き起こす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。

このコマンドは、Linear\_5s\_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

## 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	EEPROM	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。TON\_DELAY = 0 の場合に得られる標準のターンオン遅延は 270µs であり、TON\_DELAY の全ての値に対して ±50µs の不確かさが存在します。

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。

### 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 未満の場合、LTC3886 のデジタル・スロープ制御はバイパスされ、出力電圧の遷移は、PWM スイッチャのアナログ性能のみによって制御されます。TON\_RISE の期間に現れるステップの数は、TON\_RISE (ms 単位) / 0.1ms で表されます。これには、不確かさ ±0.1ms が含まれます。

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。

## PMBus コマンドの詳細

### TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT

TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT コマンドは、出力が低電圧フォルト・リミットまたは過電流フォルト・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。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。

### 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	EEPROM	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。TOFF\_DELAY = 0 の場合に得られる標準のターンオフ遅延は 270 $\mu$ s であり、TOFF\_DELAY の全ての値に対して  $\pm 50\mu$ s の不確かさが存在します。フォルト・イベントが発生した場合、TOFF\_DELAY は適用されません。

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<sub>OUT</sub> DAC のランプ時間です。V<sub>OUT</sub> DAC がゼロの場合、PWM 出力は高インピーダンス状態に設定されます。

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。TOFF\_FALL の期間に現れるステップの数は、TOFF\_FALL (ms 単位) / 0.1ms で表されます。これには、不確かさ  $\pm 0.1$ ms が含まれます。

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引き抜かず、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。



## PMBus コマンドの詳細

### 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<sub>OUT</sub> 電圧が、プログラムされた VOUT\_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。

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	EEPROM	デフォルト値
MFR_RESTART_DELAY	0xDC	LTC3886 が RUN ピンを "L" に保持する最小時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	500 0xFBE8

### 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。

注記：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\_LTC3886 の出力減衰ビット 0 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	EEPROM	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、その時間間隔を 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。

注記：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\_LTC3886 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。

## PMBus コマンドの詳細

### 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	EEPROM	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 11 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。
- 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	EEPROM	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 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 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。

## PMBus コマンドの詳細

このコマンドは、以下に示す値のみを認識します。

0x00 - デバイスはOVのプルダウンのみ、つまりOV\_PULLDOWNのみを実行します。

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。(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。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

表 7. 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、LTC3886 は以下のように動作します。 <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul> 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"> <li>デバイスがCLEAR_FAULTSコマンドを受信した場合。</li> <li>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。</li> <li>LTC3886へのバイアス電源が遮断された後、再び印加された場合。</li> </ul>	00	デバイスはOVプルダウンのみ、つまりOV_PULLDOWNのみを実行する(すなわち、 $V_{\text{OUT}} > V_{\text{OUT\_OV\_FAULT}}$ 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	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	000-111	10 $\mu\text{s}$ 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\_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。

## PMBus コマンドの詳細

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。

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 8. 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、LTC3886は以下のように動作します。 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 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。</li> <li>• 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。</li> </ul> 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"> <li>• デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受信した場合。</li> <li>• 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。</li> <li>• デバイスが RESTORE_USER_ALL コマンドを受け取る。</li> <li>• デバイスが MFR_RESET コマンドを受け取る。</li> <li>• デバイスの電源が入れ直される</li> </ul>	00	PMBus デバイスは中断せずに動作を続ける。(フォルト機能を見逃す)
		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	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 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	000-111	10 $\mu$ 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。

## PMBus コマンドの詳細

### 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 11 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、 $\overline{\text{ALERT}}$  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。

### 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	EEPROM	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 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\_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。



## PMBus コマンドの詳細

表 9. 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、LTC3886は以下のように動作します。 <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul> 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"> <li>デバイスがCLEAR_FAULTSコマンドを受信した場合。</li> <li>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。</li> <li>デバイスがRESTORE_USER_ALLコマンドを受け取る。</li> <li>デバイスがMFR_RESETコマンドを受け取る。</li> <li>デバイスの電源が入れ直される</li> </ul>	00	LTC3886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	LTC3886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。
5:3	リトライ設定	000	デバイスは再起動を試みない。RUN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	000-111	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応答に対してのみ有効。

## 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	EEPROM	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 10 に示した形式です。

また、LTC3886は次のように動作します。

- 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。

## PMBus コマンドの詳細

表 10. 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、LTC3886は以下のように動作します。 <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>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。</li> </ul> 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"> <li>デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受信した場合。</li> <li>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。</li> <li>LTC3886 へのバイアス電源が遮断された後、再び印加された場合。</li> </ul>	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	EEPROM	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

## 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 11 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、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。

## 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 11 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、ALERT ピンをアサートしてホストに通知する。

## PMBus コマンドの詳細

この状態は ADC によって検出するため、最大 100ms 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 11. 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、LTC3886 は以下のように動作します。 <ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> <li>マスクされていない限り、<math>\overline{\text{ALERT}}</math> ピンをアサートしてホストに通知する。</li> </ul> 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"> <li>デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受信した場合。</li> <li>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。</li> <li>デバイスが RESTORE_USER_ALL コマンドを受け取る。</li> <li>デバイスが MFR_RESET コマンドを受け取る。</li> <li>デバイスの電源が入れ直される</li> </ul>	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	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 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。

## 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	EEPROM	デフォルト値
MFR_FAULT_PROPAGATE_LTC3886	0xD2	どのフォルトを FAULT ピンに伝播するかを決める構成。	R/W Word	Y	Reg		Y	0x6993

### MFR\_FAULT\_PROPAGATE\_LTC3886

MFR\_FAULT\_PROPAGATE\_LTC3886 コマンドは、 $\overline{\text{FAULT}}_n$  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 12 に示した形式です。フォルトは、そのフォルトに回答するように設定された  $\overline{\text{FAULT}}_n$  ピンにのみ伝播されます。

このコマンドは 2 バイトのデータを伴います。

## PMBus コマンドの詳細

表 12. FAULT<sub>n</sub> 伝搬フォルトの構成

FAULT0ピンおよびFAULT1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	記号	動作
B[15]	VOUT disabled while not decayed.	このビットはMFR_CHAN_CONFIG_LTC3886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FAULTピンがアサートされる。
B[14]	Mfr_FAULT_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_FAULT_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。FAULT0は、ページ0のTON_MAX_FAULTフォルトに関連付けられる。FAULT1は、ページ1のTON_MAX_FAULTフォルトに関連付けられる。
b[12]	予備	0とする必要がある。
b[11]	Mfr_FAULT0_propagate_int_ot、 Mfr_FAULT1_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]	予備	0とする必要がある。
b[9]	予備	0とする必要がある。
b[8]	Mfr_FAULT0_propagate_ut、 Mfr_FAULT1_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。FAULT0は、ページ0のUTフォルトに関連付けられる。FAULT1は、ページ1のUTフォルトに関連付けられる。
b[7]	Mfr_FAULT0_propagate_ot、 Mfr_FAULT1_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。FAULT0は、ページ0のOTフォルトに関連付けられる。FAULT1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_FAULT0_propagate_input_ov、 Mfr_FAULT1_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_FAULT0_propagate_iout_oc、 Mfr_FAULT1_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。FAULT0は、ページ0のOCフォルトに関連付けられる。FAULT1は、ページ1のOCフォルトに関連付けられる。
b[1]	Mfr_FAULT0_propagate_vout_uv、 Mfr_FAULT1_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。FAULT0は、ページ0のUVフォルトに関連付けられる。FAULT1は、ページ1のUVフォルトに関連付けられる。
b[0]	Mfr_FAULT0_propagate_vout_ov、 Mfr_FAULT1_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。FAULT0は、ページ0のOVフォルトに関連付けられる。FAULT1は、ページ1のOVフォルトに関連付けられる。

## PMBus コマンドの詳細

### 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	EEPROM	デフォルト値
MFR_FAULT_RESPONSE	0xD5	FAULTピンが“L”にアサートされたときのデバイスの動作。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xC0

### MFR\_FAULT\_RESPONSE

MFR\_FAULT\_RESPONSE コマンドは、外部の原因で  $\overline{\text{FAULT}}_n$  ピンが“L”になった場合の応答としてデバイスが実行する動作を指示します。

### サポートされている値:

値	意味
0xC0	FAULT_INHIBIT。LTC3886 は $\overline{\text{FAULT}}_n$ 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	FAULT_IGNORE。LTC3886 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\_WORD の MFR ビットを設定する
- STATUS\_MFR\_SPECIFIC コマンドのビット 0 を設定して、 $\overline{\text{FAULT}}_n$  が“L”に引き下げられていることを示す
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$  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。

### 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	EEPROM	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 EEPROM ワード。	R/W Word	Y	Reg		Y	0x0000
USER_DATA_04	0xB4	ユーザーが使用可能な EEPROM 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。



## PMBus コマンドの詳細

## 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	EEPROM	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		FS	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			0xB0
MFR_ID	0x99	LTC3886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			LTC3886
MFR_SPECIAL_ID	0xE7	LTC3886を表すメーカーコード。	R Word	N	Reg			0x460X

**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。LTC3886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。

LTC3886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、LTC3886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。

**MFR\_MODEL**

MFR\_MODEL コマンドは、LTC3886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\_SPECIAL\_ID**

デバイスの名称とリビジョンを表す、16ビットのワードです。0x46はデバイスがLTC3886であることを意味し、XX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。

## PMBus コマンドの詳細

### 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	EEPROM	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	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10 $\mu$ s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。

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。

#### 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ALERTをアサートしないようにすることができます。

## PMBus コマンドの詳細

図47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48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\_LTC3886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。

### SMBALERT\_MASKのデフォルト設定:(表2も参照)

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

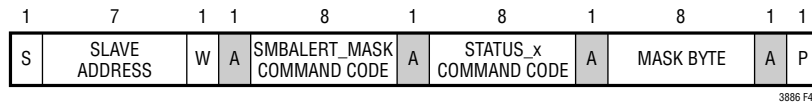


図47. SMBALERT\_MASKの設定例

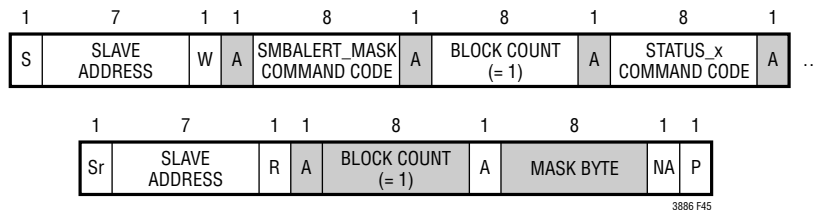


図48. SMBALERT\_MASKの読み出し例

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(FAULTが外部デバイスによって“L”に引き下げられる)

### 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。MFR\_RESET コマンドは、MFR\_\*\_PEAK データ値もクリアします。

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。

### STATUS\_BYTE

STATUS\_BYTE コマンドは、最も重大なフォルトを要約した、1バイトの情報を返します。このバイトは、ステータス・ワードの下位バイトです。

## PMBus コマンドの詳細

### 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	LTC3886 が応答できないので、フォルトが宣言された。
6	OFF	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(LTC3886 は 0 を返す)。
2	TEMPERATURE	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。

\* これらのビット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\_BYTE 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\_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	INPUT	入力電圧フォルトまたは警告が生じている。
12	MFR_SPECIFIC	LTC3886 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(LTC3886 は 0 を返す)。
9	OTHER	サポートされていない(LTC3886 は 0 を返す)。
8	UNKNOWN	サポートされていない(LTC3886 は 0 を返す)。

上位バイトのいずれかのビットがセットされると、NONE\_OF\_THE\_ABOVE がアサートされます。

このコマンドは 2 バイトのデータを伴います。

### STATUS\_VOUT

STATUS\_VOUT コマンドは、1 バイトの V<sub>OUT</sub> 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 <sub>OUT</sub> の過電圧フォルト。
6	V <sub>OUT</sub> の過電圧警告。
5	V <sub>OUT</sub> の低電圧警告。
4	V <sub>OUT</sub> の低電圧フォルト。
3	V <sub>OUT</sub> の最大値警告。
2	TON の最大値フォルト。
1	TOFF の最大値フォルト。
0	サポートされていない(LTC3886 は 0 を返す)。

## PMBus コマンドの詳細

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。

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。

### STATUS\_IOUT

STATUS\_IOUT コマンドは、1バイトの I<sub>OUT</sub> 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 <sub>OUT</sub> の過電流フォルト。
6	サポートされていない(LTC3886は0を返す)。
5	I <sub>OUT</sub> の過電流警告。
4:0	サポートされていない(LTC3886は0を返す)。

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。

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。

### STATUS\_INPUT

STATUS\_INPUT コマンドは、1バイトの V<sub>IN</sub> (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 <sub>IN</sub> の過電圧フォルト。
6	サポートされていない(LTC3886は0を返す)。
5	V <sub>IN</sub> の低電圧警告。
4	サポートされていない(LTC3886は0を返す)。
3	V <sub>IN</sub> 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(LTC3886は0を返す)。
1	I <sub>IN</sub> の過電流警告
0	サポートされていない(LTC3886は0を返す)。

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。

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。このコマンドのビット3はラッチされず、セットされたとしても  $\overline{\text{ALERT}}$  を発生しません。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

### STATUS\_TEMPERATURE

STATUS\_TEMPERATURE コマンドは、温度のステータス情報を1バイトで返します。このコマンドはページ指定され、対応する READ\_TEMPERATURE\_1 の値に関連付けられます。

#### 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(LTC3886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(LTC3886は0を返す)。

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。

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(LTC3886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。

このコマンドのビット3またはビット4のいずれかがセットされた場合、内部で重大なエラーが検出されたことを意味します。これらのビットが継続してセットされる場合は、デバイスの動作を継続することを推奨できません。

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。

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 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。

## PMBus コマンドの詳細

### 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。

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	工場出荷時のトリム領域、EEPROMの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 <sub>DD33</sub> のUVまたはOVフォルト
0	外部デバイスによってFAULTピンが“L”にアサートされた。

これらのうちのいずれかのビットを設定した場合は、STATUS\_WORDのMFRビットが設定され、 $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートできます。

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。ただし、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 <sub>DD33</sub> OVフォルト
14	V <sub>DD33</sub> 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。通常動作時に電流測定チャンネルで短時間発生する場合がある。
10	外部デバイスからSYNCにクロックが供給される(SYNCピンを駆動するようにLTC3886が構成された場合)。
9	チャンネル1のパワーグッド。
8	チャンネル0のパワーグッド。
7	LTC3886がRUN1を“L”に駆動中。
6	LTC3886がRUN0を“L”に駆動中。
5	RUN1ピンの状態。
4	RUN0ピンの状態。
3	LTC3886が $\overline{\text{FAULT1}}$ を“L”に駆動中。
2	LTC3886が $\overline{\text{FAULT0}}$ を“L”に駆動中。
1	FAULT1ピンの状態。
0	FAULT0ピンの状態。

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。

## PMBus コマンドの詳細

### 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	チップはALERTを“L”に駆動していない。
6	LTC3886はBUSYではない。
5	計算が保留中でない。
4	LTC3886の出力は遷移中ではない。
3	EEPROMが初期化されている。
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。

### 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	EEPROM	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_IIN	0x89	入力電源電流の測定値。	R Word	N	L11	A		NA
READ_VOUT	0x8B	出力電圧の測定値。	R Word	Y	L16	V		NA
READ_IOUT	0x8C	出力電流の測定値。	R Word	Y	L11	A		NA
READ_TEMPERATURE_1	0x8D	外付けダイオードの接合部温度。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	内部接合部温度。他のいずれのコマンドにも影響を与えない。	R Word	N	L11	C		NA
READ_FREQUENCY	0x95	PWM スイッチング周波数の測定値。	R Word	Y	L11	kHz		NA
READ_POUT	0x96	出力電力の計算値。	R Word	Y	L11	W		NA
READ_PIN	0x97	入力電力の計算値。	R Word	N	L11	W		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_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_READ_IIN_PEAK	0xE1	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降に測定されたREAD_IINコマンドの最大値。	R Word	N	L11	A		NA
MFR_READ_ICHIP	0xE4	LTC3886の消費電流の測定値。	R Word	N	L11	A		NA
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

## PMBus コマンドの詳細

### **READ\_VIN**

READ\_VIN コマンドは、READ\_ICHIP・MFR\_RVIN に加算する  $V_{IN}$  ピン電圧の測定値を V 単位で返します。これによって、 $V_{IN}$  フィルタ素子の両端に LTC3886 の電源電流によって発生する IR 電圧降下を補償します。

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、入力電流検出抵抗の両端で測定される入力電流を A 単位で返します (MFR\_IIN\_CAL\_GAIN も参照してください)。

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\_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) ISENSE 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 ( $^{\circ}\text{C}$ ) 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 LTC3886 のダイ温度を  $^{\circ}\text{C}$  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\_FREQUENCY**

READ\_FREQUENCY コマンドは、PWM スイッチング周波数の読み出し値を kHz 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

### READ\_PIN

READ\_PIN コマンドは、DC/DC コンバータの入力電力の読み出し値を W 単位で返します。PIN は、最新の入力電圧と電流読み出し値に基づいて計算されます。

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)。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イスエーブルされ、電圧のサーボ制御はデイ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。

コマンド値	テレメトリ・コマンド名	説明
0x0F		予備
0x0E		予備
0x0D		予備
0x0C	READ_TEMPERATURE_1	チャンネル1の外部温度
0x0B		予備
0x0A	READ_IOUT	チャンネル1で測定された出力電流
0x09	READ_VOUT	チャンネル1で測定された出力電圧
0x08	READ_TEMPERATURE_1	チャンネル0の外部温度
0x07		予備
0x06	READ_IOUT	チャンネル0で測定された出力電流
0x05	READ_VOUT	チャンネル0で測定された出力電圧
0x04	READ_TEMPERATURE_2	内部接合部温度
0x03	READ_IIN	入力電源電流の測定値
0x02	MFR_READ_ICHIP	LTC3886の電源電流の測定値
0x01	READ_VIN	入力電源電圧の測定値
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、テレメトリはデフォルトで内部デバイス温度に設定され、CML フォルトが発行されます。CML フォルトは、有効なコマンド値が入力されるまで、LTC3886 によって継続的に発行されます。測定される入力電源電圧の精度は、MFR\_ADC\_CONTROL コマンドが標準ラウンド・ロビン・テレメトリに設定された場合のみ保証されます。この書き込み専用コマンドは、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

### 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。

### 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\_READ\_IIN\_PEAK

MFR\_READ\_IIN\_PEAK コマンドは、READ\_IIN 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\_READ\_ICHIP

MFR\_READ\_ICHIP コマンドは、LTC3886 が消費する入力電流の測定値を A 単位で返します。

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。

### 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。

## 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	EEPROM	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 EEPROM と比較する。	Send Byte	N				NA

3886f

## PMBus コマンドの詳細

### 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 EEPROM メモリ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、または 0°C を下回る場合は、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。

LTC3886 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、MFR\_EE\_UNLOCK に 0x2B、続いて 0xC4 を書き込みます。これによって、LTC3886 が正常に通信し、プロジェクト・ファイルを更新できます。更新されたプロジェクト・ファイルを書き込むには、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、PMBus デバイスに、不揮発性ユーザー NVM メモリの内容を、動作メモリの対応する位置にコピーするように指示します。動作メモリの値は、ユーザー・コマンドによって取得される値で上書きされます。LTC3886 は、両方のチャンネルがオフであることを確認し、動作メモリを内部 EEPROM から読み込み、全てのフォルトをクリアし、抵抗構成ピンを読み取って、両方の PWM チャンネルのソフトスタートを実行します (該当する場合)。

STORE\_USER\_ALL、MFR\_COMPARE\_USER\_ALL、RESTORE\_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。

### 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 フォルトが生成されます。

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。

## 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	EEPROM	デフォルト値
MFR_FAULT_LOG	0xEE	フォルト・ログのデータ・バイト。	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

### 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 13 に、このコマンドの長さとお内容の一覧を示します。ユーザーが MFR\_

## PMBus コマンドの詳細

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、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。

注記: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。MFR\_CONFIG\_ALL\_LTC3886 コマンドのビット7「フォルト・ログをイネーブル」がセットされている場合、このコマンドは、STATUS\_MFR\_SPECIFIC フォルトのビット3をセットします。

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。

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 13. 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		バイト	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 13a 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	
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	

## PMBus コマンドの詳細

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 LTC3886 のダイ温度センサ。
	[7:0]		26	

## 巡回データ

<b>EVENT n</b> (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)		バイト	39	
STATUS_VOUT (PAGE 1)		バイト	40	
STATUS_WORD (PAGE 0)	[15:8]	WORD	41	
	[7:0]	WORD	42	
STATUS_WORD (PAGE 1)	[15:8]	WORD	43	
	[7:0]	WORD	44	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 0)		バイト	45	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 1)		バイト	46	
<b>イベント n-1</b> (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	

## PMBus コマンドの詳細

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)		バイト	59	
STATUS_VOUT (PAGE 1)		バイト	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)		バイト	65	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 1)		バイト	66	
*				
*				
*				
<b>イベント n-5</b>				
<b>(記録された最も古いデータ)</b>				
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	
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)		バイト	139	
STATUS_VOUT (PAGE 1)		バイト	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)		バイト	145	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 1)		バイト	146	



## PMBus コマンドの詳細

表 13a. 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	TEMP_OT_FAULT チャンネル0
0x06	TEMP_UT_FAULT チャンネル0
0x07	VIN_OV_FAULT
0x0A	MFR_TEMPERATURE_2_OT_FAULT
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
0x1A	MFR_TEMPERATURE_2_OT_FAULT

### 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	EEPROM	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

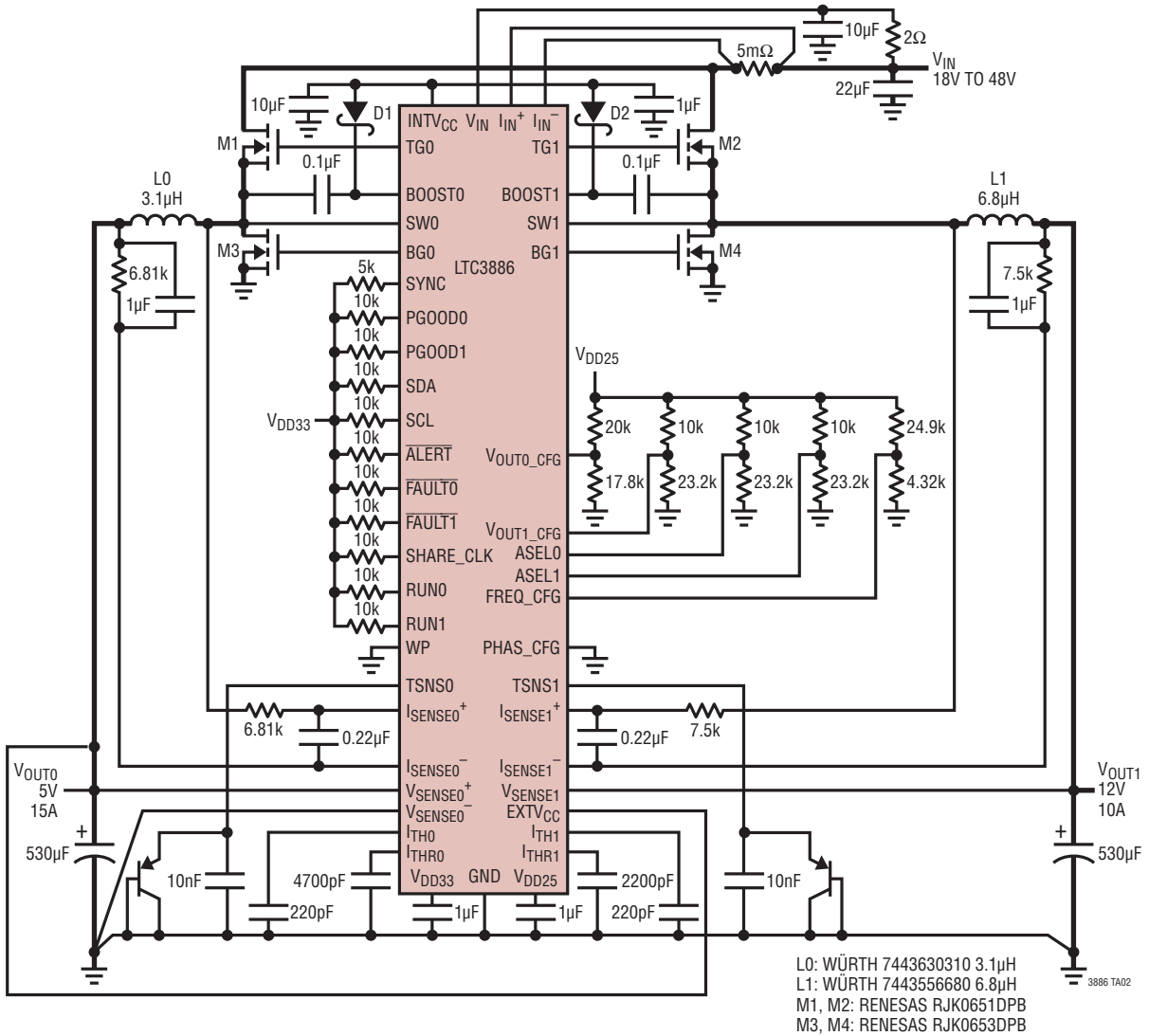
全ての EEPROM コマンドは、ダイ温度が 130°C を超えるとディスエーブルされ、ダイ温度が 125°C を下回ると再度イネーブルされます。

### MFR\_EE\_xxxx

MFR\_EE\_xxxx コマンドは、LTC3886 の内部 EEPROM の大量のプログラミングを促進します。詳細については、弊社にご連絡ください。

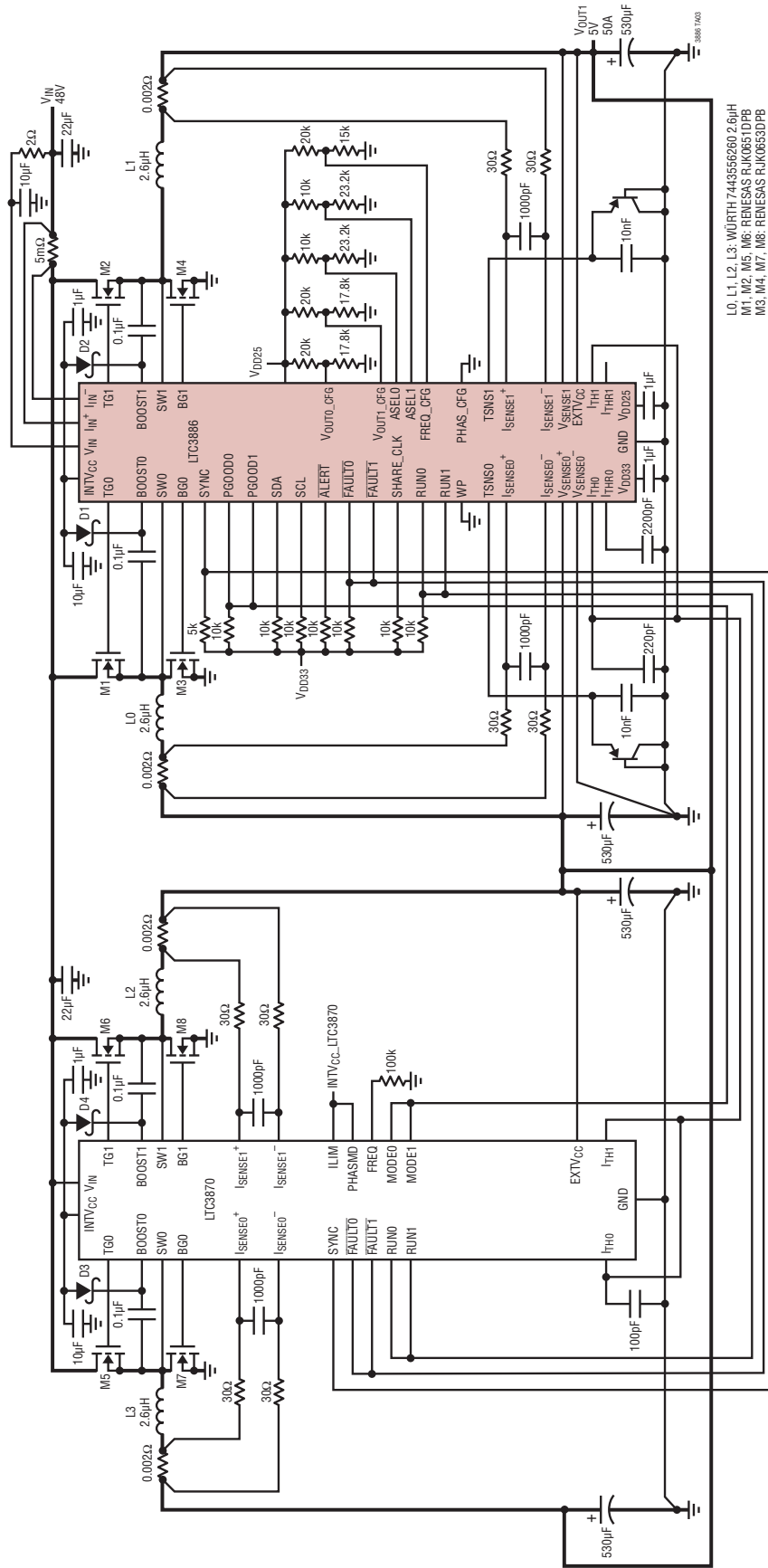
## 標準的応用例

高効率 150kHz/5V および 12V 降圧コンバータ (DCR 検出)



標準的応用例

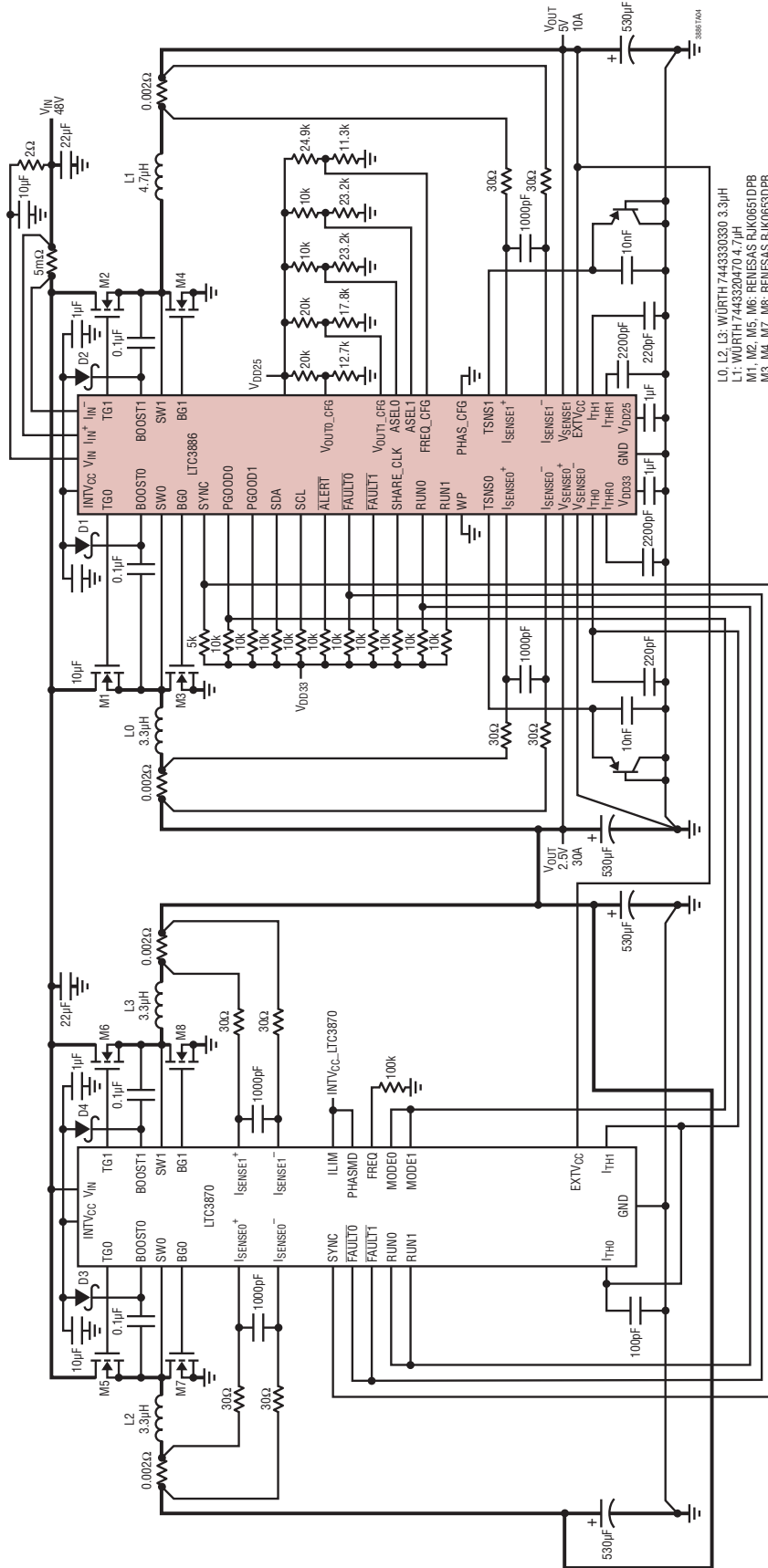
高効率425kHz、4フェーズ、5V降圧コンバータ



L0, L1, L2, L3: WURTH 744355260 2.6µH  
 M1, M2, M5, M6: RENESAS RJK0651DPB  
 M3, M4, M7, M8: RENESAS RJK0653DPB

## 標準的応用例

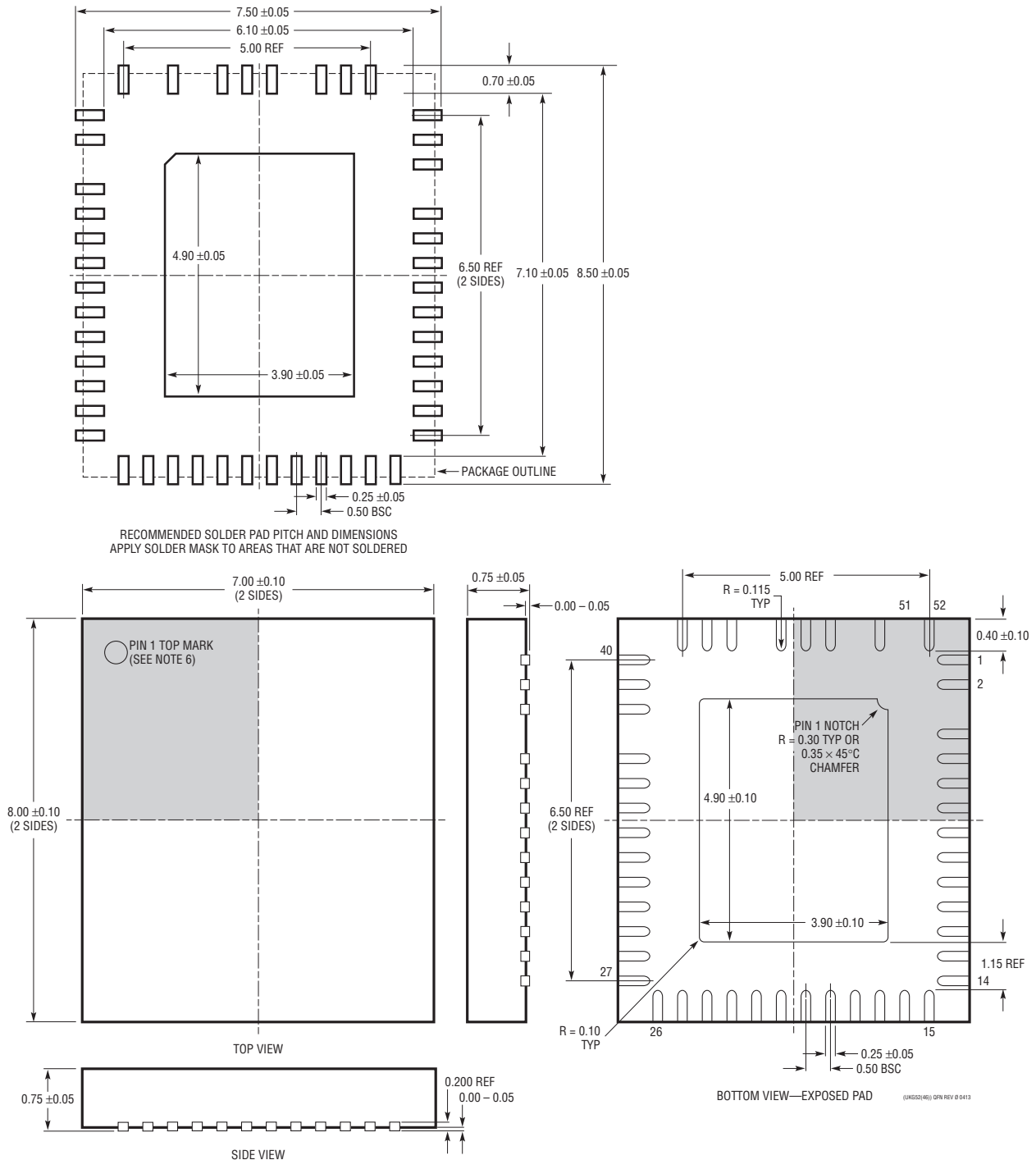
高効率 250kHz/3相 / 2.5V および 1相 / 5V 降圧コンバータ (検出抵抗付き)



# パッケージ寸法

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。

**UKG Package**  
**Variation: UKG52(46)**  
**52-Lead Plastic QFN (7mm × 8mm)**  
 (Reference LTC DWG # 05-08-1947 Rev 0)

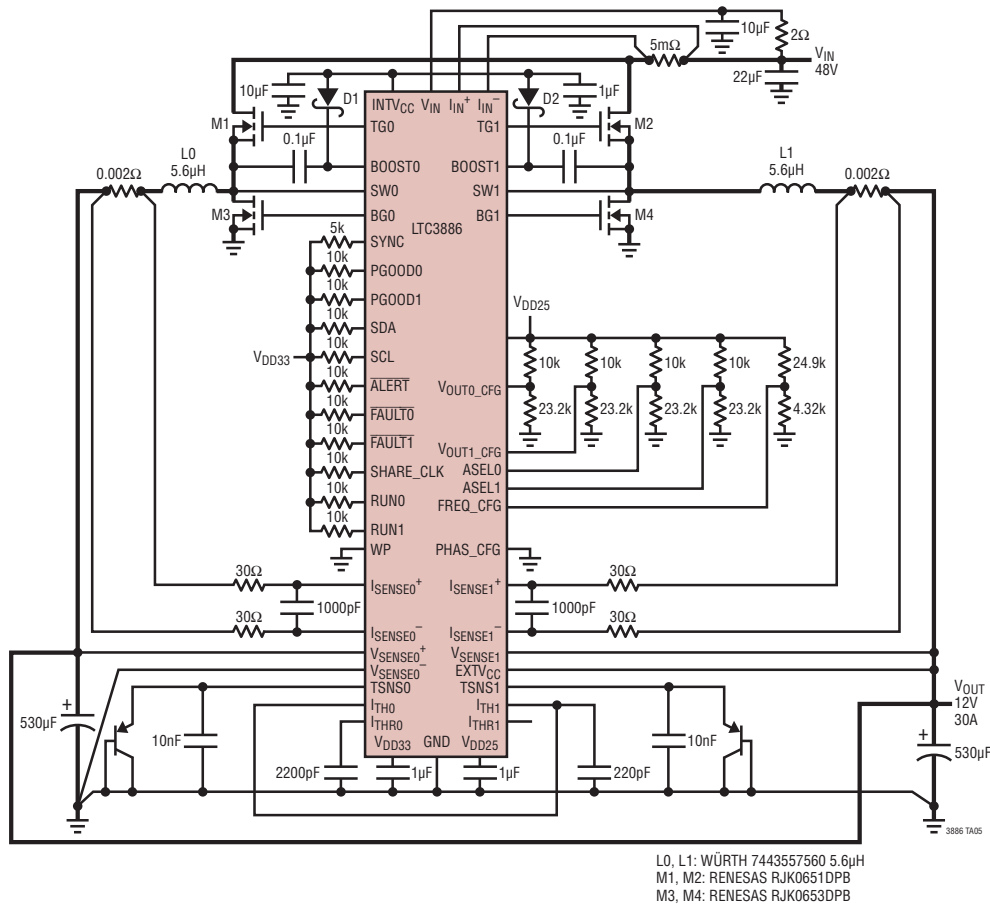


- 注記:
1. 図は JEDEC のパッケージ外形ではない
  2. 図は寸寸とは異なる
  3. 全ての寸法はミリメートル
  4. パッケージ底面の露出パッドの寸法にはモールドのバリを含まない  
モールドのバリは(もしあれば)各サイドで0.20mmを超えないこと
  5. 露出パッドは半田メッキとする
  6. 灰色の部分はパッケージの上面と底面のピン1の位置の参考に過ぎない



## 標準的応用例

高効率 150kHz/2 相 /12V 降圧コンバータ (検出抵抗付き)



## 関連製品

製品番号	説明	注釈
LTC3870	デジタル・パワー・システム・マネージメント機能付き、PolyPhase 拡張器降圧コントローラ	V <sub>IN</sub> : 最大 60V、0.5V ≤ V <sub>OUT</sub> ≤ 14V、極めて高い出力電流、高精度の電流分担、電流モード・アプリケーション
LTM4676A	デジタル・パワー・マネージメント機能を備えたデュアル 13A/シングル 26A 降圧 DC/DC μModule レギュレータ	V <sub>IN</sub> : 最大 26.5V、0.5V ≤ V <sub>OUT</sub> (±0.5%) ≤ 5.4V、ADC による I <sub>OUT</sub> の読み取り精度: ±2%、フォルト・ログ機能、I <sup>2</sup> C/PMBus インタフェース、16mm×16mm×5.01mm BGA パッケージ
LTC3887	デジタル・パワーシステム・マネージメント搭載、デュアル出力、マルチフェーズ降圧 DC/DC コントローラ、起動時間: 70ms	V <sub>IN</sub> : 最大 24V、0.5V ≤ V <sub>OUT0,1</sub> ≤ 5.5V、起動時間: 70ms、アナログ制御ループ、EEPROM および 16ビット ADC との I <sup>2</sup> C/PMBus インタフェース
LTC3883/ LTC3883-1	デジタル・パワーシステム・マネージメント機能を備えた単相降圧 DC/DC コントローラ	V <sub>IN</sub> : 最大 24V、0.5V ≤ V <sub>OUT</sub> ≤ 5.5V、入力電流検出アンプ、EEPROM および 16ビット ADC との I <sup>2</sup> 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マルチフェーズ降圧 DC/DC 電圧モード・コントローラ	V <sub>IN</sub> : 最大 38V、0.5V ≤ V <sub>OUT1,2</sub> ≤ 5.25V、V <sub>OUT</sub> の精度: ±0.5%、入力電流検出アンプ、EEPROM および 16ビット ADC との I <sup>2</sup> C/PMBus インタフェース
LTC3892/ LTC3892-1	低静止電流の 60V デュアル 2 相同期整流式降圧 DC/DC コントローラ	V <sub>IN</sub> : 最大 60V、0.8V ≤ V <sub>OUT</sub> ≤ 99%・V <sub>IN</sub> 、静止電流: 29μA、調整可能なゲート駆動電圧
LTC2977	正確な出力電圧測定を特長とする 8 チャンネル PMBus パワーシステム・マネージャ	8 つの電源のシーケンス制御および監視電源を 0.25% の精度でマージニングおよび調整

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。

3886f