

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

## 特長

- PMBus/I<sup>2</sup>C 準拠のシリアル・インターフェース
  - 遠隔測定読出しの対象: V<sub>IN</sub>、I<sub>IN</sub>、V<sub>OUT</sub>、I<sub>OUT</sub>、温度、障害
  - プログラム可能な電圧、電流制限、デジタル・ソフトスタート/ストップ、シーケンス制御、マージン制御、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 および 12ビット DAC 内蔵
- ハイサイド電流検出アンプ内蔵
- ECC 機能と障害ログ機能を備えた EEPROM 内蔵
- Nチャンネル MOSFET ゲート・ドライバ内蔵

## 電力変換

- 広い入力電圧範囲: 5V~60V
- V<sub>OUT0</sub>、V<sub>OUT1</sub> の範囲: 1V~40V
- アナログ電流モード制御
- 最大6相 (85kHz~500kHz) に及ぶ高精度 PolyPhase<sup>®</sup> 電流分担
- 52ピン (7mm × 8mm) 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
- 産業用機器アプリケーションやポイント・オブ・ロード・アプリケーション

## 概要

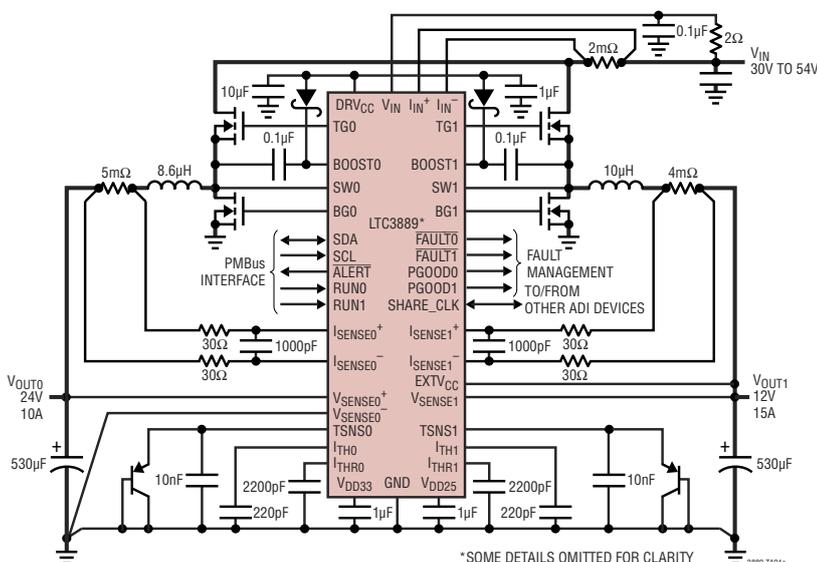
LTC<sup>®</sup>3889は、I<sup>2</sup>C ベースの PMBus 準拠のシリアル・インターフェースを備えたデュアル PolyPhase DC/DC 同期整流式降圧スイッチング・レギュレータ・コントローラです。このコントローラは固定周波数の電流モード・アーキテクチャを採用しており、高電圧の入力および出力に対応しているのに加えて、ループ補償をプログラムできます。LTC3889は、グラフィカル・ユーザ・インターフェース (GUI) を備えたソフトウェア開発ツール LTpowerPlay<sup>™</sup> によってサポートされています。

EXTV<sub>CC</sub> ピンは最大 14V の電圧をサポートしているため、回路効率やダイ温度の最適化が可能であり、コントローラ出力がチップ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・インターフェースだけでなく、外付けの設定抵抗によってもプログラムできます。パラメータはデジタル・インターフェースを介して設定することも、EEPROM に格納することもできます。両出力のパワーグッド・インジケータおよび FAULT 機能は独立しています。

LTC3889は、不連続 (パルススキップ) モードまたは連続インダクタ電流モードに合わせて設定できます。

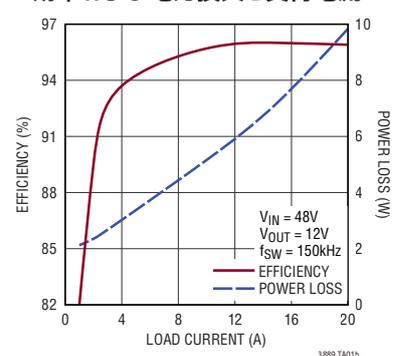
全ての登録商標および商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。5481178、5705919、5929620、6100678、6144194、6177787、5408150、6580258、6304066、7420359、8786268 を含む米国特許、出願中の特許によって保護されています。米国特許 7000125 およびその他の関連特許の使用許可を世界中で受けています。

## 標準的応用例



	V <sub>IN</sub> の範囲 (V)	V <sub>OUT</sub> の範囲 (V)	ゲート駆動電圧 (V)	LTC3870 互換	T <sub>ON_MIN</sub> (ns)
LTC3889	5 to 60	1~40	6.3~9	No	45
LTC3886	4.5 to 60	0.5~13.8	5	Yes	90

効率および電力損失と負荷電流



## 目次

特長 .....	1	V <sub>OUT</sub> とI <sub>OUT</sub> の障害に対する応答 .....	27
アプリケーション .....	1	出力過電圧障害の応答 .....	27
標準的応用例 .....	1	出力低電圧の応答 .....	27
概要 .....	1	ピーク出力過電流障害の応答 .....	28
目次 .....	2	タイミング障害に対する応答 .....	28
絶対最大定格 .....	4	V <sub>IN</sub> のOV障害に対する応答 .....	28
発注情報 .....	4	OT/UT障害に対する応答 .....	28
ピン配置 .....	4	内部過熱障害／警告の応答 .....	28
電気的特性 .....	5	外部過熱障害および低温障害の応答 .....	29
代表的な性能特性 .....	10	外部障害に対する反応 .....	29
ピン機能 .....	13	障害ログ .....	29
ブロック図 .....	15	バスのタイムアウト保護 .....	29
動作 .....	16	PMBus、SMBus、およびI <sup>2</sup> C 2線インターフェースの類似点 .....	30
概要 .....	16	PMBus シリアル・デジタル・インターフェース .....	30
メイン制御ループ .....	16	<b>PMBus コマンドの概要</b> .....	<b>35</b>
EEPROM .....	17	PMBus コマンド .....	35
CRC 保護 .....	17	<b>アプリケーション情報</b> .....	<b>40</b>
電源の投入と初期化 .....	18	電流制限のプログラミング .....	40
ソフトスタート .....	18	I <sub>SENSE</sub> <sup>+</sup> ピンとI <sub>SENSE</sub> <sup>-</sup> ピン .....	40
時間ベースのシーケンス制御 .....	19	値の小さな抵抗による電流検出 .....	41
イベントベースのシーケンス制御 .....	19	インダクタのDCRによる電流検出 .....	42
シャットダウン .....	19	スロープ補償とインダクタのピーク電流 .....	43
軽負荷電流動作 .....	20	インダクタ値の計算 .....	43
PWMループ補償 .....	20	インダクタのコアの選択 .....	44
スイッチング周波数と位相 .....	20	パワー MOSFETとオプションの	
出力電圧の検出 .....	21	ショットキー・ダイオードの選択 .....	44
出力電流の検出 .....	21	C <sub>IN</sub> とC <sub>OUT</sub> の選択 .....	45
入力電流の検出 .....	21	可変遅延時間、ソフトスタート、	
PolyPhaseによる負荷分担 .....	22	および出力電圧の上昇 .....	45
外部温度／内部温度の検出 .....	22	デジタル・サーボ・モード .....	46
RCONFIG(抵抗設定)ピン .....	23	ソフトオフ(シーケンス制御によるオフ) .....	47
障害の処理 .....	23	DRV <sub>CC</sub> レギュレータ .....	48
ステータス・レジスタとALERTのマスキング .....	24	上側 MOSFETドライバの電源(C <sub>B</sub> 、D <sub>B</sub> ) .....	48
FAULTピンへの障害情報のマッピング .....	26	低電圧ロックアウト .....	49
パワーグッド・ピン .....	26	障害インジケータ .....	49
シリアル・インターフェース .....	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 .....	50
デバイスのアドレス指定 .....	26		

## 目次

最小オン時間に関する検討事項 .....	51	出力電流とリミット .....	80
外部温度の検出 .....	51	入力電流とリミット .....	82
EEPROM データ保持期間の温度での		温度 .....	83
ディレーティング .....	52	外部温度キャリブレーション .....	83
入力電流検出アンプ .....	53	タイミング .....	84
外付け抵抗設定ピン (RCONFIG) .....	53	タイミングーオン・シーケンス/ランプ .....	84
電圧の選択 .....	53	タイミング-オフ・シーケンス/ランプ .....	85
周波数の選択 .....	54	再起動の前提条件 .....	86
位相の選択 .....	55	障害応答 .....	87
RCONFIG を使用したアドレスの選択 .....	55	全障害に対する障害応答 .....	87
効率に関する検討事項 .....	55	入力電圧に対する障害応答 .....	87
プログラム可能なループ補償 .....	56	出力電圧に対する障害応答 .....	87
過渡応答のチェック .....	57	出力電流に対する障害応答 .....	91
PolyPhase 構成 .....	58	IC 温度に対する障害応答 .....	92
プリント回路基板レイアウトのチェックリスト .....	60	外部温度に対する障害応答 .....	93
プリント基板レイアウトのデバッグ .....	60	障害信号の共有 .....	94
設計例 .....	62	障害信号の共有と伝搬 .....	94
その他の設計チェック .....	63	障害共有信号の応答 .....	96
USB-I <sup>2</sup> C/SMBus/PMBus 間アダプタから		Scratchpad .....	96
システム内の LTC3889 への接続 .....	63	識別情報 .....	97
LTpowerPlay: デジタル電源用のインタラクティブ GUI .....	64	障害および警告のステータス .....	98
PMBus 通信とコマンド処理 .....	65	遠隔測定 .....	105
<b>PMBus コマンドの詳細 .....</b>	<b>67</b>	EEPROM メモリ・コマンド .....	109
アドレス指定と書き込み保護 .....	67	STORE/RESTORE .....	109
汎用設定コマンド .....	69	障害ログ .....	110
オン/オフ/マージン .....	70	障害ログの動作 .....	110
PWM 設定 .....	72	ブロック・メモリの書き込み/読出し .....	115
電圧 .....	76	<b>代表的なアプリケーション .....</b>	<b>116</b>
入力電圧とリミット .....	76	<b>パッケージ .....</b>	<b>119</b>
出力電圧とリミット .....	77	<b>代表的なアプリケーション .....</b>	<b>120</b>
		<b>関連製品 .....</b>	<b>120</b>

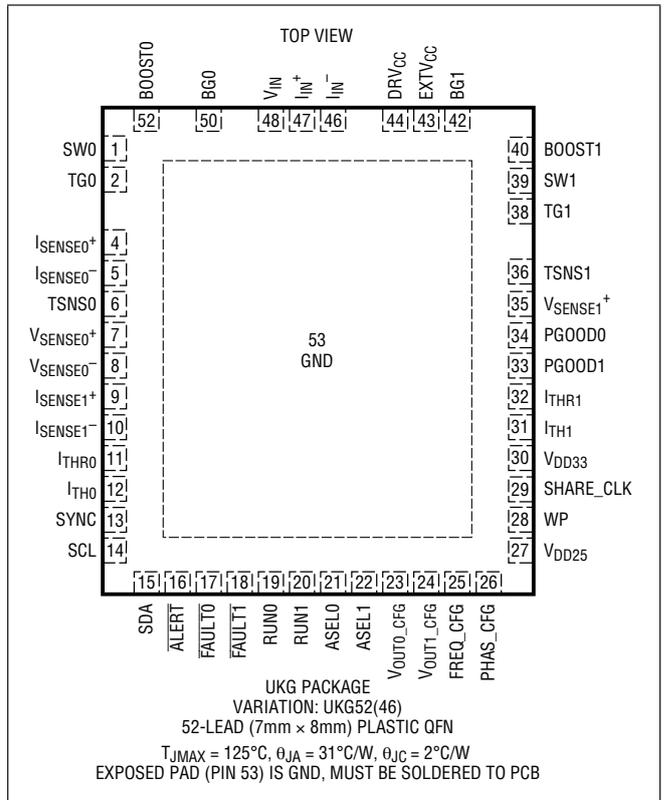
## 絶対最大定格

**(Note 1)**

$V_{IN}$ , $I_{IN}^+$ , $I_{IN}^-$ .....	-0.3V~65V
上側ゲートのトランジエント電圧 (TG0, TG1) ....	-0.3V~76V
BOOST0, BOOST1 .....	-0.3V~76V
スイッチのトランジエント電圧 (SW0, SW1) .....	-5V~65V
$DRV_{CC}$ , BG0, BG1, (BOOST0-SW0 間)、 (BOOST1-SW1 間) .....	-0.3V~11V
$V_{SENSE0}^+$ , $V_{SENSE1}^+$ , $I_{SENSE0}^+$ , $I_{SENSE1}^+$ , $I_{SENSE0}^-$ , $I_{SENSE1}^-$ .....	-0.3V~42V
$V_{SENSE0}^-$ .....	-0.3V~0.3V
$EXTV_{CC}$ .....	-0.3V~15V
( $EXTV_{CC} - V_{IN}$ 間) .....	13.2V
RUN, SDA, SCL, ALERT .....	-0.3V~5.5V
ASEL $n$ , $V_{OUTn\_CFG}$ , FREQ_CFG, PHAS_CFG, $V_{DD25}$ .....	-0.3V~2.75V
( $V_{IN} - I_{INP}$ 間), ( $V_{IN} - I_{INM}$ 間), ( $V_{SENSE0+} - I_{SENSE0+}$ 間), ( $V_{SENSE0+} - I_{SENSE0-}$ 間), ( $V_{SENSE1+} - I_{SENSE1+}$ 間), ( $V_{SENSE1+} - I_{SENSE1-}$ 間) .....	-0.3V~0.3V
PGOOD0, PGOOD1, FAULT, SHARE_CLK, $I_{TH0}$ , $I_{TH1}$ , $I_{THR0}$ , $I_{THR1}$ , $V_{DD33}$ , WP, TSNS0, TSNS1, SYNC .....	-0.3V~3.6V
$DRV_{CC}$ のピーク出力電流 .....	100mA
動作ジャンクション温度範囲 (Note 2) .....	-40°C~125°C*
保存温度範囲 .....	-65°C~150°C*

\* ジャンクション温度が125°Cを超える場合は、アプリケーション情報セクションのEEPROMデータ保持期間の温度でのデレーティングを参照してください。

## ピン配置



注記: 高い入力電圧定格を達成するため、ピンが数本省かれています。

## 発注情報

鉛フリー仕上げ	テープ&リール	製品マーキング*	パッケージ	温度範囲 (Note 2 参照)
LTC3889EUKG#PBF	LTC3889EUKG#TRPBF	LTC3889UKG	52-Lead (7mm x 8mm) Plastic QFN	-40°C to 125°C
LTC3889IUKG#PBF	LTC3889IUKG#TRPBF	LTC3889UKG	52-Lead (7mm x 8mm) Plastic QFN	-40°C to 125°C

更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。

テープ&リールの仕様を参照してください。一部のパッケージは、#TRMPBF 接尾部の付いた指定の販売経路を通じて 500 個入りのリールで供給可能です。

## 電気的特性

●は規定動作ジャンクション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)。特に指定のない限り、 $V_{IN} = 16\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{CC} = 0\text{V}$ 、 $V_{RUN0} = 1.8\text{V}$ 、 $V_{RUN1} = 1.8\text{V}$ 、 $f_{\text{SYNC}} = 250\text{kHz}$  (外部駆動)、プログラム可能な全てのパラメータは出荷時のデフォルト値。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
入力電圧						
$V_{IN}$	Input Voltage Range	(Note 12)	●	5	60	V
$I_Q$	Input Voltage Supply Current Normal Operation	(Note 14) $V_{\text{RUN}} = 3.3\text{V}$ , No Caps on TG and BG $V_{\text{RUN}} = 0\text{V}$		26 20		mA mA
$V_{\text{UVLO}}$	Undervoltage Lockout Threshold When $V_{IN} > 4.2\text{V}$	$V_{\text{DRVCC}}$ Falling $V_{\text{DRVCC}}$ Rising		3.7 3.95		V V
$T_{\text{INIT}}$	Initialization Time	Delay from RESTORE_USER_ALL, MFR_REST, or $V_{\text{DRVCC}} > V_{\text{UVLO}}$ Until TON_DELAY Can Begin		35		ms

## 制御ループ

$V_{\text{OUTRO}}$	Range 0 Maximum $V_{\text{OUT}}$ Range 0 Set Point Accuracy Range 0 Resolution Range 0 LSB Step Size, FSR = 41.48V	$6\text{V} \leq V_{\text{OUT}} \leq 38\text{V}$  (Notes 9, 10)	●	-0.5	40 12 10	0.5	V % Bits mV
$V_{\text{OUTR1}}$	Range 1 Maximum $V_{\text{OUT}}$ Range 1 Set Point Accuracy Range 1 Resolution Range 1 LSB Step Size, FSR = 8.30V	$3\text{V} \leq V_{\text{OUT}} \leq 8\text{V}$  (Notes 9, 10)	●	-0.5	8 12 2	0.5	V % Bits mV
$V_{\text{LINEREG}}$	Line Regulation	$16\text{V} < V_{IN} < 60\text{V}$	●			$\pm 0.02$	%/V
$V_{\text{LOADREG}}$	Load Regulation	$\Delta V_{\text{ITH}} = 1.35\text{V} - 0.7\text{V}$ $\Delta V_{\text{ITH}} = 1.35\text{V} - 2.0\text{V}$	● ●		0.01 -0.01	0.1 -0.1	% %
$g_{m0,1}$	Resolution				3		bits
	Error Amplifier $g_{m(\text{MAX})}$	$I_{\text{TH}} = 1.35\text{V}$			5.76		mmho
	Error Amplifier $g_{m(\text{MIN})}$	$I_{\text{TH}} = 1.35\text{V}$			1.00		mmho
	Error Amplifier $g_m$ LSB Step Size	$I_{\text{TH}} = 1.35\text{V}$			0.68		mmho
$R_{\text{ITHR0,1}}$	Resolution				5		bits
	Compensation Resistor $R_{\text{ITHR}(\text{MAX})}$				62		k $\Omega$
	Compensation Resistor $R_{\text{ITHR}(\text{MIN})}$				0		k $\Omega$
$I_{\text{SENSE}}$	Input Current	$V_{\text{ISENSE}} = 40\text{V}$	●		$\pm 1$	$\pm 2$	$\mu\text{A}$
$V_{\text{I}(\text{LIMIT})}$	Resolution				3		bits
	$V_{\text{ILIM}(\text{MAX})}$	Hi Range Lo Range	● ●	68 44	75 50	82 56	mV mV
	$V_{\text{ILIM}(\text{MIN})}$	Hi Range Lo Range			37.5 25		mV mV

ゲート・ドライバ ( $\text{DRV}_{CC} = 9\text{V}$ )

TG	TG Transition Time:	(Note 4)					
	$t_r$ $t_f$	Rise Time Fall Time			30 30		ns ns
BG	BG Transition Time:	(Note 4)					
	$t_r$ $t_f$	Rise Time Fall Time			20 20		ns ns
TG/BG $t_{1D}$	Top Gate Off to Bottom Gate On Delay Time	(Note 4) $C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$			50		ns
BG/TG $t_{2D}$	Bottom Gate Off to Top Gate On Delay Time	(Note 4) $C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$			50		ns
$t_{\text{ON}(\text{MIN})}$	Minimum On-Time				45		ns

## 電気的特性

●は規定動作ジャンクション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)。特に指定のない限り、 $V_{IN} = 16\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{CC} = 0\text{V}$ 、 $V_{RUN0} = 1.8\text{V}$ 、 $V_{RUN1} = 1.8\text{V}$ 、 $f_{\text{SYNC}} = 250\text{kHz}$  (外部駆動)、プログラム可能な全てのパラメータは出荷時のデフォルト値。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>OV/UV出力電圧監視回路</b>						
N	Resolution			9		Bits
$V_{\text{RANGE0}}$	Range 0 Maximum Threshold			40		V
$V_{\text{RANGE1}}$	Range 1 Maximum Threshold			8		V
$V_{\text{OUSTP0}}$	Range 0 Step Size, FSR = 41.48V	(Note 10)		81		mV
$V_{\text{OUSTP1}}$	Range 1 Step Size, FSR = 8.30V			16.2		mV
$V_{\text{THACC0}}$	Range 0 Threshold Accuracy	$6\text{V} < V_{\text{OUT}} < 38\text{V}$	●		$\pm 2.5$	%
$V_{\text{THACC1}}$	Range 1 Threshold Accuracy	$2.5\text{V} < V_{\text{OUT}} < 8\text{V}$	●		$\pm 2.5$	%
$t_{\text{PROPOV1}}$	OV Comparator to FAULT Low Time	$V_{\text{OD}} = 10\%$ of Threshold			35	$\mu\text{s}$
$t_{\text{PROPUV1}}$	UV Comparator to FAULT Low Time	$V_{\text{OD}} = 10\%$ of Threshold			35	$\mu\text{s}$
<b><math>V_{\text{IN}}</math>電圧監視回路</b>						
N	Resolution			9		Bits
$V_{\text{IN(RANGE)}}$	Maximum Threshold	(Note 11)		31.56		V
$V_{\text{IN(STP)}}$	Step Size			61.6		mV
$V_{\text{IN(THACCH)}}$	Threshold Accuracy $6\text{V} < V_{\text{IN}} < 30\text{V}$		●		$\pm 3$	%
$t_{\text{PROP(VIN)}}$	Comparator Response Time (VIN_ON and VIN_OFF)	$V_{\text{OD}} = 10\%$ of Threshold			100	$\mu\text{s}$
<b>出力電圧の読出し</b>						
N	Resolution LSB Step Size			16 977		Bits $\mu\text{V}$
$V_{\text{F/S}}$	Full-Scale Sense Voltage	(Note 10) $V_{\text{RUN}} = 0\text{V}$ (Note 8)		45		V
$V_{\text{OUT\_TUE}}$	Total Unadjusted Error	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $3\text{V} < V_{\text{OUT}} < 38\text{V}$ (Note 8)	●	0.2	$\pm 0.5$	% %
$V_{\text{OS}}$	Zero-Code Offset Voltage		●		$\pm 2$	mV
$t_{\text{CONVERT}}$	Conversion Time	(Note 6)		90		ms
<b><math>V_{\text{IN}}</math>電圧の読出し</b>						
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	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $5\text{V} < V_{\text{IN}} < 60\text{V}$	●		0.5 2	% %
$t_{\text{CONVERT}}$	Conversion Time	(Note 6)		90		ms
<b>出力電流の読出し</b>						
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 $\mu\text{V}$ $\mu\text{V}$ $\mu\text{V}$ $\mu\text{V}$
$I_{\text{F/S}}$	Full-Scale Output Current	(Note 7) $R_{\text{ISENSE}} = 1\text{m}\Omega$		$\pm 100$		A
$I_{\text{OUT\_TUE}}$	Total Unadjusted Error	(Note 8) $10\text{mV} \leq V_{\text{ISENSE}} \leq 100\text{mV}$	●		$\pm 1.5$	%
$V_{\text{OS}}$	Zero-Code Offset Voltage				$\pm 32$	$\mu\text{V}$
$t_{\text{CONVERT}}$	Conversion Time	(Note 6)		90		ms

## 電气的特性

●は規定動作ジャンクション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)。特に指定のない限り、 $V_{IN} = 16\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{CC} = 0\text{V}$ 、 $V_{RUN0} = 1.8\text{V}$ 、 $V_{RUN1} = 1.8\text{V}$ 、 $f_{\text{SYNC}} = 250\text{kHz}$  (外部駆動)、プログラム可能な全てのパラメータは出荷時のデフォルト値。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
<b>入力電流の読出し</b>							
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, $6\text{mV} \leq  I_{IN}^+ - I_{IN}^-  \leq 50\text{mV}$	● ● ●		$\pm 1.6$ $\pm 1.3$ $\pm 1.2$	% % %	
$I_{IN}$	Input Current, $I_{IN+}$ and $I_{IN-}$	$V_{IN} = V_{IN+} = V_{IN-} = 60\text{V}$	●		$\pm 2$	$\mu\text{A}$	
$V_{OS}$	Zero-Code Offset Voltage				$\pm 50$	$\mu\text{V}$	
$t_{\text{CONVERT}}$	Conversion Time	(Note 6)		90		ms	
<b>電源電流の読出し</b>							
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)		90		ms	
<b>温度の読出し (T0, T1)</b>							
$T_{\text{RES\_T}}$	Resolution			0.25		$^\circ\text{C}$	
$T0\_TUE$	External TSNS TUE (Note 8) MFR_PWM_MODE_LTC3889[5] = 0 MFR_PWM_MODE_LTC3889[5] = 1	$\Delta V_{\text{TSNS}} = 72\text{mV}$ (Note 17)	●		$\pm 3$	$^\circ\text{C}$	
		$V_{\text{TSNS}} \leq 1.85\text{V}$ (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)		90		ms	
<b>DRV<sub>CC</sub> レギュレータ</b>							
$V_{\text{DRVCC\_VIN}}$	DRV <sub>CC</sub> Voltage No Load	$8\text{V} < V_{\text{IN}} < 60\text{V}$ , DRVSET = 0		6.1	6.3	6.5	V
		$11\text{V} < V_{\text{IN}} < 60\text{V}$ , DRVSET = 1		7.2	7.4	7.6	V
		$11\text{V} < V_{\text{IN}} < 60\text{V}$ , DRVSET = 2		8.6	9	9.4	V
$V_{\text{LDO\_VIN}}$	DRV <sub>CC</sub> Load Regulation	$I_{\text{CC}} = 0\text{mA}$ to 50mA, EXTV <sub>CC</sub> = 0, DRVSET = 2		0.5	$\pm 2$	%	
$V_{\text{DRVCC\_EXT}}$	DRV <sub>CC</sub> Voltage No Load	$7\text{V} < \text{EXTV}_{\text{CC}} < 14\text{V}$ , DRVSET = 0		6.1	6.3	6.5	V
		$11\text{V} < \text{EXTV}_{\text{CC}} < 14\text{V}$ , DRVSET = 1		7.2	7.4	7.6	V
		$11\text{V} < \text{EXTV}_{\text{CC}} < 14\text{V}$ , DRVSET = 2		8.6	9	9.4	V
$V_{\text{LDO\_EXT}}$	DRV <sub>CC</sub> Load Regulation	$I_{\text{CC}} = 0\text{mA}$ to 50mA, EXTV <sub>CC</sub> = 12V, DRVSET = 2		0.5	$\pm 2$	%	
$V_{\text{EXT\_THRES}}$	EXTV <sub>CC</sub> Switchover Voltage	EXTV <sub>CC</sub> Ramping Positive, DRVSET = 0	●	5.0	5.35	5.6	V
		EXTV <sub>CC</sub> Ramping Positive, DRVSET = 1, 2	●	7.4	7.7	8.0	V
$V_{\text{EXT\_HYS}}$	EXTV <sub>CC</sub> Hysteresis Voltage			110		mV	
<b>V<sub>DD33</sub> レギュレータ</b>							
$V_{\text{DD33}}$	Internal V <sub>DD33</sub> Voltage	$5.0\text{V} < V_{\text{DRVCC}}$		3.2	3.3	3.4	V
$I_{\text{LIM}}$	V <sub>DD33</sub> Current Limit	$V_{\text{DD33}} = \text{GND}$ , $V_{\text{IN}} = V_{\text{DRVCC}} = 5.0\text{V}$		35		mA	
$V_{\text{DD33\_OV}}$	V <sub>DD33</sub> Overvoltage Threshold			3.5		V	
$V_{\text{DD33\_UV}}$	V <sub>DD33</sub> Undervoltage Threshold			3.1		V	
<b>V<sub>DD25</sub> レギュレータ</b>							
$V_{\text{DD25}}$	Internal V <sub>DD25</sub> Voltage			2.5		V	
$I_{\text{LIM}}$	V <sub>DD25</sub> Current Limit	$V_{\text{DD25}} = \text{GND}$ , $V_{\text{DD33}} = 3.6\text{V}$		80		mA	
<b>発振器とフェーズロック・ループ</b>							
$f_{\text{OSC}}$	Oscillator Frequency Accuracy	$85\text{kHz} < f_{\text{SYNC}} < 500\text{kHz}$ Measured Falling Edge-to-Falling Edge of SYNC with FREQUENCY_SWITCH = 85kHz and 500.0kHz	●		$\pm 10$	%	

## 電気的特性

●は規定動作ジャンクション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)。特に指定のない限り、 $V_{IN} = 16\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{CC} = 0\text{V}$ 、 $V_{RUN0} = 1.8\text{V}$ 、 $V_{RUN1} = 1.8\text{V}$ 、 $f_{\text{SYNC}} = 250\text{kHz}$  (外部駆動)、プログラム可能な全てのパラメータは出荷時のデフォルト値。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$V_{\text{TH(SYNC)}}$	SYNC Input Threshold	$V_{\text{CLKIN}}$ Falling $V_{\text{CLKIN}}$ Rising		1 1.5		V V
$V_{\text{OL(SYNC)}}$	SYNC Low Output Voltage	$I_{\text{LOAD}} = 2.5\text{mA}$	●	0.2	0.4	V
$I_{\text{LEAK(SYNC)}}$	SYNC Leakage Current in Slave Mode	$0\text{V} \leq V_{\text{PIN}} \leq 3.6\text{V}$			±5	μA
$\theta_{\text{SYNC-00}}$	SYNC to Channel 0 Phase Relationship Based on the Falling Edge of Sync and Rising Edge of TGO	MFR_PWM_CONFIG_LTC3889[2:0] = 0,2,3 MFR_PWM_CONFIG_LTC3889[2:0] = 5 MFR_PWM_CONFIG_LTC3889[2:0] = 1 MFR_PWM_CONFIG_LTC3889[2:0] = 4,6		0 60 90 120		Deg Deg Deg Deg
$\theta_{\text{SYNC-01}}$	SYNC to Channel 1 Phase Relationship Based on the Falling Edge of Sync and Rising Edge of TG1	MFR_PWM_CONFIG_LTC3889[2:0] = 3 MFR_PWM_CONFIG_LTC3889[2:0] = 0 MFR_PWM_CONFIG_LTC3889[2:0] = 2,4,5 MFR_PWM_CONFIG_LTC3889[2:0] = 1 MFR_PWM_CONFIG_LTC3889[2:0] = 6		120 180 240 270 300		Deg Deg Deg Deg Deg

## EEPROMの特性

Endurance	(Note 13)	$0^\circ\text{C} < T_J < 85^\circ\text{C}$ During EEPROM Write Operations	●	10,000		Cycles
Retention	(Note 13)	$T_J < 125^\circ\text{C}$	●	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 $n$ , FAULT $n$ 

$V_{\text{IH}}$	Input High Threshold Voltage	SCL, SDA, RUN, FAULT	●		1.35	V
$V_{\text{IL}}$	Input Low Threshold Voltage	SCL, SDA, RUN, FAULT	●	0.8		V
$V_{\text{HYST}}$	Input Hysteresis	SCL, SDA		0.08		V
$C_{\text{PIN}}$	Input Capacitance				10	pF

## デジタル入力 WP

$I_{\text{PUWP}}$	Input Pull-Up Current	WP		10		μA
-------------------	-----------------------	----	--	----	--	----

オープンドレイン出力: SCL, SDA, FAULT $n$ , ALERT, RUN $n$ , SHARE\_CLK, PGOOD $n$ 

$V_{\text{OL}}$	Output Low Voltage	$I_{\text{SINK}} = 3\text{mA}$	●		0.4	V
-----------------	--------------------	--------------------------------	---	--	-----	---

## デジタル入力: SHARE\_CLK, WP

$V_{\text{IH}}$	Input High Threshold Voltage		●	1.5	1.8	V
$V_{\text{IL}}$	Input Low Threshold Voltage		●	0.6	1.0	V

## リーク電流: SDA, SCL, ALERT, RUN

$I_{\text{OL}}$	Input Leakage Current	$0\text{V} \leq V_{\text{PIN}} \leq 5.5\text{V}$	●		±5	μA
-----------------	-----------------------	--	---	--	----	----

リーク電流: FAULT $n$ , PGOOD $n$ 

$I_{\text{GL}}$	Input Leakage Current	$0\text{V} \leq V_{\text{PIN}} \leq 3.6\text{V}$	●		±2	μA
-----------------	-----------------------	--	---	--	----	----

FAULT $n$ のデジタル・フィルタリング

$t_{\text{FAULT}}$	Input Digital Filtering FAULT $n$			3		μs
--------------------	-----------------------------------	--	--	---	--	----

PGOOD $n$ のデジタル・フィルタリング

$t_{\text{PGOOD}}$	Output Digital Filtering PGOOD $n$			60		μs
--------------------	------------------------------------	--	--	----	--	----

RUN $n$ のデジタル・フィルタリング

$t_{\text{RUN}}$	Input Digital Filtering RUN $n$			10		μs
------------------	---------------------------------	--	--	----	--	----

## PMBus インター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		μs
$t_{\text{HD(STA)}}$	Hold Time After Start Condition. After This Period, the First Clock Is Generated		●	0.6		μs

## 電気的特性

●は規定動作ジャンクション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)。特に指定のない限り、 $V_{IN} = 16\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{CC} = 0\text{V}$ 、 $V_{RUN0} = 1.8\text{V}$ 、 $V_{RUN1} = 1.8\text{V}$ 、 $f_{SYNC} = 250\text{kHz}$  (外部駆動)、プログラム可能な全てのパラメータは出荷時のデフォルト値。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$t_{SU(STA)}$	Repeated Start Condition Setup Time		●	0.6	10000	$\mu\text{s}$
$t_{SU(STO)}$	Stop Condition Setup Time		●	0.6		$\mu\text{s}$
$t_{HD(DAT)}$	Data Hold Time Receiving Data Transmitting Data		●	0		$\mu\text{s}$
			●	0.3	0.9	$\mu\text{s}$
$t_{SU,DAT}$	Data Setup Time Receiving Data		●	0.1		$\mu\text{s}$
$t_{TIMEOUT\_SMB}$	Stuck PMBus Timer Non-Block Reads Stuck PMBus Timer Block Reads	Measured from the Last PMBus Start Event			32/255	ms
					255	
$t_{LOW}$	Serial Clock Low Period		●	1.3	10000	$\mu\text{s}$
$t_{HIGH}$	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、長期にわたって絶対最大定格条件に曝すと、デバイスの信頼性と寿命に悪影響を与える恐れがある。

**Note 2:** LTC3889 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。LTC3889E 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確認されている。 $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$  の動作ジャンクション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。LTC3889I は  $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$  の動作ジャンクション温度範囲での動作が確認されている。 $T_J$  は周囲温度  $T_A$  および消費電力  $P_D$  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、基板レイアウト、パッケージの定格熱抵抗および他の環境要因と関連した特定の動作条件によって決まる。

**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%レベルを使用して測定する。

**Note 5:** PMBusでのデータ・フォーマットは5ビットの指数部(符号付き)と11ビットの仮数部(符号付き)。このため、内部ADCが16ビットで、計算に32ビット・ワードを使用している場合でも、出力の分解能は10ビットに制限される。

**Note 6:** データ変換は順繰りに行われる。MFR\_ADC\_CONTROL コマンドを使用しない限り、全ての入力信号は90msの標準的な遅延の間に絶え間なく変換される。

**Note 7:**  $I_{OUT\_CAL\_GAIN} = 1.0\text{m}\Omega$ かつ  $MFR\_IOUT\_TC = 0.0$  である。READ\_IOUT から読み出された値の単位はアンペア。

**Note 8:** デバイスはPWMをディスエーブルした状態でテストされる。アプリケーションでの評価が性能を裏付けている。総合未調整誤差(%) = ADCゲイン誤差(%) + 100 • [ゼロコード・オフセット + ADC直線性誤差]/実際の値。

**Note 9:** 全ての  $V_{OUT}$  コマンドは、ADCを使用して出力のゼロを自動的に調整し、規定の精度を達成することを前提にしている。LTC3889は、 $V_{OUT}$  を規定の電圧にサーボ制御する帰還ループ内でテストされる。

**Note 10:**  $V_{OUT}$  のプログラム可能な最大電圧は40V。

**Note 11:**  $V_{IN}$  の最大電圧は60V。

**Note 12:**  $V_{IN} < 6\text{V}$  のときは  $DRV_{CC}$  を  $V_{IN}$  に接続する必要がある。

**Note 13:** EEPROMの書換え回数は、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。データ保持期間の出荷テストは、ウェーハ・レベルで高温ベークによって実施される。最小データ保持期間の仕様は、EEPROMの書換え回数が最小書換え回数の規格値より少ないデバイスに適用される。RESTORE\_USER\_ALL コマンド (EEPROMの読出し) は、全動作温度範囲にわたって有効。

**Note 14:** LTC3889の自己消費電流 ( $I_Q$ ) は、 $V_{IN}$  の  $I_Q$  に  $\text{EXTV}_{CC}$  の  $I_Q$  を加えたものに等しい。

**Note 15:** LTC3889は、瞬間的な過負荷状態時にデバイスを保護するための過熱保護機能を備えている。過熱保護機能がアクティブなときジャンクション温度は  $125^\circ\text{C}$  を超える。規定された最大動作ジャンクション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可能性がある。

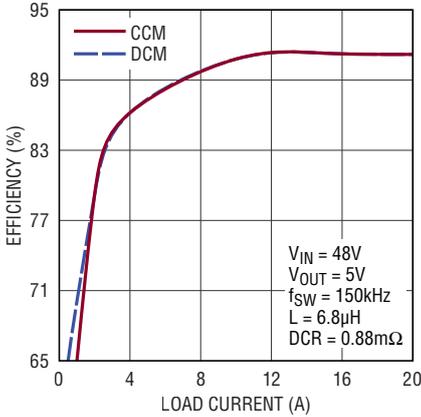
**Note 16:**  $T_J = 85^\circ\text{C}$  を超える温度または  $0^\circ\text{C}$  未満の温度での書込み動作は可能だが、電気的特性は確保されておらず、EEPROMは劣化する。読出し動作は  $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$  の温度範囲内で行えば、EEPROMは劣化しない。  $85^\circ\text{C}$  より高い温度でEEPROMに書き込むと、データ保持特性が劣化する。

**Note 17:** リミットはテスト中のTSNSの電圧と電流の測定によって確認される (ADCの読出しを含む)。

## 代表的な性能特性

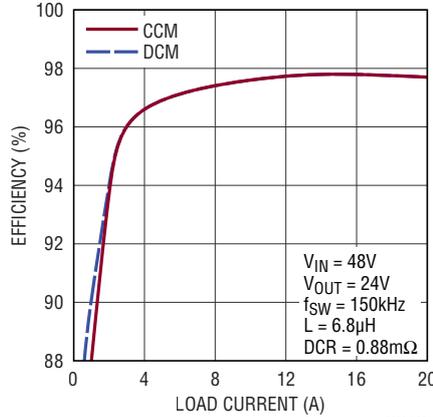
特に注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 16\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{CC} = 0\text{V}$ 。

効率と負荷電流、 $V_{OUT} = 5\text{V}$



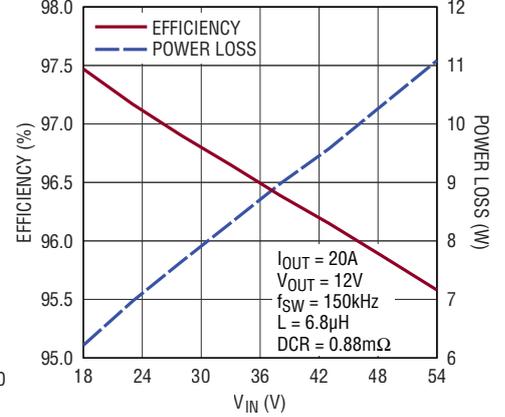
3889 G01

効率と負荷電流、 $V_{OUT} = 24\text{V}$



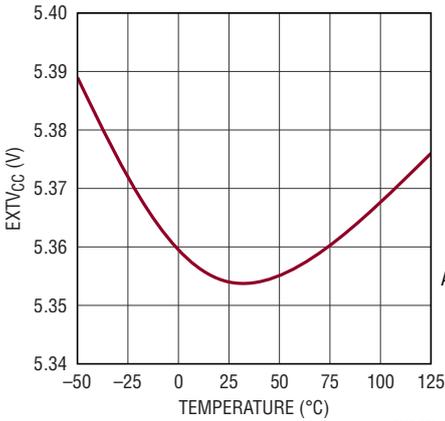
3889 G02

効率および電力損失と入力電圧



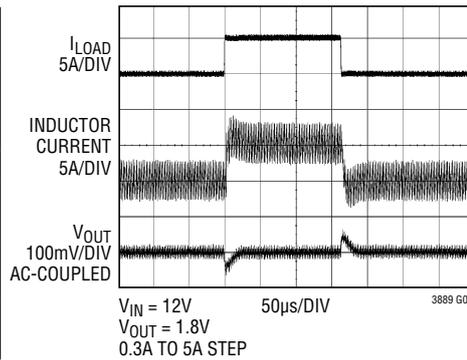
3889 G03

$\text{EXTV}_{CC}$  の切替電圧と温度



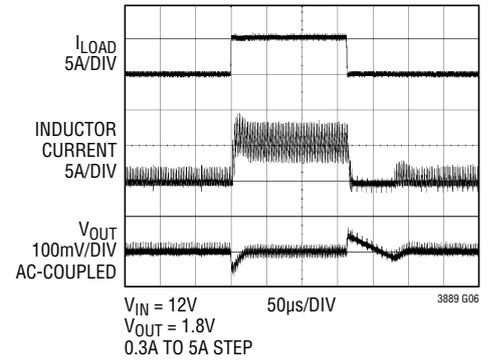
3889 G04

負荷ステップ  
(強制連続モード)



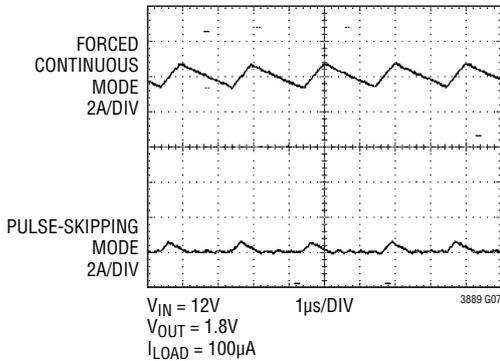
3889 G05

負荷ステップ  
(パルス・スキップ・モード)



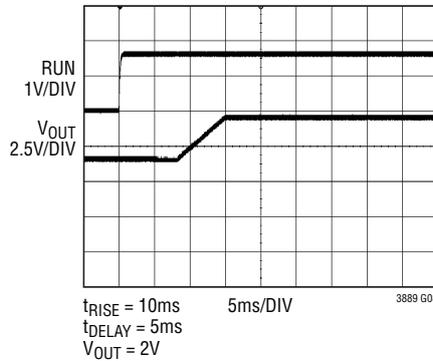
3889 G06

軽負荷時のインダクタ電流



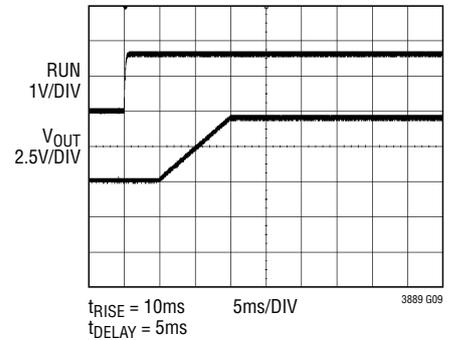
3889 G07

プリバイアスされた負荷状態での  
起動



3889 G08

ソフトスタート時のランプ波形

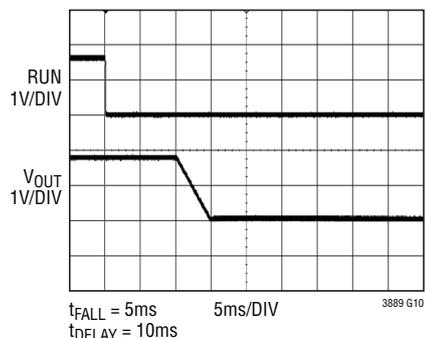


3889 G09

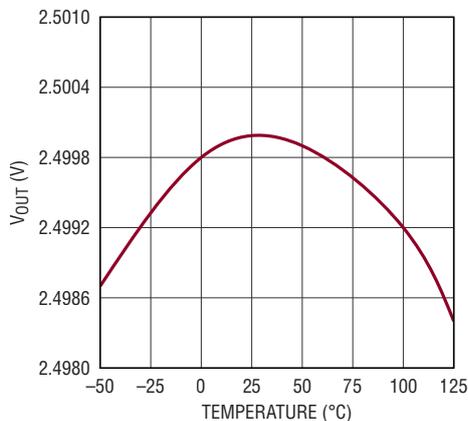
## 代表的な性能特性

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

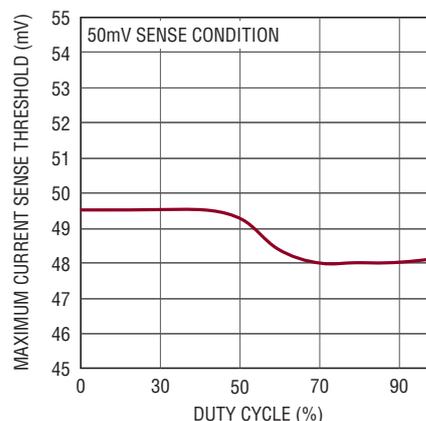
ソフトオフ時のランプ波形



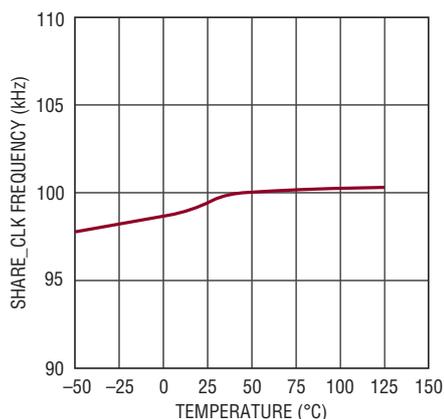
2.5Vの安定化出力電圧と温度



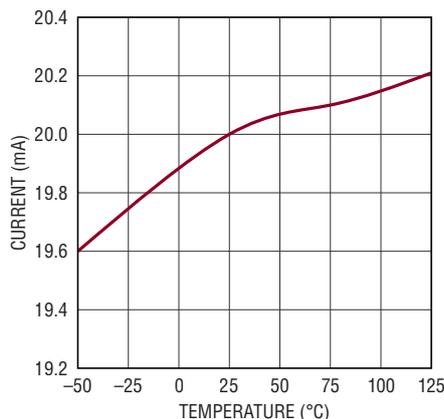
最大電流検出閾値と  
デューティ・サイクル、 $V_{OUT}=0\text{V}$



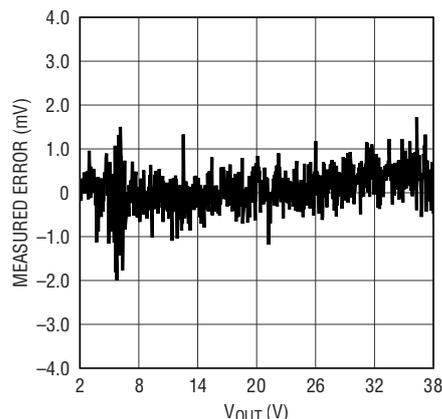
SHARE\_CLK周波数と温度



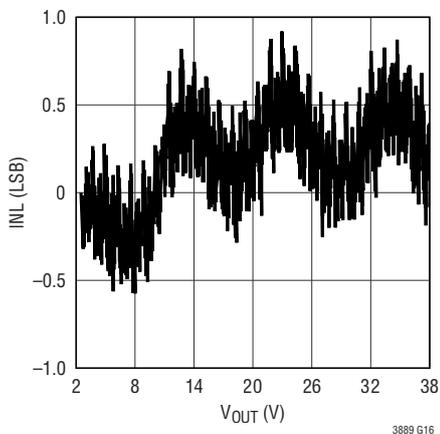
自己消費電流と温度



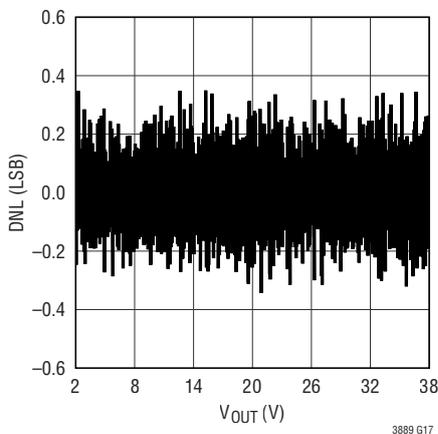
$V_{OUT}$ の測定誤差と $V_{OUT}$



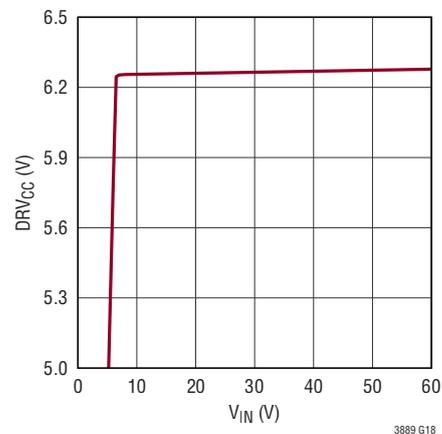
$V_{OUT}$ コマンド時のINL



$V_{OUT}$ コマンド時のDNL



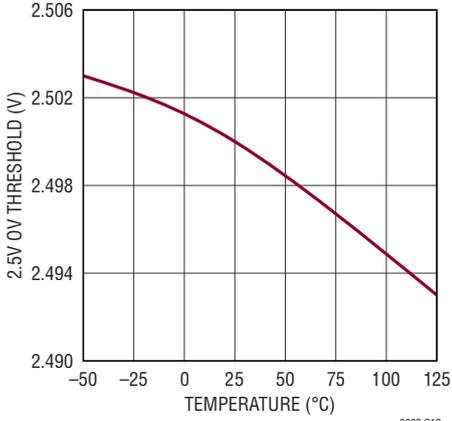
DRV<sub>CC</sub>のライン・レギュレーション



## 代表的な性能特性

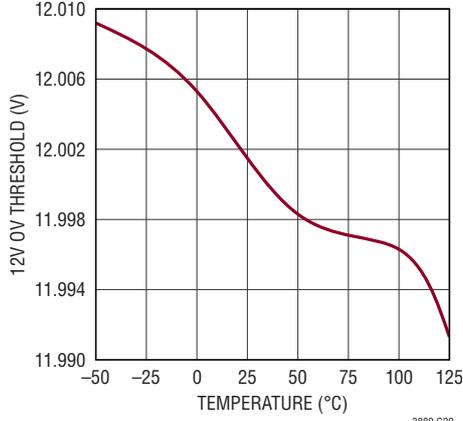
特に注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 16\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{CC} = 0\text{V}$ 。

**$V_{OUT}$ のOV閾値と温度  
(目標値:2.5V)**



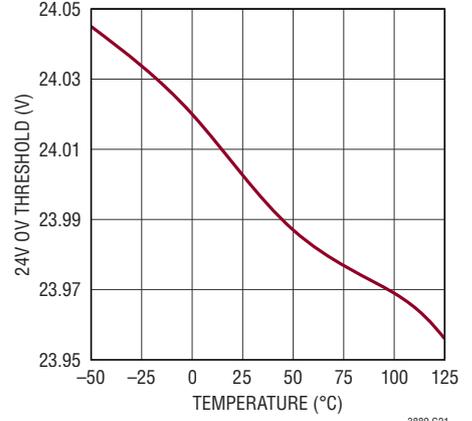
3889 G19

**$V_{OUT}$ のOV閾値と温度  
(目標値:12V)**



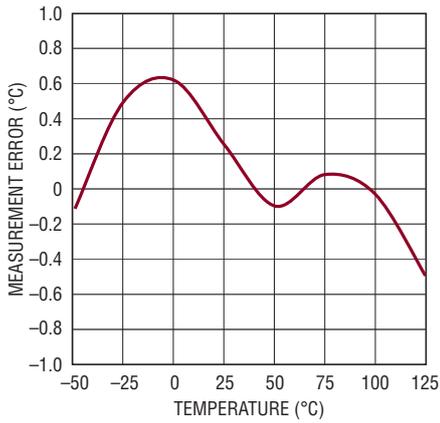
3889 G20

**$V_{OUT}$ のOV閾値と温度  
(目標値:24V)**



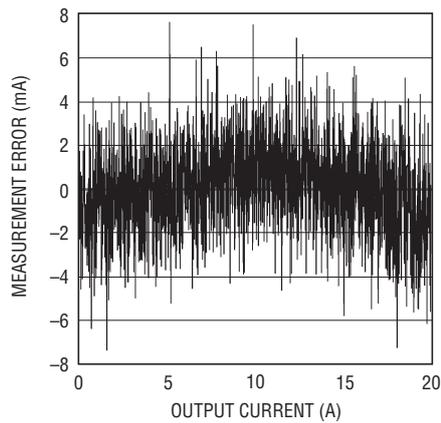
3889 G21

**外部温度の誤差と温度**



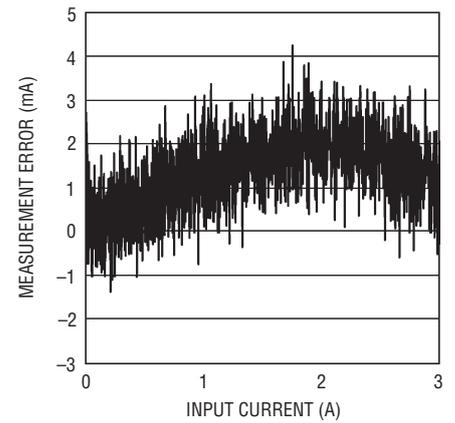
3889 G22

**$I_{OUT}$ の誤差と $I_{OUT}$**



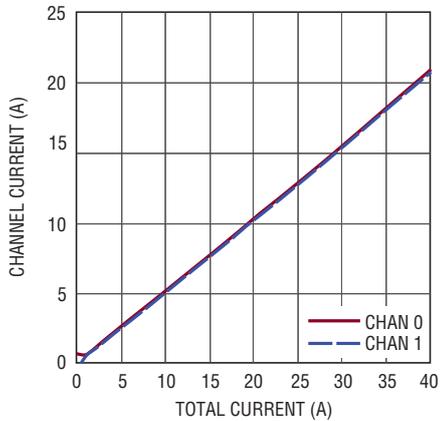
3889 G23

**$I_{IN}$ の誤差と $I_{IN}$**



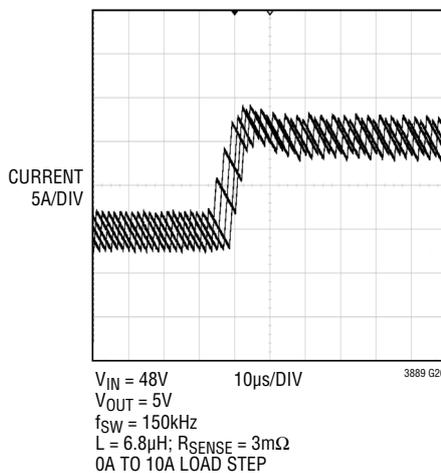
3889 G24

**2相システムでのDC出力電流の  
マッチング(LTC3889)**



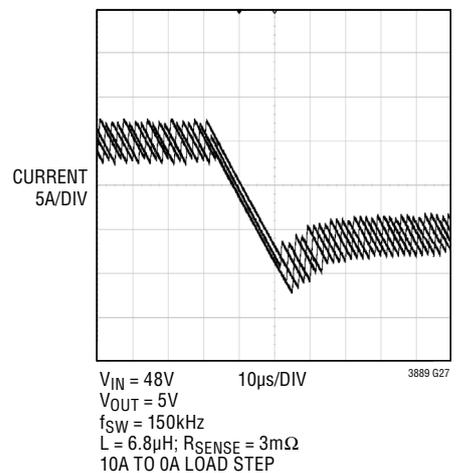
3889 G25

**4相システムにおける負荷過渡  
状態時での動的な電流分担**



3889 G26

**4相システムにおける負荷過渡  
状態時での動的な電流分担**



3889 G27

## ピン機能

**SW0/SW1 (ピン 1, 39)** : スイッチ・ノードのインダクタへの接続箇所。これらのピンの電圧振幅は、グラウンドよりショットキー・ダイオード(外付け)の電圧降下分だけ低い電位から  $V_{IN}$  までです。

**TG0/TG1 (ピン 2, 38)** : 上側ゲート・ドライバ出力。これらはフローティング・ドライバの出力で、その電圧振幅は、スイッチ・ノード電圧に  $DRV_{CC}$  を重ね合わせた電圧に等しくなっています。

**$I_{SENSE0}^+ / I_{SENSE1}^+$  (ピン 4, 9)** : 電流検出コンパレータの入力。電流コンパレータへの(+) 入力は、通常はDCRによる検出ネットワークまたは電流検出抵抗に接続されます。

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

**TSNS0/TSNS1 (ピン 6, 36)** : 外付けダイオードの温度検出ピン。リモート温度検出のため、ダイオード接続PNPトランジスタのアノードに接続します。カソードは、別のグラウンド帰還経路を使用して、LTC3889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、トランジスタのすぐ近くに配置する必要があります。外付けの温度検出素子を取り付けない場合は、このピンをグラウンドに短絡して  $UT\_FAULT\_LIMIT$  を  $-275^{\circ}C$  に設定し、 $UT\_FAULT\_RESPONSE$  を無視するように設定します。

**$V_{SENSE0}^+ / V_{SENSE1}^+$  (ピン 7, 35)** : 正の出力電圧検出入力。

**$V_{SENSE0}^-$  (ピン 8)** : チャンネル0の負の出力電圧検出入力。

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

**$I_{TH0} / I_{TH1}$  (ピン 12, 31)** : 電流制御閾値およびエラー・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作動閾値は、その  $I_{TH}$  電圧に応じて増加します。

**SYNC (ピン 13)** : 外部クロックの同期入力ピン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が入ると、スイッチング周波数は外部クロックに同期します。クロック・マスタ・モードを有効にすると、このピンはスイッチング周波数に合わせてローになります。そのときグラウンド電位となるパルス幅は500nsです。このアプリケーションでは抵抗で3.3Vにプルアップすることが必要です。

**SCL (ピン 14)** : シリアル・バスのクロック入力。クロック・ストレッチングを有効にしている場合は、オープンドレイン出力が出力をローに保持できます。このアプリケーションでは1.8V~3.3Vの範囲の電圧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。このアプリケーションでは1.8V~3.3Vの範囲の電圧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。 $\overline{SMBALERT}$  信号をこのピンに接続します。このアプリケーションでは3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。

**$\overline{FAULT0} / \overline{FAULT1}$  (ピン 17, 18)** : プログラム可能なデジタル汎用入出力。オープンドレイン出力。このアプリケーションでは1.8V~3.3Vの範囲の電圧へのプルアップ抵抗が必要です。

**RUN0/RUN1 (ピン 19, 20)** : イネーブル実行入力および出力。このピンをロジック・ハイにすると、コントローラがイネーブルされます。オープンドレイン出力は、LTC3889がリセット状態から抜け出すまでこのピンをローに保持します。このピンはオープンドレインのデジタル出力で駆動します。このアプリケーションでは1.8V~3.3Vの範囲の電圧へのプルアップ抵抗が必要です。

**ASEL0/ASEL1 (ピン 21 / ピン 22)** : シリアル・バスのアドレス選択入力。 $V_{DD25}$  とGNDの間でのオプションの1%精度の抵抗分圧器をこれらのピンに接続して、シリアル・バス・インターフェースの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。ピンをオープンにする場合は、容量を最小限に抑えて、ピンの状態を正確に検出できるようにします。

**$V_{OUT\_CFG0} / V_{OUT\_CFG1}$  (ピン 23, 24)** : 出力電圧の選択ピン。出力電圧を選択するため、 $\pm 1\%$  精度の抵抗分圧器をデバイスの  $V_{DD25}$ 、 $V_{OUT\_CFG}$ 、およびGNDに接続します。このピンをオープンのままにした場合、デバイスは、EEPROMにプログラムされている値を使用します。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。ピンをオープンにする場合は、容量を最小限に抑えて、ピンの状態を正確に検出できるようにします。

**FREQ\_CFG (ピン 25)** : 周波数の選択ピン。スイッチング周波数を選択するため、 $\pm 1\%$  精度の抵抗分圧器をデバイスの  $V_{DD25}$ 、 $FREQ\_CFG$ 、およびGNDに接続します。このピンをオープンのままにした場合、デバイスは、EEPROMにプログラムされている値を使用します。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。ピンをオープンにする場合は、容量を最小限に抑えて、ピンの状態を正確に検出できるようにします。

## ピン機能

**PHAS\_CFG (ピン 26)** : 位相設定入力。V<sub>DD25</sub>とGNDの間にあるオプションの1%精度の抵抗分圧器をこのピンに接続して、PWMチャンネルの位相をSYNCを基準にして設定します。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。ピンをオープンにする場合は、容量を最小限に抑えて、ピンの状態を正確に検出できるようにします。

**V<sub>DD25</sub> (ピン 27)** : 内部生成された2.5V電源の出力。このピンは1μFの低ESRコンデンサを使用してGNDにバイパスします。LTC3889の抵抗設定ピンに必要な抵抗分圧器を除き、このピンには外部負荷をかけないでください。

**WP (ピン 28)** : アクティブ・ハイの書込み保護ピン。内部の10μA電流源により、このピンの電圧はV<sub>DD33</sub>まで引き上げられます。WPがハイの場合は、PMBusによる書込みが制限されます。

**SHARE\_CLK (ピン 29)** : 共有クロック、オープンドレインの双方向クロック共有ピン。公称は100kHzです。複数のアナログ・デバイセス・コントローラ間でタイミングの同期をと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。全てのアナログ・デバイセス・コントローラは、最高速のクロックに同期します。このアプリケーションでは、5.49kのプルアップ抵抗を3.3Vに接続することが必要です。

**V<sub>DD33</sub> (ピン 30)** : 内部生成された3.3V電源の出力。このピンは1μFの低ESRコンデンサを使用してGNDにバイパスします。このピンには外部電流負荷をかけないでください。

**PGOOD0/PGOOD1 (ピン 34、33)** : パワーグッド・インジケータ出力。オープンドレインのロジック出力で、出力がUV/OV閾値を超えるとグラウンド電位に低下します。出力のグリッチは内部の60μsフィルタにより除去されます。このアプリケーションでは3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。

**BOOST1/BOOST0 (ピン 40、52)** : フロート・ドライバの昇圧電源。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。このピンの振幅範囲は、DRV<sub>CC</sub>よりもダイオードの電圧降下分だけ低い電圧からV<sub>IN</sub> + DRV<sub>CC</sub>までです。

**BG0/BG1 (ピン 50、42)** : 下側のゲート・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からDRV<sub>CC</sub>までの電圧範囲で駆動します。

**EXTV<sub>CC</sub> (ピン 43)** : DRV<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5.3V (DRVSET = 1、2の場合は7.7V)より高いときは必ず、このLDOがDRV<sub>CC</sub>電源に電力を供給して、V<sub>IN</sub>から電力を供給される内部LDOを迂回します。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14Vを超えたりしないようにしてください。4.7μF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、このピンを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は、このピンをGNDに接続します。EXTV<sub>CC</sub>ピンはV<sub>IN</sub>ピンの電圧より高い電圧に接続してもかまいません。

**DRV<sub>CC</sub> (ピン 44)** : V<sub>IN</sub>またはEXTV<sub>CC</sub>低ドロップアウト(LDO)レギュレータの出力。ゲート・ドライバはこの電圧源から電力が供給されます。DRV<sub>CC</sub>の出力電圧はDRVSETの値で設定します。DRV<sub>CC</sub>ピンは、4.7μF以上のセラミック・コンデンサまたは他の低ESRコンデンサを使用して、グラウンドにデカップリングする必要があります。DRV<sub>CC</sub>ピンは、他の目的には使用しないでください。

**I<sub>IN</sub><sup>-</sup> (ピン 46)** : ハイサイド電流検出アンプの反転入力。

**I<sub>IN</sub><sup>+</sup> (ピン 47)** : ハイサイド電流検出アンプの非反転入力。

**V<sub>IN</sub> (ピン 48)** : 主入力電源。このピンは、コンデンサ(0.1μF~1μF)を使用してGNDにデカップリングします。主入力電源が5Vのアプリケーションでは、V<sub>IN</sub>ピンとDRV<sub>CC</sub>ピンを互いに接続します。入力電流検出アンプを使用しない場合、このピンはI<sub>IN</sub><sup>+</sup>ピンとI<sub>IN</sub><sup>-</sup>ピンに短絡する必要があります。

**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部品は、このグラウンドに一点で接続します。

ブロック図

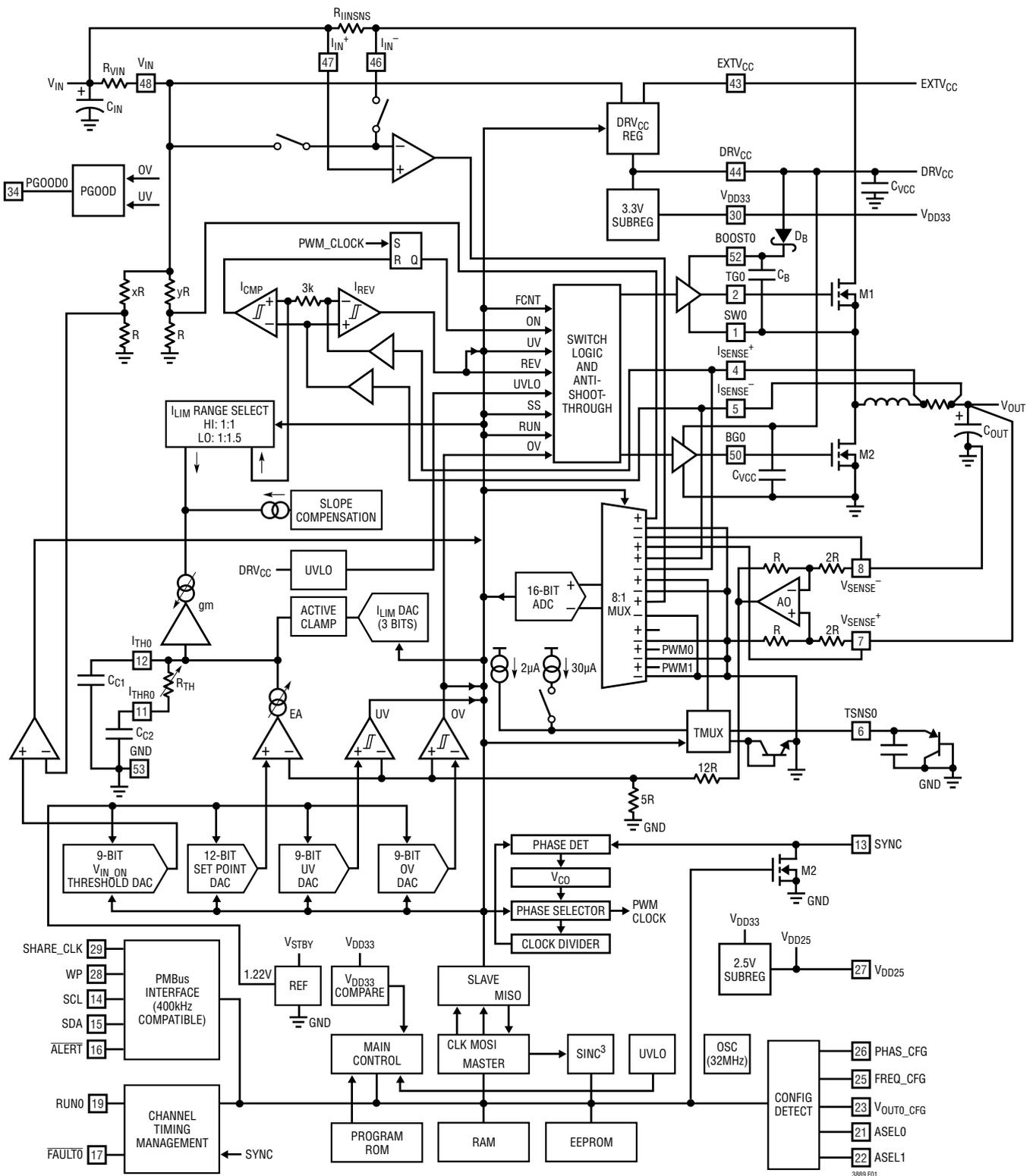


図1. ブロック図、2チャンネルの片方 (CH0) を表示

## 動作

### 概要

LTC3889は、DC/DC降圧アプリケーション向けのデュアル・チャンネル／デュアル・フェーズ、固定周波数、アナログ電流モード・コントローラで、デジタル・インターフェースを備えています。LTC3889のデジタル・インターフェースは、最大400kHzのバス速度をサポートするPMBusと互換性があります。代表的な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およびUVコンパレータ
- プログラム可能なオンとオフの遅延時間
- プログラム可能な出力立上がり／立下がり時間
- プログラム可能なループ補償
- 各チャンネルに専用のパワーグッド・ピン
- フェーズ・ロック・ループ(PLL)により、同期PolyPhase動作(2、3、4、6相)に対応
- 入力と出力の電圧／電流、および温度の遠隔測定
- チャンネル0での完全差動リモート検出
- 調整可能なゲート・ドライバ内蔵
- ECC機能を備えた不揮発性設定メモリ
- オプションの外付け設定抵抗により重要な動作パラメータに対応
- オプションのタイム・ベース相互接続による複数コントローラ間の同期
- 障害ログ
- 内部EEPROM設定を保護するWPピン
- お客様の工場での設定後に単独で動作
- PMBusバージョン1.2、400kHz準拠のインターフェース

PMBusインターフェースでは、システムの動作時に、以下の項目を含む重要なパワー・マネージメント・データにアクセスできます。

- 内部のダイ温度
- オプションのダイオード検出素子による外部システムの温度
- 平均出力電流
- 平均出力電圧
- 平均入力電圧
- 平均入力電流
- ラッチ状態または非ラッチ状態の設定可能な個々の障害および警告のステータス

個々のチャンネルは、PAGEコマンド(つまりPAGE 0または1)を使用して、PMBusを介してアクセスされます。

障害報告とシャットダウン動作は、 $\overline{\text{FAULT}}_n$ 出力を使用して完全に設定できます。 $\overline{\text{ALERT}}$ の専用ピンが用意されています。また、シャットダウン動作でも全ての障害を個別にマスク可能であり、非ラッチ(再試行)モードとラッチ・モードのいずれでも動作できます。

個々のステータス・コマンドによって、シリアル・バスを介した障害報告で特定の障害イベントを識別できます。障害または警告の検出には、以下の項目が含まれます。

- 出力の低電圧／過電圧
- 入力の低電圧／過電圧
- 入力および出力の過電流
- 内部の過熱
- 外部の過熱
- 通信、メモリ、またはロジック(CML)障害

### メイン制御ループ

LTC3889は固定周波数、電流モードの降圧コントローラで、ユーザ定義の相対位相で動作します。通常動作中、上側MOSFETは、対応するチャンネルのクロックがRSラッチをセットするとオンになり、メインの電流コンパレータ $I_{CMP}$ がRSラッチをリセットするとオフになります。 $I_{CMP}$ がRSラッチをリセットするときのピーク・インダクタ電流は、エラー・ア

## 動作

ンプEAの出力である $I_{TH}$ ピンの電圧によって制御されます。EAの負端子の電圧は、 $V_{SENSE}$ の電圧を34で割った値(範囲 = 1の場合は6.8)に等しくなります。EAの正端子は12ビットDACの出力に接続されており、値の範囲は0V~1.22Vです。出力電圧は、EAの帰還を介してDAC出力の34倍(範囲 = 1の場合は6.8)に安定化されます。目的とする出力電圧を合成するため、DACの値はデバイスによって計算されます。出力電圧は、表3に詳細を示す抵抗設定ピンまたは(EEPROMから、またはPMBusコマンドにより) $V_{OUT}$ コマンドを使用して設定します。詳細については、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。PMBusの $V_{OUT\_COMMAND}$ により、出力電圧はいつでも変更できます。このコマンドの遅延時間は、通常10ms未満です。

基本動作の説明を続けると、電流モード・コントローラは、ピーク電流に達すると上側のゲートをオフします。負荷電流が増えると、 $V_{SENSE}$ はDACリファレンスに対してわずかに低下します。このため、 $I_{TH}$ の電圧は、平均インダクタ電流が増加後の負荷電流と一致するまで高くなり続けます。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はオンのままです。

## EEPROM

LTC3889は、構成設定と障害ログ情報を格納するため、誤り訂正符号化(ECC)機能を備えたEEPROMを内蔵しています。ユーザ領域と障害ログ・ページを対象とするEEPROMの書換え回数とデータ保持期間は、絶対最大定格と電気的特性の表に仕様が規定されています。また、LTC3889のEEPROMには、内部冗長性を備えた製造部分も含まれています。

内蔵EEPROM全体の完全性は、パワーオン・リセットやRESTORE\_USER\_ALLコマンドの実行後など、データを読み出すたびにCRC計算により検査されます。CRCエラーが発生すると、STATUS\_BYTEコマンドとSTATUS\_WORDコマンドのCMLビットが設定され、STATUS\_MFR\_SPECIFICコマンドのEEPROM CRCエラー・ビットが設定されて、ALERTピンとRUNピンがロー(PWMチャンネルがオフ)になります。その時点で、デバイスは特殊アドレス0x7Cの場合に応答するようになります。このアドレスが動作状態になるのは、無効なCRCが検出された後だけです。また、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の問題から回復しようとするときにこれらのアドレスを使用するのは推奨しません。無効なCRCを報告しているデバイスのいずれかのPWMチャンネルに関連付けられている電源レールは、問題が解決するまでディスエーブル状態のままになります。EEPROMの修復がうまくいかない場合は、弊社にお問い合わせください。

アナログ・デバイセズは、ダイ温度が85°Cより高い場合、EEPROMに書き込まないことを推奨します。内部のダイ温度が130°Cを超えると、RESTORE\_USER\_ALLとMFR\_RESETを除く全てのEEPROM動作はディスエーブルされます。ダイ温度が125°Cより低くなるまで、EEPROMの動作は完全には再イネーブルされません。高い動作温度によるデータ保持特性の劣化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。

バルクEEPROMのプログラミングなど、LTC3889もサポートしているEEPROMの効率的なシステム内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、弊社にお問い合わせください。

## CRC保護

EEPROMメモリの完全性は、パワーオン・リセット後に検査されます。CRCエラーがあると、コントローラはリセット状態から抜けられなくなります。CRCエラーが発生すると、STATUS\_BYTEコマンドとSTATUS\_WORDコマンドのCMLビットが設定され、STATUS\_MFR\_SPECIFICコマンドの該当ビットが設定されて、ALERTピンがローになります。コントローラに対する目的の設定を書き込み、STORE\_USER\_ALLコマンドを実行してからCLEAR\_FAULTSコマンドを実行することで、EEPROMの修復を試みるすることができます。

LTC3889は、EEPROMにECC検査とCRC検査を実装することにより、製造データとユーザ・データの完全性を保護します。EEPROMでのシングル・ビット障害の内容をECCが訂正できない場合、CRCエラーが発生します。これにより、ダブル・ビット障害は全て検出されます。EEPROMの製造データ部分またはユーザ・データ部分でCRC検査が不合格になると、STATUS\_MFR\_SPECIFICコマンドの「EEPROM CRC Fault」が設定されます。CLEAR\_FAULTSを発行するかこのビットに1を書き込むことでビットをクリアした後に、ビットが設定されたままの場合は、回復不能な障害が発生しています。こうした種類の障害についてEEPROMを現場で修復することは想定していません。

## 動作

### 電源の投入と初期化

LTC3889は、独立した電源シーケンス制御と、制御されたターンオン動作およびターンオフ動作を実現する目的で設計されています。このデバイスは1つの $V_{IN}$ 入力電源(6V~60V)で動作できますが、2つの内蔵リニア電圧レギュレータが内部の2.5Vおよび3.3Vを生成します。 $V_{IN}$ が6Vを超えることがなく、EXTV<sub>CC</sub>ピンが外部電源によって駆動されない場合は、DRV<sub>CC</sub>ピンと $V_{IN}$ ピンを互いに接続する必要があります。LTC3889のEXTV<sub>CC</sub>ピンを外部電源で駆動することで、回路の効率を向上して、LTC3889での消費電力を最小限に抑えることができます。DRV<sub>CC</sub>電圧LDOがEXTV<sub>CC</sub>ピンの電圧によって動作するには、その前にEXTV<sub>CC</sub>ピンの電圧が約5.3V(DRVSET = 1、2の場合は7.7V)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、EXTV<sub>CC</sub>ピンにはスイッチング・レギュレータ、またはLTC3889の出力から電力を供給できます。EXTV<sub>CC</sub>ピンの電圧が $V_{IN}$ ピンの電圧を超えてもかまいません。EXTV<sub>CC</sub>ピンの電圧が $V_{IN}$ の電圧より約200mV高くなると、DRV<sub>CC</sub>電圧のLDOはEXTV<sub>CC</sub>ピンの電圧によって動作します。コントローラの設定は内部閾値ベースのUVLOによって初期化されます。ここでは $V_{IN}$ を約4.2Vにする必要があり、3.3Vおよび2.5Vの各リニア電圧レギュレータを安定化電圧の値の約20%以内にする必要があります。PMBusのRESTORE\_USER\_ALLコマンドまたはMFR\_RESETコマンドを実行した場合も、同じ初期化が強制的に行われます。

初期化時には、外付けの設定抵抗が識別され、EEPROMの内容がコントローラのコマンドに読み込まれます。BG<sub>n</sub>、TG<sub>n</sub>、PGOOD<sub>n</sub>、RUN<sub>n</sub>の各ピンはローに保持されます。FAULT<sub>n</sub>ピンは高インピーダンス・モードになります。LTC3889は表3~6の記載内容に従って、抵抗で定義されたパラメータを判別します。詳細については、抵抗設定のセクションを参照してください。抵抗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です。残りの値は出荷時にEEPROMにプログラムされます。あるいは、お客様にプログラムしていただきます。

設定抵抗を挿しなかった場合、またはRCONFIG無視ビット(MFR\_CONFIG\_ALL\_LTC3889構成コマンドのビット6)をアサートした場合、LTC3889はEEPROMの内容だけを使用してDC/DC特性を決定します。これらのピンがオープンでない限り、電源投入時またはリセット時に読み出されたASEL0およびASEL1の値は常に有効です。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。

デバイスの初期化が完了すると、別のコンパレータが $V_{IN}$ をモニタします。出力電源のシーケンス制御を開始するには、VIN\_ONの閾値を超える必要があります。 $V_{IN}$ が初めて印加されてからデバイスがTON\_DELAYタイマーを初期化して始動するまでに、通常は35msかかります。電圧と電流の読出しには、更に0ms~90msかかります。

### ソフトスタート

デバイスはソフトスタートの前に動作状態になっている必要があります。RUNピンがLTC3889によって解放されるのは、デバイスが初期化され、 $V_{IN}$ がVIN\_ONの閾値より高くなった後です。アプリケーションに複数のLTC3889を使用している場合は、全てのデバイスが初期化され、全てのデバイスについて $V_{IN}$ がVIN\_ONの閾値を超えるまで、全てのデバイスがそれぞれのRUNピンをローに保持します。SHARE\_CLKピンは、信号に接続されている全てのデバイスが同じタイム・ベースを使用するようにします。 $V_{IN}$ の印加後で、 $V_{IN}$ がVIN\_ON閾値を超えた後は、デバイスが初期化されるまでSHARE\_CLKピンはローに保持されます。SHARE\_CLKがロー(MFR\_CHAN\_CONFIG\_LTC3889のビット2を1に設定)の場合は、LTC3889がオフ(またはオフのままに)するよう設定できます。これにより、基板の制約によってRUNピンを互いに接続できない場合でも、多数のアナログ・デバイス間の同期が可能になります。一般に、デバイス間の同期に配慮する場合は、それぞれのRUNピンおよびSHARE\_CLKピンを全て互いに接続して、5.49kの抵抗でV<sub>DD33</sub>にプルアップするのが最善です。これにより、全てのデバイスがシーケンス制御を同時に開始して同じタイム・ベースを使用します。

RUN<sub>n</sub>ピンが解放された後、一定の出力電圧レギュレーション状態に入る前に、LTC3889は単調な初期ランプまたは「ソフトスタート」を実行します。ソフトスタートは、負荷電圧を能動的に安定化しつつ、目的の電圧を0Vからコマンド指定の電圧設定値までデジタル式に増加することによって実行します。(電源投入後と初期化後に) LTC3889の起動をコマンドで指定すると、コントローラはユーザ指定のターンオン遅延(TON\_DELAY)の間待機した後、この出力電圧ランプを開始します。電圧ランプの立上がり時間をTON\_RISEコマンドを使用してプログラムし、起動電圧ランプに関連した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を無効にするには、TON\_RISEの値を0.25msより小さい任意の値に設定します。LTC3889のPWMは、TON\_

## 動作

RISE動作の間、常に不連続モードを使用します。不連続モードでは、インダクタに逆電流が流れていることが検出されると、下側のゲートはすぐにオフになります。これにより、レギュレータはプリバイアスされた負荷状態で起動できるようになります。TON\_MAX\_FAULT\_LIMITに到達すると、デバイスは連続モードに遷移します(事前にプログラムしてある場合)。TON\_MAX\_FAULT\_LIMITを0に設定すると、時間制限がなくなってデバイスはTON\_RISEの経過後に目的の導通モードに遷移し、V<sub>OUT</sub>はV<sub>OUT\_UV\_FAULT\_LIMIT</sub>を超え、I<sub>OUT\_OC</sub>はなくなります。

## 時間ベースのシーケンス制御

出力のオンとオフをシーケンス制御するデフォルトのモードは時間ベースです。出力がイネーブルされるのは、RUN<sub>n</sub>ピンがハイになるか、PMBusコマンドによってオンにするか、V<sub>IN</sub>ピンの電圧が事前設定電圧より高くなってから、TON\_DELAYの時間待機した後です。オフ・シーケンス制御は同様の方法で処理されます。適切なシーケンス制御を実施するため、全てのICでSHARE\_CLKピンを互いに接続し、かつRUNピンを互いに接続します。何らかの理由でRUNピンを互いに接続できない場合は、MFR\_CHAN\_CONFIG\_LTC3889のビット2を1に設定します。このビットにより、電源出力が起動するには、その前にSHARE\_CLKピンをクロックで制御することが必要になります。RUN<sub>n</sub>ピンがローになると、LTC3889はこのピンをMFR\_RESTART\_DELAYの時間中、ローに保持します。MFR\_RESTART\_DELAYの最小値は、TOFF\_DELAY + TOFF\_FALL + 136msです。この遅延により、全てのレールのシーケンスが適切に制御されます。LTC3889はこの遅延を内部で計算し、これより短い遅延時間では処理しません。ただし、デバイスはこれより長い時間が指定されたMFR\_RESTART\_DELAYを使用できます。最大許容値は65.52秒です。

## イベントベースのシーケンス制御

出力のUV閾値を超えると、PGOOD<sub>n</sub>ピンがアサートされます。あるLTC3889のPGOOD<sub>n</sub>ピンから、シーケンスの次のLTC3889のRUNピンに電力を供給できます。これは複数のLTC3889にまたがって実装できます。一連のレールに障害が検出されると、障害が発生したレールと下流のレールだけ障害でオフになります。障害が発生したレールの上流にある一連のデバイスのレールは、コマンド指定でオフにしない限り、引き続きオンのままです。

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

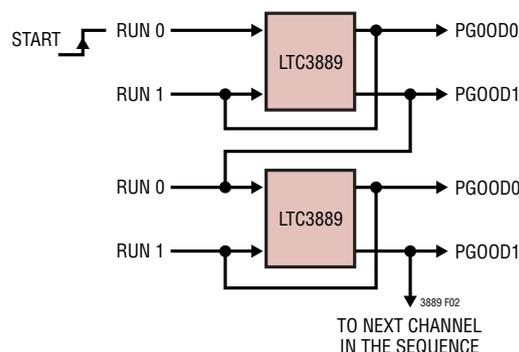


図2. イベント(電圧)ベースのシーケンス制御

## シャットダウン

LTC3889は3つのシャットダウン・モードに対応します。最初のモードは連続導通モードで、ユーザ定義のターンオフ遅延(TOFF\_DELAY)と下降率(TOFF\_FALL)を指定できます。コントローラは負荷から電流を流してTOFF\_FALLを強制的に実行します。2番目のモードは不連続導通モードです。不連続導通モードでは、コントローラは負荷から電流を流さなくなり、立下がり時間は出力容量と負荷電流によって設定されます。

3番目のシャットダウン・モードになるのは、障害状態、SHARE\_CLKが失われた場合(MFR\_CHAN\_CONFIG\_LTC3889のビット2を1に設定した場合)、V<sub>IN</sub>がVIN\_OFF閾値より低くなった場合、またはFAULT<sub>n</sub>が外部からローにされた場合(MFR\_FAULT\_RESPONSEを禁止に設定した場合)です。これらの状況では、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、パワー段がデイスエーブルされます。シャットダウン状態には、ソフトスタート状態から入ることもアクティブなレギュレーション状態から入ることもあります。

再試行モードでは、コントローラは、プログラム可能な遅延時間(MFR\_RETRY\_DELAY)の間にシャットダウンして非アクティブ状態に入ることにより、障害に応答します。出力がデイスエーブルされるとシャットダウンの原因となる障害が消滅する場合は、この遅延によって自動再試行に関連したデューティ・サイクルが最小限に抑えられます。再試行遅延時間は、MFR\_RETRY\_DELAYコマンドの時間と、安定化出力が設定値の12.5%より低くなるまでに必要な時間の長い方によって決まります。複数の出力が同じFAULT<sub>n</sub>ピンによって制御される場合は、障害が発生した出力の減衰時間

## 動作

によって再試行遅延時間が決まります。出力の自然な減衰時間が長すぎる場合は、MFR\_CHAN\_CONFIG\_LTC3889のビット0をアサートすることにより、MFR\_RETRY\_DELAYコマンドの電圧条件を取り除くことができます。あるいは、コントローラを設定して、障害発生後にコントローラをラッチオフ状態のままにすることもできます。出力を再イネーブリングするには、RUNの切替えや、デバイスをオフにしてからオンにするコマンドの実行などの手動操作が必要です。

### 軽負荷電流動作

LTC3889には、不連続導通モードと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。モード選択はMFR\_PWM\_MODE\_LTC3889コマンドを使用して行います(不連続導通モードは常に起動モードであり、強制連続モードはデフォルトの実行モードです)。

コントローラが不連続導通動作になるようにイネーブリングされていると、インダクタ電流は反転できません。インダクタ電流がゼロに達する直前に、逆電流コンパレータ $I_{REV}$ が下側ゲートの外付けMOSFETをオフにして、インダクタ電流が反転して負にならないようにします。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。インダクタのピーク電流は、 $I_{TH}$ 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の場合よりも低下します。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少なく済みます。強制連続導通モードでは、逆方向のインダクタ電流が発生して、これが入力電源電圧を上昇させる原因になることがあります。VIN\_OV\_FAULT\_LIMITはこれを検出して、障害の原因となるチャンネルをオフにすることができます。ただし、この障害はADCの読出しに基づいており、検出するのに最大90msの時間がかかります。入力電源の昇圧について懸念がある場合は、デバイスを不連続導通状態に維持します。

### PWMループ補償

LTC3889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。

LTC3889のPWMエラー・アンプのトランスコンダクタンスは、MFR\_PWM\_COMPコマンドのビット[7:5]を使用して調整できます。

詳細については、アプリケーション情報のセクションに記載されているプログラム可能なループ補償のサブセクション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部タイム・ベースを使用して設定できます。内部フェーズ・ロック・ループ(PLL)は、クロックを内部で供給するか外部から供給するかにかかわらず、PWM制御をこのタイミング・リファレンスに同期させ、適切な位相関係を維持します。また、表4と表5に概要を示すように、PMBusコマンド、EEPROM設定、または外付け設定抵抗によって他のICにマスタ・クロックを供給するようにデバイスを構成することもできます。

クロック・マスタとして、LTC3889は、そのオープンドレインのSYNCピンを、選択されたレートと500nsのパルス幅で駆動します。この場合には、SYNCと $V_{DD33}$ の間に外付けプルアップ抵抗が必要です。SYNCに接続した1デバイスのみを指定してこのピンを駆動します。クロック・マスタとしてプログラムされている複数のLTC3889をプルアップ抵抗を使用して同じSYNC線に結線すると、いずれか1つのデバイスだけがクロック信号を供給するよう自動的に選択され、他のデバイスはそのSYNC出力をディスエーブルします。

LTC3889はSYNCの外部入力を自動的に受け付けて、必要に応じてデバイス自体のSYNC駆動回路をディスエーブルします。LTC3889は、SYNCを駆動するように構成されているかどうかにかかわらず、外部クロック信号が後で失われた場合、デバイス自体の内部発振器を使用してPWM動作を継続できます。また、MFR\_CONFIG\_ALL\_LTC3889のビット4を設定することにより、PWM動作のために外部発振器が必ず必要になるようにデバイスをプログラムすることができます。SYNCドライバのステータスは、MFR\_PADSのビット10によって示されます。

MFR\_PWM\_CONFIG\_LTC3889コマンドを使用して、各チャンネルの位相を設定できます。また、表5に概要を示すように、目的の位相はEEPROMまたは外付け設定抵抗に

## 動作

より設定できます。指定の位相は、SYNCの立下がりエッジと、PWMラッチを設定して上側のパワー・スイッチをオンする内部クロック・エッジとの関係です。PWM制御ピンには、短時間の追加伝播遅延も適用されます。FREQUENCY\_SWITCHコマンドとMFR\_PWM\_CONFIG\_LTC3889コマンドをLTC3889に書き込むには、その前に両方のチャンネルをオフ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ため、アプリケーションに多数のオプションが生じます。複数のLTC3889を同期して、PolyPhaseアレイを実現できます。この場合には、位相を $360/n$ 度で区切ります。ここで、 $n$ は出力電圧レールを駆動する位相の数です。

### 出力電圧の検出

チャンネル0の差動アンプでは、 $V_{SENSE0n}$ ピンをロー・レベルの範囲内にすることにより、負荷の電圧を差動でリモート検出できます。ハイ・レベルの範囲では、チャンネル0の検出ピン( $V_{SENSE0}$ )はGNDを基準にしています。チャンネル1の検出ピン( $V_{SENSE1}$ )は、常にGNDを基準にしています。(遠隔測定用)ADCは完全に差動であり、チャンネル0と1の出力電圧をそれぞれ $V_{SENSE0n}$ ピンと $V_{SENSE1}/GND$ ピンで測定します。 $V_{SENSE0}^+$ と $V_{SENSE0}^-$ の間における最大許容の差動検出電圧は40Vです。

### 出力電流の検出

DCR電流検出アプリケーションでは、インダクタの両端に抵抗とコンデンサを直列に接続します。この構成では、図3に示すように、インダクタのFET側に抵抗を接続するのに対して、インダクタの負荷側にコンデンサを接続します。RC時定数がインダクタ時定数( $L/DCR$ 、DCRはインダクタの直列抵抗)と一致するようにRとCの値を選択すると、結果としてコンデンサの両端に現れる電圧( $V_{DCR}$ )はインダクタの直列抵抗両端の電圧と等しくなるので、インダクタを流れる電流がわかります。RCの計算は、室温でのインダクタのDCRに基づいています。

RC時定数は、温度の関数として、一定に維持されるようにします。これにより、回路の過渡応答は、温度にかかわらず同じになります。インダクタのDCRの温度係数は大きく、約

3900ppm/°Cです。インダクタの温度係数は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し、内部電流制限回路を調整して温度による実質的な定電流制限を維持するために使用します。このアプリケーションでは、 $I_{SENSE}^+$ ピンをコンデンサのFET側に接続するのに対して、 $I_{SENSE}^-$ をコンデンサの負荷側に配置します。入力で検出された電流は、その後、式 $V_{DCR}/DCR$ によって与えられます。 $V_{DCR}$ は、入力電圧範囲が $\pm 100mV$ 、ノイズ・フロアが $7\mu V_{RMS}$ 、ピークtoピーク・ノイズが約 $46.5\mu V$ であるLTC3889の遠隔測定ADCによってデジタル化されます。LTC3889は、IOUT\_CAL\_GAINコマンドに格納されたDCRの値とMFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TCコマンドに格納された温度係数を使用してインダクタ電流を計算します。得られる電流値はREAD\_IOUTコマンドによって返されます。

### 入力電流の検出

LTC3889とパワー段によって消費される全入力電流を検出するため、電源電圧と上側NチャンネルMOSFETのドレインの間に抵抗を配置しています。検出抵抗には $I_{IN}^+$ ピンと $I_{IN}^-$ ピンを接続します。フィルタ処理された電圧は内部の高電位側電流検出アンプによって増幅され、LTC3889の遠隔測定ADCによってデジタル化されます。入力電流検出アンプには3つのゲイン設定値(2倍、4倍、8倍)があり、MFR\_PWM\_CONFIG\_3889コマンドのビット[6:5]によって設定されます。3つのゲイン設定の最大差動入力検出電圧は、それぞれ50mV、20mV、5mVです。LTC3889は、IIN\_CAL\_GAINコマンドに格納されたRの値を使用して入力電流を計算します。パワー段の電流の測定結果は、READ\_IINコマンドによって返されます。

LTC3889は、RVIN抵抗を使用して、LTC3889が消費する $V_{IN}$ ピンの電源電流を測定します。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に記載されている入力電流検出アンプという表題のサブセクションを参照してください。

## 動作

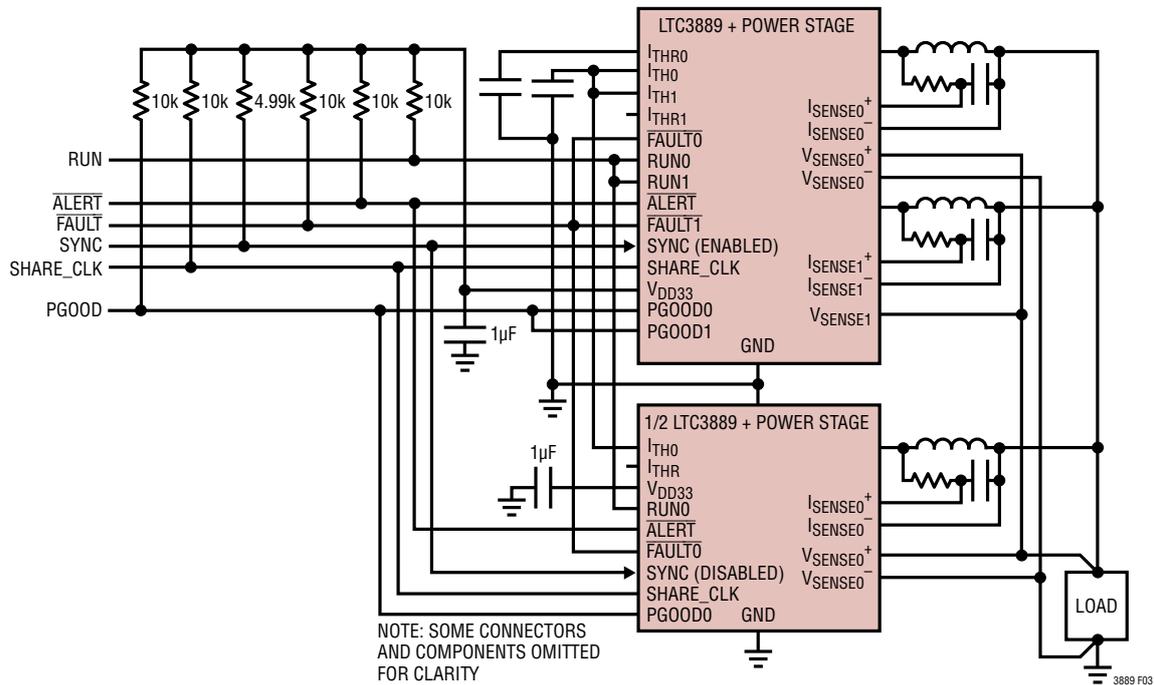


図 3.3 相動作に対応した負荷分担接続

## PolyPhaseによる負荷分担

必要なピンを接続することにより、複数のLTC3889を並列に接続して、バランスのとれた負荷分担ソリューションを実現できます。図3に、負荷分担に必要な共有接続を示します。

SYNCピンをイネーブルするのは、いずれか1つのLTC3889だけにします。その他のLTC3889は、発振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プログラムします。MFR\_PWM\_CONFIGコマンドのビット[7]を設定した場合、チャンネル1はチャンネル0の帰還ノードをそのレギュレーション点として使用するようになります。両方のV<sub>OUT</sub>ピンを互いに接続していて、かつ両方のI<sub>TH</sub>ピンを互いに接続している場合、PolyPhaseアプリケーション以外ではMFR\_PWM\_CONFIGのビット[7]をアサートしないでください。

## 外部温度／内部温度の検出

外部温度は、MMBT3906のようなダイオード接続のPNPトランジスタを遠隔で使用して測定するのが最善です。エミッタはTSNSピンに接続する一方で、PNPトランジスタのベース端子とコレクタ端子は、ケルビン接続を使用してLTC3889のGND（ピン53）に接続して直接戻す必要があります。エミッタとコレクタの間のバイパス・コンデンサは、トランジスタの

近くに配置する必要があります。2種類の異なる電流（公称2μAおよび32μA）をダイオードに流して、内蔵の16ビットADCによるΔV<sub>BE</sub>測定から温度を計算します。

また、LTC3889は、V<sub>BE</sub>ベースの外部温度の直接測定もサポートしています。この場合は、ダイオードまたはダイオード・ネットワークを特定の電流および温度で特定の電圧に調整します。一般に、この方法では単体のPNPトランジスタの結果と同じ精度には達しませんが、ノイズの多いアプリケーションではうまく機能することがあります。これら2つの外部温度検出設定に関するLTC3889のプログラミングについては、PMBusコマンドの詳細のセクションのMFR\_PWM\_MODE\_LTC3889を参照してください。

温度の計算値はPMBus 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、温度の計算値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、内蔵ダイオードとΔV<sub>BE</sub>測定および計算を使用することにより、LTC3889の内部ジャンクション温度を返します。

## 動作

### RCONFIG (抵抗設定) ピン

V<sub>DD25</sub>とGNDの間に1%精度の抵抗分圧器を使用して重要な動作パラメータを選択する6つの入力ピンがあります。これらのピンはASEL0、ASEL1、FREQ\_CFG、V<sub>OUT0\_CFG</sub>、V<sub>OUT1\_CFG</sub>、PHAS\_CFGです。ピンがフロート状態の場合は、対応するEEPROMコマンドに格納された値を使用します。MFR\_CONFIG\_ALL\_LTC3889設定コマンドのビット6がEEPROMでアサートされると、抵抗入力は電源投入時に無視されますが、ASEL0とASEL1は例外で、常に有効です。抵抗設定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<sub>OUTn\_CFG</sub>ピンの設定については、表3で説明しています。これらのピンは、LTC3889のアナログPWMコントローラの出力電圧を選択するピンです。ピンがオープンの場合は、VOUT\_COMMANDコマンドをEEPROMから読み出して出力電圧を決定します。デフォルトの設定では、電圧設定ピンが装備されていない限りスイッチャをオフにします。

RCONFIGピンを使用して出力電圧を決める場合は、以下のパラメータを出力電圧のパーセント値として設定します。

- 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%

FREQ\_CFGピンの設定については、表4で説明しています。このピンはスイッチング周波数を選択するピンです。2つのチャンネルとSYNCピンの間の位相関係は、表5で説明しているPHAS\_CFGピンによって決まります。外部クロックと同期するには、デバイスを外部クロック・モードにします (SYNC出力はディスエーブルするが周波数は公称値に設定)。外部クロックを入力しない場合、デバイスは設定周波数でクロックを制御します。アプリケーションがマルチフェーズで、デバイス間のSYNC信号が失われると、デバイスは同じ周波数にならず、出力のリプル電圧が大きくなり、場合によっては望ましくない動作が生じます。外部SYNC信号が内部で生成され、外部SYNCを選択していない場合、MFR\_PADSのビット10がアサートされます。周波数を選択しておらず、外部SYNC周波数が存在しない場合は、PLL\_FAULT

が発生します。電源投入時に有効な同期信号がない場合でも、PLL\_FAULTからの $\overline{\text{ALERT}}$ を見たくない場合は、PLL\_FAULTに対して $\overline{\text{ALERT}}$ マスクを書き込む必要があります。詳細についてはSMBALERT\_MASKに関する説明を参照してください。複数のIC間でSYNCピンを接続している場合は、いずれか1つのICのみSYNCピンをイネーブルし、それ以外の全てのICではSYNCピンをディスエーブルするよう設定します。

ASEL0ピンとASEL1ピンの設定については、表6で説明しています。ASEL1は、LTC3889のスレーブ・アドレスの上位3ビットを選択します。ASEL0は、LTC3889のスレーブ・アドレスの下位4ビットを選択します。ASEL1をフロート状態にすると、上位3ビットはEEPROM MFR\_ADDRESSコマンドから読み出されます。ASEL0をフロート状態にすると、スレーブ・アドレスの下位4ビットは、EEPROM MFR\_ADDRESSコマンドに格納されている下位4ビットを使用して決定します。詳細については、表6を参照してください。

注記：PMBusの仕様に従って、ピンでプログラムしたパラメータはデジタル・インターフェースからのコマンドによりオーバーライドできます。ただし、ASEL<sub>n</sub>ピンは例外で、常に優先されます。デバイス・アドレスは0x5Aまたは0x5Bに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するようになるからです。

### 障害の処理

障害および警告の様々な報告と処理の仕組みが用意されています。障害および警告の検出機能は以下のとおりです。

- 入力OV FAULT保護およびUV警告
- 入力の平均OC警告
- 出力OV/UV障害および警告の保護
- 出力OC障害および警告の保護
- 内部および外部の過熱障害および警告保護
- 外部低温障害および警告保護
- CML障害(通信、メモリ、またはロジック)
- 双方向の $\overline{\text{FAULT}}_n$ ピンを介した外部障害検出

更に、LTC3889は、 $\overline{\text{FAULT}}_n$ 応答の伝搬コマンドであるMFR\_FAULT\_PROPAGATE\_LTC3889を使用して、障害イ

## 動作

ンジケータの組み合わせのいずれかを  $\overline{\text{FAULT}}_n$  ピンに対応付けることができます。 $\overline{\text{FAULT}}_n$  ピンは、外部クロバ・デバイスのドライバ、過熱アラート、過電圧アラートとして使用するか、マイクロコントローラが障害コマンドに対してポーリングを開始する引き金となる割り込みとして使用するのが一般的です。あるいは、即時の応答が要求されるコントローラの下流で外部障害を検出する入力として  $\overline{\text{FAULT}}_n$  ピンを使用することもできます。

ソフトスタートのセクションで説明したように、起動は連鎖イベントを通じて制御できます。 $\overline{\text{FAULT}}_n$  を使用して別のコントローラの RUN ピンを駆動する場合は、フィルタ処理なしの VOUT\_UV 障害リミットを  $\overline{\text{FAULT}}_n$  ピンに割り当ててください。

障害や警告のイベントが発生すると、障害または警告が SMBALERT\_MASK によってマスクされない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンはローにアサートされます。このピンは、CLEAR\_FAULTS コマンドが発行される、障害ビットに 1 が書き込まれる、バイアス電源が入れ直される、MFR\_RESET コマンドが発行される、RUN ピンのオフ/オンが切り替えられる、PMBus を介してデバイスのオフ/オンがコマンドで指定される、といったことが完了するまではローにアサートされたままになります。MFR\_FAULT\_PROPAGATE\_LTC3889 コマンドは、障害が検出されたときに  $\overline{\text{FAULT}}_n$  ピンをローにするかどうかを判別します。

出力と入力の障害イベント処理は、表 7~11 に規定されているように、対応する障害応答バイトによって制御されます。これらの種類の障害からのシャットダウン回復は、自律型とラッチ型のいずれかになります。自律型の回復では障害がラッチされないため、再試行間隔の経過後は障害状態が存在しなくなり、新しいソフトスタートが試行されます。障害が解消されない場合、コントローラは再試行を続行します。再試行間隔は MFR\_RETRY\_DELAY コマンドによって規定され、電源の入れ直しを繰り返すことによってレギュレータ部品の損傷を防止します。ただし、障害自体が破壊に直結していないことが前提です。MFR\_RETRY\_DELAY は 120ms より長くする必要があります。83.88 秒を超えることはできません。

### ステータス・レジスタと $\overline{\text{ALERT}}$ のマスクング

図 4 は、PMBus コマンドによってアクセス可能な LTC3889 の内部ステータス・レジスタをまとめたものです。これらには、各種の障害、警告、およびその他の重要な動作条件の表示

が含まれています。ここに示すように、STATUS\_BYTE コマンドと STATUS\_WORD コマンドは、他のステータス・レジスタの内容も要約しています。個別の情報については PMBus コマンドの詳細を参照してください。

STATUS\_BYTE の NONE OF THE ABOVE は、STATUS\_WORD の最上位ニブルのうちの 1 ビット以上が設定されていることも示します。

一般に、STATUS\_x レジスタにアサートされたビットがあると、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンはローになります。いったん設定されると、以下のいずれかが行われるまで、 $\overline{\text{ALERT}}$  はローのままです。

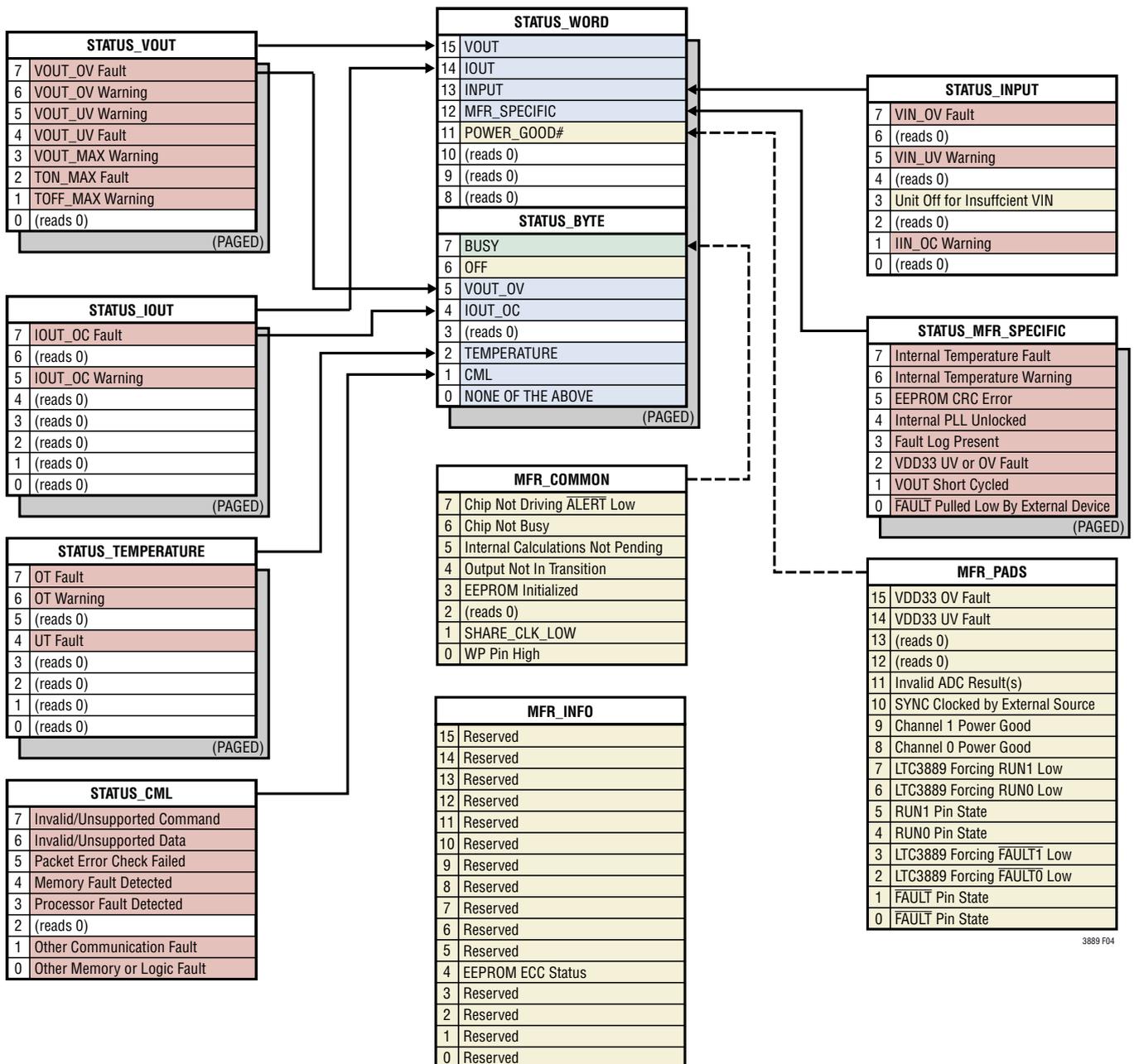
- CLEAR\_FAULTS コマンド、RESTORE\_USER\_ALL コマンド、または MFR\_RESET コマンドが発行される
- 関連のステータス・ビットに 1 が書き込まれる
- 障害発生チャンネルをオフにしてからオンに戻すコマンドが適切に実行される
- PMBus の ARA の間に LTC3889 がそのアドレスを正常に送信する
- バイアス電源を入れ直す

一部の例外を除き、SMBALERT\_MASK コマンドを使用して、LTC3889 がこれらのレジスタの複数のビットに対してビット単位で  $\overline{\text{ALERT}}$  をアサートしないようにすることができます。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 および STATUS\_BYTE に適用されます。例えば、チャンネル 0 の STATUS\_VOUT の全てのビットに対して  $\overline{\text{ALERT}}$  がマスクされると、 $\overline{\text{ALERT}}$  が実質的にマスクされる対象ビットは、PAGE 0 では STATUS\_WORD の VOUT ビットになります。

また、STATUS\_BYTE の BUSY ビットも  $\overline{\text{ALERT}}$  をローにアサートし、マスクすることはできません。このビットは PMBus 通信との様々な内部での相互作用の結果として設定できます。この障害が発生するのは、一方または両方のチャンネルをイネーブルしている状態で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たように、BUSY 障害は、いくつかのコマンドを実行する前に MFR\_COMMON をポーリングすることで回避できます。

マスクされている障害が電源投入直後に発生した場合、設定されている全てのマスク情報を EEPROM から取り出す時間がなかったことが原因で  $\overline{\text{ALERT}}$  が引き続きローになることがあります。

動作



DESCRIPTION	MASKABLE	GENERATES ALERT	BIT CLEARABLE
General Fault or Warning Event	Yes	Yes	Yes
General Non-Maskable Event	No	Yes	Yes
Dynamic	No	No	No
Status Derived from Other Bits	No	Not Directly	No

図 4. LTC3889 ステータス・レジスタの概要

## 動作

MFR\_COMMONおよびMFR\_PADSに格納されているステータス情報を使用して、図に示すようにSTATUS\_BYTEまたはSTATUS\_WORDの内容を更にデバッグするか明確にすることができますが、これらのレジスタの内容はALERTピンの状態には影響しないので、STATUS\_BYTEまたはSTATUS\_WORDのビットに直接影響することはありません。

### FAULTピンへの障害情報のマッピング

LTC3889のFAULT<sub>n</sub>ピンは、チャンネル間で障害情報を共有できます。また、LTC3880、LTC2974、LTC2978、LTC4676 μModule<sup>®</sup>など、アナログ・デバイセズの全PMBus製品との間でも障害情報を共有できます。内部障害が発生した場合は、バスに接続されているFAULT<sub>n</sub>ピンがローになるように、1つまたは複数のLTC3889が設定されます。その後、FAULT<sub>n</sub>ピンのバスがローになると、他のLTC3889はシャットダウンするように設定されます。グループの自動再試行では、再試行間隔の経過後、LTC3889の障害発生チャンネルがFAULT<sub>n</sub>ピンのバスを解放するよう設定され、元の障害は解消されたものとみなされます。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。障害応答がLATCH\_OFFである場合は、RUNピンがオフ/オンに切り替えられるか、デバイスがオフ/オンをコマンドで指定されるまで、FAULT<sub>n</sub>ピンはローにアサートされたままです。RUNピンの切替えをピンまたはオフ/オン・コマンドのいずれかで行うと、LTC3889に関連付けられている障害は解消されます。いずれかのRUNピンを切り替えるときに、全ての障害を解消しておくことが望まれる場合は、MFR\_CONFIG\_ALL\_LTC3889のビット0を1に設定します。

全ての障害および警告のステータスは、STATUS\_WORDコマンドとSTATUS\_BYTEコマンドで要約されます。

その他の障害検出機能と処理機能は以下のとおりです。

### パワーグッド・ピン

LTC3889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。チャンネルの出力電圧がチャンネルのUVおよびOV電圧閾値範囲内に入っていないと、MOSFETによってPGOOD<sub>n</sub>ピンはローになります。TON\_DELAYとTON\_RISEのシーケンス制御時に、PGOOD<sub>n</sub>ピンはローに保持されます。また、PGOOD<sub>n</sub>ピンは、それぞれのRUN<sub>n</sub>ピンがローになったときもローになります。PGOOD<sub>n</sub>ピンの応答は、内部の60μsデジタル・フィルタによってグリッチが除去されます。PGOOD<sub>n</sub>ピンとPGOODのステータスは、最大10μsの内部通信遅延が原因で異なる場合があります。

### シリアル・インターフェース

LTC3889のシリアル・インターフェースは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で動作できます。アドレスはEEPROMまたは外付け抵抗分圧器のいずれかを使用して設定可能です。更に、LTC3889はグローバル・ブロードキャスト・アドレスである0x5A(7)または0x5B(7)には必ず応答します。

シリアル・インターフェースは、PMBus仕様に規定された、以下のプロトコルをサポートします。1) コマンド送信、2) バイト書込み、3) ワード書込み、4) グループ、5) バイト読出し、6) ワード読出し、7) ブロック読出し、8) ブロック書込み、9) PAGE\_PLUS\_READ、10) PAGE\_PLUS\_WRITE、11) SMBALERT\_MASK読出し、および12) SMBALERT\_MASK書込み。PMBusマスタがPECを要求した場合、全ての読出し動作は有効なPECを返します。MFR\_CONFIG\_ALL\_LTC3889コマンドのPEC\_REQUIREDビットを設定した場合は、LTC3889が有効なPECを受け取るまでPMBus書込み動作は実行されません。

### 通信保護

PEC書込みエラー(PEC\_REQUIREDが有効な場合)、サポート外のコマンドへのアクセス試行、またはサポート対象のコマンドへの無効なデータ書込みがあると、CML障害が発生します。STATUS\_BYTEコマンドとSTATUS\_WORDコマンドのCMLビットが設定され、STATUS\_CMLコマンドの該当ビットが設定されて、ALERTピンがローになります。

### デバイスのアドレス指定

LTC3889のPMBusインターフェースを介したアドレス指定には、次の4種類が用意されています。1) グローバル、2) デバイス、3) レールによるアドレス指定および4) アラート応答アドレス(ARA)。

グローバル・アドレス指定は、バス上の全てのLTC3889デバイスのアドレスを指定する手段をPMBusマスタに提供します。LTC3889のグローバル・アドレスは、固定された0x5A(7)または0xB4(8)であり、無効化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の値を0xFFに設定した場合と同じ動作になります。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)または0xB6(8)はページ指定され、バス上にある全てのLTC3889デバイスのチャンネル固有のコマンドが可能です。アナログ・デバイセズの他のデバイス・タイプは、これらのグローバル・アドレスの一方または両方に応答できます。このため、グローバル・アドレスからは読み出さないでください。

## 動作

レールのアドレス指定は、互いに接続している全てのチャンネルと同時に通信して、1つの出力電圧を生成する手段をバス・マスタに提供します(PolyPhase)。更に、グローバル・アドレス指定の場合と同様、ページ指定されたMFR\_RAIL\_ADDRESS コマンドを使用してレール・アドレスを動的に割り当て、信頼できるシステム制御に必要なと思われるチャンネルの任意の論理的グループ化が可能になります。アナログ・デバイセズの複数のデバイスが応答する可能性があるため、レール・アドレスからは読み出さないでください。

デバイスのアドレス指定は、PMBus マスタがLTC3889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、設定ピンASEL0およびASEL1とMFR\_ADDRESS コマンドとの組み合わせによって設定します。デバイスのアドレス指定は、MFR\_ADDRESS に0x80という値を書き込むと無効になります。

以上の4つのPMBusアドレス指定方法は、いずれも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・アドレスとレール・アドレスでのLTC3889デバイスへの通信は、書き込み動作を実行するコマンドに限定してください。

### V<sub>OUT</sub>とI<sub>OUT</sub>の障害に対する応答

V<sub>OUT</sub>のOV状態とUV状態はコンパレータによってモニタされます。OVとUVのリミットは以下の3つの方法で設定します。

- 抵抗設定ピンを使用する場合はV<sub>OUT</sub>のパーセント値として設定する
- 出荷時またはGUIを介してプログラムする場合はEEPROMで設定する
- PMBus コマンドによって設定する

I<sub>IN</sub>およびI<sub>OUT</sub>の過電流モニタは、ADCの読出しと計算によって実行します。したがって、これらの値は平均電流に基づいており、最大120msの遅延時間が生じることがあります。I<sub>OUT</sub>の計算では、検出抵抗と抵抗の温度係数を考慮に入れています。入力電流は、R<sub>INSENS</sub>抵抗の両端で測定した電圧を、MFR\_RVIN コマンドで設定した抵抗値で割った値に等しくなります。この入力電流計算値がIN\_OC\_WARN\_LIMITを超えると、ALERTピンがローになり、STATUS\_INPUT コマンドのIIN\_OC\_WARNビットがアサートされます。

LTC3889内部のデジタル・プロセッサは、障害を無視する機能、シャットダウンしてラッチオフする機能、またはシャットダウンして無期限に再試行する(再試行)機能を備えています。再試行間隔はMFR\_RETRY\_DELAYで設定され、120ms~83.88秒まで1ms刻みで設定できます。OV/UVおよびOCに応じたシャットダウンは、直ちに実行することも、選択可能なデグリッチ時間の経過後に実行することもできます。

### 出力過電圧障害の応答

プログラム可能な過電圧コンパレータ(OV)は、出力でのトランジェント・オーバーシュートや長時間の過電圧からデバイスを保護します。そのような場合には、PMBusのVOUT\_OV\_FAULT\_RESPONSE コマンドのバイト値に関係なく、過電圧状態が解消されるまで、上側MOSFETがオフして下側MOSFETがオンします。このハードウェア・レベルの障害応答遅延時間は、過電圧状態からBGがハイにアサートされるまで代表値で2μsです。VOUT\_OV\_FAULT\_RESPONSE コマンドを使用すると、次のいずれかの動作を選択できます。

- OVプルダウンのみ(OVは無視できない)
- 即座にシャットダウン(スイッチング停止)—ラッチオフ
- 即座にシャットダウン-MFR\_RETRY\_DELAYで指定した時間間隔を使用して無期限に再試行

ラッチオフまたは再試行のいずれの障害応答でも、(0~7)・10μs刻みでグリッチを除去できます。表7を参照してください。

### 出力低電圧の応答

低電圧コンパレータの出力に対する応答は、以下のいずれかになります。

- 無視
- 即座にシャットダウン-ラッチオフ
- 即座にシャットダウン-MFR\_RETRY\_DELAYで指定した時間間隔を使用して無期限に再試行

UVの応答はグリッチを除去できます。表8を参照してください。

## 動作

### ピーク出力過電流障害の応答

電流モード制御アルゴリズムにより、インダクタ両端のピーク出力電流は、常にサイクル単位で制限されます。ピーク電流制限の値は、電気的特性の表で規定されています。電流制限回路は、 $I_{TH}$ の最大電圧を制限することによって動作します。DCRの検出を使用する場合、 $I_{TH}$ の最大電圧には、インダクタのDCRの温度係数に正比例する温度依存性があります。LTC3889は外部の温度センサーを自動的にモニタし、 $I_{TH}$ の許容最大値を変更してこの項を補償します。

過電流障害処理回路は以下の動作を実行できます。

- 電流を無期限に制限
- 即座にシャットダウン-ラッチオフ
- 即座にシャットダウン-MFR\_RETRY\_DELAYで指定した時間間隔を使用して無期限に再試行

過電流応答のグリッチは(0~7)・16ms刻みで除去できます。表9を参照してください。

### タイミング障害に対する応答

TON\_MAX\_FAULT\_LIMITは、 $V_{OUT}$ が起動時に上昇して安定するまでの許容時間です。出力はソフトスタート・シーケンスを経ているので、TON\_MAX\_FAULT\_LIMITの条件はVOUT\_UV\_FAULT\_LIMITの検出を前提にしています。TON\_MAX\_FAULT\_LIMITの時間が始まるのは、TON\_DELAYに達してソフトスタート・シーケンスが始まった後です。TON\_MAX\_FAULT\_LIMITの分解能は10 $\mu$ sです。TON\_MAX\_FAULT\_LIMITの時間以内にVOUT\_UV\_FAULT\_LIMITに達しない場合、この障害の応答はTON\_MAX\_FAULT\_RESPONSEコマンドの値によって決まります。この応答は以下のいずれかの状態にできます。

- 無視
- 即座にシャットダウン(スイッチング停止)—ラッチオフ
- 即座にシャットダウン-MFR\_RETRY\_DELAYで指定した時間間隔で無期限に再試行

この障害応答のグリッチは除去されません。TON\_MAX\_FAULT\_LIMITの値が0の場合は、障害が無視されることを意味します。TON\_MAX\_FAULT\_LIMITは、TON\_RISEの時間より長い値に設定します。

表11を参照してください。

### $V_{IN}$ の0V障害に対する応答

$V_{IN}$ の過電圧はADCを使用して測定します。応答のグリッチはADCの代表的な応答時間である90msまでに除去されます。障害の応答は以下のとおりです。

- 無視
- 即座にシャットダウン-ラッチオフ
- 即座にシャットダウン-MFR\_RETRY\_DELAYで指定した時間間隔を使用して無期限に再試行

表11を参照してください。

### OT/UT障害に対する応答

#### 内部過熱障害/警告の応答

内部温度センサーはEEPROMを損傷から保護します。85°Cより高い場合、EEPROMへの書込みは推奨しません。130°Cより高い場合は内部過熱警告閾値を超えるので、デバイスはRESTORE\_USER\_ALLおよびMFR\_RESET以外の全てのEEPROM関連コマンドに対してNACKを返し、無効なコマンドやサポートされていないコマンドに対してCML障害信号を出力します。EEPROMの動作が完全に再イネーブルされるのは、内部温度が125°Cより低くなったときです。ダイ温度が160°Cを超えると、内部過熱障害応答が有効になり、PWMは無効になって、ダイ温度が150°Cより低くなるまで続きます。温度はADCにより測定されます。内部温度障害は無視できません。内部温度リミットは調整できません。

表10を参照してください。

## 動作

### 外部過熱障害および低温障害の応答

外部温度センサーを使用して、インダクタやパワーMOSFETのような重要な回路素子の温度を検出できます。OT\_FAULT\_RESPONSE コマンドおよび UT\_FAULT\_RESPONSE コマンドを使用して、過熱状態および低温状態に対する適切な応答をそれぞれ決定します。外付けの温度検出素子を使用しない(非推奨)場合は、UT\_FAULT\_RESPONSE を無視するよう設定し、UT\_FAULT\_LIMIT を  $-275^{\circ}\text{C}$  に設定します。ただし、外付けの温度検出素子を使用しないことは推奨しません。

障害の応答は以下のとおりです。

- 無視
- 即座にシャットダウン-ラッチオフ
- 即座にシャットダウン-MFR\_RETRY\_DELAY で指定した時間間隔を使用して無期限に再試行

表 11 を参照してください。

### 外部障害に対する反応

いずれかの  $\overline{\text{FAULT}}_n$  ピンがローになると、MFR\_PADS コマンドのそれぞれの  $\overline{\text{FAULT}}_n$  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 ビットが設定されて、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンがローになります。応答のグリッチは除去されません。各チャンネルは、MFR\_FAULT\_RESPONSE コマンドを変更することにより、 $\overline{\text{FAULT}}_n$  ピンがローになるのに応じて、無視するよう設定するか、シャットダウンしてから再試行するように設定できます。 $\overline{\text{FAULT}}$  がローになったときに  $\overline{\text{ALERT}}$  ピンがローにアサートされないようにするには、MFR\_CHAN\_CONFIG\_LTC3889 のビット 1 をアサートするか、SMBALERT\_MASK コマンドを使用して  $\overline{\text{ALERT}}$  をマスクします。

### 障害ログ

LTC3889 は障害ログ機能を備えています。データは表 13 に示す順にメモリに記録されます。データは RAM の常時更新バッファに格納されます。障害が発生すると、障害ログのバッファが RAM のバッファから EEPROM にコピーされます。障害ログは  $85^{\circ}\text{C}$  より高い温度でも可能ですが、10 年のデータ保持期間は保証されません。ダイ温度が  $130^{\circ}\text{C}$  を超えると、障害ログは遅延し、ダイ温度が  $125^{\circ}\text{C}$  未満に低下するまで遅延したままです。障害ログ・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、障害ログ機能は再度有効化されます。障害ログを再度有効化する前に、障害が存在しないこと、および CLEAR\_FAULTS コマンドが発行されていることを確認してください。

LTC3889 は、起動するリセット状態を抜けると、EEPROM を検査して有効な障害ログの有無を確認します。EEPROM に有効な障害ログが存在する場合は、STATUS\_MFR\_SPECIFIC コマンドの「Valid Fault Log」ビットが設定され、 $\overline{\text{ALERT}}$  イベントが生成されます。また、LTC3889 が MFR\_FAULT\_LOG\_CLEAR コマンドを受け取るまで障害ログは遮断されるので、障害ログが再度有効になるのはその後です。

コントローラをディスエーブルする障害が発生すると、情報は EEPROM に格納されます。 $\overline{\text{FAULT}}_n$  ピンを外部からローにした場合、障害ログは作動しません。

### バスのタイムアウト保護

シリアル・インターフェースで障害が解消しない状況を防ぐため、LTC3889 はタイムアウト機能を実装しています。データ・パケット・タイマーはデバイス・アドレス書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。この時間を超過すると、LTC3889 はバスをスリーステートにして、与えられたデータ・パケットを無視します。時間を長くすることが必要な場合は、MFR\_CONFIG\_ALL\_LTC3889 のビット 3 をアサートして、代表的なバスのタイムアウトである 255ms を可能にします。データ・パケットの情報には、デバイス・アドレスのバイト書込み、コマンド・バイト、反復スタート・イベント(読出し動作の場合)、デバイス・アドレスのバイト読出し(読出し動作の場合)、全てのデータ・バイト、および PEC バイト(該当する場合)が含まれます。

LTC3889 では、ブロック読出しデータ・パケットの長さ按比例する PMBus タイムアウトが可能です。32 バイトを超える場合、デバイスは 1 バイト長につき 1ms を追加します。ブロック読出しの追加のタイムアウトは、主に MFR\_FAULT\_LOG コマンドに適用します。タイムアウトの時間は、デフォルトでは 30ms です。

シリアル・バス・インター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。LTC3889 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線インターフェースの類似点

PMBus 2線インターフェースは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、データの完全性を確保するオプションのパケット・エラー・チェック(PEC)機能を備えているので、PMBus/SMBusプロトコルはシンプルなI<sup>2</sup>Cのバイト・コマンドより堅牢です。通常、I<sup>2</sup>C通信用に構成できるマスター・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。

LTC3889はSMBusクロックの最高速度である100kHzに対応しており、MFR\_COMMONのポーリングまたはクロック・ストレッチングを有効にしている場合は、より高速のPMBus仕様(100kHz~400kHz)と互換性があります。堅牢な通信および動作については、PMBusコマンドの概要の注記のセクションを参照してください。クロック・ストレッチングは、MFR\_CONFIG\_ALL\_LTC3889のビット1をアサートすることにより有効になります。

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・インターフェース

LTC3889は、標準のPMBusシリアル・バス・インターフェースを使用してホスト(マスター)と通信します。バス上の信号のタイミング関係をタイミング図(図5)に示します。バスを使用していないときは、2本のバスライン(SDAとSCL)をハイ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。

LTC3889はスレーブ・デバイスです。マスタは以下のフォーマットでLTC3889と通信できます。

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

- バイト書込み、ワード書込み、バイト送信
- バイト読出し、ワード読出し、ブロック読出し、ブロック書込み
- 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はPEC(パケット・エラー・チェック)およびGCP(グループ・コマンド・プロトコル)をサポートしています。ブロック読出しは、255バイトの戻りデータに対応しています。したがって、障害ログを読み出すときにはPMBusの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最重要項目を表しています。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・レシーバーに送信する。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。最初のアクノレッジ(スレーブ・レシーバーによる)の時点で、マスタ・トランスミッタはマスタ・レシーバーになり、スレーブ・レシーバーがスレーブ・トランスミッタになります。
- 複合フォーマット。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 $\bar{W}$ ビットを反転させます。その場合、マスタ・レシーバー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。

凡例については、図6を参照してください。

堅牢なシステム通信を確保するため、ハンドシェイク機能が組み込まれています。詳細については、アプリケーション情報のセクションに記載されているPMBus通信とコマンド処理のサブセクションを参照してください。

## 動作

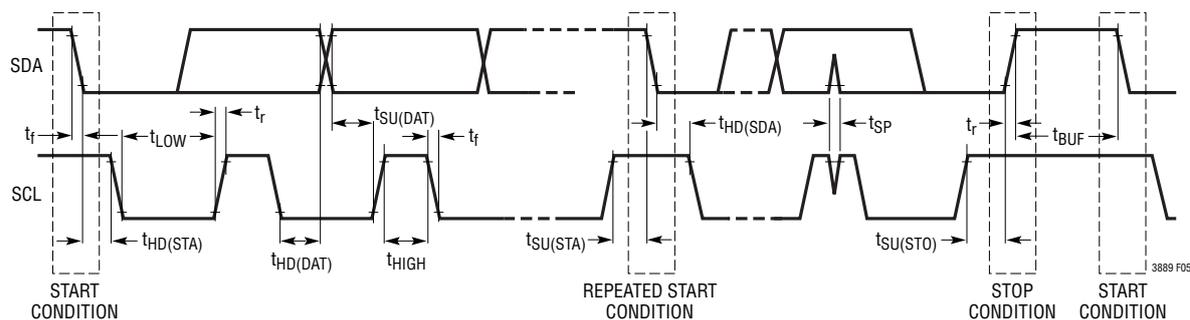


図5. タイミング図

表1. サポートされているデータ・フォーマットの略号

	PMBus		アナログ・ デバイスの 用語	定義	例
	用語	仕様の リファレンス			
L11	Linear	Part II ¶ 7.1	Linear_5s_11s	Floating point 16-bit data: value = $Y \cdot 2^N$ , where $N = b[15:11]$ and $Y = b[10:0]$ , both two's complement binary integers.	$b[15:0] = 0x9807 = 10011\_000\_0000\_0111$ value = $7 \cdot 2^{-13} = 854E-6$
L16	Linear VOUT_MODE	Part II ¶ 8.2	Linear_16u	Floating point 16-bit data: value = $Y \cdot 2^{-10}$ , where $Y = b[15:0]$ , an unsigned integer.	$b[15:0] = 0x4C00 = 0100\_1100\_0000\_0000$ value = $19456 \cdot 2^{-10} = 19$
CF	DIRECT	Part II ¶ 7.2	Varies	16-bit data with a custom format defined in the detailed PMBus command description.	Often an unsigned or two's complement integer.
Reg	Register Bits	Part II ¶ 10.3	Reg	Per-bit meaning defined in detailed PMBus command description.	PMBus STATUS_BYTE command.
ASC	Text Characters	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 388f

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

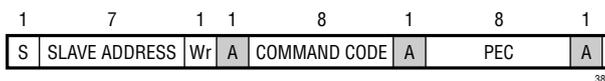


図9. PEC 付きバイト送信プロトコル



図10. バイト書込みプロトコル

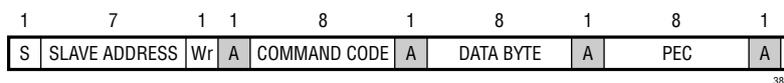


図11. PEC 付きバイト書込みプロトコル

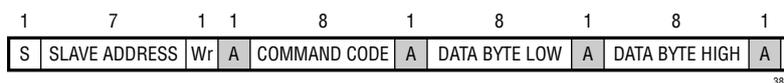


図12. ワード書込みプロトコル

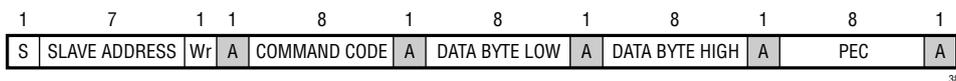


図13. PEC 付きワード書込みプロトコル

動作

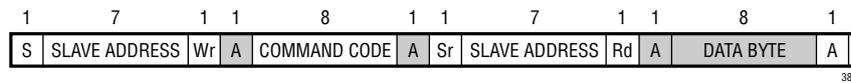


図 14. バイト読出しプロトコル

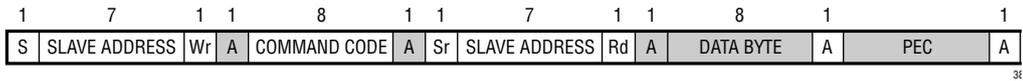


図 15. PEC 付きバイト読出しプロトコル

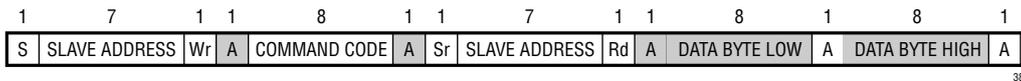


図 16. ワード読出しプロトコル

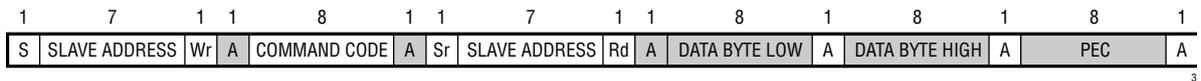


図 17. PEC 付きワード読出しプロトコル

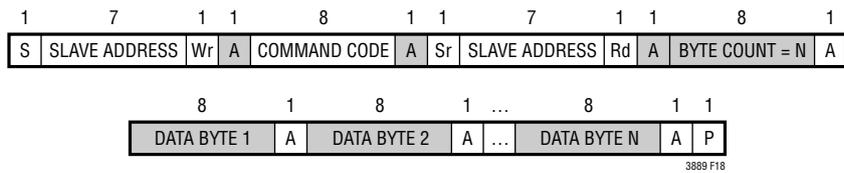


図 18. ブロック読出しプロトコル

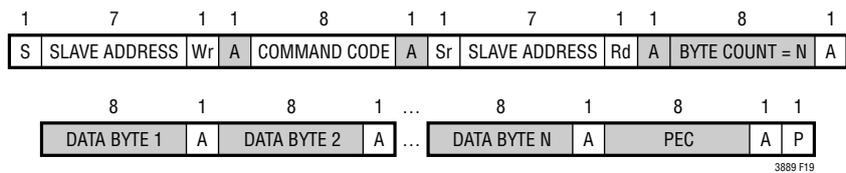


図 19. PEC 付きブロック読出しプロトコル

動作

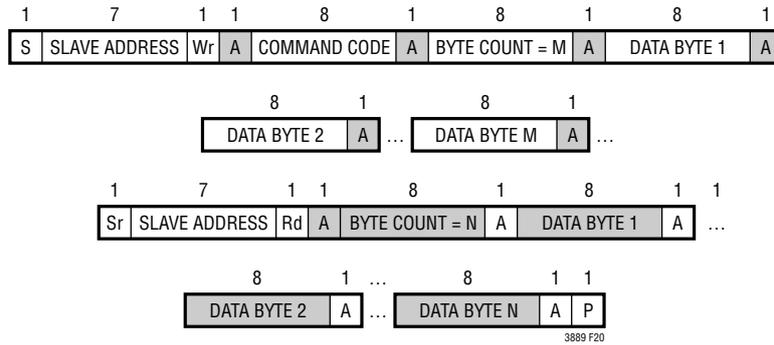


図 20. ブロック書込み - ブロック読出しプロセス呼び出し

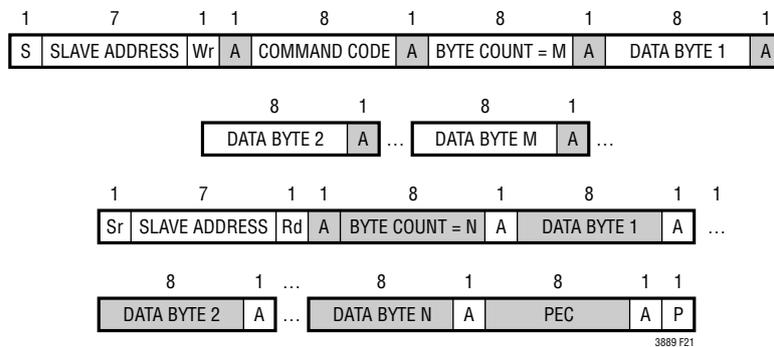


図 21. ブロック書込み - PEC 付きブロック読出しプロセス呼び出し

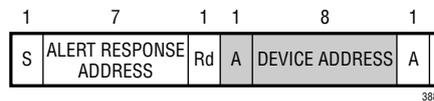


図 22. アラート応答アドレス・プロトコル

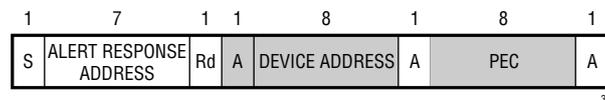


図 23. PEC 付きアラート応答アドレス・プロトコル

## PMBus コマンドの概要

### PMBus コマンド

以下の表は、サポートされている PMBus コマンドとメーカー固有の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』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形態を下記の表2に示します。「デフォルト値」の列に記載されている浮動小数点の値は、16ビット符号付きLinearフォーマット(前述のPMBus文献のセクション8.3.1)またはLinear\_5s\_11sフォーマット(PMBus文献のセクション7.1)で、コマンドにとっていずれか適切な方になります。この表に記載されていない0xD0~0xFFの全コマンドは、メーカーによって暗に予備とされています。この範囲内のコマンドを不用意に書き込まないようにして、デバイスの望ましくない動作を回避する必要があります。この表に記載されていない0x00~0xCFの全コマンドは、メーカーによって暗にサポート対象外にされています。サポート対象

外のコマンドまたは予備のコマンドにアクセスしようとする、CML コマンド障害が発生する可能性があります。出力電圧の全ての設定値および測定値は、VOUT\_MODE 設定値 0x16に基づいています。これは、言い換えると指数の $2^{-10}$ になります。

PMBus コマンドの受信速度が処理速度を超えると、デバイスはビジー状態となり、コマンドを新たに処理できなくなる場合があります。このような状況では、デバイスは『PMBus Specification v1.1, Part II, Section 10.8.7』に規定されているプロトコルに従って、ビジーであることを通知します。デバイスは、ビジー・エラーをなくして、エラー処理ソフトウェアを簡素化しつつ、堅牢な通信とシステム動作を確保するハンドシェイク機能を備えています。詳細については、アプリケーション情報のセクションに記載されている PMBus 通信とコマンド処理のサブセクションを参照してください。

表2. 概要 (注記: データ・フォーマットの略号はこの表の最後に詳細を記載)

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値	ページ
PAGE	0x00	複数ページの PMBus デバイスとの統合を実現します。	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 バスのオン/オフ・コマンドの設定。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x1E	<a href="#">71</a>
CLEAR_FAULTS	0x03	設定されている全ての障害ビットをクリア。	Send Byte	N				NA	<a href="#">98</a>
PAGE_PLUS_WRITE	0x05	指定されたページにコマンドを直接書き込みます。	W Block	N					<a href="#">67</a>
PAGE_PLUS_READ	0x06	指定されたページからコマンドを直接読み出します。	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	動作メモリを EEPROM に格納します。	Send Byte	N				NA	<a href="#">109</a>
RESTORE_USER_ALL	0x16	動作メモリを EEPROM から復元します。	Send Byte	N				NA	<a href="#">109</a>
CAPABILITY	0x19	このデバイスによってサポートされている PMBus オプション通信プロトコルの要約。	R Byte	N	Reg			0xB0	<a href="#">97</a>
SMBALERT_MASK	0x1B	ALERT $\bar{}$ の動作をマスクします。	Block R/W	Y	Reg		Y	コマンド参照。	<a href="#">99</a>
VOUT_MODE	0x20	出力電圧のフォーマットおよび指数。	R Byte	Y	Reg			$2^{-10}$ 0x16	<a href="#">77</a>
VOUT_COMMAND	0x21	公称の出力電圧設定値。	R/W Word	Y	L16	V	Y	5.0 0x1400	<a href="#">79</a>
VOUT_MAX	0x24	VOUT_MARGIN_HI を含む、コマンドで指定した出力電圧の上限。	R/W Word	Y	L16	V	Y	40.0 0xA000	<a href="#">77</a>
VOUT_MARGIN_HIGH	0x25	マージン・ハイの出力電圧設定値。VOUT_COMMAND より大きくする必要があります。	R/W Word	Y	L16	V	Y	5.25 0x1500	<a href="#">78</a>

## PMBus コマンドの概要

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	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値。VOUT_COMMAND より小さくする必要があります。	R/W Word	Y	L16	V	Y	4.75 0x1300	<a href="#">79</a>
VOUT_TRANSITION_RATE	0x27	VOUT に新しい値が指定されたときに出力電圧が変化する速度。	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	250 0xF3E8	<a href="#">75</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="#">76</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="#">76</a>
IOUT_CAL_GAIN	0x38	電流検出ピンでの電圧と検出した電流との比。固定の電流検出抵抗を使用するデバイスの場合、それは抵抗値 (mΩ)。	R/W Word	Y	L11	mΩ	Y	1.8 0xBB9A	<a href="#">80</a>
VOUT_OV_FAULT_LIMIT	0x40	出力過電圧障害のリミット。	R/W Word	Y	L16	V	Y	5.5 0x1600	<a href="#">78</a>
VOUT_OV_FAULT_RESPONSE	0x41	出力過電圧障害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>
VOUT_OV_WARN_LIMIT	0x42	出力過電圧警告のリミット。	R/W Word	Y	L16	V	Y	5.375 0x1580	<a href="#">78</a>
VOUT_UV_WARN_LIMIT	0x43	出力低電圧警告のリミット。	R/W Word	Y	L16	V	Y	4.625 1280	<a href="#">79</a>
VOUT_UV_FAULT_LIMIT	0x44	出力低電圧障害のリミット。	R/W Word	Y	L16	V	Y	4.5 0x1200	<a href="#">79</a>
VOUT_UV_FAULT_RESPONSE	0x45	出力低電圧障害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="#">89</a>
IOUT_OC_FAULT_LIMIT	0x46	出力過電流障害のリミット。	R/W Word	Y	L11	A	Y	29.75 0xDBB8	<a href="#">81</a>
IOUT_OC_FAULT_RESPONSE	0x47	出力過電流障害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="#">91</a>
IOUT_OC_WARN_LIMIT	0x4A	出力過電流警告のリミット。	R/W Word	Y	L11	A	Y	20.0 0xDA80	<a href="#">82</a>
OT_FAULT_LIMIT	0x4F	外部過熱障害のリミット。	R/W Word	Y	L11	C	Y	100.0 0xEB20	<a href="#">83</a>
OT_FAULT_RESPONSE	0x50	外部過熱障害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="#">93</a>
OT_WARN_LIMIT	0x51	外部過熱警告のリミット。	R/W Word	Y	L11	C	Y	85.0 0xEAA8	<a href="#">84</a>
UT_FAULT_LIMIT	0x53	外部低温障害のリミット。	R/W Word	Y	L11	C	Y	-40.0 0xE580	<a href="#">84</a>
UT_FAULT_RESPONSE	0x54	外部低温障害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="#">93</a>
VIN_OV_FAULT_LIMIT	0x55	入力電源の過電圧障害のリミット。	R/W Word	N	L11	V	Y	48.0 0xE300	<a href="#">76</a>
VIN_OV_FAULT_RESPONSE	0x56	入力過電圧障害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のリミット。	R/W Word	N	L11	V	Y	6.3 0xCB26	<a href="#">76</a>
IIN_OC_WARN_LIMIT	0x5D	入力電源の過電流警告のリミット。	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	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値	ページ
TON_DELAY	0x60	RUNまたはOPERATION(あるいはその両方)でのオンの指示から出力レールがオンするまでの時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	0.0 0x8000	<a href="#">84</a>
TON_RISE	0x61	出力電圧が上昇し始めてからVOUTのコマンド指定値に達するまでの時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	8.0 0xD200	<a href="#">85</a>
TON_MAX_FAULT_LIMIT	0x62	TON_RISEの開始からVOUTがVOUT_UV_FAULT_LIMITを超えるまでの最大時間。	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またはOPERATIONのオフから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	出力が低下し始めてから出力が0Vに達するまでの時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	8.00 0xD200	<a href="#">86</a>
TOFF_MAX_WARN_LIMIT	0x66	TOFF_FALL完了後、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	デバイスの障害条件の1バイトの要約。	R/W Byte	Y	Reg			NA	<a href="#">100</a>
STATUS_WORD	0x79	デバイスの障害条件の2バイトの要約。	R/W Word	Y	Reg			NA	<a href="#">100</a>
STATUS_VOUT	0x7A	出力電圧の障害および警告のステータス。	R/W Byte	Y	Reg			NA	<a href="#">101</a>
STATUS_IOUT	0x7B	出力電流の障害および警告のステータス。	R/W Byte	Y	Reg			NA	<a href="#">101</a>
STATUS_INPUT	0x7C	入力電源の障害および警告のステータス。	R/W Byte	N	Reg			NA	<a href="#">102</a>
STATUS_TEMPERATURE	0x7D	READ_TEMPERATURE_1の外部温度障害および警告のステータス。	R/W Byte	Y	Reg			NA	<a href="#">102</a>
STATUS_CML	0x7E	通信およびメモリの障害および警告のステータス。	R/W Byte	N	Reg			NA	<a href="#">103</a>
STATUS_MFR_SPECIFIC	0x80	メーカー固有の障害および状態の情報。	R/W Byte	Y	Reg			NA	<a href="#">103</a>
READ_VIN	0x88	測定された入力電源電圧。	R Word	N	L11	V		NA	<a href="#">105</a>
READ_IIN	0x89	測定された入力電源電流。	R Word	N	L11	A		NA	<a href="#">106</a>
READ_VOUT	0x8B	測定された出力電圧。	R Word	Y	L16	V		NA	<a href="#">106</a>
READ_IOUT	0x8C	測定された出力電流。	R Word	Y	L11	A		NA	<a href="#">106</a>
READ_TEMPERATURE_1	0x8D	外部温度センサーの温度。これは、IOUT_CAL_GAINを含む全ての温度関連処理に使用される値です。	R Word	Y	L11	C		NA	<a href="#">106</a>
READ_TEMPERATURE_2	0x8E	内部ダイのジャンクション温度。他のコマンドには影響しません。	R Word	N	L11	C		NA	<a href="#">106</a>
READ_FREQUENCY	0x95	測定されたPWMスイッチング周波数。	R Word	Y	L11	kHz		NA	<a href="#">106</a>
READ_POUT	0x96	計算による出力電力。	R Word	Y	L11	W		NA	<a href="#">106</a>
READ_PIN	0x97	計算による入力電力。	R Word	N	L11	W		NA	<a href="#">107</a>
PMBUS_REVISION	0x98	この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です。	R Byte	N	Reg			0x22	<a href="#">97</a>
MFR_ID	0x99	LTC3889のメーカーID(ASCII)。	R String	N	ASC			LTC	<a href="#">97</a>
MFR_MODEL	0x9A	メーカーの製品番号(ASCII)	R String	N	ASC			LTC3889	<a href="#">97</a>
MFR_VOUT_MAX	0xA5	許容最大出力電圧。VOUT_OV_FAULT_LIMITを含む。	R Word	Y	L16	V		40.5 0xA200	<a href="#">80</a>

## PMBus コマンドの概要

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値	ページ
IC_DEVICE_ID	0xAD	ICの識別情報。	R Block	N	Reg		Y	LTC3889	<a href="#">97</a>
IC_DEVICE_REV	0xAE	ICのリビジョン。	R Block	N	Reg		Y	ACA1	<a href="#">98</a>
USER_DATA_00	0xB0	OEMの予備。通常は製品のシリアル番号付与に使用します。	R/W Word	N	Reg		Y	NA	<a href="#">96</a>
USER_DATA_01	0xB1	メーカーによるLTpowerPlay用の予備。	R/W Word	Y	Reg		Y	NA	<a href="#">96</a>
USER_DATA_02	0xB2	OEMの予備。通常は製品のシリアル番号付与に使用します。	R/W Word	N	Reg		Y	NA	<a href="#">96</a>
USER_DATA_03	0xB3	使用可能なEEPROMワード。	R/W Word	Y	Reg		Y	0x0000	<a href="#">96</a>
USER_DATA_04	0xB4	使用可能なEEPROMワード。	R/W Word	N	Reg		Y	0x0000	<a href="#">96</a>
MFR_INFO	0xB6	製造固有の情報。	R Word	N	Reg			NA	<a href="#">105</a>
MFR_EE_UNLOCK	0xBD	弊社にお問い合わせください。							<a href="#">115</a>
MFR_EE_ERASE	0xBE	弊社にお問い合わせください。							<a href="#">115</a>
MFR_EE_DATA	0xBF	弊社にお問い合わせください。							<a href="#">115</a>
MFR_CHAN_CONFIG_LTC3889	0xD0	チャンネル固有の設定ビット。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x1D	<a href="#">70</a>
MFR_CONFIG_ALL_LTC3889	0xD1	汎用の設定ビット。	R/W Byte	N	Reg		Y	0x21	<a href="#">70</a>
MFR_FAULT_PROPAGATE_LTC3889	0xD2	どの障害をFAULTピンに伝搬するかを決定する設定。	R/W Word	Y	Reg		Y	0x6993	<a href="#">94</a>
MFR_PWM_COMP	0xD3	PWMループ補償の設定。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x70	<a href="#">73</a>
MFR_PWM_MODE_LTC3889	0xD4	PWMエンジン用の設定。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xC1	<a href="#">72</a>
MFR_FAULT_RESPONSE	0xD5	FAULTピンが外部からロー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	<a href="#">96</a>
MFR_OT_FAULT_RESPONSE	0xD6	内部過熱障害が検出されたときのデバイスの動作。	R Byte	N	Reg			0xC0	<a href="#">92</a>
MFR_IOUT_PEAK	0xD7	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降でのREAD_IOUTの最大測定値を報告します。	R Word	Y	L11	A		NA	<a href="#">107</a>
MFR_ADC_CONTROL	0xD8	高速のADC読出しを繰り返す場合に選択されるADCの遠隔測定パラメータ。	R/W Byte	N	Reg			0x00	<a href="#">107</a>
MFR_RETRY_DELAY	0xDB	FAULT再試行モード時の再試行間隔。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	350.0 0xFABC	<a href="#">87</a>
MFR_RESTART_DELAY	0xDC	LTC3889がRUNピンをロー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以降でのREAD_VOUTの最大測定値。	R Word	Y	L16	V		NA	<a href="#">108</a>
MFR_VIN_PEAK	0xDE	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降でのREAD_VINの最大測定値。	R Word	N	L11	V		NA	<a href="#">108</a>
MFR_TEMPERATURE_1_PEAK	0xDF	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降での外部温度(READ_TEMPERATURE_1)の最大測定値。	R Word	Y	L11	C		NA	<a href="#">108</a>
MFR_READ_IIN_PEAK	0xE1	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降でのREAD_IINコマンドの最大測定値。	R Word	N	L11	A		NA	<a href="#">108</a>
MFR_CLEAR_PEAKS	0xE3	全てのピーク値をクリアします。	Send Byte	N				NA	<a href="#">100</a>
MFR_READ_ICHIP	0xE4	LTC3889の電源電流測定値。	R Word	N	L11	A		NA	<a href="#">108</a>

## PMBus コマンドの概要

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値	ページ
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="#">104</a>
MFR_ADDRESS	0xE6	7ビットのI <sup>2</sup> Cアドレス・バイトを設定します。	R/W Byte	N	Reg		Y	0x4F	<a href="#">69</a>
MFR_SPECIAL_ID	0xE7	LTC3889とリビジョンを表すメーカー・コード。	R Word	N	Reg			0x490X	<a href="#">97</a>
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への障害ログの転送をコマンドで指定します。	Send Byte	N				NA	<a href="#">112</a>
MFR_FAULT_LOG_CLEAR	0xEC	障害ログの予備として確保されたEEPROMブロックを初期化します。	Send Byte	N				NA	<a href="#">115</a>
MFR_FAULT_LOG	0xEE	障害ログのデータ・バイト。	R Block	N	Reg		Y	NA	<a href="#">111</a>
MFR_COMMON	0xEF	複数のアナログ・デバイス・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="#">104</a>
MFR_COMPARE_USER_ALL	0xF0	電流コマンドの内容をEEPROMと比較します。	Send Byte	N				NA	<a href="#">110</a>
MFR_TEMPERATURE_2_PEAK	0xF4	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降での内部ダイ温度のピーク値。	R Word	N	L11	C		NA	<a href="#">108</a>
MFR_PWM_CONFIG_LTC3889	0xF5	位相制御など、DC/DCコントローラの多くのパラメータを設定します。	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	0 0x0000	<a href="#">80</a>
MFR_RVIN	0xF7	V <sub>IN</sub> ピンの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	外部温度センサーの勾配を設定します。	R/W Word	Y	CF		Y	1.0 0x4000	<a href="#">83</a>
MFR_TEMP_1_OFFSET	0xF9	外部温度センサーのオフセットを-273.1°Cを基準にして設定します。	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	電源の遮断が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の列にYが表示されているコマンドは、これらのコマンドがSTORE\_USER\_ALLコマンドを使用して格納され、RESTORE\_USER\_ALLコマンドを使用して再生されることを示す。

**Note 2:** デフォルト値がNAのコマンドは「該当しない」ことを示す。デフォルト値がFSのコマンドは「デバイス単位で出荷時に設定」していることを示す。

**Note 3:** LTC3889にはこの表に記載されていない追加コマンドが組み込まれている。これらのコマンドを読み出してもICの動作に悪影響はないが、これらのコマンドの内容と意味は予告なく変更されることがある。

**Note 4:** 一部の未公開コマンドは読み出し専用であり、書き込んだ場合はCMLビット6障害信号が生成される。

**Note 5:** この表で公開されていないコマンドへの書き込みは許可されていない。

**Note 6:** コマンド名に基づいて、異なるデバイス間にコマンドの互換性があると思えないこと。コマンドの機能の完全な定義については、必ずデバイスごとにメーカーのデータシートを参照すること。

アナログ・デバイセズは、アナログ・デバイセズの全てのデバイス間でコマンドの機能に互換性をもたせるよう努めている。製品固有の条件に対応するため、違いが生じる場合がある。

## 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「代表的なアプリケーション」は、LTC3889の一般的なアプリケーション回路です。LTC3889はDCR（インダクタの抵抗）による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。LTC3889は、DCR検出素子の温度依存性を名目上は見込むことができます。電流の読出しと電流制限の精度は、通常はインダクタのDCRの精度によって制限されます（これはLTC3889のIOUT\_CAL\_GAINレジスタとしてプログラムされます）。ただし、電流検出抵抗では、最も正確な電流検出および電流制限が可能です。他の外付け部品は負荷条件に基づいて選択し、(R<sub>SENSE</sub>を使用する場合は、) 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。その後、入力と出力のコンデンサを選択します。最後に、電流制限値を選択します。これらの部品と範囲を全て先に決めてから、MFR\_PWM\_COMPレジスタのRITHとEA\_GMの値を選択して、外付けの補償部品の値を計算することが必要です。電流制限範囲が必要なのは、MFR\_PWM\_MODE\_LTC3889コマンドのビット7により、2つの範囲(25mV~50mVと37.5mV~75mV)に異なるEAゲインが設定されているからです。また、電圧範囲(RANGE)ビットもループ・ゲインと補償ネットワークに影響を及ぼします。電圧範囲は、MFR\_PWM\_MODE\_LTC3889のビット1により設定されます。その他のプログラム可能な全パラメータはループ・ゲインに影響しないので、パラメータを変更しても負荷変動に対する過渡応答に影響を及ぼさずに済みます。

### 電流制限のプログラミング

LTC3889には電流制限のプログラミング範囲が2種類あり、それぞれの範囲内に合計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。各範囲内ではエラー・アンプのゲインは一定なので、一定のループ・ゲインが得られます。LTC3889はインダクタDCRの温度係数を考慮し、インダクタの温度が変化したら電流制限値を自動的に調整します。DCRの温度係数はMFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TCコマンドに格納されます。

最適な電流制限精度にするには、75mV設定を使用してください。25mV設定にすると、DCRが非常に小さいインダクタまたは検出抵抗を使用できますが、代償として電流制限精度が低下します。ピーク電流制限はサイクル単位で実行されます。平均インダクタ電流はADCによってモニタされ、検出される平均出力電流が多すぎると警告を出すことができます。I<sub>TH</sub>の電圧がIOUT\_OC\_FAULT\_LIMITで設定した制限値を超えると、過電流障害が検出されます。LTC3889内部のデジタル・プロセッサは、障害を無視する機能、シャットダウンしてラッチオフする機能、またはシャットダウンして無期限に再試行する(再試行)機能を備えています。詳細については、動作のセクションに記載されている過電流の部分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、電流コンパレータおよびA/Dコンバータ(ADC)の入力です。電流コンパレータの同相入力電圧範囲は、0V~40Vです。SENSEピンは両方とも高インピーダンス入力であり、入力電流は少量で代表値は1μA未満です。電流コンパレータの高インピーダンス入力により、正確なDCR検出が可能です。通常動作時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>のパターンに接続しているフィルタ部品は、ICに近づけて配置してください。正と負のパターンは差動になるよう配線して、電流検出素子とケルビン接続します。図24を参照してください。ケルビン接続にしなかったり、配置が不適切だと、電流検出素子に寄生インダクタンスや寄生容量が加わり、検出端子での信号が劣化して、プログラムされた電流制限が不十分になることがあります。PolyPhaseシステムでは、検出素子の配置が良くないと、パワー段間での電流分担が準最適状態にとどまります。DCRによる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しないようにしま

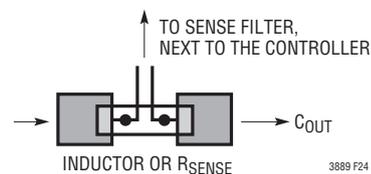
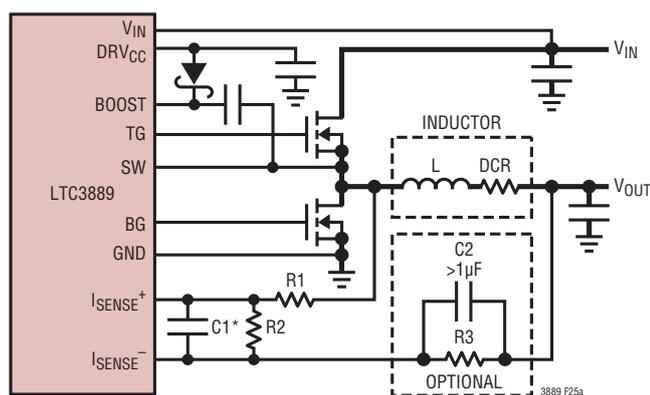


図24. 検出線の最適な配置

## アプリケーション情報

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>とI<sub>SENSE-</sub>の信号経路にインピーダンスの差があると、ADCの電流読出し精度が低下することがあります。電流読出し精度は、2つの信号経路のインピーダンスを一致させれば向上できます。このためには、R1に等しい直列抵抗をV<sub>OUT</sub>とI<sub>SENSE-</sub>の間に追加します。この抵抗と並列に1μF以上のコンデンサを配置します。室温でのピーク電圧が75mVより低い場合、R2は必要ありません。



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

$$R3 = R1$$

\*PLACE C1 NEAR SENSE+, SENSE- PINS

図 25a. インダクタのDCRによる電流検出回路

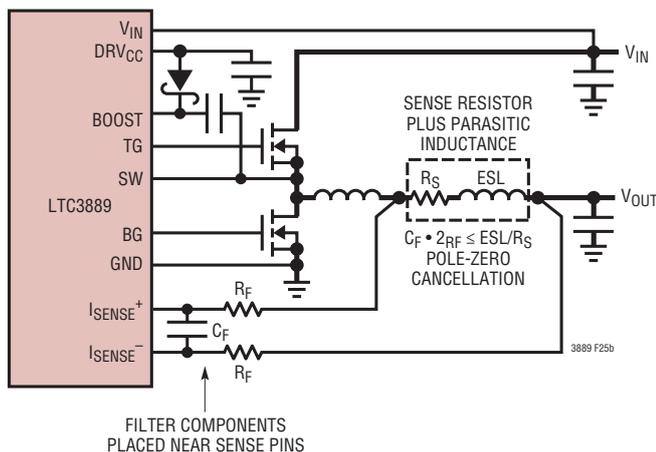


図 25b. 抵抗による電流検出回路

## 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<sub>SENSE</sub>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閾値V<sub>SENSE(MAX)</sub>は、I<sub>LIMIT</sub>の設定によって決まります。電流コンパレータの閾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toピーク・リップル電流ΔI<sub>L</sub>の半分を差し引いた値に等しい最大平均出力電流I<sub>MAX</sub>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。

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

電流検出ループにはPCBノイズが存在する可能性があるため、良好なS/N比を得るには、ΔV<sub>SENSE</sub> = ΔI<sub>L</sub>・R<sub>SENSE</sub>のAC電流検出リップルも設計時に確認しておく必要があります。一般に、良好なPCBレイアウトを無理なく得るには、R<sub>SENSE</sub>とDCRのいずれの検出アプリケーションの場合でも、出発点の控えめな値として15mVの最小ΔV<sub>SENSE</sub>電圧を推奨します。

前の世代の電流モード・コントローラでは、最大検出電圧が十分に高かったため(例えば、LTC1628/LTC3728ファミリでは75mV)、検出抵抗の寄生インダクタンス両端で生じる電圧降下を示す誤差は比較的小さいものでした。より新しく、電流密度の高いソリューションでは、検出抵抗の値が1mΩより低いことがあり、ピーク検出電圧が20mVより小さくなることがあります。また、インダクタのリップル電流が50%より大きく、最大750kHzで動作することが、より一般的になりつつあります。こうした条件下では、検出抵抗の寄生インダクタンス両端での電圧降下をもはや無視できません。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。前の世代のコントローラでは、小さなRCフィルタをICの近くに配置して、PCB上の検出パターンに結合した容量性ノイズと誘導性ノイズの影響を低減するのが一般的でした。標準的なフィルタは並列の1000pFコンデンサに接続された2本の直列100Ω抵抗で構成され、時定数が200nsになります。

## アプリケーション情報

フィルタに若干の変更を加えることにより、この同じRCフィルタを使用して、寄生インダクタンスが存在する環境で電流検出信号の抵抗性成分を抽出できます。例えば、フットプリントが2010のPCB上にある2mΩ抵抗の両端での電圧波形を図26に示します。この波形は、純粋な抵抗性成分と純粋な誘導性成分が重畳されたものです。これは、差動測定による結果を得るため、オシロスコープの2つのプローブと波形計算を使用して測定しています。インダクタのリッ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( $t_{OFF}$ )の追加測定に基づき、寄生インダクタンスの値は次式によって0.5nHであると計算されました。

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

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、得られた波形は、図27に示すように抵抗性を示します。最大検出電圧の低い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で寄生インダクタンスの情報を調べてください。データが存在しない場合

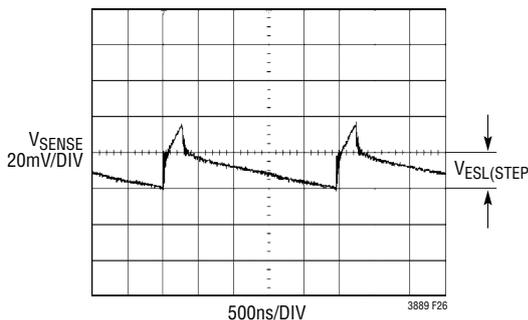


図26. RSENSEの両端で直接測定した電圧

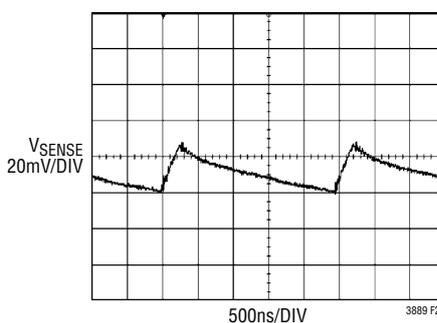


図27. RSENSEフィルタの後に測定した電圧

には、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、信号に対してフィルタを過剰にかけないでください。RC時定数をインダクタの時定数以下に保って $V_{RSENSE}$ のリップル電圧を十分な大きさに維持し、電流ループ・コントローラの動作を最適化します。

## インダクタのDCRによる電流検出

高負荷電流時に可能な限り高い効率を必要とするアプリケーションでは、図25aに示すように、LTC3889はインダクタのDCR両端の電圧低下を検出することができます。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効率が数パーセント低下すると考えられます。

$R1 = R3$ となるように、かつ外部の $(R1 + R3) \parallel R2 \cdot C1$ の時定数が $2 \cdot L/DCR$ の時定数に正確に等しくなるように選択すると、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 $R2 / (R1 + R2 + R3)$ を掛けた値に等しくなります。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に対して、検出端子両端の電圧を調整する抵抗です。DCRの値は、R2が必要でない限り、 $IOUT\_CAL\_GAIN$  (mΩ)として入力されます。R2を使用する場合は、次のようになります。

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

電流検出信号を目的の電流検出範囲内に留めるために減衰させる必要がない場合は、R2を取り外してもかまいません。外付けフィルタ部品を適切に選択するには、インダクタのDCRを知っている必要があります。インダクタのDCRは高精度のRLCメーターを使って測定できますが、DCRの許容誤差は常に同じではなく、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コマンドに正しい温度係数値を入力してある場合、LTC3889は温度による変動を補正します。抵抗の温度係数は3900ppm/°C (代表値)です。

## アプリケーション情報

R1 = R3と仮定すると、C2は平坦な周波数応答になるように次式を使用して最適化できます。

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

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全動作温度範囲で最大負荷電流を供給できるようにするため、入力したMFR\_IOUT\_CAL\_GAINパラメータに対してDCRの許容誤差を考慮したILIMITの最適な値を選択します。

次に、インダクタのDCRを決めます。メーカーの最大値を使用します。通常は20°Cで規定されています。この値を増やして、温度検出素子の許容誤差である3°C~5°Cや、温度センサー素子とインダクタとの近さに関係した温度差の上乗せ分を考慮します。

C1は通常、0.047µF~4.7µFの範囲に入るように選択します。これにより、(R1 + R3) || R2は約2kになります。図25aに示すオプションの素子R3およびC2を追加すると、リーク電流ISENSEに関連するオフセット誤差を最小限に抑えることができます。R1の値に等しくなるようR3を設定します。C2の値を1µF以上に設定して、適正なノイズ・フィルタ特性を確保します。

等価抵抗(R1 + R3) || R2の大きさは室温のインダクタンスと最大DCRに従って次のように調整されます。

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

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

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

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によって余分なスイッチング損失が生じるため、検出抵抗の場合よりDCRネットワークの方がわずかに大きくなることがあります。ただし、DCRによる検出では検出抵抗がないので、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、電流検出方法に関係なく、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S/N比を良好に保つため、10mV~15mVの最小ΔVISENSEを使用します。DCRによる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。

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

入力電圧が24Vより高い場合、DCRによる検出は推奨しません。入力電圧が高いと、R1の電圧係数によって電流検出電圧に大きな誤差が生じることがあります。入力電圧が高いときにDCRによる検出を使用する必要がある場合は、電圧係数ができるだけ小さい抵抗をR1として使用する必要があります。

### スロープ補償とインダクタのピーク電流

スロープ補償を行うと、高いデューティ・サイクルでの低調波発振を防止することにより、固定周波数電流モード・アーキテクチャでの安定性が得られます。この動作は、インダクタ電流信号に補償ランプ信号を加えることにより、デバイス内部で実行されます。LTC3889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技術を採用しています。これにより、全てのデューティ・サイクルを通じてインダクタの最大ピーク電流に影響のない状態が維持されます。

### インダクタ値の計算

目的の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、インダクタのピークtoピーク・リップル電流が直ちに決まります。

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

## アプリケーション情報

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。このように、周波数が最も低くリップル電流が小さい場合に、最も効率の高い動作が得られます。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。

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ようにするには、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

インダクタの値が決まったら、インダクタの種類を選択する必要があります。インダクタの値が一定の場合、コア損失はコア・サイズではなく、選択したインダクタンスに大きく依存します。インダクタンスが増加すると、コア損失は減少します。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るため、銅損失は残念ながら増加します。

フェライトを使用した設計ではコア損失が極めて小さく、高いスイッチング周波数に適しているため、設計目標を銅損と飽和の防止に集中することができます。フェライト・コアの材質は急激に飽和します。つまり、設計電流のピーク値を超えると、インダクタンスは突然低下します。その結果、インダクタのリップル電流が急激に増加し、そのため出力電圧リップルも増加します。コアは決して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ー・ダイオードの選択

LTC3889では、出力チャンネルごとに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 to ピークのゲート駆動レベルは  $DRV_{CC}$  電圧により設定されます。MOSFETの  $BV_{DSS}$  の仕様にも十分注意を払ってください。ロジック・レベル MOSFET の大半は 30V 以下に制限されています。

パワー MOSFET の選択基準には、オン抵抗  $R_{DS(ON)}$ 、ミラー容量  $C_{MILLER}$ 、入力電圧、および最大出力電流が含まれます。ミラー容量  $C_{MILLER}$  は、MOSFET のメーカーのデータシートに通常記載されているゲート電荷曲線から推定することができます。 $C_{MILLER}$  は、曲線がほぼ平らな区間の水平軸に沿ったゲート電荷の増分を、規定の  $V_{DS}$  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  $V_{DS}$  とゲート電荷曲線で規定されている  $V_{DS}$  との比を掛けます。このデバイスが連続モードで動作しているときの側 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 の消費電力は、以下の式で与えられます。

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

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

ここで、 $\delta$  は  $R_{DS(ON)}$  の温度依存性、 $R_{DR}$  (約  $2\Omega$ ) は MOSFET のミラー・スレッシュホールド電圧での実効ドライブ抵抗です。 $V_{TH(MIN)}$  は、MOSFET の最小スレッシュホールド電圧の代表値です。

$I^2R$  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。 $V_{IN} < 20V$  では、大電流での効率は一般に大型の MOSFET を使用すると向上しますが、 $V_{IN} > 20V$  では遷移損失が急激に増加するので、実際には  $R_{DS(ON)}$  が大きく  $C_{MILLER}$  が小さい MOSFET を使用した方が効率が点に達します。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。

## アプリケーション情報

MOSFETの場合の $(1 + \delta)$ の項は一般に正規化された $R_{DS(ON)}$ と温度の曲線で与えられますが、低電圧MOSFETの場合の近似値として $\delta = 0.005/^\circ\text{C}$ を使用することができます。

グラウンドと $SW_n$ の間に接続されているオプションのショットキー・ダイオードは、2つのパワーMOSFETが導通する間のデッド・タイム中に導通します。これによって、下側MOSFETのボディ・ダイオードがデッド・タイム中にオンして電荷を蓄積するのを防止し、逆回復時間を不要にします。逆回復時間があると、 $V_{IN}$ が高いときに効率が最大3%低下することがあります。1A~3Aのショットキー・ダイオードは平均電流が比較的小さいので、通常は両方の動作領域に対して適切な折衷案となります。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。

### $C_{IN}$ と $C_{OUT}$ の選択

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

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

この式は $V_{IN} = 2 \cdot V_{OUT}$ のときに最大になります。ここで、 $I_{RMS} = I_{OUT}/2$ です。設計ではこの単純で最も厳しい条件がよく使用されます。条件を大きく変化させても状況がそれほど改善されないからです。多くの場合、コンデンサ・メーカーはリップル電流定格をわずかに2000時間の寿命時間によって規定しています。このため、コンデンサを更にデレイトする、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。LTC3889は動作周波数が高いため、 $C_{IN}$ にセラミック・コンデンサを使用することもできます。疑問点については必ずメーカーにお問い合わせください。

LTC3889を2相動作で使用する利点は、大電力のチャンネルについては上式を使用して計算し、その後、2つのコントローラ・チャンネルが両方同時に切り替わった場合に生じる損失を計算できることです。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を流れるのに必要な電流パルスの重複部分が減少するので、全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、最も厳しい条件について上式で計算した入力コンデンサの条件で十分である理由です。また、2相システムではピーク電流が減少するため、該当する場合は、入力保護ヒューズの抵抗、 $V_{IN}$ の信号源インピーダンス、およびプリント基板のパターン抵抗に起因す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利点を十分に認識できるのは、 $V_{IN}$ 電源/バッテリーの信号源インピーダンスが効率テストに含まれる場合だけです。上側MOSFETのドレイン端子は互いに1cm以内に配置し、 $C_{IN}$ を共有させます。ソースと $C_{IN}$ を離すと、望ましくない電圧共振や電流共振が $V_{IN}$ に生じる可能性があります。

小さな(0.1 $\mu\text{F}$ ~1 $\mu\text{F}$ )バイパス・コンデンサをLTC3889の近くに配置し、 $V_{IN}$ ピンとグラウンドの間に挿入することも推奨します。複数のLTC3889を使用する場合は、 $C_{IN}(C1)$ と $V_{IN}$ ピンの間に2.2 $\Omega$ ~10 $\Omega$ の $R_{VIN}$ 抵抗を配置すると、デバイス間の分離度を高めることができます。

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

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

ここで、 $f$ は動作周波数、 $C_{OUT}$ は出力容量、 $I_{RIPPLE}$ はインダクタのリップル電流です。 $I_{RIPPLE}$ は入力電圧に応じて増加するので、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、および出力電圧の上昇

LTC3889はソフトスタートの前に動作状態になっている必要があります。 $RUN_n$ ピンが解放されるのは、デバイスが初期化され、 $V_{IN}$ が $V_{IN\_ON}$ の閾値より高くなった後です。アプリケーションに複数のLTC3889を使用する場合は、同じ $RUN_n$ ピンを共用するようデバイスを設定します。全てのデバイスが初期化され、全てのデバイスについて $V_{IN}$ が $V_{IN\_ON}$ の閾値を超えるまで、全てのデバイスがそれぞれの $RUN_n$ ピンをローに保持します。 $SHARE\_CLK$ ピンにより、信号に接続されている全てのデバイスが時間遅延動作に同じタイム・ベースを使用するようになります。

## アプリケーション情報

RUN<sub>n</sub>ピンが解放されると、コントローラはユーザ指定のターンオン遅延(TON\_DELAY)の間待機した後、出力電圧の上昇を開始します。複数のLTC3889とアナログ・デバイスズの他のデバイスを同じ遅延時間または独自の遅延時間で起動できるよう設定できます。目的とする同期方式の範囲内で動作させるには、全てのデバイスが同じタイミング・クロック(SHARE\_CLK)を使用し、更に全てのデバイスがRUN<sub>n</sub>ピンを共用する必要があります。これにより、全てのデバイスの相対的な遅延を同期させることができます。遅延時間の実際の変動は、SHARE\_CLKピンに接続されているデバイスの最も速いクロック・レートに依存します(アナログ・デバイスズの全てのICは、最も速いSHARE\_CLK信号で全てのデバイスのタイミングを制御できるように設定されています)。SHARE\_CLK信号は周波数の幅が±10%あるので、実際の遅延時間にはそれに比例した差異が生じます。

ソフトスタートは、負荷電圧を能動的に安定化しつつ、目的の電圧を0.0Vからコマンド指定の電圧設定値までデジタル式に増加することによって実行します。電圧ランプの立ち上がり時間をTON\_RISEコマンドを使用してプログラムし、起動電圧ランプに関連した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を無効にするには、TON\_RISEの値を0.250msより小さい任意の値に設定します。LTC3889は必要な数値計算を実行して、電圧ランプが目的の勾配になるように制御します。ただし、電圧勾配をパワー段の基本的なリミットより高くすることはできません。TON\_RISEの設定時間が短くなるほど、TON\_RISEの傾斜に現れる離散的なステップは大きくなります。傾斜のステップ数はTON\_RISE/0.1msに等しくなります。

LTC3889のPWMは、TON\_RISE動作の間、常に不連続モードを使用します。不連続モードでは、インダクタに逆電流が流れていることが検出されると、下側のゲートはすぐにオフになります。これにより、レギュレータはプリバイアスされた負荷状態で起動できるようになります。

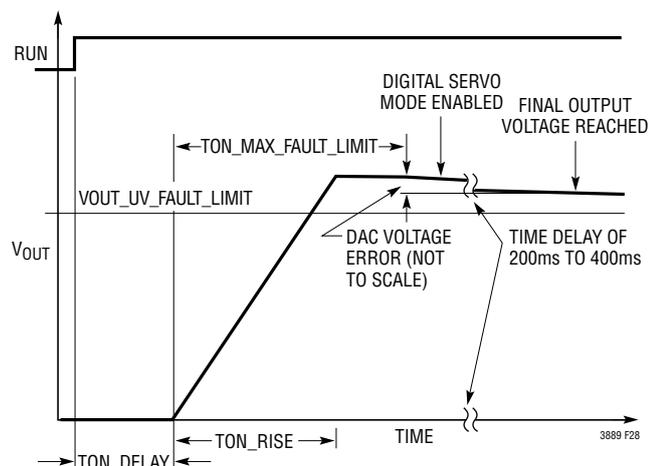
LTC3889には従来のトラッキング機能は組み込まれていません。ただし、2つの出力のTON\_RISEおよびTON\_DELAYを同じ時間にして、実質的に同じ時間で立ち上げることができます。RUNピンが同時に解放され、両方のLTC3889が同じタイム・ベースを使用する場合、出力の追従は非常に緊密になります。回路がPolyPhase構成になっている場合は、該当するレールの全てのタイミング・パラメータを同じにする必要があります。

前述した起動シーケンス制御の方式はタイム・ベースです。連鎖イベントの場合は、別のコントローラのFAULT<sub>n</sub>ピン、またはLTC3889のPGOOD<sub>n</sub>ピンに基づいて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より高くなったら解放されるように設定できます。グリッチ除去済みのVOUT UV障害リミットを使用することを推奨します。理由は、コンバータがUV閾値を超えてからFAULT<sub>n</sub>ピンが解放されるまでに顕著な時間遅延がほとんどないからです。グリッチ除去済みの出力をイネーブルするには、MFR\_FAULT\_PROPAGATE\_LTC3889コマンドのMFR\_FAULT\_propagate\_vout\_uvufビットを設定します。このデータシートに記載しているPMBusコマンドのMFRのセクションを参照してください。VOUT信号はコンパレータの閾値を経て遷移するので、UVコンパレータの出力信号にはある程度のグリッチが生じます。LTC3889は、250μsのデジタル・グリッチ除去フィルタを内蔵して、複数回の遷移が発生する確率を大幅に低減しています。FAULT<sub>n</sub>ピンにグリッチが発生するリスクを最小限に抑えるため、TON\_RISEの時間は100msより短くします。それでもFAULT<sub>n</sub>に不必要な遷移が発生する場合は、FAULT<sub>n</sub>ピンとグラウンドの間にコンデンサを接続して、波形をフィルタ処理します。フィルタのRC時定数を十分高速に設定して、顕著な遅延が生じないようにします。300μs~500μsの遅延で一定のフィルタリング効果が得られ、トリガ・イベントが大幅に遅延することはありません。

## デジタル・サーボ・モード

安定化出力電圧の精度を最高にするには、MFR\_PWM\_MODE\_LTC3889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、LTC3889はADCの電圧測定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、出力がADCの正しい読出し値になるまで、90msごとにDACのLSB(電圧範囲ビットに応じて公称10mVまたは2mV)刻みで調整します。電源投入時には、リミットが0(無制限)に設定されていない限り、TON\_MAX\_FAULT\_LIMITの後にこのモードに入ります。TON\_MAX\_FAULT\_LIMITが0(無制限)に設定されている場合、サーボ制御が始まるのは、TON\_RISEが完了してVOUTがVOUT\_UV\_FAULT\_LIMITを超えた後です。これと同じ時点で、出力は不連続モードから、MFR\_PWM\_MODE\_LTC3889のビット0に示すプログラ

## アプリケーション情報

図28. タイミングが制御されたV<sub>OUT</sub>の立上がり

ム済みモードに切り替わります。時間ベースのシーケンス制御におけるV<sub>OUT</sub>波形の詳細については、図28を参照してください。

TON\_MAX\_FAULT\_LIMITに0より大きい値を設定し、TON\_MAX\_FAULT\_RESPONSEを0x00(無視)に設定すると、サーボ制御は以下の条件で開始されます。

1. TON\_RISEシーケンスが完了した後
2. TON\_MAX\_FAULT\_LIMITの時間に達した後
3. VOUT\_UV\_FAULT\_LIMITを超えた後か、IOUT\_OC\_FAULT\_LIMITが有効ではなくなった後

TON\_MAX\_FAULT\_LIMITに0より大きい値を設定し、TON\_MAX\_FAULT\_RESPONSEを0x00(無視)に設定しない場合、サーボ制御は以下の条件で開始されます。

1. TON\_RISEシーケンスが完了した後
2. TON\_MAX\_FAULT\_LIMITの時間が経過した後で、VOUT\_UV\_FAULTとIOUT\_OC\_FAULTが両方とも存在しない場合

立上がり時間の最大値は1.3秒に制限されます。

PolyPhaseアプリケーションでは、デジタル・サーボ・モードを有効にするのは1相だけにしてください。こうすると、位相は同じ出力レギュレーション点にサーボ制御されるようになります。

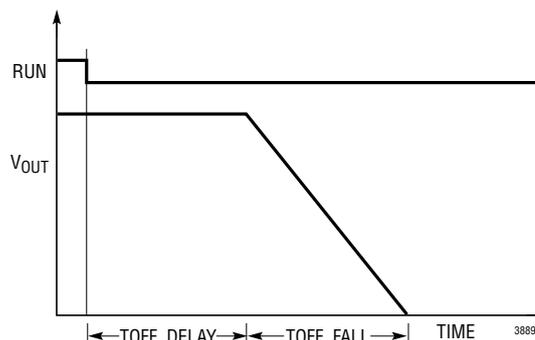


図29. TOFF\_DELAYとTOFF\_FALL

## ソフトオフ(シーケンス制御によるオフ)

LTC3889は、起動の制御の他に、ターンオフの制御もサポートしています。TOFF\_DELAY機能とTOFF\_FALL機能を図29に示します。TOFF\_FALLが処理されるのは、RUNピンがローになるか、デバイスがオフするようコマンドで指定された場合です。デバイスに障害が発生してオフになるか、FAULT<sub>n</sub>を外部からローにして、デバイスがFAULT<sub>n</sub>に応答するようプログラムされていると、メインのMOSFETと同期MOSFETの両方をオフにすることにより、出力はスリーステートになります。出力は負荷に応じて減少し、制御された下降率を示しません。

デバイスが強制連続モードであり、TOFF\_FALLの時間が十分に長く、パワー段が目的の勾配を実現できる限り、出力電圧は図29に示すように下降します。TOFF\_FALLの時間が適合できるのは、パワー段とコントローラが十分なシンク電流を供給して、立下がり時間の間隔が終了するまでに出力電圧が0Vになることを確認できる場合に限りです。負荷容量を放電するのに必要な時間より短い時間をTOFF\_FALLに設定すると、出力は目的とする0Vの状態に達しません。TOFF\_FALLの終了時に、コントローラはシンク電流の供給を停止し、V<sub>OUT</sub>は負荷インピーダンスによって決まる固有の速度で低下します。コントローラが不連続モードである場合、コントローラは負電流を流し込みません。また、出力はパワー段ではなく負荷によってローになります。立下がり時間の最大値は1.3秒に制限されます。TOFF\_FALLの設定時間が短くなるほど、TOFF\_FALLの傾斜に現れる離散的なステップは大きくなります。傾斜のステップ数の代表値は、TOFF\_FALL/0.1msです。

## アプリケーション情報

DRV<sub>CC</sub>レギュレータ

LTC3889は、V<sub>IN</sub>電源またはEXTV<sub>CC</sub>電源からDRV<sub>CC</sub>に電力を供給するPMOSリニア電圧レギュレータを備えています。DRV<sub>CC</sub>は、ゲート・ドライバ、V<sub>DD33</sub>、およびLTC3889の内部回路の多くに電力を供給します。リニア電圧レギュレータは、DRVSET = 0のときにV<sub>IN</sub>またはEXTV<sub>CC</sub>が約8Vより高くなると、DRV<sub>CC</sub>ピンで6.3Vを発生します。リニア電圧レギュレータは、DRVSET = 2のときにV<sub>IN</sub>またはEXTV<sub>CC</sub>が約10Vより高くなると、DRV<sub>CC</sub>ピンで9Vを発生します。DRV<sub>CC</sub>の電圧は、DRVSET = 1のとき7.4Vに設定されます。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。使用しているバルク・コンデンサの種類に関わらず、0.1μFのセラミック・コンデンサをDRV<sub>CC</sub>ピンとGNDピンのすぐ近くに追加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過渡電流を供給するには、十分なバイパスが必要です。

大型のMOSFETを高周波で駆動する入力電圧の高いアプリケーションでは、LTC3889の最大ダイ・ジャンクション温度定格を超える恐れがあります。ダイの温度を下げるため、DRV<sub>CC</sub>の電流(その大部分がゲート充電電流に起因)をV<sub>IN</sub>ピンまたはEXTV<sub>CC</sub>ピンから供給できます。LTC3889の内部レギュレータの電力をV<sub>IN</sub>ピンから供給すると、ICで消費される電力はV<sub>IN</sub>・I<sub>DRVCC</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。ジャンクション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、70°Cの周囲温度では、40V電源から流れるLTC3889のDRV<sub>CC</sub>電流は44mA未満に制限されます。

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

最大ジャンクション温度を超えないようにするため、LTC3889の内部LDOにはEXTV<sub>CC</sub>ピンから電力を供給できます。EXTV<sub>CC</sub>ピンを使用しないでDRV<sub>CC</sub>に電力を供給する場合、EXTV<sub>CC</sub>ピンはGNDに接続する必要があり、フロート状態にしてはなりません。外部電源を接続するか、出力を供給源とする電源を接続して、DRV<sub>CC</sub>の電流をEXTV<sub>CC</sub>ピンから供給することにより、ゲート・ドライバおよび制御回路に流れるV<sub>IN</sub>電流は最小値まで減少します。

EXTV<sub>CC</sub>ピンを5V電源に接続すると、前の例のジャンクション温度は、125°Cから次の温度まで減少します。

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

LTC3889のDRV<sub>CC</sub>は外部電源に接続しないでください。なぜなら、DRV<sub>CC</sub>は外部電源の電圧を高くしようとして電流制限値に達するので、ダイ温度が大幅に上昇するからです。

入力電圧が6V未満のアプリケーションでは、図30に示すように、V<sub>IN</sub>ピンとDRV<sub>CC</sub>ピンを互いに接続し、接続後のピンを1Ωまたは2.2Ωの抵抗で入力に接続します。ゲート充電電流によって生じる電圧降下を最小限に抑えるには、V<sub>IN</sub>/DRV<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。この構成はDRV<sub>CC</sub>リニア電圧レギュレータをオーバーライドして、DRV<sub>CC</sub>の電圧が大幅に低下するのを防止します。DRV<sub>CC</sub>の電圧がMOSFETのR<sub>DS(ON)</sub>のテスト電圧(ロジック・レベルのデバイスでは通常4.5V)を超えていることを確認してください。DRV<sub>CC</sub>のUVLOは約4Vに設定されます。

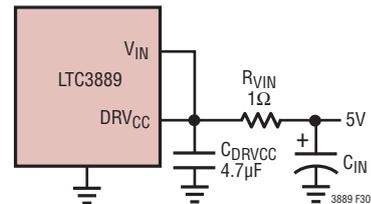


図30. 5V入力の場合の回路構成

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

BOOST<sub>n</sub>ピンに接続されている外付けのブートストラップ・コンデンサC<sub>B</sub>は、上側のMOSFETのゲート駆動電圧を供給します。SW<sub>n</sub>ピンがローのとき、ブロック図のコンデンサC<sub>B</sub>は、DRV<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つをオンにすると、ドライバは目的の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・ノードの電圧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、昇圧電圧は次のように入力電源より高くなります。つまり、V<sub>BOOST</sub> = V<sub>IN</sub> + V<sub>DRVCC</sub>です。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。

## アプリケーション情報

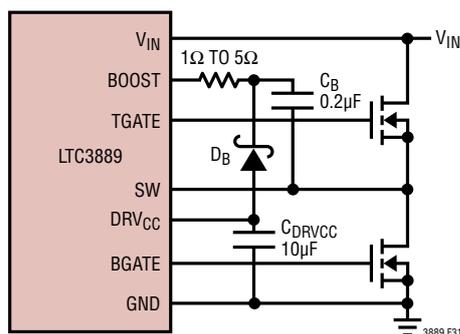


図 31. PWM ジッタを最小限に抑えるための昇圧回路

外付けショットキー・ダイオードの逆ブレークダウン電圧は  $V_{IN(MAX)}$  より大きくなければなりません。

$V_{IN}/V_{OUT}$  の比が高い条件で動作する一部の設計では、PWM ジッタが観測されています。このジッタは、実質的には回路の精度に影響しません。図 31 を参照すると、値が  $1\Omega \sim 5\Omega$  の直列抵抗をダイオードのカソードと BOOST<sub>n</sub> ピンの間に挿入すれば、PWM ジッタを除去できます。

## 低電圧ロックアウト

LTC3889 は内部閾値ベースの UVLO によって初期化されます。ここでは、 $V_{IN}$  を約 4V にする必要があり、DRVCC、 $V_{DD33}$ 、 $V_{DD25}$  を安定化電圧の値の約 20% 以内にする必要があります。更に、 $V_{DD33}$  は、RUN ピンが解放されるより前に、目標値の約 7% 以内に入る必要があります。デバイスの初期化が完了すると、別のコンパレータが  $V_{IN}$  をモニタします。電源のシーケンス制御を開始するには、その前に VIN\_ON 閾値を超える必要があります。 $V_{IN}$  が VIN\_OFF 閾値より低くなると、SHARE\_CLK ピンはローになります。また、コントローラを再起動するには、その前に  $V_{IN}$  を VIN\_ON 閾値より高くしておく必要があります。通常の起動シーケンスが可能になるのは、VIN\_ON 閾値を超えた後です。 $V_{IN}$  が印加されたときに FAULT<sub>n</sub> がローに保持されている場合は、FAULT<sub>n</sub> がローに保持されているときに ALERT がアサートされないようデバイスがプログラムされている場合でも、ALERT はローにアサートされます。LTC3889 がリセット状態を離れる前に I<sup>2</sup>C 通信が行われ、デバイスが認識するのがコマンドの一部だけになった場合、これは CML 障害として解釈されることがあります。CML 障害が検出されると、ALERT はローにアサートされます。

$V_{DD33}$  電源を外部から駆動する場合は、EEPROM の内容をアプリケーション内でプログラムすることができます。これにより LTC3889 のデジタル部は起動しますが、高電圧部は作動しません。この電源構成では、PMBus 通信は有効です。LTC3889 に  $V_{IN}$  が印加されていなかった場合は、MFR\_COMMON のビット 3 (EEPROM が初期化されていない) がローにアサートされます。この状態を検出すると、デバイスはアドレス 5A および 5B に対してのみ応答するようになります。デバイスを初期化するには、次の一連のコマンド (グローバル・アドレス 0x5B、コマンド 0xBD、データ 0x2B、その後グローバル・アドレス 0x5B、コマンド 0xBD、およびデータ 0xC4) を発行します。これで、デバイスは正しいアドレスに応答するようになります。必要に応じてデバイスを設定してから、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 A/D 変換結果を読み出すことができるようにする必要があります。

## 障害インジケータ

LTC3889 の FAULT<sub>n</sub> ピンは、OV、UV、OC、OT、タイミング障害、ピーク過電流障害などの様々な障害を通知する目的で設定できます。更に、FAULT<sub>n</sub> ピンを外部信号源によってローにすると、システムの他の部分での障害を表示できます。障害応答は設定可能であり、以下のオプションが可能です。

- 無視
- 即座にシャットダウン - ラッチオフ
- 即座にシャットダウン - MFR\_RETRY\_DELAY で指定した時間間隔で無期限に再試行

障害応答の詳細については、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 応答は常に自動です。OV 状態が検出されると、TG<sub>n</sub> はローになり、BG<sub>n</sub> がアサートされます。

## アプリケーション情報

## オープンドレイン・ピン

LTC3889は以下のオープンドレイン・ピンを備えています。

## 3.3Vのピン

1.  $\overline{\text{FAULT}}_n$
2. SYNC
3. SHARE\_CLK
4. PGOOD<sub>n</sub>

5Vのピン(5Vのピンは1.8Vまで低下しても正しく動作します。)

1. RUN<sub>n</sub>
2.  $\overline{\text{ALERT}}$
3. SCL
4. SDA

上記の全てのピンは、0.4Vのとき3mAのシンク電流を流すことができるプルダウン・トランジスタを内蔵しています。プルアップ抵抗とグラウンドまでの寄生容量によるRC時定数に関連したトランジエント速度の問題がない限り、一般的には10k以上の抵抗を推奨します。

SDA、SCL、SYNCなどの高速信号の場合は、より低い値の抵抗が必要なことがあります。RC時定数は、タイミングの問題を回避するのに必要な立上がり時間の1/3~1/5に設定します。負荷が100pFでPMBusの通信速度が400kHzの場合、立上がり時間は300nsより短くする必要があります。時定数を立上がり時間の1/3に設定した、SDAピンとSCLピンのプルアップ抵抗は次のとおりです。

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

SDAピンとSCLピンの寄生容量を最小限に抑えて、通信問題が発生しないようにします。負荷容量を見積もるには、問題の信号をモニタして、目的の信号が出力値の約63%に達するのに要する時間を測定します。これが1倍の時定数になります。

SYNCピンはプルダウン・トランジスタを内蔵しており、出力を公称で500nsの間ローに保持します。内部発振器を

500kHzに設定し、負荷が100pFで3倍の時定数が必要な場合、抵抗の計算は次のとおりです。

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

タイミング誤差が発生する場合、またはSYNCの周波数が必要な速度に達していない場合は、波形をモニタして、RC時定数がアプリケーションに対して長すぎないかを調べます。可能な場合は、寄生容量を低減します。可能でない場合は、プルアップ抵抗を十分に小さくして、適切なタイミングを確保してください。SHARE\_CLKのプルアップ抵抗にも同様の式があり、周期が10μsでプルダウン時間が1μsです。RC時定数は約3μs(以下)にします。

## フェーズ・ロック・ループと周波数同期

LTC3889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ピンの信号の立下がりエッジに同期します。PWMコントローラとSYNCの立下がりエッジの間の位相関係は、MFR\_PWM\_CONFIG\_LTC3889コマンドの下位3ビットによって制御されます。PolyPhaseアプリケーションでは、全ての位相の間隔を均一にすることを推奨します。したがって、2フェーズ・システムでは信号の位相を180°ずらし、4フェーズ・システムでは間隔を90°あけます。

位相検出器はエッジ反応型のデジタル・タイプで、外部発振器と内部発振器の位相シフトが事前に分かります。このタイプの位相検出器は、外部クロックの高調波に誤って同期することがありません。

位相検出器の出力は、内部フィルタ回路網を充放電する、1対の相補型電流源です。PLLロック・レンジは85kHz~500kHzが確保されます。公称デバイスの範囲はこれを超えていますが、動作可能な周波数範囲を広げること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のロックが外れると、STATUS\_MFR\_SPECIFICコマンドのビット4がアサートされ、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンはローになります。このビットに1を書き込めば、障害は解消できます。PLL\_FAULTの発生時に $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートしないようにするには、

## アプリケーション情報

SMBALERT\_MASK コマンドを使用してアラートを防止します。

アプリケーションでSYNCピンに入力される外部信号がない場合は、公称の事前設定周波数がPWM回路を制御します。FREQUENCY\_SWITCHを外部発振器にプログラムして、SYNCに入力される外部信号がない場合、LTC3889のPWMエンジンはPLL発振器の最小自走周波数で動作します。この場合には、インダクタ電流が過剰になることや、望ましくない動作が引き起こされることがあります。複数のデバイスがSYNCの信号を共用していて、SYNCに外部信号が入力されていない場合、デバイスは同期せず、出力に過剰な電圧リップルが生じることがあります。

1つのSYNC信号をPolyPhase構成で共用するには、複数のLTC3889が必要です。オプションで、複数のSYNCピンを接続する他の構成で単一のSYNC信号を形成することもできます。複数のLTC3889の間でSYNCピンを共用する場合、周波数出力を使用してプログラムするLTC3889は1つだけです。それ以外のLTC3889は、全てSYNC出力をディセーブルするようプログラムします。ただし、周波数は公称値に設定します。周波数出力を使用してLTC3889をプログラムする場合は、外部信号を入力します。この状態が存在する場合、MFR\_PADSのビット10はローにアサートされます。

動作中のPWM信号の周波数が高すぎるように見える場合は、SYNCピンをモニタしてください。立下がりエッジに余計な遷移があると、PLLは目的の信号に対するノイズを自動追跡しようとして、この問題を回避するには、デジタル制御信号の配線を見直し、SYNC信号へのクロストークを最小限に抑えてください。

### 最小オン時間に関する検討事項

最小オン時間 $t_{ON(MIN)}$ は、LTC3889が上側MOSFETをオンすることができる最小時間です。これは内部の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は増加します。

LTC3889の最小オン時間は約45nsです。最小オン時間の増大を回避するには、優れた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に少なくとも10mV～15mVのリップルが必要です。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。ピーク電流の検出電圧が減少するにつれて、最小オン時間は130nsまで徐々に増加します。これは、強制連続アプリケーションでリップル電流が小さく負荷が軽い場合に、特に懸念される点です。この状況でデューティ・サイクルが最小オン時間の限度を下回ると、大きなサイクル・スキップが発生する可能性があり、それに応じて電流リップルと電圧リップルが大きくなります。

### 外部温度の検出

LTC3889は、各チャンネルのパワー段の温度を測定できます。シリコン接合のリモート・センサーを使用する複数の方法がサポートされています。遠隔検出回路によって生成される電圧は内蔵のADCによってデジタル化され、ページ指定された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。

外部温度測定を最も正確に行うには、図32に示すように、MMBT3906などのダイオード接続のPNPトランジスタを使用します。このセンサー構成を使用する場合は、MFR\_PWM\_MODE\_LTC3889のビット5を0に設定します( $\Delta V_{BE}$ 法)。トランジスタはパワー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はTSNS $_n$ ピンに接続する一方で、ベース端子とコレクタ端子は、ケルビン接続を使用してLTC3889のピン53に接続して直接戻す

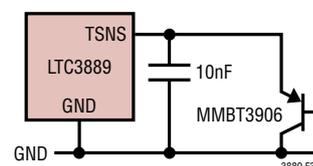


図32.  $\Delta V_{BE}$ による外部温度の検出

## アプリケーション情報

必要があります。最高のノイズ耐性を得るには、接続の配線を差動式にして、10nFのコンデンサをダイオード接続のPNPと並列に配置します。コンデンサとトランジスタの間のPCBパターンの寄生インダクタンスは最小限に抑えてください。トランジスタとコンデンサの間にPCBのビアを配置するのは避けてください。

また、LTC3889は、MFR\_PWM\_MODE\_LTC3889のビット5を1に設定した場合、接合電圧の直接測定をサポートします。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式のデュアル・ダイオード・ネットワークをサポートしています。2番目の測定方法は、概して最初の方法ほど正確ではありませんが、従来のパワー・ブロックをサポートしており、ノイズの多い環境で信号レベルが低めのために $\Delta V_{BE}$ 法を使用できない場合には、必要であると分かります。

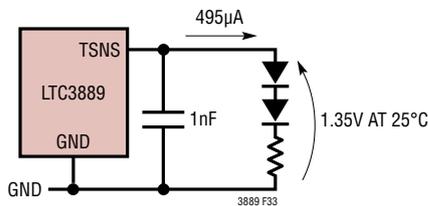


図33. 2D+Rによる温度検出

いずれの方法の場合も、外部温度センサーの勾配はMFR\_TEMP\_1\_GAINに格納されている係数で変更できます。 $\Delta V_{BE}$ 法の場合、標準的なPNPでは、温度勾配を1よりわずかに小さくする調整が必要です。MMBT3906の概算の推奨値は、理想係数1.01に基づいてMFR\_TEMP\_1\_GAIN = 0.991です。MFR\_TEMP\_1\_GAINを計算するには、単純に理想係数の逆数をとります。理想係数はメーカーやロットごとに様々な値をとります。この値を設定するときは、メーカーに問い合わせてください。p-n接合の直接測定法を使用する場合は、試作品の特性評価を全温度範囲にわたって実施してからMFR\_TEMP\_1\_GAINの最終的な値を選択することを推奨します。

外部温度検出のオフセットは、MFR\_TEMP\_1\_OFFSETを使用して調整できます。

外部温度検出素子を使用しない場合は、TSNS<sub>n</sub>ピンをGNDに短絡する必要があります。UT\_FAULT\_LIMITを-275 °Cに、UT\_FAULT\_RESPONSEを無視に、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適切に使用するには、MFR\_PWM\_MODE\_LTC3889コマンドのセクションに記載の2つの方法に対して与えられた専用の式を参照してください。

## EEPROMデータ保持期間の温度でのディレーティング

-40°C~125°Cの範囲内では、EEPROMの読出し動作はデータ記憶に影響しません。ただし、85°Cより高い温度でEEPROMに書き込むか、125°Cより高い温度でEEPROMを保管するか動作させると、データ保持期間は短くなります。85°Cより高い温度で不規則の障害ログが生成される場合、EEPROMの障害ログ領域でのデータ保持期間はわずかに短くなりますが、機能やEEPROMの他の記憶領域の使用には影響しません。EEPROMの高温での他の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。データの劣化は、次式を使用して無次元の加速係数を計算することによって概算できます。

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

ここで、

AF = 加速係数

E<sub>a</sub> = 活性化エネルギー = 1.4eV

k = 8.617 • 10<sup>-5</sup> eV/K

T<sub>USE</sub> = 規定のジャンクション温度

T<sub>STRESS</sub> = 実際のジャンクション温度(°C)

一例として、デバイスを130°Cで10時間保管すると、次のようになります。

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

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

これはデバイスを125°Cで10 • 1.66 = 16.6時間動作させたのと同じ結果を示しており、データ保持期間が6.6時間下がったこととなります。

## アプリケーション情報

### 入力電流検出アンプ

LTC3889の入力電流検出アンプは、外付け抵抗を使用して $V_{IN}$ ピンに流れ込む電源電流を検出できるだけでなく、外付け検出抵抗を使用してパワー段の電流も検出できます。不連続な入力電流によって生じる周波数ノイズを軽減するよう配慮しない限り、入力電流測定誤差が極めて大きくなる可能性があります。ノイズが最大になるのは、大電流アプリケーションで降圧比が高い場合です。測定誤差を最小限に抑えるため、 $V_{IN}$ ピンでのレイアウトとフィルタ処理を入念に行うことを推奨します。 $V_{IN}$ 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処理します。フィルタは $V_{IN}$ ピンにできるだけ近づけて配置してください。 $V_{IN}$ ピン・フィルタの電源側は、 $R_{IINSNS}$ 抵抗の電源側にケルビン接続します。大半のアプリケーションでは、 $2\Omega$ の抵抗で十分です。この抵抗があると、 $V_{IN}$ ピンに流れ込む電流により、電源と $V_{IN}$ ピンの間にIR電圧降下が生じます。この電圧降下を補償するため、MFR\_RVINコマンドの値を公称の抵抗値に設定します。LTC3889はMFR\_READ\_ICHIPの測定値にユーザ定義のMFR\_RVINの値を掛けて、得られた電圧を $V_{IN}$ ピンでの測定電圧に加算します。

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

したがって、READ\_VINコマンドは $V_{IN}$ ピン・フィルタの電源側の電圧値を返します。 $V_{IN}$ フィルタ素子を使用しない場合は、MFR\_RVIN = 0を設定します。

入力電圧レベルが高い場合は、 $I_{IN+}$ ピンおよび $I_{IN-}$ ピンと $V_{IN}$ ピンの間に $1k\Omega$ 抵抗と $10nF$ コンデンサのRCフィルタが必要な場合があります。上側MOSFETのドレインとグラウンドの間のコンデンサは、低ESRのセラミック・コンデンサにします。このコンデンサは、高周波の過渡入力電流を供給するため、上側MOSFETのドレインにできるだけ近づけて配置します。こうすると、上側MOSFETのゲートからのノイズが入力

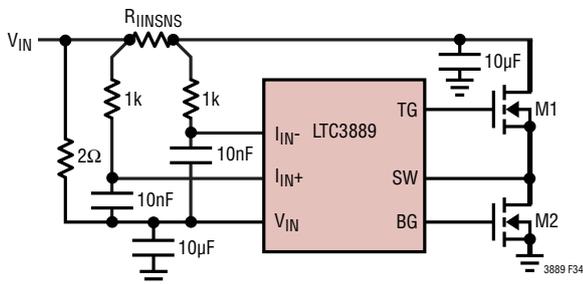


図 34. 低ノイズの入力電流検出回路

電流検出アンプの入力および電源に送り込まれないようにするのに役立ちます。

入力電流検出アンプを使用しない場合は、 $V_{IN}$ 、 $I_{IN+}$ 、 $I_{IN-}$ の各ピンを互いに短絡してください。

### 外付け抵抗設定ピン (RCONFIG)

LTC3889は、外付け抵抗の構成を使用するよう出荷時にプログラムされています。これにより、PMBusインターフェースを介してデバイスをプログラムすることも、プログラム済みのカスタム・デバイスを購入することもなく、出力電圧、PWM周波数、PWM位相制御、およびPMBusアドレスを設定できます。抵抗によるプログラミングを行うには、 $V_{DD25}$ とGNDの間に配置した抵抗分圧器をRCONFIGピンに接続することが必要です。RCONFIGピンに応答指令信号が送られるのは、最初の電源投入時とリセット時だけなので、デバイスに電源が投入されている間の動作中に値を変更しても効果はありません。同じICの複数のRCONFIGピンに同じプログラミングが必要な場合は、これらのピンで1つの抵抗分圧器を共有できます。許容誤差が1%以内の抵抗を使用して、適正な動作を確保する必要があります。以降の表では、 $R_{TOP}$ は $V_{DD25}$ とRCONFIGピンの間に接続するのに対して、 $R_{BOT}$ はRCONFIGピンとGNDの間に接続します。ノイズの多いクロック信号の配線は、これらのピンに近づけないようにします。

### 電圧の選択

$VOUT\_CFG_n$ ピンを使用して出力電圧を設定すると、以下のパラメータは出力電圧のパーセント値として設定されます。

- VOUT\_OV\_FAULT\_LIMIT ..... +10%
- VOUT\_OV\_WARN\_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%

$VOUT\_CFG_n$ ピンを使用して出力電圧を設定するには、表3を参照してください。1%精度の抵抗を使用して、適正な動作を確保する必要があります。 $VOUT$ を7V以下に設定する場合は、低範囲を使用します。

## アプリケーション情報

VOUT<sub>n</sub>\_CFG ピンを使用して V<sub>OUT</sub> を設定すると、デバイスはレールに電源を投入し、必要に応じて ON\_OFF\_CONFIG コマンドを変更して、PMBus コマンドに応答します。

表 3. VOUT\_CFG<sub>n</sub>

R <sub>TOP</sub> (kΩ)	R <sub>BOTTOM</sub> (kΩ)	V <sub>OUT</sub> (V)	ON/OFF
0 or Open	Open	EEPROM	EEPROM
10	23.2	36	ON
10	15.8	28	ON
16.2	20.5	24	ON
16.2	17.4	18	ON
20	17.8	15	ON
20	15	12	ON
20	12.7	8	ON
20	11	7	ON
24.9	11.3	5	ON
24.9	9.09	3.3	ON
24.9	7.32	2.5	ON
24.9	5.76	1.8	ON
24.9	4.32	1.5	ON
30.1	3.57	1.2	ON
30.1	1.96	1	ON
Open	0	EEPROM	OFF

## 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。複数の LTC3889 または複数の LTC3889 と LTC3870 を使用して出力を生成する PolyPhase 構成では、SYNC ピンを共用する必要があります。構成が PolyPhase ではない場合は、SYNC ピンを共用する必要はありません。複数の LTC3889 間で SYNC ピンを共用する場合は、イネーブルする SYNC ピンは 1 つだけにして、それ以外の全ての SYNC ピンはディスエーブルしてください。SYNC ピンには V<sub>DD33</sub> へのプルアップ抵抗が必要です。

例えば、クロックが 250kHz の 4 相構成では、全ての LTC3889 を目的の周波数および位相に設定する必要があり、いずれか 1 つの LTC3889 を、SYNC ピンをディスエーブルして目的の周波数に設定します。全ての位相制御は SYNC の立下がりエッジを基準にしています。

LTC3889 のチップ 1 では、周波数を 250kHz に設定し、位相シフトを 90° および 270° にして、SYNC ピンをイネーブルします。

周波数: R<sub>TOP</sub> = 24.9kΩ および R<sub>BOT</sub> = 9.09kΩ

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

LTC3889 のチップ 2 では、周波数を 250kHz に設定し、位相シフトを 0° および 180° にして、SYNC ピンをディスエーブルします。

周波数: R<sub>TOP</sub> = 24.9kΩ および R<sub>BOT</sub> = 9.09kΩ

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

周波数および位相は、全て FREQ\_CFG ピンと PHAS\_CFG ピンを使用して設定します。前述のアプリケーションでは、SYNC ピンの接続がチップ 1 から失われると、チップ 2 は内部で周波数が失われたことを検出して、250kHz でスイッチングを続行します。ただし、チップ間で SYNC ピンの接続が断たれているので、出力電圧リップルは目標値より高くなる可能性が高くなります。チップ 2 では MFR\_PADS のビット 10 がローにアサートされます。これは、チップ 2 が外部の SYNC 入力を想定しているときに専用の内部発振器を動作させていることを示しています。

表 4. FREQ\_CFG 抵抗のプログラミング

R <sub>TOP</sub> (kΩ)	R <sub>BOT</sub> (kΩ)	スイッチング周波数 (kHz)
0 or Open	Open	EEPROM
10	23.2	EEPROM
10	15.8	EEPROM
16.2	20.5	EEPROM
16.2	17.4	EEPROM
20	17.8	500
20	15	425
20	12.7	350
20	11	300
24.9	11.3	275
24.9	9.09	250
24.9	7.32	200
24.9	5.76	150
24.9	4.32	125
30.1	3.57	100
30.1	1.96	85
Open	0	External SYNC Only

## アプリケーション情報

### 位相の選択

SYNCの立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抵抗のプログラミング

R <sub>TOP</sub> (kΩ)	R <sub>BOT</sub> (kΩ)	θ <sub>SYNC</sub> とθ <sub>0</sub> の間	θ <sub>SYNC</sub> とθ <sub>1</sub> の間	SYNC出力
0 or Open	Open	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°	
Open	0	0°	180°	

### RCONFIGを使用したアドレスの選択

LTC3889のアドレスは、表6に従って2つの設定ピンASEL0およびASEL1をプログラムすることによって選択します。ASEL0ではLTC3889のデバイス・アドレスの下位4ビットをプログラムし、ASEL1では上位3ビットをプログラムします。また、アドレスのいずれの部分もEEPROMのMFR\_ADDRESSの値から読み出すことができます。両方のピンをオープンにした場合は、EEPROMに格納されている全7ビットのMFR\_ADDRESSの値を使用してデバイス・アドレスを決定します。LTC3889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は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するようになるからです。

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	
		LTC3889のデバイス・アドレス・ビット [6:4]		LTC3889のデバイス・アドレス・ビット [3:0]	
		2進数	16進数	2進数	16進数
0 or Open	Open	EEPROM		EEPROM	
10	23.2			1111	F
10	15.8			1110	E
16.2	20.5			1101	D
16.2	17.4			1100	C
20	17.8			1011	B
20	15			1010	A
20	12.7			1001	9
20	11			1000	8
24.9	11.3	111	7	0111	7
24.9	9.09	110	6	0110	6
24.9	7.32	101	5	0101	5
24.9	5.76	100	4	0100	4
24.9	4.32	011	3	0011	3
30.1	3.57	010	2	0010	2
30.1	1.96	001	1	0001	1
Open	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での効率は、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。多くの場合、個々の損失を分析して、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有益です。パーセント表示の効率は、次式で表すことができます。

$$\%Efficiency = 100\% - (L1 + L2 + L3 + \dots)$$

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

## アプリケーション情報

回路内で電力を消費する全ての要素で損失が生じますが、LTC3889の回路の損失の大部分は、以下に示す主な4つの損失要因によって生じます。それは、1) デバイスの $V_{IN}$ 電流、2)  $DRV_{CC}$ レギュレータの電流、3)  $I^2R$ 損失、4) 上側MOSFETの遷移損失です。

1.  $V_{IN}$ 電流は電気的特性の表に記載されているDC電源電流であり、MOSFETドライバの電流や制御電流は含まれません。外部電源を接続した $EXTV_{CC}$ ピンから $DRV_{CC}$ 電流を供給すると、必要な $V_{IN}$ 電流を最小限に抑えることができます。
2.  $DRV_{CC}$ 電流は、MOSFETドライバ電流と制御電流の合計です。MOSFETドライバ電流は、パワーMOSFETのゲート容量をスイッチングすることによって流れます。MOSFETのゲートがローからハイに切り替わり、再びローに切り替わるたびに、 $DRV_{CC}$ からグラウンドに一定量の電荷 $dQ$ が移動します。それによって生じる $dQ/dt$ は $DRV_{CC}$ から流れ出る電流であり、一般に制御回路の電流よりはるかに大きくなります。連続モードでは、 $I_{GATECHG} = f(Q_T + Q_B)$ です。ここで、 $Q_T$ と $Q_B$ は上側MOSFETと下側MOSFETのゲート電荷です。
3.  $I^2R$ 損失は、ヒューズ(使用する場合)、MOSFET、インダクタ、電流検出抵抗の各DC抵抗から予測されます。連続モードでは、 $L$ や $R_{SENSE}$ に平均出力電流が流れますが、上側MOSFETと同期MOSFETの間でこま切りにされます。2個のMOSFETの $R_{DS(ON)}$ がほぼ同じ場合は、いずれか一方のMOSFETの抵抗に $L$ の抵抗と $R_{SENSE}$ を加算するだけで $I^2R$ 損失を求めることができます。例えば、それぞれの値が $R_{DS(ON)} = 10m\Omega$ 、 $R_L = 10m\Omega$ 、 $R_{SENSE} = 5m\Omega$ である場合、全抵抗は $25m\Omega$ になります。この結果、5V出力の場合、出力電流が3Aから15Aに増加すると損失は2%~8%、3.3V出力では3%~12%の範囲になります。外付け部品および出力電力レベルが同じ場合、効率は $V_{OUT}$ の2乗に反比例して変化します。高性能デジタルシステムでは低出力電圧と大電流がますます要求されているので、その相乗効果により、スイッチング・レギュレータシステムの損失項の重要性は倍増ではなく4倍増となります。

4. 遷移損失は上側のMOSFETにのみ当てはまり、しかも大きくなるのは高い入力電圧(通常15V以上)で動作している場合に限りです。遷移損失は次式から概算できます。

$$\text{Transition Loss} = (1.7) V_{IN}^2 I_{O(MAX)} C_{RSS} f$$

銅パターン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更に5%~10%の効率低下を生じる可能性があります。こうした「システム」レベルの損失を設計段階で盛り込む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限に抑えることができます。25W電源には、一般にESRが最大 $20m\Omega$ ~ $50m\Omega$ で容量が最小 $20\mu F$ ~ $40\mu F$ のコンデンサが必要です。LTC3889の2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ー・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

LTC3889は、プログラム可能なループ補償により、ハードウェアを変更せずに過渡応答を最適化することができます。図35に示すように、エラー・アンプのゲイン $g_m$ は $1.0mS$ ~ $5.73mS$ の範囲で変化し、補償抵抗 $R_{TH}$ はコントローラ内部では $0k\Omega$ ~ $62k\Omega$ の範囲で変化します。この設計では2つの補償コンデンサ $C_{TH}$ および $C_{THP}$ が必要であり、 $C_{TH}$ と $C_{THP}$ の比の代表値は10です。

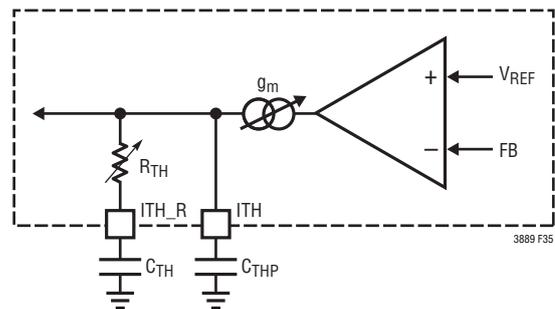


図35. プログラム可能なループ補償

## アプリケーション情報

$g_m$ と $R_{TH}$ だけを調整することにより、LTC3889は柔軟なタイプIIの補償回路ネットワークを実現して、広範囲の出力コンデンサにわたってループを最適化できます。 $g_m$ を調整すると、図36に示すように、ポールとゼロの位置を移動することなく、全周波数範囲にわたって補償のゲインを変更できます。

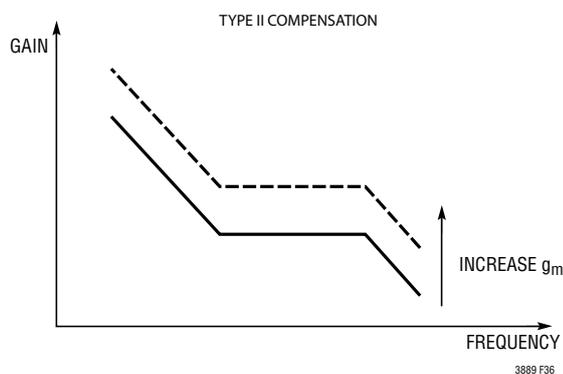


図36. エラー・アンプの $g_m$ 調整

$R_{TH}$ を変更すると、図37に示すように、ポールとゼロの位置が変わります。LTPowerCADツールを使用して、 $g_m$ および $R_{TH}$ の適切な値を決定することを推奨します。

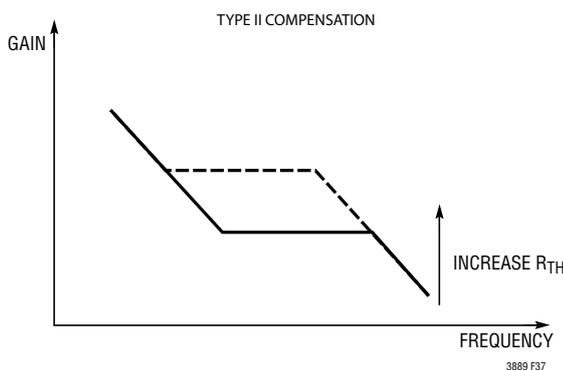


図37.  $R_{TH}$ の調整

### 過渡応答のチェック

レギュレータのループ応答は、負荷電流の過渡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 $\Delta I_{LOAD} \cdot (ESR)$ に等しい大きさだけシフトします。ここで、ESRは $C_{OUT}$ の等価直列抵抗です。また、 $\Delta I_{LOAD}$ 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動作します。この回復期間に、

安定性に問題があることを示す過度のオーバーシュートやリングングが発生しないか、 $V_{OUT}$ をモニタできます。 $I_{TH}$ ピンを備えているので、制御ループ動作を最適化できるだけでなく、DC結合され、ACフィルタを通したクロズドループ応答のテスト・ポイントも得られます。このテスト・ポイントでのDCステップ、立上がり時間、およびセトリングは、クロズド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、位相余裕やダンピング・ファクタは、このピンに現れるオーバーシュートのパーセンテージを使用して概算できます。このピンの立上がり時間を調べることで、帯域幅も概算できます。代表的なアプリケーションの回路に示す $I_{THR}$ の外付けコンデンサは、ほとんどのアプリケーションで妥当な初期値として使用されます。ループ・ゲインに影響するプログラム可能なパラメータは、電圧範囲(MFR\_PWM\_CONFIG\_LTC3889コマンドのビット[1])、電流範囲(MFR\_PWM\_MODE\_LTC3889コマンドのビット7)、PWMチャンネル・アンプの $g_m$ (MFR\_PWM\_COMPのビット[7:5])、および内部の $R_{ITH}$ 補償抵抗(MFR\_PWM\_COMPのビット[4:0])です。補償計算の前には、必ずこれらの設定値を決めるようにしてください。

$I_{TH}$ ピンの直列の内部 $R_{ITH}$ -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。最終的なプリント基板レイアウトが完了して、 $C_C$ フィルタ・コンデンサと出力コンデンサの種類と値を具体的に決めたら、 $R_{ITH}$ の値を調整して過渡応答を最適化します。ループのゲインと位相は、出力コンデンサの様々な種類と値によって決まるので、出力コンデンサは選択する必要があります。立上がり時間が $1\mu s \sim 10\mu s$ 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にグラウンドへの抵抗を取り付けて出力コンデンサの両端に直接接続し、適切な信号発生器でゲートを駆動するのが、負荷ステップを作り出す実用的な方法です。MOSFET+ $R_{SERIES}$ により、 $V_{OUT}/R_{SERIES}$ にはほぼ等しい出力電流が発生します。電流制限の設定値と事前設定の出力電圧により異なりますが、 $R_{SERIES}$ の値は $0.1\Omega \sim 2\Omega$ 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らない場合があるため、位相余裕を決定するの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

アプリケーション情報

方が確実です。この信号は帰還ループ内にあり、フィルタを通して補償された制御ループ応答です。ループのゲインは  $R_{ITH}$  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ので、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。ループのゲインは、MFR\_PWM\_COMP コマンドのビット [7:5] を使用して設定するエラーアンプのトランスコンダクタンスに比例します。出力電圧のセリングの様子はクロズドループ・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で切替えが行われると、更に大きなトランジェントが発生します。放電したバイパス・コンデンサが実質的に  $C_{OUT}$  と並列接続された状態になるため、 $V_{OUT}$  が急激に低下します。負荷スイッチの抵抗が小さく、かつ短時間で駆動されると、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できるほど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、スイッチの立上がり時間を制御して、負荷の立上がり時間を約  $25 \cdot C_{LOAD}$  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 の立上がり時間が

必要になり、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 LTC3889 を使用して PolyPhase レールを構成する場合は、両方のデバイスの SYNC、ITH、SHARE\_CLK、 $\overline{FAULT}_n$ 、PGOOD $_n$ 、および ALERT ピンを共用する必要があります。 $\overline{FAULT}_n$ 、PGOOD $_n$ 、SYNC、SHARE\_CLK、および ALERT には、必ずプルアップ抵抗を使用してください。LTC3889 の SYNC ピンのいずれか 1 つを目的のスイッチング周波数に設定し、それ以外の全ての FREQUENCY\_SWITCH コマンドを外部クロックに設定する必要があります。外部発振器を接続する場合は、全ての LTC3889 を対象に FREQUENCY\_SWITCH コマンドを外部クロックに設定します。全てのチャンネルの相対位相は等間隔にします。全てのデバイスの MFR\_RAIL\_ADDRESS を同じ値に設定してください。

複数の LTC3889 を使用して PolyPhase レールを接続する場合は、LTC3889 の  $V_{IN}$  ピンを  $V_{IN}$  ピンのフィルタ・ネットワークを介して電源電圧に直接戻します。

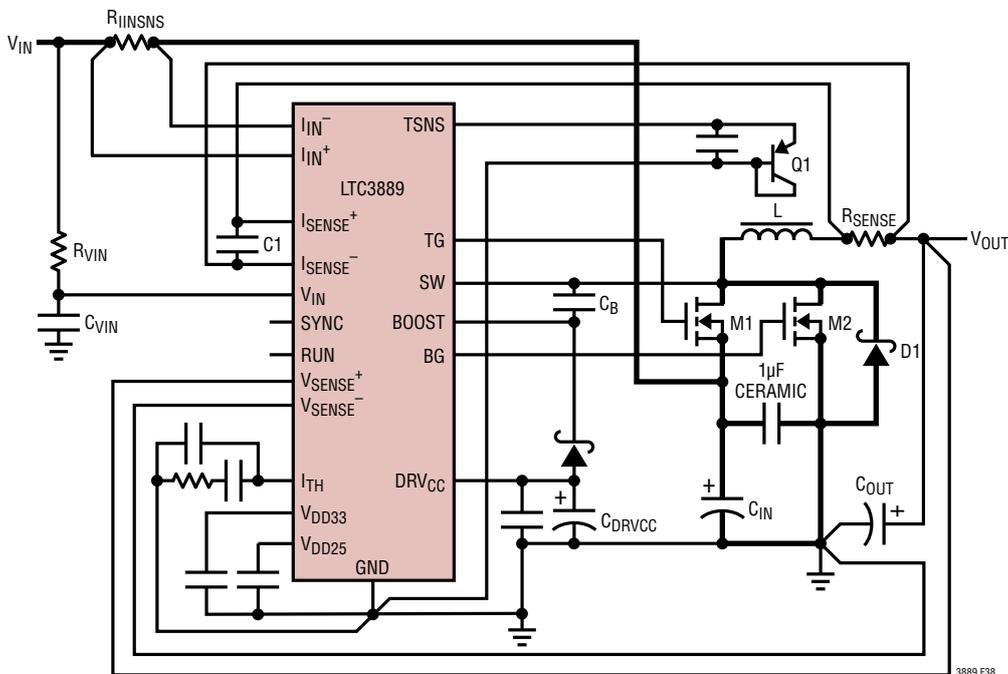


図 38. プリント基板の推奨レイアウト、シングル・フェーズの場合を表示

## アプリケーション情報

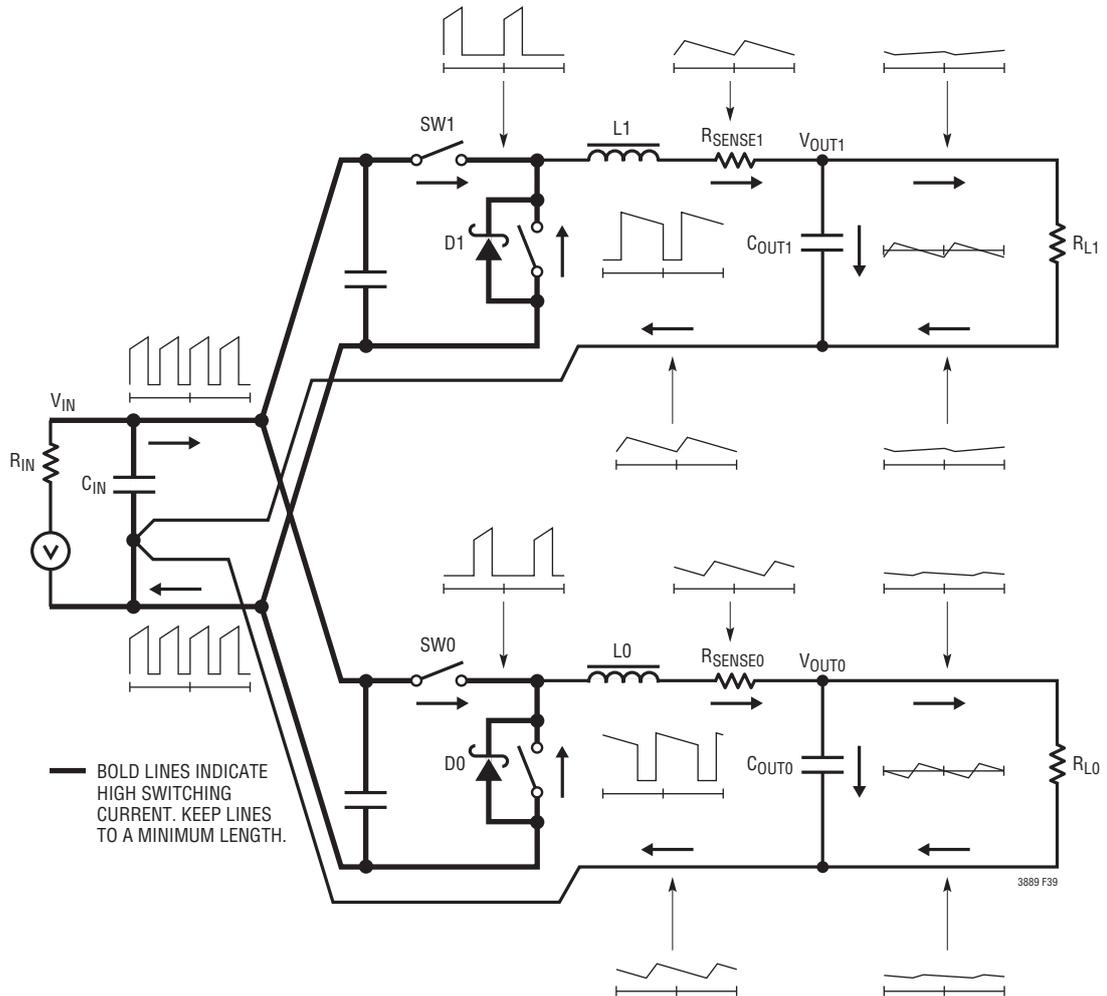


図 39. 枝路電流の波形

## アプリケーション情報

### プリント回路基板レイアウトのチェックリスト

プリント回路基板をレイアウトするときは、以下のチェックリストを使用して、このデバイスが正しく動作するようにします。これらの項目は、図38のレイアウト図でも説明されています。連続モードで動作している同期整流式レギュレータの様々な分岐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. 上側のNチャンネルMOSFET (M1)は、 $C_{IN}$ 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は分離されていますか。 $C_{DRVCC}$ のグラウンド帰還路は、1つにまとめた $C_{OUT}$ の(-)端子に戻す必要があります。
3.  $I_{TH}$ のパターンはできるだけ短くします。
4. 上側のNチャンネルMOSFET、ショットキー・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プリント基板パターンを短くします。
5. 出力コンデンサの(-)端子と入力コンデンサの(-)端子はできるだけ近づけて接続します。そのためには、コンデンサを互いに隣接させ、項目4のショットキー・ダイオード・ループからは離して配置します。
6.  $I_{SENSE}^{+}$ と $I_{SENSE}^{-}$ のリードは、プリント基板の最小パターン間隔で一緒に配線されていますか。 $I_{SENSE}^{+}$ と $I_{SENSE}^{-}$ の間のフィルタ・コンデンサは、ICにできるだけ近づけます。検出抵抗とインダクタのどちらかを電流検出に使用する場合でも、これらにはケルビン接続を使用して正確な電流検出になるようにしてください。
7.  $DRV_{CC}$ のデカップリング・コンデンサは、ICの近くで $DRV_{CC}$ ピンと電源グラウンド・ピンの間に接続されていますか。このコンデンサはMOSFETドライバのピーク電流を供給します。1 $\mu$ Fのセラミック・コンデンサを1個、 $DRV_{CC}$ ピンとGNDピンのすぐ近くに追加すると、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( $SW_n$ )、上側ゲート・ノード( $TG_n$ )、および昇圧ノード( $BOOST_n$ )は、高感度の小信号ノード、特に電圧検出と電流検出の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、高速で変化するので、LTC3889の出力側に配置し、プリント基板のパターン面積を最小限に抑え

ます。DCRによる検出を使用する場合は、上側の抵抗(図25a、R1)をスイッチング・ノードに近づけて配置します。

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側のプリント基板にある低インピーダンスの広い銅領域の中央接地点で、ここに $DRV_{CC}$ と $EXTV_{CC}$ のデカップリング・コンデンサの下側、帰還抵抗分圧器の下側、およびデバイスのGNDピンを接続します。
10.  $I_{IN}^{+}$ ピンと $I_{IN}^{-}$ ピンを $R_{SENSEIN}$ 検出抵抗にケルビン接続していますか。こうすると、入力電流測定時にプリント基板のパターン抵抗による誤差が発生しません。これらのパターンはできるだけ短くして、スイッチング・ノードや昇圧ノードなど、ノイズの多いノードから遠ざけて配線してください。
11.  $V_{IN}$ ピンのフィルタを $R_{SENSEIN}$ 抵抗の入力側にケルビン接続していますか。こうすると、入力電流検出アンプのノイズ性能向上に役立ちます。そのためには、パワー段の不連続な電流によって生じる、入力電流検出アンプの入力とアンプの電源の間の電圧トランジェントを低減します。

### プリント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、更に、出力負荷が低電流動作閾値を下回るまで、動作周波数が保たれるようにしてください。

適切に設計された低ノイズのプリント基板実装形態では、デューティ・サイクルのパーセンテージがサイクル間で維持されます。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の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を最適化する必要がない場合は、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

$V_{IN}$ をその公称レベルから下げて、ドロップアウト状態のレギュレータ動作を確認します。出力をモニタしながら更に $V_{IN}$ 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。入力電圧が高くかつ出力電流が小さいときに問題が発生する場合は、 $BOOST_n$ 、 $SW_n$ 、 $TG_n$ 、場合によっては $BG_n$ と、高感度の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、 $C_{IN}$ 、ショットキー・ダイオード、および上側MOSFETと、高感度の電流検出および電圧検出パターンとの間に誘導性結合がないかを調べます。更に、これらの部品とデバイスのGNDピンの間の、共通グラウンド経路の電圧ピックアップも調べてください。

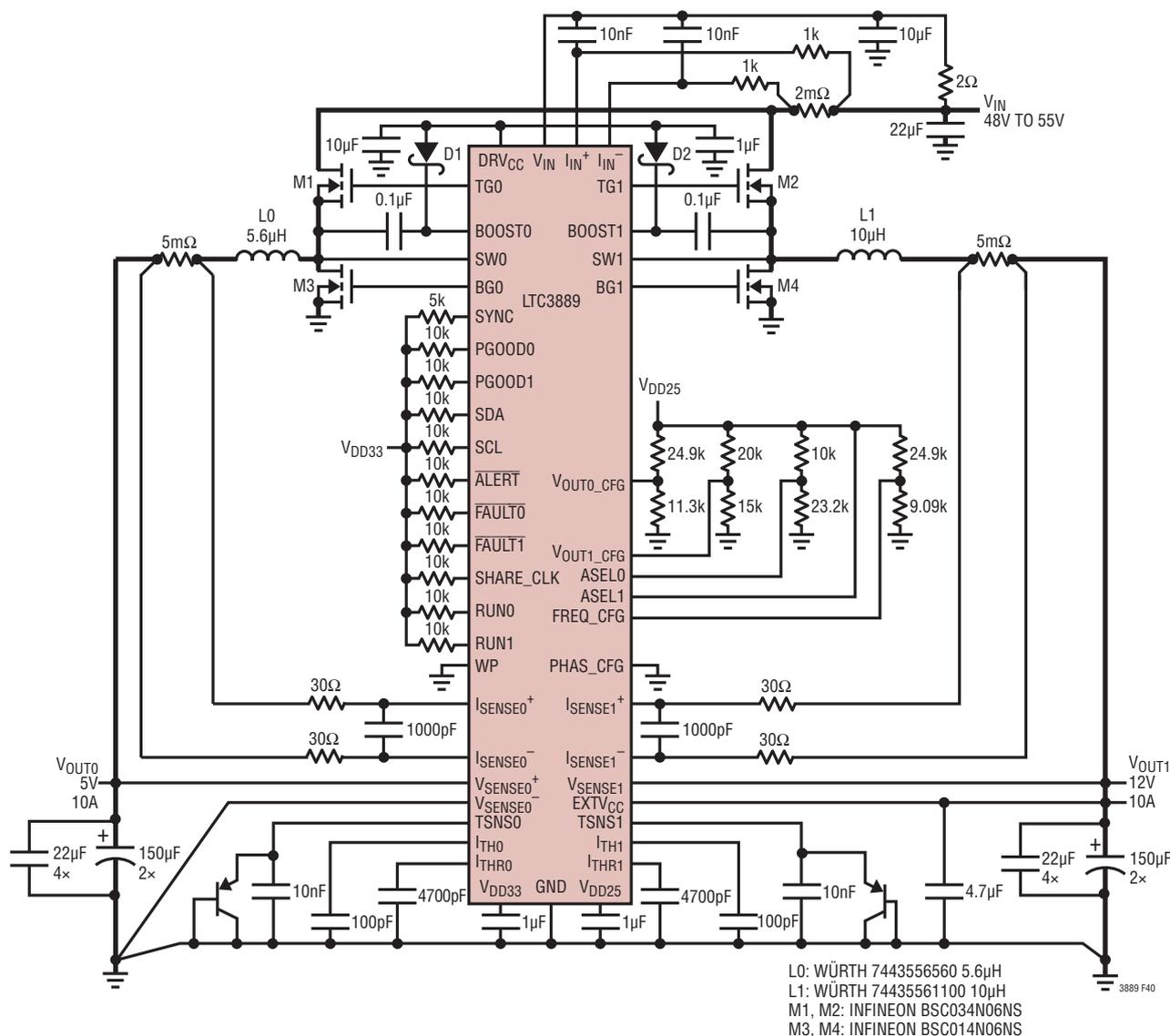


図40. 高効率、デュアル250kHz、12V/5V降圧コンバータ

## アプリケーション情報

## 設計例

中程度の電流を流すレギュレータの設計例として、 $V_{IN} = 48V$  (公称)、 $V_{IN} = 55V$  (最大)、 $V_{OUT0} = 3.3V$ 、 $V_{OUT1} = 12V$ 、 $I_{MAX0,1} = 10A$ 、および  $f = 250kHz$  を想定します (図40参照)。

安定化出力は、EEPROMに格納されている  $V_{OUT\_COMMAND}$  によって設定するか、 $V_{DD25}$ 、 $V_{OUTn\_CFG}$  ピン、および  $GND$  の間に次の抵抗分圧器を配置することによって設定します。

1.  $V_{OUT0\_CFG}$ 、 $R_{TOP} = 24.9k$ 、 $R_{BOTTOM} = 11.3k$
2.  $V_{OUT1\_CFG}$ 、 $R_{TOP} = 20k$ 、 $R_{BOTTOM} = 15k$

周波数と位相は、EEPROMで設定するか、 $V_{DD25}$  と  $GND$  の間に抵抗分圧器を配置して設定します。

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

アドレスは  $XF$  に設定されます ( $X$  は EEPROM に格納されている  $MSB$  です)。

抵抗設定ピンを使用して出力電圧を決める場合は、以下のパラメータを出力電圧のパーセント値として設定します。

- $V_{OUT\_OV\_FAULT\_LIMIT}$  ..... +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を利用することで、目的の動作パラメータによってデバイスを素早くセットアップできます。

インダクタンスの値は、35%の最大リップル電流 (3.5A) を前提にしています。リップル電流が最大値をとるのは、最大入力電圧のときです。

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

チャンネル0には  $5.2\mu H$  が必要であり、チャンネル1には  $10.7\mu H$  が必要です。最も近い標準値は、それぞれ  $5.6\mu H$  と  $10\mu H$  です。入力が公称値のとき、リップルは次のようになります。

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

チャンネル0のリップルは  $3.2A$  (32%) になり、チャンネル1のリップルは  $3.6A$  (36%) になります。ピーク・インダクタ電流は、最大DC値にリップル電流の1/2を加えた値になります。つまり、チャンネル0では  $11.6A$  になり、チャンネル1では  $11.8A$  になります。チャンネル0のオン時間が最小になるのは  $V_{IN}$  が最小のときであり、 $45ns$  より短くなることはありません。

$$t_{ON(MIN)} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN(MAX)} \cdot f} = \frac{5V}{55V(250kHz)} = 363ns$$

選択したインダクタは、チャンネル0の場合は、Würth製 7443551370:  $3.7\mu H$  ( $25^\circ C$  での  $DCR_{TYP}$  は  $4.9m\Omega$ ) であり、チャンネル1の場合は Würth製 7443556560:  $5.6\mu H$  ( $25^\circ C$  での  $DCR_{TYP}$  は  $3.7m\Omega$ ) です。

電流検出抵抗の最小値は、 $15mV$  の信号を維持するのに十分な大きさにする必要があります。

$$R_{SENSEMIN} = \frac{\Delta V_{ISENSE}}{\Delta I_L} = \frac{15mV}{3.2A} = 4.68m\Omega$$

電流検出抵抗の最大値は、 $75mV$  の最大電流検出閾値を超えないよう十分に小さくする必要があります。

$$R_{SENSEMAX} = \frac{V_{IPEAK}}{I_{PEAK}} = \frac{75mV}{11.6A} = 6.46m\Omega$$

$R_{SENSE0} = 5m\Omega$  に設定し、次の値も設定します。

$$I_{OUT\_CAL\_GAIN} = 5m\Omega$$

チャンネル1について、それぞれの値を次のように設定します。

$$R_{SENSE0} = 5m\Omega$$

$$I_{OUT\_CAL\_GAIN} = 5m\Omega$$

$$V_{ILIMIT} = I_{PEAK} \cdot R_{SENSE} = 5mV \cdot 11.6A = 58mV$$

## アプリケーション情報

最も近い  $V_{ILIMIT}$  設定値は、高範囲での 58.9mV です。この値は  $IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT$  コマンドを使用して入力します。検出コンデンサ両端での、予想されるばらつきと実験室での測定に基づいて、最適な設定値を決めることができます。チャンネル 1 では、 $V_{ILIMIT}$  の値は 59mV です。最も近い値は 58.9mV です。

上側 MOSFET の消費電力は容易に推定できます。INFINEON 製 BSC034N06NS を上側 MOSFET として選択します。 $R_{DS(ON)} = 3.4m\Omega$ 、 $C_{MILLER} = 75pF$  です。下側 MOSFET を INFINEON 製 BSC014N06NS ( $R_{DS(ON)} = 1.45m\Omega$ ) にした場合、 $T$  (推定値) = 50°C での最大入力電圧では、次のようになります。

$$P_{MAIN} = \frac{5V}{55V} \cdot (11.6)^2 \cdot [1 + (0.005)(50^\circ C - 25^\circ C)] \\ \cdot 0.0034\Omega + (55V)^2 (5.8A) \cdot \left( \frac{1}{5-2.8} + \frac{1}{2.8} \right) \\ (75pF)(250kHz) = 0.314W$$

下側 MOSFET での損失は次のとおりです。

$$P_{SYNC} = \frac{(55V - 5V)}{55V} \cdot (11.6A)^2 \cdot \\ [1 + (0.005)(50^\circ C - 25^\circ C)] \cdot 0.00145\Omega \\ = 0.2W$$

$I^2R$  損失は両方の MOSFET に共通していますが、 $P_{MAIN}$  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。

$C_{IN}$  は、全温度範囲で次の値の RMS 電流定格に適合するように選択します。

$$I_{RMS} = \frac{11.6}{55} \left[ (5) \cdot (55 - 5) \right]^{1/2} = 3.33A$$

$C_{OUT}$  には、出力リップルが小さくなるよう、ESR が 0.01 $\Omega$  のものを選択します。連続モードでの出力リップルは、入力電圧が最大のときに最大になります。ESR による出力電圧リップルは次のとおりです。

$$V_{ORIPPLE} = R(\Delta I) = 0.01\Omega \cdot 3.2A = 32mV$$

## その他の設計チェック

FAULT0 と FAULT1 は互いに接続して、10k の抵抗で  $V_{DD33}$  にプルアップします。

RUN0 と RUN1 は互いに接続して、10k の抵抗で  $V_{DD33}$  にプルアップします。

アナログ・デバイセズの他の PSM デバイスがある場合は、RUN ピンをチップ間で接続して、更に FAULT ピンをチップ間で接続します。

このアプリケーションでは、全ての PMBus ピンを  $V_{DD33}$  まで抵抗でプルアップし、これらの入力をアナログ・デバイセズの全ての PSM デバイス間で接続するようにしてください。

SHARE\_CLK を 10k の抵抗で  $V_{DD33}$  に接続して、このアプリケーションでの全てのアナログ・デバイセズ PSM デバイス間で共用します。

各チップの固有アドレスは、ASEL0 ピンと ASEL1 ピンを使用して復号できることに注意してください。表 6 を参照してください。

柔軟性を最大限に高めるため、 $R_{TOP}$  と  $R_{BOTTOM}$  の基板スペースを見込んで、ASEL0 や ASEL1 などの抵抗で設定されるパラメータに対応するようにします。

## USB-I<sup>2</sup>C/SMBus/PMBus 間アダプタからシステム内の LTC3889 への接続

アナログ・デバイセズの USB-I<sup>2</sup>C/SMBus/PMBus アダプタ (DC1613A または同等品) は、お客様の基板上にある LTC3889 とインターフェースをとって、プログラミング、遠隔測定、およびシステムのデバッグを行うことができます。このアダプタは、LTpowerPlay と組み合わせて使用すると、電源システム全体を強力にデバッグできます。遠隔測定値、障害ステータス・コマンド、および障害ログを使用して、障害を素早く診断することができます。最終設定を迅速に作成して、LTC3889 の EEPROM に格納できます。

システム電源が存在するかどうかに関係なく、アナログ・デバイセズの I<sup>2</sup>C/SMBus/PMBus アダプタを介して、1 つ以上の LTC3889 に対する電力供給、プログラミング、および通信を行うためのアプリケーション回路図を図 41 に示します。システム電源が存在しない場合は、アダプタから  $V_{DD33}$  電源ピンを介して LTC3889 に電力を供給します。 $V_{IN}$  が印加されておらず、 $V_{DD33}$  ピンに電力が供給されているときに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、

## アプリケーション情報

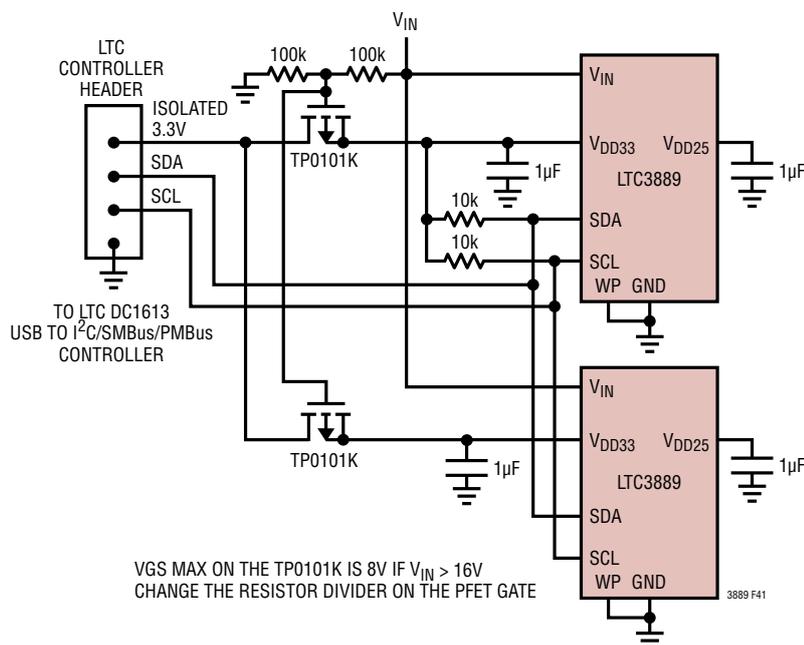


図 41. アナログ・デバイセズ製コントローラの接続

データ 0x2B、その後アドレス 0x5B、コマンド 0xBD、およびデータ 0xC4 を使用します。これにより、LTC3889 は正常に通信できるようになるので、プロジェクト・ファイルを更新できます。更新後のプロジェクト・ファイルを EEPROM に書き込むため、STORE\_USER\_ALL コマンドを発行します。VIN を印加したら、MFR\_RESET を発行して PWM をイネーブルし、有効な A/D 変換結果を読み出すことができるようにする必要があります。

アダプタの電流供給能力は限られているので、OR 接続の 3.3V 電源から電力を供給するのは、LTC3889、付随するプルアップ抵抗、および I<sup>2</sup>C のプルアップ抵抗に限定してください。更に、I<sup>2</sup>C バス接続を LTC3889 と共有するデバイスでは、SDA/SCL ピンとそれぞれの V<sub>DD</sub> ノードの間にボディ・ダイオードが形成されないようにしてください。ボディ・ダイオードは、システム電源が存在しないときバス通信に干渉するからです。VIN を印加した場合、DC1613A は基板上の LTC3889 に電力を供給しなくなります。RUN<sub>n</sub> ピンをローに保持するか、電圧設定抵抗を挿入しないようにして、デバイスが完全に設定されるまで負荷に電力を与えないことを推奨します。

LTC3889 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ています。アダプタからの 3.3V と LTC3889 の V<sub>DD33</sub> ピンは、別個の P チャンネル MOSFET を使用してそれぞれの LTC3889 まで駆動する必要があります。VIN を印加していない場合は、内蔵 LDO がオフなので、V<sub>DD33</sub> ピンを並列接続してもかまいません。DC1613A の 3.3V の電流制限は 100mA ですが、V<sub>DD33</sub> の代表的な電流は 15mA 以下です。

V<sub>DD33</sub> は DRV<sub>CC</sub>/EXTV<sub>CC</sub> ピンを逆駆動します。VIN がオープンの場合は、このことは通常問題ありません。

### LTpowerPlay: デジタル電源用のインタラクティブ GUI

LTpowerPlay は Windows ベースの強力な開発環境で、LTC3889 を含むアナログ・デバイセズのデジタル・パワー IC をサポートします。このソフトウェアは様々な作業をサポートします。デモ基板またはお客様のアプリケーションに接続することにより、LTpowerPlay を使用してアナログ・デバイセズの IC を評価できます。また、LTpowerPlay は、保存してから後で再ロードできる多数の IC 設定ファイルを作成するために、(ハードウェアと接続しない) オフライン・モードでも使用できます。LTpowerPlay は、従来にない診断機能とデバッグ機能を提供します。基板起動時の貴重な診断ツールになっており、パワー・システムのプログラムや調整、あるいはレール起動時の電源問題の診断を目的として使用します。LTpowerPlay は、アナログ・デバイセズの USB-I<sup>2</sup>C/SMBus/PMBus 間アダプタを使用して、DC2155A デモ基板など多くの潜在的ターゲットの 1 つ、またはお客様のターゲット・システムと通信します。また、このソフトウェアは自動更新機能も備えており、最新のデバイス・ドライバと技術文書一式により、リビジョンを最新の状態に維持します。LTpowerPlay では、豊富なコンテキスト・ヘルプといくつかのチュートリアル・デモを利用することができます。詳細は [LTpowerPlay](#) で参照できます。

## アプリケーション情報

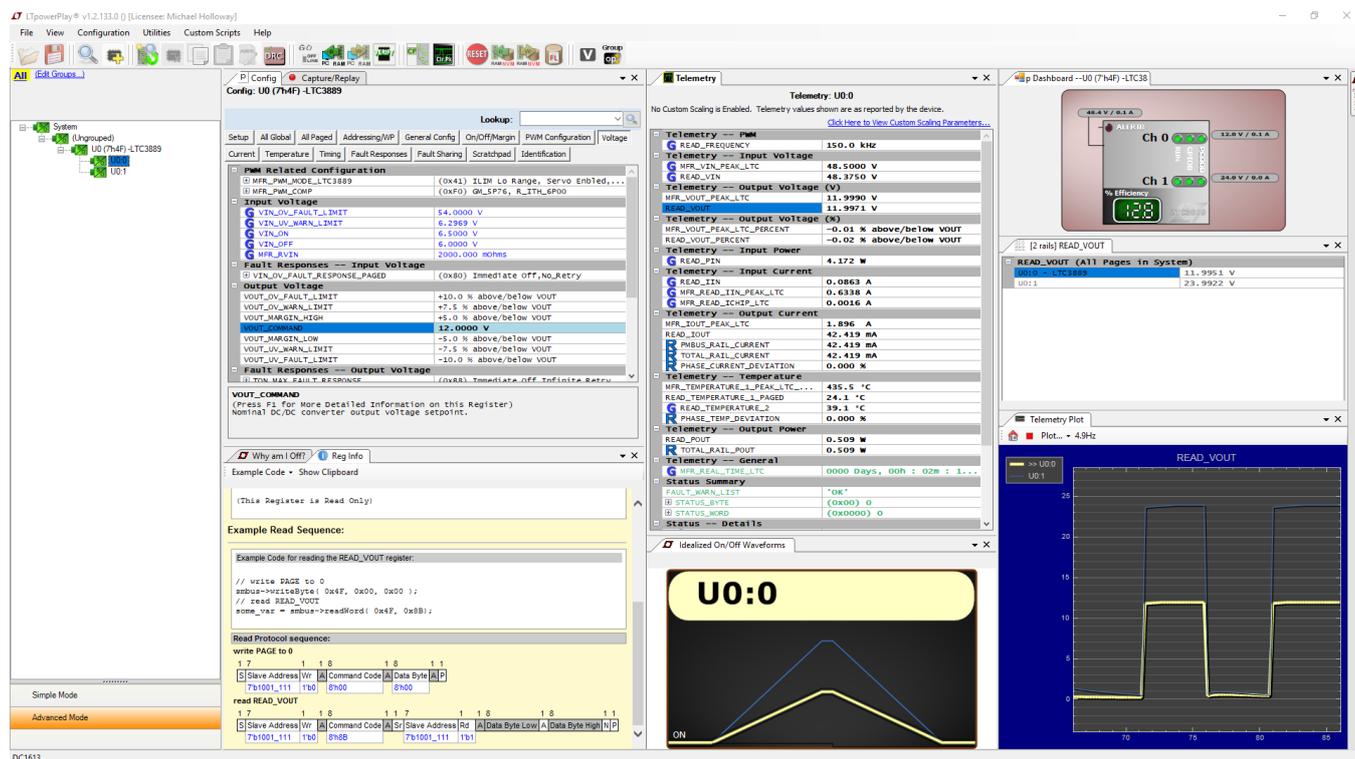


図42. LTpowerPlayのスクリーン・ショット

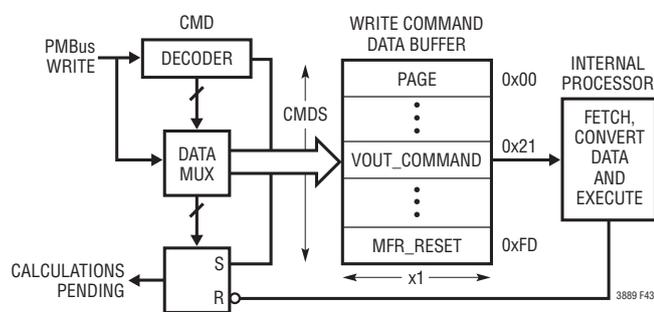


図43. 書き込みコマンドのデータ処理

## PMBus通信とコマンド処理

LTC3889は、図43「書き込みコマンドのデータ処理」に示すように、処理の前にサポート対象コマンドごとに書き込まれた最後のデータを保持するため、ディープ・バッファを内蔵しています。デバイスは、バスから新しいコマンドを受信すると、そのデータを書込みコマンド・データ・バッファにコピーして、このコマンド・データを取り出す必要があることを内部プロセッサに示し、コマンドを内部フォーマットに変換して、実行できるようにします。

2つの異なる並列ブロックがコマンドのバッファリングとコマンド処理(取り出し、変換、実行)を管理して、どのコマンドに対しても書き込まれた最後のデータが決して失われないようにします。コマンド・データのバッファリングは、コマンド・データを書込みコマンド・データ・バッファに格納し、これらのコマンドにマークを付けて将来の処理に備えることにより、入ってくるPMBus書き込みを処理します。内部プロセッサは並列に動作し、処理対象のマークが付いているコマンドの取り出し、変換、実行といった低速になることがあるタスクを処理します。

大量の計算が必要な一部のコマンド(例: タイミング・パラメータ、温度、電圧、電流)では、PMBusのタイミングに比べて内部プロセッサの実行時間が長くなる場合があります。デバイスがコマンドの処理でビジー状態になっているときに新しいコマンドが届くと、実行が遅れる場合や、受け取った順序とは異なる順序で実行される場合があります。デバイスは、内部計算が処理中である場合、それをMFR\_COMMONのビット5(「計算は保留中ではない」)によって示します。デバイスが計算でビジー状態になっている場合、

## 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 V2
```

図 44. VOUT\_COMMAND のコマンド書込みの例

ビット5はクリアされます。このビットが設定されると、デバイスは別のコマンドを実行する準備が整います。ポーリング・ループの例を図44に示します。ポーリング・ループは、コマンドが確実に順序どおり処理されるようにする一方で、エラー処理ルーチンを簡略化します。

デバイスはビジー状態の間に新しいコマンドを受け取ると、この状態を標準のPMBusプロトコルを使用して伝達します。デバイスは、その設定に応じて、コマンドに対してNACKを返すか、全て1(0xFF)を返して読出しに備えます。また、BUSY障害とALERT通知を生成することや、SCLクロックのローの時間を長くすることもできます。クロック・ストレッチングは、MFR\_CONFIG\_ALL\_LTC3889のビット1をアサートすることにより、有効にすることができます。クロック・ストレッチングが実行されるのは、それを有効にして、かつバス通信速度が100kHzを超えている場合だけです。

PMBusビジー・プロトコルは広く受け入れられている規格ですが、システム・レベル・ソフトウェアの記述がやや複雑になることがあります。このデバイスには3つの「ハンドシェーキング」ステータス・ビットが用意されており、これによって複雑さが軽減されつつ、堅牢なシステム・レベルの通信が可能になります。

3つのハンドシェーキング・ステータス・ビットは、MFR\_COMMONレジスタ内にあります。デバイスは、内部動作の実行中でビジー状態のとき、MFR\_COMMONのビット6(「デバイスはビジーではない」)をクリアします。特に、VOUTが遷移状態(マージンのハイ/ロー制御、電源のオフ/オン、新しい出力電圧設定値への移行など)であるこ

とが理由でデバイスがビジー状態である場合、デバイスはMFR\_COMMONのビット4(出力は遷移中でない)をクリアします。内部計算が進行中のときは、MFR\_COMMONのビット5(「計算は保留されない」)がクリアされます。これら3つのステータス・ビットは、3つ全てのビットが設定されるまで、MFR\_COMMONレジスタのPMBus読出しバイトを使用してポーリングすることができます。ステータス・ビットが設定された直後のコマンドは受け付けられ、NACK応答が返されることも、BUSY障害信号/ $\overline{\text{ALERT}}$ 通知が生成されることもありません。ただし、PMBus仕様が要求する他の理由(例えば、無効なコマンドやデータなど)によって、デバイスはコマンドにNACK応答を返すことがあります。VOUT\_COMMANDレジスタに対する堅牢なコマンド書込みアルゴリズムの例を図44に示します。

ビジー動作や不要な $\overline{\text{ALERT}}$ 通知を扱うことによって処理が更に複雑になるのを避けるため、コマンド書込み(バイト書込み、ワード書込みなど)の前に必ずポーリング・ループを実装することを推奨します。これを達成する簡単な方法は、SAFE\_WRITE\_BYTE()サブルーチンおよびSAFE\_WRITE\_WORD()サブルーチンを作成することです。前述のポーリング・メカニズムを使用することで、ソフトウェアをクリーンかつシンプルに保ちつつ、デバイスとの堅牢な通信を実現できます。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、次に示すアプリケーション・ノートのセクションを参照してください。

<http://www.analog.com/jp/index.html>

100kHz以下のバス速度で通信する場合、ここに示すポーリング・メカニズムは、クロック・ストレッチングなしで堅牢な通信を可能にする簡素な解決策を提供します。バス速度が100kHzを超える場合は、クロック・ストレッチングが有効になるようにデバイスを設定することを強く推奨します。このためには、クロック・ストレッチングをサポートするPMBusマスタが必要です。PMBusの標準的なNACK/BUSY障害を検出して、正常に回復させるシステム・ソフトウェアが必要です。

LTC3889は、バス速度が400kHzを超えるアプリケーションには推奨しません。

## PMBus コマンドの詳細

### アドレス指定と書き込み保護

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
PAGE	0x00	複数ページの PMBus デバイスとの統合を実現します。	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みます。	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します。	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・バイトを設定します。	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 チャンネルの設定、制御、およびモニタを実行できます。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、以下の全てのページ化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出しは推奨しません。

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 を使用して送信できます。

PAGE コマンドで格納された値は、PAGE\_PLUS\_WRITE による影響を受けません。PAGE\_PLUS\_WRITE を使用してページ化以外のコマンドを送信する場合、ページ番号バイトは無視されます。

このコマンドはブロック書き込みプロトコルを使用します。2 バイトのデータを伴うコマンドを送信する PEC 付き PAGE\_PLUS\_WRITE コマンドの一例を図 45 に示します。

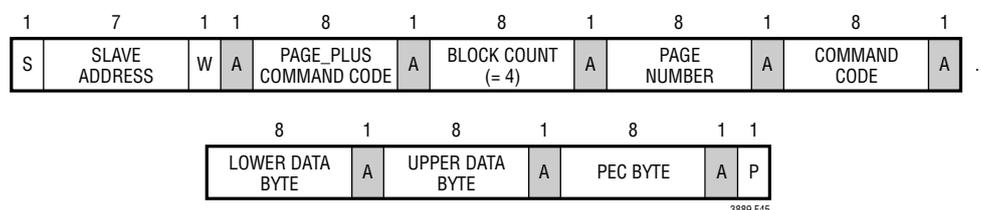


図 45. PAGE\_PLUS\_WRITE の例

## 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たデータを1つの通信パケットで全て読み出す機能を提供します。

PAGE コマンドで格納された値は、PAGE\_PLUS\_READ による影響を受けません。PAGE\_PLUS\_READ を使用してページ化以外のコマンドからのデータにアクセスする場合、ページ番号バイトは無視されます。

このコマンドは「ブロック書込み-ブロック読出しプロセス呼び出し」プロトコルを使用します。PEC付きのPAGE\_PLUS\_READ コマンドの一例を図46に示します。

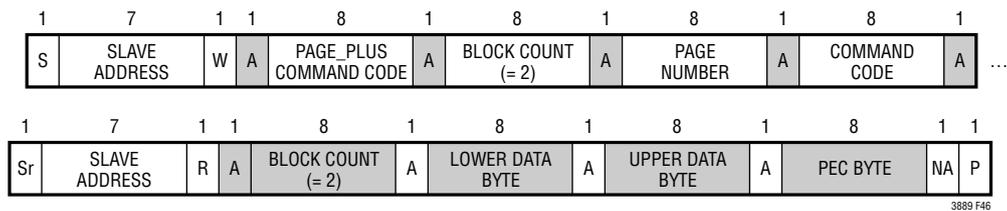


図46. PAGE\_PLUS\_READの例

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 コマンドの読出しまたは書込みに使用することはできません。これを試行すると、LTC3889はPAGE\_PLUS パケット全体にNACKを返し、無効なデータやサポートされていないデータに対してCML障害信号を出力します。

### WRITE\_PROTECT

WRITE\_PROTECT コマンドは、LTC3889デバイスへの書込みを制御するために使用します。このコマンドは、MFR\_COMMON コマンドで規定されるWPピンの状態は表示しません。WPピンはこのコマンドの値より優先されます。

バイト	意味
0x80	WRITE_PROTECT、PAGE、MFR_EE_UNLOCK、STORE_USER_ALLコマンドに対する書込みを除く、全ての書込みを無効化する。
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込みを除く、全ての書込みを無効化する。個々の障害ビットは、STATUSコマンドのそれぞれのビットに1を書き込むことによってクリアできる。
0x20	WRITE_PROTECT、OPERATION、MFR_EE_UNLOCK、MFR_CLEAR_PEAKS、CLEAR_FAULTS、PAGE、ON_OFF_CONFIG、VOUT_COMMAND、STORE_USER_ALLに対する書込みを除く、全ての書込みを無効化する。個々の障害ビットは、STATUSコマンドのそれぞれのビットに1を書き込むことによってクリアできます。
0x10	予備、0にする必要があります。
0x08	予備、0にする必要があります。
0x04	予備、0にする必要があります。
0x02	予備、0にする必要があります。
0x01	予備、0にする必要があります。

## 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有効になります。

WPピンがハイの場合は、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。個々の障害ビットは、STATUS コマンドのそれぞれのビットに1を書き込むことによってクリアできます。

### MFR\_ADDRESS

MFR\_ADDRESS コマンド・バイトは、このデバイスに対して7ビットのPMBusスレーブ・アドレスを設定します。

このコマンドの値を0x80に設定すると、デバイスのアドレス指定は無効になります。グローバル・デバイス・アドレス(0x5Aおよび0x5B)を非活動状態にすることはできません。RCONFIGを無視するよう設定した場合は、ASEL0ピンとASEL1ピンを引き続き使用して、チャンネル・アドレスのLSBとMSBをそれぞれ決定します。ASEL0ピンとASEL1ピンを両方共オープンにした場合、LTC3889はEEPROMに格納されたアドレスを使用します。ASEL0ピンをオープンにした場合、LTC3889はEEPROMに格納されたMFR\_ADDRESS値の下位4ビットを使用して、デバイスの有効なアドレスを作成します。ASEL1ピンをオープンにした場合、LTC3889はEEPROMに格納されたMFR\_ADDRESS値の上位3ビットを使用して、デバイスの有効な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 コマンドを使用すると、デバイス・アドレスによって、PAGEで起動したチャンネルに直接アクセスできます。このコマンドの値は、単一電源レールに接続された全てのデバイスに対して共通にする必要があります。

このアドレスにはコマンドの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出しを実行した場合、レール接続デバイスが完全に同じ値で応答しないと、LTC3889はバス競合を検出して、CML通信障害を設定します。

このコマンドの値を0x80に設定すると、該当チャンネルのレール接続デバイスのアドレス指定は無効になります。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

## 汎用設定コマンド

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
MFR_CHAN_CONFIG_LTC3889	0xD0	チャンネル固有の設定ビット。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x1D
MFR_CONFIG_ALL_LTC3889	0xD1	汎用の設定ビット。	R/W Byte	N	Reg		Y	0x21

## PMBus コマンドの詳細

**MFR\_CHAN\_CONFIG\_LTC3889**

アナログ・デバイセズの複数の製品に共通の汎用設定コマンドです。

ビット	意味
7	予備
6	予備
5	予備
4	RUNのロー状態を無効にします。このビットがアサートされると、オフが指定された場合、RUNピンにローのパルスが出力されません。
3	短サイクル。このビットがアサートされると、出力は、TOFF_DELAYまたはTOFF_FALLを待機している間オンするよう指示されていた場合、即座にオフになります。120msのTOFF_MINが受け付けられると、デバイスはオンするよう指示されます。
2	SHARE_CLOCK制御。SHARE_CLOCKをローに保持すると、出力はディスエーブルされます。
1	FAULTを外部からローにした場合、ALERTはローになりません。
0	MFR_RETRY_TIME処理に関するV <sub>OUT</sub> の減衰値条件を無効にします。このビットを0に設定すると、出力はPWMが再起動する前に事前設定値の12.5%より低い値に減衰する必要があります。このことは、障害、OFF/ONコマンド、ハイからローへのRUNピンの遷移など、PWMをオフにする動作に対しても適用されます。このビットを1に設定した場合、TOFF_MAX警告ステータスは生成されません。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

**MFR\_CONFIG\_ALL\_LTC3889**

アナログ・デバイセズの複数の製品に共通の汎用設定コマンドです。

ビット	意味
7	障害ログを有効にします。
6	抵抗設定ピンを無視します。
5	クイック・コマンド・メッセージのCML障害を無効にします。
4	SYNC出力をディスエーブルします。
3	255msのPMBusタイムアウトを有効にします。
2	PMBusコマンドの書込みには、有効なパケット・エラーのチェック、PEC、受け付けられるバイトが必要*
1	PMBusクロック・ストレッチングの使用を可能にします。
0	いずれかのRUNピンの立上がりエッジでCLEAR_FAULTSを実行します。

\*有効なPECバイトがあるPMBusコマンドの書込みは常に処理されます。無効なPECバイトがあるPMBusコマンドの書込みは処理されず、CMLステータス障害が設定されます。

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	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
ON_OFF_CONFIG	0x02	RUNピンおよびPMBusバスのオン/オフ・コマンドの設定。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x1E
OPERATION	0x01	動作モードの制御。オン/オフ、マージン・ハイおよびマージン・ロー。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x40
MFR_RESET	0xFD	電源の遮断が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 チャンネルをオン/オフするために必要な 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。

#### サポート対象値:

値	意味
0x1F	OPERATION の値と RUN <sub>n</sub> ピンの両方がデバイスの起動/実行を指示する必要があります。コマンドでオフが指定されると、デバイスは即時のオフを実行します。
0x1E	OPERATION の値と RUN <sub>n</sub> ピンの両方がデバイスの起動/実行を指示する必要があります。コマンドでオフが指定されると、デバイスは TOFF_ コマンドの値を使用します。
0x17	コマンドでオフが指定された場合、即時オフによる RUN <sub>n</sub> ピンの制御を実行。OPERATION によるオン/オフ制御は無視されます。
0x16	コマンドでオフが指定された場合、TOFF_ コマンドの値を使用した RUN <sub>n</sub> ピンの制御を実行。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 障害が発生し、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、デバイスをオン/オフするために、RUN<sub>n</sub> ピンからの入力と組み合わせて使用します。また、デバイスの出力電圧をマージン電圧の上限または下限に設定する場合にも使用します。デバイスは、次の OPERATION コマンドまでか、RUN<sub>n</sub> ピンの状態の変化によって別のモードに切り替えられるまで、コマンド指定の動作モードにとどまります。デバイスが MARGIN\_LOW/HIGH 状態に保存されると、次の RESET または POWER\_ON サイクル時にその状態まで上昇します。OPERATION コマンドを変更すると (例えば、ON を MARGIN\_LOW に変更すると)、出力は VOUT\_TRANSITION\_RATE によって設定された固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。出荷時のデフォルトのプログラミングによってデバイスに V<sub>IN</sub> を印加し、VOUT\_CONFIG 抵抗設定ピンを配線しなかった場合、出力はオフになるよう指定されます。

デバイスはデフォルトでシーケンス・オフ状態になっています。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

#### サポート対象値:

値	意味
0xA8	マージン・ハイ。
0x98	マージン・ロー。
0x80	オン (ON_OFF_CONFIG のビット 3 が設定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 が設定されていない場合、デバイスはこれらのコマンドに回答しません。

サポートされていない OPERATION の値をプログラムすると、CML 障害が発生し、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。

## PMBus コマンドの詳細

### MFR\_RESET

このコマンドは、LTC3889 をシリアル・バスからリセットする手段を提供します。これにより、LTC3889 は両方の PWM チャンネルをオフし、内部 EEPROM から動作メモリをロードして、全ての障害情報をクリアしてから、両方の PWM チャンネルのソフトスタートを実行します (イネーブルされた場合)。

この書込み専用コマンドにはデータ・バイトはありません。

### PWM 設定

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
MFR_PWM_COMP	0xD3	PWM ループ補償の設定。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x70
MFR_PWM_MODE_LTC3889	0xD4	PWM エンジン用の設定。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xC1
MFR_PWM_CONFIG_LTC3889	0xF5	位相制御など、DC/DC コントローラの多くのパラメータを設定します。	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	250 0xF3E8

### MFR\_PWM\_MODE\_LTC3889

MFR\_PWM\_MODE\_LTC3889 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。ビット [0] および [6] は、アドレス指定チャンネルがオンしているときに変更できますが、コマンドを発行するときにその他のビットを変更する場合は、チャンネルをオフする必要があります。チャンネルがオンしていて、[0] および [6] 以外のビットが変更されると、LTC3889 は CML 障害信号を出力して、コマンドとそのデータを無視します。

MFR\_PWM\_MODE\_LTC3889 コマンドを使用すると、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どちら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> の高範囲を使用します。
0b	低電流範囲
1b	高電流範囲
6	サーボ・モードをイネーブルします。
5	外部温度検出: 0: ΔV <sub>BE</sub> 測定。 1: 電圧の直接測定。
[4]	予備
[3:2]*	DRVSET: DRV <sub>CC</sub> 電圧の選択および EXT <sub>VCC</sub> の切替え閾値
00b	DRV <sub>CC</sub> = 6.3V、EXT <sub>VCC</sub> の閾値 = 5.3V
01b	DRV <sub>CC</sub> = 7.4V、EXT <sub>VCC</sub> の閾値 = 7.7V
10b	DRV <sub>CC</sub> = 9.0V、EXT <sub>VCC</sub> の閾値 = 7.7V
1	V <sub>OUT</sub> の範囲
0b	最大出力電圧は 40V
1b	最大出力電圧は 8V
ビット [0]	モード
0b	不連続
1b	強制連続

\*ページ 0 のみ。ページ 1 のビット [3:2] は予備。

## PMBus コマンドの詳細

このコマンドのビット[7]は、デバイスがIOUT\_OC\_FAULT\_LIMITコマンドの高範囲または低範囲のいずれに入っているかを決定します。このビットの値を変更すると、PWMループのゲインおよび補償が変更されます。

ビット[6]: LTC3889は、デバイスがオフのとき、電源電圧上昇時または下降時にはサーボ制御を行いません。1に設定すると、出力サーボはイネーブルされます。出力設定点DACは、READ\_VOUT\_ADCとVOUT\_COMMANDの差(つまり、適切な余裕のある値)を最小限に抑えるよう徐々に調整されます。

ビット[5]がクリアされると、LTC3889は、ADCがTSNS<sub>n</sub>ピンで測定した $\Delta V_{BE}$ から、次のように温度(°C)を計算します。

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

ビット[5]が設定されると、LTC3889は、ADCが測定したTSNS<sub>n</sub>ピンの電圧から、次のように温度(°C)を計算します。

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

この式では、

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

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

ページ0でのこのコマンドのビット[3:2]により、DRV<sub>CC</sub>の電圧と、EXTV<sub>CC</sub>の切替え閾値が決まります。チャンネルの出力がアクティブなときにこれらのビットの値を変更すると、CML障害信号が生成されます。これらのビットは、ページ1では予備です。

このコマンドのビット[1]は、デバイスが高電圧範囲または低電圧範囲のいずれに入っているかを決定します。このビットの値を変更すると、PWMループのゲインおよび補償が変更されます。チャンネルの出力がアクティブなときは、このビットの値は変更できません。チャンネルがアクティブなときにこのビットを変更すると、CML障害信号が生成されます。

ビット[0]は、PWMの動作モードが不連続モード(パルス・スキップ・モード)か強制連続導通モードかを決定します。このコマンドは1バイトのデータを伴います。チャンネルの電圧上昇がオンのときは、このコマンドの値に関係なく、PWMモードは必ず不連続モードになります。

### 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 $g_m$ と、内部補償抵抗 $R_{ITHn}$ の値を設定します。このコマンドはPWM出力のループ・ゲインに影響し、場合によっては外部補償ネットワークの変更が必要になります。

ビット	意味
ビット[7:5]	EA <sub>gm</sub> (mS)
000b	1.00
001b	1.68
010b	2.35
011b	3.02
100b	3.69
101b	4.36
110b	5.04
111b	5.73

## PMBus コマンドの詳細

ビット	意味
ビット [4:0]	$R_{ITH}$ (k $\Omega$ )
00000b	0
00001b	0.25
00010b	0.5
00011b	0.75
00100b	1
00101b	1.25
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。

## PMBus コマンドの詳細

### MFR\_PWM\_CONFIG\_LTC3889

MFR\_PWM\_CONFIG\_LTC3889 コマンドは、スイッチング周波数の位相オフセットを SYNC 信号の立下がりエッジを基準にして設定します。デバイスはこのコマンドを処理するためにオフ状態になっている必要があります。RUN ピンをローにするか、デバイスをコマンドでオフにする必要があります。一方のチャンネルが RUN 状態の場合にこのコマンドを記述すると、コマンドには NACK が返され、BUSY 障害信号がアサートされます。

ビット	意味	
7	VFB0 を使用する。	
0b	両方のチャンネルの帰還ノードが独立しています。	
1b	チャンネル1はチャンネル0の帰還ノードを使用します。	
[6:5]	入力電流検出ゲイン。	
00b	2倍のゲイン。0mV~50mVレンジ。	
01b	4倍のゲイン。0mV~20mVレンジ。	
10b	8倍のゲイン。0mV~5mVレンジ。	
11b	サポートされていません。使用しないでください。	
4	共有クロックのイネーブル:このビットが1の場合、 $V_{IN} > V_{IN\_ON}$ になるまで SHARE_CLK ピンは解放されません。 $V_{IN} < V_{IN\_OFF}$ のとき、SHARE_CLK ピンはローになります。このビットが0の場合は、 $V_{IN} < V_{IN\_OFF}$ のときに SHARE_CLK ピンはローにならない。ただし、VIN の初期アプリケーションを除きます。	
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 構成での使用以外は、ビット [7] をアサートしないでください。このビットがアサートされた場合は、 $V_{SENSEn}^+$ 、 $I_{THn}$ 、 $PGOODn$ 、および  $RUNn$  をチャンネル間で共用する必要があります。

### FREQUENCY\_SWITCH

FREQUENCY\_SWITCH コマンドは、LTC3889 のスイッチング周波数 (kHz) を設定します。このコマンドは 85~500 の任意の値に設定できます。

デバイスはこのコマンドを処理するためにオフ状態になっている必要があります。RUN ピンをローにするか、両方のチャンネルをコマンドでオフにする必要があります。デバイスが RUN 状態の場合にこのコマンドを記述すると、コマンドには NACK が返され、BUSY 障害信号がアサートされます。デバイスがコマンドでオフになっているときに周波数を変更すると、PLL が新しい周波数に同期するので、PLL\_UNLOCK ステータスが検出されることがあります。

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

## PMBus コマンドの詳細

## 電圧

## 入力電圧とリミット

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
VIN_OV_FAULT_LIMIT	0x55	入力電源の過電圧障害のリミット。	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のリミット。	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> ピンのフィルタ素子の抵抗値 (mΩ)。	R/W Word	N	L11	mΩ	Y	2000 0x0BE8

**VIN\_OV\_FAULT\_LIMIT**

VIN\_OV\_FAULT\_LIMIT コマンドは、ADCによって測定された入力電圧に対して、入力過電圧障害を引き起こす入力電圧の値 (V) を設定します。

このコマンドは Linear\_5s\_11s フォーマットの 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、ADCによって測定された入力電圧に対して、入力低電圧警告を引き起こす入力電圧の値を設定します。この警告は、VIN\_ON コマンドによって設定される入力起動閾値を入力が超えて、デバイスがイネーブルされた状態になるまで無効になっています。その後、VIN\_UV\_WARN\_LIMIT を超えた場合、デバイスの動作は以下のようになります。

- 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、 $\overline{\text{ALERT}}$  をアサートすることにより、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 (V) を設定します。

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

**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 (V) を設定します。

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

## PMBus コマンドの詳細

### MFR\_RVIN

MFR\_RVIN コマンドは、 $V_{IN}$  ピンのフィルタ素子の抵抗値 ( $m\Omega$ ) を設定するときに使用します (READ\_VIN も参照)。フィルタ素子を使用しない場合は、MFR\_RVIN を 0 に設定してください。

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

### 出力電圧とリミット

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
VOUT_MODE	0x20	出力電圧のフォーマットおよび指数	R Byte	Y	Reg			$2^{-10}$ 0x16
VOUT_MAX	0x24	他のコマンドに関係なくデバイスが指定できる出力電圧の上限。	R/W Word	Y	L16	V	Y	40 0xA000
VOUT_OV_FAULT_LIMIT	0x40	出力過電圧障害のリミット。	R/W Word	Y	L16	V	Y	5.5 0x1600
VOUT_OV_WARN_LIMIT	0x42	出力過電圧警告のリミット。	R/W Word	Y	L16	V	Y	5.375 0x1580
VOUT_MARGIN_HIGH	0x25	マージン・ハイの出力電圧設定値。VOUT_COMMAND より大きくする必要があります。	R/W Word	Y	L16	V	Y	5.25 0x1500
VOUT_COMMAND	0x21	公称の出力電圧設定値。	R/W Word	Y	L16	V	Y	5.0 0x1400
VOUT_MARGIN_LOW	0x26	マージン・ローの出力電圧設定値。VOUT_COMMAND より小さくする必要があります。	R/W Word	Y	L16	V	Y	4.75 0x1300
VOUT_UV_WARN_LIMIT	0x43	出力低電圧警告のリミット。	R/W Word	Y	L16	V	Y	4.625 1280
VOUT_UV_FAULT_LIMIT	0x44	出力低電圧障害のリミット。	R/W Word	Y	L16	V	Y	4.5 0x1200
MFR_VOUT_MAX	0xA5	許容最大出力電圧。	R Word	Y	L16	V		40.5 0xA200

### VOUT\_MODE

VOUT\_MODE コマンドのデータ・バイトは、出力電圧の指定および読出しに使用され、(リニア・フォーマットのみがサポートされる) 3 ビットのモードと、出力電圧の読出し／書込みコマンドで使用される指数を表す 5 ビットのパラメータで構成されます。

この読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、他のコマンドまたはコマンドの組み合わせと関係なく、デバイスが指定できる電圧の上限 (VOUT\_MARGIN\_HIGH を含む) を設定します。このコマンドの最大許容値は 40.5V です。LTC3889 が発生できる最大出力電圧は、VOUT\_MARGIN\_HIGH を含めて 40.5V です。ただし、VOUT\_OV\_FAULT\_LIMIT に指定できるのは最大で 40.5V です。

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear\_16u フォーマットが設定されています。

## PMBus コマンドの詳細

### **VOUT\_OV\_FAULT\_LIMIT**

VOUT\_OV\_FAULT\_LIMIT コマンドは、OV 監視回路コンパレータによって検出ピンで測定された出力電圧に対して、出力過電圧障害を引き起こす出力電圧の値 (V) を設定します。

VOUT\_OV\_FAULT\_LIMIT を変更した場合で、デバイスが RUN 状態である場合は、コマンドを変更後 10ms の余裕を持ち、新しい値が確実に受け付けられるようにします。デバイスは計算の実行でビジー状態になっているかどうかを示します。MFR\_COMMON のビット 5 および 6 をモニタします。デバイスがビジー状態の場合は、いずれかのビットがローになります。この待ち時間を満たさない場合に、VOUT\_COMMAND を変更して元の過電圧リミットより高くすると、一時的に OV 条件が検出されて、スイッチャにとって望ましくない動作や損傷が生じる可能性があります。

VOUT\_OV\_FAULT\_RESPONSE を OV\_PULLDOWN または 0x00 に設定すると、VOUT\_OV\_FAULT が伝搬されている場合、FAULT ピンはアサートされません。LTC3889 は TG をローにして、過電圧状態が検出されるとすぐに BG ビットをアサートします。

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear\_16u フォーマットが設定されています。

### **VOUT\_OV\_WARN\_LIMIT**

VOUT\_OV\_WARN\_LIMIT コマンドは、検出ピンで ADC によって測定された出力電圧に対して、出力電圧「高」の警告を引き起こす出力電圧の値 (V) を設定します。このリミットを超えたかどうかを判別するのに MFR\_VOUT\_PEAK の値が使用されます。

VOUT\_OV\_WARN\_LIMIT を超えた場合に依じて、デバイスの動作は以下ようになります。

- STATUS\_BYTE の NONE\_OF\_THE\_ABOVE ビットを設定する
- STATUS\_WORD の VOUT ビットを設定する
- STATUS\_VOUT コマンドの VOUT 過電圧警告ビットを設定する
- マスクされていない限り、ALERT ピンをアサートすることにより、ホストに通知する

この状態は ADC によって検出されるので、応答時間は最大 120ms にすることができます。

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear\_16u フォーマットが設定されています。

### **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、出力の変更後の電圧 (V) をデバイスにロードします。値は VOUT\_COMMAND より大きくする必要があります。VOUT\_MARGIN\_HIGH の最大許容値は 40.5V です。

このコマンドは、TON\_RISE および TOFF\_FALL の出力シーケンス制御時には動作しません。出力がアクティブで定常状態になっているときにこのコマンドが変更されると、VOUT\_TRANSITION\_RATE が使用されます。

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear\_16u フォーマットが設定されています。

## PMBus コマンドの詳細

### **VOUT\_COMMAND**

VOUT\_COMMAND は 2 バイトで構成され、出力電圧 (V) を設定するために使用されます。VOUT の最大許容値は 40.5V です。

このコマンドは、TON\_RISE および TOFF\_FALL の出力シーケンス制御時には動作しません。出力がアクティブで定常状態になっているときにこのコマンドが変更されると、VOUT\_TRANSITION\_RATE が使用されます。

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear\_16u フォーマットが設定されています。

### **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、出力の変更後の電圧 (V) をデバイスにロードします。値は VOUT\_COMMAND より小さくする必要があります。

このコマンドは、TON\_RISE および TOFF\_FALL の出力シーケンス制御時には動作しません。出力がアクティブで定常状態になっているときにこのコマンドが変更されると、VOUT\_TRANSITION\_RATE が使用されます。

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear\_16u フォーマットが設定されています。

### **VOUT\_UV\_WARN\_LIMIT**

VOUT\_UV\_WARN\_LIMIT コマンドは、検出ピンで ADC によって測定された出力電圧に対して、出力電圧「低」の警告を引き起こす出力電圧の値 (V) を読み出します。

VOUT\_UV\_WARN\_LIMIT を超えた場合に応じて、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS\_BYTE の NONE\_OF\_THE\_ABOVE ビットを設定する
- STATUS\_WORD の VOUT ビットを設定する
- STATUS\_VOUT コマンドの VOUT 低電圧警告ビットを設定する
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンをアサートすることにより、ホストに通知する

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear\_16u フォーマットが設定されています。

### **VOUT\_UV\_FAULT\_LIMIT**

VOUT\_UV\_FAULT\_LIMIT コマンドは、UV 監視回路コンパレータによって検出ピンで測定された出力電圧に対して、出力低電圧障害を引き起こす出力電圧の値 (V) を読み出します。

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear\_16u フォーマットが設定されています。

## PMBus コマンドの詳細

### MFR\_VOUT\_MAX

MFR\_VOUT\_MAX コマンドは、各チャンネルの最大出力電圧(単位:V、VOUT\_OV\_FAULT\_LIMITを含む)です。出力電圧を高範囲に設定(MFR\_PWM\_MODE\_LTC3889のビット1を0に設定)した場合、MFR\_VOUT\_MAXは40.5Vになります。出力電圧を低範囲に設定(MFR\_PWM\_MODE\_LTC3889のビット1を1に設定)した場合、MFR\_VOUT\_MAXは8Vになります。これより大きな値をVOUT\_COMMANDに入力すると、CML障害が発生し、出力電圧設定値は最大レベルにクランプされます。また、これによってSTATUS\_VOUTコマンドにビット3(VOUT\_MAX\_Warning)が設定されます。

この読み出し専用コマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_16uフォーマットが設定されています。

### 出力電流とリミット

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
IOUT_CAL_GAIN	0x38	電流検出ピンでの電圧と検出した電流との比。固定の電流検出抵抗を使用するデバイスの場合、それは抵抗値(mΩ)。	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	0 0x0000
IOUT_OC_FAULT_LIMIT	0x46	出力過電流障害のリミット。	R/W Word	Y	L11	A	Y	29.75 0xDBB8
IOUT_OC_WARN_LIMIT	0x4A	出力過電流警告のリミット。	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(mΩ)を設定するときに使用します(MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TCも参照)。

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11sフォーマットが設定されています。

### MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TC

MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TCコマンドを使用すると、IOUT\_CAL\_GAIN検出抵抗またはインダクタDCRの温度係数(ppm/°C)をプログラムすることができます。

このコマンドは2バイトのデータを伴い、16ビットの2の補数形式の整数ppmでフォーマットが設定されています。N = -32768 ~ 32767 • 10<sup>-6</sup>です。公称温度は27°Cです。IOUT\_CAL\_GAINに次項を掛けます。

$[1.0 + \text{MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TC} \cdot (\text{READ\_TEMPERATURE\_1-27})]$  DCR検出での代表値は3900です。

IOUT\_CAL\_GAINおよびMFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TCは、READ\_IOUT、MFR\_READ\_IIN\_CHAN、IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT、およびIOUT\_OC\_WARN\_LIMITを含む全ての電流パラメータに影響を与えます。

## PMBus コマンドの詳細

### IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT

IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT コマンドは、ピーク出力電流制限値 (A) を設定します。コントローラが電流制限状態になると、過電流検出器が過電流障害状態を示します。過電流障害の事前設定制限値は、次に示す一連の個別値のいずれか最も近い値に切り上げられます。

25mV/IOUT_CAL_GAIN	Low Range (1.5x Nominal Loop Gain) MFR_PWM_MODE_LTC3889 [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	High Range (Nominal Loop Gain) MFR_PWM_MODE_LTC3889 [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。ピーク出力電流制限値は、次式を使用して、MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TC に基づく温度で調整されます。

$$\text{ピーク電流制限値} = \text{IOUT\_CAL\_GAIN} \cdot (1 + \text{MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TC} \cdot (\text{READ\_TEMPERTURE\_1} - 27.0))$$

LTpowerPlay GUI は、電圧を電流に自動的に変換します。

IOUT の範囲は、MFR\_PWM\_MODE\_LTC3889 コマンドのビット 7 により設定されます。

IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT は、TON\_RISE および TOFF\_FALL の間は無視されます。

IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT を超えた場合、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS\_WORD の IOUT ビットを設定する
- STATUS\_IOUT の IOUT 過電流障害ビットを設定する
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$  をアサートすることにより、ホストに通知する

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

## PMBus コマンドの詳細

### IOUT\_OC\_WARN\_LIMIT

このコマンドは、ADCによって測定された出力電流に対して、出力過電流警告を引き起こす出力電流の値(A)を設定します。このリミットを超えたかどうかを判別するのにREAD\_IOUTの値が使用されます。

IOUT\_OC\_WARN\_LIMITを超えた場合にに応じて、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS\_BYTEのNONE\_OF\_THE\_ABOVEビットを設定する
- STATUS\_WORDのIOUTビットを設定する
- STATUS\_IOUTコマンドのIOUT過電流警告ビットを設定する
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートすることにより、ホストに通知する

IOUT\_OC\_FAULT\_LIMITは、TON\_RISEおよびTOFF\_FALLの間は無視されます。

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11sフォーマットが設定されています。

### 入力電流とリミット

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	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(m $\Omega$ )。	R/W Word	N	L11	m $\Omega$	Y	5.000 0xCA80
IIN_OC_WARN_LIMIT	0x5D	入力過電流警告のリミット。	R/W Word	N	L11	A	Y	10.0 0xD280

### MFR\_IIN\_CAL\_GAIN

MFR\_IIN\_CAL\_GAIN コマンドは、入力電流検出抵抗の抵抗値(m $\Omega$ )を設定するときに使用します(READ\_IINも参照)。

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11sフォーマットが設定されています。

### IIN\_OC\_WARN\_LIMIT

IIN\_OC\_WARN\_LIMITコマンドは、ADCによって測定された入力電流において、入力電流が多いことを示す警告を引き起こす入力電流の値(A)を設定します。このリミットを超えたかどうかを判別するのにREAD\_IINの値が使用されます。

IIN\_OC\_WARN\_LIMITを超えた場合にに応じて、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS\_BYTEのNONE\_OF\_THE\_ABOVEビットを設定する
- STATUS\_WORDの上位バイトにあるINPUTビットを設定する
- STATUS\_INPUTコマンドのIIN過電流警告ビット[1]を設定する
- $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートすることにより、ホストに通知する

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11sフォーマットが設定されています。

## PMBus コマンドの詳細

### 温度

#### 外部温度キャリブレーション

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
MFR_TEMP_1_GAIN	0xF8	外部温度センサーの勾配を設定します。	R/W Word	Y	CF		Y	1.0 0x4000
MFR_TEMP_1_OFFSET	0xF9	外部温度センサーのオフセットを設定します。	R/W Word	Y	L11	C	Y	0.0 0x8000

#### **MFR\_TEMP\_1\_GAIN**

MFR\_TEMP\_1\_GAIN コマンドは、外部温度センサーの勾配を変更して、素子の非理想特性とインダクタの温度のリモート検出に伴う誤差を考慮に入れます。

このコマンドは2バイトのデータを伴い、16ビットの2の補数形式の整数でフォーマットが設定されています。実質的なゲイン調整は  $N \cdot 2^{-14}$  です。公称値は1です。

#### **MFR\_TEMP\_1\_OFFSET**

MFR\_TEMP\_1\_OFFSET コマンドは、外部温度センサーのオフセットを変更して、素子の非理想特性とインダクタの温度のリモート検出に伴う誤差を考慮に入れます。

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

#### 外部温度リミット

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
OT_FAULT_LIMIT	0x4F	外部過熱障害のリミット。	R/W Word	Y	L11	C	Y	100.0 0xEB20
OT_WARN_LIMIT	0x51	外部過熱警告のリミット。	R/W Word	Y	L11	C	Y	85.0 0xEAA8
UT_FAULT_LIMIT	0x53	外部低温障害のリミット。	R/W Word	Y	L11	C	Y	-40.0 0xE580

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

OT\_FAULT\_LIMIT コマンドは、ADCによって測定される、過熱障害を引き起こす外部検出温度(°C)の値を設定します。このリミットを超えたかどうかを判別するのに READ\_TEMPERATURE\_1 の値が使用されます。

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

## PMBus コマンドの詳細

### OT\_WARN\_LIMIT

OT\_WARN\_LIMIT コマンドは、ADCによって測定される、過熱警告を引き起こす外部検出温度(°C)の値を設定します。このリミットを超えたかどうかを判別するのに READ\_TEMPERATURE\_1 の値が使用されます。

OT\_WARN\_LIMIT を超えた場合に、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS\_BYTE の TEMPERATURE ビットを設定する
- STATUS\_TEMPERATURE コマンドの過熱警告ビットを設定する
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンをアサートすることにより、ホストに通知する

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

### UT\_FAULT\_LIMIT

UT\_FAULT\_LIMIT コマンドは、ADCによって測定される、低温障害を引き起こす外部検出温度(°C)の値を設定します。このリミットを超えたかどうかを判別するのに READ\_TEMPERATURE\_1 の値が使用されます。

注記: 温度センサーを取り付けていない場合は、UT\_FAULT\_LIMIT を  $-275^{\circ}\text{C}$  に設定し、UT\_FAULT\_LIMIT 応答を無視するように設定して、 $\overline{\text{ALERT}}$  がアサートされないようにしてください。

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

## タイミング

### タイミグーオン・シーケンス/ランプ

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
TON_DELAY	0x60	RUN または OPERATION (あるいはその両方) でのオンの指示から出力レールがオンするまでの時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	0.0 0x8000
TON_RISE	0x61	出力電圧が上昇し始めてから VOUT のコマンド指定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 を超えるまでの最大時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	10.0 0xD280
VOUT_TRANSITION_RATE	0x27	VOUT に新しい値が指定されたときに出力電圧が変化する速度。	R/W Word	Y	L11	V/ms	Y	0.25 0xAA00

### TON\_DELAY

TON\_DELAY コマンドは、開始条件を受け取ってから出力電圧が立ち上がり始めるまでの時間をミリ秒単位で設定します。0ms~83秒までの値が有効です。生じるターンオン遅延は、TON\_DELAY = 0 の場合に遅延の代表値の 270 $\mu\text{s}$  になり、TON\_DELAY の全ての値に対して  $\pm 50\mu\text{s}$  の不確かさがあります。

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

## PMBus コマンドの詳細

### TON\_RISE

TON\_RISE コマンドは、出力が上昇し始める時間から出力がレギュレーション範囲内に入るまでの時間をミリ秒単位で設定します。0～1.3 秒までの値が有効です。デバイスは TON\_RISE イベントの間、不連続モードになります。TON\_RISE が 0.25ms より短いと、LTC3889 のデジタル勾配はバイパスされ、出力電圧の遷移は PWM スイッチャのアナログ性能によってのみ制御されます。TON\_RISE のステップ数は  $\text{TON\_RISE (ms)} / 0.1\text{ms}$  と等しく、その不確かさは  $\pm 0.1\text{ms}$  です。

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

### TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT

TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT コマンドは、出力低電圧障害のリミットにも、出力過電流障害のリミットにも達することなく、デバイスが出力の起動を試行可能な時間を設定します。

0ms というデータ値は、制限がないことと、デバイスが出力電圧の起動を無期限に試行できることを意味します。最大限度は 83 秒です。

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

### VOUT\_TRANSITION\_RATE

出力電圧を変更する VOUT\_COMMAND または OPERATION (マージン・ハイ、マージン・ロー) を PMBus デバイスが受け取ると、このコマンドは出力電圧が変化する速度 (V/ms) を設定します。デバイスのオンまたはオフをコマンドで指定した場合、このコマンドで指定した変化速度は適用されません。最大許容勾配は 4V/ms です。

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

## タイミング - オフ・シーケンス / ランプ

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
TOFF_DELAY	0x64	RUN または OPERATION のオフから 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	出力が低下し始めてから出力が 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 完了後、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、停止条件を受け取ってから出力電圧が立ち下がり始めるまでの時間をミリ秒単位で設定します。0～83 秒までの値が有効です。生じるターンオフ遅延は、TOFF\_DELAY = 0 の場合に遅延の代表値の 270 $\mu$ s になり、TOFF\_DELAY の全ての値に対して  $\pm 50\mu$ s の不確かさがあります。障害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 2 バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

## PMBus コマンドの詳細

### TOFF\_FALL

TOFF\_FALL コマンドは、ターンオフ遅延時間の終了時から出力電圧を0にするようコマンドで指定するまでの時間をミリ秒単位で設定します。これはDACのV<sub>OUT</sub>の立上がり時間です。DACのV<sub>OUT</sub>が0のとき、PWM出力は高インピーダンス状態に設定されます。

デバイスはこの事前設定動作モードを維持します。規定のTOFF\_FALL 時間の場合は、デバイスを連続導通モードに設定してください。最大値をロードすると、デバイスの電圧は可能な限り低速で下降します。サポートされている最小の立下がり時間は0.25msです。値を0.25msより小さくすると、立下がり時間は0.25msになります。立下がり時間の最大値は1.3秒です。TOFF\_FALLのステップ数はTOFF\_FALL (ms)/0.1msと等しく、その不確かさは±0.1msです。

不連続導通モードでは、コントローラは負荷から電流を流さなくなり、立下がり時間は出力容量と負荷電流によって設定されます。

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

### TOFF\_MAX\_WARN\_LIMIT

TOFF\_MAX\_WARN\_LIMIT コマンドは、警告がアサートされるまでにデバイスが出力の遮断を試行できる時間をミリ秒単位で設定します。V<sub>OUT</sub>の電圧がV<sub>OUT\_COMMAND</sub>の事前設定値の12.5%より低くなると、出力はオフであるとみなされます。計算はTOFF\_FALLが経過してから始まります。

0msというデータ値は、制限がないことと、デバイスが出力電圧の遮断を無期限に試行できることを意味します。0以外では、120ms～524秒までの値が有効です。

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

### 再起動の前提条件

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
MFR_RESTART_DELAY	0xDC	LTC3889がRUNピンをローに保持する最小時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	500 0xFB E8

### MFR\_RESTART\_DELAY

このコマンドは、RUNの最小オフ時間をミリ秒単位で指定します。このデバイスは、RUNの立下がりエッジを検出すると、この長さの時間RUNピンをローにします。推奨の最小値は136msです。

注記：再起動の遅延は再試行の遅延とは異なります。再起動の遅延では、標準の起動シーケンス開始後、指定された時間にわたってRUNピンがローになります。再起動遅延の最小時間はTOFF\_DELAY + TOFF\_FALL + 136msになります。有効な値は136ms～65.52秒(16ms刻み)です。最小オフ時間を確保するには、MFR\_RESTART\_DELAYを目的の時間より16ms長く設定します。MFR\_CHAN\_CONFIG\_LTC3889の出力減衰ビット0を有効にした場合で、出力が設定値の12.5%より低くなるのに時間がかかる場合は、RUNピンがハイになった後、出力レールがオフになるのに要する時間がMFR\_RESTART\_DELAYより長くなってもかまいません。

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

## PMBus コマンドの詳細

### 障害応答

#### 全障害に対する障害応答

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
MFR_RETRY_DELAY	0xDB	FAULT再試行モード時の再試行間隔。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	350 0xFABC

#### MFR\_RETRY\_DELAY

このコマンドは、障害応答の目的がコントローラの再試行を指定の時間間隔で行うことである場合、再試行間の時間をミリ秒単位で設定します。このコマンド値を使用する対象は、再試行を必要とする全ての障害応答です。障害発生側のチャンネルによって障害が検出されると、再試行の時間が始まります。有効な値は120ms～83.88秒(1ms刻み)です。

注記:再試行遅延時間は、MFR\_RETRY\_DELAYコマンドの時間と、安定化出力が設定値の12.5%より低くなるまでに必要な時間の長い方によって決まります。出力の自然な減衰時間が長すぎる場合は、MFR\_CHAN\_CONFIG\_LTC3889のビット0をアサートすることにより、MFR\_RETRY\_DELAYコマンドの電圧条件を取り除くことができます。

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11sフォーマットが設定されています。

#### 入力電圧に対する障害応答

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
VIN_OV_FAULT_RESPONSE	0x56	入力電源の過電圧障害が検出されたときのデバイスの動作。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x80

#### VIN\_OV\_FAULT\_RESPONSE

VIN\_OV\_FAULT\_RESPONSEコマンドは、入力過電圧障害に対してどう動作するべきかをデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットは、表11に示したものです。

また、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS\_BYTEのNONE\_OF\_THE\_ABOVEビットを設定する
- STATUS\_WORDの上位バイトにあるINPUTビットを設定する
- STATUS\_INPUTコマンドのVIN過電圧障害ビットを設定する
- マスクされていない限り、ALERTピンをアサートすることにより、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。

#### 出力電圧に対する障害応答

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
VOUT_OV_FAULT_RESPONSE	0x41	出力過電圧障害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	出力低電圧障害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

## PMBus コマンドの詳細

### VOUT\_OV\_FAULT\_RESPONSE

VOUT\_OV\_FAULT\_RESPONSE コマンドは、出力過電圧障害に対してどう動作するべきかをデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットは、表7に示したものです。

また、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS\_BYTE の VOUT\_OV ビットを設定する
- STATUS\_WORD の VOUT ビットを設定する
- STATUS\_VOUT コマンドの VOUT 過電圧障害ビットを設定する
- マスクされていない限り、ALERT ピンをアサートすることにより、ホストに通知する

このコマンドで認識される値は以下のものに限られます。

0x00: デバイスはOVプルダウンのみ(つまりOV\_PULLDOWN)を実行します。

0x80: デバイスはシャットダウン(出力をディスエーブル)して、再試行しようとしません(PMBus, Part II, Section 10.7)。

0xB8: デバイスはシャットダウン(出力をディスエーブル)して、(RUNピンまたはOPERATIONコマンド、あるいはその両方によって)オフするよう指示されるか、バイアス電源が取り外されるか、または別の障害状態が原因でデバイスがシャットダウンするまで、制限なく再試行し続けようとしています。

0x4n: デバイスはシャットダウンして、再試行しようとしません。デバイスがオフの後にオンするよう指示されるか、RUNピンをローにしてからハイにアサートするか、コマンドによってリセットするか、VINを取り除くまで、出力はディスエーブル状態のままです。OV障害は $n \cdot 10\mu\text{s}$ の間発生している必要があります( $n$ は0~7の値)。

0x78+n: デバイスはシャットダウンして、障害状態が解消されるか、デバイスがオフの後にオンするよう指示されるか、RUNピンをローにしてからハイにアサートするか、コマンドによってリセットするか、VINを取り除くまで、再試行し続けようとしています。OV障害は $n \cdot 10\mu\text{s}$ の間発生している必要があります( $n$ は0~7の値)。

他の値にすると、CML障害が発生して、書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、LTC3889は以下のように動作します。 <ul style="list-style-type: none"> <li>• STATUS コマンドの対応する障害ビットを設定する</li> <li>• マスクされていない限り、ALERTピンをアサートすることにより、ホストに通知する</li> </ul> (いったん設定すると)障害ビットがクリアされるのは、以下の状況のいずれかまたは複数が発生した場合に限られる。 <ul style="list-style-type: none"> <li>• デバイスがCLEAR_FAULTSコマンドを受け取った。</li> <li>• RUNピン、OPERATIONコマンド、またはRUNピンとOPERATIONコマンドの複合動作により、出力をいったんオフにしてからオンに戻すよう指示した。</li> <li>• LTC3889からバイアス電源がいったん取り外され、その後再印加された。</li> </ul>	00	デバイスはOVプルダウンのみまたはOV_PULLDOWNを実行します(すなわち、V <sub>OUT</sub> がVOUT_OV_FAULTよりも低いときは上側MOSFETをオフして下側MOSFETをオンします)。
		01	PMBusデバイスは、ビット[2:0]によって指定された遅延時間と、特定の障害に対して指定された遅延時間の単位にわたって動作を継続します。遅延時間の終了時に障害状態が残っている場合、デバイスは再試行設定(ビット[5:3])でのプログラム内容に従って応答します。
		10	デバイスは直ちにシャットダウン(出力をディスエーブル)し、ビット[5:3]での再試行設定に従って応答します。
		11	サポートされていません。この値を書き込むと、CML障害が発生します。

## PMBus コマンドの詳細

ビット	説明	値	意味
5:3	再試行設定	000	デバイスは再起動しようとしません。障害状態が解消されるか、デバイスをオフするよう指示するか、バイアス電源を取り外すまで、出力はディスエーブルされたままになります。
		111	PMBus デバイスは、(RUNピンまたはOPERATIONコマンド、あるいはその両方によって) オフするよう指示されるか、バイアス電源が取り外されるか、または別の障害状態が原因でデバイスが再試行せずにシャットダウンするまで、制限なく再起動し続けようとします。注記: 再試行間隔はMFR_RETRY_DELAYコマンドによって設定されます。
2:0	遅延時間	000~111	10 $\mu$ s刻みでの遅延時間。この遅延時間は、障害が検出された後、コントローラがどれくらいの時間動作し続けるのかを決定します。グリッチの除去されたオフ状態の場合にのみ有効。

### VOUT\_UV\_FAULT\_RESPONSE

VOUT\_UV\_FAULT\_RESPONSE コマンドは、出力低電圧障害に対してどう動作するべきかをデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットは、表8に示したものです。

また、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS\_BYTE の NONE\_OF\_THE\_ABOVE ビットを設定する
- STATUS\_WORD の VOUT ビットを設定する
- STATUS\_VOUT コマンドの VOUT 低電圧障害ビットを設定する
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンをアサートすることにより、ホストに通知する

UV 障害および警告は、以下の基準を満たすまでマスクされます。

- 1) TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT に達している
- 2) TON\_DELAY シーケンスが完了している
- 3) TON\_RISE シーケンスが完了している
- 4) VOUT\_UV\_FAULT\_LIMIT 閾値に達している
- 5) IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT が存在しない

UV 障害および警告は、チャンネルがアクティブになっていないときは必ずマスクされます。

UV 障害および警告は、TON\_RISE および TOFF\_FALL シーケンス制御時はマスクされます。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

## PMBus コマンドの詳細

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、LTC3889 は以下のように動作します。 <ul style="list-style-type: none"> <li>STATUS コマンドの対応する障害ビットを設定する</li> <li>マスクされていない限り、<math>\overline{\text{ALERT}}</math> ピンをアサートすることにより、ホストに通知する</li> </ul> (いったん設定すると) 障害ビットがクリアされるのは、以下の状況のいずれかまたは複数が発生した場合に限られる。 <ul style="list-style-type: none"> <li>デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受け取った。</li> <li>RUN ピン、OPERATION コマンド、または RUN ピンと OPERATION コマンドの複合動作により、出力をいったんオフにしてからオンに戻すよう指示した。</li> <li>デバイスが RESTORE_USER_ALL コマンドを受け取った。</li> <li>デバイスが MFR_RESET コマンドを受け取った。</li> <li>デバイス電源が入れ直された。</li> </ul>	00	PMBus デバイスは中断せずに動作を続ける。(障害を機能的に無視する)
		01	PMBus デバイスは、ビット [2:0] によって指定された遅延時間と、特定の障害に対して指定された遅延時間の単位にわたって動作を継続します。遅延時間の終了時に障害状態が残っている場合、デバイスは再試行設定 (ビット [5:3]) でのプログラム内容に従って応答します。
		10	デバイスはシャットダウン (出力をディスエーブル) し、ビット [5:3] での再試行設定に従って応答します。
		11	サポートされていません。この値を書き込むと、CML 障害が発生します。
5:3	再試行設定	000	デバイスは再起動しようとしません。障害状態が解消されるか、デバイスをオフするよう指示するか、バイアス電源を取り外すまで、出力はディスエーブルされたままになります。
		111	PMBus デバイスは、(RUN ピンまたは OPERATION コマンド、あるいはその両方によって) オフするよう指示されるか、バイアス電源が取り外されるか、または別の障害状態が原因でデバイスが再試行せずにシャットダウンするまで、制限なく再起動し続けようとしています。注記: 再試行間隔は MFR_RETRY_DELAY コマンドによって設定されます。
2:0	遅延時間	000~111	10 $\mu$ s 刻みでの遅延時間。この遅延時間は、障害が検出された後、コントローラがどれくらいの時間動作し続けるのかを決定します。グリッチの除去されたオフ状態の場合にのみ有効。

## TON\_MAX\_FAULT\_RESPONSE

TON\_MAX\_FAULT\_RESPONSE コマンドは、TON\_MAX 障害に対してどう動作するべきかをデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットは、表 11 に示したものです。

また、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS\_BYTE の NONE\_OF\_THE\_ABOVE ビットを設定する
- STATUS\_WORD の VOUT ビットを設定する
- STATUS\_VOUT コマンドの TON\_MAX\_FAULT ビットを設定する
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンをアサートすることにより、ホストに通知する

値を 0 にすると、TON\_MAX\_FAULT\_RESPONSE は無効になります。0 を使用することは推奨できません。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

## PMBus コマンドの詳細

### 出力電流に対する障害応答

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
IOUT_OC_FAULT_RESPONSE	0x47	出力過電流障害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、出力過電流障害に対してどう動作するべきかをデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットは、図9に示したものです。

また、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS\_BYTE の NONE\_OF\_THE\_ABOVE ビットを設定する
- STATUS\_BYTE の IOUT\_OC ビットを設定する
- STATUS\_WORD の IOUT ビットを設定する
- STATUS\_IOUT コマンドの IOUT 過電流障害ビットを設定する
- マスクされていない限り、ALERT ピンをアサートすることにより、ホストに通知する

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

表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、LTC3889は以下のように動作します。 <ul style="list-style-type: none"> <li>• STATUS コマンドの対応する障害ビットを設定する</li> <li>• マスクされていない限り、ALERT ピンをアサートすることにより、ホストに通知する</li> </ul> (いったん設定すると) 障害ビットがクリアされるのは、以下の状況のいずれかまたは複数が発生した場合に限られる。 <ul style="list-style-type: none"> <li>• デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受け取った。</li> <li>• RUN ピン、OPERATION コマンド、または RUN ピンと OPERATION コマンドの複合動作により、出力をいったんオフにしてからオンに戻すよう指示した。</li> <li>• デバイスが RESTORE_USER_ALL コマンドを受け取った。</li> <li>• デバイスが MFR_RESET コマンドを受け取った。</li> <li>• デバイス電源が入れ直された。</li> </ul>	00	LTC3889は、出力電圧に関係なく、IOUT_OC_FAULT_LIMIT によって設定された値に出力電流を維持しつつ、無期限に動作を継続します(定電流制限または垂下型制限として知られます)。
		01	サポートされていない。
		10	LTC3889は動作を継続し、出力電圧に関係なく、ビット[2:0]で指定された遅延時間にわたって、IOUT_OC_FAULT_LIMIT によって設定された値に出力電流を維持します。遅延時間の終了時にデバイスがまだ電流制限状態で動作している場合、デバイスはビット[5:3]での再試行設定でプログラムしたとおりに応答します。
		11	LTC3889は直ちにシャットダウンし、ビット[5:3]での再試行設定でプログラムしたとおりに応答します。
5:3	再試行設定	000	デバイスは再起動しようとしません。RUN ピンのロー/ハイを切り替えるか、バイアス電源を取り外すことによって障害状態を解消するまで、出力はディスエーブルされたままになります。
		111	デバイスは、(RUN ピンまたは OPERATION コマンド、あるいはその両方によって) オフするよう指示されるか、バイアス電源が取り外されるか、または別の障害状態が原因でデバイスがシャットダウンするまで、制限なく再起動し続けようとしています。注記: 再試行間隔は MFR_RETRY_DELAY コマンドによって設定されます。
2:0	遅延時間	000~111	16ms 刻みでの遅延時間単位の数。この遅延時間を使用して、障害検出後、デバイスがシャットダウンするまで動作を継続する時間を求めます。グリッチの除去されたオフ応答の場合にのみ有効。

## PMBus コマンドの詳細

## IC 温度に対する障害応答

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
MFR_OT_FAULT_RESPONSE	0xD6	内部過熱障害が検出されたときのデバイスの動作。	R Byte	N	Reg			0xC0

**MFR\_OT\_FAULT\_RESPONSE**

MFR\_OT\_FAULT\_RESPONSE コマンド・バイトは、内部過熱障害に対してどう動作するべきかをデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットは、表 10 に示したものです。

また、LTC3889 の動作は以下のようになります。

- STATUS\_BYTE の NONE\_OF\_THE\_ABOVE ビットを設定する
- STATUS\_WORD の MFR ビットを設定する
- STATUS\_MFR\_SPECIFIC コマンドの過熱障害ビットを設定する
- マスクされていない限り、ALERT ピンをアサートすることにより、ホストに通知する

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

表 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、LTC3889 は以下のように動作します。 <ul style="list-style-type: none"> <li>• STATUS コマンドの対応する障害ビットを設定する</li> <li>• マスクされていない限り、ALERT ピンをアサートすることにより、ホストに通知する</li> </ul> (いったん設定すると) 障害ビットがクリアされるのは、以下の状況のいずれかまたは複数が発生した場合に限られる。 <ul style="list-style-type: none"> <li>• デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受け取った。</li> <li>• RUN ピン、OPERATION コマンド、または RUN ピンと OPERATION コマンドの複合動作により、出力をいったんオフにしてからオンに戻すよう指示した。</li> <li>• LTC3889 からバイアス電源がいったん取り外され、その後再印加された。</li> </ul>	00	サポートされていません。この値を書き込むと、CML 障害が発生します。
		01	サポートされていない。この値を書き込むと、CML 障害が発生します。
		10	デバイスは直ちにシャットダウン(出力をディスエーブル)し、ビット [5:3] での再試行設定に従って応答します。
		11	デバイスの出力はディスエーブルされますが、障害は残ります。障害状態が解消されると、動作が再開され、出力がイネーブルされます。
5:3	再試行設定	000	デバイスは再起動しようとしません。障害ビッ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ります。
		001 ~ 111	サポートされていません。この値を書き込むと、CML 障害が発生します。
2:0	遅延時間	XXX	サポートされていません。値は無視されます。

## PMBus コマンドの詳細

### 外部温度に対する障害応答

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
OT_FAULT_RESPONSE	0x50	外部過熱障害が検出されたときのデバイスの動作。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xB8
UT_FAULT_RESPONSE	0x54	外部低温障害が検出されたときのデバイスの動作。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xB8

#### OT\_FAULT\_RESPONSE

OT\_FAULT\_RESPONSE コマンドは、外部温度センサーにおける外部過熱障害に対してどう動作するべきかをデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットは、表 11 に示したものです。

また、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS\_BYTE の TEMPERATURE ビットを設定する
- STATUS\_TEMPERATURE コマンドの過熱障害ビットを設定する
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンをアサートすることにより、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、外部温度センサーにおける外部低温障害に対してどう動作するべきかをデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットは、表 11 に示したものです。

また、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS\_BYTE の TEMPERATURE ビットを設定する
- STATUS\_TEMPERATURE コマンドの低温障害ビットを設定する
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンをアサートすることにより、ホストに通知する

この状態は ADC によって検出されるので、応答時間は最大 90ms にすることができます。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

## PMBus コマンドの詳細

表 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、LTC3889 は以下のように動作します。 <ul style="list-style-type: none"> <li>STATUS コマンドの対応する障害ビットを設定する</li> <li>マスクされていない限り、ALERTピンをアサートすることにより、ホストに通知する</li> </ul> (いったん設定すると) 障害ビットがクリアされるのは、以下の状況のいずれかまたは複数が発生した場合に限られる。 <ul style="list-style-type: none"> <li>デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受け取った。</li> <li>RUNピン、OPERATION コマンド、または RUNピンと OPERATION コマンドの複合動作により、出力をいったんオフにしてからオンに戻すよう指示した。</li> <li>デバイスが RESTORE_USER_ALL コマンドを受け取った。</li> <li>デバイスが MFR_RESET コマンドを受け取った。</li> <li>デバイス電源が入れ直された。</li> </ul>	00	PMBus デバイスは中断せずに動作を続けます。
		01	サポートされていません。この値を書き込むと、CML 障害が発生します。
		10	デバイスは直ちにシャットダウン(出力をディスエーブル)し、ビット [5:3] での再試行設定に従って応答します。
		11	サポートされていません。この値を書き込むと、CML 障害が発生します。
5:3	再試行設定	000	デバイスは再起動しようとしません。障害状態が解消されるか、デバイスをオフするよう指示するか、バイアス電源を取り外すまで、出力はディスエーブルされたままになります。
		111	PMBus デバイスは、(RUNピンまたは OPERATION コマンド、あるいはその両方によって) オフするよう指示されるか、バイアス電源が取り外されるか、または別の障害状態が原因でデバイスが再試行せずにシャットダウンするまで、制限なく再起動し続けようとしています。注記: 再試行間隔は MFR_RETRY_DELAY コマンドによって設定されます。
2:0	遅延時間	XXX	サポートされていない。値は無視される。

## 障害信号の共有

## 障害信号の共有と伝搬

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
MFR_FAULT_PROPAGATE_LTC3889	0xD2	どの障害を FAULTピンに伝搬するかを決定する設定。	R/W Word	Y	Reg		Y	0x6993

**MFR\_FAULT\_PROPAGATE\_LTC3889**

MFR\_FAULT\_PROPAGATE\_LTC3889 コマンドで FAULT<sub>n</sub>ピンをローにアサートする障害信号を有効にします。このコマンドのフォーマットは、表 12 に示すとおりです。障害信号を FAULT<sub>n</sub>ピンに伝搬できるのは、障害信号が障害にตอบสนองするようプログラムされている場合に限りです。

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>の障害信号伝搬設定

FAULT<sub>0</sub>ピンおよびFAULT<sub>1</sub>ピンは、選択されたイベントを電氣的に通知する目的で設計されています。これらのイベントのいくつかは、両方の出力チャンネルに共通です。その他は一方の出力チャンネルに固有のもので、また、チャンネル間で障害信号を共有するために使用することもできます。

ビット	記号	動作
B[15]	VOUTはディスエーブルされるが減衰しません。	MFR_CHAN_CONFIG_LTC3889のビット0が0のとき、これはPolyPhase構成で使用されます。RUNピンを切り替えるかデバイスがオフするよう指示することによってチャンネルをオフし、その後RUNを再アサートするか、出力が減衰する前にデバイスをオンに戻すと、12.5%の減衰が受け付けられるまでVOUTは再起動しません。ビット15がアサートされる場合は、この状態の間にFAULTピンをアサートします。
B[14]	Mfr_FAULT_propagate_short_CMD_cycle	0: 動作なし 1: 出力がシーケンス制御でオフになる前に、オフしてからオンするよう指示すると、ローにアサートされます。シーケンス・オフしてから120ms経過後にハイを再アサートします。
b[13]	Mfr_FAULT_propagate_ton_max_fault	0: TON_MAX_FAULT 障害信号がアサートされた場合、動作なし 1: TON_MAX_FAULT 障害信号がアサートされた場合、対応する出力がローにアサートされます FAULT <sub>0</sub> はページ0のTON_MAX_FAULT 障害に対応付けられます FAULT <sub>1</sub> はページ1のTON_MAX_FAULT 障害に対応付けられます
b[12]	予備	0にする必要があります。
b[11]	Mfr_FAULT <sub>0</sub> _propagate_int_ot Mfr_FAULT <sub>1</sub> _propagate_int_ot	0: MFR_OT_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、動作なし 1: MFR_OT_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、対応する出力がローにアサートされます。
b[10]	予備	0にする必要があります。
b[9]	予備	0にする必要があります。
b[8]	Mfr_FAULT <sub>0</sub> _propagate_ut Mfr_FAULT <sub>1</sub> _propagate_ut	0: UT_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、動作なし 1: UT_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、対応する出力がローにアサートされます。 FAULT <sub>0</sub> はページ0のUT 障害に対応付けられます。 FAULT <sub>1</sub> はページ1のUT 障害に対応付けられます。
b[7]	Mfr_FAULT <sub>0</sub> _propagate_ot Mfr_FAULT <sub>1</sub> _propagate_ot	0: OT_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、動作なし 1: OT_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、対応する出力がローにアサートされます。 FAULT <sub>0</sub> はページ0のOT 障害に対応付けられます。 FAULT <sub>1</sub> はページ1のOT 障害に対応付けられます。
b[6]	予備	
b[5]	予備	
b[4]	Mfr_FAULT <sub>0</sub> _propagate_input_ov Mfr_FAULT <sub>1</sub> _propagate_input_ov	0: VIN_OV_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、動作なし 1: VIN_OV_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、対応する出力がローにアサートされます。
b[3]	予備	
b[2]	Mfr_FAULT <sub>0</sub> _propagate_iout_oc Mfr_FAULT <sub>1</sub> _propagate_iout_oc	0: IOUT_OC_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、動作なし 1: IOUT_OC_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、対応する出力がローにアサートされます。 FAULT <sub>0</sub> はページ0のOC 障害に対応付けられます。 FAULT <sub>1</sub> はページ1のOC 障害に対応付けられます。
b[1]	Mfr_FAULT <sub>0</sub> _propagate_vout_uv Mfr_FAULT <sub>1</sub> _propagate_vout_uv	0: VOUT_UV_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、動作なし 1: VOUT_UV_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、対応する出力がローにアサートされます。 FAULT <sub>0</sub> はページ0のUV 障害に対応付けられます。 FAULT <sub>1</sub> はページ1のUV 障害に対応付けられます。
b[0]	Mfr_FAULT <sub>0</sub> _propagate_vout_ov Mfr_FAULT <sub>1</sub> _propagate_vout_ov	0: VOUT_OV_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、動作なし 1: VOUT_OV_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、対応する出力がローにアサートされます。 FAULT <sub>0</sub> はページ0のOV 障害に対応付けられます。 FAULT <sub>1</sub> はページ1のOV 障害に対応付けられます。

## PMBus コマンドの詳細

## 障害共有信号の応答

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
MFR_FAULT_RESPONSE	0xD5	FAULTピンがロー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、 $\overline{\text{FAULT}}_n$ ピンが外部信号源によってローになった場合にどう動作するべきかをデバイスに指示します。

## サポート対象値:

値	意味
0xC0	FAULT_INHIBIT: LTC3889は、 $\overline{\text{FAULT}}_n$ ピンがローになったのに対応して、それぞれのPWMチャンネルをディスエーブルします。
0x00	FAULT_IGNORE: LTC3889は中断せずに動作を続けます。

また、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS\_WORDのMFR\_SPECIFICビットを設定する
- STATUS\_MFR\_SPECIFICコマンドのビット0を設定し、 $\overline{\text{FAULT}}_n$ をローにする
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートすることにより、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。

## Scratchpad

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
USER_DATA_00	0xB0	OEMの予備。通常は製品のシリアル番号付与に使用。	R/W Word	N	Reg		Y	NA
USER_DATA_01	0xB1	メーカーによるLTpowerPlay用の予備。	R/W Word	Y	Reg		Y	NA
USER_DATA_02	0xB2	OEMの予備。通常は製品のシリアル番号付与に使用。	R/W Word	N	Reg		Y	NA
USER_DATA_03	0xB3	使用可能なEEPROMワード。	R/W Word	Y	Reg		Y	0x0000
USER_DATA_04	0xB4	使用可能なEEPROMワード。	R/W Word	N	Reg		Y	0x0000

**USER\_DATA\_00からUSER\_DATA\_04まで**

これらのコマンドは、お客様のストレージの不揮発性メモリの位置です。お客様には、USER\_DATA<sub>nn</sub>に任意の値を随時書き込むことができます。ただし、LTpowerPlayソフトウェアと契約メーカーは、これらのコマンドの一部を在庫管理の目的で使用します。予備のUSER\_DATA<sub>nn</sub>コマンドを変更すると、在庫管理が不適切になったり、これらの製品との互換性が失われる可能性があります。

これらのコマンドは2バイトのデータを伴い、レジスタ・フォーマットが設定されています。

## PMBus コマンドの詳細

### 識別情報

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
PMBUS_REVISION	0x98	このデバイスがサポートするPMBusのレビジョン。現在のレビジョンは1.2です。	R Byte	N	Reg		FS	0x22
CAPABILITY	0x19	このデバイスによってサポートされているPMBusオプション通信プロトコルの要約。	R Byte	N	Reg			0xB0
MFR_ID	0x99	LTC3889のメーカーID (ASCII)。	R String	N	ASC			LTC
MFR_MODEL	0x9A	メーカーの製品番号 (ASCII)	R String	N	ASC			LTC3889
MFR_SPECIAL_ID	0xE7	LTC3889を表すメーカー・コード	R Word	N	Reg			0x490X
IC_DEVICE_ID	0xAD	ICの識別情報。	R Block	N	Reg		Y	
IC_DEVICE_REV	0xAE	ICのレビジョン。	R Block	N	Reg		Y	

#### **PMBus\_REVISION**

PMBUS\_REVISION コマンドは、デバイスが準拠するPMBusのレビジョンを示します。LTC3889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・システムはPMBusデバイスのいくつかの重要な機能を指定できます。

LTC3889は、パケット・エラー・チェック、400kHzのバス速度、およびALERTピンをサポートしています。

この読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、LTC3889のメーカーIDをASCII文字を使用して表示します。

この読出し専用コマンドにはブロック・フォーマットが設定されています。

#### **MFR\_MODEL**

MFR\_MODEL コマンドは、LTC3889のメーカー製品番号をASCII文字を使用して表示します。

この読出し専用コマンドにはブロック・フォーマットが設定されています。

#### **MFR\_SPECIAL\_ID**

デバイスの名称とレビジョンを表す、16ビットのワードです。0x49はデバイスがLTC3889であることを示します。Xはメーカーが調整可能です。

この読出し専用コマンドは2バイトのデータを伴います。

#### **IC\_DEVICE\_ID**

IC\_DEVICE\_ID コマンドは、LTC3889のメーカーIDをASCII文字を使用して表示します。

この読出し専用コマンドにはブロック・フォーマットが設定されています。

## PMBus コマンドの詳細

### IC\_DEVICE\_REV

IC\_DEVICE\_REV コマンドは、LTC3889 のリビジョンを ASCII 文字を使用して表示します。

この読み出し専用コマンドにはブロック・フォーマットが設定されています。

### 障害および警告のステータス

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
CLEAR_FAULTS	0x03	設定されている全ての障害ビットをクリア。	Send Byte	N				NA
SMBALERT_MASK	0x1B	マスク動作。	Block R/W	Y	Reg		Y	詳細については、コマンドを参照。
MFR_CLEAR_PEAKS	0xE3	全てのピーク値をクリアします。	Send Byte	N				NA
STATUS_BYTE	0x78	デバイスの障害条件の1バイトの要約。	R/W Byte	Y	Reg			NA
STATUS_WORD	0x79	デバイスの障害条件の2バイトの要約。	R/W Word	Y	Reg			NA
STATUS_VOUT	0x7A	出力電圧の障害および警告のステータス。	R/W Byte	Y	Reg			NA
STATUS_IOUT	0x7B	出力電流の障害および警告のステータス。	R/W Byte	Y	Reg			NA
STATUS_INPUT	0x7C	入力電源の障害および警告のステータス。	R/W Byte	N	Reg			NA
STATUS_TEMPERATURE	0x7D	READ_TEMPERATURE_1 の外部温度障害および警告のステータス。	R/W Byte	Y	Reg			NA
STATUS_CML	0x7E	通信およびメモリの障害および警告のステータス。	R/W Byte	N	Reg			NA
STATUS_MFR_SPECIFIC	0x80	メーカー固有の障害および状態の情報。	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	複数のアナログ・デバイス・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
MFR_INFO	0xB6	製造固有の情報。	R Word	N	Reg			NA

### CLEAR\_FAULTS

CLEAR\_FAULTS コマンドを使用して、設定されている全ての障害ビットをクリアします。このコマンドは、全てのステータス・コマンドの全てのビットを同時にクリアします。同時に、デバイスが ALERT ピンの信号をアサートしている場合、デバイスはその ALERT ピンの信号出力を否定 (クリア、解放) します。ビットがクリアされたときに障害が残っている場合、障害ビットは設定されたままになり、ホストは ALERT ピンをローにアサートすることによって通知されます。CLEAR\_FAULTS は処理するのに最大 10 $\mu$ s かかります。その時間枠内に障害が発生すると、ステータス・レジスタが設定される前に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・バイトはありません。

CLEAR\_FAULTS は、障害状態のせいでラッチオフ状態になったデバイスを再起動することはありません。障害状態のせいでシャットダウンし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、または RUN ピンと OPERATION コマンドの複合動作により、出力をいったんオフにしてからオンに戻すよう指示した場合
- MFR\_RESET コマンドが発行された場合
- 集積回路からバイアス電源がいったん取り外され、その後再印加された場合

## PMBus コマンドの詳細

### SMBALERT\_MASK

SMBALERT\_MASK コマンドを使用すると、特定のステータス・ビット(単数または複数)がアサートされるときに、それらが ALERT をアサートしないようにすることができます。

図 47 に、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込みフォーマットの例を示します。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 コマンドのコードが最初のデータ・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、ALERT はアサートしません。設定した場合、サポートされているそれ以外の全 STATUS\_TEMPERATURE ビットは、ALERT をアサートし続けます。

図 48 に「ブロック書込み-ブロック読出しプロセス呼び出し」プロトコルの例を示します。これは、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(やはり PEC なしで)読み出すときに使用します。

SMBALERT\_MASK は、STATUS\_BYTE、STATUS\_WORD、MFR\_COMMON、MFR\_PADS のいずれにも適用できません。適用できるステータス・レジスタの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: (図 2 も参照)

ステータス・レジスタ	ALERT マスクの値	マスクされたビット
STATUS_VOUT	0x00	None
STATUS_IOUT	0x00	None
STATUS_TEMPERATURE	0x00	None
STATUS_CML	0x00	None
STATUS_INPUT	0x00	None
STATUS_MFR_SPECIFIC	0x11	ビット 4 (内部 PLL は非同期)、ビット 0 (FAULT は外部デバイスによってローになります)

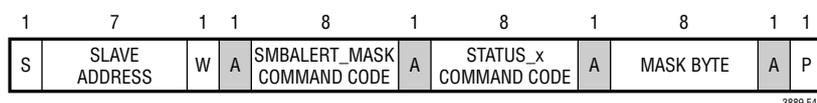


図 47. SMBALERT\_MASK 設定の例

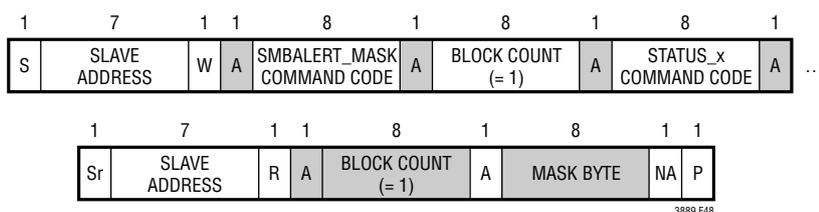


図 48. SMBALERT\_MASK 読出しの例

## PMBus コマンドの詳細

### 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。また、MFR\_RESET コマンドは MFR\*\_PEAK のデータ値をクリアします。

この書込み専用コマンドにはデータ・バイトはありません。

### STATUS\_BYTE

STATUS\_BYTE コマンドは、最も重大な障害を要約した1バイトの情報を返します。これはステータス・ワードの下位バイトです。

#### STATUS\_BYTE のメッセージの内容:

ビット	ステータス・ビット名	意味
7*	BUSY	LTC3889 が応答できないので、障害が宣言された。
6	OFF	このビットは、単純にイネーブルされない場合も含めて、チャンネルがその出力に電力を供給していない場合、理由に関係なく設定されます。
5	VOUT_OV	出力過電圧障害が発生した。
4	IOUT_OC	出力過電流障害が発生した。
3	VIN_UV	サポートされていません(LTC3889 は0を返します)。
2	TEMPERATURE	温度障害または警告が発生した。
1	CML	通信、メモリ、またはロジック障害が発生した。
0*	上記のいずれでもありません。	ビット [7:1] に記載されていない障害が発生した。

\*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 での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 の下位バイトは STATUS\_BYTE コマンドと同じです。

#### STATUS\_WORD の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	出力電圧障害または警告が発生した。
14	IOUT	出力電流障害または警告が発生した。
13	INPUT	入力電圧障害または警告が発生した。
12	MFR_SPECIFIC	LTC3889 に固有の障害または警告が発生した。
11	POWER_GOOD#	このビットが設定されている場合、POWER_GOOD 状態は正しくありません。
10	FANS	サポートされていません(LTC3889 は0を返します)。
9	OTHER	サポートされていません(LTC3889 は0を返します)。
8	UNKNOWN	サポートされていません(LTC3889 は0を返します)。

上位バイトのいずれかのビットを設定すると、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。

## PMBus コマンドの詳細

### 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> の過電圧障害。
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> の低電圧障害。
3	V <sub>OUT</sub> の最大値警告。
2	TON の最大値障害。
1	TOFF の最大値障害。
0	サポートされていません (LTC3889 は 0 を返します)。

このコマンドのいずれかのビットに 1 を書き込んで、特定の障害ビットをクリアできます。これにより、CLEAR\_FAULTS コマンドを使用する以外の方法でステータスをクリアできます。

このコマンドが対応している障害ビットにより、 $\overline{\text{ALERT}}$  イベントが起動します。

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> の過電流障害。
6	サポートされていません (LTC3889 は 0 を返します)。
5	I <sub>OUT</sub> の過電流警告。
4:0	サポートされていません (LTC3889 は 0 を返します)。

このコマンドのいずれかのビットに 1 を書き込んで、特定の障害ビットをクリアできます。これにより、CLEAR\_FAULTS コマンドを使用する以外の方法でステータスをクリアできます。

このコマンドが対応している障害ビットにより、 $\overline{\text{ALERT}}$  イベントが起動します。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\_INPUT

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

#### STATUS\_INPUT のメッセージの内容:

ビット	意味
7	$V_{IN}$ の過電圧障害。
6	サポートされていません (LTC3889 は 0 を返します)。
5	$V_{IN}$ の低電圧警告。
4	サポートされていません (LTC3889 は 0 を返します)。
3	$V_{IN}$ が不十分なためデバイスはオフ。
2	サポートされていません (LTC3889 は 0 を返します)。
1	$I_{IN}$ の過電流警告。
0	サポートされていない (LTC3889 は 0 を返す)。

このコマンドのいずれかのビットに 1 を書き込んで、特定の障害ビットをクリアできます。これにより、CLEAR\_FAULTS コマンドを使用する以外の方法でステータスをクリアできます。

このコマンドが対応している障害ビットにより、 $\overline{ALERT}$  イベントが起動します。このコマンドのビット 3 はラッチされず、 $\overline{ALERT}$  は設定されている場合でも生成されません。このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

### STATUS\_TEMPERATURE

STATUS\_TEMPERATURE コマンドは、温度に関する 1 バイトのステータス情報を返します。これはページ化コマンドであり、READ\_TEMPERATURE\_1 のそれぞれの値と関係があります。

#### STATUS\_TEMPERATURE のメッセージの内容:

ビット	意味
7	外部過熱障害。
6	外部過熱警告。
5	サポートされていません (LTC3889 は 0 を返します)。
4	外部低温障害。
3:0	サポートされていません (LTC3889 は 0 を返します)。

このコマンドのいずれかのビットに 1 を書き込んで、特定の障害ビットをクリアできます。これにより、CLEAR\_FAULTS コマンドを使用する以外の方法で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。

## PMBus コマンドの詳細

### STATUS\_CML

STATUS\_CML コマンドは、受け取ったコマンド、内部メモリ、およびロジックに関する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りました。
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りました。
5	パケット・エラー・チェックの障害が発生しました。
4	メモリ障害が検出されました。
3	プロセッサ障害が検出されました。
2	予備(LTC3889は0を返します)。
1	その他の通信障害。
0	その他のメモリ障害またはロジック障害。

このコマンドのビット3またはビット4が設定されている場合は、深刻かつ重大な内部エラーが検出されています。これらのビットが継続的に設定される場合、デバイスを継続して動作させることは推奨されません。

このコマンドのいずれかのビットに1を書き込んで、特定の障害ビットをクリアできます。これにより、CLEAR\_FAULTS コマンドを使用する以外の方法でステータスをクリアできます。

このコマンドが対応している障害ビットにより、 $\overline{\text{ALERT}}$  イベントが起動します。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

### STATUS\_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持つ1バイトを返します。

このバイトのフォーマットは次のとおりです。

ビット	意味
7	内部温度障害リミットを超過しました。
6	内部温度警告リミットを超過しました。
5	出荷時調整領域のEEPROM CRC 障害。
4	PLLの同期が外れました。
3	障害ログが存在します。
2	V <sub>DD33</sub> のUV障害または0V障害
0	FAULTピンが外部デバイスによってローにアサートされた

これらのビットのいずれかが設定されると、STATUS\_WORDのMFRビットが設定され、 $\overline{\text{ALERT}}$ がアサートされる場合があります。

このコマンドのいずれかのビットに1を書き込んで、特定の障害ビットをクリアできます。これにより、CLEAR\_FAULTS コマンドを使用する以外の方法でステータスをクリアできます。ただし、障害ログ存在ビットをクリアするには、MFR\_FAULT\_LOG\_CLEAR コマンドを発行する以外に方法はありません。

このコマンドが対応している障害ビットにより、 $\overline{\text{ALERT}}$  イベントが起動します。

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

**MFR\_PADS**

このコマンドにより、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ことができます。このコマンドのビット割り当ては以下のとおりです。

ビット	割り当てられるデジタル・ピン
15	V <sub>DD33</sub> の OV 障害
14	V <sub>DD33</sub> の UV 障害
13	予備
12	予備
11	ADC の値が無効。起動時に発生。通常動作時に電流測定チャンネルで一時的に発生する場合があります。
10	SYNC は外部デバイスによってクロックと同期 (SYNC ピンを駆動するよう LTC3889 が設定されている場合)
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	LTC3889 は RUN1 をローに駆動
6	LTC3889 は RUN0 をローに駆動
5	RUN1 ピンの状態
4	RUN0 ピンの状態
3	LTC3889 は FAULT1 をローに駆動
2	LTC3889 は FAULT0 をローに駆動
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示します。

この読み出し専用コマンドは 2 バイトのデータを伴います。

**MFR\_COMMON**

MFR\_COMMON コマンドは、アナログ・デバイセズの全てのデジタル電源および遠隔測定製品に共通するビットを内蔵しています。

ビット	意味
7	チップは ALERT をローに駆動していません。
6	LTC3889 はビジーではありません。
5	計算は保留されていません。
4	LTC3889 の出力は遷移中ではありません。
3	EEPROM は初期化済みです。
2	予備
1	SHARE_CLK のタイムアウト
0	WP ピンのステータス。

この読み出し専用コマンドは 1 バイトのデータを伴います。

## PMBus コマンドの詳細

### MFR\_INFO

MFR\_INFO コマンドには、EEPROM ステータス・ビットが含まれています。

#### MFR\_INFO のデータの内容

ビット	意味
15:6	予備
5	EEPROM の ECC ステータス
0b	EEPROM のユーザ領域で訂正が行われます。
1b	EEPROM のユーザ領域で訂正が行われません。
4:0	予備

RESTORE\_USER\_ALL コマンド、RESET コマンド、パワーオン・リセット、または EEPROM バルク読み出し動作がそれぞれ行われた後に、EEPROM の ECC ステータスが更新されます。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。

### 遠隔測定

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
READ_VIN	0x88	測定された入力電源電圧。	R Word	N	L11	V		NA
READ_IIN	0x89	測定された入力電源電流。	R Word	N	L11	A		NA
READ_VOUT	0x8B	測定された出力電圧。	R Word	Y	L16	V		NA
READ_IOUT	0x8C	測定された出力電流。	R Word	Y	L11	A		NA
READ_TEMPERATURE_1	0x8D	外付けダイオードのジャンクション温度。これは、IOUT_CAL_GAIN を含む全ての温度関連処理に使用される値です。	R Word	Y	L11	C		NA
READ_TEMPERATURE_2	0x8E	内部ジャンクション温度。他のコマンドには影響しません。	R Word	N	L11	C		NA
READ_FREQUENCY	0x95	測定された PWM スイッチング周波数。	R Word	Y	L11	kHz		NA
READ_POUT	0x96	計算による出力電力。	R Word	Y	L11	W		NA
READ_PIN	0x97	計算による入力電力。	R Word	N	L11	W		NA
MFR_IOUT_PEAK	0xD7	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での READ_IOUT の最大測定値を報告します。	R Word	Y	L11	A		NA
MFR_ADC_CONTROL	0xD8	高速の ADC 読み出しを繰り返す場合に選択される ADC の遠隔測定パラメータ。	R/W Byte	N	Reg			0x00
MFR_VOUT_PEAK	0xDD	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での READ_VOUT の最大測定値。	R Word	Y	L16	V		NA
MFR_VIN_PEAK	0xDE	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での READ_VIN の最大測定値。	R Word	N	L11	V		NA
MFR_TEMPERATURE_1_PEAK	0xDF	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での外部温度 (READ_TEMPERATURE_1) の最大測定値。	R Word	Y	L11	C		NA
MFR_READ_IIN_PEAK	0xE1	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での READ_IIN コマンドの最大測定値。	R Word	N	L11	A		NA
MFR_READ_ICHIP	0xE4	LTC3889 が使用する測定電流。	R Word	N	L11	A		NA
MFR_TEMPERATURE_2_PEAK	0xF4	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での内部ダイ温度のピーク値。	R Word	N	L11	C		NA

### READ\_VIN

READ\_VIN コマンドは  $V_{IN}$  ピンの測定電圧に  $READ\_ICHIP \cdot MFR\_RVIN$  を加算した値 (V) を返します。これにより、LTC3889 の電源電流による、 $V_{IN}$  フィルタ素子両端での IR 電圧降下が補償されます。

## PMBus コマンドの詳細

この読出し専用コマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11sフォーマットが設定されています。

### **READ\_VOUT**

READ\_VOUT コマンドは、VOUT\_MODE コマンドで設定したのと同じフォーマットで出力電圧測定値を返します。

この読出し専用コマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_16uフォーマットが設定されています。

### **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た入力電流(A)を返します(MFR\_IIN\_CAL\_GAINも参照)。

この読出し専用コマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11sフォーマットが設定されています。

### **READ\_IOUT**

READ\_IOUT コマンドは平均出力電流(A)を返します。IOUTの値は以下の値の関数です。

- a) I<sub>SENSE</sub> ピンの両端で測定された差動電圧
- 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およびMFR\_TEMP\_1\_OFFSETの値

この読出し専用コマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11sフォーマットが設定されています。

### **READ\_TEMPERATURE\_1**

READ\_TEMPERATURE\_1 コマンドは、外部検出素子の温度(°C)を返します。

この読出し専用コマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11sフォーマットが設定されています。

### **READ\_TEMPERATURE\_2**

READ\_TEMPERATURE\_2 コマンドは、内部検出素子が検出したLTC3889のダイ温度(°C)を返します。

この読出し専用コマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11sフォーマットが設定されています。

### **READ\_FREQUENCY**

READ\_FREQUENCY コマンドは、PWMスイッチング周波数の読出し値(kHz)です。

この読出し専用コマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11sフォーマットが設定されています。

### **READ\_POUT**

READ\_POUT コマンドは、DC/DCコンバータの出力電力の読出し値(W)です。POUTは、出力電圧と出力電流の最新の相関読出し値に基づいて計算されます。

この読出し専用コマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11sフォーマットが設定されています。

## 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出し値 (W) です。PIN は、入力電圧と入力電流の最新の読出し値に基づいて計算されます。

この読出し専用コマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

### MFR\_IOUT\_PEAK

MFR\_IOUT\_PEAK コマンドは、READ\_IOUT 測定の最大電流 (A) を報告します。

このコマンドは、MFR\_CLEAR\_PEAKS コマンドを使用してクリアされます。

この読出し専用コマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

### MFR\_ADC\_CONTROL

MFR\_ADC\_CONTROL コマンドは、ADC の読出し選択肢を指定します。このコマンドのデフォルト値 0 では、標準の遠隔測定ループが実行され、全てのパラメータが遅延時間の代表値である 90ms で順繰りに更新されます。0 以外の値を指定して、8ms の概算更新レートで1つのパラメータをモニタできます。このコマンドの遅延は、最大2回の A/D 変換によるもので、約 16ms です (外部温度変換の遅延は最大3回の A/D 変換によるもので、約 24ms になる可能性があります)。1つのパラメータを ADC で高速に更新することが必要な特殊な場合を除いて、デバイスは標準の遠隔測定モードのままにすることを推奨します。目的のパラメータを限られた時間 (1 秒未満) だけモニタするようデバイスにコマンドを出し、その後、標準の順繰り方式に戻るようコマンドを設定します。このコマンドを標準の順繰り遠隔測定 (0) 以外の任意の値に設定した場合、選択したパラメータ以外の遠隔測定に関連した全ての警告および障害は、事実上無効になり、電圧のサーボ制御はディスエーブルされます。順繰り方式が再アサートされると、全ての警告と障害信号およびサーボ・モードは再度有効化されます。

コマンド指定値	遠隔測定コマンド名	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が出力電流を測定
0x09	READ_VOUT	チャンネル1が出力電圧を測定
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が出力電流を測定
0x05	READ_VOUT	チャンネル0が出力電圧を測定
0x04	READ_TEMPERATURE_2	内部ジャンクション温度
0x03	READ_IIN	測定された入力電源電流
0x02	MFR_READ_ICHIP	LTC3889の電源電流測定値
0x01	READ_VIN	測定された入力電源電圧
0x00		標準のADC順繰り遠隔測定

予備のコマンド値を入力すると、遠隔測定はデフォルトで内部 IC 温度になり、CML 障害信号を出力します。有効なコマンド値を入力するまで、LTC3889 によって CML 障害信号が出力され続けます。測定された入力電源電圧の精度が高くなるのは、MFR\_ADC\_CONTROL コマンドを標準の順繰り遠隔測定に設定した場合に限ります。この書込み専用コマンドは1バイトのデータを伴い、レジスタ・フォーマットが設定されています。

## PMBus コマンドの詳細

### ***MFR\_VOUT\_PEAK***

MFR\_VOUT\_PEAK コマンドは、READ\_VOUT 測定の最大電圧 (V) を報告します。

このコマンドは、MFR\_CLEAR\_PEAKS コマンドを使用してクリアされます。

この読出し専用コマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_16u フォーマットが設定されています。

### ***MFR\_VIN\_PEAK***

MFR\_VIN\_PEAK コマンドは、READ\_VIN 測定の最大電圧 (V) を報告します。

このコマンドは、MFR\_CLEAR\_PEAKS コマンドを使用してクリアされます。

この読出し専用コマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

### ***MFR\_TEMPERATURE\_1\_PEAK***

MFR\_TEMPERATURE\_1\_PEAK コマンドは、READ\_TEMPERATURE\_1 測定の最大温度 (°C) を報告します。

このコマンドは、MFR\_CLEAR\_PEAKS コマンドを使用してクリアされます。

この読出し専用コマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

### ***MFR\_READ\_IIN\_PEAK***

MFR\_READ\_IIN\_PEAK コマンドは、READ\_IIN 測定の最大電流 (A) を報告します。

このコマンドは、MFR\_CLEAR\_PEAKS コマンドを使用してクリアされます。

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

### ***MFR\_READ\_ICHIP***

MFR\_READ\_ICHIP コマンドは、LTC3889 が使用した入力電流測定値 (A) を返します。

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

### ***MFR\_TEMPERATURE\_2\_PEAK***

MFR\_TEMPERATURE\_2\_PEAK コマンドは、READ\_TEMPERATURE\_2 測定の最大温度 (°C) を報告します。

このコマンドは、MFR\_CLEAR\_PEAKS コマンドを使用してクリアされます。

この読出し専用コマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

## PMBus コマンドの詳細

### EEPROM メモリ・コマンド

#### STORE/RESTORE

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
STORE_USER_ALL	0x15	動作メモリをEEPROMに格納します。	Send Byte	N				NA
RESTORE_USER_ALL	0x16	動作メモリをEEPROMから復元します。	Send Byte	N				NA
MFR_COMPARE_USER_ALL	0xF0	電流コマンドの内容をEEPROMと比較します。	Send Byte	N				NA

#### STORE\_USER\_ALL

STORE\_USER\_ALL コマンドは、動作メモリの不揮発性の内容を、不揮発性のEEPROMメモリの対応する位置にコピーするよう、PMBus デバイスに指示します。

ダイ温度が85°Cを超えるか、0°Cより低い場合、このコマンドを実行するのは推奨されません。また、10年間のデータ保持は保証されません。ダイ温度が130°Cを超える場合、STORE\_USER\_ALL コマンドは無効になります。IC温度が125°Cより低くなると、このコマンドは再度有効になります。

LTC3889との通信およびEEPROMのプログラミングを開始できるのは、VDD33が供給されていて、VINが印加されていない場合です。グローバル・アドレス0x5Bを使用して、デバイスをこの状態でイネーブルするには、MFR\_EE\_UNLOCKに0x2Bを書き込み、続いて0xC4を書き込みます。これにより、LTC3889が正常に通信して、プロジェクト・ファイルを更新することができます。更新後のプロジェクト・ファイルをEEPROMに書き込むには、STORE\_USER\_ALL コマンドを発行します。VINを印加したら、MFR\_RESETを発行してPWMをイネーブルし、有効なA/D変換結果を読み出すことができ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・バイトはありません。

#### RESTORE\_USER\_ALL

RESTORE\_USER\_ALL コマンドは、不揮発性メモリの内容を、動作メモリの対応する位置にコピーするようPMBus デバイスに指示します。動作メモリの値は、ユーザ・コマンドによって取得される値により上書きされます。LTC3889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からロードし、全ての障害信号をクリアし、抵抗設定ピンを読み出して、該当する場合は両方のPWMチャンネルのソフトスタートを実行します。

ダイ温度が130°Cを超え、125°Cより低くなるまで、ダイは再イネーブルされない場合、STORE\_USER\_ALL、MFR\_COMPARE\_USER\_ALL、およびRESTORE\_USER\_ALL コマンドは無効になります。

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトはありません。

## PMBus コマンドの詳細

### MFR\_COMPARE\_USER\_ALL

MFR\_COMPARE\_USER\_ALL コマンドは、現在のコマンドの内容と不揮発性メモリに格納されている内容を比較するよう PMBus デバイスに指示します。比較動作によって差が検出された場合は、CML 障害信号が生成されます。

この書込み専用コマンドにはデータ・バイトはありません。

### 障害ログ

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
MFR_FAULT_LOG	0xEE	障害ログのデータ・バイト。	R Block	N	CF		Y	NA
MFR_FAULT_LOG_STORE	0xEA	RAMからEEPROMへの障害ログの転送をコマンドで指定します。	Send Byte	N				NA
MFR_FAULT_LOG_CLEAR	0xEC	障害ログの予備として確保されたEEPROMブロックを初期化します。	Send Byte	N				NA

### 障害ログの動作

障害ログの概念図を図49に示します。障害ログにより、LTC3889にブラック・ボックス(記録)機能が与えられます。通常動作時に、ステータス・レジスタの内容、出力電圧／電流／温度の読出し値、入力電圧の読出し値、ならびにこれらの量のピーク値がRAMの常時更新バッファに格納されます。帯形記録計に似た動作を想像してみてください。障害が発生すると、その内容は、不揮発性の記憶内容としてEEPROMに書き込まれます。EEPROMの障害ログは、その後ロックされます。デバイスの電源を遮断しても、障害ログは後で読み出すことができます。

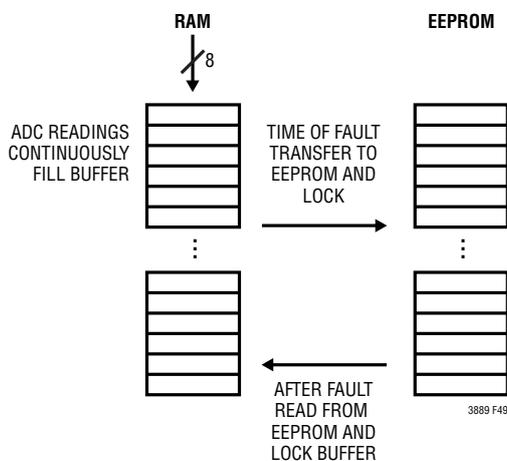


図49. 障害ログ

## PMBus コマンドの詳細

### ***MFR\_FAULT\_LOG***

MFR\_FAULT\_LOG コマンドを使用すると、MFR\_FAULT\_LOG\_CLEAR コマンドが最後に書き込まれて以降、初めて障害が発生した後に 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性メモリに格納され、MFR\_FAULT\_LOG\_CLEAR コマンドによってクリアされます。このコマンドの長さや内容は表 13 に記載されています。MFR\_FAULT\_LOG コマンドにアクセスするときに障害ログが存在しない場合、コマンドはデータ長として 0 を返します。障害ログが存在する場合、MFR\_FAULT\_LOG は 147 バイト長のデータ・ブロックを返します。EEPROM 内で障害ログに使用できる領域は、RAM 内での領域より狭くなっています。障害ログを RAM から読み出した場合、周期的データの 6 つのイベントは全て残ります。ただし、(リセット後に)EEPROM から障害ログを読み出すと、最後の 2 つのイベントは失われます。147 バイトの読出し長はそのままですが、5 番目と 6 番目のイベントは 4 番目のイベントの繰り返しです。電源を投入して 1 秒以内に障害が発生した場合は、障害ログの先頭付近のページに有効データが含まれていないことがあります。

注記: このコマンドのおおよその転送時間は、400kHz のクロックを使用した場合、3.4ms です。

この読出し専用コマンドにはブロック・フォーマットが設定されています。

## PMBus コマンドの詳細

**MFR\_FAULT\_LOG\_STORE**

MFR\_FAULT\_LOG\_STORE コマンドは、あたかも障害が発生したかのように障害ログ動作をEEPROMに強制的に書き込みます。MFR\_CONFIG\_ALL\_LTC3889 コマンドのビット7「障害ログを有効にする」が設定されている場合、このコマンドはSTATUS\_MFR\_SPECIFIC 障害のビット3を設定します。

ダイ温度が130°Cを超えた場合、ICの温度が125°Cより低くなるまでMFR\_FAULT\_LOG\_STORE コマンドは無効になります。

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトはありません。

表 13. 障害ログ

この表は、MFR\_FAULT\_LOG コマンドの読み出しブロック・データを基にブロック・データのフォーマットの概要を示しています。

データ・フォーマットの定義				LIN 11 = PMBus = Rev 1.1, Part 2, section 7.1
				LIN 16 = PMBus Rev 1.1, Part 2, section 8. 仮数部のみ
				BYTE = このコマンドの定義に従って解釈された8ビット
データ	ビット	データ・フォーマット	バイト番号	ブロック読み出しコマンド
Block Length		BYTE	147	MFR_FAULT_LOG コマンドは147バイトの固定長。 データ・ログ・イベントが取り込まれていない場合、ブロック長は0になります。

## ヘッダ情報

Fault Log Preface	[7:0]	ASC	0	部分的または完全な障害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できる工場識別マーク。
	[7:0]		1	
	[15:8]	Reg	2	
	[7:0]		3	
Fault Source	[7:0]	Reg	4	表 13a 参照。
MFR_REAL_TIME	[7:0]	Reg	5	障害発生時の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	最後の電源投入後またはCLEAR_PEAKS コマンド以降でのチャンネル0のREAD_VOUTのピーク値。
	[7:0]		12	
MFR_VOUT_PEAK (PAGE 1)	[15:8]	L16	13	最後の電源投入後またはCLEAR_PEAKS コマンド以降でのチャンネル1のREAD_VOUTのピーク値。
	[7:0]		14	
MFR_IOUT_PEAK (PAGE 0)	[15:8]	L11	15	最後の電源投入後またはCLEAR_PEAKS コマンド以降でのチャンネル0のREAD_IOUTのピーク値。
	[7:0]		16	
MFR_IOUT_PEAK (PAGE 1)	[15:8]	L11	17	最後の電源投入後またはCLEAR_PEAKS コマンド以降でのチャンネル1のREAD_IOUTのピーク値。
	[7:0]		18	
MFR_VIN_PEAK	[15:8]	L11	19	最後の電源投入後またはCLEAR_PEAKS コマンド以降でのREAD_VINのピーク値。
	[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ー0。

## PMBus コマンドの詳細

	[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ー1。
	[7:0]		24	
READ_TEMPERATURE2	[15:8]	L11	25	最後のイベント発生時のLTC3889のダイ温度センサー。
	[7:0]		26	

## 周期的データ

<b>イベント n</b> (障害発生時のデータ、最新のデータ)				イベント「n」は、障害の発生時にMUXを介してADCが読み出す完全な1サイクルを示します。例:ADCがステップ15を処理しているときに障害が発生した場合、読出しをステップ25まで続けてから、ヘッダと全6ページのイベント・ページをEEPROMに格納します。
-------------------------------------	--	--	--	---

READ_VOUT (PAGE 0)	[15:8]	LIN 16	27	
	[7:0]	LIN 16	28	
READ_VOUT (PAGE 1)	[15:8]	LIN 16	29	
	[7:0]	LIN 16	30	
READ_IOUT (PAGE 0)	[15:8]	LIN 11	31	
	[7:0]	LIN 11	32	
READ_IOUT (PAGE 1)	[15:8]	LIN 11	33	
	[7:0]	LIN 11	34	
READ_VIN	[15:8]	LIN 11	35	
	[7:0]	LIN 11	36	
READ_IIN	[15:8]	LIN 11	37	
	[7:0]	LIN 11	38	
STATUS_VOUT (PAGE 0)		BYTE	39	
STATUS_VOUT (PAGE 1)		BYTE	40	
STATUS_WORD (PAGE 0)	[15:8]	WORD	41	
	[7:0]	WORD	42	
STATUS_WORD (PAGE 1)	[15:8]	WORD	43	
	[7:0]	WORD	44	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 0)		BYTE	45	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 1)		BYTE	46	

**イベント n-1**  
(障害が検出される前に測定されたデータ)

READ_VOUT (PAGE 0)	[15:8]	LIN 16	47	
	[7:0]	LIN 16	48	
READ_VOUT (PAGE 1)	[15:8]	LIN 16	49	
	[7:0]	LIN 16	50	
READ_IOUT (PAGE 0)	[15:8]	LIN 11	51	
	[7:0]	LIN 11	52	
READ_IOUT (PAGE 1)	[15:8]	LIN 11	53	
	[7:0]	LIN 11	54	
READ_VIN	[15:8]	LIN 11	55	
	[7:0]	LIN 11	56	
READ_IIN	[15:8]	LIN 11	57	
	[7:0]	LIN 11	58	

## PMBus コマンドの詳細

STATUS_VOUT (PAGE 0)		BYTE	59	
STATUS_VOUT (PAGE 1)		BYTE	60	
STATUS_WORD (PAGE 0)	[15:8]	WORD	61	
	[7:0]	WORD	62	
STATUS_WORD (PAGE 1)	[15:8]	WORD	63	
	[7:0]	WORD	64	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 0)		BYTE	65	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 1)		BYTE	66	
*				
*				
*				
<b>イベント n-5</b>				
<b>(最も古い記録データ)</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)		BYTE	139	
STATUS_VOUT (PAGE 1)		BYTE	140	
STATUS_WORD (PAGE 0)	[15:8]	WORD	141	
	[7:0]	WORD	142	
STATUS_WORD (PAGE 1)	[15:8]	WORD	143	
	[7:0]	WORD	144	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 0)		BYTE	145	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 1)		BYTE	146	

## PMBus コマンドの詳細

表 13a. Position\_Fault の値の説明

POSITION_FAULT の値	障害ログの発生源
0xFF	MFR_FAULT_LOG_STORE
0x00	TON_MAX_FAULT Channel 0
0x01	VOUT_OV_FAULT Channel 0
0x02	VOUT_UV_FAULT Channel 0
0x03	IOUT_OC_FAULT Channel 0
0x05	TEMP_OT_FAULT Channel 0
0x06	TEMP_UT_FAULT Channel 0
0x07	VIN_OV_FAULT
0x0A	MFR_TEMPERATURE_2_OT_FAULT
0x10	TON_MAX_FAULT Channel 1
0x11	VOUT_OV_FAULT Channel 1
0x12	VOUT_UV_FAULT Channel 1
0x13	IOUT_OC_FAULT Channel 1
0x15	OT_FAULT Channel 1
0x16	UT_FAULT Channel 1
0x17	VIN_OV_FAULT
0x1A	MFR_TEMPERATURE_2_OT_FAULT

### MFR\_FAULT\_LOG\_CLEAR

MFR\_FAULT\_LOG\_CLEAR コマンドは、障害ログ・ファイルに格納された値を消去します。また、STATUS\_MFR\_SPECIFIC コマンドのビット3もクリアします。クリアの実行後、ステータスをクリアするのに最大8msかかることがあります。

この書込み専用コマンドはバイト送信コマンドです。

### ブロック・メモリの書込み/読出し

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	EEPROM	デフォルト値
MFR_EE_UNLOCK	0xBD	MFR_EE_ERASE コマンドおよび MFR_EE_DATA コマンドでアクセスするため、EEPROM のロックを解除します。	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、EEPROM を初期化します。	R/W Byte	N	Reg			NA
MFR_EE_DATA	0xBF	PMBus ワードの順次読出しまたは書込みを使用して EEPROM との間で転送されるデータ。一括プログラミングをサポートします。	R/W Word	N	Reg			NA

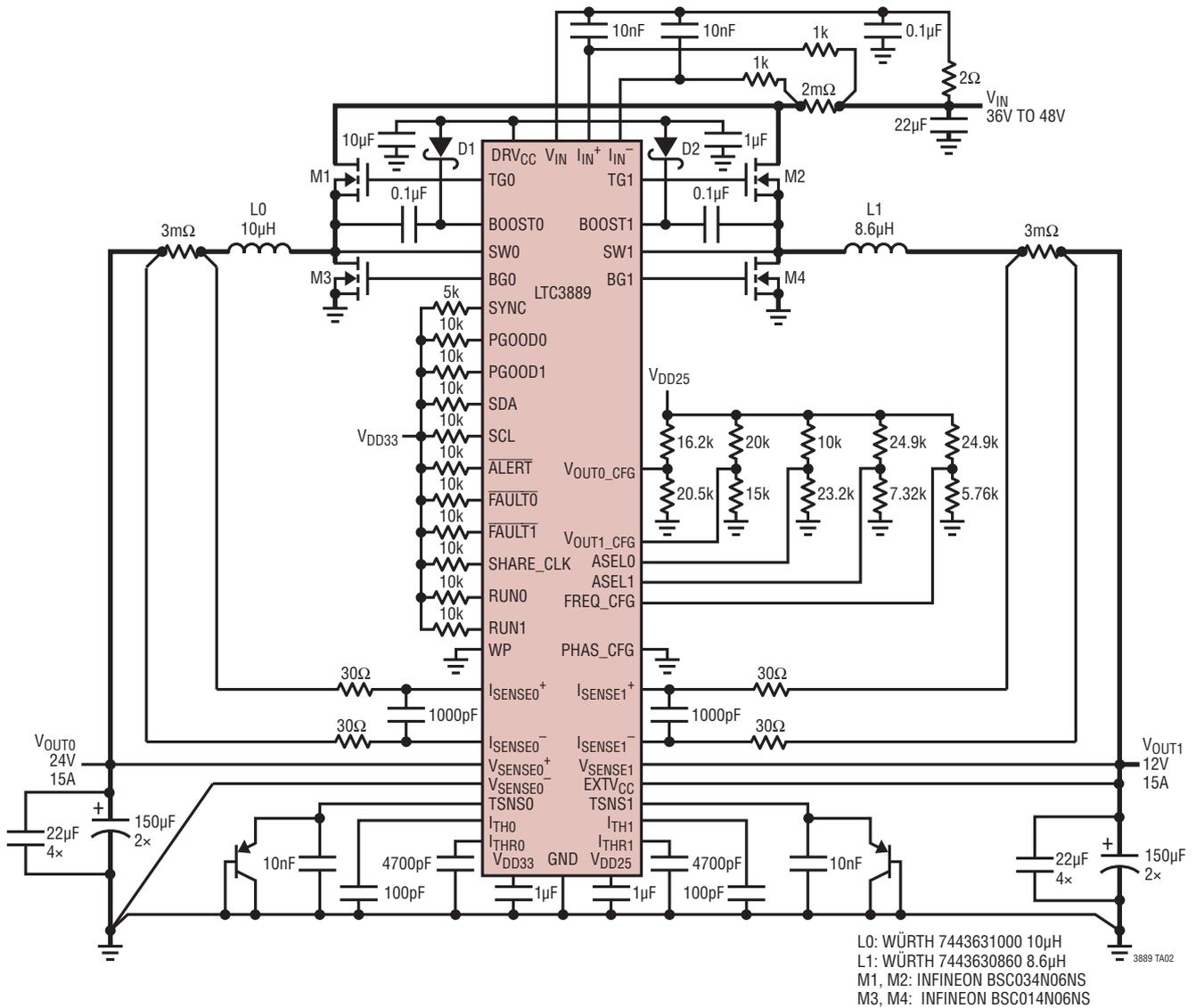
ダイ温度が 130°C を超えると、全ての EEPROM コマンドは無効になります。ダイ温度が 125°C より低くなると、EEPROM コマンドは再び有効になります。

### MFR\_EE\_xxxx

MFR\_EE\_xxxx コマンドは、LTC3889 の内部 EEPROM の一括プログラミングに役立ちます。詳細については弊社にご連絡ください。

## 代表的なアプリケーション

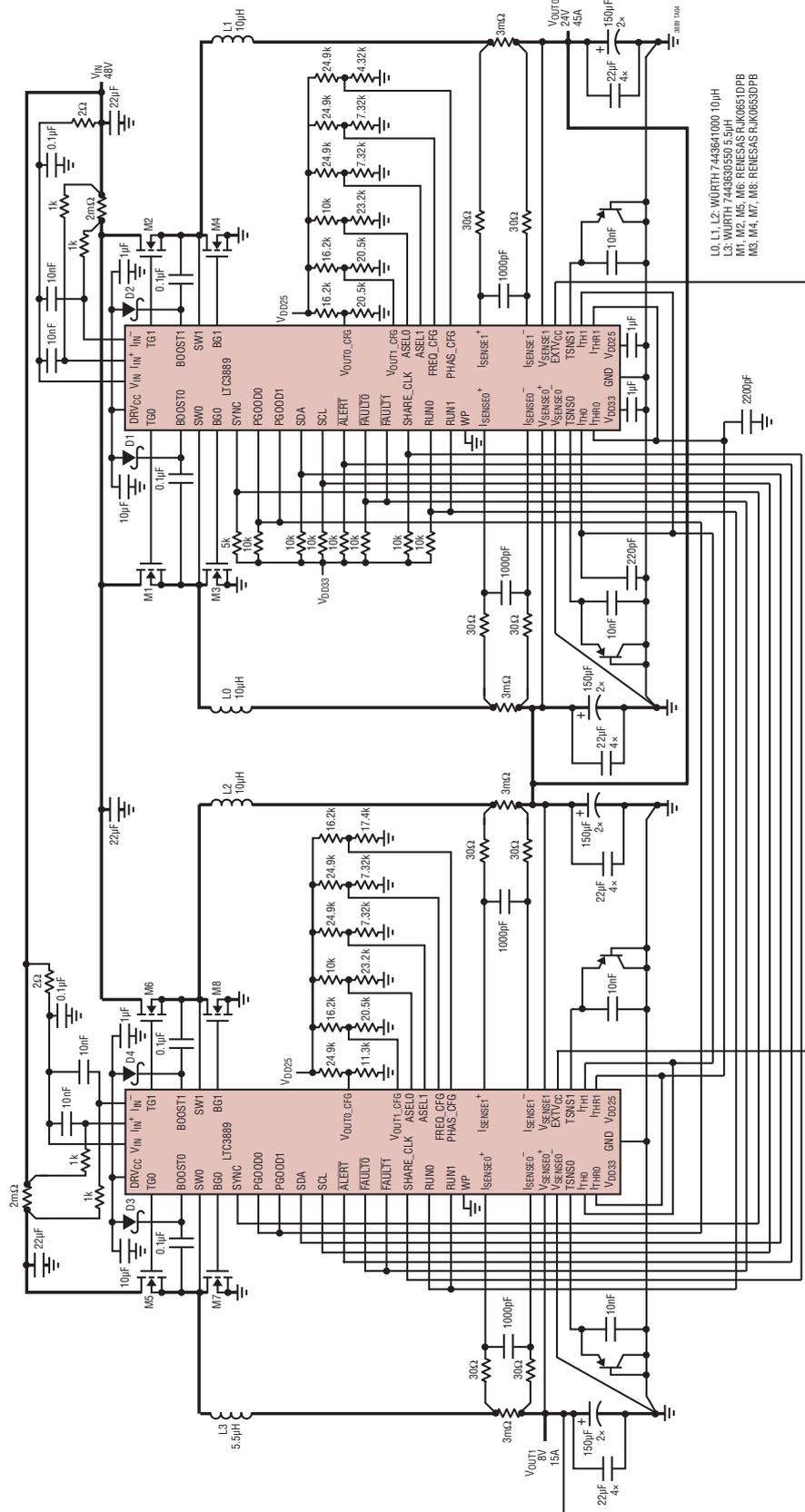
検出抵抗付きの高効率 150kHz/12V および 24V 降圧コンバータ





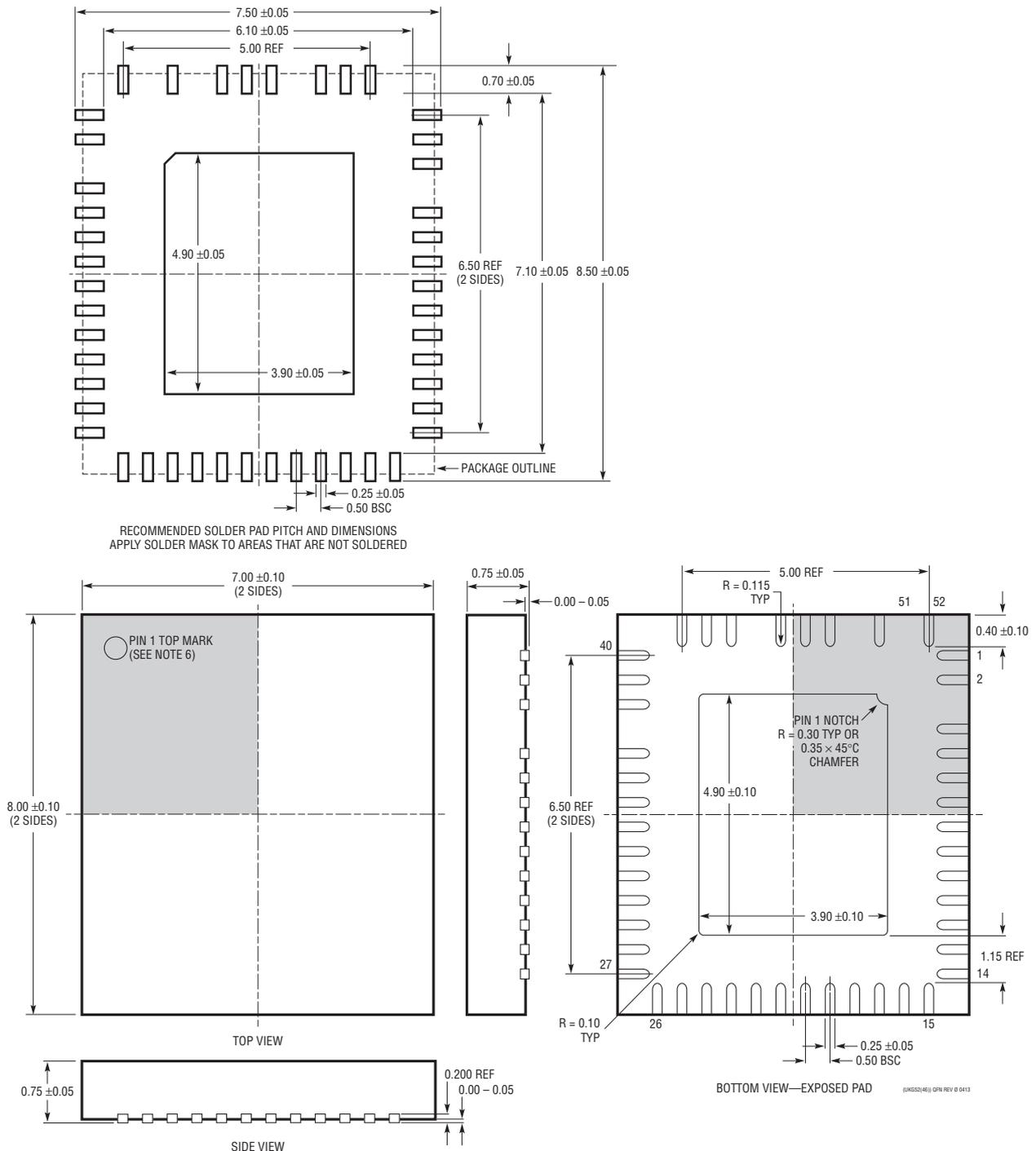
代表的なアプリケーション

検出抵抗付きの高効率200kHz、3相24Vおよび1相8V降圧コンバータ



パッケージ

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



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

- 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. 露出パッドはハンダ・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 1 番ピンの位置の参考にと過ぎない

