

## デジタル・パワーシステム・ マネージメントを備えた 単相降圧 DC/DC コントローラ

### 特長

- PMBus/I<sup>2</sup>C 準拠のシリアル・インタフェース
  - 遠隔測定リードバック・データの内容は、V<sub>IN</sub>、I<sub>IN</sub>、V<sub>OUT</sub>、I<sub>OUT</sub>、温度およびフォルト
  - プログラム可能な電圧、電流制限、デジタル・ソフトスタート/ストップ、シーケンシング、マージニング、OV/UV/OC、および周波数同期 (250kHz ~ 1MHz)
- 全温度範囲での出力電圧精度: ±0.5%
- 16ビット A/D コンバータおよび 12ビット D/A コンバータ内蔵
- 高電位側の電流検出アンプ内蔵
- EEPROM およびフォルト・ログ機能を内蔵
- 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: 4.5V ~ 24V
- 出力電圧範囲: 0.5V ~ 5.4V
- アナログ電流モード制御ループ
- 6位相までの PolyPhase<sup>®</sup> 高精度電流分担
- インダクタ DCR の自動較正
- 32ピン (5mm×5mm) QFN パッケージで供給可能

### アプリケーション

- 大電流の分散給電システム
- 通信システム
- 高度でエネルギー効率の高い電力レギュレーション

### 概要

LTC<sup>®</sup>3883/LTC3883-1は、PMBus準拠のシリアル・インタフェースを備えた PolyPhase 対応の同期整流式 DC/DC 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、LTPowerPlay<sup>™</sup>ソフトウェア開発ツールおよびグラフィカル・ユーザ・インタフェース (GUI) によってサポートされている固定周波数の電流モード・アーキテクチャを採用しています。

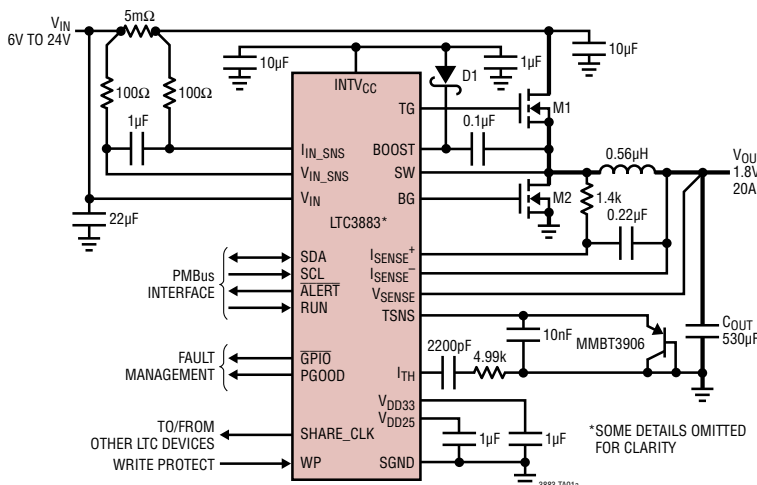
スイッチング周波数、出力電圧、およびデバイス・アドレスは、外付けの構成設定抵抗を使用して設定できます。さらに、パラメータはデジタル・インタフェースを介して設定することや、内蔵の EEPROM に格納することができます。

LTC3883/LTC3883-1は、Burst Mode<sup>®</sup>動作、不連続 (パルス・スキップ) モード、または連続インダクタ電流モードに合わせて構成できます。LTC3883は5Vのリニア・レギュレータを内蔵していますが、LTC3883-1は電力損失を最小にするため外部の5V電源を使用します。

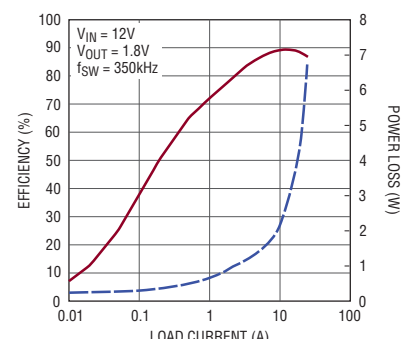
LTC3883/LTC3883-1は、5mm×5mmの32ピン QFN パッケージで供給されます。

LT、LT、LTC、LTM、OPTI-LOOP、PolyPhase、Burst Mode、μModule、Linear Technology および Linear のロゴはリニアテクノロジー社の登録商標です。LTPowerPlay、No RSENSE および UltraFast はリニアテクノロジー社の商標です。その他の商標の所有権は、いずれもそれぞれの所有者に帰属します。5481178、5705919、5929620、6100678、6144194、6177787、5408150、6580258、6304066、7420359 を含む米国特許により保護されています。米国特許 7000125 および他の関連する国際特許の使用権を許諾されています。

### 標準的応用例



効率および電力損失と  
負荷電流



## 目次

特長.....	1	$V_{OUT}$ および $I_{OUT}$ フォルトに対する応答.....	25
アプリケーション.....	1	出力過電圧フォルトに対する応答.....	25
標準的応用例.....	1	出力低電圧フォルトに対する応答.....	25
概要.....	1	ピーク出力過電流フォルトに対する応答.....	25
目次.....	2	タイミング・フォルトに対する応答.....	26
絶対最大定格.....	4	$V_{IN}$ のOVフォルトに対する応答.....	26
ピン配置.....	4	OT/UTフォルトに対する応答.....	26
発注情報.....	4	過熱フォルトに対する応答 — 内部.....	26
電気的特性.....	5	過熱および低温フォルトに対する	
標準的性能特性.....	9	応答 — 外部.....	26
ピン機能.....	12	入力過電流および出力低電流フォルトに対する応答.....	27
ブロック図.....	14	外部フォルトに対する応答.....	27
動作.....	15	フォルト・ログ.....	27
概要.....	15	バス・タイムアウト・エラー.....	27
メイン制御ループ.....	15	PMBus、SMBus、I <sup>2</sup> C 2線インタフェース間の類似性.....	27
EEPROM.....	16	PMBusシリアル・デジタル・インタフェース.....	28
電源投入と初期化.....	16	<b>PMBusコマンド一覧.....</b>	<b>31</b>
ソフトスタート.....	17	PMBusコマンド.....	31
シーケンシング.....	17	*データ形式.....	36
電圧ベースのシーケンシング.....	18	<b>アプリケーション情報.....</b>	<b>37</b>
シャットダウン.....	18	電流制限のプログラミング.....	37
軽負荷電流動作.....	19	$I_{SENSE}^{+}$ ピンと $I_{SENSE}^{-}$ ピン.....	37
スイッチング周波数と位相.....	19	値の小さな抵抗による電流検出.....	38
出力電圧検出.....	20	インダクタDCRによる電流検出.....	39
出力電流検出.....	20	スロー補償とインダクタのピーク電流.....	40
自動較正.....	20	インダクタ値の計算.....	40
正確なDCR温度補償.....	20	インダクタのコアを選択.....	41
入力電流検出.....	20	パワーMOSFETとショットキ・ダイオード	
負荷シェアリング.....	21	(オプション)の選択.....	41
外部/内部温度検出.....	21	可変遅延時間、ソフトスタート、	
RCONFIG (抵抗構成設定)ピン.....	22	出力電圧ランプ.....	42
フォルトの検出と処理.....	23	デジタル・サーボ・モード.....	43
CRCエラー.....	24	ソフトオフ (シーケンス制御によるオフ).....	43
シリアル・インタフェース.....	24	INTV <sub>CC</sub> レギュレータ.....	44
通信障害.....	24		
デバイス・アドレス指定.....	24		

## 目次

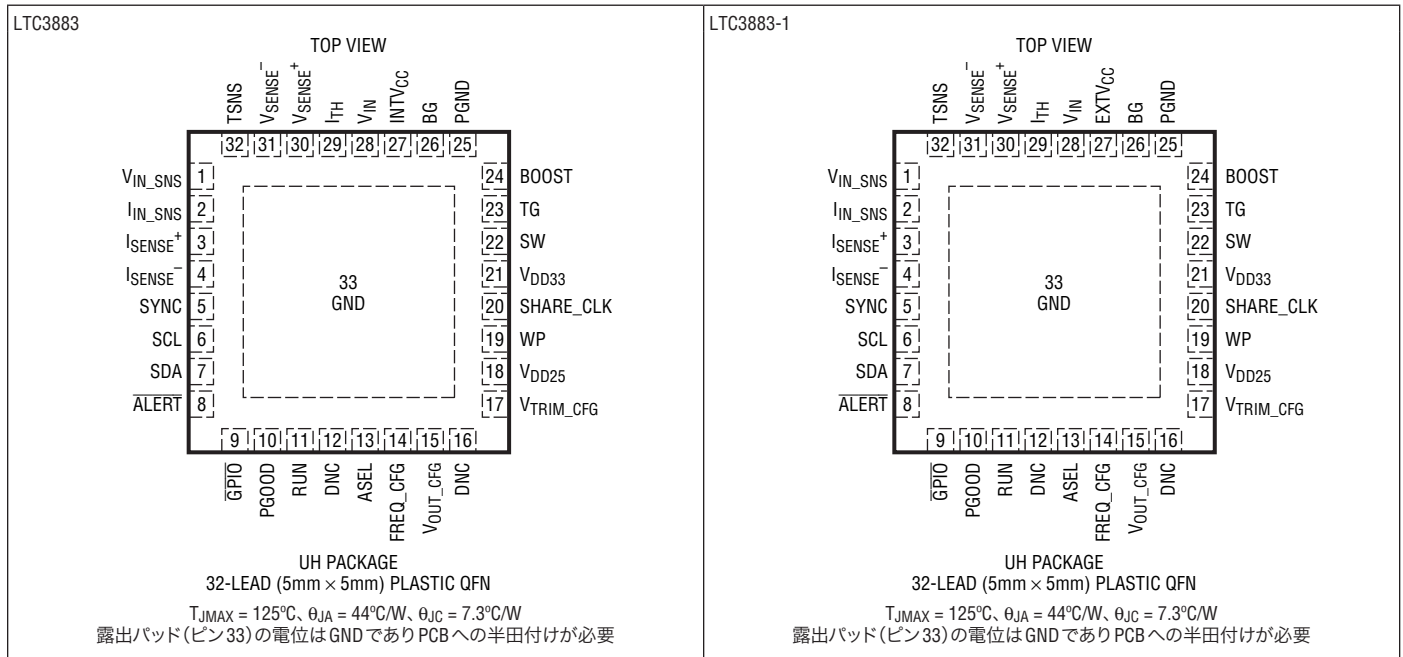
上側MOSFETドライバの電源 ( $C_B$ 、 $D_B$ )	45	電流	74
低電圧ロックアウト	45	出力電流の較正	74
$C_{IN}$ と $C_{OUT}$ の選択	45	出力電流	76
フォルト状態	46	入力電流の較正	78
オープンドレイン・ピン	47	入力電流	78
フェーズロック・ループと周波数同期	47	温度	78
最小オン時間に関する検討事項	48	外部温度の較正	78
入力電流検出アンプ	48	外部温度リミット	79
RCONFIG (外付け抵抗構成設定ピン)	49	タイミング	80
電圧の選択	49	タイミング - オン・シーケンス/ランプ	80
RCONFIGによる周波数と位相の選択	51	タイミング - オフ・シーケンス/ランプ	81
RCONFIGによるアドレス選択	51	再起動の前提条件	81
効率に関する検討事項	52	フォルト応答	82
トランジェント応答の確認	52	フォルト応答 - 全フォルト	82
PolyPhase構成	53	フォルト応答 - 入力電圧	82
PC基板レイアウトのチェックリスト	54	フォルト応答 - 出力電圧	83
PC基板レイアウトのデバッグ	56	フォルト応答 - 出力電流	85
設計例	56	フォルト応答 - IC温度	86
USB-to-I <sup>2</sup> C/SMBus/PMBusコントローラと		フォルト応答 - 外部温度	87
LTC3883のシステム内接続	58	フォルト共有	88
インダクタDCRの自動較正	59	フォルト共有 - 伝播	88
正確なDCR温度補償	60	フォルト共有 - 応答	90
LTpowerPlay: デジタル電源用の対話型GUI	61	スクラッチパッド	90
PMBus通信とコマンド処理	61	識別	90
<b>PMBusコマンドの詳細</b>	<b>64</b>	フォルト警告とステータス	91
アドレス指定および書き込み保護	64	テレメトリ	95
汎用構成コマンド	65	NVMメモリ・コマンド	100
オン/オフ/マージン	66	ストア/リストア	100
PWMの構成	68	フォルト・ログ	101
電圧	70	ブロック・メモリ書き込み/読み出し	104
入力電圧とリミット	70	<b>標準的応用例</b>	<b>106</b>
出力電圧とリミット	71	<b>パッケージ</b>	<b>110</b>
		<b>改訂履歴</b>	<b>111</b>
		<b>標準的応用例</b>	<b>112</b>
		<b>関連製品</b>	<b>112</b>

# LTC3883/LTC3883-1

## 絶対最大定格 (Note 1)

$V_{IN}$ , SW	-0.3V ~ 28V	$(V_{IN\_SNS} - V_{IN})$ , $(V_{IN} - I_{IN\_SNS})$	-0.3V ~ 0.3V
上側ドライバ電圧 (BOOST)	-0.3V ~ 34V	PGOOD, $\overline{GPIO}$ , SHARE_CLK, $I_{TH}$ ,	
スイッチ・トランジエント電圧 (SW)	-5V ~ 28V	$V_{DD33}$ , SYNC, WP	-0.3V ~ 3.6V
EXTV <sub>CC</sub> , INTV <sub>CC</sub> , BG, (BOOST - SW)	-0.3V ~ 6V	INTV <sub>CC</sub> のピーク出力電流	100mA
$V_{SENSE^+}$ , $I_{SENSE^+}$	-0.3V ~ 6V	動作接合部温度範囲 (Notes 2, 15)	-40°C ~ 125°C
RUN, SDA, SCL, $\overline{ALERT}$	-0.3V ~ 5.5V	保存温度範囲	-65°C ~ 125°C
FREQ_CFG, V <sub>OUT_CFG</sub> , V <sub>TRIM_CFG</sub> ,			
ASEL, V <sub>DD25</sub>	-0.3V ~ 2.75V		

## ピン配置



## 発注情報

無鉛仕上げ	テープアンドリール	製品マーキング*	パッケージ	温度範囲
LTC3883EUH#PBF	LTC3883EUH#TRPBF	3883	32-Lead (5mm × 5mm) Plastic QFN	-40°C ~ 105°C
LTC3883IUH#PBF	LTC3883IUH#TRPBF	3883	32-Lead (5mm × 5mm) Plastic QFN	-40°C ~ 125°C
LTC3883EUH-1#PBF	LTC3883EUH-1#TRPBF	38831	32-Lead (5mm × 5mm) Plastic QFN	-40°C ~ 105°C
LTC3883IUH-1#PBF	LTC3883IUH-1#TRPBF	38831	32-Lead (5mm × 5mm) Plastic QFN	-40°C ~ 125°C

さらに広い動作温度範囲で規定されるデバイスについては、弊社または弊社代理店にお問い合わせください。\* 温度グレードは出荷時のコンテナのラベルで識別されます。非標準の鉛仕上げ製品の詳細については、弊社または弊社代理店にお問い合わせください。

無鉛仕上げの製品マーキングの詳細については、<http://www.linear-tech.co.jp/leadfree/> をご覧ください。テープアンドリールの仕様の詳細については、<http://www.linear-tech.co.jp/tapeandree/> をご覧ください。

**電気的特性** ●は規定動作接合部温度範囲の規格値を意味する。それ以外は  $T_A = 25^\circ\text{C}$  の値 (Note 2)。注記がない限り、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{RUN} = 3.3\text{V}$ 、 $f_{SYNC} = 500\text{kHz}$  (外部より駆動)。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
<b>入力電圧</b>							
$V_{IN}$	Input Voltage Range	(Note 12)	●	4.5	24	V	
$I_Q$	Input Voltage Supply Current Normal Operation	(Note 14) $V_{RUN} = 3.3\text{V}$ , No Caps on TG and BG $V_{RUN} = 0\text{V}$		30 20		mA mA	
$V_{UVLO}$	Undervoltage Lockout Threshold when $V_{IN} > 4.2\text{V}$	$V_{INTVCC}/V_{EXTVCC}$ Falling $V_{INTVCC}/V_{EXTVCC}$ Rising		3.7 3.95		V V	
<b>制御ループ</b>							
$V_{OUTR0}$	Full-Scale Voltage Range 0 Set Point Accuracy (0.6V to 5V) Resolution LSB Step Size	$V_{OUT\_COMMAND} = 5.500\text{V}$ (Note 9)	● ●	5.422 -0.5 12 1.375	5.576 0.5	V % Bits mV	
$V_{OUTR1}$	Full-Scale Voltage Range 1 Set Point Accuracy (0.6V to 2.5V) Resolution LSB Step Size	$V_{OUT\_COMMAND} = 2.75\text{V}$ (Note 9)	● ●	2.711 -0.5 12 0.6875	2.788 0.5	V % Bits mV	
$V_{LINEREG}$	Line Regulation	$6\text{V} < V_{IN} < 24\text{V}$	●		$\pm 0.02$	%/V	
$V_{LOADREG}$	Load Regulation	$\Delta V_{I\text{TH}} = 1.35\text{V} - 0.7\text{V}$ $\Delta V_{I\text{TH}} = 1.35\text{V} - 2.0\text{V}$	● ●	0.01 -0.01	0.1 -0.1	% %	
$g_m$	Error Amplifier $g_m$	$I_{\text{TH}} = 1.22\text{V}$		3		mmho	
$I_{\text{SENSE}}$	Input Current	$V_{\text{ISENSE}} = 5.5\text{V}$	●	$\pm 1$	$\pm 2$	$\mu\text{A}$	
$V_{\text{SENSEIN}}$	$V_{\text{SENSE}}$ Input Resistance to Ground	$0\text{V} \leq V_{\text{PIN}} \leq 5.5\text{V}$		47		k $\Omega$	
$V_{\text{ILIMIT}}$	Resolution			3		bits	
	$V_{\text{ILIMMAX}}$	Hi Range Lo Range	● ●	68 44	75 50	82 56	mV mV
	$V_{\text{ILIMMIN}}$	Hi Range Lo Range			37.5 25	mV mV	
<b>ゲート・ドライバ</b>							
TG $t_r$ $t_f$	TG Transition Time: Rise Time Fall Time	(Note 4) $C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$ $C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$		30 30		ns ns	
BG $t_r$ $t_f$	BG Transition Time: Rise Time Fall Time	(Note 4) $C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$ $C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$		20 20		ns ns	
TG/BG $t_{1D}$	Top Gate Off to Bottom Gate On Delay Time	(Note 4) $C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$		10		ns	
BG/TG $t_{2D}$	Bottom Gate Off to Top Gate On Delay Time	(Note 4) $C_{\text{LOAD}} = 3300\text{pF}$		30		ns	
$t_{\text{ON(MIN)}}$	Minimum On-Time			90		ns	
<b>OV/UV出力電圧スーパバイザ</b>							
N	Resolution			8		bits	
$V_{\text{RANGE0}}$	Voltage Range	Range Value = 0		1	5.5	V	
$V_{\text{RANGE1}}$	Voltage Range	Range Value = 1		0.4	2.7	V	
$V_{\text{OUSTP0}}$	Step Size	Range Value = 0		22		mV	
$V_{\text{OUSTP1}}$	Step Size	Range Value = 1		11		mV	
$V_{\text{THACC0}}$	Threshold Accuracy $2\text{V} < V_{\text{OUT}} < 5\text{V}$	Range Value = 0	●		$\pm 2$	%	
$V_{\text{THACC1}}$	Threshold Accuracy $0.9\text{V} < V_{\text{OUT}} < 2.5\text{V}$	Range Value = 1	●		$\pm 2$	%	
$t_{\text{PROPOV1}}$	OV Comparator to GPIO Low Time	$V_{\text{OD}} = 10\%$ of Threshold			35	$\mu\text{s}$	
$t_{\text{PROPUV1}}$	UV Comparator to GPIO Low Time	$V_{\text{OD}} = 10\%$ of Threshold			35	$\mu\text{s}$	
<b><math>V_{\text{IN}}</math>電圧スーパバイザ</b>							
N	Resolution			8		bits	

# LTC3883/LTC3883-1

**電気的特性** ●は規定動作接合部温度範囲の規格値を意味する。それ以外は  $T_A = 25^\circ\text{C}$  の値 (Note 2)。注記がない限り、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{RUN} = 3.3\text{V}$ 、 $f_{SYNC} = 500\text{kHz}$  (外部より駆動)。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$V_{INRANGE}$	Full-Scale Voltage		4.5		20	V
$V_{INSTP}$	Step Size			82		mV
$V_{INTHACC}$	Threshold Accuracy $8.75\text{V} < V_{IN} < 20\text{V}$		●		±2.5	%
$t_{PROVIN}$	Comparator Response Time (VIN_ON and VIN_OFF)	$V_{OD} = 10\%$ of Threshold			100	μs

## 出力電圧読み出し

N	Resolution LSB Step Size			16 244		Bits μV
$V_{F/S}$	Full-Scale Sense Voltage	(Note 10) $V_{RUN} = 0\text{V}$ (Note 8)		8		V
$V_{OUT\_TUE}$	Total Unadjusted Error	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $V_{OUT} > 0.6\text{V}$ (Note 8)	●	0.2	0.5	% %
$V_{OS}$	Zero-Code Offset Voltage		●		±500	μV
$t_{CONVERT}$	Conversion Time	(Note 6)		90		ms

## $V_{IN}$ 電圧読み出し

N	Resolution	(Note 5)		10		Bits
$V_{F/S}$	Full-Scale Input Voltage	(Note 11)		38.91		V
$V_{IN\_TUE}$	Total Unadjusted Error	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $V_{VIN} > 4.5\text{V}$	●		0.4 2	% %
$t_{CONVERT}$	Conversion Time	(Note 6)		90		ms

## 出力電流読み出し

N	Resolution LSB Step Size	(Note 5) $0\text{V} \leq  V_{ISENSE}^+ - V_{ISENSE}^-  < 16\text{mV}$ $16\text{mV} \leq  V_{ISENSE}^+ - V_{ISENSE}^-  < 32\text{mV}$ $32\text{mV} \leq  V_{ISENSE}^+ - V_{ISENSE}^-  < 63.9\text{mV}$ $63.9\text{mV} \leq  V_{ISENSE}^+ - V_{ISENSE}^-  < 127.9\text{mV}$		10 15.25 31.25 62.5 125		Bits μV μV μV μV
$I_{F/S}$	Full-Scale Input Current	(Note 7) $R_{ISENSE} = 1\text{m}\Omega$		±128		A
$I_{OUT\_TUE}$	Total Unadjusted Error	(Note 8) $V_{ISENSE} > 6\text{mV}$	●		±1	%
$V_{OS}$	Zero-Code Offset Voltage				±28	μV
$t_{CONVERT}$	Conversion Time	(Note 6)		90		ms

## 入力電流読み出し

N	Resolution LSB Step Size	(Note 5) $8\times$ Gain, $0\text{V} \leq  V_{IN\_SNS} - I_{IN\_SNS}  \leq 8\text{mV}$ $4\times$ Gain, $0\text{V} \leq  V_{IN\_SNS} - I_{IN\_SNS}  \leq 20\text{mV}$ $2\times$ Gain, $0\text{V} \leq  V_{IN\_SNS} - I_{IN\_SNS}  \leq 50\text{mV}$		10 15.26 30.52 61		Bits μV μV μV
$I_{IN\_TUE}$	Total Unadjusted Error	$8\times$ Gain, $V_{ISENSE} > 2.5\text{mV}$ (Note 8) $4\times$ Gain, $V_{ISENSE} > 4\text{mV}$ (Note 8) $2\times$ Gain, $V_{ISENSE} > 6\text{mV}$ (Note 8)	● ● ●		±1.6 ±1.3 ±1.2	% % %
$V_{OS}$	Zero-Code Offset Voltage			±50		μV
$t_{CONVERT}$	Conversion Time	(Note 6)		180		ms

## 電源電流読み出し

N	Resolution LSB Step Size	(Note 5)		10 122		Bits μV
$I_{CHIP\_TUE}$	Total Unadjusted Error (LTC3883 Only) Total Unadjusted Error (LTC3883-1 Only)		● ●		±5 ±200	% μA
$t_{CONVERT}$	Conversion Time	(Note 6)		180		ms

## デューティ・サイクル読み出し

D_RES	Resolution	(Note 5)		10		Bits
D_TUE	Total Unadjusted Error	16.3% Duty Cycle		-3	3	%
$t_{CONVERT}$	Conversion Time	(Note 6)		90		ms

3883fa

**電気的特性** ●は規定動作接合部温度範囲の規格値を意味する。それ以外は  $T_A = 25^\circ\text{C}$  の値 (Note 2)。注記がない限り、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{RUN} = 3.3\text{V}$ 、 $f_{SYNC} = 500\text{kHz}$  (外部より駆動)。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
<b>温度読み出し (T0, T1)</b>							
TRES_T	Resolution			0.25		$^\circ\text{C}$	
T0_TUE	External TSNS TUE	$V_{TSNS} = 72\text{mV}$ (Note 8)	●		$\pm 3$	$^\circ\text{C}$	
T1_TUE	Internal TSNS TUE	$V_{RUN} = 0.0\text{V}$ , $f_{SYNC} = 0\text{kHz}$ (Note 8)		$\pm 1$		$^\circ\text{C}$	
tCONVERT_T	Update Rate	(Note 6)		90		ms	
<b>INTV<sub>CC</sub>レギュレータ</b>							
V <sub>INTVCC</sub>	Internal V <sub>CC</sub> Voltage No Load (LTC3883 Only)	$6\text{V} < V_{IN} < 24\text{V}$	●	4.8	5	5.2	V
V <sub>LDO_INT</sub>	INTV <sub>CC</sub> Load Regulation (LTC3883 Only)	$I_{CC} = 0\text{mA}$ to $50\text{mA}$		0.5	$\pm 2$		%
<b>V<sub>DD33</sub>レギュレータ</b>							
V <sub>DD33</sub>	Internal V <sub>DD33</sub> Voltage	$4.5\text{V} < V_{INTVCC}/V_{EXTVCC}$	●	3.2	3.3	3.4	V
I <sub>LIM</sub>	V <sub>DD33</sub> Current Limit	$V_{DD33} = \text{GND}$ , $V_{IN} = \text{INTVCC} = 4.5\text{V}$		100			mA
V <sub>DD33_OV</sub>	V <sub>DD33</sub> Overvoltage Threshold			3.5			V
V <sub>DD33_UV</sub>	V <sub>DD33</sub> Undervoltage Threshold			3.1			V
<b>V<sub>DD25</sub>レギュレータ</b>							
V <sub>DD25</sub>	Internal V <sub>DD25</sub> Voltage		●	2.25	2.5	2.75	V
I <sub>LIM</sub>	V <sub>DD25</sub> Current Limit	$V_{DD25} = \text{GND}$ , $V_{IN} = \text{INTVCC} = 4.5\text{V}$		80			mA
<b>発振器とフェーズロック・ループ</b>							
f <sub>OSC</sub>	Oscillator Frequency Accuracy	$250\text{kHz} < f_{SYNC} < 1\text{MHz}$ Measured Falling Edge-to-Falling Edge of SYNC with SWITCH_FREQUENCY = 250.0 and 1000.0	●		$\pm 7.5$		%
V <sub>TH,SYNC</sub>	SYNC Input Threshold	V <sub>CLKIN</sub> Falling V <sub>CLKIN</sub> Rising		1 1.5			V V
V <sub>OL,SYNC</sub>	SYNC Low Output Voltage	$I_{LOAD} = 3\text{mA}$	●	0.2	0.4		V
I <sub>LEAK,SYNC</sub>	SYNC Leakage Current in Slave Mode	$0\text{V} \leq V_{PIN} \leq 3.6\text{V}$			$\pm 5$		$\mu\text{A}$
SYNC-	SYNC to Channel Phase Relationship Based on the Falling Edge of Sync and Rising Edge of TG	MFR_PWM_CONFIG_LTC3883[2:0] = 0 MFR_PWM_CONFIG_LTC3883[2:0] = 1 MFR_PWM_CONFIG_LTC3883[2:0] = 2 MFR_PWM_CONFIG_LTC3883[2:0] = 3 MFR_PWM_CONFIG_LTC3883[2:0] = 4 MFR_PWM_CONFIG_LTC3883[2:0] = 5 MFR_PWM_CONFIG_LTC3883[2:0] = 6 MFR_PWM_CONFIG_LTC3883[2:0] = 7		0 90 180 270 60 120 240 300			Deg Deg Deg Deg Deg Deg Deg Deg
<b>EEPROM 特性</b>							
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
<b>デジタル入力 SCL、SDA、RUN、GPIO</b>							
V <sub>IH</sub>	Input High Threshold Voltage	SCL, SDA, RUN, GPIO, PGOOD	●		2.0		V
V <sub>IL</sub>	Input Low Threshold Voltage	SCL, SDA, RUN, GPIO, PGOOD	●	1.4			V
V <sub>HYST</sub>	Input Hysteresis	SCL, SDA		0.08			V
C <sub>PIN</sub>	Input Capacitance				10		pF
<b>デジタル入力 WP</b>							
I <sub>PUPP</sub>	Input Pull-Up Current	WP		10			$\mu\text{A}$
<b>オープンドレイン出力 SCL、SDA、GPIO、ALERT、RUN、SHARE_CLK、PGOOD</b>							
V <sub>OL</sub>	Output Low Voltage	$I_{SINK} = 3\text{mA}$	●		0.4		V

# LTC3883/LTC3883-1

**電気的特性** ●は規定動作接合部温度範囲の規格値を意味する。それ以外は  $T_A = 25^\circ\text{C}$  の値 (Note 2)。注記がない限り、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{RUN} = 3.3\text{V}$ 、 $f_{SYNC} = 500\text{kHz}$  (外部より駆動)。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>デジタル入力 SHARE_CLK, WP</b>						
$V_{IH}$	Input High Threshold Voltage		●	1.5	1.8	V
$V_{IL}$	Input Low Threshold Voltage		●	0.6	1.0	V
<b>漏れ電流 SDA, SCL, ALERT, RUN</b>						
$I_{OL}$	Input Leakage Current	$0\text{V} \leq V_{PIN} \leq 5.5\text{V}$	●		±5	μA
<b>漏れ電流 GPIO, PGOOD</b>						
$I_{GL}$	Input Leakage Current	$0\text{V} \leq V_{PIN} \leq 3.6\text{V}$	●		±2	μA
<b>GPIO のデジタル・フィルタリング</b>						
$t_{FLTG}$	Input Digital Filtering GPIO			3		μs
<b>RUN のデジタル・フィルタリング</b>						
$t_{FLTG}$	Input Digital Filtering RUN			10		μs
<b>PMBus インタフェースのタイミング特性</b>						
$f_{SCL}$	Serial Bus Operating Frequency		●	10	400	kHz
$t_{BUF}$	Bus Free Time Between Stop and Start		●	1.3		μs
$t_{HD,STA}$	Hold time After Repeated Start Condition. After this Period, the First Clock is Generated		●	0.6		μs
$t_{SU,STA}$	Repeated Start Condition Setup Time		●	0.6		μs
$t_{SU,STO}$	Stop Condition Setup Time		●	0.6		μs
$t_{HD,DAT}$	Data Hold Time Receiving Data Transmitting Data		● ●	0 0.3	0.9	μs μs
$t_{SU,DAT}$	Data Setup Time Receiving Data		●	0.1		μs
$t_{TIMEOUT\_SMB}$	Stuck PMBus Timer Non-Block Reads Stuck PMBus Timer Block Reads	Measured from the Last PMBus Start Event		32 150		ms ms
$t_{LOW}$	Serial Clock Low Period		●	1.3	10000	μs
$t_{HIGH}$	Serial Clock High Period		●	0.6		μs

**Note 1:** 絶対最大定格に記載された値を超えるストレスはデバイスに永続的損傷を与える可能性がある。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:** LTC3883/LTC3883-1 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。LTC3883E/LTC3883E-1 は  $0^\circ\text{C} \sim 85^\circ\text{C}$  の温度範囲で性能仕様に適合することが保証されている。 $-40^\circ\text{C} \sim 105^\circ\text{C}$  の動作接合部温度範囲での仕様は設計、特性評価および統計学的なプロセス・コントロールとの相関で確認されている。LTC3883/LTC3883-1 は  $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$  の動作接合部温度範囲で保証されている。 $T_J$  は周囲温度  $T_A$  および電力損失  $P_D$  から次式に従って計算される。

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

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

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

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

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

**Note 6:** データ変換はラウンド・ロビン方式で実行される。すべての入力信号は、標準レイテンシ 120ms で、連続的に変換される。

**Note 7:**  $I_{OUT\_CAL\_GAIN} = 1.0\text{m}\Omega$ 、 $MFR\_I_{OUT\_TC} = 0.0$  である。READ\_IOUT よりアンペア単位で読み出される値。

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

**Note 9:** すべての  $V_{OUT}$  コマンドは、規定の精度を得るために、ADC を用いて出力に対して自動ゼロ点補正を行うことを前提としている。LTC3883 は、 $V_{OUT}$  を規定の値にサーボ制御する帰還ループ内でテストされる。

**Note 10:** 最大  $V_{OUT}$  電圧は 5.5V である。

**Note 11:** 最大  $V_{IN}$  電圧は 28V である。

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

**Note 13:** EEPROM の書き換え耐性は設計、特性評価および統計学的なプロセス・コントロールとの相関で保証されている。データ保持特性はウェハ・レベルでの高温ベークによって量産テストされている。保持特性の最小仕様値は、EEPROM の書き換えサイクル数が書き換え耐性の最小仕様値よりも少ないデバイスに対して適用される。RESTORE\_USER\_ALL (NVM 読み出し) は、全動作温度範囲で有効なコマンドである。

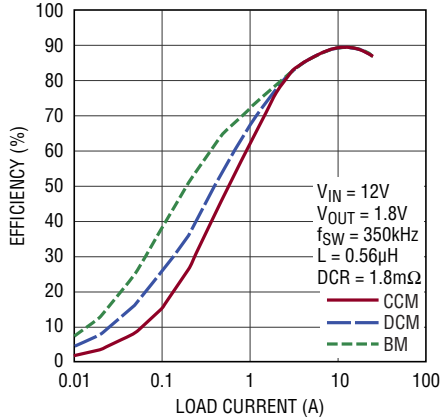
**Note 14:** LTC3883-1 の静止電流 ( $I_Q$ ) は、 $V_{IN}$  の  $I_Q$  と EXT<sub>V</sub><sub>CC</sub> の  $I_Q$  を足したものに等しい。

**Note 15:** LTC3883 は、短時間の過負荷状態の間デバイスを保護するための過熱保護機能を備えている。過熱保護機能がアクティブなとき接合部温度は  $125^\circ\text{C}$  を超える。規定された最大動作接合部温度を超えた動作が継続すると、デバイスの信頼性を損なう恐れがある。

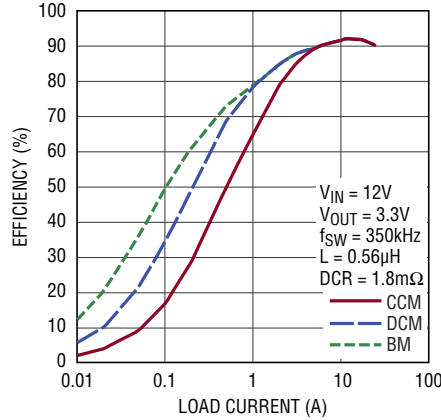


## 標準的性能特性

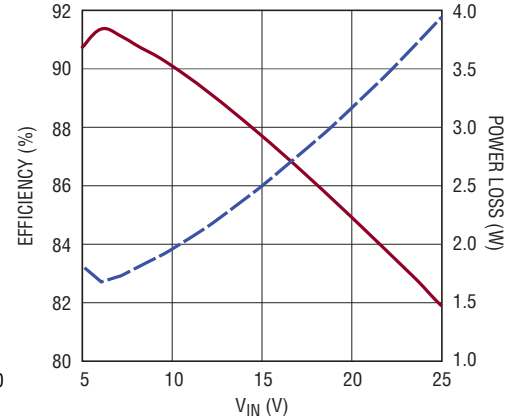
効率と負荷電流、 $V_{OUT} = 1.8V$   
(LTC3883)



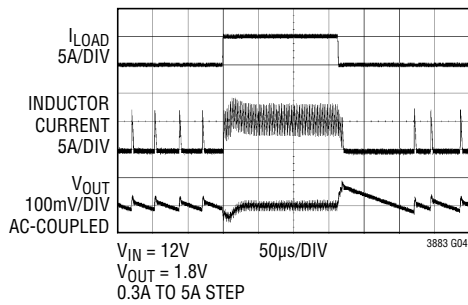
効率と負荷電流、 $V_{OUT} = 3.3V$   
(LTC3883)



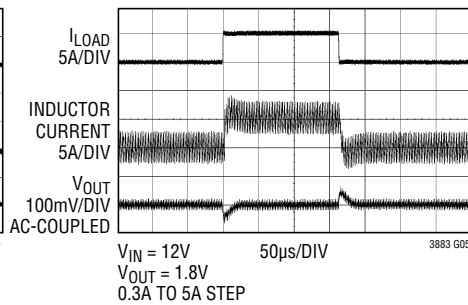
効率および電力損失と入力電圧  
(LTC3883)



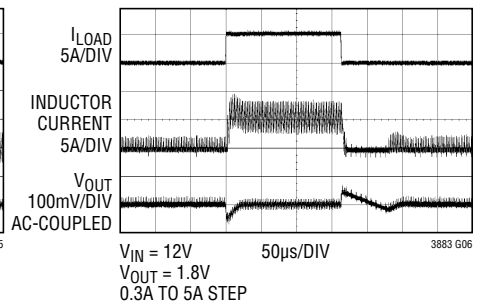
負荷ステップ  
(Burst Mode 動作)



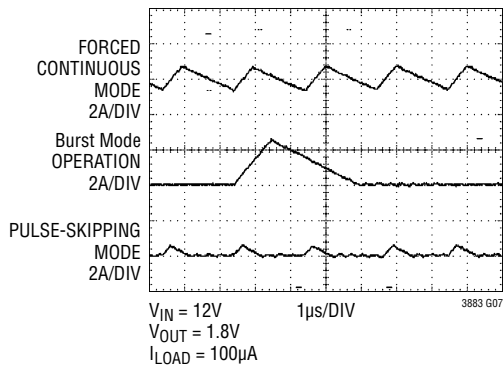
負荷ステップ  
(強制連続モード)



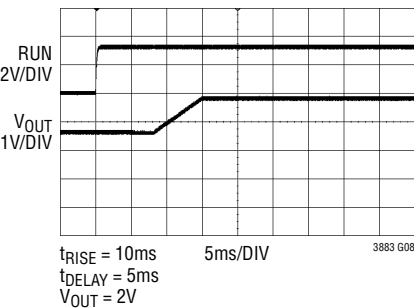
負荷ステップ  
(パルス・スキップ・モード)



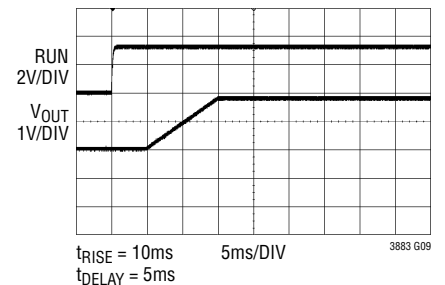
軽負荷時のインダクタ電流



プリバイアスされた負荷に対する起動

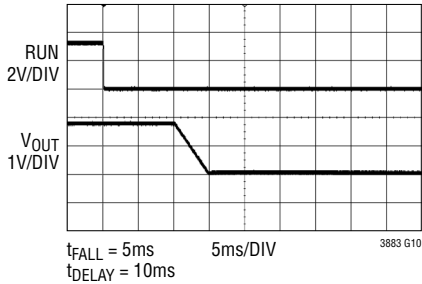


ソフトスタート時のランブ



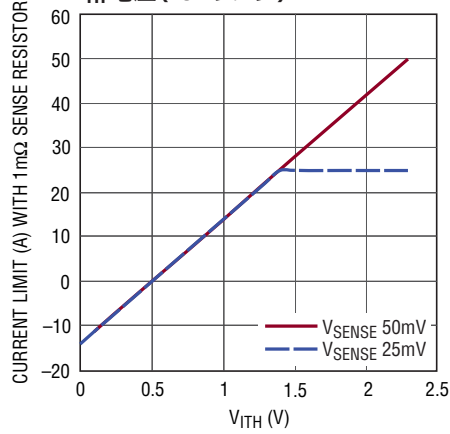
## 標準的性能特性

ソフトオフ時のランブ



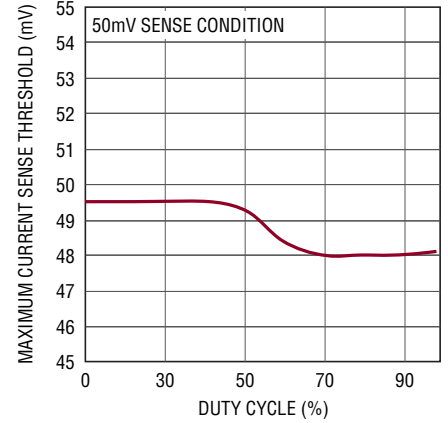
3883 G10

電流検出しきい値と  
I<sub>TH</sub> 電圧 (Lowレンジ)



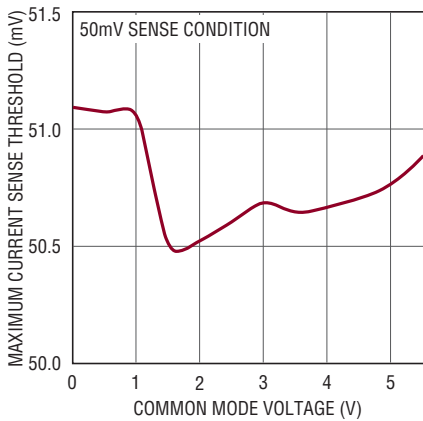
3883 G11

最大電流検出しきい値と  
デューティ・サイクル、V<sub>OUT</sub> = 0V



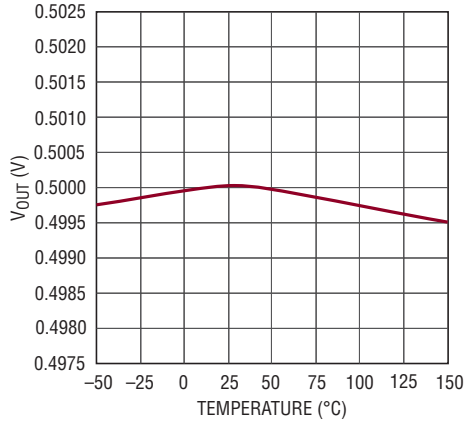
3883 G12

最大電流検出しきい値と同相電圧



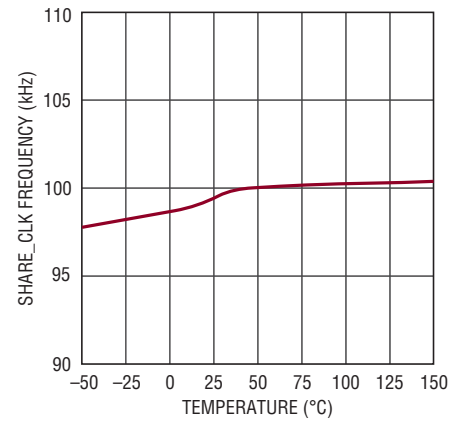
3883 G13

安定化出力電圧と温度



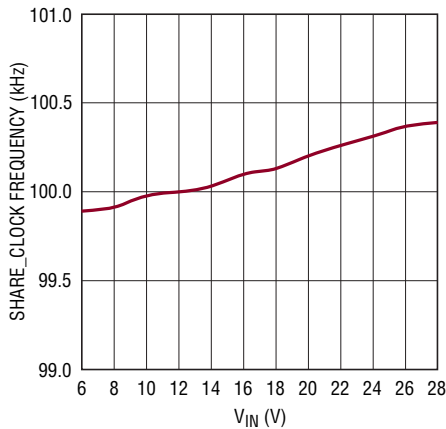
3883 G14

SHARE\_CLK周波数と温度



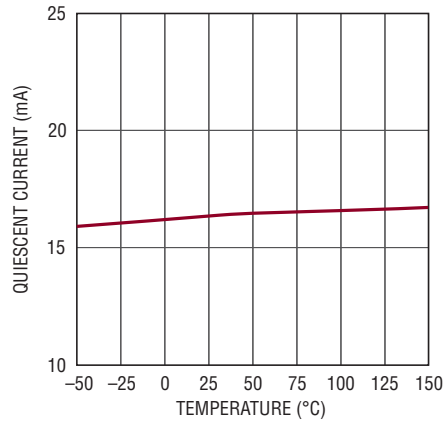
3883 G15

SHARE\_CLK周波数とV<sub>IN</sub>



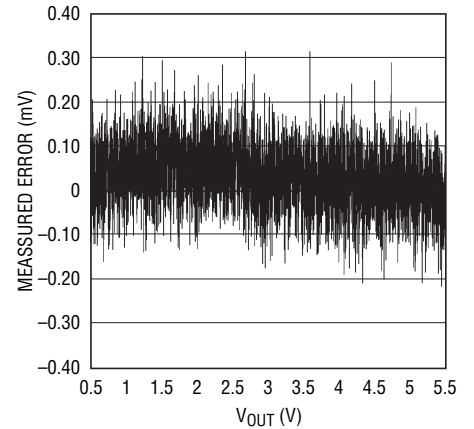
3883 G16

静止電流と温度



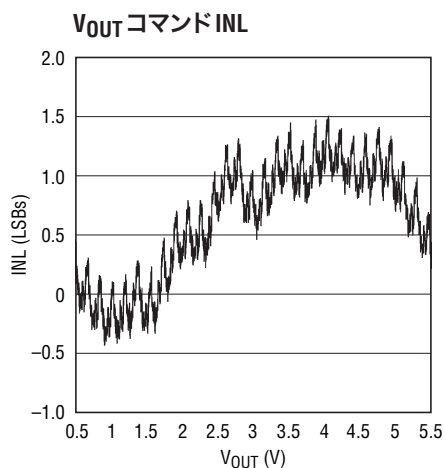
3883 G17

V<sub>OUT</sub> 測定誤差とV<sub>OUT</sub>

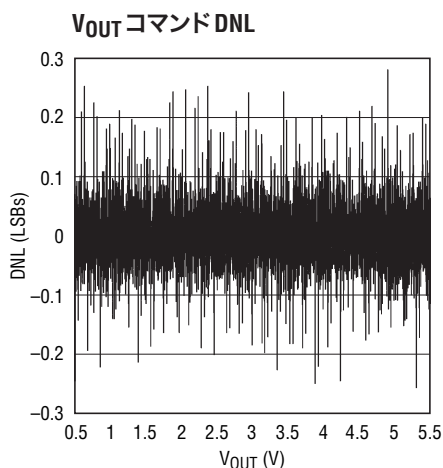


3883 G18

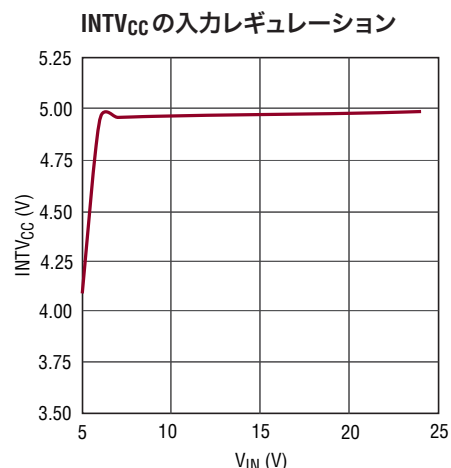
## 標準的性能特性



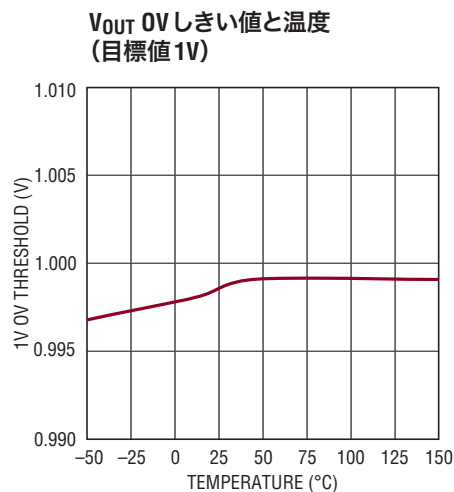
3883 G19



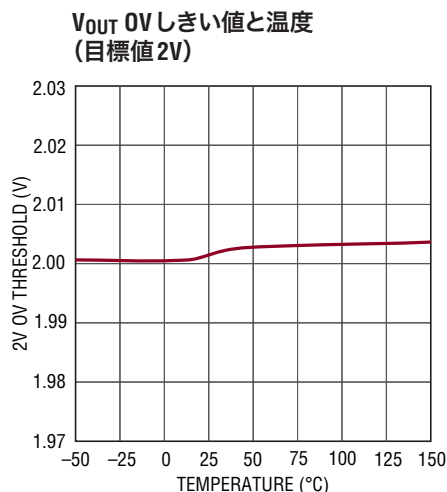
3883 G20



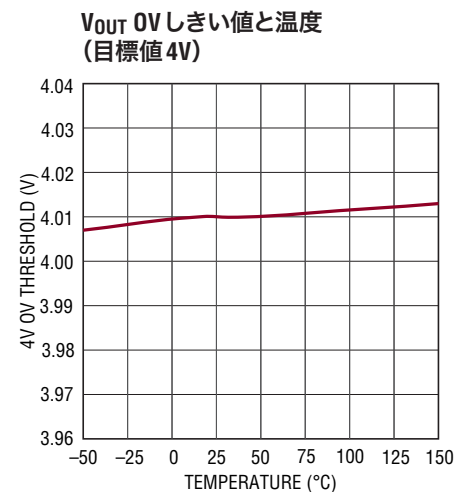
3883 G21



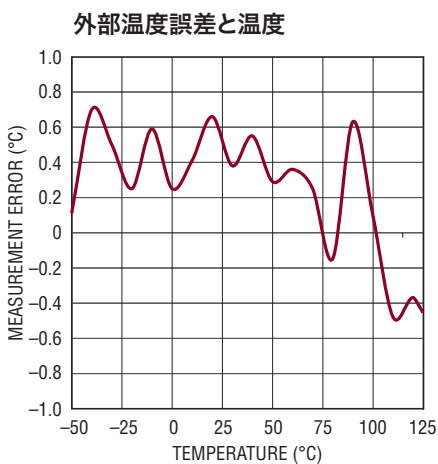
3883 G22



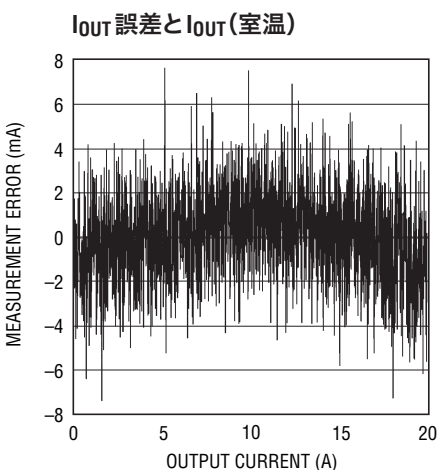
3883 G23



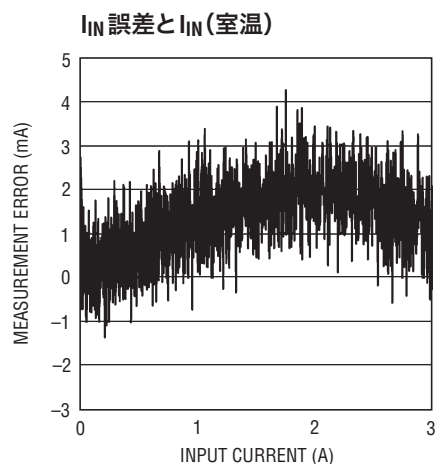
3883 G24



3883 G25



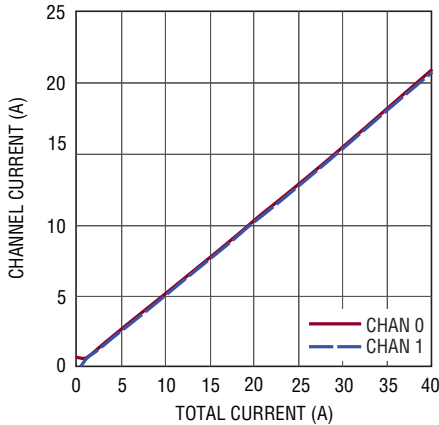
3883 G26



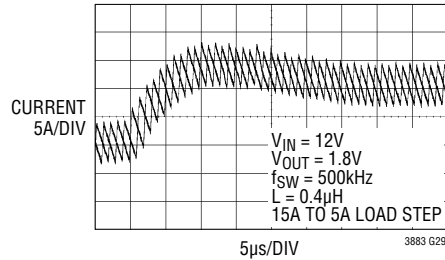
3883 G27

## 標準的性能特性

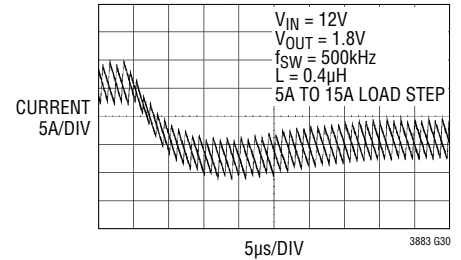
2位相システムにおける  
DC出力電流の整合性(LTC3883)



2位相システムの負荷トランジェントに  
おける動的電流シェアリング



2位相システムの負荷トランジェントに  
おける動的電流シェアリング



## ピン機能

**V<sub>IN\_SNS</sub> (ピン1)** : 入力電流検出コンパレータの入力。入力電流コンパレータの(-)入力は通常、100Ωの抵抗を介して入力電流検出抵抗の電源側に接続されます。入力電流検出アンプを使用しない場合は、このピンをI<sub>IN\_SNS</sub>ピンとV<sub>IN</sub>ピンに短絡させる必要があります。

**I<sub>IN\_SNS</sub> (ピン2)** : 入力電流検出コンパレータの入力。入力電流コンパレータの(+)入力は通常、100Ωの抵抗を介して入力電流検出抵抗の電力段側に接続されます。入力電流検出アンプを使用しない場合は、このピンをV<sub>IN\_SNS</sub>ピンとV<sub>IN</sub>ピンに短絡させる必要があります。

**I<sub>SENSE+</sub> (ピン3)** : 電流検出コンパレータの入力。電流コンパレータへの(+)入力は通常、DCR検出ネットワークまたは電流検出抵抗に接続されます。

**I<sub>SENSE-</sub> (ピン4)** : 電流検出コンパレータの入力。(-)入力は出力に接続します。

**SYNC (ピン5)** : 外部クロック同期入力およびオープンドレイン出力ピン。このピンに外部クロックを入力すると、スイッチング周波数がこの外部クロックに同期します。クロック・マスタ・モードをイネーブルしている場合、このピンはスイッチング周波数で振動する幅500nsのパルスによってグラウンドに引き下げられます。アプリケーション回路には3.3Vに引き上げるプルアップ抵抗が必要です。

**SCL (ピン6)** : シリアル・バスのクロック入力。アプリケーション回路には3.3Vに引き上げるプルアップ抵抗が必要です。

**SDA (ピン7)** : シリアル・バスのデータ入力および出力。アプリケーション回路には3.3Vに引き上げるプルアップ抵抗が必要です。

**ALERT (ピン8)** : オープンドレインのデジタル出力。このピンにはSMBALERT信号を接続します。

**GPIO (ピン9)** : デジタル・プログラム可能な汎用入力および出力。オープンドレインの出力です。

**PGOOD (ピン10)** : デジタル・パワーグッド・インジケータ。オープンドレインの出力です。

**RUN (ピン11)** : 動作をイネーブルする入力。このピンをロジック“H”にすると、コントローラがイネーブルされます。アプリケーション回路内で3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。オープンドレインのデジタル出力によって駆動してください。

**DNC (ピン12、16)** : このピンには何も接続しないでください。

**ASEL (ピン13)** : シリアル・バスのアドレス構成入力。シリアル・バス・インタフェース・アドレスの下位4ビットを選択するために、チップのV<sub>DD25</sub>、ASEL、GND間に±1%の抵抗分割器を接続してください。同一基板上に複数のLTC3883を実装する場合は、ユーザが各ICを独立してプログラムできるように、ASELに抵抗分割器を接続する必要があります。このピンを開放のままにすると、ICはNVMにプログラムされた値を使用します。ピンを開放のままにする場合は、ピンの状態を正確に検出できるように、容量を最小限に抑えてください。

## ピン機能

**FREQ\_CFG (ピン14)** : 周波数または位相の設定/選択ピン。スイッチング周波数または位相を選択するために、チップのV<sub>DD25</sub>、FREQ\_CFG、GND間に±1%の抵抗分割器を接続してください。このピンを開放のままにすると、ICはNVMにプログラムされた値を使用します。ピンを開放のままにする場合は、ピンの状態を正確に検出できるように、容量を最小限に抑えてください。

**V<sub>OUT\_CFG</sub> (ピン15)** : 出力電圧選択ピン。出力電圧を選択するために、チップのV<sub>DD25</sub>、V<sub>OUT\_CFG</sub>、SGND間に±1%の抵抗分割器を接続してください。この電圧は、V<sub>TRIM\_CFG</sub>ピンによって調整できます。このピンを開放のままにすると、ICはNVMにプログラムされた値を使用します。ピンを開放のままにする場合は、ピンの状態を正確に検出できるように、容量を最小限に抑えてください。

**V<sub>TRIM\_CFG</sub> (ピン17)** : 電圧トリム選択ピン。出力電圧のセットポイントを調整するために、チップのV<sub>DD25</sub>、V<sub>TRIM\_CFG</sub>とSGND間に±1%の抵抗分割器を接続してください。V<sub>TRIM\_CFG</sub>とV<sub>OUT\_CFG</sub>の設定の組み合わせによって、電圧セットポイントを調整します。このピンを開放のままにすると、ICはV<sub>OUT\_CFG</sub>の設定を変更しないか、NVMの値を使用します。ピンを開放のままにする場合は、ピンの状態を正確に検出できるように、容量を最小限に抑えてください。

**V<sub>DD25</sub> (ピン18)** : 内部発生 of 2.5V 電源出力。低ESRの1μFコンデンサによってGNDにバイパスしてください。このピンには外部電流負荷を接続しないでください。

**WP (ピン19)** : アクティブ“H”の書き込み保護ピン。内部の10μA電流源によってV<sub>DD33</sub>に引き上げられています。WPが“H”の場合、PMBus書き込みが制限されます。

**SHARE\_CLK (ピン20)** : 共有クロック、双方向オープンドレインのクロック共有ピン。公称100kHzです。複数のLTC3883間でタイミングを同期させるために使用します。すべてのSHARE\_CLKピンを相互に接続します。すべてのLTC3883が、最速のクロックに同期します。V<sub>DD33</sub>への5.49kの等価プルアップ抵抗が必要です。

**V<sub>DD33</sub> (ピン21)** : 内部発生 of 3.3V 電源出力。低ESRの1μFコンデンサによってGNDにバイパスしてください。このピンには外部電流負荷を接続しないでください。

**SW (ピン22)** : インダクタへのスイッチ・ノードの接続点。このピンの電圧振幅は、グラウンドより(外付け)ショットキ・ダイオードの電圧降下分だけ低い電圧からV<sub>IN</sub>までです。

**TG (ピン23)** : 上側ゲート・ドライバの出力。このピンは、スイッチ・ノード電圧にINTV<sub>CC</sub>を重畳した電圧に等しい電圧振幅を持つフローティング・ドライバ出力です。

**BOOST (ピン24)** : 昇圧されたフローティング・ドライバ電源。ブートストラップ・コンデンサの(+)端子をこのピンに接続します。このピンは、INTV<sub>CC</sub>よりダイオードの電圧降下分だけ低い電圧からV<sub>IN</sub>+INTV<sub>CC</sub>まで振幅します。

**PGND (ピン25)** : 電源グラウンド・ピン。このピンは、下側NチャネルMOSFETのソース、C<sub>INTVCC</sub>の(-)端子、およびC<sub>IN</sub>の(-)端子に、できるだけ近づけて接続します。

**BG (ピン26)** : 下側ゲート・ドライバの出力。このピンは、下側のNチャネルMOSFETのゲートをPGNDとINTV<sub>CC</sub>の間で駆動します。

**INTV<sub>CC</sub> (ピン27、LTC3883)** : 内部レギュレータの5V出力。制御回路には、この電圧源から給電されます。4.7μF以上の低ESRタンタル・コンデンサまたはセラミック・コンデンサによってPGNDにデカップリングしてください。

**EXTV<sub>CC</sub> (ピン27、LTC3883-1)** : 外部レギュレータの5V入力。制御回路には、この電圧源から給電されます。最小4.7μFの低ESRタンタル・コンデンサまたはセラミック・コンデンサを使って、このピンをPGNDにデカップリングします。

**V<sub>IN</sub> (ピン28)** : 主入力電源。0.1μF～1μFのコンデンサによってPGNDにデカップリングしてください。メインの入力電源が5Vのアプリケーションでは、V<sub>IN</sub>ピンとINTV<sub>CC</sub>ピンを相互に接続してください。入力電流検出アンプを使用しない場合は、このピンをV<sub>IN\_SNS</sub>ピンとI<sub>IN\_SNS</sub>ピンに短絡させる必要があります。

**I<sub>TH</sub> (ピン29)** : 電流制御しきい値およびエラー・アンプの補償ノード。電流コンパレータがトリップするしきい値は、I<sub>TH</sub>電圧とともに上昇します。

**V<sub>SENSE+</sub> (ピン30)** : 電圧検出の正側入力。

**V<sub>SENSE-</sub> (ピン31)** : 電圧検出の負側入力。

**TSNS (ピン32)** : 外部ダイオードによる温度検出ピン。ダイオード接続したPNPトランジスタのアノードにこのピンを接続し、カソードをGNDに接続することで、離れた場所の温度を検出できます。温度検出用素子を外付けしない場合は、このピンをグラウンドに短絡し、UT\_FAULT\_LIMITを-275°C、UT\_FAULT\_RESPONSEを無視、IOUT\_CAL\_GAIN\_TCを0に設定します。

**GND (露出パッド・ピン33)** : グラウンド。すべての小信号用および補償用の部品はこのグラウンドに接続し、このグラウンド自体はPGNDに一点接続します。

# LTC3883/LTC3883-1

## ブロック図

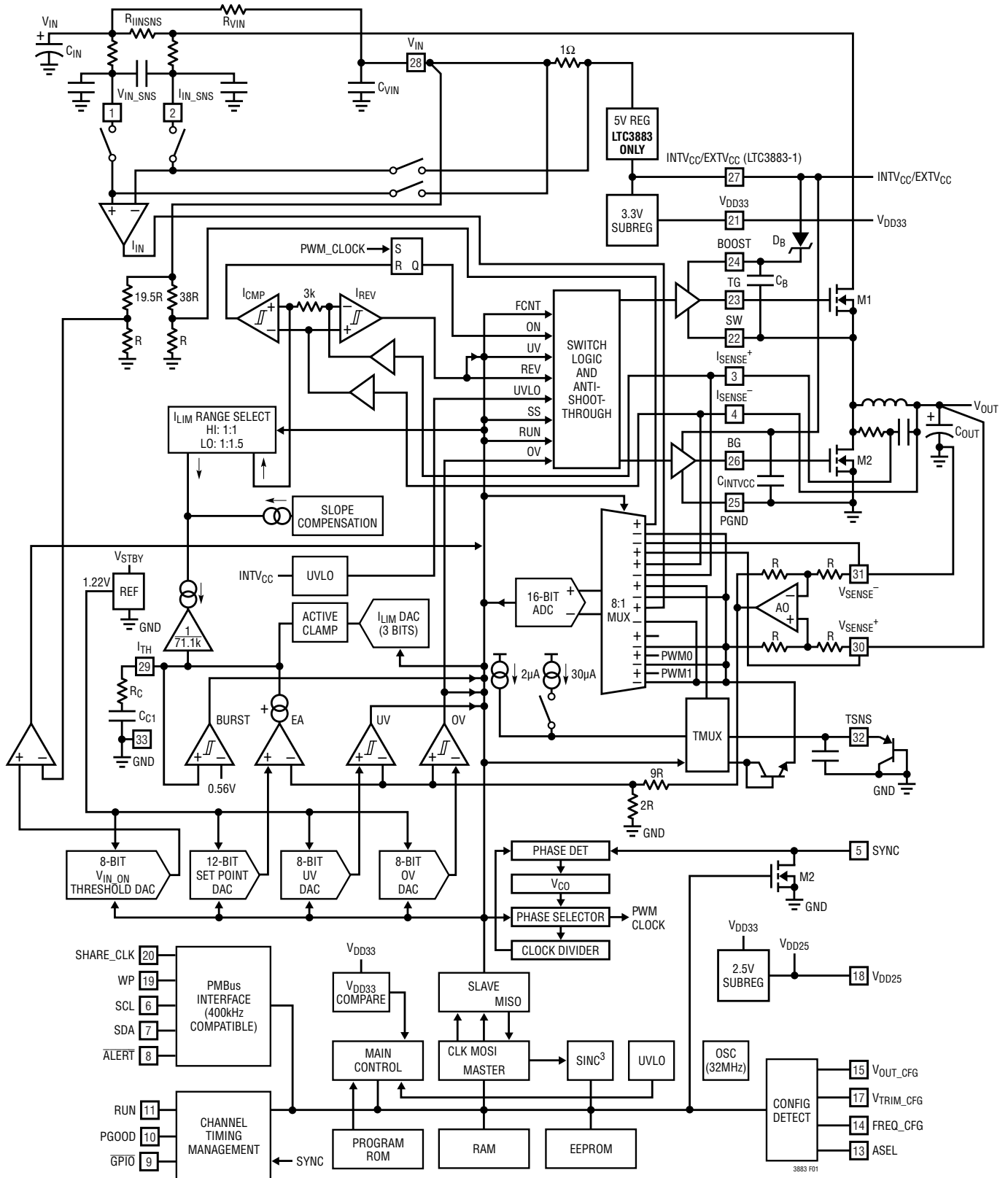


図1. ブロック図

3883fa

## 動作

### 概要

LTC3883はデジタル・インタフェースを備えた、DC/DC降圧アプリケーション向けの、固定周波数、アナログ電流モードのコントローラです。LTC3883のデジタル・インタフェースは、最大バス周波数400kHzをサポートするPMBusと互換性があります。代表的な応用回路がこのデータシートの最初のページに示されています。主な特長は次のとおりです。

- プログラム可能な出力電圧
- プログラム可能な入力電圧コンパレータ
- プログラム可能な電流制限
- プログラム可能なスイッチング周波数
- プログラム可能なOV (過電圧)およびUV (低電圧)コンパレータ
- プログラム可能なオン/オフ遅延時間
- プログラム可能な出力立ち上がり/立ち下がり時間
- 同期、PolyPhase動作(2、3、4、6位相)のためのフェーズロック・ループ
- 入力および出力の電圧/電流、温度、デューティ・サイクルのテレメトリ
- 完全差動型の負荷検出
- 内蔵ゲート・ドライバ
- 不揮発性構成メモリ
- 重要な動作パラメータを格納するオプションの外付け構成設定抵抗
- 複数のコントローラ間で同期を取るためのオプションのタイムベース・インターコネクト
- フォルト・ログ
- 内部構成を保護するWPピン
- ユーザ向け工場出荷時構成済み製品のスタンドアロン動作
- PMBus準拠の400kHzインタフェース

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

- コントローラの内部温度
- オプションのダイオード検出素子を用いた外部システム温度
- 平均出力電流

- 平均PWMデューティ・サイクル
- 平均出力電圧
- 平均入力電圧
- 平均入力電流
- 個々のフォルトおよび警告をラッチ/ラッチ解除によって示す構成可能なステータス表示

フォルトの報告やシャットダウン動作は、いずれもGPIO出力(GPIO)によって設定できます。また、ALERT専用ピンを備えています。シャットダウン動作は、すべてのフォルトの個別マスクにも対応し、ラッチ解除モード(ヒカップ)またはラッチ・モードのいずれでも使用できます。

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

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

### メイン制御ループ

LTC3883は、ユーザ定義の相対位相設定によって動作する、固定周波数の電流モード降圧コントローラです。通常動作時は、あるチャンネルのクロックがRSラッチをセットすると、そのチャンネルの上側MOSFETがオンし、メイン電流コンパレータ $I_{CMP}$ がRSラッチをリセットするとオフします。 $I_{CMP}$ がRSラッチをリセットするときのピーク・インダクタ電流は、エラー・アンプ(EA)の出力である $I_{TH}$ ピンの電圧によって制御されます。EAの負側端子の電圧は、 $V_{SENSE}$ 電圧を5.5で割った値に等しくなります(レンジ=1の場合は2.75)。EAの正側端子は、0V~1.024Vの値を取る12ビットDACの出力に接続されています。出力電圧は、EAの帰還によってDAC出力の5.5倍(レンジ=1の場合は2.75倍)に安定化されます。ユーザが必要とする出力電圧を合成するために、製品はDACの値を計算します。出力電圧は、表12と13に詳細を示す抵抗構成設定ピン、または $V_{OUT}$ コマンド(NVMまたはPMBusコマンドのいずれかによる)を使ってユーザがプログラムします。詳細は、本

## 動作

データシートのPMBusコマンドのセクション、またはPMBusの仕様を参照してください。ユーザはPMBusのVOUT\_COMMANDによって、いつでも出力電圧を変更できます。このコマンドのレイテンシは、通常10ms未満です。LTC3883のプログラム方法を修得するには、PMBus電源システム管理プロトコルの仕様を参照することを推奨します。この仕様は、<http://www.pmbus.org/specs.html>に掲載されています。

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

## EEPROM

LTC3883は、構成設定とフォルト・ログの情報を格納するEEPROM（不揮発性メモリ）を内蔵しています。EEPROMの書き込み耐性、保持特性、一括書き込みの動作時間は、電気的特性および絶対最大定格のセクションに規定されています。書き込み動作はT<sub>J</sub> = 85°Cを超える温度、または0°Cを下回る温度でも可能ですが、電気的特性は保証外であり、EEPROMは劣化します。85°C～125°Cでの読み出し動作によってEEPROMが劣化することはありません。85°Cを超える温度でEEPROMに書き込むと、保持特性が劣化します。高温で発生しがちなシステム障害のデバッグに役立つフォルト・ログ機能は、EEPROMのフォルト・ログ用アドレスだけに書き込みを実行します。これらのレジスタへの不規則な書き込みが85°Cより高い温度で実行されると、フォルト・ログのデータ保持特性がわずかに劣化するものの、フォルト・ログ機能の有効性が損なわれることはありません。

ダイ温度が85°Cを超えた状態ではEEPROMへの書き込みを避けることを推奨します。ダイ温度が130°Cを超えると、LTC3883がすべてのEEPROM書き込み動作をディスエーブルします。ダイ温度が125°Cを下回ると、すべての書き込み動

作が再度イネーブルされます（ダイ温度が内部過熱フォルトの制限を超えた場合もコントローラは書き込み動作を無効にします）。

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

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

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> = 125°Cの規定接合部温度

T<sub>STRESS</sub> = 実際の接合部温度 (°C)

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

T<sub>STRESS</sub> = 130°C

T<sub>USE</sub> = 125°C

AF = e<sup>[(1.4/8.617 · 10<sup>-5</sup>) · (1/398 - 1/403)]</sup> = 1.66

125°Cでの等価動作時間は16.6時間になります。

したがって、EEPROMの全保持時間は、130°Cの接合部温度で10時間動作させると、16.6時間だけ劣化しました。ただし、EEPROMの125°Cの最大接合部温度での87,600時間の定格全保持時間に比べると、オーバーストレスの影響は無視できます。

## 電源投入と初期化

LTC3883は、スタンドアロンの電源シーケンシングと制御されたターンオンおよびターンオフ動作を実行できるように設計されています。単一入力電源(4.5V～24V)によって動作し、3つの内蔵リニア・レギュレータが2.5V、3.3V、5Vの内部電圧を生成します。V<sub>IN</sub>が6Vを下回る場合、INTV<sub>CC</sub>とV<sub>IN</sub>ピンを相互に接続する必要があります。コントローラの構成は内部しきい値に基づくUVLOによって初期化されます。その条件は、V<sub>IN</sub>として約4Vが印加され、5V、3.3V、2.5Vのリニア・レギュレータがレギュレーション値の約20%以内にあることです。



## 動作

LTC3883-1は、5Vの内部リニア・レギュレータを搭載していません。回路の効率を向上し、LTC3883の消費電力を最小化するには、EXTV<sub>CC</sub>ピンを外部レギュレータによって駆動します。その場合、内部UVLOのしきい値を超える前に、EXTV<sub>CC</sub>ピンに約4Vを超える電圧が印加されていなければなりません。アプリケーションの消費電力を最小限に抑えるために、EXTV<sub>CC</sub>ピンにはスイッチング・レギュレータを使って給電できます。

初期化中は、外付けの構成設定抵抗を識別するとともに、NVMの内容をコントローラのコマンドに読み出します。BG、TG、RUNピンは“L”に保持されます。GPIOピンは高インピーダンス(Hi-Z)モードになります。LTC3883は、表12~15の内容に基づいて、抵抗で規定されるパラメータを判断します。詳細は、「抵抗構成設定」のセクションを参照してください。抵抗構成ピンが制御するのは、コントローラのプリセット値の一部のみです。その他の値は、工場出荷時またはユーザによってNVMにプログラムされます。

構成設定抵抗が挿入されていない場合、またはRCONFIG無視ビット(構成コマンドMFR\_CONFIG\_ALL\_LTC3883のビット6)がアサートされている場合、LTC3883はNVMの内容だけに基づいて、DC/DC特性を決定します。電源投入時またはリセット時に読み出されるASELの値は、このピンが開放でない限り常に優先されます。ASELはNVMからのMSBと、検出されたしきい値からのLSBを使用します。詳細は、「アプリケーション情報」のセクションを参照してください。

デバイス初期化の完了後、別のコンパレータがV<sub>IN</sub>をモニタします。出力電源シーケンシングが開始されるには、VIN\_ONのしきい値を超える必要があります。V<sub>IN</sub>が最初に印加された後、TON\_DELAYタイマを初期化して始動するのに、デバイスは通常130msを必要とします。電圧と電流の読み出しにはさらに120msを要することがあります。

### ソフトスタート

ソフトスタートする前に、デバイスは実行状態に移行してなければなりません。LTC3883は、初期化が完了し、V<sub>IN</sub>がVIN\_ONしきい値を超えると、RUNピンを解放します。アプリケーションが複数のLTC3883を使用する場合、各デバイスは、いずれも初期化が完了して自身のV<sub>IN</sub>がVIN\_ONしきい値を超えるまで、それぞれのRUNピンを“L”に保持します。SHARE\_CLKピンは、この信号を接続されたデバイスが、すべて同じタイムベースを使用することを保証します。SHARE\_

CLKピンは、V<sub>IN</sub>の印加後、デバイスが初期化されるまで“L”に保持されます。SHARE\_CLKが“L”の場合にターンオフするように(またはオフ状態を保つように)、LTC3883を設定できます(MFR\_CHAN\_CONFIG\_LTC3883のビット2を1に設定します)。この機能により、基板の制約でRUNピンを相互接続できない場合でも、多数のLTC IC間で確実に同期を取ることができます。一般に、ユーザがチップ間の同期を重視する場合は、対応するすべてのRUNピンどうし、および対応するすべてのSHARE\_CLKピンどうしを相互に接続し、10kの抵抗でV<sub>DD33</sub>にプルアップすることを推奨します。これによって、すべてのチップが同時にシーケンシングを開始し、同じタイムベースで動作することを保証できます。

RUNピンの解放から一定の出力電圧レギュレーション状態に移行するまで、LTC3883は単調な初期ランプ動作「ソフトスタート」を実行します。ソフトスタートは、負荷電圧をアクティブに安定化しながら、目標電圧を0Vから指示した電圧のセットポイントまでデジタルにランプ・アップさせることで実現します。LTC3883はオンするように指示されると(電源投入と初期化の完了後)、コントローラはユーザが指定するターンオン遅延(TON\_DELAY)を待ってから、出力電圧のランプを開始します。電圧ランプの立ち上がり時間はTON\_RISEコマンドによってプログラムできるため、起動時の電圧ランプに伴う突入電流を最小限に抑えることができます。ソフトスタート機能は、TON\_RISEの値を0.25ms未満の任意の値に設定することでディスエーブルできます。TON\_RISE動作中、LTC3883のPWMは常に不連続モードを使用します。不連続モードでは、インダクタで逆電流が検出されると、直ちに下側ゲートがオフされます。この動作により、レギュレータはプリバイアスされた負荷でも起動できるようになります。TON\_MAX\_FAULT\_LIMITの時間が経過すると、デバイスは連続モードまたはバーストに移行します(そのようにプログラムされている場合)。TON\_MAX\_FAULT\_LIMITがゼロに設定されている場合、時間の制限はなくなり、デバイスはTON\_RISEが経過し、V<sub>OUT</sub>がV<sub>OUT\_UV\_FAULT\_LIMIT</sub>を超えた時点で、IOUT\_OCが存在しなければ、目標とする導通モードに移行します。TON\_MAX\_FAULT\_LIMITの値を0に設定することは推奨しません。ここで説明した起動シーケンシングの方法は時間ベースです。

### シーケンシング

出力をオン/オフするシーケンシングのデフォルト・モードは時間ベースです。出力は、RUNピンが“H”へ遷移するか、PMBus

## 動作

コマンドによりオンされるか、または  $V_{IN}$  ピン電圧があらかじめプログラムされた電圧を超過するのに続き、TON\_DELAY の時間が経過した後にイネーブルされます。オフ・シーケンシングも同様に処理されます。適切なシーケンシングを保証するために、すべてのICのSHARE\_CLKピンが相互接続され、RUNピンが相互接続されていることを確認します。何らかの理由でRUNピンを相互接続できない場合は、MFR\_CHAN\_CONFIG\_LTC3883のビット2を1に設定します。このビットをセットした場合、電源出力を起動する前に、SHARE\_CLKピンをクロック駆動しておく必要があります。RUNピンが“L”に引き下げられると、MFR\_RESTART\_DELAYの間、LTC3883がこのピンを“L”に保持します。MFR\_RESTART\_DELAYの最小値は、TOFF\_DELAY + TOFF\_FALL + 136msです。この遅延は、あらゆる電源レールに対する適切なシーケンシングを保証します。LTC3883は、内部でのこの遅延を計算し、これより短い遅延は処理しません。しかし、MFR\_RESTART\_DELAYコマンドによる、より長い遅延は適用されます。許容される最大値は65.52秒です。

## 電圧ベースのシーケンシング

UVしきい値を超えた時点で、 $\overline{\text{GPIO}}$ ピンをアサートできます。1つのLTC3883の $\overline{\text{GPIO}}$ ピン出力を、シーケンス内の次のLTC3883のRUNピンに供給できます。電圧ベースのシーケンシングに $\overline{\text{GPIO}}$ ピンを使用するには、MFR\_GPIO\_PROPAGATE\_LTC3883コマンドのビット12を1に設定します。ビット12は、デグリッチされたVOUT\_UVコンパレータである、VOUT\_UVUFです。デグリッチされたVOUT\_UVフォルト・リミットの使用を推奨します。コンパレータがUVしきい値を超えてから $\overline{\text{GPIO}}$ ピンが解放されるまでに感知できるほどの遅延はほとんどないからです。この方式は、複数のLTC3883にまたがって実装できます。VOUT\_UVUFには最小250 $\mu\text{s}$ のパ

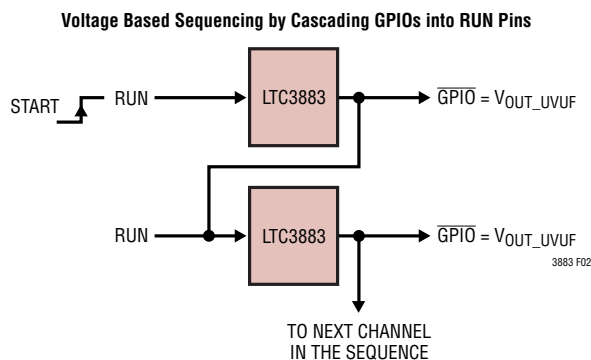


図2. イベント(電圧)ベースのシーケンシング

ルス幅フィルタが適用されます。GPIO\_FAULT\_RESPONSEコマンドを「無視」に設定していない場合、デバイスはラッチ・オフされ、起動できなくなります。VOUT電圧がUVしきい値の前後を長期間にわたり行き来すると、 $\overline{\text{GPIO}}$ 出力が複数回トグルする可能性があります。この問題を最小限に抑えるには、TON\_RISE時間を100ms未満に設定します。電源レールのストリング内でフォルトが検出された場合、そのフォルトの生じた電源レールおよびそれより下流の電源レールのみがオフします。デバイス・ストリング内の、フォルトが発生した電源レールより前の電源レールは、コマンドによってオフされない限り、オン状態を保ちます。

## シャットダウン

LTC3883には、2つのシャットダウン・モードがあります。第1のモードは、ユーザ定義のターンオフ遅延(TOFF\_DELAY)とランプ・ダウン・レート(TOFF\_FALL)による閉ループ・シャットダウン応答です。コントローラはTOFF\_FALLの期間、動作モードを維持します。不連続導通モードの場合、コントローラは負荷からの電流を流さないため、立ち下がり時間は出力容量と負荷電流によって決まります。

もう1つのシャットダウン・モードは、フォルト状態が発生したか、SHARE\_CLKを喪失したか(MFR\_CHAN\_CONFIG\_LTC3883のビット2が1に設定されている場合)、VINがVIN\_OFFしきい値を下回るか、または $\overline{\text{GPIO}}$ が外部から“L”に引き下げられた場合(MFR\_GPIO\_RESPONSEが禁止に設定されている場合)に、それに対する応答として生じます。これらの条件下では、負荷へのエネルギー伝達をできるだけ迅速に停止するために、電力段がデ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またはアクティブなレギュレーション状態から移行できます。いずれの場合も、ユーザの介入を通じて(RUNのデアサートまたはPMBusのOPERATIONコマンド)、あるいは検出されたフォルト、双方向 $\overline{\text{GPIO}}$ を介した外部フォルト、SHARE\_CLKの喪失(MFR\_CHAN\_CONFIG\_LTC3883のビット2が1に設定されている場合)、またはVINのVIN\_OFFしきい値未満への低下に応答して移行されます。

ヒックアップ・モードの場合、コントローラはフォルトに対して、シャットダウン動作と、プログラム可能な遅延(MFR\_RETRY\_DELAY)の期間、非アクティブ状態に移行することで応答します。この遅延により、出力が無効化されることでシャットダウンの原因となったフォルトが解消された場合に、自動リトライに伴うデューティ・サイクルを最小限に抑えることができます。リトライの遅延時間は、MFR\_RETRY\_DELAYコマンドまたは安定化出力がプログラム値の12.5%未満に減衰するまでに要

## 動作

する時間の、いずれか長い方で決まります。複数の出力を同じGPIOピンによって制御している場合、フォルトが発生した出力の減衰時間がリトライ遅延を決定します。出力が自然に減衰するまでの時間が長すぎる場合、MFR\_CHAN\_CONFIG\_LTC3883のビット0をアサートすることでMFR\_RETRY\_DELAYコマンドの電圧要件を解除できます。あるいは、コントローラがフォルト後にラッチ・オフされたまま留まり、クリアするにはRUNピンをトグルしたり、デバイスをコマンドによりオフしてから再度オンしたりするなどユーザの介入が必要になるように、コントローラを設定することもできます。

## 軽負荷電流動作

LTC3883には、高効率Burst Mode動作、不連続導通モード、強制連続導通モードを含む3つの動作モードがあります。これらのモードはMFR\_PWM\_MODE\_LTC3883コマンドによって選択します(起動時のモードは常に不連続導通モード、デフォルトの動作モードは強制連続モードです)。

Burst Mode動作では、 $I_{TH}$ ピンの電圧が低い値を示していても、インダクタのピーク電流は最大検出電圧の約1/3に設定されます。平均インダクタ電流が負荷電流より大きい場合、エラー・アンプ(EA)は $I_{TH}$ ピンの電圧を低下させます。 $I_{TH}$ 電圧が約0.5Vを下回ると、内部Burst Mode動作がアサートし、両方の外付けMOSFETがオフします。Burst Mode動作では、負荷電流が出力コンデンサによって供給されます。出力電圧が低下するにつれて、EAの出力は上昇しはじめます。出力電圧が十分に低下すると、Burst Mode動作がデアサートされ、コントローラは、次のPWMサイクルで上側の外付けMOSFETをオンすることにより、通常の動作を再開します。

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

成されるため、検出に最大120msを要する場合があります。入力電源の昇圧が懸念される場合は、デバイスの動作を不連続導通モードまたはBurst Modeに保ってください。

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

## スイッチング周波数と位相

LTC3883コントローラのスイッチング周波数は、内部のクロック基準または外部のタイムベースに基づいて決定できます。LTC3883は、NVMにプログラムされた値、またはPMBusコマンドを通じて、あるいはFREQ\_CFGピンのRBOTTOM抵抗を $0\Omega$ に設定しR<sub>TOP</sub>を開放することで、外部クロック入力に対応した構成にすることができます。PMBusコマンドFREQUENCY\_SWITCHを外付クロックに設定します。MFR\_PWM\_CONFIG\_LTC3883コマンドが相対位相を決定します。RCONFIG入力によって、SYNCの立ち上がりエッジに対する相対位相を設定できます。マスタはスレーブと位相がずれるように選択してください。FREQUENCYおよびMFR\_PWM\_CONFIG\_LTC3883コマンドをLTC3883に書き込む前に、RUNピンを“L”にしておく必要があります。PolyPhase電源レール内では、全デバイスの相対位相を適切に設定してください。各電源レール間の相対位相は $360/n$ です。nは電源レール内の位相数です。

LTC3883をSYNCの発振器出力として構成した場合、スイッチング周波数のソースは外付けの構成設定抵抗またはシリアル・バス・プログラミングのいずれかによって選択できます。FREQUENCY\_SWITCHとMFR\_PWM\_CONFIG\_LTC3883の値は、表14に従い、FREQ\_CFG構成設定抵抗ピンによって選択できます。あるいは、PMBusコマンドのFREQUENCY\_SWITCHおよびMFR\_PWM\_CONFIG\_LTC3883を使って、PWMのスイッチング周波数とPWMチャンネル間の位相関係を選択することも可能です。位相と周波数の関係は互いに完全に独立しているため、アプリケーションにおけるユーザの選択肢の幅が広がります。LTC3883を、プログラムされたFREQUENCY\_SWITCHコマンド値に基づいてSYNCピンを駆動するように構成した場合、SYNCピンは、必要なクロック・レートで500nsのLowパルスによって“L”に引き下げられます。アプリケーションでは、SYNCの容量が最低限に抑え、コンデンサ負荷に対するプルアップ抵抗の時定数がアプリケーションにとって十分小さいことを確認する必要があります。さらに、LTC3883は、SYNCピンに接続された外部クロック・ソースに

## 動作

内部発振器を同期させる、フェーズロック・ループ(PLL)も搭載しています。すべての位相の関係性は、SYNCの立ち下がりエッジと、LTC3883のTG出力の立ち上がりエッジの間で決まります。PolyPhaseアレイを実現するために、複数のLTC3883を同期させることができます。

## 出力電圧検出

差動アンプによって、離れた場所にある負荷の電圧をV<sub>SENSE<sub>n</sub></sub>ピンによって差動検出できます。テレメトリADCは完全差動型であり、V<sub>SENSE<sub>n</sub></sub>ピンの出力電圧を測定します。

## 出力電流検出

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

RC時定数は、温度の関数として一定値を保ちます。これによって、回路のトランジエント応答も温度に関わらず一定になります。インダクタのDCRは、約3900ppm/°Cという、大きな温度係数を持ちます。インダクタの温度係数をMFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TCコマンドに書き込む必要があります。外部温度は、インダクタの近くで検出され、温度に対して実質的に一定の電流制限値が得られるように内部の電流制限回路を変更するために使用されます。このアプリケーションでは、I<sub>SENSE<sup>+</sup></sub>ピンをコンデンサのFET側、I<sub>SENSE<sup>-</sup></sub>ピンをコンデンサの負荷側に接続します。この場合、入力で検出される電流は式V<sub>DCR</sub>/DCRで与えられます。V<sub>DCR</sub>はLTC3883のテレメトリADCによってデジタル化されます。このADCは、入力範囲

が±128mV、ノイズ・フロアが7μV<sub>RMS</sub>、ピーク・トゥ・ピーク・ノイズが約46.5μVです。LTC3883は、IOUT\_CAL\_GAINコマンドに格納されたDCR値と、MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TCコマンドに格納された温度係数に基づいて、インダクタ電流を計算します。計算で得られた電流値は、READ\_IOUTコマンドによって返されます。

## 自動較正

LTC3883は、特許出願中の自動較正ルーチンによって、DCR電流検出アプリケーションに必要な、実際のDC抵抗値を測定できます。この測定値がREAD\_IOUT測定に使用されるため、ユーザはインダクタの実際の抵抗を調べる必要がありません。詳細は、「アプリケーション情報」の「インダクタのDCR較正」の項を参照してください。

## 正確なDCR温度補償

LTC3883は特許出願中のアルゴリズムを用いて、外部の温度センサからインダクタのコアの温度上昇をダイナミックにモデリングします。詳細は、「アプリケーション情報」の「正確なDCR温度補償」の項を参照してください。

## 入力電流検出

LTC3883と電力段が消費する全入力電流を検出するために、電源電圧と上側NチャネルMOSFETのドレイン間に抵抗が挿入されています。V<sub>IN\_SNS</sub>とI<sub>IN\_SNS</sub>ピンを、100Ωのフィルタ抵抗を介して、検出抵抗に接続します。いずれのピンもGNDにデカップリングする必要があります。また、V<sub>IN\_SNS</sub>とI<sub>IN\_SNS</sub>ピンの間にフィルタ・コンデンサを接続する必要があります。詳細は、図25の「低ノイズの入力電流検出回路」を参照してください。フィルタされた電圧は内部の上側電流検出アンプによって増幅され、LTC3883のテレメトリADCによってデジタル化されます。入力電流検出アンプでは2x、4x、8xの3つの利得設定を使用でき、これらはMFR\_PWM\_MODEコマンドの

## 動作

ビット [5:4] によって設定します。これら3つの利得設定に対する最大入力検出電圧は、それぞれ50mV、20mV、8mVです。LTC3883は、IIN\_CAL\_GAIN コマンドに格納されたRの値に基づいて入力電流を計算します。得られた電力段電流の測定値は、READ\_IIN コマンドによって返されます。

MFR\_READ\_IIN\_CHAN コマンドは、READ\_IOUT の値に READ\_DUTY\_CYCLE の値を掛けることで求められる、電力段電流の計算値を返します。

LTC3883は自身が消費する  $V_{IN}$  ピン電源電流を測定するために、 $1\Omega$  の内部検出抵抗を使用します。この値は、MFR\_READ\_ICHIP コマンドによって返されます。詳細は、「アプリケーション情報」の「入力電流検出アンプ」の項を参照してください。

## 負荷シェアリング

複数の LTC3883 をアレイ配置し、必要なピンをバス接続することで、バランスの取れた負荷シェアリング・ソリューションを構成できます。図3に負荷シェアリングに必要な、共有接続の方法を示します。

周波数は、1つの LTC3883 だけにプログラムしてください。残りの LTC3883 は、外部クロックを使用するようにプログラムします。

## 外部/内部温度検出

外部温度は、ダイオード接続したPNPトランジスタ (MMBT3906 など) をチップから離れた場所に配置することで、最も確実に測定できます。PNPトランジスタのエミッタ端子は TSNS ピンに接続し、ベースとコレクタ端子は LTC3883 の GND ピンに戻します。可能ならばスター接続を使用します。PNPトランジスタのコレクタを下側 MOSFET のソースに接続することも可能です。これによって、PNPトランジスタをパワーFETのより近くに配置でき、基板レイアウトを最適化できます。この場合も、PNPトランジスタのベースはグランドに接続する必要があります。ノイズ耐性を最大限に高めるには、これらの接続を差動配線し、ダイオード接続したPNPトランジスタと並列に  $10\text{nF}$  のコンデンサを配置してください。ダイオードに、2つの異なる電流 (公称  $2\mu\text{A}$  と  $32\mu\text{A}$ ) を印加し、 $\Delta V_{BE}$  の測定から温度を計算します。外付けトランジスタの温度はテレメトリ

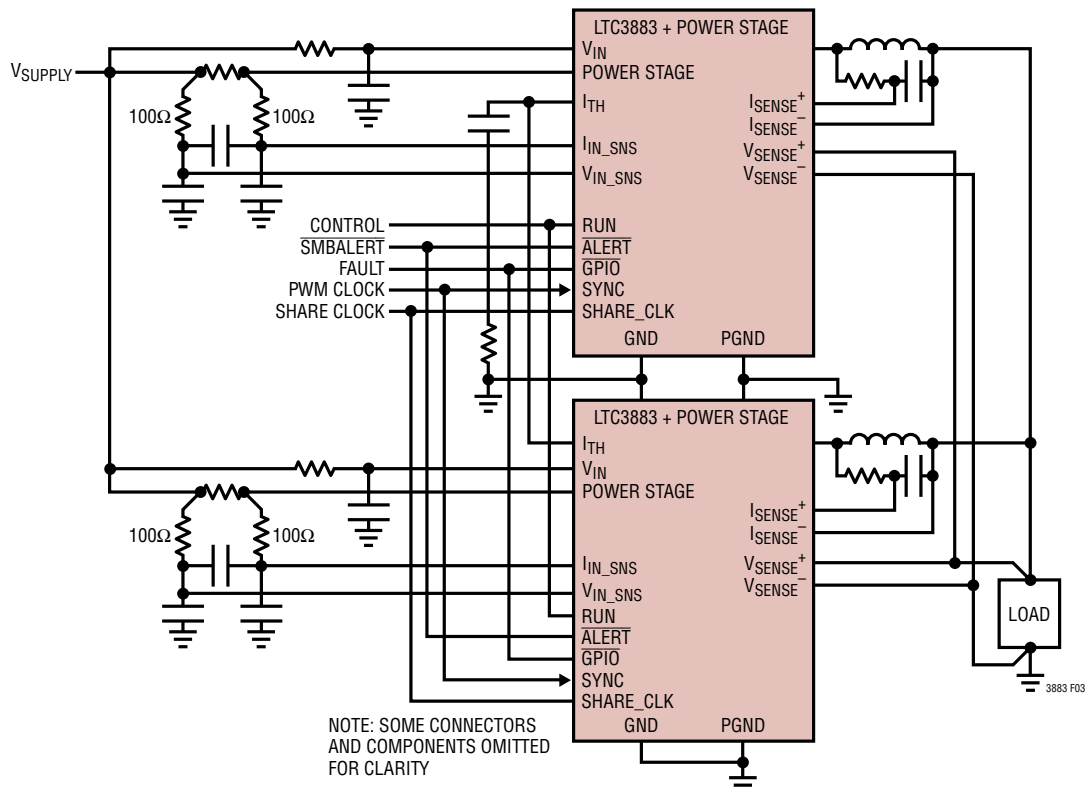


図3.2 位相動作の負荷シェアリング接続

## 動作

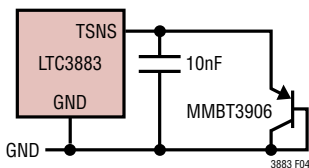


図4. 温度検出回路

ADCによってデジタル化され、PMBusコマンドのREAD\_TEMPERATURE\_1によって返されます。

READ\_TEMPERATURE\_2コマンドは、内蔵ダイオードによってLTC3883の接合部温度を返します。外付け温度センサの温度勾配は、MFR\_TEMP\_1\_GAINに格納された温度勾配係数によって変更できます。一般的なPNPトランジスタでは、1より若干小さい温度勾配の調整が必要です。MMBT3906におけるこのコマンド(MFR\_TEMP\_1\_GAIN)の推奨値は、理想性係数が1.01であることから、およそ0.991になります。MFR\_TEMP\_1\_GAINの値は、単純に理想性係数の逆数から計算できます。理想性係数は、メーカーごと、ロットごとに異なる場合があります。この値を設定する際は、メーカーに問い合わせてください。

外付け温度センサのオフセットは、MFR\_TEMP\_1\_OFFSETによって調整できます。この値を0にすると、温度オフセットは-273.15°Cに設定されます。

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

外付けの温度検出素子を使用しない場合、TSNSピンをGNDに短絡し、UT\_FAULT\_LIMITを-275°Cに、UT\_FAULT\_RESPONSEを「無視」に設定する必要があります。さらに、IOUT\_CAL\_GAIN\_TCの値を0に設定する必要もあります。

## RCONFIG (抵抗構成設定)ピン

FREQ\_CFG、VOUT\_CFG、VTRIM\_CFGピンを使用して、構成EEPROMをプログラミングせずに、重要な動作パラメータを選択できます。これらのピンを外付けの抵抗分割器に接続することで、スイッチング周波数、出力電圧、パワー・マネージメント・スーパバイザの基本パラメータを選択できます。ASELピンは、デバイスの一意的バス・アドレス選択に使用します。デバイス・アドレスを選択するには、このピンを外付けの抵抗分割器に接続します。デバイス・アドレスの選択には、必ず抵抗分割器を使用してください。EEPROMにデバイス・アドレスを設定することも可能ですが、何らかの理由でホストがデバイス・アドレスを失った場合に問題を生じる恐れがあります。デバイス・アドレスの設定にはASELピンを使用する方が安全であり推奨されます。RCONFIGピンをフロート状態にした場合は、対応するNVMコマンドに格納された値が使われます。NVM内のMFR\_CONFIG\_ALL\_LTC3883構成コマンドのビット6がアサートされると、電源投入時に抵抗入力は無視されます。ただし、ASELの値だけは例外であり、常に採用されます。抵抗構成設定ピンが測定されるのは、電源投入リセットまたはMFR\_RESETコマンドの実行後だけです。

VOUT\_CFGおよびVTRIMピンの設定については、表12および13に記載されています。これらのピンは、LTC3883のアナログPWMコントローラの出力電圧を選択します。両方のピンが開放の場合、NVMからVOUT\_COMMANDコマンドが読み込まれ、出力電圧が決まります。

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

- VOUT\_OV\_FAULT\_LIMIT ..... +10%
- VOUT\_OV\_WARN\_LIMIT ..... +7.5%
- VOUT\_MAX ..... +7.5%
- VOUT\_MARGIN\_HIGH ..... +5%
- POWER\_GOOD\_ON ..... -7%
- POWER\_GOOD\_OFF ..... -8%
- VOUT\_MARGIN\_LOW ..... -5%
- VOUT\_UV\_WARN\_LIMIT ..... -6.5%
- VOUT\_UV\_FAULT\_LIMIT ..... -7%

FREQ\_CFGピンの設定は、表14に記載されています。このピンはスイッチング周波数およびPWMチャンネルとSYNCピンの位相関係を選択します。外部クロックに同期するには、

## 動作

デバイスを外部クロック・モードに移行させる必要があります (FREQ\_CFG ピンをグラウンドに短絡)。外部クロックを供給しないと、デバイスは内部 PWM 発振器によって、最小自走周波数で駆動されます。この場合の低いクロック周波数はインダクタのリップル電流を増加させ、好ましくない動作を招く恐れがあります。外部 SYNC 信号が存在しない場合や誤動作している場合、STATUS\_MFR\_SPECIFIC コマンド内に「PLL ロック・ステータス」フォルトが表示されます。電源起動時に有効な同期信号が存在しない場合でも PLL\_FAULT を表示させたくない場合は、MFR\_CONFIG\_ALL\_LTC3883 コマンドのビット 3 をアサートする必要があります。複数の IC の SYNC ピンを相互接続する場合、その中の 1 つだけを発振器として、残りの IC はすべて外部クロック・モードに設定してください。

ASEL ピンの設定は、表 15 に記載されています。このピンは LTC3883 のスレープ・アドレスの下位 4 ビットを選択します。上位 3 ビットは、NVM の MFR\_ADDRESS コマンドから取得します。ピンがフロート状態の場合、NVM の MFR\_ADDRESS コマンドに格納された 7 ビットの値によってスレープ・アドレスを判断します。詳細は表 15a を参照してください。

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

## フォルトの検出と処理

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

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

さらに、LTC3883 ではフォルト・インジケータの任意の組み合わせを GPIO ピンに割り当てることができます。それには、GPIO 応答伝播コマンドの MFR\_GPIO\_PROPAGATE\_LTC3883 を使用します。GPIO ピンの代表的な用途として、外部クローバー・デバイス、過熱アラート、過電圧アラートのドライバや、マイクロコントローラにフォルト・コマンドのポーリングを促す割り込み要因などがあります。あるいは、コントローラの下流で発生し、直ちに応答する必要がある外部フォルトを検出するための入力として GPIO ピンを使用できます。GPIO ピンをパワーグッド出力として構成することも可能です。パワーグッドは、コントローラの出力がパワーグッドしきい値を超えていることを示します。電源投入時の初期状態では、このピンはトライステートです。この構成で電源投入時にピンに所望の極性を設定する必要がある場合は、伝播されるパワーグッド信号の RUN ピンと GPIO ピンの間にショットキ・ダイオードを接続します。カソードを RUN ピンに、アノードを GPIO ピンに接続してください。GPIO ピンをパワーグッド・ステータスに設定する場合、MFR\_GPIO\_RESPONSE を無視する必要があります。このように設定しないと、コントローラがラッチ・オフ状態になる場合があります。

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

すべてのフォルトまたは警告イベントは ALERT ピンを“L”にアサートします。ピンは、CLEAR\_FAULTS コマンドの発行、フォルト・ビットへの 1 書き込み、バイアス電源の遮断/再投入、MFR\_RESET コマンドの発行、RUN ピンのオフ/オン・トグル、PMBus を介したオフ/オン指示のいずれかが実行されるまで、“L”アサートの状態を保ちます。フォルトが検出された場合に GPIO ピンが“L”に引き下げられるかどうかは MFR\_GPIO\_PROPAGATE\_LTC3883 コマンドによって決まります。ただし、ALERT ピンは、フォルトまたは警告が検出されてステータス・ビットが更新されると、必ず“L”に引き下げられます。

出力および入力のフォルト・イベント処理は、表 5～9 に記載された、対応するフォルト応答バイトによって制御されます。これらの各種フォルトからのシャットダウン回復は、自律的なものとラッチされるものがあります。自律的な回復の場合、フォルトはラッチされないため、リトライ・インターバル時間の経過後にフォルト状態が解消されていれば、新たにソフトスタートが試みられます。フォルト状態が解消されていない場合、コントローラはリトライを繰り返します。リトライ・インターバルは

## 動作

MFR\_RETRY\_DELAY コマンドによって指定します。フォルト状態自体は直ちにデバイスを損傷しない場合に、電源サイクルが繰り返されることによるデバイスの損傷を防ぎます。MFR\_RETRY\_DELAY は 120ms より大きくする必要がありますが、83.88 秒を超えてはなりません。

LTC3883 の  $\overline{\text{GPIO}}$  ピンは、LTC3880、LTC2974、LTC2978、LTC4676  $\mu\text{Module}$  をはじめとする他のすべての LTC PMBus 製品とフォルトを共有できます。内部フォルトが発生すると、1つ以上の LTC3883 が、バス接続された  $\overline{\text{GPIO}}$  ピンを“L”に引き下げられるように構成されます。それ以外のデバイスは、 $\overline{\text{GPIO}}$  ピンのバスが“L”に引き下げられるとシャットダウンされるように構成されます。自律的なグループ・リトライでは、フォルトの発生源である LTC3883 はリトライ・インターバルが経過すると、当初のフォルトは解消されたものと見なし、 $\overline{\text{GPIO}}$  ピンのバスを解放するように構成されます。その後、グループ内のすべての LTC3883 がソフトウェア・シーケンスを開始します。フォルト応答が LATCH\_OFF の場合、RUN ピンのオン/オフ・トグル、デバイスへのオフ/オン指示のいずれかが実行されるまで、 $\overline{\text{GPIO}}$  ピンは“L”にアサートされたままになります。ピンまたはオフ/オン指示のいずれかによって RUN をトグルすると、LTC3883 関連のフォルトはクリアされます。いずれかの RUN ピンがトグルされた場合に、すべてのフォルトをクリアする必要がある場合は、MFR\_CONFIG\_ALL\_LTC3883 のビット 0 を 1 に設定します。

すべてのフォルトおよび警告のステータスは、STATUS\_WORD および STATUS\_BYTE コマンド内にまとめて表示されます。

フォルトの検出および処理には、他にも次のような機能があります。

### CRC エラー

NVM メモリの完全性をパワーオン・リセット後に確認できます。CRC エラーは、コントローラが非アクティブ状態から脱することを防ぎます。CRC エラーが発生した場合、STATUS\_BYTE および STATUS\_WORD コマンド内の CML ビットがセットされます。さらに、STATUS\_MFR\_SPECIFIC コマンド内の該当するビットがセットされ、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンが“L”に引き下げられます。NVM の修復は、必要な構成をコントローラに書き込み、STORE\_USER\_ALL コマンドに続いて CLEAR\_FAULTS コマンドを実行することで可能です。

LTC3883 の NVM の製造時セクションには、ミラー・コピーがあります。NVM では、これら 2 つの製造時セクションのいずれか一方の構成データが破壊されている場合、限られた修復機能を使用できます。2 つのセクション間に相違が検出されると、STATUS\_MFR\_SPECIFIC コマンド内に、「NVM CRC フォルト」

が設定されます。CLEAR\_FAULTS を発行してクリアするか、1 を書き込んだ後も、このビットがセットされたままの場合は、修復できない内部フォルトの発生を意味します。これは、フォルトが発生した特定のデバイスに関連する出力電源レールを両方ともディスエーブルすることを促す、ユーザへの注意喚起です。製造時セクションの修復不能 NVM フォルトを、ユーザの手元で修復する方法はありません。

### シリアル・インタフェース

LTC3883 のシリアル・インタフェースは PMBus 準拠のスレーブ・デバイスであり、10kHz ~ 400kHz の間の任意の周波数による動作が可能です。アドレスは、NVM または外付けの抵抗分割器によって構成できます。さらに、LTC3883 はグローバル・ブロードキャスト・アドレスである 0x5A (7 ビット) または 0x5B (7 ビット) には必ず応答します。

シリアル・インタフェースは、PMBus 仕様に規定された、以下のプロトコルをサポートします。1) コマンド送信、2) バイト書き込み、3) ワード書き込み、4) グループ、5) バイト読み出し、6) ワード読み出し、7) ブロック読み出し。すべての読み出し動作は、PMBus マスタが要求している場合、有効な PEC を返します。MFR\_CONFIG\_ALL\_LTC3883 コマンド内の PEC\_REQUIRED ビットがセットされている場合、LTC3883 が有効な PEC を受信するまで、PMBus 書き込み動作は処理されません。

### 通信障害

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

### デバイス・アドレス指定

LTC3883 の PMBus インタフェースを介したアドレス指定には、次の 4 種類が用意されています。1) グローバル、2) デバイス、3) レールによるアドレス指定および 4) アラート応答アドレス (ARA)。

グローバル・アドレスは、PMBus マスタがバス上のすべての LTC3883 デバイスを指定する手段として使うことができます。LTC3883 のグローバル・アドレスは 0x5A (7 ビット) または 0xB4 (8 ビット) に固定され、ディスエーブルできません。



## 動作

デバイス・アドレス指定は、PMBus マスタが LTC3883 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、ASEL 構成ピンと MFR\_ADDRESS コマンドの組み合わせによって設定します。デバイス・アドレス指定は、MFR\_ADDRESS に値 0x80 を書き込むことでディスエーブルできます。

レール・アドレス指定は、PMBus マスタが同じ出力レールに接続された複数の LTC3883 を同時に選択する手段として使用します。これはグローバル・アドレス指定に似ていますが、MFR\_RAIL\_ADDRESS コマンドによって PMBus アドレスを動的に割り当てることができます。レール・アドレス指定は、書き込み動作のコマンドに対してのみ使用することを推奨します。

以上の 4 つの PMBus アドレス指定方法は、いずれもユーザによる整然とした計画に基づいて適用し、アドレスの競合を防ぐ必要があります。

### V<sub>OUT</sub> および I<sub>OUT</sub> フォルトに対する応答

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

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

I<sub>IN</sub> と I<sub>OUT</sub> の過電流モニタには、ADC の読み出しと計算を使用します。これらの値は平均電流に基づいているため、最大 120ms のレイテンシが必要になる場合があります。I<sub>OUT</sub> の計算には、検出抵抗と抵抗の温度係数が加味されます。入力チャネル電流は、出力電流に PWM デューティ・サイクルを掛け、各チャネルの入力オフセット電流を足した値になります。この入力電流の計算値が IN\_OC\_WARN\_LIMIT を超えた場合、ALERT ピンが“L”に引き下げられ、STATUS\_INPUT コマンドの IIN\_OC\_WARN ビットがアサートされます。

LTC3883 内のデジタル・プロセッサには、フォルトを無視する機能、デバイスをシャットダウンしてラッチ・オフする機能、デバイスをシャットダウンして無期限でリトライを繰り返す機能（ヒカップ）があります。リトライ・インターバルは、MFR\_RETRY\_DELAY によって、120ms ～ 83.88 秒の範囲で 1ms 刻みの設定が可能です。OV/UV および OC によるシャットダウンは、フォルト発生後直ちに実行するか、ユーザが選択するデグリッチ時間の経過後に実行することができます。

### 出力過電圧フォルトに対する応答

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

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

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

### 出力低電圧フォルトに対する応答

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

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

UV 応答はデグリッチできます。表 6 を参照してください。

### ピーク出力過電流フォルトに対する応答

電流モードの制御アルゴリズムを使用しているため、インダクタのピーク出力電流は、サイクルごとに常に制限されています。ピーク電流のリミット値は、電気的特性の表の検出電圧に規定されています。電流制限回路は、I<sub>TH</sub> の最大電圧を制限することで動作します。DCR 検出を使用している場合、I<sub>TH</sub> の最大電圧は、インダクタ DCR の温度係数に直接比例する温度依存性を持ちます。LTC3883 は、外付けの温度センサを自動的にモニタし、この項を補償するために I<sub>TH</sub> の最大許容値を変更します。

## 動作

過電流フォルト処理回路では、次のいずれかの動作を実行できます。

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

過電流フォルトに対する応答は、(0~7)・16ms刻みでデグレリッチできます。表7を参照してください。

### タイミング・フォルトに対する応答

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

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

このフォルトに対する応答は、デグレリッチされません。TON\_MAX\_FAULT\_LIMITの値を0に設定することは、このフォルトの無視を意味します。TON\_MAX\_FAULT\_LIMITは、TON\_RISEの時間よりも長くしてください。TON\_MAX\_FAULT\_LIMITには、常に0以外の値を設定することを推奨します。0を設定すると出力がまったく立ち上がり、ユーザに対するフラグも一切セットされない恐れがあります。

表9を参照してください。

### V<sub>IN</sub>の0Vフォルトに対する応答

V<sub>IN</sub>の過電圧状態は、多重化されたADCによって測定されます。したがって、その応答はADCの標準応答時間である120msによって自然にデグレリッチされます。フォルトには、次の応答が可能です。

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

表9を参照してください。

### OT/UTフォルトに対する応答

#### 過熱フォルトに対する応答 — 内部

内部温度センサは、NVMを損傷から保護します。85°Cを超える温度におけるNVMへの書き込みは推奨できません。130°Cを超えると、デバイスによってNVMがディスエーブルされ、内部温度が125°Cに低下するまで再度イネーブルされません。LTC3883は、130°Cを超えるとSTATUS\_TEMPERATUREコマンドのビット7(「OT警告」)をセットし、このビットは内部温度が125°Cに低下するまでクリアできません。160°Cを超えると、LTC3883はPWMをディスエーブルし、内部温度が150°Cに低下するまで再度イネーブルしません。デバイスは、160°Cを超えるとSTATUS\_TEMPERATUREコマンドのビット6(「OTフォルト」)をセットし、このビットは内部温度が150°Cに低下するまでクリアできません。温度はADCによって測定します。内部温度フォルトは無視できません。ユーザは内部温度のリミット値を変更できません。

表9を参照してください。

#### 過熱および低温フォルトに対する応答 — 外部

外付けの温度センサによって、インダクタやパワー MOSFETなどの重要な回路素子の温度を検出できます。過熱および低温状態に対する適切な応答を決定するために、それぞれOT\_FAULT\_RESPONSEコマンドとUT\_FAULT\_RESPONSEコマンドを使用します。外付けのセンサ素子を使用しない場合(推奨しません)は、UT\_FAULT\_RESPONSEを「無視」に設定し、UT\_FAULT\_LIMITを-275°Cに設定します。

フォルトには、次の応答が可能です。

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

表9を参照してください。

## 動作

### 入力過電流および出力低電流フォルトに対する応答

入力過電流および出力低電流の状態は、多重化されたADCによって測定します。これらの測定値は、いずれもADCの標準応答時間である120msによって自然にデグリッチされます。フォルトには、次の応答が可能です。

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

表9を参照してください。

### 外部フォルトに対する応答

$\overline{\text{GPIO}}$ ピンが“L”に引き下げられると、STATUS\_WORDコマンド内のOTHERビットがセットされます。さらに、STATUS\_MFR\_SPECIFICコマンド内の該当するビットがセットされ、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンが“L”に引き下げられます。応答はデグリッチされません。LTC3883は、MFR\_GPIO\_RESPONSEコマンドを変更することで、 $\overline{\text{GPIO}}$ ピンの“L”遷移に対して、無視またはシャットダウン後のリトライのいずれかで応答するように構成できます。GPIOが“L”に引き下げられたときに $\overline{\text{ALERT}}$ ピンが“L”アサートされるのを防ぐには、MFR\_CHAN\_CONFIG\_LTC3883のビット1をアサートします。

### フォルト・ログ

LTC3883にはフォルト・ログ機能があります。データは表11に示す順序でメモリに記録されます。データは、RAM内の継続的に更新されるバッファに格納されます。フォルト・イベントが発生すると、フォルト・ログ・バッファがRAMバッファからNVMにコピーされます。フォルト・ログ機能は85°Cを超える温度でも使用できますが、10年の保持特性は保証されません。ダイ温度が130°Cを超えると、120°Cを下回るまでフォルト・ログ動作が延期されます。フォルト・ログのデータは、MFR\_FAULT\_LOG\_CLEARコマンドが発行されるまでNVM内に保持されます。このコマンドを発行するとフォルト・ログ機能が再度イネーブルされます。フォルト・ログを再度イネーブルする前に、フォルトが一切発生していないこと、およびCLEAR\_FAULTSコマンドが発行済みであることを確認してください。

LTC3883は、電源投入時に有効なフォルト・ログがないか、NVM内を確認します。NVM内に有効なフォルト・ログが存在した場合、STATUS\_MFR\_SPECIFICコマンドの「有効なフォルト・ログ」ビットがセットされ、 $\overline{\text{ALERT}}$ イベントが生成されます。また、

LTC3883がMFR\_FAULT\_LOG\_CLEARコマンドを受信するまでフォルト・ログはブロックされ、このコマンドの受信後に再度イネーブルされます。

コントローラを無効化するいかなるフォルトが発生した場合も、情報はEEPROMに格納されます。 $\overline{\text{GPIO}}$ ピンが外部から“L”に引き下げられた場合は、フォルト・ログ・イベントはトリガされません。

### バス・タイムアウト・エラー

シリアル・インタフェースのハングアップを防ぐために、LTC3883にはタイムアウト機能が実装されています。データ・パケット・タイマはデバイス・アドレス書き込みバイトの前の最初のSTARTイベントによって起動されます。データ・パケット情報は20ms以内に完了する必要があります。この時間を超過した場合、LTC3883はバスをトリステート状態に遷移させ、そのデータ・パケットを無視します。データ・パケットの情報には、デバイス・アドレス・バイト書き込み、コマンド・バイト、反復スタート・イベント(読み出し動作の場合)、デバイス・アドレス・バイト読み出し(読み出し動作の場合)、すべてのデータ・バイト、および該当する場合はPECバイトが含まれます。

LTC3883は、データ・パケットのブロック読み出しに対して、より長いPMBusタイムアウトを許容します。このタイムアウト時間は、ブロック読み出しの長さに比例します。ブロック読み出しのタイムアウト延長は、主にMFR\_FAULT\_LOGコマンドに適用されます。いかなる場合も、タイムアウト時間はtTIMEOUT\_SMB仕様である32ms(代表値)より短くなることはありません。

シリアル・バス・インタフェースを共有するすべ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。LTC3883は、PMBusの周波数範囲である10kHz~400kHzの全域をサポートしています。

### PMBus、SMBus、I<sup>2</sup>C 2線インタフェース間の類似性

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

3883fa

## 動作

反復スタート(リスタート)は、すべてのI<sup>2</sup>Cコントローラでサポートされているわけではありませんが、SMBus/PMBusの読み出しには必要です。汎用I<sup>2</sup>Cコントローラを使用する場合は、反復スタートをサポートしているか確認してください。

LTC3883はSMBusクロックの最大スピードである100kHzをサポートし、クロック・ストレッチをイネーブルすれば、より高速のPMBus仕様(100kHz~400kHz)との互換性も確保できます。通信および動作の信頼性を高めるには、「PMBusコマンドの概要」のNoteのセクションを参照してください。クロック・ストレッチは、MFR\_CONFIG\_ALL\_LTC3883のビット1をアサートすることでイネーブルされます。

PMBusで適用されたSMBusに対する小さな拡張および例外の説明は、『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の相違点の説明は、『システム・マネージメント・バス(SMBus)規格 Version 2.0』の付録B「Differences Between SMBus and I<sup>2</sup>C」を参照してください。

## PMBusシリアル・デジタル・インタフェース

LTC3883は、標準PMBusシリアル・バス・インタフェースを使用してホスト(マスタ)と通信します。バス信号のタイミング関係をタイミング図(図5)に示します。バスを使用しない場合、2本のバスライン(SDAとSCL)は“H”にする必要があります。これらのラインには外付けのプルアップ抵抗または電流源が必要です。

LTC3883はスレーブ・デバイスです。マスタは以下の形式でLTC3883と通信できます。

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

以下のPMBusプロトコルがサポートされています。

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

前述のPMBusプロトコルを図7~16に示します。すべてのトランザクションがPEC(パリティ・エラー・チェック)とGCP(グループ・コマンド・プロトコル)に対応しています。ブロック読み出しは、戻り値のデータとして255バイトをサポートします。このため、フォルト・ログを読み出す場合にPMBusタイムアウトを延長できます。

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

以下の図のフィールド下に示された値は、そのフィールドに対する必須値です。

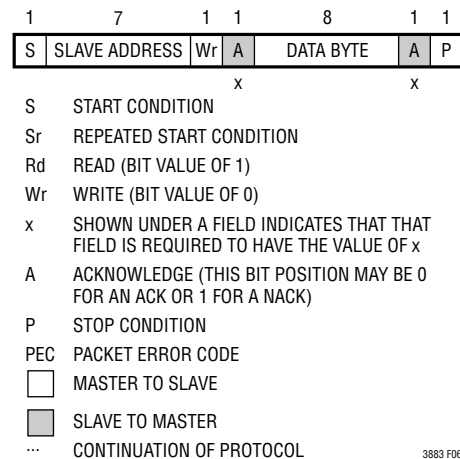


図6.PMBusパケット・プロトコル図の凡例

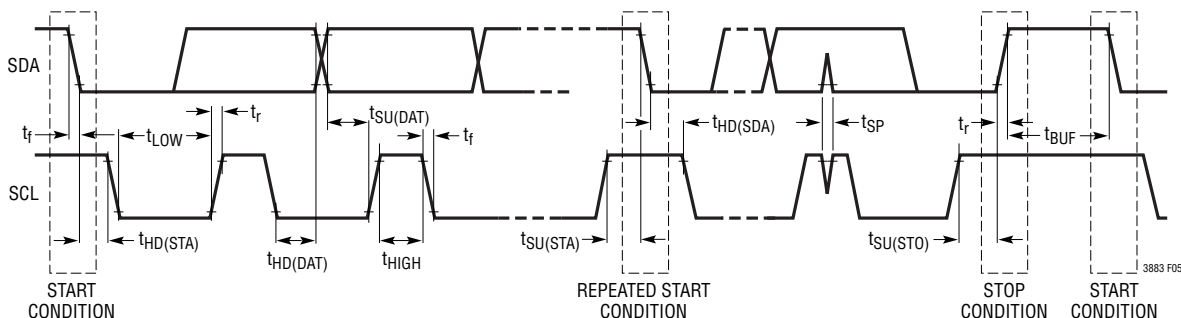


図5. タイミング図

## 動作

PMBus によって実装されるデータ形式は次のとおりです。

- マスタ・トランスミッタがスレーブ・レシーバに送信する。この場合、伝送方向は変化しません。
- 最初のバイトの直後にマスタがスレーブを読み出す。最初のアクノリッジ(スレーブ・レシーバによる)の時点で、マスタ・トランスミッタはマスタ・レシーバになり、スレーブ・レシーバがスレーブ・トランスミッタになります。

- 組み合わせ形式伝送中に方向が変化する時点で、マスタはスタート条件とスレーブ・アドレスの両方を反復しますが、その際R/Wビットを反転させます。その場合、マスタ・レシーバは伝送の最後のバイトとストップ条件に対してNACKを生成して伝送を中止します。

これらの形式の例を図7～16に示します。

表1. データ形式の用語

PMBus 用語	意味	仕様、GUI、アプリケーション・ノートの用語	コマンドの概要一覧表の略語	データ形式詳細の参照先ページ(表2)
Linear	リニア	Linear_5s_11s	L11	p. 35
Linear(電圧関連コマンド用)	リニア	Linear_16u	L16	p. 35
Direct	メーカーによる直接カスタマイズ	DirectMfr	CF	p. 35
Hex		Hex	I16	
ASCII		ASCII	ASC	
	レジスタ・フィールド	Reg	Reg	

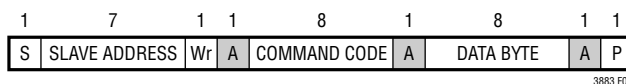


図7. バイト書き込みプロトコル

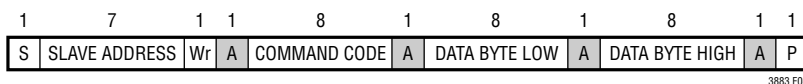


図8. ワード書き込みプロトコル

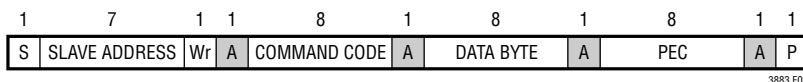


図9. PEC付きバイト書き込みプロトコル

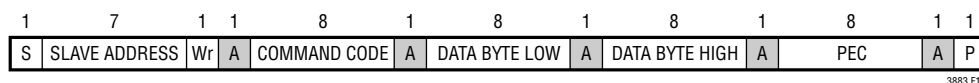


図10. PEC付きワード書き込みプロトコル

## 動作

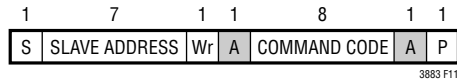


図 11. バイト送信プロトコル

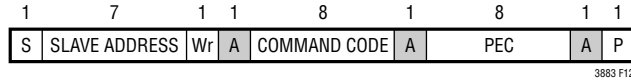


図 12. PEC 付きバイト送信プロトコル

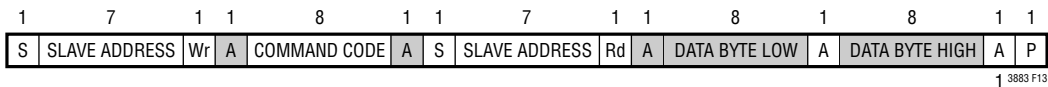


図 13. ワード読み出しプロトコル

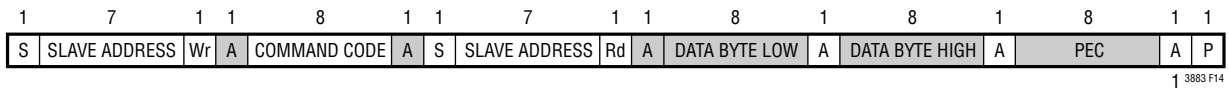


図 14. PEC 付きワード読み出しプロトコル

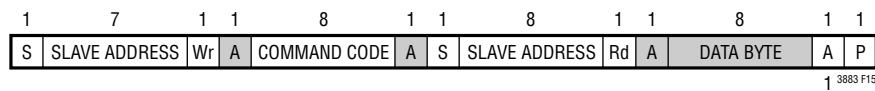


図 15. バイト読み出しプロトコル

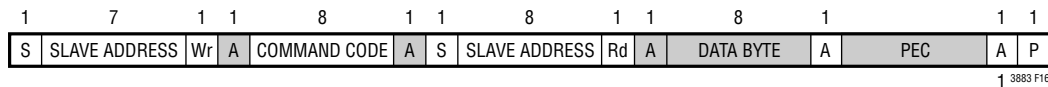


図 16. PEC 付きバイト読み出しプロトコル

凡例は図6を参照してください。

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

## PMBus コマンド一覧

### PMBus コマンド

以下の表は、サポートされる PMBus コマンドとメーカー固有コマンドの一覧です。これらのコマンドの詳細な説明は、『PMBus Power System Mgt Protocol Specification – Part II – Revision 1.1』に記載されています。この仕様を参照することを推奨します。例外またはメーカー固有の実装については表2に掲載されています。表の「デフォルト値」に示した浮動小数点の値は、Linear 16ビット符号付き(PMBus セクション8.3.1)または Linear\_5s\_11s (PMBus セクション7.1)のいずれかのうち、そのコマンドに該当する形式を取ります。この表に記載されていない0xD0～0xFFのコマンドは、いずれもメーカーが暗黙のうちに予約済みとしているものです。デバイスの誤動作を避けるために、ユーザは、この範囲のコマンドを不用意に書き込まないようにする必要があります。この表に記載されていない0x00～0xCFのコマンドは、いずれもメーカーが暗黙のうちにサ

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

PMBus コマンドの受信に処理が追いつかなくなると、デバイスがビジー状態となり新たなコマンドを処理できなくなる場合があります。そのような状況になると、デバイスは「PMBus Specification v1.1, Part II, Section 10.8.7」に規定されたプロトコルに従い、ビジーであることを伝えます。デバイスは、堅牢な通信とシステム動作を確保すると同時に、ビジー・エラーをなくし、エラー処理ソフトウェアを簡素化する、ハンドシェイク機能を備えています。詳細は、「アプリケーション情報」の「PMBus の通信とコマンド処理」の項を参照してください。

表2. 一覧 (Note: データ形式の略号はこの表の末尾で説明しています)

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	データ形式	単位	NVM	デフォルト値	ページ
PAGE	0x00	マルチページ PMBus デバイスの統合を可能にする。	R/W Byte	Reg			0x00	<a href="#">64</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	Reg		Y	0x80	<a href="#">67</a>
ON_OFF_CONFIG	0x02	RUN ピンおよび PMBus のオン/オフ・コマンドの構成。	R/W Byte	Reg		Y	0x1E	<a href="#">66</a>
CLEAR_FAULTS	0x03	セットされている全フォルト・ビットをクリアする。	Send Byte				NA	<a href="#">92</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	Reg		Y	0x00	<a href="#">64</a>
STORE_USER_ALL	0x15	ユーザ動作メモリを EEPROM に格納する。	Send Byte				NA	<a href="#">100</a>
RESTORE_USER_ALL	0x16	ユーザ動作メモリを EEPROM からリストアする。	Send Byte				NA	<a href="#">100</a>
CAPABILITY	0x19	デバイスがサポートする PMBus オプション通信プロトコルの要約。	R Byte	Reg			0xB0	<a href="#">91</a>
VOUT_MODE	0x20	出力電圧の形式および指数 ( $2^{-12}$ )。	R Byte	Reg			$2^{-12}$ 0x14	<a href="#">71</a>
VOUT_COMMAND	0x21	公称出力電圧のセットポイント。	R/W Word	L16	V	Y	1.0 0x1000	<a href="#">73</a>
VOUT_MAX	0x24	他のいかなるコマンドにも関係なく、デバイスが指示できる出力電圧の上限。	R/W Word	L16	V	Y	5.5 0x5800	<a href="#">72</a>
VOUT_MARGIN_HIGH	0x25	マージン・ハイの出力電圧セットポイント。VOUT_COMMAND よりも大きくなければならない。	R/W Word	L16	V	Y	1.05 0x10CD	<a href="#">72</a>
VOUT_MARGIN_LOW	0x26	マージン・ローの出力電圧セットポイント。VOUT_COMMAND よりも小さくなければならない。	R/W Word	L16	V	Y	0.95 0x0F33	<a href="#">73</a>
VOUT_TRANSITION_RATE	0x27	VOUT に新しい値を指定したときに出力が変化する速度。	R/W Word	L11	V/ms	Y	0.25 AA00	<a href="#">80</a>
FREQUENCY_SWITCH	0x33	コントローラのスイッチング周波数。	R/W Word	L11	kHz	Y	350 0xFABC	<a href="#">70</a>

# LTC3883/LTC3883-1

## PMBus コマンドの概要

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	データ 形式	単位	NVM	デフォルト 値	ページ
VIN_ON	0x35	デバイスが電力変換を開始する入力電圧。	R/W Word	L11	V	Y	6.5 0xCB40	<a href="#">71</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	L11	V	Y	6.0 0xCB00	<a href="#">71</a>
IOUT_CAL_GAIN	0x38	検出電流に対する電流検出ピンの電圧の比。 固定された電流検出抵抗を使用しているデバイスの場合は mΩ 単位の抵抗値となる。	R/W Word	L11	mΩ	Y	1.8 0xBB9A	<a href="#">74</a>
VOUT_OV_FAULT_LIMIT	0x40	出力の過電圧フォルト・リミット。	R/W Word	L16	V	Y	1.1 0x119A	<a href="#">72</a>
VOUT_OV_FAULT_RESPONSE	0x41	出力の過電圧フォルトが検出されたとき、デバイスが取るアクション。	R/W Byte	Reg		Y	0xB8	<a href="#">83</a>
VOUT_OV_WARN_LIMIT	0x42	出力の過電圧警告リミット。	R/W Word	L16	V	Y	1.075 0x1133	<a href="#">72</a>
VOUT_UV_WARN_LIMIT	0x43	出力の低電圧警告リミット。	R/W Word	L16	V	Y	0.925 0x0ECD	<a href="#">73</a>
VOUT_UV_FAULT_LIMIT	0x44	出力の低電圧フォルト・リミット。	R/W Word	L16	V	Y	0.9 0x0E66	<a href="#">73</a>
VOUT_UV_FAULT_RESPONSE	0x45	出力の低電圧フォルトが検出されたとき、デバイスが取るアクション。	R/W Byte	Reg		Y	0xB8	<a href="#">84</a>
IOUT_OC_FAULT_LIMIT	0x46	出力の過電流フォルト・リミット。	R/W Word	L11	A	Y	29.75 0xDBB8	<a href="#">76</a>
IOUT_OC_FAULT_RESPONSE	0x47	出力の過電流フォルトが検出されたとき、デバイスが取るアクション。	R/W Byte	Reg		Y	0x00	<a href="#">86</a>
IOUT_OC_WARN_LIMIT	0x4A	出力の過電流警告リミット。	R/W Word	L11	A	Y	20.0 0xDA80	<a href="#">77</a>
OT_FAULT_LIMIT	0x4F	外部過熱フォルト・リミット。	R/W Word	L11	C	Y	100.0 0xEB20	<a href="#">79</a>
OT_FAULT_RESPONSE	0x50	外部過熱フォルトが検出されたとき、デバイスが取るアクション。	R/W Byte	Reg		Y	0xB8	<a href="#">87</a>
OT_WARN_LIMIT	0x51	外部過熱警告リミット。	R/W Word	L11	C	Y	85.0 0xEAA8	<a href="#">79</a>
UT_FAULT_LIMIT	0x53	外部低温フォルト・リミット。	R/W Word	L11	C	Y	-40.0 0xE580	<a href="#">79</a>
UT_FAULT_RESPONSE	0x54	外部低温フォルトが検出されたとき、デバイスが取るアクション。	R/W Byte	Reg		Y	0xB8	<a href="#">88</a>
VIN_OV_FAULT_LIMIT	0x55	入力電源の過電圧フォルト・リミット。	R/W Word	L11	V	Y	15.5 0xD3E0	<a href="#">70</a>
VIN_OV_FAULT_RESPONSE	0x56	入力電源の過電圧フォルトが検出されたとき、デバイスが取るアクション。	R/W Byte	Reg		Y	0x80	<a href="#">82</a>
VIN_UV_WARN_LIMIT	0x58	入力電源の低電圧警告リミット。	R/W Word	L11	V	Y	6.3 0xCB26	<a href="#">70</a>
IIN_OC_WARN_LIMIT	0x5D	入力電源の過電流警告リミット。	R/W Word	L11	A	Y	10.0 0xD280	<a href="#">78</a>
POWER_GOOD_ON	0x5E	パワーグッドをアサートする出力電圧の下限。	R/W Word	L16	V	Y	0.93 0x0EE1	<a href="#">73</a>
POWER_GOOD_OFF	0x5F	パワーグッドをディアサートする出力電圧の上限。	R/W Word	L16	V	Y	0.92 0x0EB8	<a href="#">74</a>
TON_DELAY	0x60	RUNおよびOPERATION(または、そのいずれか)によるオンから、出力レールのターンオンまでの時間。	R/W Word	L11	ms	Y	0.0 0x8000	<a href="#">80</a>

3883fa



## PMBus コマンドの概要

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	データ 形式	単位	NVM	デフォルト 値	ページ
TON_RISE	0x61	出力の立ち上がり開始から、出力電圧がVOUT コマンドで指定された値に達するまでの時間。	R/W Word	L11	ms	Y	8.0 0xD200	<a href="#">80</a>
TON_MAX_FAULT_ LIMIT	0x62	VOUT_EN のオンから、VOUTがVOUT_UV_FAULT_ LIMIT をよぎるまでの最大時間。	R/W Word	L11	ms	Y	10.00 0xD280	<a href="#">80</a>
TON_MAX_FAULT_ RESPONSE	0x63	TON_MAX_FAULT イベントが検出されたとき、 デバイスが取るアクション。	R/W Byte	Reg		Y	0xB8	<a href="#">85</a>
TOFF_DELAY	0x64	RUN および OPERATION (またはそのいずれか) によるオフから TOFF_FALL ランプの開始までの 時間。	R/W Word	L11	ms	Y	0.0 0x8000	<a href="#">81</a>
TOFF_FALL	0x65	出力の立ち下がり開始から、出力が0Vに達す るまでの時間。	R/W Word	L11	ms	Y	8.00 0xD200	<a href="#">81</a>
TOFF_MAX_WARN_ LIMIT	0x66	TOFF_FALL が完了してから、デバイスが 12.5% 未満に減衰するまでの最大許容時間。	R/W Word	L11	ms	Y	150 0xF258	<a href="#">81</a>
STATUS_BYTE	0x78	デバイスのフォルト状態の1バイトの要約	R/W Byte	Reg			NA	<a href="#">92</a>
STATUS_WORD	0x79	デバイスのフォルト状態の2バイトの要約	R/W Word	Reg			NA	<a href="#">92</a>
STATUS_VOUT	0x7A	出力電圧のフォルトおよび警告の状態。	R/W Byte	Reg			NA	<a href="#">93</a>
STATUS_IOUT	0x7B	出力電流のフォルトおよび警告の状態。	R/W Byte	Reg			NA	<a href="#">93</a>
STATUS_INPUT	0x7C	入力電源のフォルトおよび警告の状態。	R/W Byte	Reg			NA	<a href="#">93</a>
STATUS_TEMPERATURE	0x7D	READ_TEMPERATURE_1 の外部温度フォルトお よび警告の状態。	R/W Byte	Reg			NA	<a href="#">93</a>
STATUS_CML	0x7E	通信およびメモリのフォルトおよび警告の状態。	R/W Byte	Reg			NA	<a href="#">94</a>
STATUS_MFR_SPECIFIC	0x80	メーカー固有のフォルトおよび状態の情報。	R/W Byte	Reg			NA	<a href="#">94</a>
READ_VIN	0x88	入力電源電圧の測定値。	R Word	L11	V		NA	<a href="#">96</a>
READ_IIN	0x89	入力電源電流の測定値。	R Word	L11	A		NA	<a href="#">96</a>
READ_VOUT	0x8B	出力電圧の測定値。	R Word	L16	V		NA	<a href="#">96</a>
READ_IOUT	0x8C	出力電流の測定値。	R Word	L11	A		NA	<a href="#">96</a>
READ_TEMPERATURE_1	0x8D	外付けダイオードの接合部温度。IOUT_CAL_ GAIN をはじめとする、すべての温度関連処理 に使用される値。	R Word	L11	C		NA	<a href="#">98</a>
READ_TEMPERATURE_2	0x8E	内部接合部温度。他のいずれのコマンドにも 影響を与えない。	R Word	L11	C		NA	<a href="#">98</a>
READ_DUTY_CYCLE	0x94	上側ゲート制御信号のデューティ・サイクル。	R Word	L11	%		NA	<a href="#">98</a>
READ_POUT	0x96	出力電力の計算値。	R Word	L11	W		NA	<a href="#">98</a>
READ_PIN	0x97	入力電力の計算値。	R Word	L11	W		NA	<a href="#">98</a>
PMBUS_REVISION	0x98	デバイスがサポートする PMBus のリビジョン。 現在のリビジョンは 1.1。	R Byte	Reg		FS	0x11	<a href="#">91</a>
MFR_ID	0x99	LTC3883 のメーカー ID を ASCII で示した値。	R String	ASC			LTC	<a href="#">91</a>
MFR_MODEL	0x9A	メーカー製品番号を ASCII で示した値。	R String	ASC			LTC3883	<a href="#">91</a>
MFR_VOUT_MAX	0xA5	最大許容出力電圧。	R Word	L16	V		5.5 0x5800	<a href="#">74</a>
USER_DATA_00	0xB0	OEM により予約。通常、デバイスのシリアル化 に使用。	R/W Word	Reg		Y	NA	<a href="#">90</a>
USER_DATA_01	0xB1	メーカーにより、LTpowerPlay 用に予約。	R/W Word	Reg		Y	NA	<a href="#">90</a>
USER_DATA_02	0xB2	OEM により予約。通常、デバイスのシリアル化 に使用。	R/W Word	Reg		Y	NA	<a href="#">90</a>
USER_DATA_03	0xB3	ユーザが使用可能な NVM ワード。	R/W Word	Reg		Y	0x0000	<a href="#">90</a>

# LTC3883/LTC3883-1

## PMBus コマンドの概要

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	データ 形式	単位	NVM	デフォルト 値	ページ
USER_DATA_04	0xB4	ユーザが使用可能な NVM ワード。	R/W Word	Reg		Y	0x0000	<a href="#">90</a>
MFR_T_SELF_HEAT	0xB8	インダクタに帰せられる自己発熱の計算値の報告。	R Word	L11	C		NA	<a href="#">75</a>
MFR_IOUT_CAL_GAIN_TAU_INV	0xB9	熱時定数のエミュレーションに使用する係数。	R/W Word	L11	s <sup>-1</sup>	Y	0.0 0x8000	<a href="#">75</a>
MFR_IOUT_CAL_GAIN_THETA	0xBA	インダクタの自己発熱効果のインスタンス計算に使用する。	R/W Word	L11	C/Watt	Y	0.0 0x8000	<a href="#">75</a>
MFR_EE_UNLOCK	0xBD	MFR_EE_ERASE と MFR_EE_DATA のコマンドによってアクセスするために、ユーザ EEPROM のロックを解除する。	R/W Byte	Reg			NA	<a href="#">104</a>
MFR_EE_ERASE	0xBE	MFR_EE_DATA によるバルク・プログラミングのために、ユーザ EEPROM を初期化する。	R/W Byte	Reg			NA	<a href="#">105</a>
MFR_EE_DATA	0xBF	PMBus シーケンシャル・ワード読み出しまたは書き込みによって EEPROM との間で伝送されるデータ。バルク・プログラミングをサポートする。	R/W Word	Reg			NA	<a href="#">105</a>
MFR_CHAN_CONFIG_LTC3883	0xD0	チャンネル固有の構成ビット。	R/W Byte	Reg		Y	0x1F	<a href="#">65</a>
MFR_CONFIG_ALL_LTC3883	0xD1	一般の構成ビット。	R/W Byte	Reg		Y	0x09	<a href="#">66</a>
MFR_GPIO_PROPAGATE_LTC3883	0xD2	どのフォルトを GPIO ピンに伝播するかを決める構成。	R/W Word	Reg		Y	0x2993	<a href="#">89</a>
MFR_PWM_MODE_LTC3883	0xD4	PWM エンジンの構成。	R/W Byte	Reg		Y	0xD2	<a href="#">68</a>
MFR_GPIO_RESPONSE	0xD5	GPIO ピンが外部から“L”にアサートされたとき、デバイスが取るアクション。	R/W Byte	Reg		Y	0xC0	<a href="#">90</a>
MFR_OT_FAULT_RESPONSE	0xD6	内部過熱フォルトが検出されたとき、デバイスが取るアクション。	R Byte	Reg			0xC0	<a href="#">87</a>
MFR_IOUT_PEAK	0xD7	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降に測定された READ_IOUT の最大値を報告する。	R Word	L11	A		NA	<a href="#">99</a>
MFR_RETRY_DELAY	0xDB	フォルト・リトライ・モードにおけるリトライ・インターバル。	R/W Word	L11	ms	Y	350 0xFABC	<a href="#">82</a>
MFR_RESTART_DELAY	0xDC	LTC3883 が RUN ピンを“L”に保持する最小時間。	R/W Word	L11	ms	Y	500 0xFBE8	<a href="#">82</a>
MFR_VOUT_PEAK	0xDD	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降に測定された READ_VOUT の最大値。	R Word	L16	V		NA	<a href="#">98</a>
MFR_VIN_PEAK	0xDE	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降に測定された READ_VIN の最大値。	R Word	L11	V		NA	<a href="#">99</a>
MFR_TEMPERATURE_1_PEAK	0xDF	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降に測定された外部温度 (READ_TEMPERATURE_1) の最大値。	R Word	L11	C		NA	<a href="#">99</a>
MFR_READ_IIN_PEAK	0xE1	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降に測定された READ_IIN コマンドの最大値。	R Word	L11	A		NA	<a href="#">99</a>
MFR_CLEAR_PEAKS	0xE3	すべてのピーク値をクリアする。	Send Byte				NA	<a href="#">92</a>
MFR_READ_ICHIP	0xE4	LTC3883 の電源電流の測定値。	R Word	L11	A		NA	<a href="#">99</a>
MFR_PADS	0xE5	I/O パッドのデジタル・ステータス。	R Word	Reg			NA	<a href="#">95</a>
MFR_ADDRESS	0xE6	7 ビットの I <sup>2</sup> C アドレス・バイトを設定する。	R/W Byte	Reg		Y	0x4F	<a href="#">65</a>
MFR_SPECIAL_ID	0xE7	LTC3883 およびリビジョンを表すメーカー・コード。	R Word	Reg			0x43XX	<a href="#">91</a>
MFR_IIN_CAL_GAIN	0xE8	入力電流検出素子の抵抗値 (mΩ)。	R/W Word	L11	mΩ	Y	5 0xCA80	<a href="#">78</a>

## PMBus コマンドの概要

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	データ 形式	単位	NVM	デフォルト 値	ページ
MFR_FAULT_LOG_STORE	0xEA	RAMからEEPROMへのフォルト・ログの伝送命令。この命令によって、デバイスはチャネルがフォルトによってオフしたかのように動作する。	Send Byte				NA	<a href="#">101</a>
MFR_FAULT_LOG_CLEAR	0xEC	フォルト・ログのために予約されたEEPROMのブロックを初期化し、以前のフォルト・ログのロックをクリアする。	Send Byte				NA	<a href="#">104</a>
MFR_READ_IIN_CHAN	0xED	READ_IOUTとDUTY_CYCLEに基づいて計算した入力電流。	R Word	L11	A		NA	<a href="#">99</a>
MFR_FAULT_LOG	0xEE	フォルト・ログのデータ・バイト。このシーケンシャルに取得されるデータは完全なフォルト・ログをアセンブルするために使われる。	R Block	Reg		Y	NA	<a href="#">101</a>
MFR_COMMON	0xEF	複数のLTCチップに共通するメーカ・ステータス・ビット。	R Byte	Reg			NA	<a href="#">95</a>
MFR_COMPARE_USER_ALL	0xF0	現在のコマンドの内容をNVMと比較する。	Send Byte				NA	<a href="#">100</a>
MFR_TEMPERATURE_2_PEAK	0xF4	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降の内部ダイ温度のピーク。	R Word	L11	C		NA	<a href="#">99</a>
MFR_PWM_CONFIG_LTC3883	0xF5	位相設定をはじめとするDC/DCコントローラの多数のパラメータを設定する。	R/W Byte	Reg		Y	0x10	<a href="#">69</a>
MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC	0xF6	電流検出素子の温度係数。	R/W Word	CF	ppm/°C	Y	3900 0x0F3C	<a href="#">74</a>
MFR_RVIN	0xF7	V <sub>IN</sub> ピン・フィルタ素子の抵抗値(mΩ)。	R/W Word	L11	mΩ	Y	3000 0x12EE	<a href="#">71</a>
MFR_TEMP_1_GAIN	0xF8	外付け温度センサの勾配を設定する。	R/W Word	CF		Y	1.0 0x4000	<a href="#">78</a>
MFR_TEMP_1_OFFSET	0xF9	外付け温度センサの-273.1°Cを基準としたオフセットを設定する。	R/W Word	L11	C	Y	0.0 0x8000	<a href="#">78</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	Reg		Y	0x80	<a href="#">65</a>
MFR_RESET	0xFD	電源遮断不要の、コマンドによるリセット。	Send Byte				NA	<a href="#">68</a>

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

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

**Note 3:** LTC3883には、この表には記載されていない他のコマンドも実装されている。これらのコマンドの読み出しがICの動作に悪影響を及ぼすことはないが、その内容や意味は予告なく変更される場合がある。

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

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

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

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

## PMBus コマンドの概要

### \* データ形式

L11	Linear_5s_11s	<p>PMBus のデータ・フィールド b[15:0]  <math>値 = Y \cdot 2^N</math>                      ここで、N = b[15:11] は 5 ビットの 2 の補数の整数、Y = b[10:0] は 11 ビットの 2 の補数の整数                      例: b[15:0] = 0x9807 = 'b10011_000_0000_0111 の場合  <math>値 = 7 \cdot 2^{-13} = 854 \cdot 10^{-6}</math>                      「PMBus Spec Part II: Paragraph 7.1」より</p>
L16	Linear_16u	<p>PMBus のデータ・フィールド b[15:0]  <math>値 = Y \cdot 2^N</math>                      ここで、Y = b[15:0] は符号なしの整数、N = Vout_mode_parameter は 5 ビットの 2 の補数の指数で、10 進数の -12 に固定配線されている                      例: b [15:0] = 0x9807 = 'b1001_1000_0000_0000 の場合  <math>値 = 19456 \cdot 2^{-12} = 4.75</math>                      「PMBus Spec Part II: Paragraph 8.2」より</p>
Reg	Register	<p>PMBus のデータ・フィールド b[15:0] または b[7:0]                      ビット・フィールドの意味は PMBus コマンドの説明に詳述されている</p>
I16	Integer Word	<p>PMBus のデータ・フィールド b[15:0]  <math>値 = Y</math>                      ここで、Y = b[15:0] は 16 ビットの符号なし整数                      例: b[15:0] = 0x9807 = 'b1001_1000_0000_0111 の場合  <math>値 = 38919 (10 進)</math></p>
CF	Custom Format	<p>値は PMBus コマンドの説明で詳述に定義されている。多くの場合、MFR 固有の一定の倍率が掛けられる、符号なし整数または 2 の補数の整数である</p>
ASC	ASCII Format	<p>ISO/IEC8859-1 規格に準拠した、可変長の文字列。</p>

## アプリケーション情報

裏表紙の「標準的応用例」はLTC3883の基本的なアプリケーション回路です。LTC3883は、DCR (インダクタの抵抗) 検出または低い値の抵抗による検出のどちらかを使うように構成することができます。2つの電流検出方式のどちらを選択するかは、主として、コスト、消費電力、精度間の設計トレードオフで決まります。DCR 検出は高価な電流検出抵抗を省くことができ、特に高電流のアプリケーションで電力効率が高いことから普及が進んでいます。LTC3883は、設計上DCR 検出素子の温度依存性を考慮しています。電流の読み出し値や電流制限値の精度は、通常DCR 抵抗の精度(LTC3883のIOUT\_CAL\_GAINパラメータに反映)によって制限されます。したがって、電流検出抵抗がアプリケーションの最も正確な電流検出と電流制限の値を提供します。他の外付け部品は負荷条件に基づいて選択します。RSENSEを使用する場合、RSENSEとインダクタ値の選択から始めます。次に、パワー MOSFETを選択します。続いて、入力と出力のコンデンサを選択します。最後に電流制限の値を選択します。これらの部品および値の範囲は、いずれも外付けの補償部品を計算する前に決定しておく必要があります。電流制限の範囲が必要となるのは、MFR\_PWM\_MODE\_LTC3883コマンド内のビット7で設定される、EAの利得が2つのレンジ(25mV ~ 50mVと37.5mV ~ 75mV)で異なるためです。電圧のRANGEビットでもループ利得を変更可能であり、MFR\_PWM\_CONFIG\_LTC3883のビット5 ~ 6によって設定される補償ネットワークにも影響を与えます。プログラム可能なその他のパラメータはループ利得に影響を与えないため、負荷に対するトランジェント応答に影響を与えずに変更できます。

### 電流制限のプログラミング

LTC3883には電流制限のプログラミング・レンジが2つ、各レンジ内には計8つのレベルがあります。PMBusコマンドのIOUT\_OC\_FAULT\_LIMITのセクションを参照してください。各レンジ内ではエラー・アンプの利得が固定されているため、ループ利得は一定になります。LTC3883はインダクタのDCRを考慮し、インダクタの温度変化に応じて電流制限を自動的に更新します。DCRの温度係数はMFR\_IOUT\_TCコマンドに格納します。

電流制限の精度を最大限に高めるには、75mVの設定を使用してください。25mVに設定するとDCRが非常に小さなインダクタまたは検出抵抗を使用できますが、電流制限の精度

が劣化します。これらはサイクルごとの動作であり、インダクタのピーク電流だけで決まることを忘れないでください。インダクタの平均電流はADCによってモニタされ、過大な平均出力電流が流れた場合に警告を発することができます。過電流フォルトは、ITH電圧が最大値に達した時点で検出されます。LTC3883内のデジタル・プロセッサには、フォルトを無視する機能、デバイスをシャットダウンしてラッチ・オフする機能、デバイスをシャットダウンして無期限でリトライを繰り返す機能(ヒカッパ)があります。詳細は、「動作」のセクションの過電流の項を参照してください。

### ISENSE<sup>+</sup>ピンとISENSE<sup>-</sup>ピン

ISENSE<sup>+</sup>ピンとISENSE<sup>-</sup>ピンは、電流コンパレータとA/Dの入力です。電流コンパレータの同相入力電圧範囲は、0V ~ 5.5Vです。SENSEピンは両方とも高インピーダンス入力であり、通常1μA未満の小さなベース電流が流れます。ISENSEピンの電圧が0V ~ 1.4Vの範囲にある場合、小さなベース電流がSENSEピンから流れ出します。ISENSEピンの電圧が1.4Vを超えると、ベース電流がISENSEピンに流れ込みます。電流コンパレータへの入力は高インピーダンスであるため、正確なDCR検出が可能になります。通常動作中は、これらのピンをフロート状態にしないでください。

ISENSEラインで共用するフィルタ部品はICの近くに配置してください。正側と負側のトレースは差動配線とし、電流検出素子にケルビン接続します(図17参照)。他の場所に非ケルビン接続があると、電流検出素子の寄生インダクタンスや寄生容量が増加し、検出端子における情報が劣化して、プログラムされた電流制限が予測できない値になることがあります。PolyPhaseシステムにおいて検出素子の配置をおろそかにすると、電力段間で最適の電流シェアリングが行われなくなる恐れがあります。DCR 検出を使用する場合は(図18a)、検出抵抗R1をスイッチング・ノードの近くに配置して、敏感な小信号ノードにノイズ

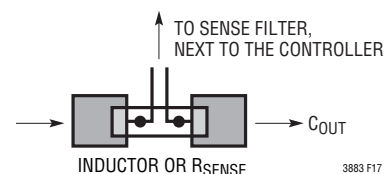


図17. 検出ラインの最適配置

## アプリケーション情報

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

### 値の小さな抵抗による電流検出

ディスクリット抵抗を使用した標準的な検出回路を図18b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しきい値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入力同相電圧の範囲は0V～5.5Vです(V<sub>IN</sub>が6Vよりも大きい場合)。電流コンパレータのしきい値によってインダクタ電流のピーク値が設定され、このピーク値からピーク・トゥ・ピーク・リップル電流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。

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

電流検出ループにPCBノイズが存在する可能性があるため、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でチェックして、信号対雑音比(SNR)を良くする必要があります。一般に、適度に良好なPCBレイアウトを得るには、R<sub>SENSE</sub>またはDCRのいずれの検出アプリケーションの場合でも、検討着手時の控えめな値として15mVの最小ΔV<sub>SENSE</sub>電圧を推奨します。

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

この同じRCフィルタは、若干の変更を加えることで寄生インダクタンスが存在する環境における、電流検出信号の抵抗性成分の抽出に使用できます。たとえば、図19は2010フットプリントの2mΩ抵抗両端の電圧波形です。波形は、純粋な抵抗性成分と純粋な誘導性成分が重畳されたものです。これは、差動測定による結果を得るため、オシロスコープの2つのプ

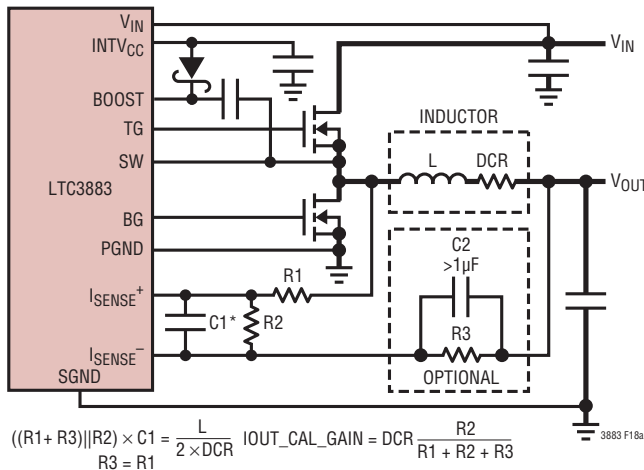


図18a. インダクタ DCR による電流検出回路

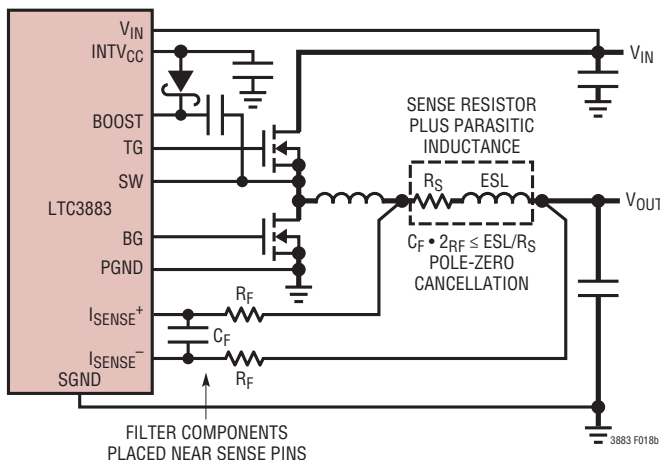


図18b. 抵抗による電流検出回路

## アプリケーション情報

ローブと波形計算を使用して測定しています。さらに、インダクタのリ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 $t_{OFF}$ も測定することで、次式より寄生インダクタンスの値0.5nHが得られました。

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

寄生インダクタンスを検出抵抗で割った値(L/R)に近くなるようにRC時定数を選択すると、得られる波形は図20に示すように抵抗性に見えます。低い最大検出電圧を使用するアプリケーションでは、検出抵抗メーカーのデータシートに記載された寄生インダクタンスの情報を確認してください。データが存在しない場合は、検出抵抗の両端で電圧降下を直接測定してESLステップの大きさを求め、式1を使用してESLを決定します。ただし、信号にフィルタをかけすぎないでください。RC時定数をインダクタの時定数以下にして $V_{RSENSE}$ のリップル電圧を十分高く保ち、電流ループ・コントローラの最適動作を確保します。

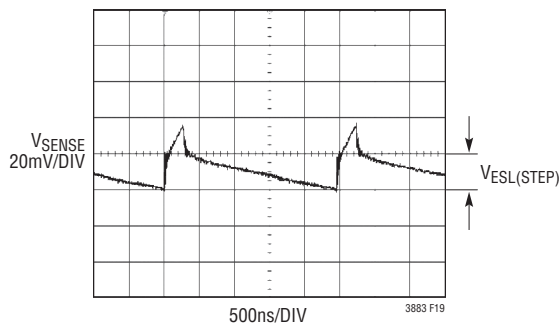


図19.  $R_{SENSE}$  両端で直接測定した電圧

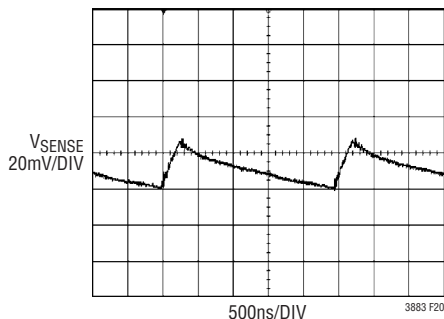


図20.  $R_{SENSE}$  のフィルタ後に測定した電圧

## インダクタ DCR による電流検出

LTC3883は、高負荷電流で可能な限り高い効率を必要とするアプリケーション向けに、図18aに示した方法でインダクタのDCR両端の電圧降下を検出できます。インダクタのDCRとは、銅巻線のDC抵抗の小さな値を表し、最近の値の小さい大電流インダクタでは1mΩより小さいことがあります。このようなインダクタを必要とする大電流アプリケーションでは、検出抵抗による導通損失は、DCRによる検出に比べると数ポイントの効率低下になると考えられます。

外付け部品を、その時定数 $(R1 + R3) \parallel R2 \cdot C1$ が正確にL/DCRの時定数に等しくなるように選択すると、外付けコンデンサC1の両端の電圧降下はインダクタのDCR両端の電圧降下に $R2/(R1 + R2)$ を掛けたものに等しくなります。R2は、目標とする検出抵抗値よりもDCRが大きいアプリケーションにおいて、検出端子両端の電圧をスケールします。R2が不要な場合、DCRの値はIOUT\_CAL\_GAINにmΩ単位で入力します。R2を使用する場合は、次式を使用します。

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

信号を減衰させる必要がない場合は、R2を省くことができます。外付けのフィルタ部品の大きさを適切に決定するには、インダクタのDCRを知る必要があります。DCRは高精度のRLCメータによって測定できますが、DCRの許容誤差は常に同じとは限らず、温度によって変化します。詳細については、メーカーのデータシートを参照してください。MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TCコマンドに正確なパラメータを入力すれば、LTC3883は温度変動を考慮して動作します。通常、抵抗の温度係数は3900ppm/°Cです。

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

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

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

## アプリケーション情報

次に、インダクタのDCRを決定します。メーカーが最大値(通常は20°Cにおける値)を示している場合は、その値を使用します。温度検出素子自体の3°C~5°Cの誤差や、温度センサ素子とインダクタ間の距離に伴うその他の誤差をすべて加味して、この値を増加させます。

C1は通常、0.047μF~4.7μFの範囲で選択します。これによって、(R1 + R3) || R2は自動的に約2kになります。図18aに示すようにオプションの素子R3とC2を追加すると、ISNS漏れ電流に伴うオフセット誤差を最小化できます。R3はR1と同じ値にします。C2は1μF以上として、適切なノイズ・フィルタリング効果が得られるようにします。

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

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

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

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

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

電流検出信号の信号対雑音比を良好に保つには、10mV~15mVの最小ΔV<sub>SENSE</sub>を使います。

DCR検出を使用するアプリケーションにおける、実際のリップル電圧は次式で求められます。

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

## スロープ補償とインダクタのピーク電流

スロープ補償により、高いデューティ・サイクルでの低調波発振が防止されるので、固定周波数電流モード・アーキテクチャの安定性が得られます。これは、35%を超えるデューティ・サイクルの場合、インダクタ電流信号に内部で補償ランプを重畳させることで実現します。LTC3883は、補償ランプに対抗する特許取得済みの電流制限手法を使用しています。この手法により、デューティ・サイクルがどのような値を取っても、インダクタの最大ピーク電流には影響が及びません。

## インダクタ値の計算

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

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

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

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

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



## アプリケーション情報

### インダクタのコアを選択

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

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

### パワー MOSFET とショットキ・ダイオード (オプション) の選択

LTC3883 ではコントローラ 1 つにつき、2 個の外付けパワー MOSFET を選択する必要があります。上側 (メイン) スイッチ用および下側 (同期) スイッチ用にそれぞれ 1 個の N チャネル MOSFET です。

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

パワー MOSFET の選択基準には、オン抵抗  $R_{DS(ON)}$ 、ミラー容量  $C_{MILLER}$ 、入力電圧、および最大出力電流が含まれます。ミラー容量  $C_{MILLER}$  は、MOSFET のメーカーのデータシートに通常記載されているゲート電荷曲線から推定することができます。 $C_{MILLER}$  は、曲線がほぼ平らな区間の水平軸に沿ったゲート電荷の増分を、規定の  $V_{DS}$  電圧変化で割ったものに等しくなります。次に、この結果に、アプリケーションで印加さ

れる  $V_{DS}$  とゲート電荷曲線で規定されている  $V_{DS}$  との比を掛けます。このデバイスが連続モードで動作しているときの側 MOSFET と下側 MOSFET のデューティ・サイクルは以下の式で与えられます。

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

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

最大出力電流での MOSFET の電力損失は、以下の式で与えられます。

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

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

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

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

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

## アプリケーション情報

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

### 可変遅延時間、ソフトスタート、出力電圧ランプ

LTC3883 は、ソフトスタートする前に RUN 状態に移行していなければなりません。デバイスの初期化が完了し、 $V_{IN}$  が  $V_{IN\_ON}$  しきい値を超えると、RUN ピンが解放されます。アプリケーションで複数の LTC3883 を使用する場合、同じ RUN ピンを共用するように構成してください。すべてのデバイスで初期化が完了し、 $V_{IN}$  が  $V_{IN\_ON}$  しきい値を超えるまで、いずれのデバイスも、それぞれの対応する RUN ピンを“L”に保持します。SHARE\_CLK ピンは、この信号を接続されたデバイスが、すべて同じタイムベースを使用することを保証します。

RUN ピンの解放後、コントローラはユーザが指定するターンオン遅延 (TON\_DELAY) の経過を待ってから、出力電圧のランプを開始します。複数の LTC3883 および他の LTC デバイスは、可変遅延時間で起動するように構成できます。適切に動作させるには、すべてのデバイスで同じタイミング・クロック (SHARE\_CLK) を使用し、すべてのデバイスが RUN ピンを共用する必要があります。これによって、すべてのデバイスの相対遅延が同期されます。遅延の実際の変化は、SHARE\_CLK ピンに接続されたデバイスの最も高速なクロック速度によって決まります (リニアテクノロジーの IC は、最高速の SHARE\_CLK 信号によって全デバイスのタイミングを制御できるように構成されています)。SHARE\_CLK 信号の周波数は  $\pm 10\%$  変動する可能性があるため、実際の時間遅延は、これに比例して変動します。

ソフトスタートは、負荷電圧をアクティブに安定化しながら、目標電圧を 0.0V からコマンドで指示した電圧セットポイントまでデジタルにランプ・アップさせることで実現します。電圧ランプの立ち上がり時間は TON\_RISE コマンドによってプログラムできるため、起動時の電圧ランプに伴う突入電流を最小限に抑えることができます。ソフトスタート機能は、TON\_RISE の値を 0.250ms 未満の任意の値に設定することでディスエーブルできます。LTC3883 は、目標とする勾配で電圧をランプ・アッ

プさせるために必要な計算を内部で実行します。ただし、電力段の基本的な制約よりも急峻な電圧勾配を得ることはできません。TON\_RISE 時間を短く設定するほど、TON\_RISE のランプはギザギザになります。ランプには、 $TON\_RISE/0.1ms$  の数だけステップが現れます。

TON\_RISE 動作中、LTC3883 の PWM は常に不連続モードを使用します。不連続モードでは、インダクタで逆電流が検出されると、直ちに下側ゲートがオフされます。この動作により、レギュレータはプリバイアスされた負荷でも起動できるようになります。

LTC3883 はトラッキング機能を備えていませんが、2つの出力に同じ TON\_RISE と TON\_DELAY 時間を設定すれば、実効的に両者は同時にランプ・アップします。RUN ピンを同時に解放し、両方の LTC3883 が同じタイムベースを使用していれば、出力は互いにわずかな差異でトラッキングします。回路が PolyPhase 構成の場合、すべてのタイミング・パラメータが同じでなければなりません。

ここで説明した起動シーケンシングの方法は時間ベースです。連結イベントによる起動では、異なるコントローラの GPIO ピンを使って、RUN ピンを制御できます。GPIO ピンは、コンバータの出力電圧が  $V_{OUT\_UV\_FAULT\_LIMIT}$  よりも大きくなった時点で解放されるように構成できます。その場合は、デグリッチされた  $V_{OUT}$  の UV フォルト・リミットの使用を推奨します。コンバータが UV しきい値をよぎってから GPIO ピンが解放されるまでに、短いながら無視できない時間遅延が存在するためです。デグリッチされた出力は、MFR\_GPIO\_PROPAGATE\_LTC3883 コマンドの MFR\_GPIO\_PROPAGATE\_VOUT\_UVUF ビットをセットすることでイネーブルできます。(本書の PMBus コマンド MFR のセクションを参照してください。) デグリッチされた信号でも、 $V_{OUT}$  信号がコンパレータのしきい値をよぎって遷移する際に、ある程度のグリッチが生じる場合があります。この問題を最小限に抑えるために、250 $\mu s$  の小さなデジタル・フィルタが内蔵されています。GPIO ピンにグリッチが発生する危険性をできるだけ小さくするために、TON\_RISE の時間は 100ms より短くしてください。それでも GPIO に好ましくない遷移が発生する場合は、GPIO ピンからグランドにコンデンサを接続して波形をフィルタリングします。このフィルタの RC 時定数は十分に短くして、検知できるほどの遅延が発生しないようにします。値を 300 $\mu s$  ~ 500 $\mu s$  とすれば、トリガ・イベントを著しく遅延させることなく、フィルタリングの効果のある程度強化できます。

## アプリケーション情報

### デジタル・サーボ・モード

安定化出力電圧に最大限の精度を求めるならば、MFR\_PWM\_MODE\_LTC3883 コマンドのビット6をアサートして、デジタル・サーボ・ループをイネーブルします。デジタル・サーボ・モードでは、ADCによる電圧読み出し値に基づいて安定化出力電圧を調整します。デジタル・サーボ・ループは、出力が正確なADC読み出し値になるまで、90msごとにDACのLSBだけ(1.375mVまたは0.6875mV。電圧レンジ・ビットによる)電圧をステップさせます。電源投入時、このモードはTON\_MAX\_FAULT\_LIMITの経過後に起動します(値が0(無期限)に設定されていない場合)。TON\_MAX\_FAULT\_LIMITが0(無期限)に設定されている場合、サーボ制御はTON\_RISEが経過し、VOUTがVOUT\_UV\_FAULT\_LIMITを超えた時点で開始されます。これと同時に、出力は不連続モードから、MFR\_PWM\_MODE\_LTC3883のビット0と1によってプログラムされたモードに移行します。時間ベースのシーケンシングにおけるVOUT波形の詳細は、図21を参照してください。

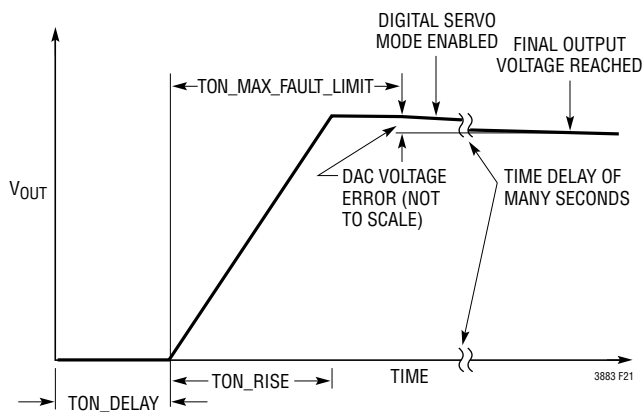


図21. タイミング制御されたV<sub>OUT</sub>の立ち上がり

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

1. TON\_RISEシーケンスの完了後
2. TON\_MAX\_FAULT\_LIMITの時間の経過後、および
3. VOUT\_UV\_FAULT\_LIMITを超えるか、IOUT\_OC\_FAULT\_LIMITがアクティブでなくなった時点

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

1. TON\_RISEシーケンスの完了後
2. TON\_MAX\_FAULT\_LIMITの時間が経過し、VOUT\_UV\_FAULTとIOUT\_OC\_FAULTのいずれも存在しない場合。

立ち上がり時間の最大値は1.3秒に制限されています。

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

### ソフトオフ(シーケンス制御によるオフ)

LTC3883は、制御された起動に加えて、制御されたターンオフにも対応しています。図22にTOFF\_DELAYとTOFF\_FALLの機能を示します。TOFF\_FALLはRUNピンが“L”に遷移するか、デバイスがオフするように指示されたときに処理されます。デバイスがフォルトによってオフしたり、GPIOが外部から“L”に引き下げられ、デバイスがこれに応答するようにプログラムされていた場合、出力は制御されたランプ動作を示す代わりにトライステート状態に移行します。この場合の出力は、負荷に応じて減衰します。

出力電圧は、デバイスが強制連続モードで動作し、十分に長いTOFF\_FALL時間が設定されていて電力段が目標とする勾配を実現できる場合は、図22のように動作します。TOFF\_FALL時間を満足できるのは、電力段とコントローラが十分な電流をシンクでき、立ち下がり時間が終了するまで

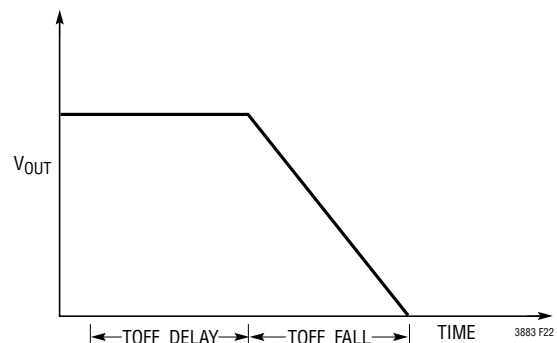


図22. TOFF\_DELAYとTOFF\_FALL

## アプリケーション情報

に出力を確実に0Vまで低下させることができる場合だけです。TOFF\_FALL時間が負荷容量の放電に必要な時間よりも短いと、出力は目標とする0V状態に到達しません。TOFF\_FALL時間が経過すると、コントローラは電流のシンクを停止し、その後のV<sub>OUT</sub>は負荷インピーダンスで決まる速度で自然に減衰していきます。コントローラが不連続モードで動作している場合、コントローラは負の電流を流さず、出力は電力段ではなく負荷によって“L”に引き下げられます。立ち下がり時間の最大値は1.3秒に制限されています。TOFF\_FALL時間を短く設定するほど、TOFF\_FALLのランプはギザギザになります。ランプには、TOFF\_FALL/0.1msの数だけステップが現れます。

### INTV<sub>CC</sub>レギュレータ

INTV<sub>CC</sub>レギュレータLTC3883はV<sub>IN</sub>電源からINTV<sub>CC</sub>に電力を供給する、NPNリニア・レギュレータを備えています。INTV<sub>CC</sub>はゲート・ドライバ、V<sub>DD33</sub>、およびLTC3883の内部回路のほとんどに電力を供給します。リニア・レギュレータは、V<sub>IN</sub>が6.5Vより高い場合、INTV<sub>CC</sub>ピンに5Vを発生します。このレギュレータは100mAのピーク電流を供給可能であり、1μF以上のセラミック・コンデンサまたは低ESRの電解コンデンサでグラウンドにバイパスする必要があります。使用するバルク・コンデンサの種類に関わらず、0.1μFセラミック・コンデンサをINTV<sub>CC</sub>ピンとPGNDピンのすぐ隣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トランジエント電流を供給するには、十分なバイパスが必要です。LTC3883-1は、NPNリニア・レギュレータを搭載していないため、外部5V電源が必要です。

大きなMOSFETが高い周波数で駆動される高入力電圧アプリケーションでは、LTC3883の最大接合部温度定格を超える恐れがあります。大部分がゲート充電電流からなるINTV<sub>CC</sub>電流は、内部の5Vリニア・レギュレータか、LTC3883-1では外部の5Vレギュレータから供給できます。内部レギュレータを有効にしてLTC3883を使用する場合、ICを介した電力はV<sub>IN</sub>・I<sub>INTVCC</sub>に等しくなります。ゲート充電電流は、「効率に関する検討事項」で検討するとおり、動作周波数によって決まります。接合部温度は「電気的特性」のNote 2の式を使って

推定できます。たとえば、周囲温度が70°Cで、入力電源24Vで動作するLTC3883のINTV<sub>CC</sub>電流が52mA未満に制限されている場合の接合部温度は、次のように計算できます。

$$T_J = 70^\circ\text{C} + 52\text{mA} \cdot 24\text{V} \cdot 44^\circ\text{C/W} = 125^\circ\text{C}$$

最大接合部温度の超過を防ぐには、LTC3883-1を使用してください。LTC3883-1では、INTV<sub>CC</sub>リニア・レギュレータはデイスエーブルされ、内部にはV<sub>IN</sub>から約2mAの電流が供給されます。5Vのスイッチング・レギュレータからEXTV<sub>CC</sub>ピンに給電することで、システム効率と熱特性に著しいメリットが得られます。ゲート・ドライバと制御回路によって決まるV<sub>IN</sub>電流は、次の比率でスケールされます。

$$\left( \frac{V_{\text{EXTVCC}}}{V_{\text{IN}}} \right) \left( \frac{1}{\text{Efficiency}} \right)$$

EXTV<sub>CC</sub>ピンを5V電源に接続すると(LTC3883-1のみ)、前の例の接合部温度は125°Cから次の値まで下がります。

$$T_J = 70^\circ\text{C} + 52\text{mA} \cdot 5\text{V} \cdot 44^\circ\text{C/W} + 2\text{mA} \cdot 24\text{V} \cdot 44^\circ\text{C/W} = 103^\circ\text{C}$$

LTC3883のINTV<sub>CC</sub>を外部電源に接続しないでください。INTV<sub>CC</sub>が外部電源を“H”に引き上げようとして電流制限に達し、ダイ温度を著しく高めるためです。

V<sub>IN</sub>が5Vのアプリケーションでは、V<sub>IN</sub>ピンとINTV<sub>CC</sub>ピンを相互に接続し、結合されたこれらのピンを、図23に示すように1Ωまたは2.2Ωの抵抗を使って5V入力に接続します。ゲート充電電流による電圧降下を最小限に抑えるために、V<sub>IN</sub>/INTV<sub>CC</sub> (EXTV<sub>CC</sub>)ピンに低ESRのコンデンサを接続する必要があります。上記の構成による動作は、INTV<sub>CC</sub> (EXTV<sub>CC</sub>)リニア・レギュレータよりも優先され、INTV<sub>CC</sub> (EXTV<sub>CC</sub>)の過度の低下を防ぎます。INTV<sub>CC</sub> (EXTV<sub>CC</sub>)電

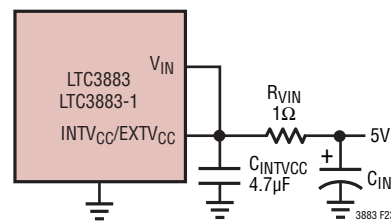


図23.5V入力に対する設定

## アプリケーション情報

圧がMOSFETの $R_{DS(ON)}$ テスト電圧(ロジック・レベルのデバイスの場合、標準4.5V)より高いことを確認してください。INTV<sub>CC</sub>(EXTV<sub>CC</sub>)のUVLOは約4Vに設定されています。LTC3883とLTC3883-1のどちらもこの構成を使用できます。

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

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

V<sub>IN</sub>/V<sub>OUT</sub>の比率が大きいデザイン中には、PWMジッタが観測されたものがありました。しかし、このジッタは回路の精度にさほど大きな影響を与えません。図24を参照して、ダイオードのカソードとBOOSTピンの間に1Ω～5Ωの直列抵抗を挿入すれば、PWMジッタは除去できます。ESLを減らして最適の結果を得るには、ケース・サイズが0603以上の抵抗を推奨します。

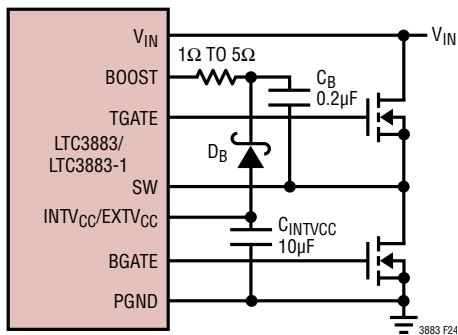


図24. PWMジッタを最小限に抑える昇圧回路

### 低電圧ロックアウト

LTC3883は、内部しきい値に基づくUVLOによって初期化されます。その条件は、V<sub>IN</sub>が約4V、INTV<sub>CC</sub>/EXTV<sub>CC</sub>、V<sub>DD33</sub>、V<sub>DD25</sub>がレギュレーション値の約20%以内にあることです。さらに、RUNピンが解放される前に、V<sub>DD33</sub>が目標値の約7%以内に入っていないとなりません。デバイス初期化の完了後、別のコンパレータがV<sub>IN</sub>をモニタします。電源シーケンシングが開始されるには、VIN\_ONのしきい値を超える必要があります。V<sub>IN</sub>がVIN\_OFFしきい値よりも低下すると、SHARE\_CLKピンが“L”に引き下げられます。コントローラが再起動するには、V<sub>IN</sub>がVIN\_ONしきい値よりも高くなる必要があります。VIN\_ONしきい値を超えると、通常の起動シーケンスが有効になります。たとえGPIOが“L”時に $\overline{ALERT}$ がアサートされないように設定していても、V<sub>IN</sub>印加時に $\overline{GPIO}$ が“L”の場合、 $\overline{ALERT}$ は“L”にアサートされてしまいます。LTC3883のリセットが解除される前にI<sup>2</sup>C通信が発生した場合は、デバイスにコマンドの一部しか見えないので、CMLフォルトと解釈される可能性があります。CMLフォルトが検出されると、 $\overline{ALERT}$ は“L”にアサートされます。

V<sub>DD33</sub>電源を外部から駆動している場合、アプリケーション内でNVMの内容をプログラムできます。この構成では、高電圧部分を動作させずに、LTC3883のデジタル部分をアクティブにします。この電源構成ではPMBus通信が有効です。V<sub>IN</sub>が印加されたことのないLTC3883では、MFR\_COMMONのビット3(NVMが未初期化)が“L”にアサートされます。この状態が検出された場合、デバイスはアドレス5Aと5Bにしか応答しません。デバイスを初期化するには、次の一連のコマンドを発行します。グローバル・アドレス0x5B、コマンド0xBD、データ0x2Bに続いて、グローバル・アドレス5B、コマンド0xBD、データ0xC4。この操作によって、デバイスは正しいアドレスに응答するようになります。デバイスに必要な構成を設定し、STORE\_USER\_ALLを発行します。V<sub>IN</sub>を印加したらMFR\_RESETコマンドを発行して、PWMをイネーブルし、有効なADC変換を読み出せるようにする必要があります。

### C<sub>IN</sub>とC<sub>OUT</sub>の選択

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

## アプリケーション情報

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

この式は  $V_{IN} = 2V_{OUT}$  で最大値を取ります。ここで、 $I_{RMS} = I_{OUT}/2$  です。設計では多くの場合、この単純なワーストケース条件が使用されます。条件を大きく振っても値は改善されないからです。コンデンサ・メーカーが定めるリップル電流定格は、多くの場合、わずか2000時間の動作寿命に基づいていることに注意が必要です。このため、コンデンサをさらにデレーティングする、つまり要件よりも高い温度定格のコンデンサを選択するようにしてください。設計でのサイズまたは高さの要件に適合させるため、複数のコンデンサを並列に接続できます。LTC3883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。疑問点がある場合は、必ずメーカーにお問い合わせください。

LTC3883の2位相動作によるメリットは、電力の大きい方のコントローラに対して上式を使用し、次に両方のコントローラのチャネルが同時にオンするときに生じるとされる損失を計算することによって推定できます。両方のコントローラが動作しているときは、入力コンデンサのESRを流れる電流パルスのオーバーラップが減るため、総RMS電力損失が減少します。これが、デュアル・コントローラの設計では、ワーストケースのコントローラについて上式で計算した入力コンデンサの要件で十分である理由です。さらに、2位相システムではピーク電流が減少するため、入力保護ヒューズの抵抗、バッテリー抵抗、およびPC基板のトレース抵抗による各損失も減少します。マルチフェーズ設計の総合的なメリットがすべて得られるのは、効率のテストに電源/バッテリーのソース・インピーダンスが含まれている場合だけです。上側MOSFETのソースは互いに1cm以内に配置し、 $C_{IN}$ を共有させます。ソースと $C_{IN}$ を離すと、 $V_{IN}$ に望ましくない電圧共振や電流共振が生じる可能性があります。

小さな(0.1 $\mu$ F ~ 1 $\mu$ F)バイパス・コンデンサをLTC3883の近くに配置し、 $V_{IN}$ ピンとグランドの間に挿入することを推奨します。 $C_{IN}$ (C1)と $V_{IN}$ ピンの間に抵抗(2.2 $\Omega$  ~ 10 $\Omega$ )を置くと2つのLTC3883間の絶縁を強化できます。

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

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

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

## フォルト状態

LTC3883の $\overline{GPIO}$ ピンは、OV、UV、OC、OT、タイミング、ピーク過電流などの各種フォルトを表示するように構成できます。さらに、 $\overline{GPIO}$ ピンを外部ソースによって“L”に引き下げ、システムの他の部分で発生したフォルトを示すことも可能です。フォルトに対する応答は構成可能であり、次のようなオプションを選択できます。

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

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

OVに対する応答は自動です。OV状態が検出されると、TGが“L”に遷移しBGがアサートされます。

LTC3883ではフォルト・ログが可能です。フォルト・ログ機能は、デバイスのフォルト・オフを引き起こすフォルトが発生したときにデータを自動的に格納するように構成できます。フォルト・ログ・テーブルのヘッダ部分にはピーク値が格納されます。これらの値は、いつでも読み出すことができます。データはフォルトのトラブルシューティングに役立ちます。

LTC3883の内部温度が85°Cを超えている場合のNVMへの書き込みは推奨できません。そのような場合でも、3.3V電源がUVLOしきい値を下回っていなければデータはRAM内に保持されます。ダイ温度が130°Cを超えると、120°Cを下回るまでNVMとの通信はすべてディスエーブルされます。

## アプリケーション情報

### オープンドレイン・ピン

LTC3883には、次のオープンドレイン・ピンがあります。

#### 3.3Vピン

1.  $\overline{\text{GPIO}}$
2. SYNC
3. SHARE\_CLK
4. PGOOD

5Vピン(5Vピンは3.3Vに引き下げられても正常に動作します。)

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

上記のピンには、いずれも0.4Vで3mAをシンクできる内蔵プルダウン・トランジスタが接続されています。ピンの“L”側しきい値は1.4Vであることから電流3mAのデジタル信号に対して十分なマージンが確保されています。3.3Vピンの場合、3mAの電流は1.1k抵抗によって得られます。プルアップ抵抗やグラウンドへの寄生容量のRC時定数に伴うトランジェント速度が問題にならないならば、通常、10k以上の抵抗を推奨します。

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

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

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

SYNCピンには、公称500nsの間、出力を“L”に保持する内蔵プルダウン・トランジスタが接続されています。内部発振器が

500kHzに設定され、負荷が100pF、3単位の時定数が必要な場合、抵抗は次のように計算できます。

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

最も近い1%抵抗は4.99kです。

タイミング・エラーが発生する場合、またはSYNC周波数に必要な速度を得られない場合は、波形をモニタし、RC時定数がアプリケーションに対して長すぎないかを判断します。可能ならば、寄生容量を低減します。それが困難な場合は、適切なタイミングが得られるようにプルアップ抵抗を十分に小さくします。

### フェーズロック・ループと周波数同期

LTC3883には内部の電圧制御発振器(VCO)と位相検出器によって構成されるフェーズロック・ループ(PLL)が内蔵されています。PLLはSYNCピンの立ち下がりエッジにロックされます。PWMコントローラとSYNCの立ち下がりエッジとの間の位相関係は、MFR\_PWM\_CONFIG\_LTC3883コマンドの下位3ビットで制御されます。PolyPhaseアプリケーションでは、すべての位相を等間隔に離すことを推奨します。したがって、2位相システムでは信号間の位相差を180度に、4位相システムでは90度にします。

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

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

PLLにはロック検出回路があります。動作中にPLLのロックが外れた場合、STATUS\_MFR\_SPECIFICコマンドのビット4がアサートされ、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンが“L”に引き下げられます。このフォルトは、上記のビットに1を書き込むことでクリアできます。電源投入時に同期クロックを使用できない場合でもPLL\_FAULTを表示させたくない場合は、MFR\_CONFIG\_ALL\_LTC3883コマンドのビット3をアサートする必要があります。

## アプリケーション情報

アプリケーション内でSYNC信号がクロック動作していない場合、PLLはVCOの最低自走周波数で動作します。これはアプリケーションに求められるPWM周波数を著しく下回ると思われ、コンバータ動作に不具合を招く可能性があります。

PWM信号の動作周波数が高すぎると思われる場合は、SYNCピンをモニタします。立ち上がりエッジに余分な遷移が含まれると、PLLは目的とする信号ではなく、ノイズに対してロックしようとします。デジタル制御信号の配線を再確認し、SYNC信号に対するクロストークを最小限に抑えて問題を予防してください。PolyPhase構成では、複数のLTC3883の間でSYNCピンを共用する必要があります。その他の構成の場合は必要に応じて共用します。複数のLTC3883間でSYNCピンを共用する場合、周波数出力用にプログラムするLTC3883は1つだけにしてください。残りのLTC3883は、いずれも外部クロックを使用するようにプログラムします。

### 最小オン時間に関する検討事項

最小オン時間 $t_{ON(MIN)}$ は、LTC3883が上側MOSFETをオンすることができる最小時間です。これは内部タイミング遅延と上側MOSFETをオフするのに必要なゲート電荷の量によって決まります。低デューティ・サイクルのアプリケーションでは、この最小オン時間のリミットに接近する可能性があるため、次の条件を満たすように注意してください。

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

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

LTC3883の最小オン時間は(PCBレイアウトが適切であれば)約90ns、インダクタ電流リップルは最小で30%、電流検出信号のリップルは少なくとも10mV~15mVです。最小オン時間はPCBの電圧ループや電流ループのスイッチング・ノイズの影響を受けることがあります。ピーク電流検出電圧が低下するに従って最小オン時間は130nsまで徐々に増加します。これは、強制連続アプリケーションでリップル電流が小さく負荷が軽い場合に、特に懸念される点です。この状況でデューティ・サイ

クルが最小オン時間のリミットを下回ると、大きなサイクル・スキップが発生する可能性があります、それに応じて電流および電圧のリップルが大きくなります。

### 入力電流検出アンプ

LTC3883の入力電流検出アンプは、内部検出抵抗を用いて、 $V_{IN}$ ピンに流れ込む電源電流を検出できます。また、外付けの検出抵抗によって、電力段の電流の検出も可能です。不連続な入力電流による高周波ノイズは、入力電流の測定に誤差を生む可能性があります。このノイズは、大電流アプリケーションや降圧比が大きいアプリケーションにおいて最大になります。このノイズが入力電流検出アンプの入力および電源に乗らないように注意が必要です。それには、慎重なレイアウトを行うとともに、 $V_{IN}$ 、 $V_{IN\_SNS}$ 、 $I_{IN\_SNS}$ ピンをフィルタリングします。 $V_{IN}$ ピンのフィルタには、このピンのできるだけ近くに配置した抵抗とセラミック・コンデンサを使用します。 $V_{IN}$ 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。ほとんどのアプリケーションでは $3\Omega$ の抵抗で十分です。この抵抗は、 $V_{IN}$ ピンに流れ込む電流によって、電源から $V_{IN}$ ピンに向けてIR電圧降下を発生します。この電圧降下を補償するために、MFR\_RVINコマンドの値に抵抗の公称値を設定してください。LTC3883は、MFR\_READ\_ICHIPの測定値に、ユーザが定義したMFR\_RVINの値を掛け、得られた電圧を $V_{IN}$ ピンの電圧測定値に加えます。つまり、 $READ\_VIN = V_{VIN\_PIN} + (MFR\_READ\_ICHIP \cdot MFR\_RVIN)$ となり、このコマンドは $V_{IN}$ 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に設定します。

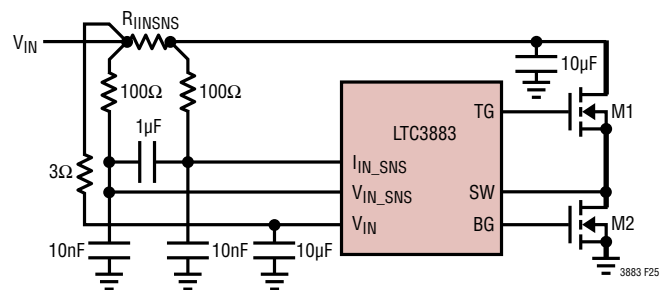


図 25. 低ノイズの入力電流検出回路



## アプリケーション情報

$V_{IN\_SNS}$ と $I_{IN\_SNS}$ ピンの両方にフィルタが必要です。許容誤差1%の100 $\Omega$ 抵抗を $R_{IINSNS}$ に、10nFのセラミック・コンデンサをGNDに接続します。GNDへのコンデンサをより大きな値にしてフィルタを強化することも可能です。入力電流検出アンプの利得は100 $\Omega$ のフィルタ抵抗に対して校正されているため、これ以外のフィルタ抵抗値を使用すると入力電流の測定に誤差を生じます。アンプの入力フィルタ・ネットワークは、 $V_{IN\_SNS}$ および $I_{IN\_SNS}$ ピンのできるだけ近くに配置してください。

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

入力電流検出アンプを使用しない場合は、 $V_{IN}$ 、 $V_{IN\_SNS}$ 、 $I_{IN\_SNS}$ ピンを相互に短絡します。

### RCONFIG (外付け抵抗構成設定ピン)

LTC3883のNVMのデフォルトは、RCONFIGピンを優先して参照するように設定されています。出力電圧、PWMの周波数や位相を、ユーザによるデバイスのプログラミングなしで設定したい場合、または特別にプログラム済みのデバイスを購入した場合は、 $FREQ\_CFG$ 、 $VOUT\_CFG$ 、 $VTRIM\_CFG$ ピンによって、これらのパラメータを設定できます。外付け部品を減らすために、 $FREQ\_CFG$ 、 $VOUT\_CFG$ 、 $VTRIM\_CFG$ ピンはフロート状態のままにすることができます。この場合、LTC3883はデフォルト値としてNVMに格納された該当するパラメータを使用します。ASELピンは、ホストがデバイス・アドレスを喪失した場合に備え、常に抵抗分割器による設定を行ってください。

RCONFIGピンを外部から設定するには、LTC3883の $V_{DD25}$ とGND間に抵抗分割器を接続します。RCONFIGピンがモニタされるのは、初期の電源投入時とリセット時だけです。したがって、デバイスへの通電後にたとえばA/Dなどによってこれらの値を変更しても、何の効果も得られません。適切な動作を確保するには、許容誤差1%以下の抵抗を使用する必要があります。また、これらのピンの近くにノイズの大きいクロック信号を配線しないでください。

### 電圧の選択

RCONFIGピンの $VOUT\_CFG$ および $VTRIM\_CFG$ を使って出力電圧を設定した場合、以下のパラメータには、出力電圧に一定の比率(パーセント)を掛けた値が設定されます。

• $VOUT\_OV\_FAULT\_LIMIT$	+10%
• $VOUT\_OV\_WARN\_LIMIT$	+7.5%
• $VOUT\_MAX$	+7.5%
• $VOUT\_MARGIN\_HIGH$	+5%
• $POWER\_GOOD\_ON$	-7%
• $POWER\_GOOD\_OFF$	-8%
• $VOUT\_MARGIN\_LOW$	-5%
• $VOUT\_UV\_WARN\_LIMIT$	-6.5%
• $VOUT\_UV\_FAULT\_LIMIT$	-7%

RCONFIGピンの $VOUT\_CFG$ および $VTRIM\_CFG$ による出力電圧の設定については、表12と13を参照してください。 $R_{TOP}$ は $V_{DD25}$ とピンの間、 $R_{BOTTOM}$ はピンとSGNDの間に接続します。適切な動作を確保するには、許容誤差1%の抵抗を使用する必要があります。

出力電圧のセットポイントは次式で表されます。

$$V_{SETPOINT} = VOUT\_CFG + VTRIM\_CFG$$

たとえば、 $VOUT\_CFG$ ピンの $R_{TOP}$ に24.9k、 $R_{BOTTOM}$ に4.32kを使用し、 $VTRIM\_CFG$ ピンでは $R_{TOP}$ を挿入せず、 $R_{BOTTOM}$ を0 $\Omega$ とした場合、セットポイントは次のように計算できます。

$$V_{SETPOINT} = 1.1V - 0.099V = 1.001V$$

0.5V～3.3Vの範囲で出力電圧に奇数の値が必要な場合は、 $VOUT\_CFG$ の抵抗分割器だけを使用し、 $VTRIM$ ピンは開放するか、 $V_{DD25}$ に短絡します。出力のセットポイントを5Vにする場合、 $VOUT\_CFG$ は $R_{TOP}$ を10k、 $R_{BOTTOM}$ を23.2kに設定し、 $VTRIM\_CFG$ は $R_{TOP}$ を20k、 $R_{BOTTOM}$ を11kに設定する必要があります。

RCONFIGピンを使って出力電圧を設定すると、デバイスは自動的に低電圧レンジまたは高電圧レンジに設定されます。2.5V以下の $V_{OUT}$ 電圧は低電圧レンジに設定され、2.5Vを超える電圧はすべて高電圧レンジに設定されます。

## アプリケーション情報

表 12. VOUT\_CFG

R <sub>TOP</sub> (kΩ)	R <sub>BOTTOM</sub> (kΩ)	V <sub>OUT</sub> (V)
0または開放	開放	NVM
10	23.2	VTRIM参照
10	15.8	3.3
16.2	20.5	3.1
16.2	17.4	2.9
20	17.8	2.7
20	15	2.5
20	12.7	2.3
20	11	2.1
24.9	11.3	1.9
24.9	9.09	1.7
24.9	7.32	1.5
24.9	5.76	1.3
24.9	4.32	1.1
30.1	3.57	0.9
30.1	1.96	0.7
開放	0	0.5

表 13. VTRIM\_CFG

R <sub>TOP</sub> (kΩ)	R <sub>BOTTOM</sub> (kΩ)	V <sub>SET</sub> 電圧に 対する V <sub>TRIM</sub> に よる変化 (mV)	V <sub>OUT</sub> (V) V <sub>OUT</sub> を 10kΩ/23.3kΩ に 設定した場合
0または開放	開放	0	
10	23.2	99	
10	15.8	86.625	
16.2	20.5	74.25	
16.2	17.4	61.875	
20	17.8	49.5	
20	15	37.125	5.5
20	12.7	24.75	5.25
20	11	12.375	5
24.9	11.3	-12.375	4.75
24.9	9.09	-24.75	4.5
24.9	7.32	-37.125	4.25
24.9	5.76	-49.5	4
24.9	4.32	-61.875	3.75
30.1	3.57	-74.25	3.63
30.1	1.96	-86.625	3.5
開放	0	-99	3.46

表 14. FREQ\_CFG (SYNCの立ち下がりエッジを基準とした位相)

R <sub>TOP</sub> (kΩ)	R <sub>BOTTOM</sub> (kΩ)	周波数 (kHz)	θ <sub>SYNC</sub> ~ θ <sub>0</sub> 位相差	説明
0 or Open	Open	NVM	NVM	NVM
10	23.2	250	0	2位相
10	15.8	250	120	3位相
16.2	20.5	250	180	2位相
16.2	17.4	425	0	2位相
20	17.8	425	120	3位相
20	15	425	180	2位相
20	12.7	500	0	2位相
24.9	11.3	500	180	2位相
24.9	9.09	575	0	2位相
24.9	7.32	575	120	3位相
24.9	5.76	575	180	2位相
24.9	4.32	650	0	2位相
30.1	3.57	650	120	3位相
30.1	1.96	650	180	2位相
Open	0	External Clock	0	2位相

## アプリケーション情報

### RCONFIGによる周波数と位相の選択

周波数と位相のコマンドは、RCONFIGピンによって設定する場合、連動します。PMBusコマンドを使用する場合は、これら2つのパラメータは独立しています。出力を生成するのに複数のLTC3883を使用するPolyPhase構成では、SYNCピンを共有する必要があります。構成がPolyPhaseでなければSYNCピンを共有する必要はありません。LTC3883間でSYNCピンを共有する場合、1本のSYNCピンだけを周波数出力に設定し、それ以外のSYNCピンはすべて外部クロック用に設定する必要があります。

たとえば、425kHzのクロックによって駆動される2位相構成の場合、一方のLTC3883は必要な周波数と位相に設定し、もう一方は外部クロックを使用するように設定します。すべての位相の基準は、SYNCの立ち上がりエッジです。

LTC3883チップ1の周波数を425kHz、位相シフトを180度に設定するには、RCONFIGに次の値を使用します。

$$R_{TOP} = 20k\Omega \text{ および } R_{BOTTOM} = 15k\Omega$$

LTC3883チップ2の周波数を外部クロック、位相シフトを0度に設定するには、RCONFIGに次の値を使用します。

$$R_{TOP} = \text{開放} \text{ および } R_{BOTTOM} = 0\Omega$$

周波数350kHz、750kHz、1000kHzはNVMのプログラミングによってのみ設定できます。6位相構成が必要な場合は、NVMプログラミングを使用すると最適の位相設定を得られます。それ以外の周波数および位相は、すべてFREQ\_CFGピンによって構成できます。

### RCONFIGによるアドレス選択

LTC3883のアドレスは、NVMに格納されたアドレスとASELピンの組み合わせによって選択できます。デバイス・アドレスの上位3ビットはNVMに格納された上位3ビットによって設定され、デバイス・アドレスの下位4ビットはASELピンによって設定されます。これによって、NVMに1種類のアドレスをプログラムする場合、1枚の基板上に16個の異なるLTC3883を実装できます。

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

アドレス0x40を選択するには、 $R_{TOP} = \text{開放}$ 、 $R_{BOTTOM} = 0\Omega$ とします。

アドレス0x45を選択するには、 $R_{TOP} = 24.9k$ 、 $R_{BOTTOM} = 7.32k$ とします。

アドレス0x4Eを選択するには、 $R_{TOP} = 10.0k$ 、 $R_{BOTTOM} = 15.8k$ とします。

表 15A<sup>1</sup>. LTC3883のMFR\_ADDRESSコマンドの例(7ビットと8ビットの両アドレス指定について表示)

説明	デバイス・アドレス(16進)		ビット								R/W
	7ビット	8ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	
Rail <sup>4</sup>	0x5A	0xB4	0	1	0	1	1	0	1	0	0
Global <sup>4</sup>	0x5B	0xB6	0	1	0	1	1	0	1	1	0
Default	0x4F	0x9E	0	1	0	0	1	1	1	1	0
Example 1	0x60	0xC0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Example 2	0x61	0xC2	0	1	1	0	0	0	0	1	0
Disabled <sup>2,3,5</sup>			1	0	0	0	0	0	0	0	0

Note 1: この表は、MFR\_RAIL\_ADDRESSコマンドとMFR\_ADDRESSコマンドに適用される。

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

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

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

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

表 15. ASEL

$R_{TOP}$ (k $\Omega$ )	$R_{BOTTOM}$ (k $\Omega$ )	スレーブ・アドレス	LSB(16進)
0または開放	開放	NVM	
10	23.2	NVM (3MSBs)_1111	F
10	15.8	NVM (3MSBs)_1110	E
16.2	20.5	NVM (3MSBs)_1101	D
16.2	17.4	NVM (3MSBs)_1100	C
20	17.8	NVM (3MSBs)_1011	B
20	15	NVM (3MSBs)_1010	A
20	12.7	NVM (3MSBs)_1001	9
20	11	NVM (3MSBs)_1000	8
24.9	11.3	NVM (3MSBs)_0111	7
24.9	9.09	NVM (3MSBs)_0110	6
24.9	7.32	NVM (3MSBs)_0101	5
24.9	5.76	NVM (3MSBs)_0100	4
24.9	4.32	NVM (3MSBs)_0011	3
30.1	3.57	NVM (3MSBs)_0010	2
30.1	1.96	NVM (3MSBs)_0001	1
開放	0	NVM (3MSBs)_0000	0

## アプリケーション情報

## 効率に関する検討事項

スイッチング・レギュレータのパーセント表示の効率は、出力電力を入力電力で割って100%を掛けた値です。個々の損失を解析して、どのような要素が効率を制限し、何を変更すれば最も効率が改善されるかを判断できる場合が少なくありません。パーセント表示での効率は、次式で表すことができます。

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

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

回路内の電力を消費するすべての要素で損失が生じますが、LTC3883の回路の損失の大部分は、次の4つの主な損失要因によって生じます。1) デバイスの $V_{IN}$ 電流、2) INTV<sub>CC</sub>レギュレータの電流、3) I<sup>2</sup>R損失、4) 上側MOSFETの遷移損失です。

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

LTC3883-1の場合、出力から派生した電源によってEXTV<sub>CC</sub>に給電すると、ドライバや制御回路に必要な $V_{IN}$ 電流には、次式で与えられる倍率が掛けられます。

$$\left( \frac{V_{EXTVCC}}{V_{IN}} \right) \left( \frac{1}{\text{Efficiency}} \right)$$

たとえば、20Vから5Vへの降圧アプリケーションでは、INTV<sub>CC</sub>電流が10mAの場合、 $V_{IN}$ 電流は約2.5mAになります。これにより、(ドライバが $V_{IN}$ から直接電力を供給されている場合)中間電流損失は、10%以上からわずかに数パーセントに減少します。

3. I<sup>2</sup>R損失は、ヒューズ(使用する場合)、MOSFET、インダクタ、電流検出抵抗の各DC抵抗から予測できます。連続モードでは、LやR<sub>SENSE</sub>に平均出力電流が流れますが、上側MOSFETと同期MOSFETの間で「チョッピング」されます。2個のMOSFETのR<sub>DS(ON)</sub>がほぼ同じ場合は、いずれか一方のMOSFETの抵抗にLの抵抗とR<sub>SENSE</sub>を加算するだけでI<sup>2</sup>R損失を求めることができます。たとえば、各MOSFETのR<sub>DS(ON)</sub>が10mΩ、R<sub>L</sub> = 10mΩ、R<sub>SENSE</sub> = 5mΩであれば、全抵抗は25mΩになります。この結果、5V出力の場合、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<sub>OUT</sub>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MOSFETだけに生じ、しかも高入力電圧(通常15V以上)で動作しているときに限って大きくなります。遷移損失は次式から概算できます。

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

銅トレースや内部バッテリー抵抗など他の「隠れた」損失は、携帯用システムではさらに5%~10%の効率低下を生じる可能性があります。これらの「システム」レベルの損失を設計段階で含めることが非常に重要です。内部バッテリーとヒューズの抵抗損失は、スイッチング周波数においてC<sub>IN</sub>に適切な電荷を蓄積し、ESRを小さくすれば最小に抑えることができます。25W電源では、通常容量を20μF~40μF以上、ESRを20mΩ~50mΩ以下にする必要があります。LTC3883の2位相アーキテクチャの場合、通常必要な入力容量は競合製品に比べて半分になります。その他の損失(デッドタイム中のショットキ・ダイオードの導通損失やインダクタのコア損失など)は、合計しても一般には2%未満の損失増にしかなりません。

## トランジェント応答の確認

レギュレータのループ応答は、負荷電流のトランジェント応答を調べることで確認できます。スイッチング・レギュレータは、DC(抵抗性)負荷電流のステップにตอบสนอง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<sub>OUT</sub>はΔI<sub>LOAD</sub>(ESR)に等しい大きさだけシフトします。ここで、ESRはC<sub>OUT</sub>の等価

## アプリケーション情報

直列抵抗です。また $\Delta I_{LOAD}$ は、 $C_{OUT}$ の充電または放電を開始して、帰還誤差信号を発生します。この信号によりレギュレータは、電流変化に適応して $V_{OUT}$ を定常状態の値に戻すよう強制されます。この回復期間に、安定性に問題があることを示す過度のオーバーシュートやリングングが発生しないか、 $V_{OUT}$ をモニタできます。 $I_{TH}$ ピンを備えているため、制御ループの動作を最適化できるだけでなく、DC結合され、ACフィルタを通した閉ループ応答のテスト・ポイントが与えられます。このテスト・ポイントでのDCステップ、立ち上がり時間、およびセトリングは、閉ループ応答を正確に反映します。2次特性が支配的なシステムを想定すれば、位相余裕や減衰係数は、このピンに現れるオーバーシュートのパーセンテージから概算できます。このピンの立ち上がり時間を調べることで、帯域幅も概算できます。「標準的応用例」の回路に示す $I_{TH}$ ピンの外付け部品は、ほとんどのアプリケーションにおいて検討着手時の妥当な初期値として使えます。ループ利得に影響を与えるプログラム可能なパラメータは2つだけです。電圧レンジを決めるMFR\_PWM\_CONFIG\_LTC3883コマンドのビット5と6、および電流レンジを決めるMFR\_PWM\_MODE\_LTC3883コマンドのビット7です。補償の計算の前に、必ずこれらのパラメータを確定しておいてください。

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

この信号は帰還ループ内にあり、フィルタされ、補償された制御ループ応答です。ループの利得は $R_C$ を大きくすると増加し、ループの帯域幅は $C_C$ を小さくすると広がります。 $C_C$ を減少させるのと同じ比率で $R_C$ を増加させると、ゼロの周波数は変化しないため、帰還ループの最も重要な周波数範囲で位相シフトが一定に保たれます。出力電圧のセトリング動作は閉ループ・システムの安定性に関係し、電源全体の実際の性能を表します。

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

### PolyPhase 構成

複数のLTC3883/LTC3880によるPolyPhaseレールを構成する場合、両デバイスでSYNC、 $I_{TH}$ 、SHARE\_CLK、GPIO、 $\overline{ALERT}$ の各ピンを共有する必要があります。GPIO、SHARE\_CLK、 $\overline{ALERT}$ ピンにプルアップ抵抗を接続することを忘れないでください。1つのデバイスのSYNCピンを目標とするスイッチング周波数に設定し、その他のすべてのデバイスのFREQUENCY\_SWITCHコマンドは外部クロックに設定します。外部発振器からクロックを供給する場合は、すべてのデバイスのFREQUENCY\_SWITCHコマンドを外部クロックに設定します。全チャンネル間の相対位相は、等間隔にしてください。また、MFR\_RAIL\_ADDRESSには、すべてのデバイスに同じ値を設定します。

複数のLTC3883によるPolyPhaseのレールを接続する場合、それらの $V_{IN}$ ピンは、 $V_{IN}$ フィルタ・ネットワークを介して直接電源電圧に戻します。標準的応用例の回路「高効率500kHz 2位相1.8V降圧コンバータ(検出抵抗方式)」を参照してください。

## アプリケーション情報

3位相のLTC3883/LTC3880を接続する場合は、LTC3880のV<sub>IN</sub>ピンと電力段を、LTC3883の入力電流検出抵抗の下流側に接続します。これによって、レールの総入力電流を測定できるようになります。標準的応用例の回路「高効率350kHz3位相1.8V降圧コンバータ(入力電流検出方式)」を参照してください。LTC3883/LTC3880アプリケーションの3つのインダクタすべてについてインダクタDCRを計算できます。LTC3883の位相に対してDCRの自動校正ルーチンは、他の2つの位相を遮断することで可能になります。LTC3880の位相に対するインダクタDCRは、LTC3883のREAD\_IINの値と、LTC3880の位相のMFR\_READ\_IINの値を使って計算できます。ユーザは、他の2つの位相を遮断して対応するLTC3880位相のIOUT\_CAL\_GAINを調整できます。アクティブな位相に対するMFR\_READ\_IINとLTC3883のREAD\_IINが等しくなるように調整します。

また、位相を一度に1つずつ遮断し、残りの2つの位相をアクティブにすることで、3つのインダクタすべてのDCRを校正できます。ただし、LTC3883の位相に対してDCR自動校正ルーチンは使用できません。すべてのインダクタのIOUT\_CAL\_GAINの値は、手順を開始する前に、DCRの公称値DCR<sub>NOM</sub>に設定しておく必要があります。

手順の実行中は、回路を定常負荷状態に保ち、コンバータはCCMで動作させます。出力電流検出ネットワークの両端の6mVとともに、検出抵抗R<sub>IINSENS</sub>の両端にも平均6mVの信号が発生するように十分な負荷電流を流します。ユーザは、まずLTC3883のREAD\_IINの値と、3つの位相すべてのREAD\_IOUTの値を記録する必要があります。これらの値を、READ\_IIN\_A、READ\_IOUT\_1A、READ\_IOUT\_2A、READ\_IOUT\_3Aと呼ぶことにします。

次に、位相1を遮断し、LTC3883のREAD\_IINの値と、アクティブな2つの位相のREAD\_IOUTを記録します。これらの値を、READ\_IIN\_B、READ\_IOUT\_2B、READ\_IOUT\_3Bと呼ぶことにします。

位相1のDCRを計算するには、次式を使います。

READ\_IIN\_A = READ\_IIN\_Bであることを確認します。

位相1の実際の電流IOUT\_1Aは、次式で計算できます。

$$IOUT\_1A = READ\_IIN\_A - READ\_IIN\_A \cdot \frac{(READ\_IOUT\_2A + READ\_IOUT\_3A)}{(READ\_IOUT\_2B + READ\_IOUT\_3B)}$$

位相1のインダクタの実際のDCRは、次式によって正しい値に校正できます。

$$DCR\_CAL = DCR\_NOM \cdot (IOUT\_1A/READ\_IOUT\_A)$$

次に、IOUT\_CAL\_GAINコマンドの値を、インダクタDCRの校正済みの値DCR\_CALに更新する必要があります。

以上の手順を繰り返して、位相2と3のインダクタDCRも決定します。

インダクタDCRを正確に計算するために遵守すべき動作条件の詳細は、「アプリケーション情報」の「インダクタDCRの自動校正」の項を参照してください。

## PC基板レイアウトのチェックリスト

プリント回路基板をレイアウトするときは、以下のチェックリストを使用して、このデバイスが正しく動作するようにします。これらの項目は図26のレイアウト図にも示してあります。連続モードで動作している同期レギュレータのさまざまな枝路に現れる電流波形を図27に示します。レイアウトでは、以下の項目をチェックしてください。

1. 上側NチャネルMOSFET (M1)が、C<sub>IN</sub>から1cm以内に配置されていますか。
2. グランドと電源グラウンドが分離されていますか。1つにまとめたこのデバイスのグラウンド・ピンとC<sub>INTVCC</sub>のグラウンド・リターンは、1つにまとめたC<sub>OUT</sub>の(-)端子に戻す必要があります。I<sub>TH</sub>のトレースはできるだけ短くします。上側のNチャネルMOSFET、ショットキ・ダイオードおよびC<sub>IN</sub>コンデンサで形成される経路のリードとPCトレースを短くします。コンデンサは互いに隣接させ、また上記のショットキ・ループからは離して配置し、出力コンデンサの(-)端子と入力コンデンサの(-)端子を可能な限り近づけて接続してください。
3. I<sub>SENSE</sub><sup>+</sup>とI<sub>SENSE</sub><sup>-</sup>のリードは、PCの最小トレース間隔で並走するように配線されていますか。I<sub>SENSE</sub><sup>+</sup>とI<sub>SENSE</sub><sup>-</sup>間のフィルタ・コンデンサは、デバイスにできるだけ近づけてください。検出抵抗またはインダクタのうち、いずれか電流検

## アプリケーション情報

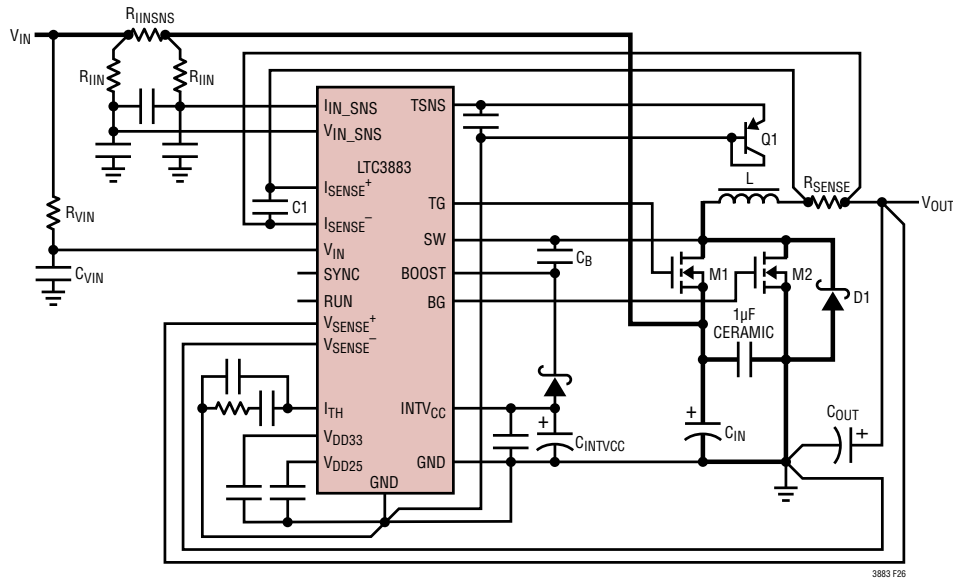


図 26. プリント回路基板の推奨レイアウト図

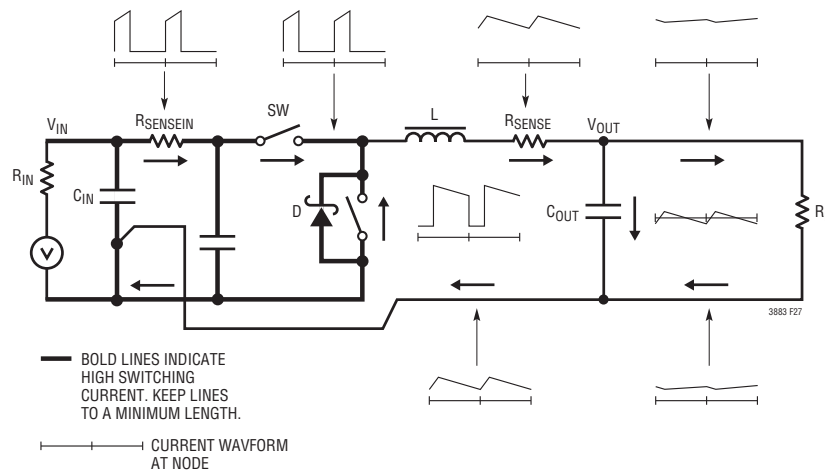


図 27. 枝路電流の波形

出に使用する素子に対してはケルビン接続を用い、正確に電流を検出できるようにします。

- INTV<sub>CC</sub>のデカップリング・コンデンサは、INTV<sub>CC</sub>と電源グラウンド・ピン間に、デバイスの近くで接続されていますか。このコンデンサはMOSFETドライバのピーク電流を供給します。1μFセラミック・コンデンサを1個、INTV<sub>CC</sub>ピンとPGNDピンのすぐ隣に追加すると、ノイズ性能を大幅に改善できます。

- スイッチング・ノード(SW)、上側のゲート・ノード(TG)、およびブースト・ノード(BOOST)は、ノイズに敏感な小信号ノード、特に電圧および電流の検出帰還ピンから離してください。これらすべてのノードの信号は非常に大きく高速に変化するので、LTC3883の「出力側」に置き、基板のトレース面積を最小限に抑えます。DCR検出を使用する場合、上側の抵抗(図18aのR1)をスイッチング・ノードの近くに配置します。

## アプリケーション情報

- 改良型の「スター・グランド」手法を使用します。これは、入力コンデンサおよび出力コンデンサと同じ基板面に低インピーダンスの大きな銅領域の中央接地点を設け、ここにINTV<sub>CC</sub>デカップリング・コンデンサの下側、電圧帰還抵抗分圧器の下側、およびデバイスのGNDピンを接続する方法です。
- V<sub>IN\_SNS</sub>とI<sub>IN\_SNS</sub>のフィルタは、検出抵抗R<sub>SENSEIN</sub>にケルビン接続されていますか。この接続方法は、PCBのトレース抵抗による入力電流測定の見誤差を予防します。これらのトレースは、できるだけ短くするとともに、スイッチング・ノードやブースト・ノードなどのノイズの大きなノードから離して配線する必要があります。
- V<sub>IN</sub>のフィルタは、R<sub>SENSEIN</sub>抵抗の入力側にケルビン接続されていますか。電力段の不連続な電流によって生じる、アンプの入力とアンプの電源間の電圧トランジェントを低減すると、入力電流検出アンプのノイズ性能を向上する効果が得られます。

## PC基板レイアウトのデバッグ

回路をテストするとき、DC～50MHzの電流プローブを使用してインダクタの電流をモニタすることは有用です。出力スイッチング・ノード(SW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、さらに、出力負荷が低電流動作しきい値(Burst Mode動作では通常最大設計電流レベルの10%)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。

適切に設計によって実装された低ノイズのPCBにおいては、デューティ・サイクルのパーセンテージがサイクル間で変動しません。低調波の周期でデューティ・サイクルが変動する場合、電流検出入力または電圧検出入力で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の最適化が不要であれば、ループの過補償を用いてPCレイアウトの不備を補うことができます。

V<sub>IN</sub>を公称レベルより小さくして、ドロップアウト状態のレギュレータ動作を検証します。出力をモニタして動作を確認しながら、さらにV<sub>IN</sub>を低下させ、低電圧ロックアウト回路の動作を確認します。

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

## 設計例

中程度の電流レギュレータの設計例として、以下を仮定します：V<sub>IN</sub> = 12V (公称値)、V<sub>IN</sub> = 20V (最大値)、V<sub>OUT</sub> = 3.3V、I<sub>MAX</sub> = 15A、およびf = 500kHz (図28参照)。

安定化出力は、NVMに格納されたVOUT\_COMMANDまたは、次の値を持つ、VDD25、RCONFIGピン、SGND間の抵抗分割器によって決まります。

- VOUT\_CFG: R<sub>TOP</sub> = 10k、R<sub>BOTTOM</sub> = 15.8k
- VTRIM\_CFG: 開放

周波数と位相はNVMによって設定するか、R<sub>TOP</sub> = 20k、R<sub>BOTTOM</sub> = 12.7kの抵抗分割器をVDD25、FREQ\_CFG、GND間に接続することで設定します。アドレスはXFに設定します。XはNVMに格納された上位ビットです。

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

- VOUT\_OV\_FAULT\_LIMIT ..... +10%
- VOUT\_OV\_WARN\_LIMIT ..... +7.5%
- VOUT\_MAX ..... +7.5%
- VOUT\_MARGIN\_HIGH ..... +5%
- POWER\_GOOD\_ON ..... -7%
- POWER\_GOOD\_OFF ..... -8%
- VOUT\_MARGIN\_LOW ..... -5%
- VOUT\_UV\_WARN\_LIMIT ..... -6.5%
- VOUT\_UV\_FAULT\_LIMIT ..... -7%



## アプリケーション情報

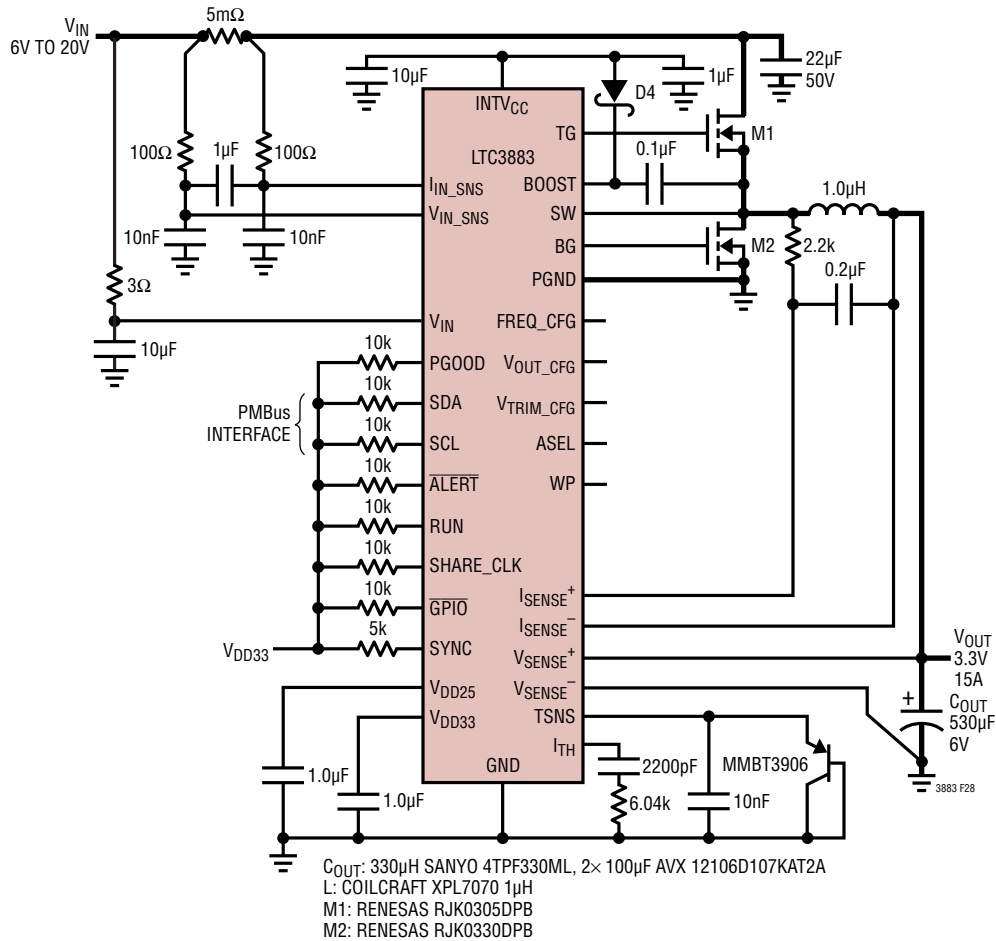


図28. 500kHz/3.3V 高効率降圧コンバータ

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

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

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

コントローラに必要な値は1.05μHです。この値に最も近い標準値は1μHです。公称入力におけるリップル電流は次のように計算できます。

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

リップル電流は4.79A (32%)です。ピーク・インダクタ電流は、最大DC値にリップル電流の半分を加えた値(つまり17.39A)になります。最小オン時間は最大 $V_{IN}$ で生じ、90nsより短くならないようにします。

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

選択したインダクタは、Vishay社のIHLP4040DZ-11 1μH (DCR<sub>Typ</sub> = 2.3mΩ@25°C)です。

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

$$R1 = \frac{L}{(DCR \text{ at } 25^\circ C) \cdot C1} = \frac{1\mu H}{2.5m\Omega \cdot 0.2\mu F} = 1.37k$$

## アプリケーション情報

R<sub>0</sub>による最大電力損失はデューティ・サイクルと関係があり、連続モード時の最大入力電圧で発生します。

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

$$= \frac{(20 - 1.8) \cdot 1.8}{1.37k} = 23.91\text{mW}$$

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

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

この値に最も近いV<sub>LIMIT</sub>の設定は、42.9mVまたは46.4mVです。これらの値は、IOUT\_OC\_FAULT\_LIMITコマンドによって入力します。予想される変動と検出コンデンサの実験室における測定に基づいて、ユーザは最適の設定を決定できます。

上側のMOSFETの電力損失は容易に推定できます。上側MOSFETには、RENESAS社のRJK0305DPB (R<sub>DS(ON)</sub> = 10mΩ, C<sub>MILLER</sub> = 75pF)を選択します。最大入力電圧、推定温度50°C、下側MOSFETにRENESAS RJK0330DPB (R<sub>DS(ON)</sub> = 3mΩ)を使用した場合、上側MOSFETの損失は次のようになります。

$$P_{\text{MAIN}} = \frac{1.8\text{V}}{20\text{V}} \cdot (17.25)^2 \cdot [1 + (0.005)(50^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})]$$

$$\cdot 0.01\Omega + (20\text{V})^2 (8.695\text{A}) \cdot \left( \frac{1}{5 - 2.3} + \frac{1}{2.3} \right)$$

$$(75\text{pF})(500\text{kHz}) = 0.406\text{W}$$

下側MOSFETの損失は、次のように計算できます。

$$P_{\text{SYNC}} = \frac{(20\text{V} - 1.8\text{V})}{20\text{V}} \cdot (17.25\text{A})^2 \cdot [1 + (0.005)(50^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})] \cdot 0.003\Omega$$

$$= 0.913\text{W}$$

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

C<sub>IN</sub>は、次式で表されるRMS電流定格に適合するように選択します。

$$C_{\text{IN Required}} I_{\text{RMS}} = \frac{17.25}{20} [(1.8) \cdot (20 - 1.8)]^{1/2}$$

$$= 4.9\text{A}$$

C<sub>OUT</sub>は、出力リップルが小さくなるようにESRが0.006Ωのものを選択します。連続モードでの出力リップルは、入力電圧が最大の際に最大になります。ESRによる出力電圧リップルは、次のとおりです。

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

## USB-to-I<sup>2</sup>C/SMBus/PMBusコントローラとLTC3883のシステム内接続

USBとI<sup>2</sup>C/SMBus/PMBusを接続するLTCコントローラは、プログラミング、テレメトリおよびシステム・デバッグのために、ユーザの基板上的LTC3883との間のインタフェースを提供します。このコントローラをLTpowerPlayと併用すると、電源システム全体の強力なデバッグ手段になります。テレメトリ、フォルト状態コマンドおよびフォルト・ログを使って、短時間で故障を診断できます。最終構成を短時間で開発し、LTC3883のEEPROMに格納できます。

システム電源の有無に関わらず、LTCのI<sup>2</sup>C/SMBus/PMBusコントローラを介して、1個または複数のLTC3883に対する給電、プログラミングおよび通信が可能な応用回路を図29に示します。システム電源が存在しない場合、V<sub>DD33</sub>電源ピンからドングルによってLTC3883に給電します。V<sub>IN</sub>を印加せず、V<sub>DD33</sub>ピンが給電されているデバイスを初期化するには、グローバル・アドレス0x5B、コマンド0xBD、データ0x2B、続いてアドレス0x5B、コマンド0xBD、データ0xC4を使用します。これによって、デバイスとの通信が可能になり、プロジェクト・ファイルが更新されます。更新されたプロジェクト・ファイルをNVMに書き込むには、STORE\_USER\_ALLコマンドを発行します。VINを印加したらMFR\_RESETコマンドを発行して、PWMをイネーブルして、ADCの有効な値を読み出せるようにする必要があります。

コントローラの電流ソース能力が制限されているため、OR接続された3.3V電源からは、LTC3883、それらに関連したプルアップ抵抗およびI<sup>2</sup>Cのプルアップ抵抗だけに給電します。さらに、I<sup>2</sup>Cバス接続をLTC3883と共有しているどのデバイスも、SDA/SCLピンとそのV<sub>DD</sub>ノードの間にボディ・ダイオードが形

## アプリケーション情報

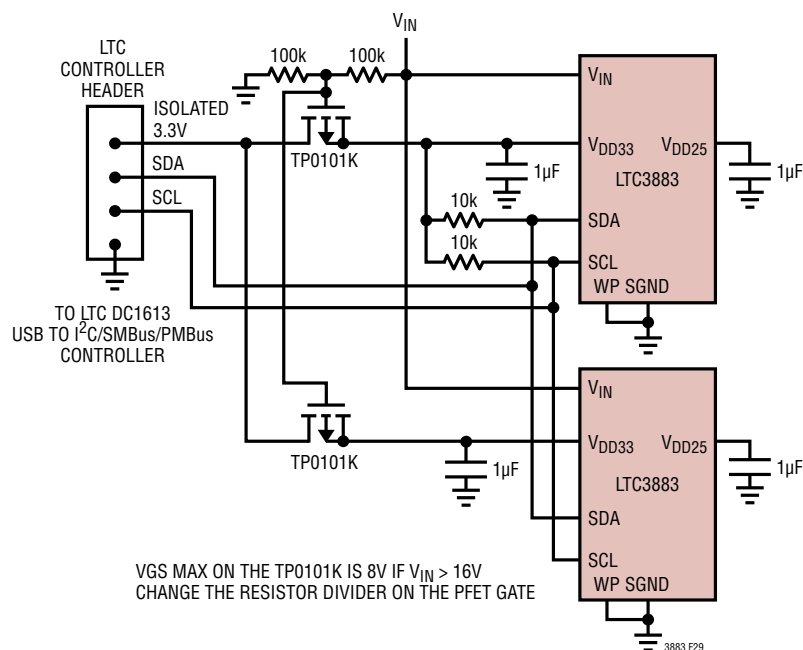


図 29. LTC コントローラの接続

成されないようにします。これは、システム電源が存在しない場合にバス通信に干渉するからです。 $V_{IN}$ が印加されている場合、ドングルは基板上的 LTC3883 に給電しません。デバイスの構成が完了するまで負荷に電力が供給されないように、RUN ピンを“L”に保持しておくことを推奨します。

LTC のコントローラの I<sup>2</sup>C 接続は PC の USB から光絶縁されています。コントローラの 3.3V と LTC3883 の  $V_{DD33}$  ピンは、独立した PFET によって各 LTC3883 を駆動する必要があります。 $V_{IN}$  を印加していない場合、内蔵 LDO がオフしているため、 $V_{DD33}$  ピンは並列にすることができます。コントローラの 3.3V の電流制限は 100mA ですが、 $V_{DD33}$  の電流の代表値は 15mA 未満です。 $V_{DD33}$  は  $INTV_{CC}/EXTV_{CC}$  ピンをバック・ドライブします。通常、 $V_{IN}$  が開放であれば、これは問題になりません。

## インダクタ DCR の自動較正

インダクタの直流抵抗を電流シャント素子として使用すると、電力損失が増えないこと、回路を簡素化し低コスト化を図れるといった利点があります。しかし、インダクタの規定された公称 DCR 値と実際の DCR 値の間の誤差に比例して、ピーク電流制限と出力電流の読み出し値にも誤差が生じます。LTC3883 には、代表値からの許容誤差を補償する、インダク

タ DCR 値の較正機能があります。MFR\_PWM\_MODE\_3883 コマンドのビット 3 をセットすると、較正手順が開始されます。較正手順を適切に完了するには、PWM がイネーブル、DUTY\_CYCLE 値が 3% 以上、READ\_IIN 値が 10mA 以上、IOUT\_CAL\_GAIN の較正後の値が較正前の  $\pm 30\%$  以内となる必要があります。これらの条件のいずれか 1 つでも満たされないと、STATUS\_CML コマンドのビット 0 がセットされ、IOUT\_CAL\_GAIN の値は変更されません。

インダクタ DCR の較正では、正確に較正を行なえるように、180ms のコマンド実行中、電源電圧、出力電圧、負荷電流が定常状態になければなりません。DCR 較正に使用する READ\_IIN と READ\_IOUT の値を確実に TUE 1% 以内とするために、出力電流検出ネットワークの両端の電圧を 6mV にするとともに、検出抵抗  $R_{IINSENS}$  の両端の信号電圧を平均 6mV 以上とする十分な負荷電流を流す必要があります。インダクタ DCR は、READ\_IIN の測定値に READ\_DUTY\_CYCLE の測定値を掛けて出力電流の計算値を求めることで較正します。つづいて LTC3883 は、READ\_IOUT の測定値が、電力段の入力電流とデューティ・サイクルに基づく出力電流の計算値に一致するように IOUT\_CAL\_GAIN の値を更新して、 $READ\_IOUT \cdot DUTY\_CYCLE = READ\_IIN$  の関係が成り立つようにします。

## アプリケーション情報

### 正確なDCR 温度補償

インダクタの直流抵抗を電流シャント素子として使用すると、電力損失が増えないこと、回路を簡素化し低コスト化を図れるといった利点があります。しかし、インダクタの抵抗には強い温度依存性があり、インダクタのコア温度を正確に測定するのは困難であることから、電流測定に誤差を生じます。銅の場合、インダクタ温度がわずか1°C変わっただけで電流利得は約0.39%も変化します。図30に、DC/DCコンバータのレイアウト例(右)と、その熱画像(左)を示します。コンバータは出力の負荷に1.8V、1.5Aを供給しています。

高負荷条件におけるインダクタの発熱は、インダクタと温度センサの間に過渡的および定常的な熱勾配を生み出し、検出した温度はインダクタのコア温度を正確には表しません。この温度勾配は図30の熱画像で明らかに見ることができます。さらに、負荷電流の変化の方がインダクタの熱伝達時定数よりも速い場合は、過渡誤差を低減するために過渡的な加熱、冷却効果を考慮する必要があります。これら2つの課題には、2つのパラメータすなわち、インダクタのコアから基板上の温度センサへの熱抵抗 $\theta_{IS}$ と、インダクタの熱時定数 $\tau$ を追加することで対処できます。熱抵抗 $\theta_{IS}$  [°C/W]は、インダクタの特定

の電力損失 $P_I$ に対して、検出された $T_S$ とインダクタ内部温度 $T_I$ の定常状態における差を計算するために使用します。

$$T_I - T_S = \theta_{IS} P_I = \theta_{IS} V_{DCR} I_{OUT}$$

さらに温度上昇を追加して、より正確にインダクタの直流抵抗 $R_I$ を求めます。

$$R_I = R_0 (1 + \alpha [T_S - T_{REF} + \theta_{IS} V_{DCR} I_{OUT}])$$

上の式で、 $V_{DCR}$ はインダクタの直流電圧降下、 $I_{OUT}$ は出力電流のRMS値、 $R_0$ は基準温度 $T_{REF}$ でのインダクタの直流抵抗、 $\alpha$ は抵抗の温度係数です。ほとんどのインダクタは銅でできているので、温度係数 $\alpha_{CU} = 3900 \text{ppm}/^\circ\text{C}$ に近いと予測できます。ある $\alpha$ に対して、他のパラメータ $\theta_{IS}$ と $R_0$ は2つの負荷電流だけを用いて1つの温度で校正できます。

$$R_0 = \frac{(R_2 - R_1)(P_2 + P_1) - (R_2 + R_1)(P_2 - P_1)}{\alpha(T_2 - T_1)(P_2 + P_1) - (P_2 - P_1)(2 + \alpha[T_1 + T_2 - 2T_{REF}])}$$

$$\theta_{IS} = \frac{1}{\alpha R_0} \cdot \frac{\alpha(R_1 + R_2)(T_2 - T_1) - (R_2 - R_1)(2 + \alpha[T_1 + T_2 - 2T_{REF}])}{\alpha(T_2 - T_1)(P_2 + P_1) - (P_2 - P_1)(2 + \alpha[T_1 + T_2 - 2T_{REF}])}$$

インダクタの抵抗 $R_K = V_{DCR}(K) / I_{OUT}(K)$ 、電力損失 $P_K = V_{DCR}(K) \cdot I_{OUT}(K)$ 、検出した温度 $T_K$  ( $K = 1, 2$ )は各負荷電

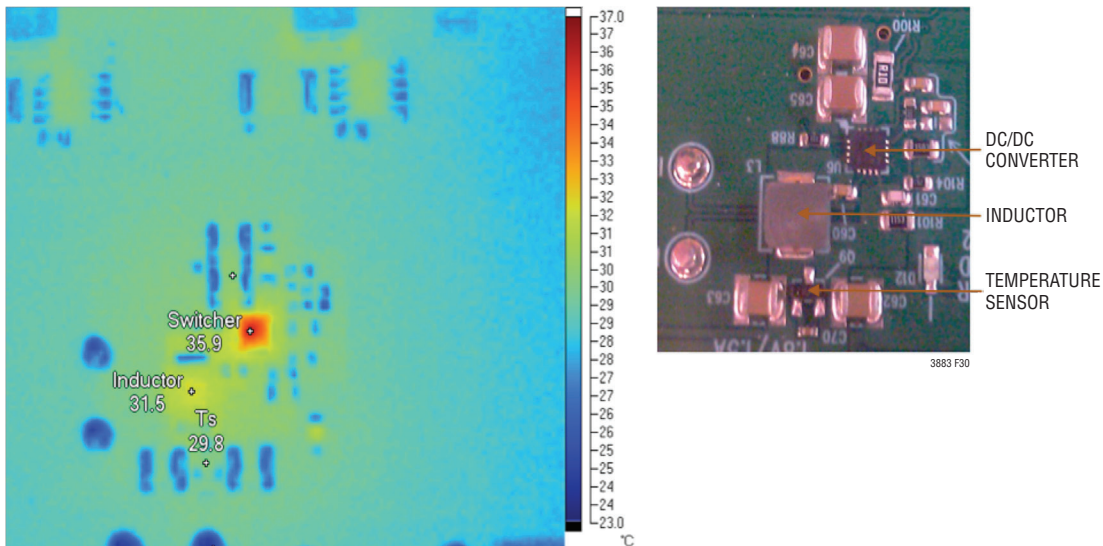


図30. 熱画像とレイアウト写真

## アプリケーション情報

流について記録されます。 $\theta_{IS}$ の計算精度を上げるには、2つの負荷電流をシステムの電流範囲の $I_1 = 10\%$ 、 $I_2 = 90\%$ 程度になるように選択してください。

インダクタの熱時定数 $\tau$ はインダクタの1次熱応答をモデル化し、負荷トランジェントの間のDCRを正確に補償できるようにします。低負荷電流から高負荷電流への遷移時には、インダクタの抵抗は自己発熱のために上昇します。低電流 $I_1$ から高電流 $I_2$ へと1段階の負荷ステップを適用すると、インダクタの両端の電圧は、即座に $I_1R_1$ から $I_2R_1$ へと変化し、その後ゆっくりと $I_2R_2$ に近づきます。ここで、 $R_1$ は特定の温度と負荷電流 $I_1$ における定常状態抵抗値、 $R_2$ は負荷電流 $I_2$ によるインダクタの自己発熱のためにわずかに増加した直流抵抗値です。電氣的時定数 $\tau_{EL} = L/R$ は熱時定数よりも数桁短く、「即座に」とは熱時定数に比べての表現であることに注意してください。この2つの落ち着いた領域から2組のデータ( $I_1$ ,  $T_1$ ,  $R_1$ ,  $P_1$ )と( $I_2$ ,  $T_2$ ,  $R_2$ ,  $P_2$ )が得られ、2点較正の方法(1.3-1.4)を適用して定常状態でのパラメータ $\theta_{IS}$ と $R_0$ を(これまでに評価した平均 $\alpha$ を前提に)求めます。定常状態の式(1.2)を用いて計算した相対的電流誤差は負荷ステップの直後にピークを迎え、その後インダクタの熱時定数 $\tau$ でゼロまで減衰します。

$$\frac{\Delta I}{I}(t) = \alpha \theta_{IS} (V_2 I_2 - V_1 I_1) e^{-t/\tau}$$

時定数 $\tau$ は最適近似直線 $y = \ln(\Delta I/I) = a_1 + a_2 t$ の傾きから次のように求めます。

$$\tau = -\frac{1}{a_2}$$

以上をまとめると、DCR電流測定を較正するには、負荷電流を1回ステップさせるだけで良いということです。応答の安定した部分が熱抵抗 $\theta_{IS}$ と公称直流抵抗 $R_0$ を与え、セトリング特性を用いてインダクタの熱時定数 $\tau$ を測定します。

最良の動作を得るには、温度センサはインダクタにできるだけ近く、その他の大きな熱源からできるだけ離して配置してください。たとえば、図30では検出用のバイポーラ・トランジスタをインダクタの近く、スイッチ用デバイスからは離して配置しています。PNPトランジスタのコレクタをローカルな電源グラウンド・プレーンに接続するとインダクタへの良い熱接続が得ら

れます。一方ベースとエミッタはLTC3883に別個に配線して、ベースはLTC3883に近い信号グラウンドに接続してください。

## LTpowerPlay: デジタル電源用の対話型 GUI

LTpowerPlayは、LTC3883をはじめとするリニアテクノロジー社のデジタル・パワー ICをサポートする、Windowsベースの強力な開発環境です。このソフトウェアは、さまざまな作業を幅広く支援します。LTpowerPlayにデモ・ボードやユーザ・アプリケーションを接続することで、リニアテクノロジー社のICを評価できます。LTpowerPlayはオフライン・モード(ハードウェア不要)による使用も可能です。このモードは、保存しておいて後ほど再度読み込むことができる、複数のIC構成ファイルを作成するために使用します。過去に例のない高度な診断とデバッグ機能も装備されました。いまや基板開発時の電源システムのプログラムや調整、あるいは電源レール開発時の電源に関する問題の診断における、貴重な診断ツールとなりました。LTpowerPlayは、DC1778A デモ・ボード、DC1890A ソケット付きプログラミング・ボード、顧客ターゲット・システムをはじめとする多くの潜在的ターゲットの1つと、リニアテクノロジー社のUSB-to-I<sup>2</sup>C/SMBus/PMBus コントローラを介して通信します。このソフトウェアは、最新のデバイス・ドライバやドキュメンテーションとともにリビジョンを常に最新に保つ自動更新機能も備えています。LTpowerPlayでは、いくつかのチュートリアル・デモを含む、充実したコンテキスト対応ヘルプを利用することができます。詳細な情報は、<http://www.linear.com/ltpowerplay>より入手できます。

## PMBus 通信とコマンド処理

LTC3883/LTC3883-1は、サポート対象コマンドのそれぞれに対して最後に書き込まれたデータを処理前に保持しておく深さ1のバッファを備えています(図32「書き込みコマンドのデータ処理」参照)。デバイスは、バスから新しいコマンドを受信すると、そのデータを書き込みコマンド・データ・バッファにコピーします。次に内部プロセッサに対して、このコマンド・データのフェッチが必要であることを知らせ、さらにコマンドを実行できるように内部形式に変換します。

2つの独立した並列ブロックがコマンドのバッファ入出力とコマンド処理(フェッチ、変換、実行)を管理するため、いかなるコマンドであれ最後に書き込まれたデータは決して失われる

## アプリケーション情報

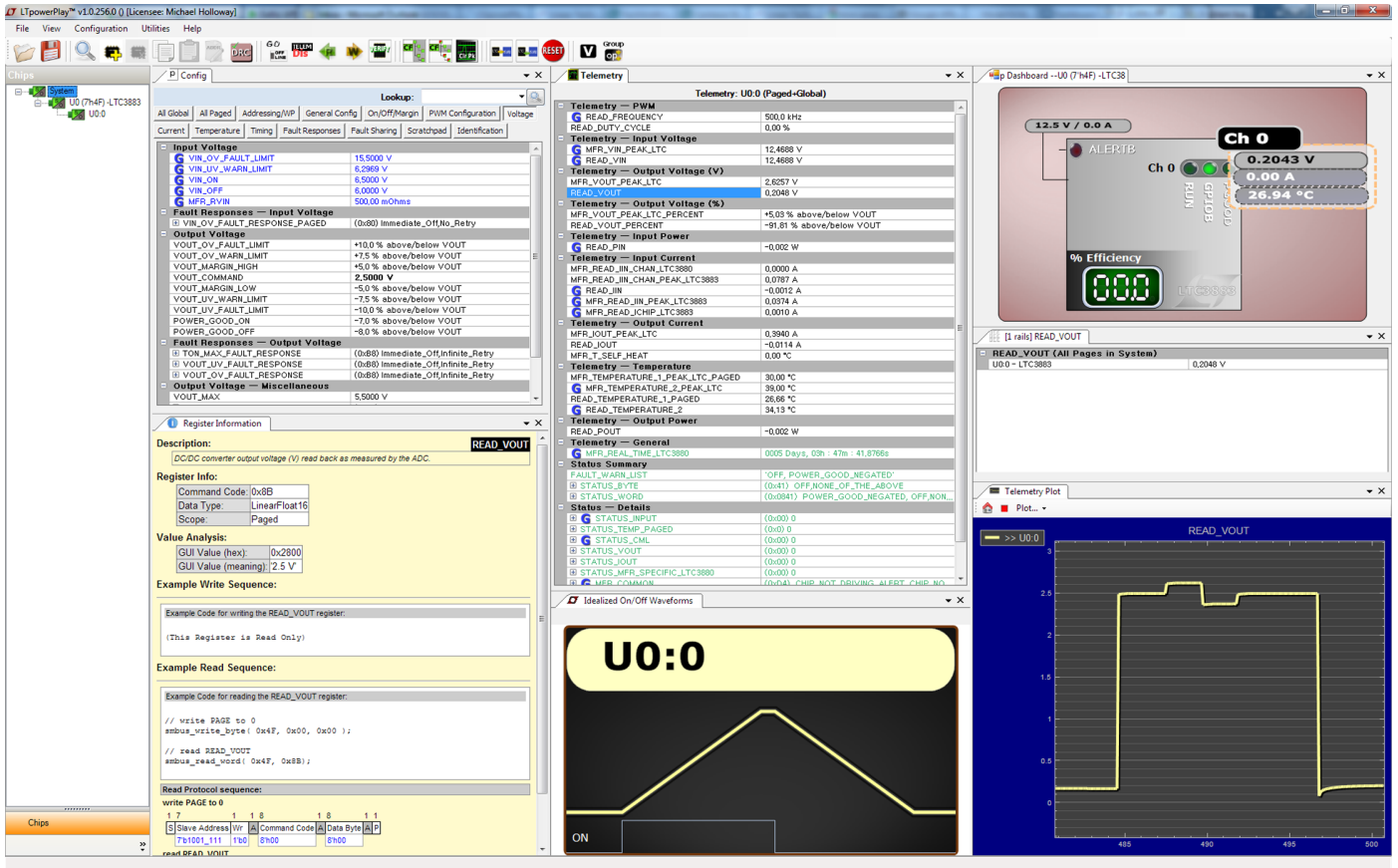


図31. LTpowerPlayの画面

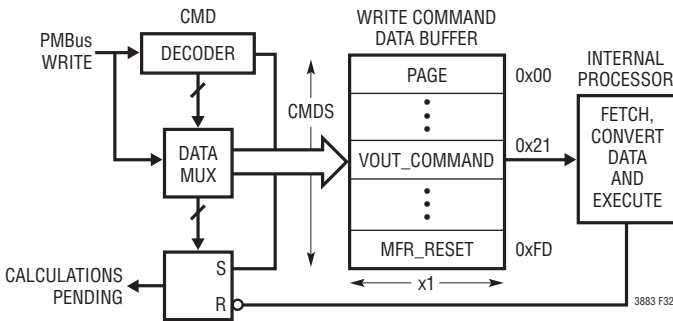


図32. コマンド・データ書き込み処理

ことがありません。このバッファ入出力動作では、受信される PMBus書き込みを処理するために、書き込みコマンド・データ・バッファにコマンド・データを格納し、将来の処理に備えてそれらにマークを付けます。内部プロセッサは並列動作することで、処理が必要としてマークされたコマンドのフェッチ、変換、実行など、低速となる可能性のあるタスクに対処します。

計算の比重が大きいコマンド(例: タイミング・パラメータ、温度、電圧と電流)の一部では、内部プロセッサの処理時間

がPMBusのタイミングに比べて長くなる場合があります。コマンド処理のためにデバイスがビジーの間に新たなコマンドが受信されると、実行が遅延されたり、受信とは異なる順序で処理される場合があります。デバイスは、内部で計算処理中であることを、MFR\_COMMONのビット5(「計算は保留中ではない」)によって表示します。デバイスが計算のためにビジーである間、ビット5はクリアされます。このビットがセットされた時点で、デバイスは新たなコマンドを実行できるようになります。図33にポーリング・ループの例を示します。コマンドが確実に順序どおり処理されるようにするとともに、エラー処理ルーチンを簡素化するループです。

```
// wait until bits 6, 5, and 4 of MFR_COMMON are all set
do
{
    mfrCommonValue = PMBUS_READ_BYTE(0xEF);
    partReady = (mfrCommonValue & 0x70) == 0x70;
}while(!partReady)
```

図33. VOUT\_COMMANDのコマンド書き込みの例

## アプリケーション情報

デバイスはビジー中に新しいコマンドを受信すると、ビジー状態であることを標準のPMBusプロトコルによって知らせます。この通知には、デバイスの構成に応じて、コマンドに対するNACK応答か、読み出しの場合はオール1(0xFF)を使用します。BUSYフォルトの生成とALERT通知、またはSCLクロックの“L”期間のストレッチも使うことができます。詳細は、「PMBus Specification v1.1, Part II, Section 10.8.7」と「SMBus v2.0 section 4.3.3」を参照してください。クロック・ストレッチは、MFR\_CONFIG\_ALL\_LTC3883のビット1をアサートすることでイネーブルされます。クロックがストレッチされるのは、この機能がイネーブルされ、かつバス通信速度が100kHzを超えている場合だけです。

PMBusのビジー・プロトコルは広く受け入れられた規格ですが、書き込みのシステム・レベル・ソフトウェアがある程度複雑化する可能性があります。このデバイスでは、システム・レベルの堅牢な通信を確保しつつ複雑性を軽減する、3つの「ハンドシェイク」ステータス・ビットを使用できます。

これら3つのハンドシェイク・ステータス・ビットはMFR\_COMMONコマンド内にあります。内部動作の実行によってビジーの間、デバイスはMFR\_COMMONのビット6(「チップはビジーではない」)をクリアします。特にVOUTが遷移状態(マージン・ハイ/ロー切り換え、電源オフ/オン、新しい出力電圧セットポイントへの移行など)にあることでビジーな場合、MFR\_COMMONのビット4(「出力は遷移中でない」)がクリアされます。内部の計算処理によるビジーについては、MFR\_COMMONのビット5(「計算は保留中でない」)がクリアされます。MFR\_COMMONコマンドに対するPMBusバイト読み出しによって、これら3つのステータス・ビットをポーリングして、すべてがセットされるのを待つことができます。ステータス・ビットがセットされた直後のコマンドは、NACK応答またはBUSYフォルト/ALERT通知を生成されることなく、受け付

けられます。ただし、PMBus仕様が要求する他の理由によってコマンドにNACK応答が返される可能性があります(たとえば、無効なコマンドやデータなど)。VOUT\_COMMANDレジスタに対する信頼性の高いコマンド書き込みアルゴリズムの例を図31に示します。

コマンド書き込み(バイト書き込み、ワード書き込みなど)の前には必ずポーリング・ループを実装して、ビジー動作や無用のALERTB通知の処理のせいでアルゴリズムの複雑性が 증가しないようにすることを推奨します。これを簡単に実現するには、SAFE\_WRITE\_BYTE()およびSAFE\_WRITE\_WORD()サブルーチンを作成します。上記のポーリング・メカニズムによって、クリーンかつ簡素でありながら、デバイスと高い信頼性で通信可能なソフトウェアを実現できます。これらのトピックや他の特殊なケースの詳細は、[www.linear-tech.co.jp/designtools/app\\_notes](http://www.linear-tech.co.jp/designtools/app_notes)に掲載されたアプリケーション・ノート『Implementing Robust PMBus System Software』(仮題)を参照してください。

100kHz以下のバス・スピードで通信する場合、ここに示したポーリング・メカニズムは、クロック・ストレッチなしで高信頼度の通信を確保する、簡単な解決策となります。バス・スピードが100kHzを超える場合は、デバイスをクロック・ストレッチ可能に構成することを強く推奨します。これには、クロック・ストレッチをサポートするPMBusマスタが必要です。100kHzを超えるスピードでクロック・ストレッチなしの通信を行うには、「PMBus Specification v1.1, Part II, Section 10.8.7」に記載された方法で標準のPMBus NACK/BUSYフォルトを検出し、適切に復帰できるシステム・ソフトウェアが必要です。バス・スピードが最大定格周波数の400kHzを超えると、クロック・ストレッチを行ってもLTC3883は適切に通信できなくなります。PMBusの速度が400kHzを超えるアプリケーションにはLTC3880を推奨しません。

## PMBus コマンドの詳細

### アドレス指定および書き込み保護

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	データ 形式	単位	NVM	デフォルト 値
PAGE	0x00	マルチページ PMBus デバイスの統合を可能にする。	R/W Byte	Reg			0x00
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	Reg		Y	0x00
MFR_ADDRESS	0xE6	7ビットの I <sup>2</sup> C アドレス・バイトを設定する。	R/W Byte	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	Reg		Y	0x80

### PAGE

LTC3883 は、PAGE の値として 0x00 または 0xFF のみをサポートします。その他の値は、すべて CML フォルトを発生します。PAGE コマンドは、マルチページの PMBus デバイスを統合するために用意されたものです。PAGE が 0xFF に設定されている場合、書き込まれるコマンドまたは読み出されるコマンドに対して制約はありません。

### WRITE\_PROTECT

WRITE\_PROTECT コマンドは、LTC3883 デバイスへの書き込みを制御するために使用します。このコマンドは、MFR\_COMMON コマンド内で定義される WP ピンの状態を表示するものではありません。WRITE\_PROTECT コマンドがより厳格でない限り、WP ピンの状態が、このコマンドの値よりも優先されます。

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

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

WP ピンが“H”の場合、PAGE、OPERATION、MFR\_CLEAR\_PEAKS、MFR\_EE\_UNLOCK、WRITE\_PROTECT、CLEAR\_FAULTS コマンドがサポートされます。個々のフォルト・ビットは、STATUS コマンドの対応するビットに 1 を書き込むことでクリアできます。



## PMBus コマンドの詳細

### MFR\_ADDRESS

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

このコマンドの値を 0x80 に設定すると、デバイス・アドレス指定がディスエーブルされます。グローバル・デバイス・アドレスである 0x5A と 0x5B はディスエーブルできません。RCONFIG を無視するように設定した場合も、ASEL ピンだけはチャンネル・アドレスの下位ビットを決定するために使用されます。ASEL ピンが開放の場合、LTC3883 は NVM に格納されたアドレス値を使用します。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

### MFR\_RAIL\_ADDRESS

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

ユーザは、このアドレスに対して、コマンド書き込みだけを実行してください。このアドレスからの読み出しを実行した場合に、レール・デバイスが完全に同じ値で応答しないと、LTC3883 はバス競合を検出して、CML 通信フォルトをセットする可能性があります。

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

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

## 汎用構成コマンド

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	データ形式	単位	NVM	デフォルト値
MFR_CHAN_CONFIG_LTC3883	0xD0	チャンネル固有の構成ビット。	R/W Byte	Reg		Y	0x1F
MFR_CONFIG_ALL_LTC3883	0xD1	汎用構成ビット。	R/W Byte	Reg		Y	0x09

### MFR\_CHAN\_CONFIG\_LTC3883

複数の LTC 製品に共通する汎用構成コマンドです。

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

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

# LTC3883/LTC3883-1

## PMBus コマンドの詳細

### MFR\_CONFIG\_ALL\_LTC3883

複数の LTC 製品に共通する汎用構成コマンドです。

ビット	意味
7	フォルト・ログをイネーブルする。
6	抵抗構成設定ピンを無視する。
5	予約済み
4	予約済み
3	PLL アンロック・フォルトをマスクする。
2	PMBus 書き込みを受け付ける際に有効な PEC を要求する。このビットがセットされていない場合、デバイスは PEC が無効のコマンドも受け付ける。
1	PMBus クロック・ストレッチの使用を可能にする。
0	予約済み

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

## オン/オフ/マージン

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	データ形式	単位	NVM	デフォルト値
ON_OFF_CONFIG	0x02	RUN ピンおよび PMBus のオン/オフ・コマンドの構成。	R/W Byte	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	Reg		Y	0x80
MFR_RESET	0xFD	パワーダウン不要のコマンドによるリセット。	Send Byte				NA

### ON\_OFF\_CONFIG

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

以下のビットだけが変更可能です。

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

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

ビット 4、2、1 の値を変更すると、CML フォルトが発生します。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

## PMBus コマンドの詳細

表 3. ON\_OFF\_CONFIG コマンドの詳細情報 ON\_OFF\_CONFIG のデータの内容

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

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

### OPERATION

OPERATION コマンドは、RUN ピンからの入力と組み合わせて、デバイスをオン/オフするために使います。デバイスの出力電圧をマージン電圧のハイまたはローに設定する場合にも使用します。デバイスは、後続の OPERATION コマンドか RUN ピンの状態遷移が他のモードへの変更を指示するまで、このコマンドによって指示された動作モードにとどまります。デバイスが MARGIN\_LOW/HIGH ステートで格納された場合は、次の RESET または POWER\_ON サイクルで、そのステートまでランプします。OPERATION コマンドが変更された場合、たとえば ON が MARGIN\_LOW に変更された場合、出力は VOUT\_TRANSITION\_RATE で設定された一定の勾配で変化します。

LTC3883 では、マージン・ハイ (フォルト無視) およびマージン・ロー (フォルト無視) 動作はサポートされていません。

デバイスのデフォルトは ON ステートです。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

表 4. OPERATION コマンドの詳細情報  
On\_Off\_Config\_Use\_PMBus が Operation\_Control をイネーブルした場合の OPERATION コマンドのデータ内容

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

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

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

Note: 予約済みの値を書き込もうとすると CML フォルトが発生する。

# LTC3883/LTC3883-1

## PMBus コマンドの詳細

### MFR\_RESET

このコマンドは、ユーザがLTC3883のリセット動作を実行する手段を提供します。

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトがありません。

### PWMの構成

コマンド名	CMDコード	説明	タイプ	データ形式	単位	NVM	デフォルト値
MFR_PWM_MODE_LTC3883	0xD4	PWMエンジンの構成。	R/W Byte	Reg		Y	0xD2
MFR_PWM_CONFIG_LTC3883	0xF5	位相設定をはじめとするDC/DCコントローラの多数のパラメータを設定する。	R/W Byte	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	L11	kHz	Y	350 0xFABC

### MFR\_PWM\_MODE\_LTC3883

MFR\_PWM\_MODE\_LTC3883コマンドによって、ユーザはPWMコントローラがBurst Mode動作、不連続モード(パルス・スキップ・モード)、強制連続導通モードのいずれを使用するかをプログラムできます。

ビット	意味
7	LIMITの高電流レンジを使用する
0b	
1b	低電流レンジ 高電流レンジ
6	サーボ・モードをイネーブルする
[5:4]	READ_IIN利得設定
00b	利得2x、最大入力50mV
01b	利得4x、最大入力20mV
10b:	利得8x、最大入力8mV
3	DCR自動較正を開始する
2	予約済み
Bit[1:0]	モード
00b	不連続
01b	Burst Mode動作
10b	強制連続

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

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

ビット6を0に設定すると、LTC3883がオフ、ランプ・オン、ランプ・オフ中にサーボ動作しません。1に設定すると、出力サーボがイネーブルされます。出力セットポイントDACは、READ\_VOUT\_ADCとVOUT\_COMMAND(または該当するマージン設定値)の差を最小化するように、徐々に調整されます。

ビット[5:4]は、READ\_IINの利得と、入力電流検出アンプのレンジを設定します。

## PMBus コマンドの詳細

ビット3を1に設定すると、特許出願中のインダクタDCR自動較正が開始され、インダクタのDCRを決定します。この較正は、READ\_IIN、READ\_IOUT、DUTY\_CYCLEの値に基づいてIOUT\_CAL\_GAINの値を更新します。IOUT\_CAL\_GAINは、 $READ\_IOUT \cdot DUTY\_CYCLE = READ\_IIN$ となるように調整されます。自動較正の手順は、以下の条件が満たされた場合にのみ正常に完了します。

- 1) PWMがイネーブルされている
- 2) DUTY\_CYCLEが3%以上
- 3) READ\_IINが10mA以上
- 4) 較正済みのIOUT\_CAL\_GAINが較正前のIOUT\_CAL\_GAINの±30%以内

これらの条件のいずれか1つでも満たされないと、STATUS\_CML コマンドのビット0がセットされ、IOUT\_CAL\_GAINの値は変更されません。次にユーザはビット3を0にリセットする必要があります。更新されたIOUT\_CAL\_GAINの値をNVMに格納するには、STORE\_USER\_ALL コマンドを発行する必要があります。

ビット[1:0]はPWMの動作モードを決定します。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

### MFR\_PWM\_CONFIG\_LTC3883

MFR\_PWM\_CONFIG\_LTC3883 コマンドは、スイッチング周波数とSYNC信号の立ち下がりエッジを基準とした位相オフセットを設定します。このコマンドを処理するには、デバイスがOFF状態になければなりません。RUNピンを“L”にするか、デバイスにオフするように指示する必要があります。デバイスがRUN状態にある間にこのコマンドを書き込むと、無視されBUSYフォルトがアサートされます。このコマンドのビット6はPWM出力のループ利得に影響を与えるため、外付けの補償ネットワークに変更が必要になる場合があります。

ビット	意味
7	予約済み。0に設定すること。
6	V <sub>OUT</sub> RANGE = 1 の場合、最大出力電圧が2.75Vになる。RANGE = 0 の場合、最大出力電圧が5.5Vになる。
5	予約済み。
4	SHARE_CLKを、以下の条件でイネーブルする。このビットが1の場合、V <sub>IN</sub> > V <sub>IN_ON</sub> になるまでSHARE_CLKピンは解放されない。V <sub>IN</sub> < V <sub>IN_OFF</sub> の間、SHARE_CLKピンは“L”に引き下げられる。このビットが0の場合、VINの初期印加を除き、VIN < V <sub>IN_OFF</sub> であってもSHARE_CLKピンは“L”に引き下げられない。
3	予約済み。0に設定すること。
ビット[2:0]	位相オフセット
000b	0
001b	90
010b	180
011b	270
100b	60
101b	120
110b	240
111b	300

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

## PMBus コマンドの詳細

### FREQUENCY\_SWITCH

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

対応する周波数は次のとおりです。

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

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

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

## 電圧

### 入力電圧とリミット

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	データ形式	単位	NVM	デフォルト値
VIN_OV_FAULT_LIMIT	0x55	入力電源の過電圧フォルト・リミット。	R/W Word	L11	V	Y	15.5 0xD3E0
VIN_UV_WARN_LIMIT	0x58	入力電源の低電圧警告リミット。	R/W Word	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	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	L11	V	Y	6.0 0xCB00
MFR_RVIN	0xF7	V <sub>IN</sub> ピン・フィルタ素子の抵抗値 (mΩ)。	R/W Word	L11	mΩ	Y	3000 0x12EE

### VIN\_OV\_FAULT\_LIMIT

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

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

### VIN\_UV\_WARN\_LIMIT

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

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

## PMBus コマンドの詳細

### VIN\_ON

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

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

### VIN\_OFF

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

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

### MFR\_RVIN

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

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

## 出力電圧とリミット

コマンド名	CMDコード	説明	タイプ	データ形式	単位	NVM	デフォルト値
VOUT_MODE	0x20	出力電圧の形式および指数 ( $2^{-12}$ )。	R Byte	Reg			$2^{-12}$ 0x14
VOUT_MAX	0x24	他のいかなるコマンドにも関係なく、デバイスが指示できる出力電圧の上限。	R/W Word	L16	V	Y	5.5 0x5800
VOUT_OV_FAULT_LIMIT	0x40	出力の過電圧フォルト・リミット。	R/W Word	L16	V	Y	1.1 0x119A
VOUT_OV_WARN_LIMIT	0x42	出力の過電圧警告リミット。	R/W Word	L16	V	Y	1.075 0x1133
VOUT_MARGIN_HIGH	0x25	マージン・ハイの出力電圧セットポイント。 VOUT_COMMAND よりも大きくなければならない。	R/W Word	L16	V	Y	1.05 0x10CD
VOUT_COMMAND	0x21	公称出力電圧のセットポイント。	R/W Word	L16	V	Y	1.0 0x1000
VOUT_MARGIN_LOW	0x26	マージン・ローの出力電圧セットポイント。 VOUT_COMMAND よりも小さくなければならない。	R/W Word	L16	V	Y	0.95 0x0F33
VOUT_UV_WARN_LIMIT	0x43	出力の低電圧警告リミット。	R/W Word	L16	V	Y	0.925 0x0ECD
VOUT_UV_FAULT_LIMIT	0x44	出力の低電圧フォルト・リミット。	R/W Word	L16	V	Y	0.9 0x0E66
POWER_GOOD_ON	0x5E	パワーグッドをアサートする出力電圧の下限。	R/W Word	L16	V	Y	0.93 0x0EE1
POWER_GOOD_OFF	0x5F	パワーグッドをディアサートする出力電圧の上限。	R/W Word	L16	V	Y	0.92 0x0EB8
MFR_VOUT_MAX	0xA5	最大許容出力電圧。	R Word	L16	V		5.5 0x5800

### VOUT\_MODE

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

この読み出し専用コマンドは 1 バイトのデータを伴います。

## PMBus コマンドの詳細

### VOUT\_MAX

VOUT\_MAX コマンドは、出力電圧の上限を V 単位で設定します。デバイスは、他のいかなるコマンドまたはその組み合わせにも関係なく、この設定を指示できます。

このコマンドは、Linear\_16u 形式の 2 バイトのデータを伴います。

### VOUT\_OV\_FAULT\_LIMIT

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

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

VOUT\_OV\_FAULT\_RESPONSE が OV\_PULLDOWN (0x00) に設定されている場合、VOUT\_OV\_FAULT が伝播されても、GPIO ピンはアサートされません。LTC3883 は、過電圧状態が検出されると、すぐに TG を“L”に引き下げ、BG ビットをアサートします。

このコマンドは、Linear\_16u 形式の 2 バイトのデータを伴います。

### VOUT\_OV\_WARN\_LIMIT

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

VOUT\_OV\_WARN\_LIMIT の超過に対して、デバイスは次のように応答します。

- STATUS\_BYTE の NONE\_OF\_THE\_ABOVE ビットをセットする。
- STATUS\_WORD の VOUT ビットをセットする。
- STATUS\_VOUT コマンドの VOUT 過電圧警告ビットをセットする。
- $\overline{\text{ALERT}}$  ピンをアサートしてホストに通知する。

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

このコマンドは、Linear\_16u 形式の 2 バイトのデータを伴います。

### VOUT\_MARGIN\_HIGH

VOUT\_MARGIN\_HIGH コマンドは、OPERATION コマンドが「マージン・ハイ」に設定された場合の、変更後の出力電圧を V 単位でデバイスに読み込みます。この値は VOUT\_COMMAND より大きくなければなりません。

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

このコマンドは、Linear\_16u 形式の 2 バイトのデータを伴います。



## PMBus コマンドの詳細

### VOUT\_COMMAND

VOUT\_COMMAND は 2 バイトから構成され、出力電圧を V 単位で設定するために使用します。

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

このコマンドは、Linear\_16u 形式の 2 バイトのデータを伴います。

### VOUT\_MARGIN\_LOW

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

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

このコマンドは、Linear\_16u 形式の 2 バイトのデータを伴います。

### VOUT\_UV\_WARN\_LIMIT

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

VOUT\_UV\_WARN\_LIMIT の超過に対して、デバイスは次のように応答します。

- STATUS\_BYTE の NONE\_OF\_THE\_ABOVE ビットをセットする。
- STATUS\_WORD の VOUT ビットをセットする。
- STATUS\_VOUT コマンドの VOUT 低電圧警告ビットをセットする。
- ALERT ピンをアサートしてホストに通知する。

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

このコマンドは、Linear\_16u 形式の 2 バイトのデータを伴います。

### VOUT\_UV\_FAULT\_LIMIT

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

このコマンドは、Linear\_16u 形式の 2 バイトのデータを伴います。

### POWER\_GOOD\_ON

POWER\_GOOD\_ON コマンドは、STATUS\_WORD コマンド内の POWER\_GOOD# ステータス・ビットをデアサートする出力電圧を設定します。POWER\_GOOD\_ON は A/D コンバータの読み出し値によって検出されるため、最大 120ms のレイテンシが生じます。POWER\_GOOD\_ON には、POWER\_GOOD\_OFF よりも大きな値を設定する必要があります。

このコマンドは、Linear\_16u 形式の 2 バイトのデータを伴います。

# LTC3883/LTC3883-1

## PMBus コマンドの詳細

### POWER\_GOOD\_OFF

POWER\_GOOD\_OFF コマンドは、STATUS\_WORD コマンド内の POWER\_GOOD# ステータス・ビットをアサートする出力電圧を設定します。POWER\_GOOD\_OFF は A/D コンバータの読み出し値によって検出されるため、最大 120ms のレイテンシが生じます。POWER\_GOOD\_OFF には、POWER\_GOOD\_ON よりも小さな値を設定する必要があります。

初期の電源投入時には、VOUT の値に関わらず PGOOD ピンの状態は“H”になります。電源投入時の正しい状態である“L”が必要な場合は、RUN と PGOOD の間にショットキ・ダイオードを接続します。アノードを PGOOD に、カソードを RUN に接続します。

POWER\_GOOD# ステータス・ビットは、 $\overline{\text{ALERT}}$  の起動からマスクされています。STATUS\_WORD コマンドの POWER\_GOOD# ステータス・ビットは、RUN ステートに関わらず、常に POWER\_GOOD しきい値に対する VOUT の大小を反映します。PGOOD ピンの状態は POWER\_GOOD# ステータス・ビットによって制御され、RUN ステートによって有効になります。

このコマンドは、Linear\_16u 形式の 2 バイトのデータを伴います。

### MFR\_VOUT\_MAX

MFR\_VOUT\_MAX コマンドは、デバイスが発生できる最大出力電圧です。出力電圧を高電圧レンジに設定した場合 (MFR\_PWM\_CONFIG\_LTC3883 のビット 6 を 0 に設定) の MFR\_VOUT\_MAX は 5.5V です。出力電圧を低電圧レンジに設定した場合 (MFR\_PWM\_CONFIG\_LTC3883 のビット 6 を 1 に設定) の MFR\_VOUT\_MAX は 2.75V です。これより大きな値を VOUT\_COMMAND の値に入力すると、CML フォルトが発生し、出力電圧の設定は最大レベルにクランプされます。さらに、STATUS\_VOUT コマンドのビット 3 VOUT\_MAX\_Warning もセットされます。

この読み出し専用コマンドは、Linear\_16u 形式の 2 バイトのデータを伴います。

## 電流

### 出力電流の較正

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	データ 形式	単位	NVM	デフォルト 値
IOUT_CAL_GAIN	0x38	検出電流に対する電流検出ピンの電圧の比。固定された電流検出抵抗を使用しているデバイスの場合は mΩ 単位の抵抗値となる。	R/W Word	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	CF		Y	3900 0x0F3C
MFR_T_SELF_HEAT	0xB8	インダクタに帰せられる自己発熱の計算値の報告。	R Word	L11	C		NA
MFR_IOUT_CAL_GAIN_TAU_INV	0xB9	熱時定数のエミュレーションに使用する係数。	R/W Word	L11	s <sup>-1</sup>	Y	0.0 0x8000
MFR_IOUT_CAL_GAIN_THETA	0xBA	インダクタの自己発熱効果のインスタンス計算に使用する。	R/W Word	L11	°C/W	Y	0.0 0x8000

### IOUT\_CAL\_GAIN

IOUT\_CAL\_GAIN コマンドは、電流検出抵抗の抵抗値を mΩ 単位で設定します。(MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TC も参照してください。)

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

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

MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TC コマンドによって、ユーザは検出抵抗 IOUT\_CAL\_GAIN またはインダクタ DCR の温度係数を、ppm/°C 単位でプログラムできます。

3883fa

## PMBus コマンドの詳細

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

$$[1.0 + \text{MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TC} \cdot (\text{READ\_TEMPERATURE\_1} - 27)] \text{DCR 検出における標準値は3900です。}$$

IOUT\_CAL\_GAINとMFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TCは、READ\_IOUT、MFR\_READ\_IIN\_CHAN、IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT、IOUT\_OC\_WARN\_LIMITを含む、あらゆる電流パラメータに影響を与えます。

### MFR\_T\_SELF\_HEAT、MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TAU\_INV、MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_THETA

LTC3883は革新的な(特許出願中)アルゴリズムを用いて、外付け温度センサからインダクタのコアの温度上昇をダイナミックにモデリングします。この温度上昇はMFR\_T\_SELF\_HEATと呼ばれ、IOUT\_CAL\_GAINに必要とされる最終的な温度補正の計算に使われます。温度上昇は、インダクタのDCRで消費される電力、インダクタのコアからリモート温度センサへの熱抵抗、インダクタからプリント基板系への熱時定数の関数です。このアルゴリズムは外付け温度センサの配置場所に関する要件を緩和し、インダクタのコアから主インダクタ・ヒートシンクへの大きな定常的および過渡的温度誤差を補償します。

インダクタ内部の自己発熱を理解するのに最も良い方法は、図21で示すように電子回路に置き換えて考えてみることです。上のモデルの1次微分方程式は、次の差分方程式で近似できます。

$$P_I - T_I / \theta_{IS} = C_\tau \Delta T_I / \Delta t \quad (\text{Eq1}) \quad (T_S = 0 \text{ の場合})$$

ここから、

$$\Delta T_I = \Delta t (P_I \theta_{IS} - T_I) / (\theta_{IS} C_\tau) \quad (\text{Eq2}) \quad \text{または}$$

$$\Delta T_I = (P_I \theta_{IS} - T_I) \cdot \tau_{INV} \quad (\text{Eq3})$$

ここで、

$$\tau_{INV} = \Delta t / (\theta_{IS} C_\tau) \quad (\text{Eq4})$$

$\Delta t$  は外部温度ADCのサンプリング周期。

LTC3883は、次の値と、Eq3およびEq4を用いて自己発熱のアルゴリズムを実装しています。

$$\Delta T_I = \Delta \text{MFR\_T\_SELF\_HEAT}$$

$$P_I = \text{READ\_IOUT} \cdot (V_{ISENSEP} - V_{ISENSEM})$$

$$T_S = \text{READ\_TEMPERATURE\_1}$$

$$T_I = \text{MFR\_T\_SELF\_HEAT} + T_S$$

$$\Delta t = 1 \text{ s}$$

$$\tau_{INV} = \text{MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TAU\_INV}$$

$$\theta_{IS} = \text{MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_THETA}$$

自己発熱の初期値はゼロに設定されています。各温度測定後、自己発熱は、前回の自己発熱の値を $\Delta \text{MFR\_T\_SELF\_HEAT}$ だけ増加または減少させた値で更新されます。

$C_\tau$  の実際の値は不要です。重要な値は熱時定数 $\tau_{INV} = (\theta_{IS} C_\tau)$ です。たとえば、インダクタの熱時定数 $\tau_{THERMAL} = 5$ 秒の場合、次のように計算できます。

$$\text{MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TAU\_INV} = \Delta t / \tau_{THERMAL} = 1/5 = 0.2$$

$\theta_{IS}$  と  $\tau_{INV}$  の較正については「アプリケーション」のセクションを参照してください。

# LTC3883/LTC3883-1

## PMBus コマンドの詳細

外付けの温度検出ネットワークが、READ\_TEMPERATURE\_1として $-50^{\circ}\text{C}$ ～ $150^{\circ}\text{C}$ の値を検出できなかった場合、自己発熱アルゴリズムの変数 $T_S$ には、固定された値 $-50^{\circ}\text{C}$ が設定されます。詳細は、READ\_TEMPERATURE\_1を参照してください。

MFR\_T\_SELF\_HEATは、Linear\_5s\_11s形式の2バイトのデータを伴います。

MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TAU\_INVは、Linear\_5s\_11s形式の2バイトのデータを伴います。

MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_THETAは、Linear\_5s\_11s形式の2バイトのデータを伴います。

### MFR\_T\_SELF\_HEATのデータの内容

ビット	シンボル	動作
b[15:0]	Mfr_t_self_heat	値は $0^{\circ}\text{C}$ ～ $50^{\circ}\text{C}$ の範囲に限る。

### MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_THETAのデータの内容

ビット	シンボル	動作
b[15:0]	Mfr_iout_cal_gain_theta	値 $\leq 0$ の場合はMFR_T_SELF_HEATをゼロに設定する。

### MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TAU\_INVのデータの内容

ビット	シンボル	動作
b[15:0]	Mfr_iout_cal_gain_tau_inv	値 $\leq 0$ の場合はMFR_T_SELF_HEATをゼロに設定する。 値 $\geq 1$ の場合はMFR_T_SELF_HEATを $\text{MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_THETA} \cdot \text{READ\_IOUT} \cdot (\text{VISENSEP} - \text{VISENSEM})$ に設定する。

## 出力電流

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

## PMBus コマンドの詳細

### IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT

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

25mV/IOUT_CAL_GAIN	低電流レンジ(1.5x 公称ループ利得) MFR_PWM_MODE_LTC3883 [7]=0
28.6mV/IOUT_CAL_GAIN	
32.1mV/IOUT_CAL_GAIN	
35.7mV/IOUT_CAL_GAIN	
39.3mV/IOUT_CAL_GAIN	
42.9mV/IOUT_CAL_GAIN	
46.4mV/IOUT_CAL_GAIN	
50mV/IOUT_CAL_GAIN	
37.5mV/IOUT_CAL_GAIN	高電流レンジ(公称ループ利得) MFR_PWM_MODE_LTC3883 [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	

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

$$\text{Peak Current Limit} = \text{IOUT\_CAL\_GAIN} \cdot (1 + \text{MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TC} \cdot (\text{READ\_TEMPERATURE}_1 - 27.0))$$

LTpowerPlay の GUI は、自動的に電圧を電流に変換します。

IOUT のレンジは、MFR\_PWM\_MODE\_LTC3883 コマンドのビット 7 によって設定されます。

TON\_RISE と TOFF\_FALL の期間は、IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT を無視します。

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

### IOUT\_OC\_WARN\_LIMIT

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

IOUT\_OC\_WARN\_LIMIT の超過に対して、デバイスは次のように応答します。

- STATUS\_BYTE の NONE\_OF\_THE\_ABOVE ビットをセットする。
- STATUS\_WORD の IOUT ビットをセットする。
- STATUS\_IOUT コマンドの IOUT 過電流警告ビットをセットする。
- ALERT ピンをアサートしてホストに通知する。

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

TON\_RISE と TOFF\_FALL の期間は、IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT を無視します。

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

## PMBus コマンドの詳細

### 入力電流の較正

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

### MFR\_IIN\_CAL\_GAIN

IOUT\_CAL\_GAIN コマンドは、入力電流検出抵抗の抵抗値を mΩ 単位で設定します。(READ\_IIN も参照してください。)

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

### 入力電流

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

### IIN\_OC\_WARN\_LIMIT

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

IIN\_OC\_WARN\_LIMIT の超過に対して、デバイスは次のように応答します。

- STATUS\_BYTE の OTHER ビットをセットする。
- STATUS\_WORD 上位バイトの INPUT ビットをセットする。
- STATUS\_INPUT コマンドの IIN 過電流警告ビットをセットする。
- ALERT ピンをアサートしてホストに通知する。

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

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

## 温度

### 外部温度の較正

コマンド名	CMDコード	説明	タイプ	データ形式	単位	NVM	デフォルト値
MFR_TEMP_1_GAIN	0xF8	外付け温度センサの勾配を設定する。	R/W Word	CF		Y	1.0 0x4000
MFR_TEMP_1_OFFSET	0xF9	外付け温度センサの-273.1°Cを基準としたオフセットを設定する。	R/W Word	L11	°C	Y	0.0 0x8000

### MFR\_TEMP\_1\_GAIN

MFR\_TEMP\_1\_GAIN コマンドは、素子の非理想性およびインダクタ温度を遠隔測定していることで生じる誤差を考慮して、外付け温度センサの勾配を補正します。

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

## PMBus コマンドの詳細

### MFR\_TEMP\_1\_OFFSET

MFR\_TEMP\_1\_OFFSET コマンドは、素子の非理想性およびインダクタ温度を遠隔測定していることで生じる誤差を考慮して、外付け温度センサのオフセットを補正します。

このコマンドは、Linear\_5s\_11s形式の2バイトのデータを伴います。デバイスは、値-273.15から計算を開始するため、デフォルトの補正值は0です。

### 外部温度リミット

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

### OT\_FAULT\_LIMIT

OT\_FAULT\_LIMIT コマンドは、過熱フォルトを発生する外部検出温度の値を°C単位で設定します。このリミットを超えたか否かの判断には、READ\_TEMPERATURE\_1の値を使用します。

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

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

### OT\_WARN\_LIMIT

OT\_WARN\_LIMIT コマンドは、過熱警告を発生する外部検出温度の値を°C単位で設定します。このリミットを超えたか否かの判断には、READ\_TEMPERATURE\_1の値を使用します。

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

- STATUS\_BYTEのTEMPERATUREビットをセットする。
- STATUS\_TEMPERATURE コマンドの過熱警告ビットをセットする。
- $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートしてホストに通知する。

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

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

### UT\_FAULT\_LIMIT

UT\_FAULT\_LIMIT コマンドは、低温フォルトを発生する外部検出温度の値を°C単位で設定します。このリミットを超えたか否かの判断には、READ\_TEMPERATURE\_1の値を使用します。

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

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

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

## PMBus コマンドの詳細

### タイミング

#### タイミング - オン・シーケンス/ランプ

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

#### TON\_DELAY

TON\_DELAY コマンドは、スタート条件を受信してから、出力電圧が立ち上がりはじめるまでの時間をms単位で設定します。有効な値の範囲は、0ms～83秒です。TON\_DELAYには標準遅延270 $\mu$ s(不確かさ $\pm$ 50 $\mu$ s)が含まれます。

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

#### TON\_RISE

TON\_RISE コマンドは、出力が立ち上がりはじめてから、レギュレーション範囲に入るまでの時間をms単位で設定します。有効な値の範囲は、0～1.3秒です。TON\_RISEイベントの間、デバイスは不連続モードで動作します。TON\_RISEが0.25msより短い場合、LTC3883のデジタル・スロープ制御はバイパスされます。出力電圧の遷移はPWMスイッチャのアナログ性能で決まります。TON\_RISEの期間に現れるステップの数は、TON\_RISE(ms単位)/0.1msで表されます。これには、不確かさ $\pm$ 0.1msが含まれます。

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

#### TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT

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

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

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

#### VOUT\_TRANSITION\_RATE

PMBus デバイスが、出力電圧を変化させるVOUT\_COMMANDまたはOPERATION(マージン・ハイ、マージン・ロー)のいずれかを受信したときに、出力電圧が変化する速度をV/ms単位で設定します。ここで指定した変化率は、デバイスにオン/オフするように指示した場合には適用されません。許容される勾配の最大値は4V/msです。

0.1V/msを超える値を推奨します。

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



## PMBus コマンドの詳細

### タイミング - オフ・シーケンス/ランプ

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

#### TOFF\_DELAY

TOFF\_DELAY コマンドは、ストップ条件を受信してから、出力電圧が立ち下がり始めるまでの時間をms単位で設定します。有効な値の範囲は、0～83秒です。TON\_DELAYには標準遅延270 $\mu$ s(不確かさ $\pm$ 50 $\mu$ s)が含まれます。

このコマンドは、フォルト・イベントから除外されています。

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

#### TOFF\_FALL

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

デバイスは、プログラムされた動作モードを維持します。定義されたTOFF\_FALLの期間は、デバイスを連続導通モードに設定してください。最大値を読み込むと、デバイスは可能な限り最大の時間をかけてランプ・ダウンします。サポートされる最短の立ち下がり時間は0.25msです。0.25msよりも小さな値を設定した場合は、0.25msでランプ・ダウンします。立ち下がり時間の最大値は1.3秒です。TOFF\_FALLの期間に現れるステップの数は、TOFF\_FALL(ms単位)/0.1msで表されます。これには、不確かさ $\pm$ 0.1msが含まれます。

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

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

#### TOFF\_MAX\_WARN\_LIMIT

TOFF\_MAX\_WARN\_LIMIT コマンドは、デバイスがどれだけの時間出力のターンオフを試みた後に警告をアサートするかをms単位で設定します。V<sub>OUT</sub>電圧が、プログラムされたV<sub>OUT</sub>COMMANDの値の12.5%を下回った時点、出力のターンオフ完了と見なします。計算は、TOFF\_FALLの完了後に開始されます。

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

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

### 再起動の前提条件

コマンド名	CMDコード	説明	タイプ	データ形式	単位	NVM	デフォルト値
MFR_RESTART_DELAY	0xDC	LTC3883がRUNピンを"L"に保持する最小時間。	R/W Word	L11	ms	Y	500 0xFBE8

## PMBus コマンドの詳細

### MFR\_RESTART\_DELAY

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

Note：再起動遅延は、リトライ遅延とは異なります。再起動遅延では、指定された時間だけRUNを“L”に保持した後、標準の起動シーケンスを開始します。最小の再起動遅延は、TOFF\_DELAY + TOFF\_FALL + 136msに等しくなります。有効な設定は、136ms～65.52秒の範囲の16ms刻みの値です。最小オフ時間を確保するために、MFR\_RESTART\_DELAYには目標値より16ms長い時間を設定してください。MFR\_CHAN\_CONFIG\_LTC3883の出力減衰ビット0がイネーブルに設定されていて、出力がプログラムされた値の12.5%未満まで減衰するのに長時間を要した場合は、RUNピンが“H”に引き上げられた後の出力レールのオフ期間がMFR\_RESTART\_DELAYの設定値よりも長くなる可能性があります。

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

## フォルト応答

### フォルト応答 - 全フォルト

コマンド名	CMDコード	説明	タイプ	データ形式	単位	NVM	デフォルト値
MFR_RETRY_DELAY	0xDB	フォルト・リトライ・モードにおけるリトライ・インターバル。	R/W Word	L11	ms	Y	350 0xFABC

### MFR\_RETRY\_DELAY

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

Note：リトライの遅延時間は、MFR\_RETRY\_DELAYコマンドまたは安定化出力がプログラム値の12.5%未満に減衰するまでの時間の、いずれか長い方で決まります。出力が自然に減衰するまでの時間が長すぎる場合、MFR\_CHAN\_CONFIG\_LTC3883のビット0をアサートすることでMFR\_RETRY\_DELAYコマンドの電圧要件を解除できます。

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

### フォルト応答 - 入力電圧

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

### VIN\_OV\_FAULT\_RESPONSE

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

デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- ・ STATUS\_BYTEのNONE\_OF\_THE\_ABOVEビットをセットする。
- ・ STATUS\_WORD上位バイトのINPUTビットをセットする。

## PMBus コマンドの詳細

- STATUS\_INPUT コマンドの VIN 過電圧フォルト・ビットをセットする。
- $\overline{\text{ALERT}}$  ピンをアサートしてホストに通知する。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

### フォルト応答 - 出力電圧

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	データ 形式	単位	NVM	デフォルト 値
VOUT_OV_FAULT_RESPONSE	0x41	出力の過電圧フォルトが検出されたとき、デバイスが取るアクション。	R/W Byte	Reg		Y	0xB8
VOUT_UV_FAULT_RESPONSE	0x45	出力の低電圧フォルトが検出されたとき、デバイスが取るアクション。	R/W Byte	Reg		Y	0xB8
TON_MAX_FAULT_RESPONSE	0x63	TON_MAX_FAULT イベントが検出されたとき、デバイスが取るアクション。	R/W Byte	Reg		Y	0xB8

### VOUT\_OV\_FAULT\_RESPONSE

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

デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- STATUS\_BYTE の VOUT\_OV ビットをセットする。
- STATUS\_WORD の VOUT ビットをセットする。
- STATUS\_VOUT コマンドの VOUT 過電圧フォルト・ビットをセットする。
- $\overline{\text{ALERT}}$  ピンをアサートしてホストに通知する。

このコマンドは、以下に示す値のみを認識します。

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

0x80 - デバイスはシャットダウンし(出力をディスエーブル)、リトライは試みません。(PMBus, Part II, Section 10.7)

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

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

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

その他の値は、いずれもCMLフォルトを発生し、書き込みは無視されます。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

## PMBus コマンドの詳細

表 5. VOUT\_OV\_FAULT\_RESPONSE のデータ・バイトの内容

ビット	説明	値	意味
7:6	応答。 ビット [7:6] のあらゆる値に対して、LTC3883 は以下の応答をする。 ・ ステータス・コマンドの該当するフォルト・ビットをセットする。 ・ ALERT ピンをアサートしてホストに通知する。 フォルト・ビットはいったんセットされると、以下のイベントのうち 1 つまたは複数が発生するまでクリアされない。 ・ デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受信した場合。 ・ RUN ピン、OPERATION コマンド、RUN ピンと OPERATION コマンドの組み合わせアクションのいずれかによって、オフを指示された後、再びオンを指示された場合。 ・ LTC3883 へのバイアス電源が遮断された後、再び印加された場合。	00	デバイスは OV プルダウンのみ、つまり OV_PULLDOWN のみを実行する (すなわち、 $V_{OUT} > V_{OUT\_OV\_FAULT}$ の間、上側 MOSFET をオフ、下側 MOSFET をオンする)
		01	PMBus デバイスはビット [2:0] に指定された遅延時間の数値と、特定のフォルトに対して規定された遅延時間の単位で表される期間だけ動作を継続する。この遅延時間の経過後もフォルト条件が解消されていない場合、デバイスはリトライ設定 (ビット [5:3]) にプログラムされた方法で応答する。
		10	デバイスは直ちにシャットダウンし (出力をディスエーブル)、ビット [5:3] のリトライ設定に従って応答する。
		11	サポートされていない。この値を書き込むと CML フォルトが発生する。
5:3	リトライ設定	000	デバイスは再起動を試みない。フォルトがクリアされるか、デバイスがオフするように指示されるか、バイアス電源が遮断されるまで、出力はディスエーブルされたままになる。
		111	PMBus デバイスはオフを指示されるか (RUN ピンまたは OPERATION コマンド、または両方による)、バイアス電源が遮断されるか、他のフォルト条件によってリトライなしでシャットダウンされるまで、再起動を継続して無期限に試みる。Note: リトライ・インターバルは MFR_RETRY_DELAY コマンドによって設定される。
2:0	遅延時間	000-111	10 $\mu$ s 刻みの遅延時間。この遅延時間は、フォルトの検出後、コントローラが動作を継続する時間を決定する。デグリッチされたオフ・ステートに対してのみ有効。

### VOUT\_UV\_FAULT\_RESPONSE

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

デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- ・ STATUS\_BYTE の NONE\_OF\_THE\_ABOVE ビットをセットする。
- ・ STATUS\_WORD の VOUT ビットをセットする。
- ・ STATUS\_VOUT コマンドの VOUT 低電圧フォルト・ビットをセットする。
- ・ ALERT ピンをアサートしてホストに通知する。

次の基準が満たされるまで、UV フォルトおよび警告はマスクされます。

- 1) TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT に達する。
- 2) TON\_DELAY シーケンスが完了する。
- 3) TON\_RISE シーケンスが完了する。
- 4) VOUT\_UV\_FAULT\_LIMIT しきい値に達する。
- 5) IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT が存在しない。

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

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

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

## PMBus コマンドの詳細

表 6. VOUT\_UV\_FAULT\_RESPONSE のデータ・バイトの内容

ビット	説明	値	意味
7:6	応答。 ビット [7:6] のあらゆる値に対して、LTC3883 は以下の応答をする。 ・ ステータス・コマンドの該当するフォルト・ビットをセットする。 ・ ALERT ピンをアサートしてホストに通知する。 フォルト・ビットはいったんセットされると、以下のイベントのうち 1 つまたは複数が発生するまでクリアされない。 ・ デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受信した場合。 ・ RUN ピン、OPERATION コマンド、RUN ピンと OPERATION コマンドの組み合わせアクションのいずれかによって、オフを指示された後、再びオンを指示された場合。 ・ LTC3883 へのバイアス電源が遮断された後、再び印加された場合。	00	PMBus デバイスは中断せずに動作を続ける。(フォルト機能を無視)
		01	PMBus デバイスはビット [2:0] に指定された遅延時間の数値と、特定のフォルトに対して規定された遅延時間の単位で表される期間だけ動作を継続する。この遅延時間の経過後もフォルト条件が解消されていない場合、デバイスはリトライ設定 (ビット [5:3]) にプログラムされた方法で応答する。
		10	デバイスはシャットダウンし (出力をディスエーブル)、ビット [5:3] のリトライ設定に従って応答する。
		11	サポートされていない。この値を書き込むと CML フォルトが発生する。
5:3	リトライ設定	000	デバイスは再起動を試みない。フォルトがクリアされるか、デバイスがオフするように指示されるか、バイアス電源が遮断されるまで、出力はディスエーブルされたままになる。
		111	PMBus デバイスはオフを指示されるか (RUN ピンまたは OPERATION コマンド、または両方による)、バイアス電源が遮断されるか、他のフォルト条件によってリトライなしでシャットダウンされるまで、再起動を継続して無期限に試みる。Note: リトライ・インターバルは MFR_RETRY_DELAY コマンドによって設定される。
2:0	遅延時間	000-111	10 $\mu$ s 刻みの遅延時間。この遅延時間は、フォルトの検出後、コントローラが動作を継続する時間を決定する。デグリッチされたオフ・ステートに対してのみ有効。

### TON\_MAX\_FAULT\_RESPONSE

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

デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- ・ STATUS\_BYTE の NONE\_OF\_THE\_ABOVE ビットをセットする。
- ・ STATUS\_WORD の VOUT ビットをセットする。
- ・ STATUS\_VOUT コマンドの TON\_MAX\_FAULT ビットをセットする。
- ・ ALERT ピンをアサートしてホストに通知する。

値 0 を設定すると、TON\_MAX\_FAULT\_RESPONSE がディスエーブルされます。0 を設定することは推奨できません。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

### フォルト応答 - 出力電流

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	データ形式	単位	NVM	デフォルト値
IOUT_OC_FAULT_RESPONSE	0x47	出力の過電流フォルトが検出されたとき、デバイスが取るアクション。	R/W Byte	Reg		Y	0x00

# LTC3883/LTC3883-1

## PMBus コマンドの詳細

### IOUT\_OC\_FAULT\_RESPONSE

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

デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- STATUS\_BYTE の NONE\_OF\_THE\_ABOVE ビットをセットする。
- STATUS\_BYTE の IOUT\_OC ビットをセットする。
- STATUS\_WORD の IOUT ビットをセットする。
- STATUS\_IOUT コマンドの IOUT 過電流フォルト・ビットをセットする。
- ALERT ピンをアサートしてホストに通知する。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

表7. IOUT\_OC\_FAULT\_RESPONSE のデータ・バイトの内容

ビット	説明	値	意味
7:6	応答。 ビット [7:6] のあらゆる値に対して、LTC3883 は以下の応答をする。 <ul style="list-style-type: none"> <li>• ステータス・コマンドの該当するフォルト・ビットをセットする。</li> <li>• ALERT ピンをアサートしてホストに通知する。</li> </ul> フォルト・ビットはいったんセットされると、以下のイベントのうち1つまたは複数が発生するまでクリアされない。 <ul style="list-style-type: none"> <li>• デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受信した場合。</li> <li>• RUN ピン、OPERATION コマンド、RUN ピンと OPERATION コマンドの組み合わせアクションのいずれかによって、オフを指示された後、再びオンを指示された場合。</li> <li>• LTC3883 へのバイアス電源が遮断された後、再び印加された場合。</li> </ul>	00	LTC3883 は、出力電圧の変動は無視して、IOUT_OC_FAULT_LIMIT によって設定された値の出力電流を保ちつつ、無期限に動作を継続する (定電流リミット動作またはブリックウォール・リミット動作とも呼ばれる)。
		01	サポートされていない。
		10	LTC3883 は、出力電圧の変動は無視して、IOUT_OC_FAULT_LIMIT によって設定された値の出力電流を保ちつつ、ビット [2:0] で設定された遅延時間だけ動作を継続する。この遅延時間の経過後もデバイスが電流制限値で動作している場合、リトライ設定 (ビット [5:3]) にプログラムされた方法で応答する。
		11	LTC3883 は直ちにシャットダウンし、ビット [5:3] のリトライ設定にプログラムされた方法で応答する。
5:3	リトライ設定	000	デバイスは再起動を試みない。RUN ピンをサイクルさせるか、バイアス電源を遮断することでフォルトをクリアするまで、出力はディスエーブルされたままになる。
		111	デバイスはオフを指示されるか (RUN ピンまたは OPERATION コマンド、または両方による)、バイアス電源が遮断されるか、他のフォルト条件によってシャットダウンされるまで、再起動を継続して無期限に試みる。Note: リトライ・インターバルは MFR_RETRY_DELAY コマンドによって設定される。
2:0	遅延時間	000-111	16ms 単位の数で表した遅延時間。この遅延時間は、フォルトが検出されてからシャットダウンされるまでデバイスが動作を継続する時間を決定する。デグリッチされたオフ応答に対してのみ有効。

### フォルト応答 - IC 温度

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

## PMBus コマンドの詳細

### MFR\_OT\_FAULT\_RESPONSE

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

デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- STATUS\_BYTE の NONE\_OF\_THE\_ABOVE ビットをセットする。
- STATUS\_WORD の MFR ビットをセットする。
- STATUS\_MFR\_SPECIFIC コマンドの過熱フォルト・ビットをセットする。
- ALERT ピンをアサートしてホストに通知する。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

表8. MFR\_OT\_FAULT\_RESPONSE のデータ・バイトの内容

ビット	説明	値	意味
7:6	応答。 ビット [7:6] のあらゆる値に対して、LTC3883 は以下の応答をする。 ・ ステータス・コマンドの該当するフォルト・ビットをセットする。 ・ ALERT ピンをアサートしてホストに通知する。 フォルト・ビットはいったんセットされると、以下のイベントのうち1つまたは複数が発生するまでクリアされない。 ・ デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受信した場合。 ・ RUN ピン、OPERATION コマンド、RUN ピンと OPERATION コマンドの組み合わせアクションのいずれかによって、オフを指示された後、再びオンを指示された場合。 ・ LTC3883 へのバイアス電源が遮断された後、再び印加された場合。	00	サポートされていない。この値を書き込むと CML フォルトが発生する。
		01	サポートされていない。この値を書き込むと CML フォルトが発生する。
		10	デバイスは直ちにシャットダウンし(出力をディスエーブル)、ビット [5:3] のリトライ設定に従って応答する。
		11	フォルトが解消されない限り、デバイスの出力はディスエーブルされたままになる。フォルト条件が解消されると、動作が再開し、出力がイネーブルされる。
5:3	リトライ設定	000	デバイスは再起動を試みない。フォルトがクリアされるまで出力はディスエーブルされたままになる。
		001-111	サポートされていない。この値を書き込むと CML フォルトが発生する。
2:0	遅延時間	XXX	サポートされていない。値は無視される。

### フォルト応答 - 外部温度

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

### OT\_FAULT\_RESPONSE

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

デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- STATUS\_BYTE の TEMPERATURE ビットをセットする。
- STATUS\_TEMPERATURE コマンドの過熱フォルト・ビットをセットする。
- ALERT ピンをアサートしてホストに通知する。

## PMBus コマンドの詳細

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

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

### UT\_FAULT\_RESPONSE

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

デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- STATUS\_BYTE の TEMPERATURE ビットをセットする。
- STATUS\_TEMPERATURE コマンドの低温フォルト・ビットをセットする。
- ALERT ピンをアサートしてホストに通知する。

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

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

**表 9. TON\_MAX\_FAULT\_RESPONSE、VIN\_OV\_FAULT\_RESPONSE、OT\_FAULT\_RESPONSE、UT\_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] のあらゆる値に対して、LTC3883 は以下の応答をする。 ・ ステータス・コマンドの該当するフォルト・ビットをセットする。 ・ ALERT ピンをアサートしてホストに通知する。 フォルト・ビットはいったんセットされると、以下のイベントのうち 1 つまたは複数が発生するまでクリアされない。 ・ デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受信した場合。 ・ RUN ピン、OPERATION コマンド、RUN ピンと OPERATION コマンドの組み合わせアクションのいずれかによって、オフを指示された後、再びオンを指示された場合。 ・ LTC3883 へのバイアス電源が遮断された後、再び印加された場合。	00	PMBus デバイスは中断せずに動作を続ける。
		01	サポートされていない。この値を書き込むと CML フォルトが発生する。
		10	デバイスは直ちにシャットダウンし (出力をディスエーブル)、ビット [5:3] のリトライ設定に従って応答する。
		11	サポートされていない。この値を書き込むと CML フォルトが発生する。
5:3	リトライ設定	000	デバイスは再起動を試みない。フォルトがクリアされるか、デバイスがオフするように指示されるか、バイアス電源が遮断されるまで、出力はディスエーブルされたままになる。
		111	PMBus デバイスはオフを指示されるか (RUN ピンまたは OPERATION コマンド、または両方による)、バイアス電源が遮断されるか、他のフォルト条件によってリトライなしでシャットダウンされるまで、再起動を継続して無期限に試みる。Note: リトライ・インターバルは MFR_RETRY_DELAY コマンドによって設定される。
2:0	遅延時間	XXX	サポートされていない。値は無視される。

## フォルト共有

### フォルト共有 - 伝播

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	データ形式	単位	NVM	デフォルト値
MFR_GPIO_PROPAGATE_LTC3883	0xD2	GPIO ピンに伝播するフォルトを決定する設定。	R/W Word	Reg		Y	0x2993



## PMBus コマンドの詳細

### MFR\_GPIO\_PROPAGATE\_LTC3883

MFR\_GPIO\_PROPAGATE\_LTC3883 コマンドは、 $\overline{\text{GPIO}}$  ピンを“L”にアサートするイベントをイネーブルします。コマンドは表 10 に示した形式です。応答するようにプログラムされたフォルトだけが  $\overline{\text{GPIO}}$  ピンに伝播されます。

このコマンドは 2 バイトのデータを伴います。

**表 10.  $\overline{\text{GPIO}}$  伝播の構成**

$\overline{\text{GPIO}}$  ピンは、選択されたイベントをユーザに電氣的に通知できるように設計されています。

ビット	シンボル	動作
B[15]	VOUT disabled while not decayed.	このステータス・ビットは MFR_CHAN_CONFIG_LTC3883 のビット 0 が 0 の場合の PolyPhase 構成で使われる。RUN ピンのトグルまたはデバイスをオフする指示によって PWM をオフした後、出力が減衰する前に RUN を再度アサートするか、デバイスに再びオンするように指示したとしても、12.5% の減衰要件が満たされるまで VOUT を再起動しない。ビット 15 がアサートされている場合、この状態の間は $\overline{\text{GPIO}}$ ピンがアサートされる。
B[14]	Mfr_gpio_propagate_short_CMD_cycle	0: アクションなし。 1: このステータス・ビットは、デバイスがオフするように指示され、出力のオフ・シーケンスが完了する前に再度オンを指示された場合に“L”にアサートされる。オフ・シーケンスが完了すると、再度“H”にアサートされる。
b[13]	Mfr_gpio_propagate_ton_max_fault	0: TON_MAX_FAULT フォルトがアサートされてもアクションなし。 1: TON_MAX_FAULT フォルトがアサートされた場合、 $\overline{\text{GPIO}}$ を“L”にアサートする。
b[12]	Mfr_gpio_propagate_vout_uvuf	250 $\mu$ s の最小パルス幅フィルタによってデグリッチされた VOUT_UV_FAULT_LIMIT コンパレータの出力。このステータス・ビットがアサートされると、VOUT が UV しきい値より低い間は常に $\overline{\text{GPIO}}$ が“L”になる。GPIO_FAULT_RESPONSE を「無視」に設定していない場合、デバイスはラッチ・オフされ、起動できなくなる。
b[11]	Mfr_gpio_propagate_int_ot	0: MFR_OT_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされてもアクションなし。 1: MFR_OT_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされた場合、出力を“L”にアサートする。
b[10]	予約済み	0 に設定する必要がある
b[9]	Mfr_pwrgrd_en (Note 1)	0: POWER_GOOD が真ではない場合もアクションなし。 1: POWER_GOOD が真ではない場合、 $\overline{\text{GPIO}}$ を“L”にアサートする。 このステータス・ビットがアサートされた場合、GPIO_FAULT_RESPONSE を無視する必要がある。GPIO_FAULT_RESPONSE を「無視」に設定していない場合、デバイスはラッチ・オフされ、起動できなくなる。
b[8]	Mfr_gpio_propagate_ut	0: UT_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされてもアクションなし。 1: UT_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされた場合、 $\overline{\text{GPIO}}$ を“L”にアサートする。
b[7]	Mfr_gpio_propagate_ot	0: OT_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされてもアクションなし。 1: OT_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされた場合、 $\overline{\text{GPIO}}$ を“L”にアサートする。
b[6]	予約済み	
b[5]	予約済み	
b[4]	Mfr_gpio_propagate_input_ov	0: VIN_OV_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされてもアクションなし。 1: VIN_OV_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされた場合、 $\overline{\text{GPIO}}$ を“L”にアサートする。
b[3]	予約済み	
b[2]	Mfr_gpio_propagate_iout_oc	0: IOUT_OC_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされてもアクションなし。 1: IOUT_OC_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされた場合、 $\overline{\text{GPIO}}$ を“L”にアサートする。
b[1]	Mfr_gpio_propagate_vout_uv	0: VOUT_UV_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされてもアクションなし。 1: VOUT_UV_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされた場合、 $\overline{\text{GPIO}}$ を“L”にアサートする。 このフォルト・ビットがアサートされると、フォルトによって VOUT が UV しきい値より低い間は常に $\overline{\text{GPIO}}$ が“L”になる。UV フォルトは、デバイスが定常的な ON 状態にある場合にのみ発生する。
b[0]	Mfr_gpio_propagate_vout_ov	0: VOUT_OV_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされてもアクションなし。 1: VOUT_OV_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされた場合、 $\overline{\text{GPIO}}$ を“L”にアサートする。

**Note 1:** PWRGD ステータスはインジケータとして設計されたものであり、電源シーケンシングには使用できない。

3883fa

# LTC3883/LTC3883-1

## PMBus コマンドの詳細

### フォルト共有 - 応答

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

### MFR\_GPIO\_RESPONSE

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

値	意味
0xC0	GPIO_INHIBIT。LTC3883 は GPIO ピンの“L”アサートに対する応答として出力をトライステート化する。
0x00	GPIO_IGNORE。LTC3883 は中断せずに動作を継続する。

デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- STATUS\_BYTE の NONE\_OF\_THE\_ABOVE ビットをセットする。
- STATUS\_WORD の MFR ビットをセットする。
- STATUS\_MFR\_SPECIFIC コマンドの GPIOB ビットをセットし、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンをアサートしてホストに通知する。 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンの“L”アサートは、MFR\_CHAN\_CFG\_LTC3883 のビット 1 をセットすることでディスエーブルできる。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

### スクラッチパッド

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

### USER\_DATA\_00～USER\_DATA\_04

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

これらのコマンドはレジスタ形式の 2 バイトのデータを伴います。

### 識別

コマンド名	CMDコード	説明	タイプ	データ形式	単位	NVM	デフォルト値
PMBUS_REVISION	0x98	デバイスがサポートする PMBus のリビジョン。現在のリビジョンは 1.1。	R Byte	Reg		FS	0x11
CAPABILITY	0x19	デバイスがサポートする PMBus オプション通信プロトコルの要約。	R Byte	Reg			0xB0
MFR_ID	0x99	LTC3883 のメーカー ID を ASCII で示した値。	R String	ASC			LTC
MFR_MODEL	0x9A	メーカー製品番号を ASCII で示した値。	R String	ASC			LTC3883
MFR_SPECIAL_ID	0xE7	LTC3883 およびリビジョンを表すメーカーコード。	R Word	Reg			0x43XX

3883fa

## PMBus コマンドの詳細

### PMBus\_REVISION

PMBUS\_REVISION コマンドは、デバイスが準拠する PMBus のリビジョンを示します。LTC3883 は、PMBus バージョン 1.1 の Part I および Part II の両方に準拠しています。

この読み出し専用コマンドは 1 バイトのデータを伴います。

### CAPABILITY

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

LTC3883 は、パケット・エラー・チェック、400kHz のバス・スピード、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンをサポートします。

この読み出し専用コマンドは 1 バイトのデータを伴います。

### MFR\_ID

MFR\_ID コマンドは、LTC3883 のメーカー ID を ASCII 文字で示します。

この読み出し専用コマンドはブロック形式です。

### MFR\_MODEL

MFR\_MODEL コマンドは、LTC3883 のメーカー製品番号を ASCII 文字で示します。

この読み出し専用コマンドはブロック形式です。

### MFR\_SPECIAL\_ID

デバイスの名称とリビジョンを表す、16 ビットのワードです。0x43 はデバイスが LTC3883 であることを意味し、XX はメーカーが変更できます。

この読み出し専用コマンドは 2 バイトのデータを伴います。

## フォルト警告とステータス

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	形式	単位	NVM	デフォルト値
CLEAR_FAULTS	0x03	セットされている全フォルト・ビットをクリアする。	Send Byte				NA
MFR_CLEAR_PEAKS	0xE3	すべてのピーク値をクリアする。	Send Byte				NA
STATUS_BYTE	0x78	デバイスのフォルト状態の 1 バイトの要約	R/W Byte	Reg			NA
STATUS_WORD	0x79	デバイスのフォルト状態の 2 バイトの要約	R/W Word	Reg			NA
STATUS_VOUT	0x7A	出力電圧フォルトおよび警告の状態。	R/W Byte	Reg			NA
STATUS_IOUT	0x7B	出力電流フォルトおよび警告の状態。	R/W Byte	Reg			NA
STATUS_INPUT	0x7C	入力電源フォルトおよび警告の状態。	R/W Byte	Reg			NA
STATUS_TEMPERATURE	0x7D	READ_TEMPERATURE_1 の外部温度フォルトおよび警告の状態。	R/W Byte	Reg			NA
STATUS_CML	0x7E	通信およびメモリのフォルトおよび警告の状態。	R/W Byte	Reg			NA
STATUS_MFR_SPECIFIC	0x80	メーカー固有のフォルトおよび状態の情報。	R/W Byte	Reg			NA
MFR_PADS	0xE5	I/O パッドのデジタル・ステータス。	R Word	Reg			NA
MFR_COMMON	0xEF	複数の LTC チップに共通するメーカー・ステータス・ビット。	R Byte	Reg			NA

## PMBus コマンドの詳細

### CLEAR\_FAULTS

CLEAR\_FAULTS コマンドは、現在までにセットされているすべてのフォルト・ビットをクリアするために使われます。このコマンドは、すべてのステータス・コマンドに含まれるすべてのビットを同時にクリアします。さらに、デバイスが  $\overline{\text{ALERT}}$  ピン信号をアサート中であった場合は、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピン信号出力を否定(クリア、解放)します。

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

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

ビットをクリアする時点でフォルトが依然として存在する場合、フォルト・ビットはセットされたままになり、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンの“L”アサートによってホストに通知されます。CLEAR\_FAULTS の処理には最大 10 $\mu$ s かかる可能性があります。その時間内にフォルトが発生すると、ステータス・レジスタがセットされる前に CLEAR\_FAULTS がクリアされることがあります。

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトがありません。

### MFR\_CLEAR\_PEAKS

MFR\_CLEAR\_PEAKS コマンドは、MFR\_\*\_PEAK のデータ値をクリアします。MFR\_RESET コマンドは、このコマンドを起動します。

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトがありません。

### STATUS\_BYTE

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

以下のステータス・ビットは、STATUS\_BYTE コマンド内の対応する位置に 1 を書き込むことでクリアできます。

#### [7] BUSY

このビットにより、ユーザは CLEAR\_FAULTS コマンドの使用以外の手段によって、ステータスをクリアできます。また、コマンドの中で、このビットだけが  $\overline{\text{ALERT}}$  イベントを起動できます。

[6] このコマンドのビット 6 は、PWM がオフされると必ずセットされます。このビットのセットは  $\overline{\text{ALERT}}$  をアサートしません。

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、デバイスのフォルト状態を要約した、2 バイトの情報を返します。STATUS\_WORD をポーリング中に、ちょうどそのタイミングでフォルトが生じた場合、上位バイトセットの対応するビットは読み出さずに、下位バイトにセットされたビットが読み出される可能性があります。直後の STATUS\_WORD 再読み出しでは、上位バイトにセットされた対応するビットが読み出されます。

以下のステータス・ビットは、STATUS\_WORD コマンド内の対応する位置に 1 を書き込むことでクリアできます。

#### [8] UNKNOWN

#### [7] BUSY

このビットにより、ユーザは CLEAR\_FAULTS コマンドの使用以外の手段によって、ステータスをクリアできます。また、コマンドの中で、これらのビットだけが  $\overline{\text{ALERT}}$  イベントを起動できます。

## PMBus コマンドの詳細

[6] このコマンドのビット6は、出力がオフされると必ずセットされます。

[11] このコマンドのビット11は、出力電圧がPOWER\_GOOD\_OFFしきい値を下回ると必ずセットされます。上位バイトのいずれかのビットがセットされると、NONE\_OF\_THE\_ABOVEがアサートされます。

[14] このコマンドのビット14は、IOUT\_OC 警告またはIOUT\_OC フォルト状態になるとセットされます。このコマンドは2バイトのデータを伴います。

### STATUS\_VOUT

STATUS\_VOUT コマンドは、V<sub>OUT</sub> のステータス情報を1バイトで返します。

LTC3883では、このコマンドのビット0は未定義であり、予約済みです。

ユーザは、このコマンド内の任意のビットに1を書き込むことで、特定のフォルトをクリアできます。このビットにより、ユーザはCLEAR\_FAULTS コマンドの使用以外の手段によって、ステータスをクリアできます。

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

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

### STATUS\_IOUT

STATUS\_IOUT コマンドは、I<sub>OUT</sub> のステータス情報を1バイトで返します。

LTC3883がサポートするビットは7、6、5のみです。

ユーザは、このコマンド内の任意のビットに1を書き込むことで、特定のフォルトをクリアできます。このビットにより、ユーザはCLEAR\_FAULTS コマンドの使用以外の手段によって、ステータスをクリアできます。

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

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

### STATUS\_INPUT

STATUS\_INPUT コマンドは、V<sub>IN</sub> のステータス情報を1バイトで返します。

LTC3883がサポートするビットは7、5、1のみです。

ユーザは、このコマンド内の任意のビットに1を書き込むことで、特定のフォルトをクリアできます。このビットにより、ユーザはCLEAR\_FAULTS コマンドの使用以外の手段によって、ステータスをクリアできます。

このコマンドに含まれる、サポート対象のフォルト・ビットは、いずれも $\overline{\text{ALERT}}$  イベントを起動します。このコマンドのビット3はラッチされず、セットされたとしても $\overline{\text{ALERT}}$  を発生しません。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

### STATUS\_TEMPERATURE

STATUS\_TEMPERATURE コマンドは、温度のステータス情報を1バイトで返します。このコマンドは、対応するREAD\_TEMPERATURE\_1の値に関連づけられます。

# LTC3883/LTC3883-1

## PMBus コマンドの詳細

LTC3883がサポートするビットは7、6、4のみです。

ユーザは、このコマンド内の任意のビットに1を書き込むことで、特定のフォルトをクリアできます。このビットにより、ユーザはCLEAR\_FAULTS コマンドの使用以外の手段によって、ステータスをクリアできます。

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

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

### STATUS\_CML

STATUS\_CML コマンドは、受信したコマンドおよびシステム・メモリ/ロジックのステータス情報を1バイトで返します。

LTC3883は、このコマンドのビット2をサポートしていません。

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

ユーザは、このコマンド内の任意のビットに1を書き込むことで、特定のフォルトをクリアできます。このビットにより、ユーザはCLEAR\_FAULTS コマンドの使用以外の手段によって、ステータスをクリアできます。

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

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

### STATUS\_MFR\_SPECIFIC

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

このバイトの形式は次のとおりです。

ビット	意味
7	内部温度フォルト・リミットを超過した。
6	内部温度警告リミットを超過した。
5	工場出荷時のトリム領域、NVMのCRCフォルト。
4	PLLのロックが外れた。
3	フォルト・ログが存在する。
2	V <sub>DD33</sub> のUVまたはOVフォルト
0	外部デバイスによってGPIOピンが“L”にアサートされた。

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

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

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

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

## PMBus コマンドの詳細

### MFR\_PADS

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

ビット	割り当てられるデジタル・ピン
15	V <sub>DD33</sub> OVフォルト
14	V <sub>DD33</sub> UVフォルト
13	予約済み
12	予約済み
11	ADCの値が無効。起動時に発生する。
10	デバイスがALERTを“L”に駆動中。
9	予約済み
8	パワーグッド
7	予約済み
6	デバイスがRUNを“L”に駆動中。
5	予約済み
4	RUN
3	予約済み
2	デバイスがGPIOを“L”に駆動中。
1	予約済み
0	GPIO

1は、条件が真であることを意味します。

この読み出し専用コマンドは2バイトのデータを伴います。

### MFR\_COMMON

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

ビット	意味
7	チップはALERTを“L”に駆動していない。
6	“L”の場合、ビジー状態を意味する。
5	計算が保留中でない。
4	“L”の場合、出力が遷移中。
3	NVMが初期化済み。
2	予約済み
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。

## テレメトリ

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	形式	単位	NVM	デフォルト 値
READ_VIN	0x88	入力電源電圧の測定値。	R Word	L11	V		NA
READ_IIN	0x89	入力電源電流の測定値。	R Word	L11	A		NA
READ_VOUT	0x8B	出力電圧の測定値。	R Word	L16	V		NA

3883fa

## PMBus コマンドの詳細

READ_IOUT	0x8C	出力電流の測定値。	R Word	L11	A		NA
READ_TEMPERATURE_1	0x8D	外付けダイオードの接合部温度。IOUT_CAL_GAINをはじめとする、すべての温度関連の処理に使用される値。	R Word	L11	C		NA
READ_TEMPERATURE_2	0x8E	内部接合部温度。他のいずれのコマンドにも影響を与えない。	R Word	L11	C		NA
READ_DUTY_CYCLE	0x94	上側ゲート制御信号のデューティ・サイクル。	R Word	L11	%		NA
READ_POUT	0x96	出力電力の計算値。	R Word	L11	W		NA
READ_PIN	0x97	入力電力の計算値。	R Word	L11	W		NA
MFR_IOUT_PEAK	0xD7	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降に測定されたREAD_IOUTの最大値を報告する。	R Word	L11	A		NA
MFR_VOUT_PEAK	0xDD	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降に測定されたREAD_VOUTの最大値。	R Word	L16	V		NA
MFR_VIN_PEAK	0xDE	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降に測定されたREAD_VINの最大値。	R Word	L11	V		NA
MFR_TEMPERATURE_1_PEAK	0xDF	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降に測定された外部温度(READ_TEMPERATURE_1)の最大値。	R Word	L11	C		NA
MFR_READ_IIN_CHAN_PEAK	0xE1	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降に測定されたREAD_IINコマンドの最大値。	R Word	L11	A		NA
MFR_READ_ICHIP	0xE4	LTC3883の消費電流の測定値。	R Word	L11	A		NA
MFR_READ_IIN_CHAN	0xED	READ_IOUTとDUTY_CYCLEに基づく、入力電源電流の計算値。	R Word	L11	A		NA
MFR_TEMPERATURE_2_PEAK	0xF4	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降の内部ダイ温度のピーク	R Word	L11	C		NA

### READ\_VIN

READ\_VIN コマンドは、READ\_ICHIP・MFR\_RVINに加算するV<sub>IN</sub>ピン電圧の測定値をV単位で返します。これによって、V<sub>IN</sub>フィルタ素子の両端にLTC3883の電源電流によって発生するIR電圧降下を補償します。

この読み出し専用コマンドは、Linear\_5s\_11s形式の2バイトのデータを伴います。

### READ\_VOUT

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

この読み出し専用コマンドは、Linear\_16u形式の2バイトのデータを伴います。

### READ\_IIN

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

この読み出し専用コマンドは、Linear\_5s\_11s形式の2バイトのデータを伴います。

### READ\_IOUT

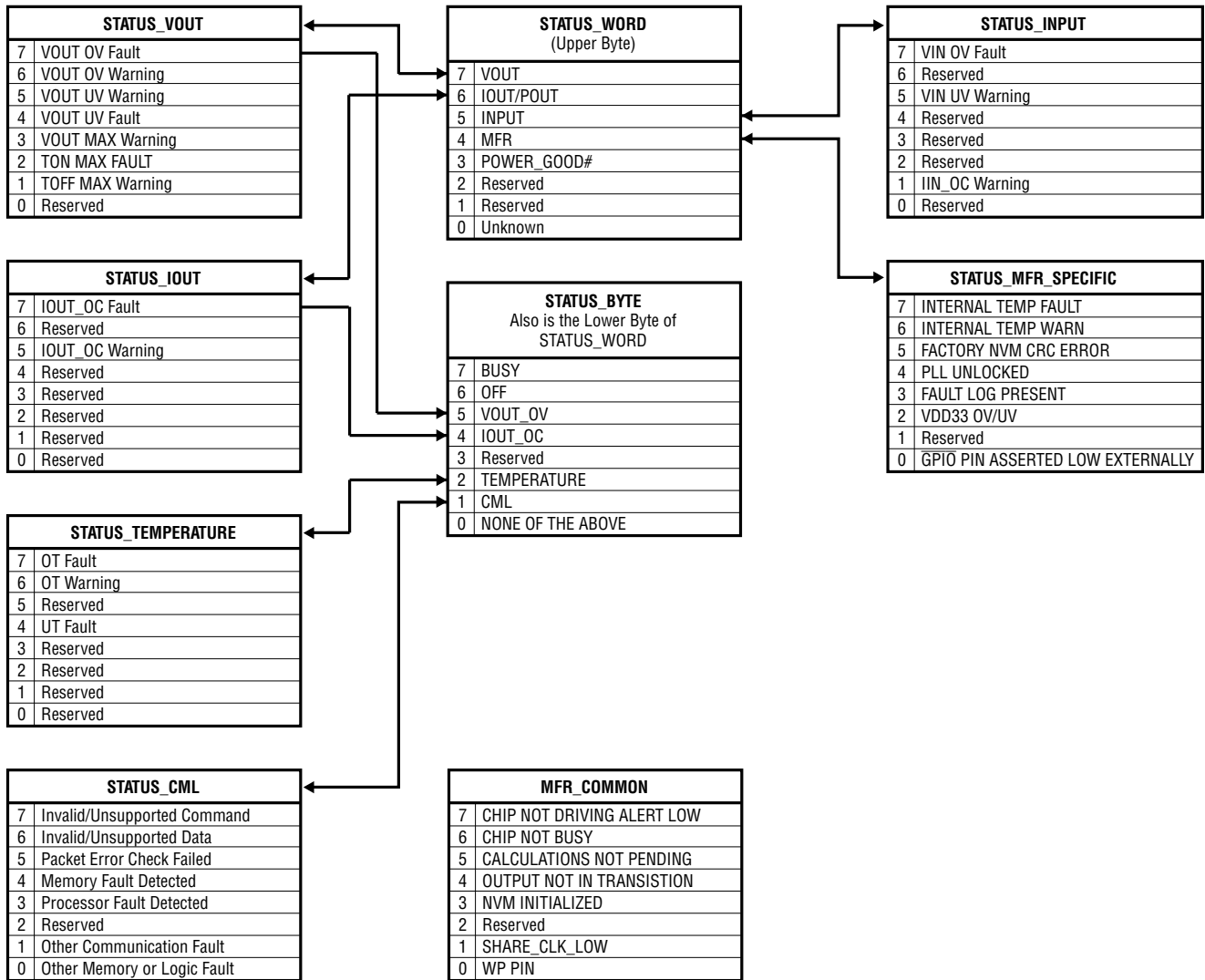
READ\_IOUT コマンドは、平均出力電流をA単位で返します。IOUTの値は、以下の値によって決まります。

- I<sub>SENSE</sub>ピンで測定される差動電圧。
- IOUT\_CAL\_GAINの値
- MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TCの値



PMBus コマンドの詳細

ステータス・コマンド一覧



## PMBus コマンドの詳細

d) READ\_TEMPERATURE\_1 の値

e) MFR\_TEMP\_1\_GAIN と MFR\_TEMP\_1\_OFFSET

f) MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TAU\_INV と MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_THETA

この読み出し専用コマンドは、Linear\_5s\_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

### READ\_TEMPERATURE\_1

READ\_TEMPERATURE\_1 コマンドは、外付けの検出素子で測定される温度を °C 単位で返します。

この読み出し専用コマンドは、Linear\_5s\_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

### READ\_TEMPERATURE\_2

READ\_TEMPERATURE\_2 コマンドは、内部検出素子で測定される温度を °C 単位で返します。

この読み出し専用コマンドは、Linear\_5s\_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

### READ\_DUTY\_CYCLE

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

この読み出し専用コマンドは、Linear\_5s\_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

### READ\_POUT

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

この読み出し専用コマンドは、Linear\_5s\_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

### READ\_PIN

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

この読み出し専用コマンドは、Linear\_5s\_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

### MFR\_IOUT\_PEAK

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

このコマンドは、MFR\_CLEAR\_PEAKS コマンドによってクリアされます。

この読み出し専用コマンドは、Linear\_5s\_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

### MFR\_VOUT\_PEAK

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

このコマンドは、MFR\_CLEAR\_PEAKS コマンドによってクリアされます。

この読み出し専用コマンドは、Linear\_16u 形式の 2 バイトのデータを伴います。

## PMBus コマンドの詳細

### MFR\_VIN\_PEAK

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

このコマンドは、MFR\_CLEAR\_PEAKS コマンドによってクリアされます。

この読み出し専用コマンドは、Linear\_5s\_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

### MFR\_TEMPERATURE\_1\_PEAK

MFR\_TEMPERATURE\_1\_PEAK コマンドは、READ\_TEMPERATURE\_1 測定によって報告される最大温度を °C 単位で返します。

このコマンドは、MFR\_CLEAR\_PEAKS コマンドによってクリアされます。

この読み出し専用コマンドは、Linear\_5s\_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

### MFR\_READ\_IIN\_PEAK

MFR\_READ\_IIN\_PEAK コマンドは、READ\_IIN 測定によって報告される最大電流を A 単位で返します。

このコマンドは、MFR\_CLEAR\_PEAKS コマンドによってクリアされます。

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

### MFR\_READ\_ICHIP

MFR\_READ\_ICHIP コマンドは、LTC3883 が消費する入力電流の測定値を A 単位で返します。

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

### MFR\_READ\_IIN\_CHAN

MFR\_READ\_IIN\_CHAN コマンドは、READ\_IOUT と DUTY\_CYCLE の関数として、入力電流の計算値を A 単位で返します。低電流において正確な値を得るには、デバイスを連続導通モードで動作させる必要があります。DCR 検出を使用する場合、インダクタの DCR 抵抗 IOUT\_CAL\_GAIN の精度が、MFR\_READ\_IIN コマンドの精度に影響を与えます。

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

### MFR\_TEMPERATURE\_2\_PEAK

MFR\_TEMPERATURE\_2\_PEAK コマンドは、READ\_TEMPERATURE\_2 測定によって報告される最大温度を °C 単位で返します。

このコマンドは、MFR\_CLEAR\_PEAKS コマンドによってクリアされます。

この読み出し専用コマンドは、Linear\_5s\_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

# LTC3883/LTC3883-1

## PMBus コマンドの詳細

### NVM メモリ・コマンド

#### ストア/リストア

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

#### STORE\_USER\_ALL

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

ダイ温度が85°Cを超える場合、または0°Cを下回る場合は、このコマンドの実行を推奨できません。また、データ保持期間の10年も保証できません。ダイ温度が130°Cを超えると、STORE\_USER\_ALL コマンドはディスエーブルされます。IC温度が125°Cを下回ると、コマンドは再度イネーブルされます。

LTC3883との通信、およびNVMのプログラミングは、VDD33が使用可能になり、かつVINが印加されていない場合に開始できます。デバイスをこの状態に移行させるには、グローバル・アドレスの0x5Bを使用し、MFR\_EE\_UNLOCKに0x2B、続いて0xC4を書き込みます。これによって、デバイスとの通信が可能になり、プロジェクト・ファイルが更新されます。更新されたプロジェクト・ファイルを書き込むには、STORE\_USER\_ALL コマンドを発行します。VINを印加したらMFR\_RESET コマンドを発行して、PWMをイネーブルし、ADCの有効な値を読み出せるようにする必要があります。

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトがありません。

#### RESTORE\_USER\_ALL

RESTORE\_USER\_ALL コマンドは、PMBus デバイスに、不揮発性ユーザNVMメモリの内容を、動作メモリの対応する位置にコピーするように指示します。動作メモリの値は、ユーザ・コマンドによって取得される値で上書きされます。RESTORE\_USER\_ALL コマンドを発行すると、リストアが完了されるまで、RUNピンとSHARE\_CLKピンが“L”にアサートされます。その後、RUNピンとSHARE\_CLKピンは解放されます。ASELピンを除き、RCONFIG抵抗分割器は再度読み込まれず、NVMに格納された値が使われます。電源投入時またはデバイスがリセットされたときに読み込まれるASELの値は、NVMから上位ビット、ASELのデコード結果から下位ビットを取得して、有効なデバイス・アドレスを計算するために使用されます。

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

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトがありません。

#### MFR\_COMPARE\_USER\_ALL

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

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトがありません。

## PMBus コマンドの詳細

### フォルト・ログ

コマンド名	CMDコード	説明	タイプ	データ形式	単位	NVM	デフォルト値
MFR_FAULT_LOG	0xEE	フォルト・ログのデータ・バイト。このシーケンシャルに取得されるデータは完全なフォルト・ログをアセンブルするために使われる。	R Block	CF		Y	NA
MFR_FAULT_LOG_STORE	0xEA	RAMからEEPROMへのフォルト・ログの伝送を指示する。デバイスはPWMがフォルトによってオフしたかのように動作する。	Send Byte				NA
MFR_FAULT_LOG_CLEAR	0xEC	フォルト・ログのために予約されたEEPROMのブロックを初期化し、以前のフォルト・ログのロックをすべてクリアする。	Send Byte				NA

### MFR\_FAULT\_LOG

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

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

この読み出し専用コマンドはブロック形式です。

### MFR\_FAULT\_LOG\_STORE

MFR\_FAULT\_LOG\_STORE コマンドは、フォルト・イベントが発生したかのように、フォルト・ログ動作が強制的にNVMに書き込まれるようにします。MFR\_CONFIG\_ALL\_LTC3883 コマンドのビット 7「フォルト・ログをイネーブル」がセットされている場合、このコマンドは、STATUS\_MFR\_SPECIFIC フォルトのビット 3 をセットします。

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

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトがありません。

### 表 11. フォルト・ログ

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

データ形式の定義				LIN 11 = PMBus = Rev 1.1, Part 2, section 7.1。
				LIN 16 = PMBus Rev 1.1, Part 2, section 8。仮数部分のみ。
				BYTE = このコマンドの定義に従って解釈される 8 ビット
データ	ビット	データ形式	バイト番号	ブロック読み出しコマンド
Block Length		BYTE	147	MFR_FAULT_LOG コマンドの長さは 147 バイト固定である。 データ・ログ・イベントが取得されていない場合、ブロック長は 0 になる。
ヘッダ情報				
Fault Position		BYTE	0	フォルト・ログをアクティブ化する原因となったフォルトを示す。

# LTC3883/LTC3883-1

## PMBus コマンドの詳細

MFR_REAL_TIME	[7:0]	BYTE	1	48ビットのバイナリ・カウンタ。値は、最後のリセット後の経過時間を200µs刻みで示したものの。
	[15:8]	BYTE	2	
	[23:16]	BYTE	3	
	[31:24]	BYTE	4	
	[39:32]	BYTE	5	
	[47:40]	BYTE	6	
MFR_VOUT_PEAK	[15:8]	LIN 16	7	最後のMFR_CLEAR_PEAKSコマンド以降のREAD_VOUTのピーク値。
	[7:0]		8	
予約済み		BYTE	9	
予約済み		BYTE	10	
MFR_IOUT_PEAK	[15:8]	LIN 11	11	最後のMFR_CLEAR_PEAKSコマンド以降のREAD_IOUTのピーク値。
	[7:0]		12	
MFR_READ_IIN_CHAN_PEAK	[15:8]	LIN 11	13	最後のMFR_CLEAR_PEAKSコマンド以降のREAD_IINのピーク値。
	[7:0]		14	
MFR_VIN_PEAK	[15:8]	LIN 11	15	最後のMFR_CLEAR_PEAKSコマンド以降のREAD_VINのピーク値。
	[7:0]		16	
READ_TEMPERATURE_1	[15:8]	LIN 11	17	最後のイベント発生時の外部温度。
	[7:0]		18	
予約済み		BYTE	19	常に0x00を返す。
予約済み		BYTE	20	常に0x00を返す。
READ_TEMPERATURE_2	[15:8]	LIN 11	21	最後のイベント発生時の内部温度センサ。
	[7:0]		22	
MFR_TEMPERATURE_1_PEAK	[15:8]	LIN 11	23	最後のMFR_CLEAR_PEAKSコマンド以降のREAD_TEMPERATURE_1のピーク値。
	[7:0]		24	
予約済み		BYTE	25	常に0x00を返す。
予約済み		BYTE	26	常に0x00を返す。

### 巡回データ

<b>EVENT n</b> (フォルトが発生したデータ。最新データ)				イベント「n」は、フォルト発生時のMUXを介したADC読み出しの完全な1サイクルを表す。例:ADCがステップ15を処理しているときにフォルトが発生した場合、ステップ25まで読み出し値の取得を続けた後、ヘッダと6つのイベント・ページのすべてをEEPROMに格納する。
--	--	--	--	--

READ_VOUT	[15:8]	LIN 16	27	
	[7:0]		28	
予約済み		BYTE	29	常に0x00を返す。
予約済み		BYTE	30	常に0x00を返す。
READ_IOUT	[15:8]	LIN 11	31	
	[7:0]		32	
MFR_READ_IIN_CHAN	[15:8]	LIN 11	33	
	[7:0]		34	
READ_VIN	[15:8]	LIN 11	35	
	[7:0]		36	
READ_IIN	[15:8]	LIN 11	37	
	[7:0]		38	
STATUS_VOUT		BYTE	39	
予約済み		BYTE	40	常に0x00を返す。
STATUS_WORD	[15:8]	WORD	41	
	[7:0]		42	

## PMBus コマンドの詳細

MFR_READ_ICHIP	[15:8]	WORD	43	
MFR_READ_ICHIP	[7:0]		44	
STATUS_MFR_SPECIFIC		BYTE	45	
予約済み		BYTE	46	常に 0x00 を返す。
<b>EVENT n-1</b>				
<b>(フォルトの検出前に測定されたデータ)</b>				
READ_VOUT	[15:8]	LIN 16	47	
	[7:0]		48	
予約済み		BYTE	49	常に 0x00 を返す。
予約済み		BYTE	50	常に 0x00 を返す。
READ_IOUT	[15:8]	LIN 11	51	
	[7:0]		52	
MFR_READ_IIN_CHAN	[15:8]	LIN 11	53	
	[7:0]		54	
READ_VIN	[15:8]	LIN 11	55	
	[7:0]		56	
READ_IIN	[15:8]	LIN 11	57	
	[7:0]		58	
STATUS_VOUT		BYTE	59	
予約済み		BYTE	60	常に 0x00 を返す。
STATUS_WORD	[15:8]	WORD	61	
	[7:0]		62	
予約済み		BYTE	63	常に 0x00 を返す。
予約済み		BYTE	64	常に 0x00 を返す。
STATUS_MFR_SPECIFIC		BYTE	65	
予約済み		BYTE	66	常に 0x00 を返す。
*				
*				
*				
<b>EVENT n-5</b>				
<b>(記録された最も古いデータ)</b>				
READ_VOUT	[15:8]	LIN 16	127	
	[7:0]		128	
予約済み		BYTE	129	常に 0x00 を返す。
予約済み		BYTE	130	常に 0x00 を返す。
READ_IOUT	[15:8]	LIN 11	131	
	[7:0]		132	
MFR_READ_IIN_CHAN	[15:8]	LIN 11	133	
	[7:0]		134	
READ_VIN	[15:8]	LIN 11	135	
	[7:0]		136	
READ_IIN	[15:8]	LIN 11	137	
	[7:0]		138	
STATUS_VOUT		BYTE	139	
予約済み		BYTE	140	常に 0x00 を返す。
STATUS_WORD	[15:8]	WORD	141	
	[7:0]		142	

## PMBus コマンドの詳細

予約済み		BYTE	143	常に 0x00 を返す。
予約済み		BYTE	144	常に 0x00 を返す。
STATUS_MFR_SPECIFIC		BYTE	145	
予約済み		BYTE	146	常に 0x00 を返す。

表 11a. Position\_Fault の値の説明

POSITION_FAULT の値	フォルト・ログの発生要因
0xFF	MFR_FAULT_LOG_STORE
0x00	TON_MAX_FAULT
0x01	VOUT_OV_FAULT
0x02	VOUT_UV_FAULT
0x03	IOUT_OC_FAULT
0x05	TEMP_OT_FAULT
0x06	TEMP_UT_FAULT
0x07	VIN_OV_FAULT
0x0A	MFR_TEMP_2_OT_FAULT

### MFR\_FAULT\_LOG\_CLEAR

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

この書き込み専用コマンドの形式はバイト送信です。

### ブロック・メモリ書き込み/読み出し

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	データ形式	単位	NVM	デフォルト値
MFR_EE_UNLOCK	0xBD	MFR_EE_ERASE と MFR_EE_DATA のコマンドによってアクセスするために、ユーザ EEPROM のロックを解除する。	R/W Byte	Reg			NA
MFR_EE_ERASE	0xBE	MFR_EE_DATA によるバルク・プログラミングのために、ユーザ EEPROM を初期化する。	R/W Byte	Reg			NA
MFR_EE_DATA	0xBF	PMBus シーケンシャル・ワード読み出しまたは書き込みによって EEPROM との間で伝送されるデータ。バルク・プログラミングをサポートする。	R/W Word	Reg			NA

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

### MFR\_EE\_UNLOCK

MFR\_EE\_ERASE のイネーブルと MFR\_EE\_DATA へのアクセス、および PEC の構成には、適切なロック解除キーを伴った MFR\_EE\_UNLOCK への複数の書き込みを使用します。

LTC3883 との通信、および NVM のプログラミングは、VDD33 が印加され、かつ VIN が印加されていない場合に開始できます。デバイスをこの状態に移行させるには、グローバル・アドレス 0x5B、コマンド MFR\_EE\_UNLOCK、データ 0x2B、続いてアドレス 0x5B、コマンド MFR\_EE\_UNLOCK、データ 0xC4 を使用します。VIN を印加したら MFR\_RESET コマンドを発行して、PWM をイネーブルし、ADC の有効な値を読み出せるようにする必要があります。

0x2B に続いて 0xD4 を書き込むと、PEC のクリア、EEPROM アドレス・ポインタのリセット、EEPROM 消去およびデータ・コマンド



## PMBus コマンドの詳細

書き込みのためのデバイスのロック解除が実行されます。

0x2B に続いて 0xD5 を書き込むと、PEC のセット、EEPROM アドレス・ポインタのリセット、EEPROM 消去およびデータ・コマンド書き込みのためのデバイスのロック解除が実行されます。

0x2B に続いて 0x91 と 0xE4 を書き込むと、PEC のクリア、EEPROM アドレス・ポインタのリセット、EEPROM の全アドレスに対するデータ読み出しのためのデバイスのロック解除が実行されます。

0x2B に続いて 0x91 と 0xE5 を書き込むと、PEC のセット、EEPROM アドレス・ポインタのリセット、EEPROM の全アドレスに対するデータ読み出しのためのデバイスのロック解除が実行されます。

### MFR\_EE\_ERASE

適切なロック解除キーに続く 1 回の書き込みによって EEPROM が消去され、以後のデータ書き込みが可能になります。このコマンドは、EEPROM へのアクセスが進行中であるかどうかを調べるために、読み出すことができます。

値 0x2B は、EEPROM を消去します。EEPROM の書き込みまたは消去によってデバイスがビジーの場合、ゼロ以外の値が返されます。

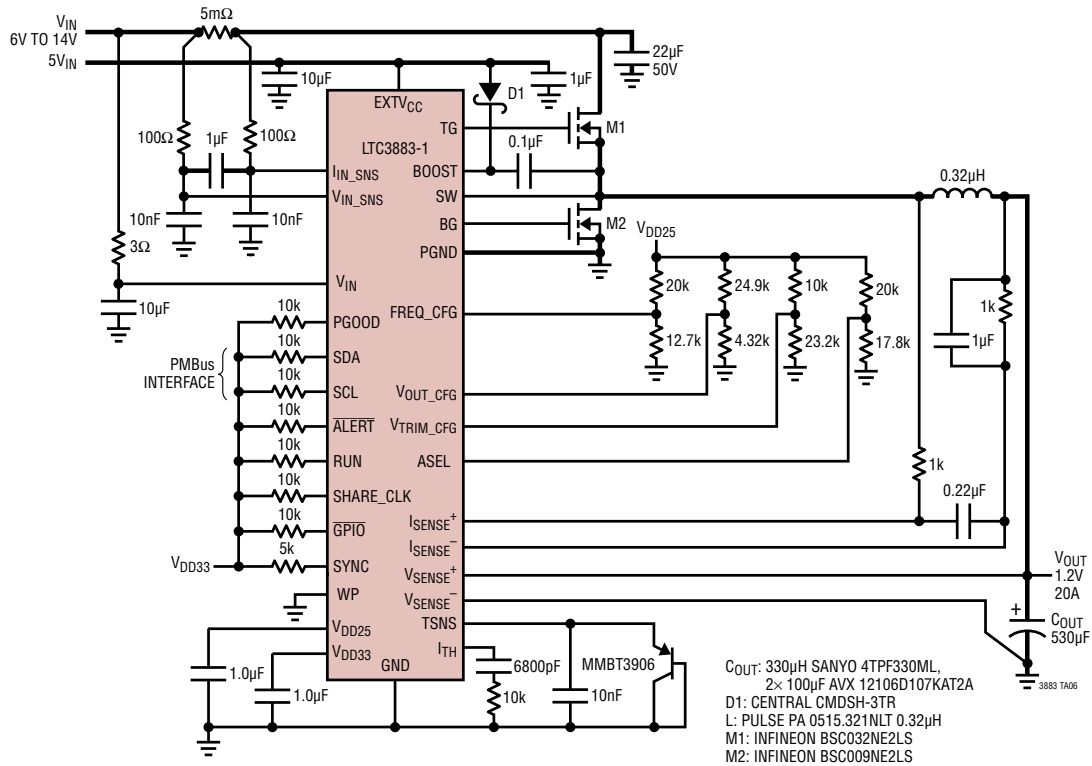
### MFR\_EE\_DATA

シーケンシャル書き込みまたは読み出しは、EEPROM からのブロック読み込みまたはリストアを実行します。連続した MFR\_EE\_DATA ワード書き込みは、EEPROM がフルになるまで入力されます。それ以上の書き込みを行うとデバイスがロックします。最初の書き込みは、最下位アドレスに対して実行されます。最初の読み出しには、16 ビットの EEPROM パッキング・リビジョン ID が返されます。2 回目の読み出しには、使用可能な 16 ビット・ワードの数が返されます。それ以降の読み出しは、最下位アドレスから始まる EEPROM のデータが返されます。

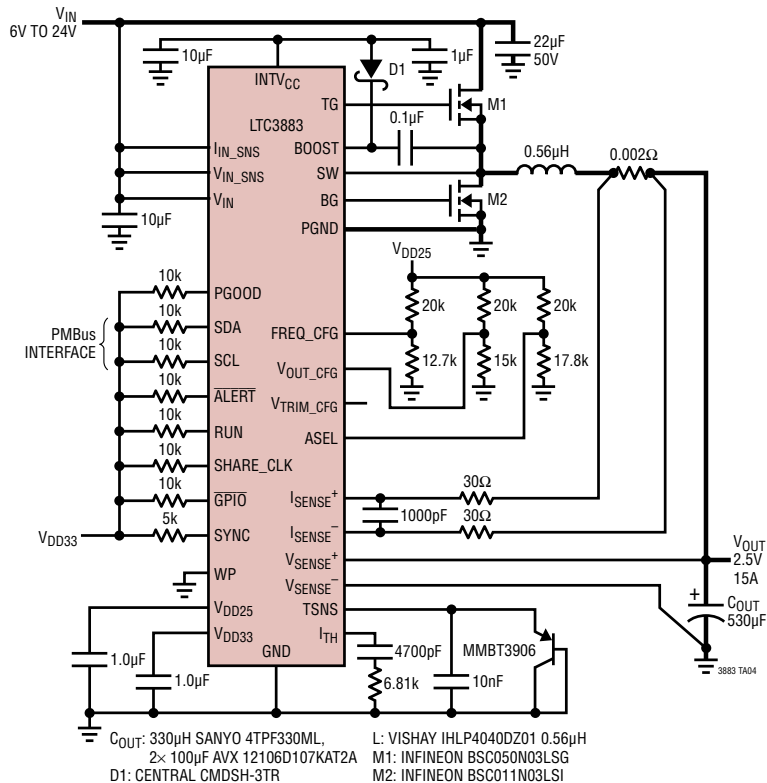
# LTC3883/LTC3883-1

## 標準的応用例

高効率500kHz/1.2V降圧コンバータ(外部V<sub>CC</sub>)



高効率500kHz/2.5V降圧コンバータ(検出抵抗あり、入力電流検出なし)

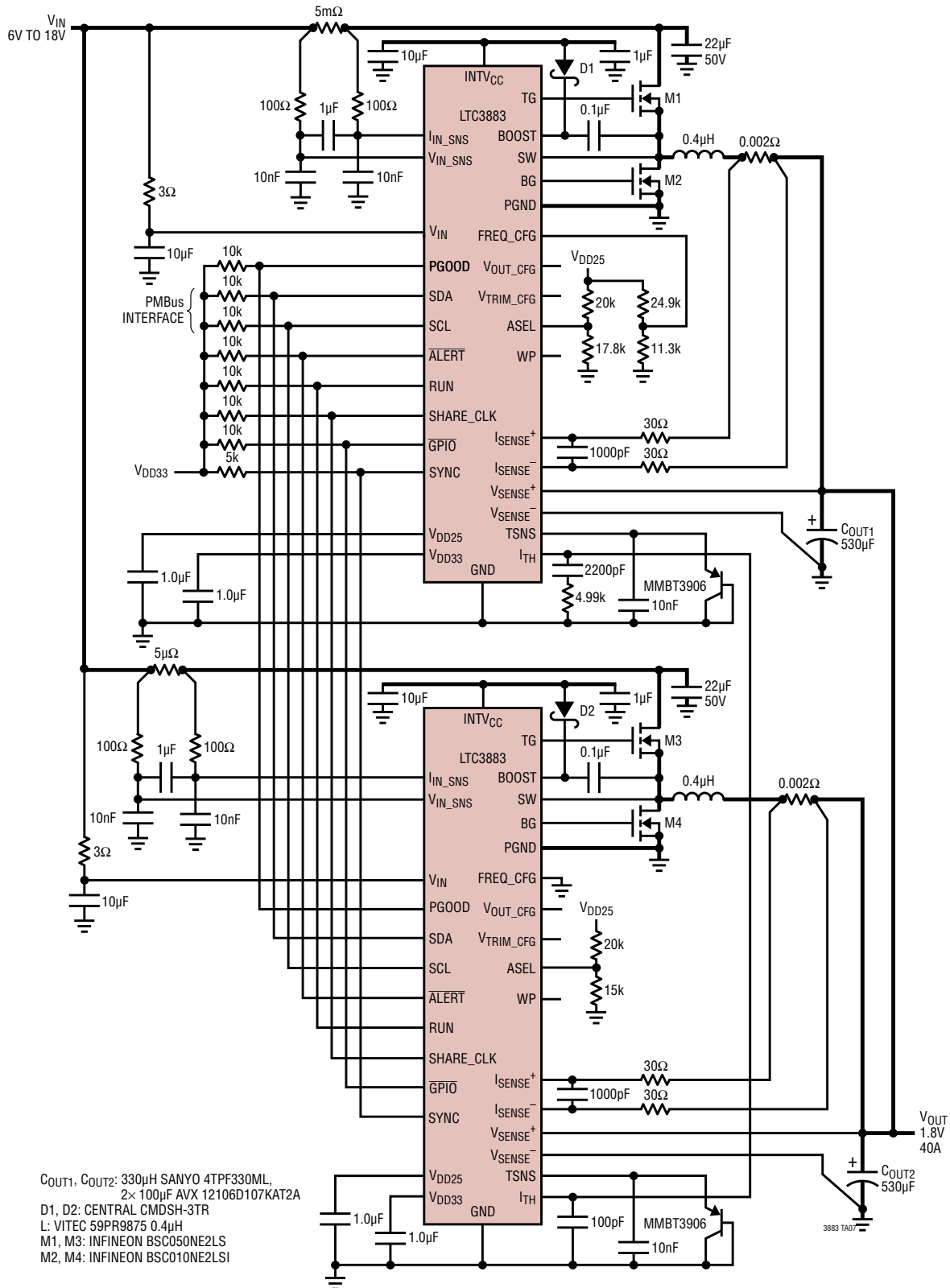




# LTC3883/LTC3883-1

## 標準的応用例

### 高効率500kHz/2位相/1.8V降圧コンバータ(検出抵抗あり)



3883fa





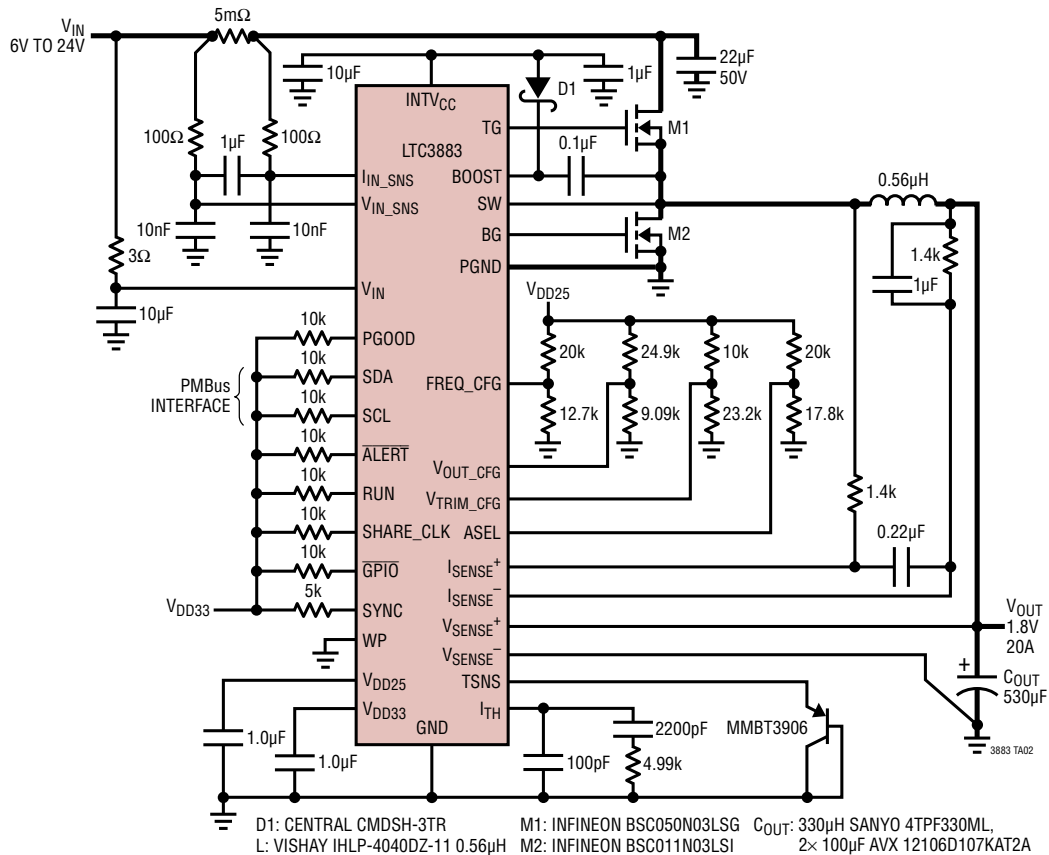
## 改訂履歴

REV	日付	概要	ページ番号
A	11/13	V <sub>OUT</sub> 範囲を 5.4V に変更。特許番号を追加。	1
		絶対最大定格に SYNC を追加。	4
		LSB step size の条件を修正。	6
		「また～」を削除、「BG、TG、RUN ピンは“L”に保持されます。	17
		GPI <sub>O</sub> ピンは高インピーダンス (Hi-Z) モードになります。」を追加。	
		「ARA コマンド動作」を削除。	23、24
		5 個の MFR レジスタの例を削除。	33、35
		RUN を SHARE_CLK に変更。文章を追加。	45
		NVM を削除。	50
		IOUT_OC_FAULT_LIMIT を Peak Current Limit に変更。	77
		MFR レジスタを削除。CLEAR_FAULTS と STATUS_WORD セクションに文章を追加。	91～93
		特許の注を改訂。	112

# LTC3883/LTC3883-1

## 標準的応用例

高効率500kHz/1.8V降圧コンバータ(DCR検出)



## 関連製品

製品番号	説明	注釈
LTC3880/LTC3880-1	デジタル・パワー・システム・マネージメント機能付き、デュアル出力マルチフェーズ降圧コントローラ	$V_{IN}$ : 最大 24V、 $0.5V \leq V_{OUT} \leq 5.5V$ 、アナログ制御ループ、 $I^2C$ /PMBus、EEPROM および 16 ビット ADC とのインタフェース
LTC3866	リモート検出機能付きサブ・ミリオーム電流モード同期整流式降圧コントローラ	PLL による固定周波数: 250kHz ~ 750kHz、 $4V \leq V_{IN} \leq 38V$ 、 $0.6V \leq V_{OUT} \leq 5V$ 、4mm×4mm QFN-24 および TSSOP-24E パッケージ
LTC3867	差動リモート検出機能および非線形制御機能付き同期整流式降圧コントローラ	PLL による固定動作周波数: 250kHz ~ 750kHz、 $4V \leq V_{IN} \leq 38V$ 、 $0.6V \leq V_{OUT} \leq 14V$ 、4mm×4mm QFN-24 パッケージ
LTC3833	差動出力検出機能付き、最大周波数 2MHz の高速高精度降圧コントローラ	非常に高速なトランジエント応答、 $t_{ON(MIN)} = 20ns$ 、 $4.5V \leq V_{IN} \leq 38V$ 、 $0.6V \leq V_{OUT} \leq 5.5V$ 、TSSOP-20E および 3mm×4mm QFN-20 パッケージ
LTC3878/LTC3879	$R_{SENSE}^{TM}$ なし、固定オン時間、同期整流式降圧コントローラ	非常に高速なトランジエント応答、 $t_{ON(MIN)} = 43ns$ 、 $4V \leq V_{IN} \leq 38V$ 、 $0.8V \leq V_{OUT} \leq 0.9V_{IN}$ 、SSOP-16、MSOP-16E および 3mm×3mm QFN-16 パッケージ
LTC3775	高周波同期整流式電圧モード降圧コントローラ	高速なトランジエント応答、 $t_{ON(MIN)} = 30ns$ 、 $4V \leq V_{IN} \leq 38V$ 、 $0.6V \leq V_{OUT} \leq 0.8V_{IN}$ 、MSOP-16E および 3mm×3mm QFN-16 パッケージ
LTC3861	差動アンプとトライステート出力駆動機能付き、デュアル、マルチフェーズ、同期整流式降圧コントローラ	パワー・ブロック、DR MOS デバイスまたは外付け MOSFET で動作、 $3V \leq V_{IN} \leq 24V$ 、最大動作周波数 2.25MHz
LTC2978	PMBus 準拠のオクタル電源モニタ・スーパーバイザ、シーケンサ、マージン・コントローラ	内蔵 EEPROM へのフォルト・ログ機能、出力電圧 8 チャンネルと入力電圧 1 チャンネルのモニタ機能

この製品は PowerOne, Inc. より、同社が所有する米国特許 7000125 および他の関連特許に記載された、デジタル電源技術に関するライセンスを供与されています。このライセンスはスタンドアロンの電源製品には拡大適用されません。

3883fa