

# デジタル・パワー・システム・マネージメント機能を備えた デュアル10Aまたはシングル20A超薄型μModuleレギュレータ

## 特長

- デジタル・インターフェースを備えたデュアル高速アナログ・ループにより制御とモニタリングに対応
- 広い入力電圧範囲: 単独動作時は4.5V~17V、補助の5Vバイアス接続時は2.375V~17V (LTM4686-1)
- 出力電圧範囲: 0.5V~3.6V
- 全温度範囲でのDC出力誤差: 最大±0.5%
- チャンネル当たりのDC出力電流: 10A(代表値)、ピーク出力電流: 12A
- 10A負荷時の電流の読出し精度: ±5%
- PMBus準拠の400kHz I<sup>2</sup>Cシリアル・インターフェース
- 16ビットのΔΣ ADC内蔵
- 最大125Hzの遠隔測定ポーリングをサポート
- 固定周波数電流モード制御
- 複数のモジュールの並列接続および電流分担
- 7ビットのスレーブ・アドレスを全てサポート
- デュアル9AのLTM4675、デュアル13AのLTM4676A、およびデュアル18AのLTM4677と差し込みピン互換
- 16mm × 11.9mm × 1.82mm LGAパッケージ

## 読出し可能なデータ:

- 入力と出力の電圧、電流、および温度
- 動作中のピーク値、動作時間、障害、および警告
- 内蔵EEPROMの障害ログ記録(ECC機能付き)

## 書き込み可能なデータおよび設定可能なパラメータ:

- 出力電圧、電圧シーケンス制御およびマージン制御
- デジタル・ソフトスタート/ストップ・ランプ
- OV/UV/OT、UVLO、周波数、および位相制御

## アプリケーション

- 試作時および量産時のシステム最適化

## 概要

LTM<sup>®</sup>4686は、デュアル10A(ピーク電流12A)またはシングル20A(ピーク電流24A)の降圧μModule<sup>®</sup>(マイクロモジュール)DC/DCレギュレータで、起動時間は39ミリ秒です。このデバイスの特長は、PMBusを介したパワー・マネージメント・パラメータの遠隔設定および遠隔測定モニタリングです。PMBusは、オープン・スタンダードでI<sup>2</sup>Cベースのデジタル・インターフェース・プロトコルです。LTM4686は、高速アナログ制御ループ、高精度ミックスド・シグナル回路、EEPROM、パワー・MOSFET、インダクタ、および周辺部品で構成されます。LTM4686の製品ビデオをWebサイトで視聴できます。ここをクリックしてください。

LTM4686は、その2線式シリアル・インターフェースにより、電圧のマージン制御とシーケンス制御、および電流、電圧、電力、温度、動作時間、ピーク値の遠隔測定読出しが可能で、ピンストラップ抵抗で起動設定値を設定します。LTpowerPlay™ GUI、DC1613 USB/PMBusコンバータ、DC2086プログラミング・アダプタ、およびデモ・キットが供給されています。5V入力で作動するアプリケーションや5Vの補助電圧(VAUX)をSV<sub>IN</sub>に供給するアプリケーションでは、LTM4686-1を使用してください。それ以外の場合はLTM4686を使用してください。

モジュールのPMBusコマンド・コード	LTM4686	LTM4686-1
0x35, VIN_ON (SV <sub>IN</sub> UVLO-Rising)	5.50V	4.25V
0x36, VIN_OFF (SV <sub>IN</sub> UVLO-Falling)	5.25V	4.00V
0x58, VIN_UV_WARN_LIMIT	5.30V	4.09V

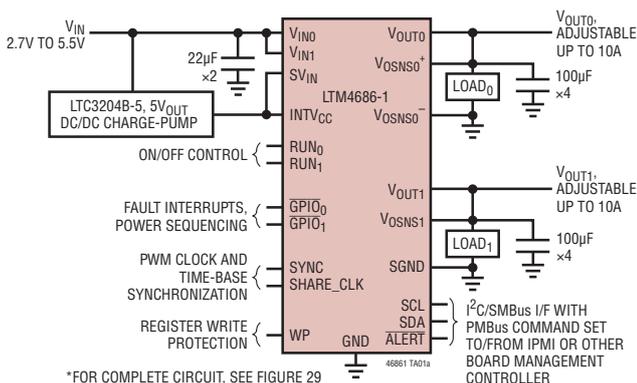
LTM4686は鉛フリーでRoHSに準拠しており、16mm × 11.9mm × 1.82mm LGAパッケージで供給されます。

全ての登録商標および商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。5408150、5481178、5705919、5929620、6144194、6177787、6580258、7420359、8163643を含む米国特許によって保護されています。米国特許7000125およびその他の関連特許の使用許可を世界中で受けています。

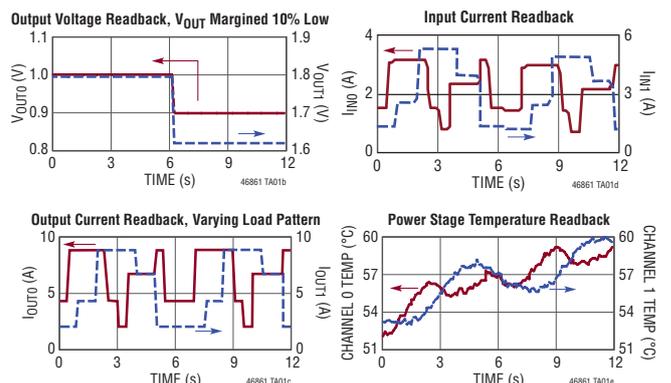
クリックして設計理念に関する関連ビデオを見る。

## 代表的なアプリケーション

デジタル・インターフェースを備え、制御とモニタリングに対応するデュアル10A μModuleレギュレータ\*



負荷パターン・テスト時に、PMBusとLTpowerPlayを使用してV<sub>OUT0</sub>/V<sub>OUT1</sub>の遠隔測定をモニタし、マージン制御を実施。ポーリング・レートは10Hz。V<sub>IN</sub>は3.3V



## 目次

特長	1	オープンドレイン・ピン	55
アプリケーション	1	フェーズ・ロック・ループと周波数同期	56
代表的なアプリケーション	1	RCONFIG ピンストラップ (外付け抵抗設定ピン)	56
概要	1	電圧の選択	57
絶対最大定格	3	USB-I <sup>2</sup> C/SMBus/PMBus 間コントローラからシステム内の LTM4686 への接続	57
発注情報	3	LTpowerPlay: デジタル・パワー・システム・ マネージメント用のインタラクティブ GUI	58
ピン配置	3	PMBus 通信とコマンド処理	61
電気的特性	4	熱に関する検討事項と出力電流の ディレーティング	63
代表的な性能特性	11	EMI 性能	65
ピン機能	13	安全性に関する検討事項	65
簡略ブロック図	18	レイアウトのチェックリスト/例	70
デカップリングの条件	18	代表的なアプリケーション	72
機能図	19	付録 A	78
テスト回路	20	PMBus、SMBus、I <sup>2</sup> C 2 線インターフェース間の 類似性	78
動作	22	付録 B	79
電源モジュールの概説	22	PMBus シリアル・デジタル・インターフェース	79
電源モジュールの設定可能性と読出しデータ	23	付録 C: PMBus コマンドの詳細	83
読出しデータの時間平均値とピーク値	26	アドレス指定と書込み保護	83
電源モジュールの概要	29	汎用設定レジスタ	85
EEPROM	32	オン/オフ/マージン	86
シリアル・インターフェース	33	PWM CONFIG	88
デバイスのアドレス指定	34	電圧	90
障害の検出と処理	34	電流	94
V <sub>OUT</sub> と I <sub>OUT</sub> の障害に対する応答	35	温度	96
タイミング障害に対する応答	36	タイミング	98
SV <sub>IN</sub> の OV 障害に対する応答	36	障害応答	100
OT/UT 障害に対する応答	36	障害信号の共有	109
外部障害に対する反応	37	スクラッチパッド	109
障害ログ	37	識別情報	110
バスのタイムアウト保護	37	障害および警告のステータス	111
<b>PMBus コマンドの概要</b>	<b>39</b>	遠隔測定	119
PMBus コマンド	39	NVM (EEPROM) メモリのコマンド	127
<b>アプリケーション情報</b>	<b>46</b>	<b>パッケージ</b>	<b>128</b>
V <sub>IN</sub> から V <sub>OUT</sub> への降圧比	49	<b>パッケージの写真</b>	<b>129</b>
入力コンデンサ	49	<b>パッケージ</b>	<b>130</b>
出力コンデンサ	49	<b>改訂履歴</b>	<b>131</b>
軽負荷電流動作	49	代表的なアプリケーション	132
スイッチング周波数と位相	50	デザイン・リソース	132
最小オン時間に関する検討事項	52	関連製品	132
可変遅延時間、ソフトスタート、 および出力電圧の上昇	52		
デジタル・サーボ・モード	53		
ソフトオフ (シーケンス制御によるオフ)	54		
低電圧ロックアウト	54		
障害の検出と処理	55		

絶対最大定格

(Note 1)

端子電圧:

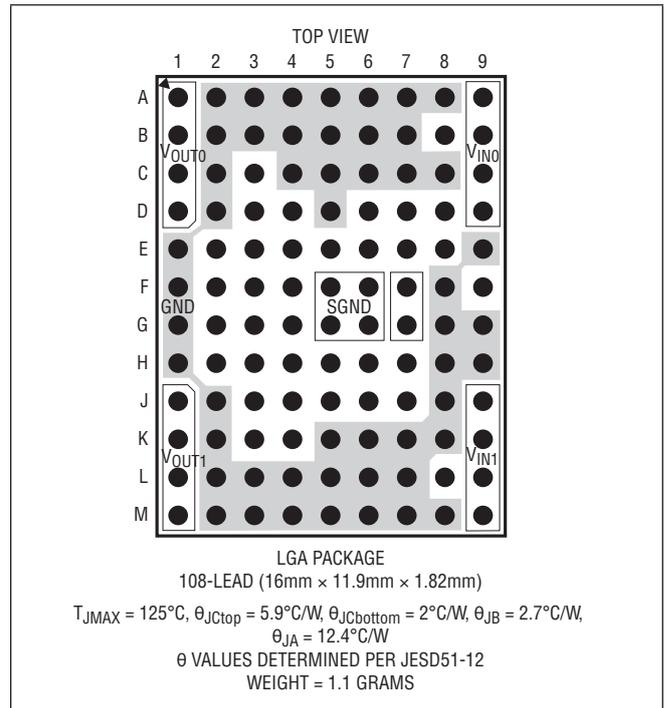
$V_{INn}$ (Note 4)、 $SV_{IN}$ .....	-0.3V~20V
$V_{OUTn}$ .....	-0.3V~6V
$V_{OSNS0}^+$ 、 $V_{ORBO}^+$ 、 $V_{OSNS1}$ 、 $V_{ORB1}$ 、 $INTV_{CC}$ .....	-0.3V~6V
$RUN_n$ 、 $SDA$ 、 $SCL$ 、 $ALERT$ .....	-0.3V~5.5V
$F_{SWPHCFG}$ 、 $V_{OUTnCFG}$ 、 $V_{TRIMnCFG}$ 、 $ASEL$ .....	-0.3V~2.75V
$V_{DD33}$ 、 $\overline{GPIO}_n$ 、 $SYNC$ 、 $SHARE\_CLK$ 、 $WP$ 、 $COMP_{na}$ 、 $V_{OSNS0}^-$ 、 $V_{ORBO}^-$ .....	-0.3V~3.6V
$SGND$ .....	-0.3V~0.3V

温度

内部動作温度範囲

(Note 2、3) .....	-40°C~125°C
保存温度範囲 .....	-55°C~125°C
パッケージ本体のハンダ・リフロー・ピーク温度 .....	260°C

ピン配置



発注情報

製品番号	パッド/ボール仕上げ	製品マーキング*		パッケージ・タイプ	MSL 定格	温度範囲 (Note 2 参照)
		デバイス	仕上げコード			
LTM4686EV#PBF	Au (RoHS)	LTM4686V	e4	LGA	4	-40°C to 125°C
LTM4686IV#PBF	Au (RoHS)	LTM4686V	e4	LGA	4	-40°C to 125°C
LTM4686EV-1#PBF	Au (RoHS)	LTM4686V-1	e4	LGA	4	-40°C to 125°C
LTM4686IV-1#PBF	Au (RoHS)	LTM4686V-1	e4	LGA	4	-40°C to 125°C

• 更に広い動作温度範囲で規定されるデバイスについては、弊社または弊社代理店にお問い合わせください。\*パッドまたはボールの仕上げコードはIPC/JEDEC J-STD-609に準拠しています。

- LGAおよびBGAの推奨PCBアセンブリ手順および製造手順
- LGA/BGAパッケージおよびトレイの図面

## 電気的特性

●は規定された全内部動作温度範囲の規格値を意味する (Note 2)。各出力チャンネルに対して規定されている (Note 4)。注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $RUN_n = 5\text{V}$ 、 $\text{FREQUENCY\_SWITCH} = 500\text{kHz}$ 、 $\text{VOUT\_COMMAND}_n = 1\text{V}$  および  $\text{VOUT\_UV\_FAULT\_RESPONSE}_n = \text{TON\_MAX\_FAULT\_RESPONSE}_n = 0x00$ 。その他全てのコマンド・コードは、注記がない限り、出荷時のデフォルト EEPROM 設定に従って設定される。注記がない限り、回路1に従ってテストされる。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$V_{IN}$	Input DC Voltage	Test Circuit 1; $5.75\text{V} \leq V_{IN} \leq 17\text{V}$ ; $\text{INTV}_{CC}$ Open; $V_{IN\_OFF} < V_{IN\_ON} = 5.5\text{V}$ Test Circuit 2; $4.5\text{V} \leq V_{IN} \leq 5.75\text{V}$ ; $\text{INTV}_{CC} = V_{IN}$ ; $V_{IN\_OFF} < V_{IN\_ON} = 4.25\text{V}$ Test Circuit 3; $4.5\text{V} \leq V_{IN} \leq 5.75\text{V}$ ; $\text{INTV}_{CC} = V_{IN}$ ; $V_{IN\_OFF} < V_{IN\_ON} = 4.25\text{V}$	● ● ●	5.75 4.5 2.375	17 5.75 17	V V V
$V_{OUT_n}$	Range of Output Voltage Regulation	$V_{OUT0}$ Differentially Sensed on $V_{OSNS0^+}/V_{OSNS0^-}$ Pin-Pair; $V_{OUT1}$ Differentially Sensed on $V_{OSNS1}/\text{SGND}$ Pin-Pair; Commanded by Serial Bus or with Resistors Present at Start-Up on $V_{OUT_nCFG}$ and/or $V_{TRIM_nCFG}$	● ●	0.5 0.5	3.6 3.6	V V
$V_{OUT_n(DC)}$	Output Voltage, Total Variation with Line and Load	(Note 5) $V_{OUT_n}$ Low Range (MFR_PWM_MODE $_n[1] = 1_b$ ), FREQUENCY_SWITCH = 425kHz) Digital Servo Engaged (MFR_PWM_MODE $_n[6] = 1_b$ ) Digital Servo Disengaged (MFR_PWM_MODE $_n[6] = 0_b$ )	●	0.995 0.985	1.000 1.005 1.015	V V

## 入力の仕様

$I_{INRUSH(VIN)}$	Input Inrush Current at Start-Up	Test Circuit 1, $V_{OUT_n} = 1\text{V}$ , $V_{IN} = 12\text{V}$ ; No Load Besides Capacitors; $\text{TON\_RISE}_n = 3\text{ms}$		400		mA
$I_{Q(SVIN)}$	Input Supply Bias Current	Forced Continuous Mode, MFR_PWM_MODE $_n[0] = 1_b$ $RUN_n = 5\text{V}$ , $RUN_{1-n} = 0\text{V}$ Shutdown, $RUN_0 = RUN_1 = 0\text{V}$		40 20		mA mA
$I_S(VIN_n, PSM)$	Input Supply Current in Pulse-Skipping Mode Operation	Pulse-Skipping Mode, MFR_PWM_MODE $_n[0] = 0_b$ , $I_{OUT_n} = 100\text{mA}$		20		mA
$I_S(VIN_n, FCM)$	Input Supply Current in Forced-Continuous Mode Operation	Forced Continuous Mode, MFR_PWM_MODE $_n[0] = 1_b$ $I_{OUT_n} = 100\text{mA}$ $I_{OUT_n} = 10\text{A}$		40 1.06		mA A
$I_S(VIN_n, SHUTDOWN)$	Input Supply Current in Shutdown	Shutdown, $RUN_n = 0\text{V}$		50		$\mu\text{A}$

## 出力の仕様

$I_{OUT_n}$	Output Continuous Current Range	(Note 6)		0	10	A
$\frac{\Delta V_{OUT_n(LINE)}}{V_{OUT_n}}$	Line Regulation Accuracy	Digital Servo Engaged (MFR_PWM_MODE $_n[6] = 1_b$ ) Digital Servo Disengaged (MFR_PWM_MODE $_n[6] = 0_b$ ) $S_{VIN}$ and $V_{IN_n}$ Electrically Shorted Together and $\text{INTV}_{CC}$ Open Circuit; $I_{OUT_n} = 0\text{A}$ , $5.75\text{V} \leq V_{IN} \leq 17\text{V}$ , $V_{OUT}$ Low Range (MFR_PWM_MODE $_n[1] = 1_b$ ) FREQUENCY_SWITCH = 425kHz (Referenced to 12VIN) (Note 5)	●	0.03 0.03	$\pm 0.2$	% %/V
$\frac{\Delta V_{OUT_n(LOAD)}}{V_{OUT_n}}$	Load Regulation Accuracy	Digital Servo Engaged (MFR_PWM_MODE $_n[6] = 1_b$ ) Digital Servo Disengaged (MFR_PWM_MODE $_n[6] = 0_b$ ) $0\text{A} \leq I_{OUT_n} \leq 10\text{A}$ , $V_{OUT}$ Low Range, (MFR_PWM_MODE $_n[1] = 1_b$ ) FREQUENCY_SWITCH = 425kHz (Note 5)	●	0.03 0.2	0.5	% %
$V_{OUT_n(AC)}$	Output Voltage Ripple			10		mVp-p
$f_S$ (Each Channel)	$V_{OUT_n}$ Ripple Frequency	FREQUENCY_SWITCH Set to 500kHz (0x $\text{FBE8}$ )	●	475	500 525	kHz
$\Delta V_{OUT_n(START)}$	Turn-On Overshoot	$\text{TON\_RISE}_n = 2\text{ms}$ (Note 12)		8		mV
$t_{START}$	Turn-On Start-Up Time	Time from $V_{IN}$ Toggling from 0V to 12V to Rising Edge of $\overline{\text{GPIO}}_n$ . $\text{TON\_DELAY}_n = 0\text{ms}$ , $\text{TON\_RISE}_n = 2\text{ms}$ , MFR_GPIO_PROPAGATE $_n = 0x0100$ , MFR_GPIO_RESPONSE $_n = 0x0000$	●	34	39	ms
$t_{DELAY(0ms)}$	Turn-On Delay Time	Time from First Rising Edge of $RUN_n$ to Rising Edge of $\overline{\text{GPIO}}_n$ . $\text{TON\_DELAY}_n = 0\text{ms}$ , $\text{TON\_RISE}_n = 3\text{ms}$ , MFR_GPIO_PROPAGATE $_n = 0x0100$ , MFR_GPIO_RESPONSE $_n = 0x0000$ . $V_{IN}$ Having Been Established for at Least 39ms	●	2.75	3.1 3.5	ms

## 電氣的特性

●は規定された全内部動作温度範囲の規格値を意味する (Note 2)。各出力チャンネルに対して規定されている (Note 4)。注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $RUN_n = 5\text{V}$ 、 $\text{FREQUENCY\_SWITCH} = 500\text{kHz}$ 、 $\text{VOUT\_COMMAND}_n = 1\text{V}$  および  $\text{VOUT\_UV\_FAULT\_RESPONSE}_n = \text{TON\_MAX\_FAULT\_RESPONSE}_n = 0x00$ 。その他全てのコマンド・コードは、注記がない限り、出荷時のデフォルト EEPROM 設定に従って設定される。注記がない限り、回路1に従ってテストされる。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$\Delta V_{OUTn(LS)}$	Peak Output Voltage Deviation for Dynamic Load Step	Load: 0A to 5A and 5A to 0A at 5A/ $\mu\text{s}$ , Figure 61 Circuit, $V_{OUTn} = 1\text{V}$ , $V_{IN} = 12\text{V}$ (Note 12)		55		mV
$t_{SETTLE}$	Settling Time for Dynamic Load Step	Load: 0A to 5A and 5A to 0A at 5A/ $\mu\text{s}$ , Figure 61 Circuit, $V_{OUTn} = 1\text{V}$ , $V_{IN} = 12\text{V}$ (Note 12)		35		$\mu\text{s}$
$I_{OUTn(OCL\_PK)}$	Output Current Limit, Peak	Cycle-by-Cycle Inductor Peak Current Limit Inception		18.8		A
$I_{OUTn(OCL\_AVG)}$	Output Current Limit, Time Averaged	Time-Averaged Output Inductor Current Limit Inception Threshold, Commanded by $I_{OUT\_OC\_FAULT\_LIMIT}_n$ (Note 12)	14.4A; See $I_{O-RB-ACC}$ Specification (Output Current Readback Accuracy)			

## 制御部

$V_{FBM0}$	Channel 0 Feedback Input Common Mode Range	$V_{OSNS0^-}$ Valid Input Range (Referred to SGND) $V_{OSNS0^+}$ Valid Input Range (Referred to SGND)	● ●	-0.1	0.3 4.1	V V
$V_{FBM1}$	Channel 1 Feedback Input Common Mode Range	SGND Valid Input Range (Referred to GND) $V_{OSNS1}$ Valid Input Range (Referred to SGND)	● ●	-0.3	0.3 4.1	V V
$V_{OUT-RNG0}$	Full-Scale Command Voltage, Range 0	(Notes 7, 15) $V_{OUTn}$ Commanded to 3.600V, $\text{MFR\_PWM\_MODE}_{n[1]} = 0_b$ Resolution LSB Step Size		3.548	12 1.375	V Bits mV
$V_{OUT-RNG1}$	Full-Scale Command Voltage, Range 1	(Notes 7, 15) $V_{OUTn}$ Commanded to 2.750V, $\text{MFR\_PWM\_MODE}_{n[1]} = 1_b$ Resolution LSB Step Size		2.711	12 0.6875	V Bits mV
$R_{VSENSE0^+}$	$V_{OSNS0^+}$ Impedance to SGND	$0.05\text{V} \leq V_{VOSNS0^+} - V_{SGND} \leq 3.6\text{V}$			41	k $\Omega$
$R_{VSENSE1+}$	$V_{OSNS1}$ Impedance to SGND	$0.05\text{V} \leq V_{VOSNS1} - V_{SGND} \leq 3.6\text{V}$			37	k $\Omega$
$t_{ON(MIN)}$	Minimum On-Time	(Note 8)			45	ns

アナログ OV/UV (過電圧/低電圧) 出力電圧監視回路コンパレータ ( $V_{OUT\_OV/UV\_FAULT\_LIMIT}$  モニタと  $V_{OUT\_OV/UV\_WARN\_LIMIT}$  モニタ)

$N_{OV/UV\_COMP}$	Resolution, Output Voltage Supervisors	(Note 15)			8	Bits
$V_{OV-RNG}$	Output OV Comparator Threshold Detection Range	(Note 15) High Range Scale, $\text{MFR\_PWM\_MODE}_{n[1]} = 0_b$ Low Range Scale, $\text{MFR\_PWM\_MODE}_{n[1]} = 1_b$		1 0.5	4.0 2.7	V V
$V_{OU-STP}$	Output OV and UV Comparator Threshold Programming LSB Step Size	(Note 15) High Range Scale, $\text{MFR\_PWM\_MODE}_{n[1]} = 0_b$ Low Range Scale, $\text{MFR\_PWM\_MODE}_{n[1]} = 1_b$			22 11	mV mV
$V_{OV-ACC}$	Output OV Comparator Threshold Accuracy	(See Note 14) $2\text{V} \leq V_{VOSNS0^+} - V_{VOSNS0^-} \leq 4\text{V}$ , $\text{MFR\_PWM\_MODE}_{0[1]} = 0_b$ $1\text{V} \leq V_{VOSNS0^+} - V_{VOSNS0^-} \leq 2.7\text{V}$ , $\text{MFR\_PWM\_MODE}_{0[1]} = 1_b$ $0.5\text{V} \leq V_{VOSNS0^+} - V_{VOSNS0^-} < 1\text{V}$ , $\text{MFR\_PWM\_MODE}_{0[1]} = 1_b$ $2\text{V} \leq V_{VSENSE1} - V_{SGND} \leq 4\text{V}$ , $\text{MFR\_PWM\_MODE}_{1[1]} = 0_b$ $1.5\text{V} \leq V_{VSENSE1} - V_{SGND} \leq 2.7\text{V}$ , $\text{MFR\_PWM\_MODE}_{1[1]} = 1_b$ $0.5\text{V} \leq V_{VSENSE1} - V_{SGND} < 1.5\text{V}$ , $\text{MFR\_PWM\_MODE}_{1[1]} = 1_b$	● ● ● ● ● ●		$\pm 2$ $\pm 2$ $\pm 20$ $\pm 2$ $\pm 2$ $\pm 30$	% % mV % % mV

## 電気的特性

●は規定された全内部動作温度範囲の規格値を意味する (Note 2)。各出力チャンネルに対して規定されている (Note 4)。注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $\text{RUN}_n = 5\text{V}$ 、 $\text{FREQUENCY\_SWITCH} = 500\text{kHz}$ 、 $\text{VOUT\_COMMAND}_n = 1\text{V}$  および  $\text{VOUT\_UV\_FAULT\_RESPONSE}_n = \text{TON\_MAX\_FAULT\_RESPONSE}_n = 0\text{x00}$ 。その他全てのコマンド・コードは、注記がない限り、出荷時のデフォルト EEPROM 設定に従って設定される。注記がない限り、回路 1 に従ってテストされる。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$V_{UV-RNG}$	Output UV Comparator Threshold Detection Range	(Note 15) High Range Scale, $\text{MFR\_PWM\_MODE}_n[1] = 0_b$ Low Range Scale, $\text{MFR\_PWM\_MODE}_n[1] = 1_b$	1 0.5		3.6 2.7	V V
$V_{UV-ACC}$	Output UV Comparator Threshold Accuracy	(See Note 14) $2\text{V} \leq V_{\text{SENSE0}^+} - V_{\text{SENSE0}^-} \leq 3.6\text{V}$ , $\text{MFR\_PWM\_MODE}_0[1] = 0_b$ $1\text{V} \leq V_{\text{SENSE0}^+} - V_{\text{SENSE0}^-} \leq 2.7\text{V}$ , $\text{MFR\_PWM\_MODE}_0[1] = 1_b$ $0.5\text{V} \leq V_{\text{SENSE0}^+} - V_{\text{SENSE0}^-} < 1\text{V}$ , $\text{MFR\_PWM\_MODE}_0[1] = 1_b$ $2\text{V} \leq V_{\text{OSNS1}} - V_{\text{SGND}} \leq 3.6\text{V}$ , $\text{MFR\_PWM\_MODE}_1[1] = 0_b$ $1.5\text{V} \leq V_{\text{OSNS1}} - V_{\text{SGND}} \leq 2.7\text{V}$ , $\text{MFR\_PWM\_MODE}_1[1] = 1_b$ $0.5\text{V} \leq V_{\text{OSNS1}} - V_{\text{SGND}} < 1.5\text{V}$ , $\text{MFR\_PWM\_MODE}_1[1] = 1_b$	● ● ● ● ● ●		$\pm 2$ $\pm 2$ $\pm 20$ $\pm 2$ $\pm 2$ $\pm 30$	% % mV % % mV
$t_{\text{PROP-OV}}$	Output OV Comparator Response Times	Overdrive to 10% Above Programmed Threshold			35	$\mu\text{s}$
$t_{\text{PROP-UV}}$	Output UV Comparator Response Times	Underdrive to 10% Below Programmed Threshold			50	$\mu\text{s}$

### アナログ OV/UV $SV_{IN}$ 入力電圧監視回路コンパレータ ( $V_{IN\_ON}$ と $V_{IN\_OFF}$ の閾値検出器)

$N_{SVIN-OV/UV-COMP}$	$SV_{IN}$ OV/UV Comparator Threshold-Programming Resolution	(Note 15)		8		Bits
$SV_{IN-OU-RANGE}$	$SV_{IN}$ OV/UV Comparator Threshold-Programming Range		●	4.5	20	V
$SV_{IN-OU-STP}$	$SV_{IN}$ OV/UV Comparator Threshold-Programming LSB Step Size	(Note 15)		82		mV
$SV_{IN-OU-ACC}$	$SV_{IN}$ OV/UV Comparator Threshold Accuracy	$9\text{V} < SV_{IN} \leq 20\text{V}$ $4.5\text{V} \leq SV_{IN} \leq 9\text{V}$	● ●		$\pm 2.5$ $\pm 225$	% mV
$t_{\text{PROP-SVIN-HIGH-VIN}}$	$SV_{IN}$ OV/UV Comparator Response Time, High $V_{IN}$ Operating Configuration	Test Circuit 1, and: $V_{IN\_ON} = 9\text{V}$ ; $SV_{IN}$ Driven from 8.775V to 9.225V $V_{IN\_OFF} = 9\text{V}$ ; $SV_{IN}$ Driven from 9.225V to 8.775V	● ●		35 35	$\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$
$t_{\text{PROP-SVIN-LOW-VIN}}$	$SV_{IN}$ OV/UV Comparator Response Time, Low $V_{IN}$ Operating Configuration	Test Circuit 2, and: $V_{IN\_ON} = 4.5\text{V}$ ; $SV_{IN}$ Driven from 4.225V to 4.725V $V_{IN\_OFF} = 4.5\text{V}$ ; $SV_{IN}$ Driven from 4.725V to 4.225V	● ●		35 35	$\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$

### チャンネル 0 および 1 の出力電圧の読出し ( $\text{READ\_VOUT}_n$ )

$N_{VO-RB}$	Output Voltage Readback Resolution and LSB Step Size	(Note 15)		16 244		Bits $\mu\text{V}$
$V_{O-F/S}$	Output Voltage Full-Scale Digitizable Range	$V_{\text{RUN}_n} = 0\text{V}$ (Notes 7, 15)		8		V
$V_{O-RB-ACC}$	Output Voltage Readback Accuracy	Channel 0: $1\text{V} \leq V_{\text{OSNS0}^+} - V_{\text{OSNS0}^-} \leq 3.6\text{V}$ Channel 0: $0.6\text{V} \leq V_{\text{OSNS0}^+} - V_{\text{OSNS0}^-} < 1\text{V}$ Channel 1: $1\text{V} \leq V_{\text{OSNS1}} - V_{\text{SGND}} \leq 3.6\text{V}$ Channel 1: $0.6\text{V} \leq V_{\text{OSNS1}} - V_{\text{SGND}} < 1\text{V}$	● ● ● ●		Within $\pm 0.5\%$ of Reading Within $\pm 5\text{mV}$ of Reading Within $\pm 0.5\%$ of Reading Within $\pm 5\text{mV}$ of Reading	
$t_{\text{CONVERT-VO-RB}}$	Output Voltage Readback Update Rate	$\text{MFR\_ADC\_CONTROL} = 0\text{x00}$ (Notes 9, 15) $\text{MFR\_ADC\_CONTROL} = 0\text{x0D}$ (Notes 9, 15) $\text{MFR\_ADC\_CONTROL} = 0\text{x05}$ or $0\text{x09}$ (Notes 9, 15)		90 27 8		ms ms ms

## 電気的特性

●は規定された全内部動作温度範囲の規格値を意味する (Note 2)。各出力チャンネルに対して規定されている (Note 4)。注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $RUN_n = 5\text{V}$ 、 $\text{FREQUENCY\_SWITCH} = 500\text{kHz}$ 、 $\text{VOUT\_COMMAND}_n = 1\text{V}$  および  $\text{VOUT\_UV\_FAULT\_RESPONSE}_n = \text{TON\_MAX\_FAULT\_RESPONSE}_n = 0\text{x00}$ 。その他全てのコマンド・コードは、注記がない限り、出荷時のデフォルト EEPROM 設定に従って設定される。注記がない限り、回路 1 に従ってテストされる。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>入力電圧 (<math>V_{IN}</math>) の読出し (<math>\text{READ\_VIN}</math>)</b>						
$N_{\text{SVIN-RB}}$	Input Voltage Readback Resolution and LSB Step Size	(Notes 10, 15)		10 15.625		Bits mV
$\text{SVIN-F/S}$	Input Voltage Full-Scale Digitizable Range	(Notes 11, 15)		38.91		V
$\text{SVIN-RB-ACC}$	Input Voltage Readback Accuracy	$\text{READ\_VIN}$ , $4.5\text{V} \leq \text{SVIN} \leq 17\text{V}$	●	Within $\pm 2\%$ of Reading		
$t_{\text{CONVERT-SVIN-RB}}$	Input Voltage Readback Update Rate	$\text{MFR\_ADC\_CONTROL} = 0\text{x00}$ (Notes 9, 15) $\text{MFR\_ADC\_CONTROL} = 0\text{x01}$ (Notes 9, 15)		90 8		ms ms
<b>チャンネル 0 および 1 の出力電流 (<math>\text{READ\_IOUT}_n</math>)、デューティ・サイクル (<math>\text{READ\_DUTY\_CYCLE}_n</math>)、および入力電流計算値 (<math>\text{MFR\_READ\_IIN}_n</math>) の読出し</b>						
$N_{\text{IO-RB}}$	Output Current Readback Resolution and LSB Step Size	(Notes 10, 12)		10 15.6		Bits mA
$\text{IO-F/S}$ , $\text{II-F/S}$	Output Current Full-Scale Digitizable Range and Input Current Range of Calculation	(Note 12)		$\pm 40$		A
$\text{IO-RB-ACC}$	Output Current, Readback Accuracy	$\text{READ\_IOUT}_n$ , Channels 0 and 1, $0 \leq \text{IOUT}_n \leq 10\text{A}$ , Forced-Continuous Mode, $\text{MFR\_PWM\_MODE}_n[1:0] = 10_b$	●	Within 500mA of Reading		
$\text{IO-RB}(10\text{A})$	Full Load Output Current Readback	$\text{IOUT}_n = 10\text{A}$ (Note 12). See Histograms in Typical Performance Characteristics		10		A
$N_{\text{II-RB}}$	Computed Input Current, Readback Resolution and LSB Step Size	(Notes 10, 12)		10 1.95		Bits mA
$\text{II-RB-ACC}$	Computed Input Current, Readback Accuracy, Neglecting $\text{ISVIN}$	$\text{MFR\_READ\_IIN}_n$ , Channels 0 and 1, $0 \leq \text{IOUT}_n \leq 10\text{A}$ , Forced-Continuous Mode, $\text{MFR\_PWM\_MODE}_n[1:0] = 10_b$ , $\text{MFR\_IIN\_OFFSET}_n = 0\text{mA}$	●	Within 150mA of Reading		
$t_{\text{CONVERT-IO-RB}}$	Output Current Readback Update Rate	$\text{MFR\_ADC\_CONTROL} = 0\text{x00}$ (Notes 9, 15) $\text{MFR\_ADC\_CONTROL} = 0\text{x0D}$ (Notes 9, 15) $\text{MFR\_ADC\_CONTROL} = 0\text{x06}$ or $0\text{x0A}$ (Notes 9, 15)		90 27 8		ms ms ms
$t_{\text{CONVERT-II-RB}}$	Computed Input Current, Readback Update Rate	$\text{MFR\_ADC\_CONTROL} = 0\text{x00}$ (Notes 9, 15)		90		ms
$N_{\text{DUTY-RB}}$	Resolution, Duty Cycle Readback	(Notes 10, 15)		10		Bits
$\text{DRB-ACC}$	Duty Cycle TUE	$\text{READ\_DUTY\_CYCLE}_n$ , 16.3% Duty Cycle (Note 15)			$\pm 3$	%
$t_{\text{CONVERT-DUTY-RB}}$	Duty Cycle Readback Update Rate	$\text{MFR\_ADC\_CONTROL} = 0\text{x00}$ (Notes 9, 15)		90		ms

# LTM4686/LTM4686-1

## 電気的特性

●は規定された全内部動作温度範囲の規格値を意味する (Note 2)。各出力チャンネルに対して規定されている (Note 4)。注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $RUN_n = 5\text{V}$ 、 $\text{FREQUENCY\_SWITCH} = 500\text{kHz}$ 、 $\text{VOUT\_COMMAND}_n = 1\text{V}$  および  $\text{VOUT\_UV\_FAULT\_RESPONSE}_n = \text{TON\_MAX\_FAULT\_RESPONSE}_n = 0x00$ 。その他全てのコマンド・コードは、注記がない限り、出荷時のデフォルト EEPROM 設定に従って設定される。注記がない限り、回路 1 に従ってテストされる。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
チャンネル0、チャンネル1、およびコントローラの温度の読み出し (それぞれ $\text{READ\_TEMPERATURE\_1}_0$ 、 $\text{READ\_TEMPERATURE\_1}_1$ 、および $\text{READ\_TEMPERATURE\_2}$ )							
$T_{\text{RES-RB}}$	Temperature Readback Resolution	Channel 0, Channel 1, and Controller (Note 15)		0.0625		$^\circ\text{C}$	
$T_{\text{RB-CH-ACC}}(72\text{mV})$	Channel Temperature TUE, Switching Action Off	Channels 0 and 1, PWM Inactive, $RUN_n = 0\text{V}$ , $\Delta V_{\text{TSENS}} = 72\text{mV}$	●	Within $\pm 3^\circ\text{C}$ of Reading			
$T_{\text{RB-CH-ACC}}(\text{ON})$	Channel Temperature TUE, Switching Action On	$\text{READ\_TEMPERATURE\_1}_n$ , Channels 0 and 1, PWM Active, $RUN_n = 5\text{V}$ (Note 12)		Within $\pm 3^\circ\text{C}$ of Reading			
$T_{\text{RB-CTRL-ACC}}(\text{ON})$	Control IC Die Temperature TUE, Switching Action On	$\text{READ\_TEMPERATURE\_2}$ , PWM Active, $RUN_0 = RUN_1 = 5\text{V}$ (Note 12)		Within $\pm 1^\circ\text{C}$ of Reading, Typ			
$t_{\text{CONVERT-TEMP-RB}}$	Temperature Readback Update Rate	$\text{MFR\_ADC\_CONTROL} = 0x00$ (Notes 9, 15) $\text{MFR\_ADC\_CONTROL} = 0x06$ or $0x0A$ (Notes 9, 15)		90 8		ms ms	
<b>INTV<sub>CC</sub> レギュレータ</b>							
$V_{\text{INTVCC}}$	Internal V <sub>CC</sub> Voltage No Load	$6\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 17\text{V}$		4.8	5	5.2	V
$\frac{\Delta V_{\text{INTVCC}}(\text{LOAD})}{V_{\text{INTVCC}}}$	INTV <sub>CC</sub> Load Regulation	$0\text{mA} \leq I_{\text{INTVCC}} \leq 50\text{mA}$		0.5	$\pm 2$		%
<b>V<sub>DD33</sub> レギュレータ</b>							
$V_{\text{DD33}}$	Internal V <sub>DD33</sub> Voltage			3.2	3.3	3.4	V
$I_{\text{LIM}}(\text{VDD33})$	V <sub>DD33</sub> Current Limit	V <sub>DD33</sub> Electrically Short-Circuited to GND		70			mA
$V_{\text{DD33\_OV}}$	V <sub>DD33</sub> Overvoltage Threshold	(Note 15)		3.5			V
$V_{\text{DD33\_UV}}$	V <sub>DD33</sub> Undervoltage Threshold	(Note 15)		3.1			V
<b>V<sub>DD25</sub> レギュレータ</b>							
$V_{\text{DD25}}$	Internal V <sub>DD25</sub> Voltage			2.5			V
$I_{\text{LIM}}(\text{VDD25})$	V <sub>DD25</sub> Current Limit	V <sub>DD25</sub> Electrically Short-Circuited to GND		50			mA
<b>発振器とフェーズ・ロック・ループ (PLL)</b>							
$f_{\text{OSC}}$	Oscillator Frequency Accuracy	$\text{FREQUENCY\_SWITCH} = 500\text{kHz}$ ( $0x\text{FBE8}$ ) $250\text{kHz} \leq \text{FREQUENCY\_SWITCH} \leq 1\text{MHz}$ (Note 15)	●		$\pm 5$ $\pm 5$		% %
$f_{\text{SYNC}}$	PLL SYNC Capture Range	(Note 16)	●	225	1050		kHz
$V_{\text{TH,SYNC}}$	SYNC Input Threshold	$V_{\text{SYNC}}$ Rising (Note 15) $V_{\text{SYNC}}$ Falling (Note 15)		1.5 1			V V
$V_{\text{OL,SYNC}}$	SYNC Low Output Voltage	$I_{\text{SYNC}} = 3\text{mA}$	●	0.3	0.4		V
$I_{\text{SYNC}}$	SYNC Leakage Current in Frequency Slave Mode	$0\text{V} \leq V_{\text{SYNC}} \leq 3.6\text{V}$ $\text{MFR\_CONFIG\_ALL}[4] = 1_b$	●		$\pm 5$		$\mu\text{A}$
$\theta_{\text{SYNC-}\theta 0}$	SYNC-to-Channel 0 Phase Relationship, Lag from Falling Edge of Sync to Rising Edge of Top MOSFET (MTO) Gate	(Note 15) $\text{MFR\_PWM\_CONFIG}[2:0] = 000_b, 01X_b$ $\text{MFR\_PWM\_CONFIG}[2:0] = 101_b$ $\text{MFR\_PWM\_CONFIG}[2:0] = 001_b$ $\text{MFR\_PWM\_CONFIG}[2:0] = 1X0_b$		0 60 90 120			Deg Deg Deg Deg

## 電気的特性

●は規定された全内部動作温度範囲の規格値を意味する (Note 2)。各出力チャンネルに対して規定されている (Note 4)。注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $RUN_n = 5\text{V}$ 、 $\text{FREQUENCY\_SWITCH} = 500\text{kHz}$ 、 $\text{VOUT\_COMMAND}_n = 1\text{V}$  および  $\text{VOUT\_UV\_FAULT\_RESPONSE}_n = \text{TON\_MAX\_FAULT\_RESPONSE}_n = 0x00$ 。その他全てのコマンド・コードは、注記がない限り、出荷時のデフォルト EEPROM 設定に従って設定される。注記がない限り、回路1に従ってテストされる。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$\theta_{\text{SYNC-}\theta 1}$	SYNC-to-Channel 1 Phase Relationship, Lag from Falling Edge of Sync to Rising Edge of Top MOSFET (MT1) Gate	(Note 15) MFR_PWM_CONFIG[2:0] = 011 <sub>b</sub> MFR_PWM_CONFIG[2:0] = 000 <sub>b</sub> MFR_PWM_CONFIG[2:0] = 010 <sub>b</sub> , 10X <sub>b</sub> MFR_PWM_CONFIG[2:0] = 001 <sub>b</sub> MFR_PWM_CONFIG[2:0] = 110 <sub>b</sub>		120 180 240 270 300		Deg Deg Deg Deg Deg

## EEPROMの特性

Endurance	(Note 13)	$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 85^\circ\text{C}$ During EEPROM Write Operations (Note 3)	●	10,000		Cycles
Retention	(Note 13)	$T_J < T_{J(\text{MAX})}$ , with Most Recent EEPROM Write Operation Having Occurred at $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 85^\circ\text{C}$ (Note 3)	●	10		Years
Mass_Write	Mass Write Operation Time	Execution of STORE_USER_ALL Command, $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 85^\circ\text{C}$ (ATE-Tested at $T_J = 25^\circ\text{C}$ ) (Notes 3, 13)		440	4100	ms

## デジタルI/O

$V_{IH}$	Input High Threshold Voltage	SCL, SDA, $RUN_n$ , $\overline{GPIO}_n$ (Note 15) SHARE_CLK, WP (Note 15)		1.35 1.8		V V
$V_{IL}$	Input Low Threshold Voltage	SCL, SDA, $RUN_n$ , $\overline{GPIO}_n$ (Note 15) SHARE_CLK, WP (Note 15)			0.8 0.6	V V
$V_{HYST}$	Input Hysteresis	SCL, SDA (Note 15)		80		mV
$V_{OL}$	Output Low Voltage	SCL, SDA, ALERT, $RUN_n$ , $\overline{GPIO}_n$ , SHARE_CLK: $I_{\text{SINK}} = 3\text{mA}$	●	0.3	0.4	V
$I_{OL}$	Input Leakage Current	SDA, SCL, ALERT, $RUN_n$ : $0\text{V} \leq V_{\text{PIN}} \leq 5.5\text{V}$ $\overline{GPIO}_n$ and SHARE_CLK: $0\text{V} \leq V_{\text{PIN}} \leq 3.6\text{V}$	● ●		$\pm 5$ $\pm 2$	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$
$t_{\text{FILTER}}$	Input Digital Filtering	$RUN_n$ (Note 15) $\overline{GPIO}_n$ (Note 15)		10 3		$\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$
$C_{\text{PIN}}$	Input Capacitance	SCL, SDA, $RUN_n$ , $\overline{GPIO}_n$ , SHARE_CLK, WP (Note 15)			10	pF

## PMBus インターフェースのタイミング特性

$f_{\text{SMB}}$	Serial Bus Operating Frequency	(Note 15)		10	400	kHz
$t_{\text{BUF}}$	Bus Free Time Between Stop and Start	(Note 15)		1.3		$\mu\text{s}$
$t_{\text{HD,STA}}$	Hold Time After Repeated Start Condition	Time Period After Which First Clock Is Generated (Note 15)		0.6		$\mu\text{s}$
$t_{\text{SU,STA}}$	Repeated Start Condition Setup Time	(Note 15)		0.6		$\mu\text{s}$
$t_{\text{SU,STO}}$	Stop Condition Setup Time	(Note 15)		0.6		$\mu\text{s}$
$t_{\text{HD,DAT}}$	Data Hold Time	Receiving Data (Note 15) Transmitting Data (Note 15)		0 0.3	0.9	$\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$
$t_{\text{SU,DAT}}$	Data Setup Time	Receiving Data (Note 15)		0.1		$\mu\text{s}$
$t_{\text{TIMEOUT\_SMB}}$	Stuck PMBus Timer Timeout	Measured from the Last PMBus Start Event: Block Reads, MFR_CONFIG_ALL[3]=0 <sub>b</sub> (Note 15) Non-Block Reads, MFR_CONFIG_ALL[3]=0 <sub>b</sub> (Note 15) MFR_CONFIG_ALL[3]=1 <sub>b</sub> (Note 15)		150 32 250		ms ms ms
$t_{\text{LOW}}$	Serial Clock Low Period	(Note 15)		1.3	10000	$\mu\text{s}$
$t_{\text{HIGH}}$	Serial Clock High Period	(Note 15)		0.6		$\mu\text{s}$

## 電気的特性

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

**Note 2:** LTM4686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。LTM4686Eは、 $0^\circ\text{C}$ ~ $125^\circ\text{C}$ の内部動作温度範囲で性能仕様に適合することが確認されている。 $-40^\circ\text{C}$ ~ $125^\circ\text{C}$ の内部動作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。LTM4686Iは $-40^\circ\text{C}$ ~ $125^\circ\text{C}$ の全内部動作温度範囲で仕様に適合することが確認されている。これらの仕様を満たす最大周囲温度は、基板レイアウト、パッケージの定格熱抵抗および他の環境要因と関連した特定の動作条件によって決まることに注意。

**Note 3:** 有効な書込みコマンドを得るためのLTM4686のEEPROMの温度範囲は $0^\circ\text{C}$ ~ $85^\circ\text{C}$ である。EEPROMのデータ保持を実現するため、この温度範囲外で「STORE\_USER\_ALL」コマンドを実行する(つまり、RAMの内容をNVMにアップロードする)ことは推奨されない。ただし、LTM4686のEEPROMの温度が $130^\circ\text{C}$ 未満である限り、LTM4686はSTORE\_USER\_ALLコマンドに従う。EEPROMの温度が $130^\circ\text{C}$ を超えた場合に限り、LTM4686はSTORE\_USER\_ALLトランザクションには従わない。代わりに、LTM4686はシリアル・コマンドに対してNACKを返し、その関連CML(通信、メモリ、ロジック)障害ビットをアサートする。EEPROMの温度はSTORE\_USER\_ALLコマンドを出す前に照会できる。アプリケーション情報のセクションを参照。

**Note 4:** 2つの電源入力( $V_{IN0}$ および $V_{IN1}$ )とそれぞれの電源出力( $V_{OUT0}$ および $V_{OUT1}$ )は、製造時には個別にテストされる。このデータシートでは、これらのパラメータを「 $V_{INn}$ 」および「 $V_{OUTn}$ 」と表記できる簡略表記を使用しており、 $n$ には0または1のいずれかの値をとることができる。この斜体の添字「 $n$ 」の表記および規則は、そうしたピン名だけでなく、チャンネル固有のデータ(ページ指定データ)付きレジスタ名も全て網羅するよう拡張されている。例えば、 $V_{OUT\_COMMAND_n}$ はページ0および1にある $V_{OUT\_COMMAND}$ コマンド・コード・データを指し、そのデータはチャンネル0( $V_{OUT0}$ )とチャンネル1( $V_{OUT1}$ )に関係している。ページ固有以外のデータを格納しているレジスタ、つまり、データがモジュール「全体」に適用されるか、モジュールの両方のチャンネルに適用されるレジスタには、斜体の添字「 $n$ 」がない(例: FREQUENCY\_SWITCH)。

**Note 5:**  $V_{OUTn(DC)}$ 、ラインレギュレーション、および負荷レギュレーションのテストは製造時に行われ、デジタル・サーボを作動させない条件(MFR\_PWM\_MODE $_n$ [6] =  $0b$ )と $V_{OUTn}$ の低電圧範囲を選択した条件(MFR\_PWM\_MODE $_n$ [1] =  $1b$ )を適用する。デジタル・サーボ制御ループは製造時に動作が確認される(MFR\_PWM\_MODE $_n$ [6] =  $1b$ を設定)が、最終テスト時に出力電圧の最終セトリング値への収束が必ずしも観測されるわけではない(潜在的に長い時定数が関係するため)。代わりに、最終セトリング値への収束は出力電圧の読み出し精度の仕様によって確保されている。アプリケーションでの評価は能力を実証している。代表的な性能特性のセクションを参照。

**Note 6:** アプリケーション情報のセクションに記載している、様々な $V_{IN}$ 、 $V_{OUT}$ 、 $T_A$ の出力電流ディレーティング曲線を参照。

**Note 7:**  $V_{OUT0}$ と $V_{OUT1}$ の絶対最大定格が6Vに規定されている場合でも、推奨のレギュレーションコマンド電圧の最大値は、 $V_{OUT}$ の範囲が高い設定であるMFR\_PWM\_MODE $_n$ [1] =  $0b$ の場合には3.6Vになり、 $V_{OUT}$ の範囲が低い設定であるMFR\_PWM\_MODE $_n$ [1] =  $1b$ の場合には2.5Vになる。

**Note 8:** 最小オン時間はウェーハ選別時にテストされる。

**Note 9:** データ変換は順繰りに(繰り返し)実施される。全ての遠隔測定信号は絶えずデジタル化され、通知データは経過時間が90ミリ秒(代表値)以内の測定値に基づく。一部の遠隔測定パラメータは、MFR\_ADC\_CONTROLを設定することにより、より高速の更新レートでデジタル化できる。

**Note 10:** 以下の遠隔測定パラメータは、PMBus定義の「リニア・データ・フォーマット」でフォーマットが設定されており、各レジスタには(符号付き指数部、2の累乗を表す)上位5ビットと(符号付き指数部を表す)下位11ビットで構成されるワードが格納されている。(SV $_IN$ )の入力電圧、READ\_VINコマンド・コードを介してアクセス。出力電流(I $_{OUTn}$ )、READ\_IOUT $_n$ コマンド・コードを介してアクセス。モジュール入力電流( $I_{VIN0} + I_{VIN1} + I_{SVIN}$ )、READ\_IINコマンド・コードを介してアクセス。チャンネル入力電流( $I_{VINn} + 1/2 \cdot I_{SVIN}$ )、MFR\_READ\_IIN $_n$ コマンド・コードを介してアクセス。チャンネル0およびチャンネル1のスイッチング・パワー段のデューティ・サイクル、READ\_DUTY\_CYCLE $_n$ コマンド・コードを介してアクセス。内部ADCが16ビットで、LTM4686の内部計算に32ビット・ワードを使用している場合でも、このデータ・フォーマットでは、遠隔測定読み出しデータの分解能が10ビットに制限される。

**Note 11:** SV $_IN$ ピンの絶対最大定格は20V。入力電圧の遠隔測定値(READ\_VIN)は、SV $_IN$ ピンの電圧を縮小してデジタル化することによって得られる。

**Note 12:** これらの標準パラメータはベンチ測定に基づいており、出荷時にはテストされない。

**Note 13:** EEPROMの書換え回数とデータ保持期間は、データ保持を対象としたウェーハレベルのテストによって確認されている。最小データ保持期間の仕様を適用するデバイスは、EEPROMの書換え回数が最小書換え回数の規格値より少なく、EEPROMのデータが書き込まれたときの温度が $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 85^\circ\text{C}$ の範囲内となる。RESTORE\_USER\_ALLまたはMFR\_RESETコマンドを実行してNVMの内容をRAMにダウンロードすることは全動作温度範囲で有効であり、EEPROMの特性には影響しない。

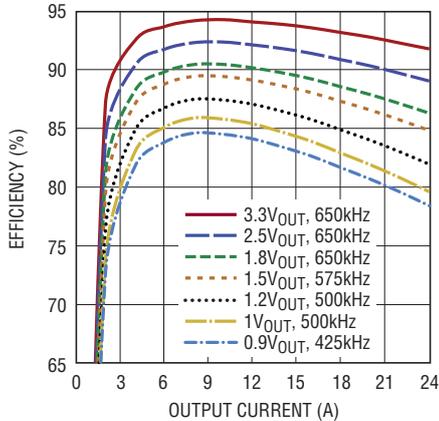
**Note 14:** MFR\_PWM\_MODE $_0$ [1] =  $1b$ でのチャンネル0のOV/UVコンパレータ閾値精度は、 $V_{VOSNS0^+} - V_{VOSNS0^-} = 0.5\text{V}$ および2.7Vの条件でATEでテストされる。1Vの条件はICレベルでのみテストされる。MFR\_PWM\_MODE $_1$ [1] =  $1b$ でのチャンネル1のOV/UVコンパレータ閾値精度は、 $V_{VOSNS1} - V_{VSGND} = 0.5\text{V}$ および2.7Vの条件でATEでテストされる。1.5Vの条件はICレベルでのみテストされる。

**Note 15:** ICレベルのATEでテストされる。

**Note 16:** PLLのSYNCキャプチャ・レンジは、FREQUENCY\_SWITCHを周波数スレップ・モードに設定(0x0000)し、MFR\_CONFIG\_ALL[4] =  $1b$ を設定して、SYNCを外外部クロックで駆動することによってテストされる。SYNCキャプチャ・レンジの下限(225kHz)は、 $V_{IN} = 5.75\text{V}$ および $V_{OUTn} = 2.5\text{V}$ の条件で検査される。SYNCキャプチャ・レンジの上限(1.05MHz)は、 $V_{IN} = 12\text{V}$ および $V_{OUTn} = 3.3\text{V}$ の条件で検査される。

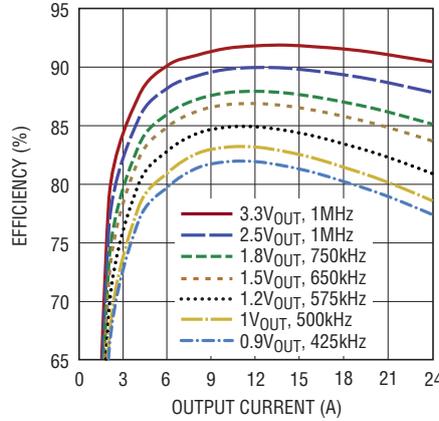
代表的な性能特性 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{OUT} = 1\text{V}$ 。

5V入力時の効率と負荷電流



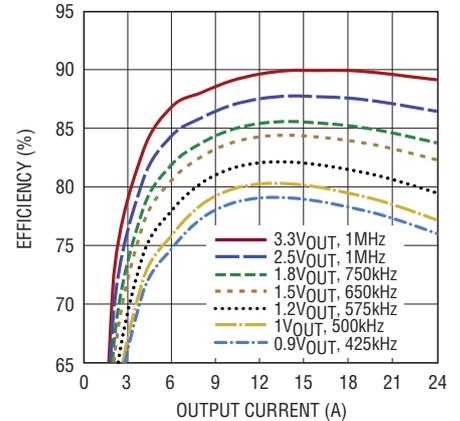
46861 G01

8V入力時の効率と負荷電流



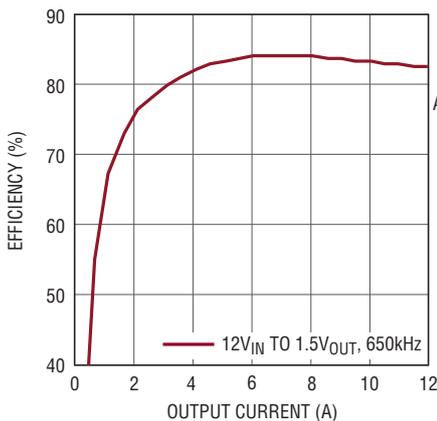
46861 G02

12V入力時の効率と負荷電流



46861 G03

シングル・フェーズ、シングル出力の  
パルススキップ(不連続)モードの効率、  
 $V_{IN} = 5V_{IN} = V_{IN,n}$ 、 $INTV_{CC}$ はオープン、  
 $MFR\_PWM\_MODE_n[0] = 0_b$



46861 G04

デュアル・フェーズ、シングル出力の  
負荷過渡応答、12V入力、1V出力

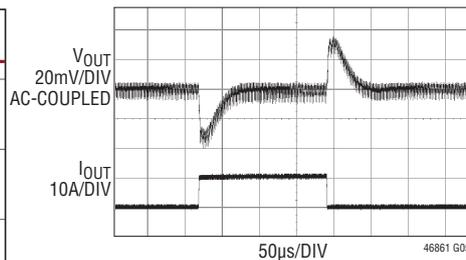


FIGURE 27 CIRCUIT AT 12V<sub>IN</sub>. INTV<sub>CC</sub> PIN OPEN CIRCUIT AND V<sub>OUT</sub>\_COMMAND<sub>n</sub> SET TO 1.000V. 10A TO 20A LOAD STEP AT 10A/µs

シングル・フェーズ、シングル出力の  
負荷過渡応答、12V入力、1V出力

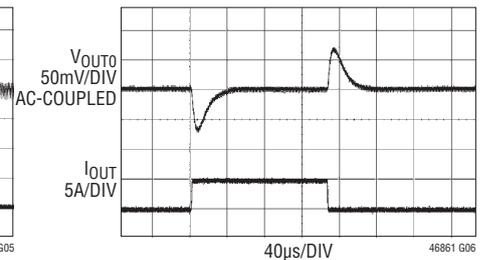
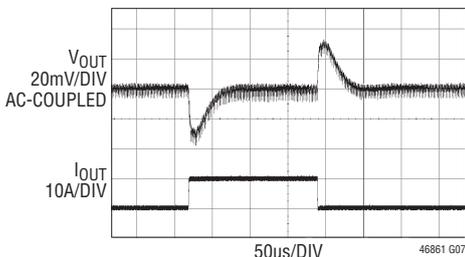


FIGURE 61 CIRCUIT AT 12V<sub>IN</sub>. 0A TO 5A LOAD STEP AT 5A/µs

デュアル・フェーズ、シングル出力の  
負荷過渡応答、5V入力、1V出力



46861 G07

FIGURE 27 CIRCUIT AT 5V<sub>IN</sub>. V<sub>OUT</sub>\_COMMAND<sub>n</sub> SET TO 1.000V. 10A TO 20A LOAD STEP AT 10A/µs

デュアル出力、並行レールの  
起動/シャットダウン

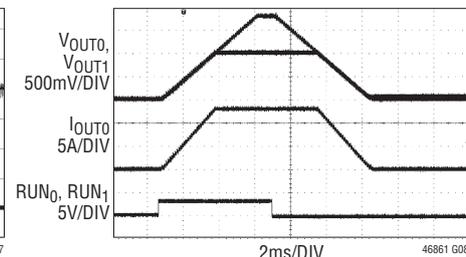


FIGURE 61 CIRCUIT AT 12V<sub>IN</sub>, 100mΩ LOAD ON V<sub>OUT0</sub>, NO LOAD ON V<sub>OUT1</sub>. TON\_RISE<sub>0</sub> = 3ms, TON\_RISE<sub>1</sub> = 5.297ms, TOFF\_DELAY<sub>1</sub> = 0ms, TOFF\_DELAY<sub>0</sub> = 2.43ms, TOFF\_FALL<sub>1</sub> = 5.328ms, TOFF\_FALL<sub>0</sub> = 3ms, ON\_OFF\_CONFIG<sub>n</sub> = 0x1E

負荷がプリバイアスされた状態での  
デュアル出力の起動/シャットダウン

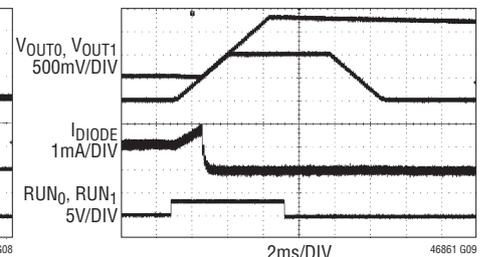


FIGURE 61 CIRCUIT AT 12V<sub>IN</sub>, 100mΩ LOAD ON V<sub>OUT0</sub>, 500Ω ON V<sub>OUT1</sub>. V<sub>OUT1</sub> PRE-BIASED THROUGH A DIODE. TON\_RISE<sub>0</sub> = 3ms, TON\_RISE<sub>1</sub> = 5.297ms, TOFF\_DELAY<sub>1</sub> = 0ms, TOFF\_DELAY<sub>0</sub> = 2.43ms, TOFF\_FALL<sub>1</sub> = 5.328ms, TOFF\_FALL<sub>0</sub> = 3ms, ON\_OFF\_CONFIG<sub>n</sub> = 0x1F, ON\_OFF\_CONFIG<sub>0</sub> = 0x1E

代表的な性能特性 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{OUT} = 1\text{V}$ 。

シングル・フェーズ、シングル出力の  
無負荷時の短絡保護

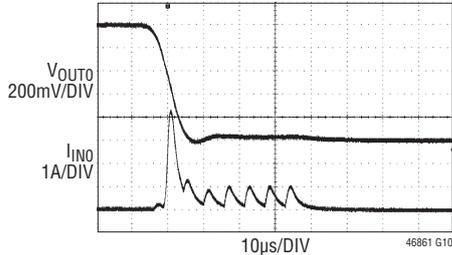


FIGURE 61 CIRCUIT AT  $12V_{IN}$ ,  
NO LOAD ON  $V_{OUT0}$  PRIOR TO APPLICATION  
OF SHORT CIRCUIT

最大負荷時のシングル・フェーズ、  
シングル出力の短絡保護

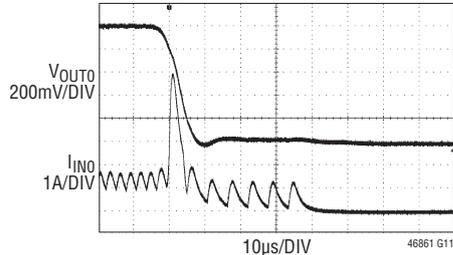
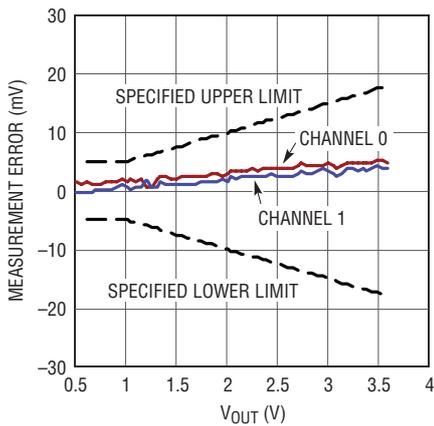
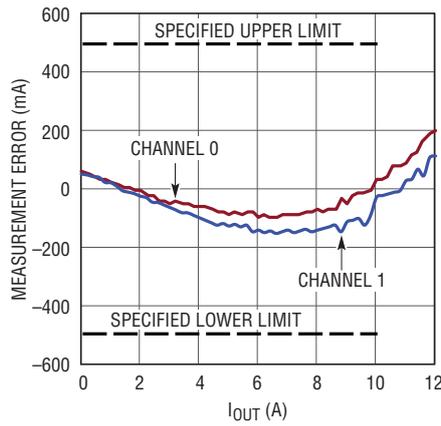


FIGURE 61 CIRCUIT AT  $12V_{IN}$ ,  
 $100m\Omega$  LOAD ON  $V_{OUT0}$  PRIOR TO  
APPLICATION OF SHORT CIRCUIT

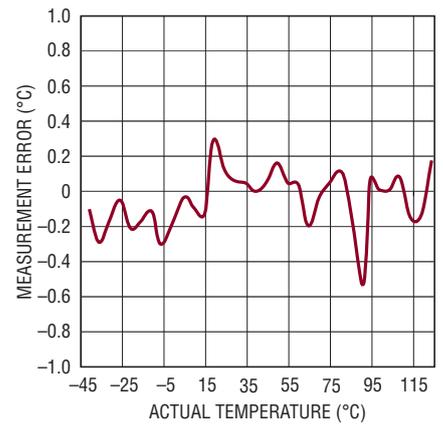
READ\_VOUT<sub>n</sub>(出力電圧読出し)  
誤差と  $V_{OUTn}$   
 $I_{OUTn} = \text{無負荷}$ 、 $RUN_{1-n} = 0V$



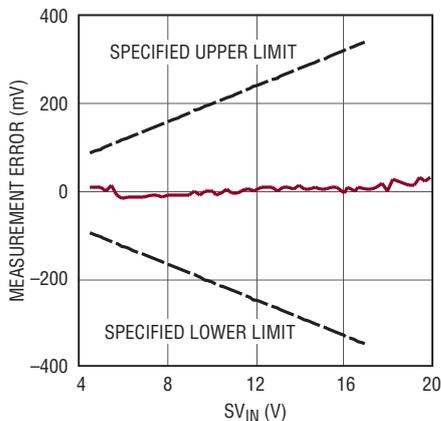
READ\_IOUT<sub>n</sub>(出力電流読出し)  
誤差と  $I_{OUTn}$



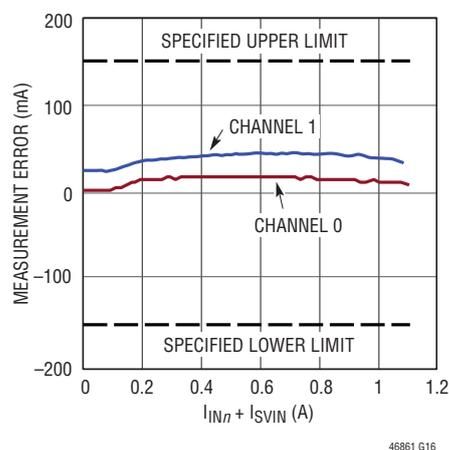
READ\_TEMPERATURE\_2(制御ICの  
温度誤差)とジャンクション温度、  
 $RUN_n = 0V$



READ\_VIN(入力電圧読出しの遠隔  
測定)誤差と  $SV_{IN}$ 、 $RUN_n = 0V$

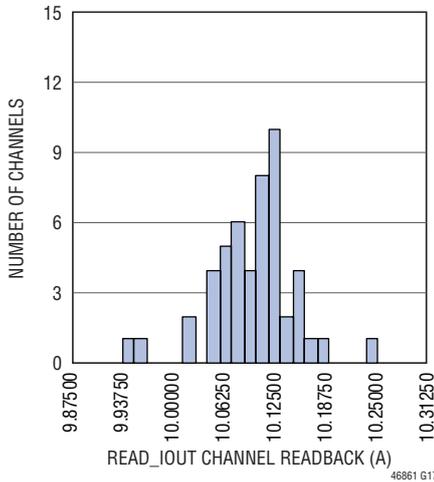


MFR\_READ\_IIN<sub>n</sub>(入力電流読出し)  
誤差と  $(I_{VINn} + I_{SVINn})$ 、  
MFR\_PWM\_MODE<sub>n</sub>[0]=1b、 $I_{OUTn}$ を  
0Aから10Aまで掃引、一度に  
1チャンネル、 $RUN_{1-n} = 0V$

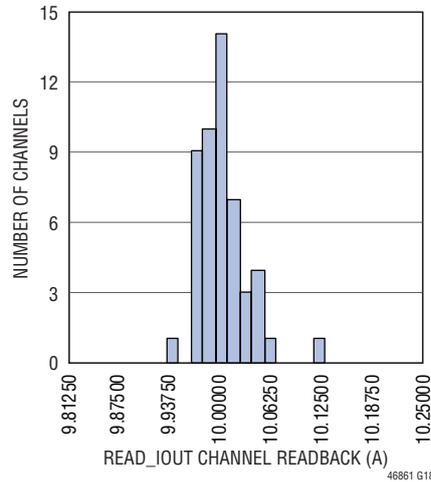


## 代表的な性能特性 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{OUT} = 1\text{V}$ 。

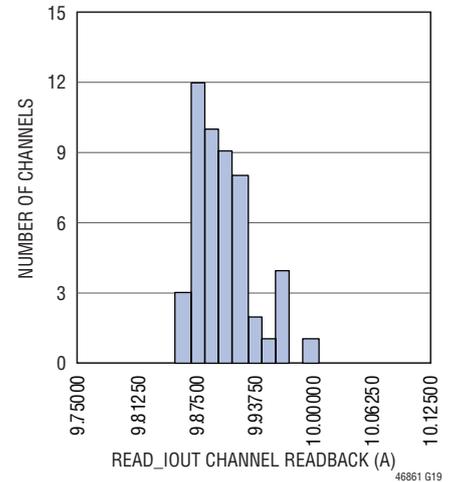
25個のLTM4686のREAD\_IOUT  
(DC2722)、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{OUT} = 1\text{V}$ 、 $T_J = -40^\circ\text{C}$ 、 $I_{OUTn} = 10\text{A}$ 、熱的な定常状態に達したシステム、空気流なし



25個のLTM4686のREAD\_IOUT  
(DC2722)、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{OUT} = 1\text{V}$ 、 $T_J = 25^\circ\text{C}$ 、 $I_{OUTn} = 10\text{A}$ 、熱的な定常状態に達したシステム、空気流なし



25個のLTM4686のREAD\_IOUT  
(DC2722)、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{OUT} = 1\text{V}$ 、 $T_J = 125^\circ\text{C}$ 、 $I_{OUTn} = 10\text{A}$ 、熱的な定常状態に達したシステム、空気流なし



## ピン機能



パッケージの行と列のラベルは $\mu$ Module製品間で異なります。各パッケージのレイアウトをよく確認してください。

**GND (A2~8、B2~7、C2、C4~8、D2、D5、E1、E9、F1、F8、G1、G8~9、H1、H8~9、J2、J8、K2、K5~8、L2~7、M2~8) :** LTM4686の電源グラウンド。 $V_{OUT0}$ と $V_{OUT1}$ の電力帰還点。

**$V_{OUT0}$  (A1、B1、C1、D1) :** チャンネル0の出力電圧。

**$V_{OSNS0}^+$  (D7) :** チャンネル0の正の差動電圧検出入力。 $V_{OSNS0}^+$ と $V_{OSNS0}^-$ は、互いに出力電圧 $V_{OUT0}$ を $V_{OUT0}$ の負荷点(POL)でケルビン検出するよう動作して、差動帰還信号をチャンネル0の制御ループおよび電圧監視回路に直接供給します。 $V_{OUT0}$ は最大3.6Vの出力を安定化できます。 $V_{OUT0}$ の目標レギュレーション電圧をシリアル・バスによって指定します。 $SV_{IN}$ 電源投入時の初期コマンド値は、NVM(不揮発性メモリ)の内容(出荷時のデフォルト値: 1.200V)により規定されます。あるいは、構成抵抗によって設定することもできます。 $V_{OUT0CFG}$ 、 $V_{TRIM0CFG}$ 、および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。

**$V_{OSNS0}^-$  (E7) :** チャンネル0の負の差動電圧検出入力。 $V_{OSNS0}^+$ を参照してください。

**$V_{ORBO}^+$  (D8) :** チャンネル0の正の読出しピン。LTM4686の内部で $V_{OSNS0}^+$ に短絡されています。必要な場合は、このノードにテスト・ポイントを設けて、ハードウェア上(例えば、マザーボード、インサーキット・テスト(ICT)アセンブリ後工程時)で $V_{OUT0}$ までのインピーダンスを測定し、 $V_{OSNS0}^+$ と $V_{OUT0}$ の間の帰還信号接続が完全であることを検査する手段を確保します。

**$V_{ORBO}^-$  (E8) :** チャンネル0の負の読出しピン。LTM4686の内部で $V_{OSNS0}^-$ に短絡されています。必要な場合は、このノードにテスト・ポイントを設けて、ハードウェア上(例えば、マザーボード、ICTアセンブリ後工程時)でGNDまでのインピーダンスを測定し、 $V_{OSNS0}^-$ とGND( $V_{OUT0}$ の電源帰還点)の間の帰還信号接続が完全であることを検査する手段を確保します。

**$V_{OUT1}$  (J1、K1、L1、M1) :** チャンネル1の出力電圧。

**$V_{OSNS1}$  (H7) :** チャンネル1の正の電圧検出入力。 $V_{OSNS1}$ はPOLで $V_{OUT1}$ に接続します。これにより、チャンネル1の制御ループおよび電圧監視回路に帰還信号が供給されます。 $V_{OUT1}$ は最大3.6Vの出力を安定化できます。 $V_{OUT1}$ の目標レギュレーション電圧をシリアル・バスによって指定します。

## ピン機能

**SV<sub>IN</sub>** 電源投入時の初期コマンド値は、NVM（不揮発性メモリ）内容（出荷時のデフォルト値：1.200V）により指定されます。あるいは、構成抵抗によって設定することもできます。V<sub>OUT1CFG</sub>、V<sub>TRIM1CFG</sub>、および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。

**SGND (F5~6, G5~6)** : チャンネル1の負の電圧検出入力。V<sub>OSNS1</sub>を参照してください。更に、SGNDはLTM4686の信号グラウンド帰還経路です。必要な場合は、4つのSGNDピンのいずれかにテスト・ポイントを設けて、ハードウェア上（例えば、マザーボード、ICTアセンブリ後工程時）でGNDまでのインピーダンスを測定し、他の3つのSGNDピンとGND（V<sub>OUT1</sub>の電源帰還点）の間の帰還信号接続が完全であることを検査する手段を確保します。SGNDは、LTM4686の内部でGNDには電氣的に接続されていません。SGNDはLTM4686の近くのGNDに接続します。

**V<sub>ORB1</sub> (J7)** : チャンネル1の正の読出しピン。LTM4686の内部でV<sub>OSNS1</sub>に短絡されています。必要に応じて、このノードにテスト・ポイントを設けて、ハードウェア上（例えば、マザーボード、ICTアセンブリ後工程時）でV<sub>OUT1</sub>までのインピーダンスを測定し、V<sub>OUT1</sub>とV<sub>OSNS1</sub>の間の帰還信号接続が完全であることを検査する手段を確保します。

**V<sub>IN0</sub> (A9, B9, C9, D9)** : チャンネル0のスイッチング段への正の電源入力。十分なデカップリング容量を多層セラミック・コンデンサ（MLCC）と低ESRの電解コンデンサ（または同等品）で供給して、降圧スイッチング段からの反射入力電流リップルに対応します。MLCCは、LTM4686に物理的にできるだけ近づけて配置してください。アプリケーション情報セクションのレイアウトに関する推奨事項を参照してください。

**V<sub>IN1</sub> (J9, K9, L9, M9)** : チャンネル1のスイッチング段への正の電源入力。十分なデカップリング容量をMLCCと低ESRの電解コンデンサ（または同等品）で供給して、降圧スイッチング段からの反射入力電流リップルに対応します。MLCCは、LTM4686に物理的にできるだけ近づけて配置してください。アプリケーション情報セクションのレイアウトに関する推奨事項を参照してください。

**SW<sub>0</sub> (B8)** : チャンネル0の降圧コンバータ段のスイッチング・ノード。テストまたはEMI吸収を目的として使用します。必要な場合は、デバイス近くのテスト・ポイントまで短距離で配線してチャンネル0のスイッチング動作をモニタできますが、敏感な信号の近くには配線しないでください。そうしない場合は電氣的に絶縁（オープン）のままにします。

**SW<sub>1</sub> (L8)** : チャンネル1の降圧コンバータ段のスイッチング・ノード。テストまたはEMI吸収を目的として使用します。必要な場合は、デバイス近くのテスト・ポイントまで短距離で配線してチャンネル1のスイッチング動作をモニタできますが、敏感な信号の近くには配線しないでください。そうしない場合はオープンのままにします。

**SV<sub>IN</sub> (F9)** : LTM4686の内部制御ICの入力電源。ほとんどのアプリケーションでは、SV<sub>IN</sub>をV<sub>IN0</sub>またはV<sub>IN1</sub>あるいはその両方に接続します。いずれの場合にも、V<sub>IN0</sub>/V<sub>IN1</sub>に既に割り当てられている以外の外付けデカップリング・コンデンサは必要ありません。V<sub>IN0</sub>/V<sub>IN1</sub>とは異なる補助電源でSV<sub>IN</sub>を動作させる場合は、このピンとGNDの間にデカップリング・コンデンサ（0.1μF~1μF）を接続します。

**INTV<sub>CC</sub> (F7, G7)** : 内部レギュレータ、5V出力。LTM4686を5.75V ≤ SV<sub>IN</sub> ≤ 17Vの範囲で動作させる場合、LDOはINTV<sub>CC</sub>をSV<sub>IN</sub>から生成して、LTM4686の内部制御回路とMOSFETドライバにバイアスを供給します。外付けデカップリングは不要です。INTV<sub>CC</sub>はRUN<sub>n</sub>ピンの状態に関係なく安定化されます。LTM4686-1を4.5V ≤ SV<sub>IN</sub> < 5.75Vの範囲で動作させる場合は、INTV<sub>CC</sub>をSV<sub>IN</sub>に電氣的に短絡する必要があります。

**V<sub>DD33</sub> (J5)** : 内部生成された3.3V電源の出力ピン。このピンは、 $\overline{\text{GPIO}}_n$ 、SHARE\_CLK、およびSYNCに必要なプルアップ抵抗に外部電流を供給する目的に限定して使用します。ただし、RUN<sub>n</sub>、SDA、SCL、およびALERTのプルアップ抵抗に外部電流を供給する目的に使用することもできます。外付けデカップリングは不要です。

**V<sub>DD25</sub> (J4)** : 内部生成された2.5V電源の出力ピン。このピンには外部電流負荷をかけないでください。このピンは内部ロジックにバイアスをかけるためのみ使用され、構成プログラミング・ピンに接続された内部プルアップ抵抗に電流を供給します。外付けデカップリングは不要です。

**ASEL (G2)** : シリアル・バスのアドレス設定ピン。I<sup>2</sup>C/SMBusシリアル・バスのどのセグメントでも、全てのデバイスに独自のスレーブ・アドレスがあります。このピンをオープンのままにすると、LTM4686はそのデフォルトのスレーブ・アドレスである0x4F（16進数）、つまり1001111<sub>b</sub>（このデータシート全体を通じて業界標準の規則を使用：7ビットのスレーブ・アドレス指定）に電力を供給します。このピンとSGNDの間に抵抗を接続することにより、LTM4686のスレーブ・アドレスの下位4ビットをこのデフォルト値から変更できます。特にピンをオープンのままにする場合は、容量を最小限に抑えて、ピンの状態を正確に検出できるようにしてください。

## ピン機能

**F<sub>SWPHCFG</sub> (H2)** : スwitchング周波数、チャンネルの位相インターリーブ角、および位相のSYNC構成ピンとの関係。このピンをオープンのままにするか、ピンストラップ(RCONFIG)抵抗を無視するようにLTM4686を設定した場合(つまり、MFR\_CONFIG\_ALL[6] = 1<sub>b</sub>と設定した場合)、LTM4686のswitchング周波数(FREQUENCY\_SWITCH)とチャンネルの位相(SYNCクロックを基準にした場合、MFR\_PWM\_CONFIG[2:0])との関係は、SV<sub>IN</sub>の電源投入時に、LTM4686のNVMの内容に従って規定されます。出荷時のデフォルト値は、500kHz動作、チャンネル0は0°、チャンネル1は180°です(このデータシート全体を通じた規則: 位相角が0°であるとは、チャンネルのスイッチ・ノードがSYNCパルスの立下がりエッジと同時に立ち上がるという意味です)。このピンとSGNDの間に抵抗を接続して、NVMの出荷時デフォルト設定であるMFR\_CONFIG\_ALL[6] = 0<sub>b</sub>を使用すると、内部モジュールと外部モジュールの並列接続チャンネルの様々なswitchング動作周波数と位相インターリーブ角の全ての設定値に対して同一のNVM内容を使用することにより、GUIによる手動操作も、モジュールのNVMの内容を「カスタム・プリプログラム」する必要もなく、複数のLTM4686を便利な方法で設定できます(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)。特にピンをオープンのままにする場合は、容量を最小限に抑えて、ピンの状態を正確に検出できるようにしてください。

**V<sub>OUT0CFG</sub> (G3)** : V<sub>OUT0</sub>の出力電圧選択ピン、粗い設定。V<sub>OUT0CFG</sub>ピンとV<sub>TRIM0CFG</sub>ピンを両方ともオープンのままにするか、ピンストラップ(RCONFIG)抵抗を無視するようにLTM4686を設定した場合(つまり、MFR\_CONFIG\_ALL[6] = 1<sub>b</sub>と設定した場合)、LTM4686の目標のV<sub>OUT0</sub>出力電圧設定値(V<sub>OUT\_COMMAND0</sub>)、関連のパワーグッド閾値、OV/UVの警告および障害閾値は、SV<sub>IN</sub>の電源投入時に、LTM4686のNVMの内容に従って規定されます。このピンとSGNDの間に接続した抵抗\*、V<sub>TRIM0CFG</sub>での抵抗ピン設定との組み合わせ、および出荷時のデフォルトNVM設定値であるMFR\_CONFIG\_ALL[6] = 0<sub>b</sub>を使用して、LTM4686のチャンネル0出力を設定して起動し、NVMの内容とは異なるV<sub>OUT\_COMMAND</sub>の値(と関連の出力電圧モニタリング閾値および保護/障害検出閾値)にすることができます(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)。V<sub>OUT0CFG</sub>とSGNDの間あるいはV<sub>TRIM0CFG</sub>とSGNDの間にこの要領で抵抗を接続し、異なる出力電圧設定に対して同じ内容のNVMを使用することで、GUIによる手動操作がなく、モジュールのNVMの内容を「カスタム・プリプログラム」する必要もない、都合の良い方法で複数のLTM4686を設定できます。特にピンをオープンのままにする場合は、容量を最小限に抑えて、ピンの状態を正確に検出できるようにしてください。V<sub>OUT0CFG</sub>/V<sub>TRIM0CFG</sub>

にRCONFIG\*を使用すると、V<sub>OUT0</sub>範囲の設定(MFR\_PWM\_MODE0[1])およびループ・ゲインに影響するので注意してください。

**V<sub>TRIM0CFG</sub> (H3)** : V<sub>OUT0</sub>の出力電圧選択ピン、細かい設定。V<sub>OUT0CFG</sub>との組み合わせで機能し、SV<sub>IN</sub>の電源投入時に、チャンネル0のV<sub>OUT\_COMMAND</sub>(と関連の出力電圧モニタリングおよび保護/障害検出閾値)に影響します(V<sub>OUT0CFG</sub>および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)。特にピンをオープンのままにする場合は、容量を最小限に抑えて、ピンの状態を正確に検出できるようにしてください。V<sub>OUT0CFG</sub>/V<sub>TRIM0CFG</sub>にRCONFIG\*を使用すると、V<sub>OUT0</sub>範囲の設定(MFR\_PWM\_MODE0[1])およびループ・ゲインに影響するので注意してください。

**V<sub>OUT1CFG</sub> (G4)** : V<sub>OUT1</sub>の出力電圧選択ピン、粗い設定。V<sub>OUT1CFG</sub>ピンとV<sub>TRIM1CFG</sub>ピンを両方ともオープンのままにするか、ピンストラップ抵抗(RCONFIG)を無視するようにLTM4686を設定すると(つまり、MFR\_CONFIG\_ALL[6] = 1<sub>b</sub>)、LTM4686の目的のV<sub>OUT1</sub>出力電圧設定(V<sub>OUT\_COMMAND1</sub>)と関連のOV/UV警告閾値および障害閾値は、V<sub>OUT0CFG</sub>ピンとV<sub>TRIM0CFG</sub>ピンがV<sub>OUT0</sub>/チャンネル0のそれぞれの設定に影響するのと全く同様に、SV<sub>IN</sub>の電源投入時に、LTM4686のNVMの内容に従って規定されます(V<sub>OUT0CFG</sub>、V<sub>TRIM0CFG</sub>、および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)。特にピンをオープンのままにする場合は、容量を最小限に抑えて、ピンの状態を正確に検出できるようにしてください。V<sub>OUT1CFG</sub>/V<sub>TRIM1CFG</sub>にRCONFIG\*を使用すると、V<sub>OUT1</sub>範囲の設定(MFR\_PWM\_MODE1[1])およびループ・ゲインに影響するので注意してください。

**V<sub>TRIM1CFG</sub> (H4)** : V<sub>OUT1</sub>の出力電圧選択ピン、細かい設定。V<sub>OUT1CFG</sub>との組み合わせで機能し、SV<sub>IN</sub>の電源投入時に、チャンネル1のV<sub>OUT\_COMMAND</sub>(と関連の出力電圧モニタリングおよび保護/障害検出閾値)に影響します(V<sub>OUT1CFG</sub>および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)。特にピンをオープンのままにする場合は、容量を最小限に抑えて、ピンの状態を正確に検出できるようにしてください。V<sub>OUT1CFG</sub>/V<sub>TRIM1CFG</sub>にRCONFIG\*を使用すると、V<sub>OUT1</sub>範囲の設定(MFR\_PWM\_MODE1[1])およびループ・ゲインに影響するので注意してください。

\*V<sub>OUT0</sub>とV<sub>OUT1</sub>を並列接続するアプリケーションでは、それぞれのV<sub>OUT<sub>i</sub>CFG</sub>ピンとV<sub>TRIM<sub>i</sub>CFG</sub>ピンのペアを互いに電気的に接続できます。共通のRCONFIG抵抗を接続できます。この値は表2および表3で規定されている値の半分です。例えば、図34を参照してください。

## ピン機能

**SYNC (E5) :** PWMクロックの同期入力ピンおよびオープンドレイン出力ピン。FREQUENCY\_SWITCHコマンドの設定によって、LTM4686が「同期マスタ」モジュールになるか「同期スレーブ」モジュールになるかが決まります。LTM4686が同期マスタである場合、FREQUENCY\_SWITCHにはチャンネル0および1のコマンド指定スイッチング周波数が(PMBusリニア・データ・フォーマットで)格納されており、デバイスはSYNCピンをこの指定レートで1回につき500ナノ秒ローにします。対照的に、同期スレーブはMFR\_CONFIG\_ALL[4]=1<sub>b</sub>を使用し、SYNCピンをローにしません。LTM4686のPLLはLTM4686のPWMクロックをSYNCピンに現れる波形と同期させます。このため、LTM4686が同期マスタか同期スレーブのいずれであっても、アプリケーションには3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。例外:SYNCピンを外部クロックで駆動できます。詳細については、アプリケーション情報のセクションを参照してください。

**SCL (E4) :** シリアル・バス・クロックのオープンドレイン入力(クロック・ストレッチングを有効にした場合は、入力にも出力にもなります)。名目上このクロックを駆動するSMBusマスタへのデジタル通信を行うため、アプリケーション内に3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。LTM4686は、SCLの通信速度が100kHzを超えない限り、クロック・ストレッチングを作動させることが必要な状況にはなりません。また、通信速度が100kHzを超えた場合でも、MFR\_CONFIG\_ALL[1]=1<sub>b</sub>を設定することによってクロック・ストレッチングが有効化されていない限り、LTM4686がクロック・ストレッチを実行することはありません。出荷時のデフォルトNVM構成設定はMFR\_CONFIG\_ALL[1]=0<sub>b</sub>です。つまり、クロック・ストレッチングは無効になっています。100kHzを超えるクロック速度でバス上での通信が必要な場合は、SMBusマスタにクロック・ストレッチングのサポートを実装して、シリアル・バス通信に対応できる必要があります。その場合には、MFR\_CONFIG\_ALL[1]を1<sub>b</sub>に設定します。クロック・ストレッチングを有効にすると、SCLはLTM4686での双方向オープンドレイン出力ピンになります。

**SDA (D4) :** シリアル・バス・データのオープンドレイン入力および出力。このアプリケーションでは3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。

**ALERT (E3) :** オープンドレインのデジタル出力。アプリケーション内に3.3Vへのプルアップ抵抗が必要なのは、そのSMBusシステムにSMBALERT割り込み検出機能を実装する場合だけです。

**SHARE\_CLK (H5) :** 共有クロック、オープンドレインの双方向クロック共有ピン。公称は100kHzです。複数のLTM4686(とSHARE\_CLKピンを備えたアナログ・デバイセズの他のデバイス)のタイム・ベースを同期させ、明確に定義されたレールのシーケンス制御とレールのトラッキングを実現する目的で使用されます。該当する全てのデバイスのSHARE\_CLKピンをまとめて接続します。SHARE\_CLKピンを備えた全てのデバイスは、最高速のクロックに同期するようになります。複数のデバイス間でタイム・ベースを同期させる場合には、3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。プルアップ抵抗が必要なのは、複数のデバイス間でタイム・ベースを同期させる必要がなく、かつMFR\_CHAN\_CONFIG<sub>n</sub>[2]=0<sub>b</sub>の場合に限ります。

**GPIO<sub>0</sub>, GPIO<sub>1</sub> (それぞれE2およびF2) :** デジタル・プログラマブル汎用入出力。オープンドレイン出力あるいは高インピーダンス入力。MFR\_GPIO\_PROPAGATE<sub>n</sub>とMFR\_GPIO\_RESPONSE<sub>n</sub>に対するLTM4686の出荷時のデフォルトNVM設定(それぞれ、0x7993および0x00)により、GPIO<sub>n</sub>ピンは、それぞれのチャンネルに対して従来の「パワーグッド」(PGOOD)出力として動作するように設定されています。SV<sub>IN</sub>を印加してからNVM-RAM間のダウンロードが完了するまでの時間(SV<sub>IN</sub>の印加後約32ミリ秒)内にPGOODを有効にする必要がある場合は、図2に従ってGPIO<sub>n</sub>とRUN<sub>n</sub>の間にショットキー・ダイオードを接続します。並列アプリケーションでは、MFR\_GPIO\_RESPONSE<sub>n</sub>とMFR\_GPIO\_PROPAGATE<sub>n</sub>を適切に設定しない限り、GPIO<sub>0</sub>をGPIO<sub>1</sub>に接続しないでください。正常に動作させるには、GPIO<sub>n</sub>と3.3Vの間にプルアップ抵抗が必要です。詳細については、アプリケーション情報のセクションを参照してください。

**WP (K4) :** 書込み保護ピン、アクティブ・ハイ。内部の10μA電流源により、このピンの電圧はV<sub>DD33</sub>まで引き上げられます。WPがオープン・サーキットまたはロジック・ハイの場合は、PAGE、OPERATION、CLEAR\_FAULTS、MFR\_CLEAR\_PEAKS、およびMFR\_EE\_UNLOCKへのI<sup>2</sup>Cによる書込みだけがサポートされます。更に、名前の前に「STATUS」が付いたレジスタの対象ビットに1<sub>b</sub>を書き込むことにより、個々の障害をクリアできます。WPがローの場合、I<sup>2</sup>Cによる書込みは制限されません。

## ピン機能

**RUN<sub>0</sub>、RUN<sub>1</sub> (それぞれF3およびF4)**:それぞれチャンネル0および1のイネーブル実行入力。オープンドレインの入出力。これらのピンをロジック・ハイにすると、LTM4686のそれぞれの出力がイネーブルされます。これらのオープンドレイン出力ピンは、LTM4686がリセットから解放され、SV<sub>IN</sub>がVIN\_ONを超えたことが検出されるまで、ローのままです。このアプリケーションでは3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。低インピーダンス源を使用してRUNのロジックをハイにしないでください。

**TSNS<sub>0</sub> (C3およびD3)**:チャンネル0の温度センサー・ノード。パッドC3とD3は、モジュールの内部で互いに接続されています。これらのパッドを電氣的にオープン・サーキットのままにして、これらのピンをプリント基板上の装着パッドにハンダ付けするだけで機械的完全性を得ることができます。また、プリント基板上でC3をD3に電氣的に接続することが可能です。

**TSNS<sub>1a</sub>、TSNS<sub>1b</sub> (それぞれJ3およびK3)**:それぞれ、チャンネル1の温度励起/測定ピンとサーマル・センサー・ピン。ほとんどのアプリケーションでは、TSNS<sub>1a</sub>をTSNS<sub>1b</sub>に接続します。これにより、LTM4686はチャンネル1のパワー段の温度をモニタできます。TSNS<sub>1a</sub>を使用してモジュール外部にある温度センサー(例えば、マイクロプロセッサのダイ上のPN接合)をモニタする方法については、アプリケーション情報のセクションを参照してください。

**COMP<sub>0a</sub>、COMP<sub>1a</sub> (それぞれE6およびH6)**:それぞれチャンネル0および1の電流制御閾値およびエラーアンプの補償ノード。各チャンネルの電流コンパレータの作動閾値は、それぞれのCOMP<sub>na</sub>電圧が上昇するにつれて増加します。これらのCOMPピンには、LTM4686の内部に(SGNDに終端されている)小容量のフィルタ・コンデンサ(22pF)があるので、エラーアンプの応答に高周波ロールオフが生じて、制御ループ内でのノイズ除去特性が良好になります。COMP<sub>0b</sub>/COMP<sub>1b</sub>を参照してください。

**COMP<sub>0b</sub>、COMP<sub>1b</sub> (それぞれD6およびJ6)**:それぞれチャンネル0および1の内部ループ補償ネットワーク。大部分のアプリケーションでは、LTM4686のデフォルトのループ補償を「そのまま」適用するのが適しており、非常に良好な結果が得られます。COMP<sub>0a</sub>をCOMP<sub>0b</sub>に、COMP<sub>1a</sub>をCOMP<sub>1b</sub>にそれぞれ接続するだけで、チャンネル0とチャンネル1の制御ループにデフォルトのループ補償が適用されます。対照的に、より特殊なアプリケーションで、制御ループ応答を最適化するのに人間がかかわる必要がある場合は、必要に応じてCOMP<sub>0a</sub>またはCOMP<sub>1a</sub>(あるいはその両方)からRCネットワークを接続してSGNDに終端し、COMP<sub>0b</sub>またはCOMP<sub>1b</sub>(あるいはその両方)をオープンのままにすれば、簡単に実現できます。

## 簡略ブロック図

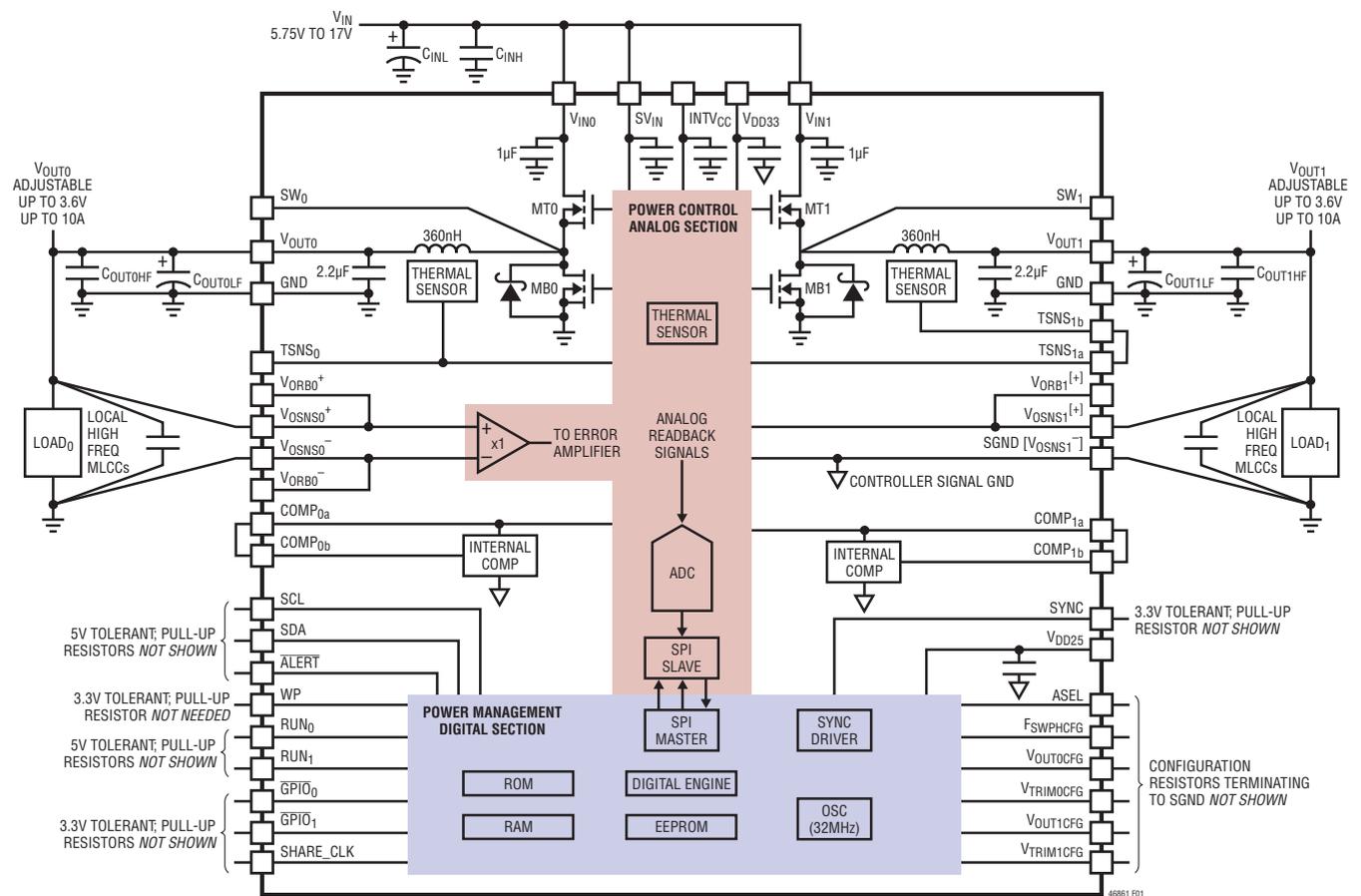
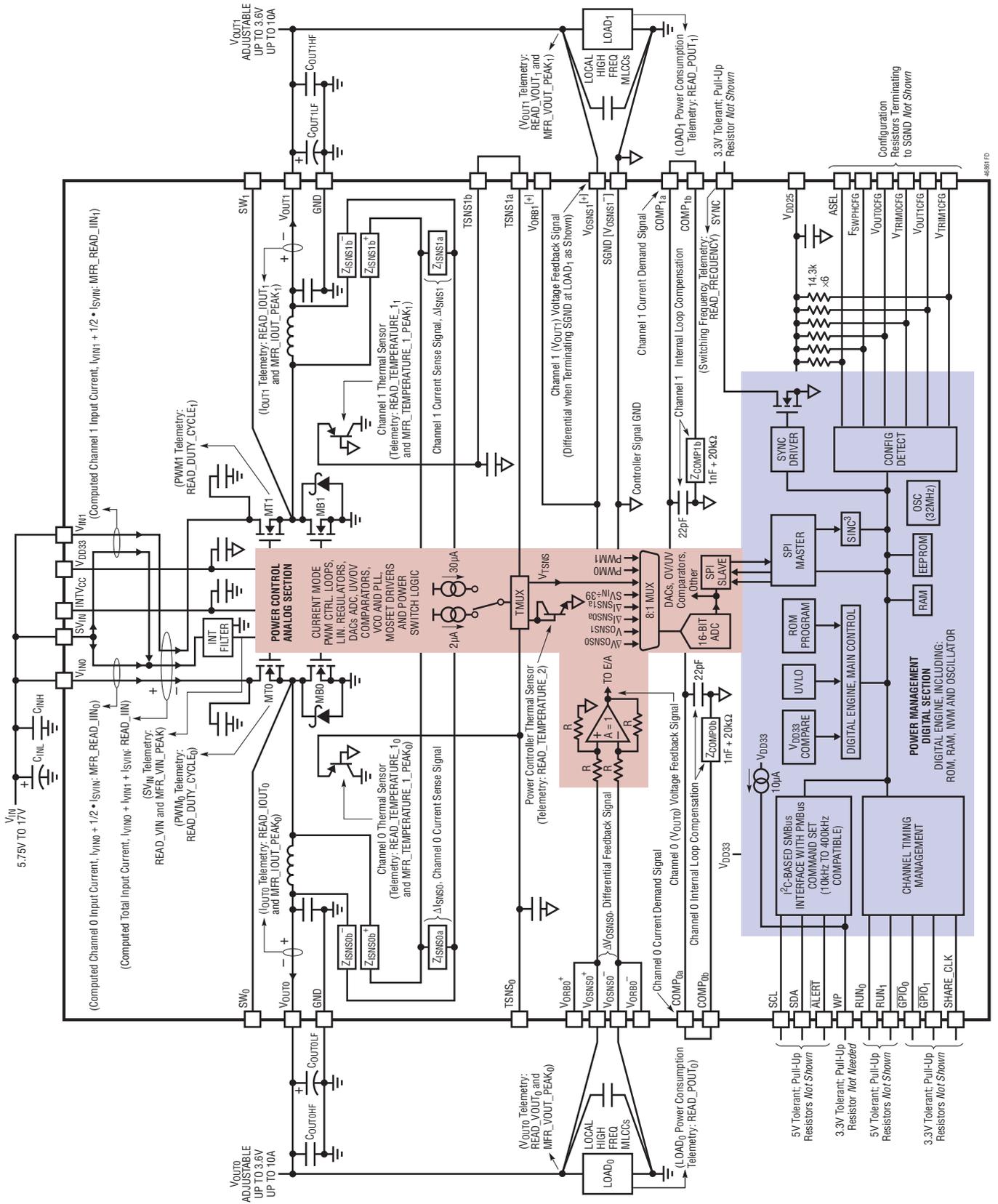


図1. LTM4686の簡略ブロック図

デカップリングの条件  $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。図1の構成を使用。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$C_{INH}$	External High Frequency Input Capacitor Requirement ( $5.75\text{V} \leq V_{IN} \leq 17\text{V}$ , $V_{OUTn}$ Commanded to 1.000V)	$I_{OUT0} = 10\text{A}$ , $2 \times 22\ \mu\text{F}$ , or $3 \times 10\ \mu\text{F}$ $I_{OUT1} = 10\text{A}$ , $2 \times 22\ \mu\text{F}$ , or $3 \times 10\ \mu\text{F}$	30	44		$\mu\text{F}$
$C_{OUTnHF}$	External High Frequency Output Capacitor Requirement ( $5.75\text{V} \leq V_{IN} \leq 17\text{V}$ , $V_{OUTn}$ Commanded to 1.000V)	$I_{OUT0} = 10\text{A}$ $I_{OUT1} = 10\text{A}$		400	400	$\mu\text{F}$

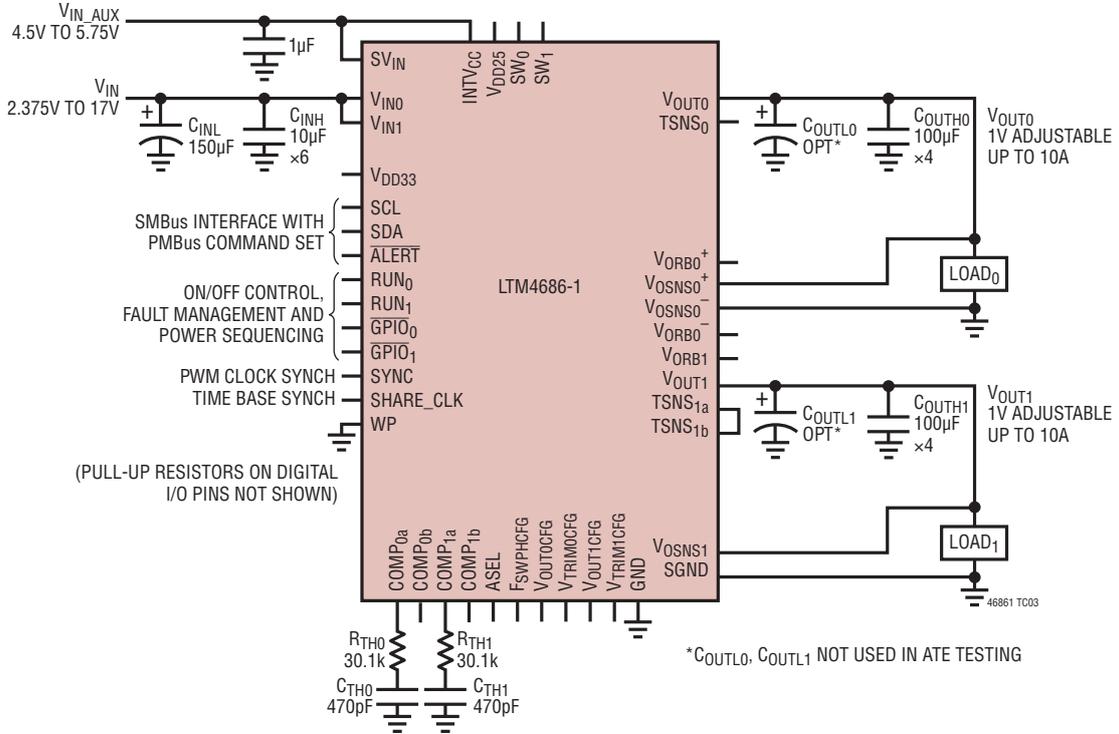
機能図





テスト回路

テスト回路3.  $V_{IN}$  動作電圧範囲が低い場合の LTM4686-1 ATE 構成、 $2.375V \leq V_{IN} \leq 17V$



## 動作

### 電源モジュールの概説

LTM4686は高度な設定が可能なデュアル10A出力の独立した非絶縁スイッチング・モードDC/DC降圧電源で、ECC機能を備えたEEPROM NVM(不揮発性メモリ)と、400kHzのSCLバス速度に対応できるI<sup>2</sup>CベースのPMBus/SMBus 2線シリアル通信インターフェースを内蔵しています。数個の外付け入出力コンデンサとプルアップ抵抗を使用することにより、2つの出力電圧(V<sub>OUT0</sub>、V<sub>OUT1</sub> : まとめてV<sub>OUTn</sub>と表記)を安定化できます。平均入出力電圧と平均入出力電流の読出し遠隔測定データ、チャンネルのPWMデューティ・サイクル、およびモジュール温度は、内蔵の16ビットADC(A/Dコンバータ)によって絶えず周期的にデジタル化されます。多くの障害閾値および障害応答はカスタマイズ可能です。障害が発生すると、データは自動的にEEPROMに保存されるので、得られた障害ログを後でI<sup>2</sup>Cを介して検索して、分析に使うことができます。

LTM4686は、範囲が0.6VDC~3.6VDCの高精度安定化出力電圧(1VDCより高い電圧では±0.5%、1VDCより低い電圧は±5mV)を供給します。目標の出力電圧はピンストラップ抵抗(V<sub>OUTn</sub>CFGピンとV<sub>TRIMn</sub>CFGピン)、NVM/レジスタ設定に従って設定可能であり、I<sup>2</sup>Cインターフェースを介してその場で変更できます。PMBusのVOUT\_COMMANDに書き込むことにより、出力電圧はいつでも変更できます。このコマンドを実行した場合の代表的な遅延時間は10ミリ秒未満です。PMBusのOPERATIONに書き込む場合の代表的な遅延時間は1ミリ秒未満です。NVMの出荷時のデフォルトのスイッチング周波数は500kHzであり、2つのチャンネル間の位相インターリーブ角は180°です。チャンネルのスイッチング周波数、位相角、およびSYNCピン波形の立下がりエッジを基準にした位相関係は、ピンストラップ抵抗(F<sub>SWPHCFG</sub>ピン)とNVM/レジスタ設定に従って設定できます。ただし、レギュレーション時にその場で設定することはできません。モジュールの7ビットのI<sup>2</sup>Cスレーブ・アドレスは、デフォルトでは電源投入時にMFR\_ADDRESS[6:0]から取得される値(出荷時のデフォルト値:0x4F)ですが、アドレスの下位4ビットはASELピンの抵抗ピンストラップ処理によって設定されます。MFR\_ADDRESSのビット[6:4]を書き込んで、EEPROMに格納できます。ASEL抵抗ピンストラップと設定可能なMFR\_ADDRESS[6:4]との間で、LTM4686は目的とする任意の7ビット・スレーブ・アドレスをとることができます。ASELピンの場合は例外ですが、必要に応じて、全てのピンストラップ抵抗を無視するようにモジュールを設定できます(MFR\_CONFIG\_ALL[6]を参照)。

表1に、LTM4686のサポート対象PMBusコマンドの要約を示します。サポート対象コマンド、ペイロード、およびデータ・フォーマットの詳細については、付録C:PMBusコマンドの詳細を参照してください。

PMBus仕様の導入情報については、付録A:PMBus、SMBus、I<sup>2</sup>C 2線インターフェース間の類似性を参照してください。データ通信リンク層およびタイミング図については、付録B:PMBusシリアル・デジタル・インターフェースを参照してください。

LTM4686の主な機能は、厳密にDC/DCコンバータの電力供給の観点から見ると、次のとおりです。

- 2つの内蔵パワー段のそれぞれからの出力電流供給量が最大10A(表紙の図を参照)、組み合わせた場合は最大20A出力(図27および図34を参照)。
- 広い入力電圧範囲:5.75V~17Vの入力電圧範囲でのDC/DC降圧変換(LTM4686、図61を参照)。
- 4.5V~5.75Vの入力電圧範囲でのDC/DC降圧変換、SV<sub>IN</sub>をINTV<sub>CC</sub>に接続(LTM4686-1、図27を参照)。
- 5Vの補助バイアス電源でSV<sub>IN</sub>とINTV<sub>CC</sub>に電力を供給する場合は、4.5V未満の入力電圧でDC/DC降圧変換が可能(LTM4686-1、図29を参照)。
- きわめて広い入力電圧範囲:2.375V~17Vの入力電圧範囲でのDC/DC降圧変換、約5Vの補助バイアスでSV<sub>IN</sub>とINTV<sub>CC</sub>を駆動(LTM4686-1、テスト回路3を参照)。
- 出力電圧範囲:V<sub>OUT0</sub>とV<sub>OUT1</sub>の両方で0.5V~3.6V。
- V<sub>OUT0</sub>(V<sub>OSNS0</sub><sup>+</sup>/V<sub>OSNS0</sub><sup>-</sup>)の差動リモート検出。並列接続出力の場合は、V<sub>OSNS0</sub><sup>+</sup>/V<sub>OSNS0</sub><sup>-</sup>ピンペアをV<sub>OUT0</sub>とV<sub>OUT1</sub>の両方の帰還経路として設定できます(図34と、必要に応じてMFR\_PWM\_CONFIG[7]を参照)。
- 電流を吸い込まずに負荷がプリバイアスされた状態で起動。
- 4つのLTM4686を並列接続して最大約80Aを供給可能(図31を参照)。
- 1つのLTM4686を3つのLTM4650モジュールと並列に接続して最大165Aを供給できる。レールのステータスと並列接続されたLTM4650の遠隔測定を1つのLTM4686を介して推定(図32を参照)。
- 軽負荷時の効率を高くするための不連続モード動作が可能(MFR\_PWM\_MODE<sub>n</sub>[0])。
- 出力電流制限および過電圧保護。

## 動作

- 3つの温度センサーを内蔵、過熱保護／低温保護。
  - 固定周波数のピーク電流モード制御。
  - 設定可能なスイッチング周波数、250kHz～1MHz、外部クロックに同期可能、7種類の設定可能なチャンネル位相インターリーブ設定。
  - ループ補償回路内蔵、必要な場合は、外部ループ補償を適用できる。
  - 低背型(16mm×11.9mm×1.82mm)LGAパッケージによる電源ソリューションでは、入力コンデンサと出力コンデンサ以外は不要、最大でも9つのプルアップ抵抗でオープンドレインのデジタル信号に対応、最大でも6つのプルダウン抵抗で可能な全てのピンストラップ・オプションを設定。
- パワー・システム・マネージメント、レールのシーケンス制御、障害の監視と報告が可能なLTM4686の機能は次のとおりです。
- $\overline{\text{ALERT}}$  割り込みピンを備えたI<sup>2</sup>CベースのPMBus/SMBus 2線シリアル通信インターフェース(SDA、SCL)、400kHzのバス通信速度に対応し、クロックのロー時間を延長できるSCLクロック(その他の場合は100kHz)。
  - 設定可能な出力電圧。
  - 設定可能な入力低電圧コンパレータ(立上がり時UVLO、立下がり時UVLO)。
  - 設定可能なスイッチング周波数。
  - 設定可能な電流制限。
  - 設定可能な出力過電圧／低電圧コンパレータ。
  - 設定可能なオンとオフの遅延時間。
  - 設定可能な出力立上がり時間および立下がり時間。
  - 前述の設定などを行うためのECC機能を備えた不揮発性設定メモリ(NVM EEPROM)、必要に応じて単独動作が可能であり、組み込み設計ではLTM4686の設定を現場で変更することもできる。
  - 遠隔測定データ(以下)のモニタリングと報告：入出力の平均電流および平均電圧、内部温度、およびパワー段のデューティ・サイクル。16ビットADCにより、絶え間なく周期的にデジタル化。
    - 出力電流と出力電圧、入力電圧、およびモジュール温度の観測ピーク値は、ポーリングしてクリア／リセットできる。
    - ADCの遅延時間は90ミリ秒以内(公称)。
    - チャンネル1(V<sub>OUT1</sub>)のモジュールのパワー段温度の代わりに1箇所の外部温度をモニタするオプション。
  - モニタリング、報告、および個々の障害あるいは警告のステータスのラッチおよび非ラッチに対する設定可能な応答。対象は以下を含むがこれらに限定されない。
    - 出力過電圧／低電圧。
    - 入力(SV<sub>IN</sub>)過電圧／低電圧。
    - モジュールの入力過電流およびパワー段出力の過電流。
    - モジュールのパワー段の過熱／低温。
    - 内部制御ICの過熱。
    - 通信、メモリ、およびロジック(CML)障害。
  - 障害状態の検出時の障害ログ。LTM4686は、内蔵のNVMに障害ログを自動的にアップロードするよう設定できます。その内容は、稼働時間カウンタ、観測された遠隔測定値のピーク値、障害ログの書き込みをトリガする障害の検出につながる最新6回分の周期的ADCデータから収集した遠隔測定値、およびそのADCの履歴と関連付けられている障害ステータスです。
  - 設定可能な2つのオープンドレイン汎用入出力ピン(GPIO<sub>0</sub>、GPIO<sub>1</sub>)、以下の目的に使用できる。
    - 障害報告(例：システム割り込み信号として)。
    - マルチフェーズ／マルチレール・システムでのLTM4686のオン／オフの調整。
    - フィルタ処理なしのパワーグッド信号(V<sub>OUTn</sub> 低電圧コンパレータの出力)の伝搬により、下流レールのオン／オフを指定。
  - RAMおよびNVMの内部設定をI<sup>2</sup>Cによる意図しない変更から保護するための書き込み保護(WP)ピンおよび設定可能なWRITE\_PROTECTレジスタ。
  - 複数のLTM4686間で時間領域を同期するためのタイムベースの相互接続(SHARE\_CLK、100kHzのハートビート)。
  - 起動出力電圧、スイッチング周波数、およびチャンネル間の位相インターリーブ角を設定するためのオプションの外付け設定抵抗(RCONFIG)。
  - 7ビットの任意のスレーブ・アドレス(デフォルト値は0x4F)をLTM4686に割り当て、ASELピンの抵抗ピン・ストラップと編集可能なMFR\_ADDRESSのビット[6:4]によって設定できる。

## 動作

### 電源モジュールの設定可能性と読出しデータ

データシートのこのセクションでは、I<sup>2</sup>Cを介してアクセスできる、LTM4686の全ての設定可能な機能および読出し可能なデータについて説明します。該当するコマンド・コード名は、全て大文字を使用して表します(例えば、VIN\_ON)。コマンド・コード、ペイロード・サイズ、データ・フォーマット、および出荷時のデフォルト値の詳細については、このデータシートの表1および付録C:PMBus コマンドの詳細を参照してください。一部のレジスタの特定のレジスタ・ビットは、角かっこ(つまり、[ ])で囲んで示します。レジスタの最下位ビット(LSB)はビット数0であり、[0]で示します。バイト長(8ビット長)レジスタの最上位ビットはビット数7であり、[7]で示します。ワード長(16ビット長)レジスタの最上位ビット(MSB)はビット数15であり、[15]で示します。レジスタの複数のビットはコロンを使用して示すことができます。例えば、MFR\_PWM\_CONFIGレジスタのビット2、1、および0はMFR\_PWM\_CONFIG[2:0]と示します。ビットは0<sub>b</sub>または1<sub>b</sub>という値をとることができます。下付き文字の「<sub>b</sub>」接尾辞は、数値が2進数であることを示します。16進数の値は「0x」という接頭辞を付けて示します。例えば、10進値の89は0x59や01011001<sub>b</sub>(8ビット長の値)、更には0x0059や000000001011001<sub>b</sub>(16ビット長の値)で示します。

読者が気付くもう1つの簡略表記はイタリック体の「*n*」または「*n*」です。「*n*」は0または1のいずれかの値をとることができます。また、ページ指定コマンドであるレジスタを簡単に参照できます。つまり、コマンド・コードの値は同じですが、チャンネル0(ページ0、または0x00)とチャンネル1(ページ1、または0x01)に対して個別に設定できる(チャンネル固有の遠隔測定値が得られる)レジスタ名です。「*n*」の付かないレジスタは本質的にグローバルであること、つまり両方のチャンネル/出力に共通であることが容易に識別されます。例えば、レジスタFREQUENCY\_SWITCHで指定されたスイッチング周波数の設定は両方のチャンネルに共通であり、「*n*」が付いていません。別の例を次に示します。READ\_VINレジスタには、SV<sub>IN</sub>ピンで確認できるのと同じデジタル化された入力電圧が格納されており、SV<sub>IN</sub>は一意です。つまり、両方のチャンネルに共通です。対照的に、公称のコマンド指定出力電圧はレジスタVOUT\_COMMAND<sub>n</sub>で示します。「*n*」は、VOUT\_COMMANDをチャンネル0とチャンネル1で異なる値に設定できることを示します。PAGEコマンド(コマンド・コード0x00)をペイロード0x00で実行すると、LTM4686は、ページが変更されるまで、後続する全てのI<sup>2</sup>Cトランザクションでチャンネル0に関するデータの書込み/読出しを実行するよう設定されます。PAGEコマンドをペイロード0x01で実行すると、LTM4686は、ページが変更されるまで、後続する

全てのI<sup>2</sup>Cトランザクションでチャンネル1に関するデータの書込み/読出しを実行するよう設定されます。PAGEコマンドをペイロード0xFFで実行すると、LTM4686は、ページが変更されるまで、後続する全てのI<sup>2</sup>C書込みトランザクションでチャンネル0および1に関するデータを書き込むよう設定されます。グローバル・レジスタからの読出しおよびグローバル・レジスタへの書込みでは、ページを0xFFに設定する必要はありません。ページが0xFFに設定されているときにチャンネル固有(つまり、非グローバル)レジスタから読み出すと、LTM4686はページ0x00の値(つまり、チャンネル0固有のデータ)を報告します。

I<sup>2</sup>C通信とEEPROMの設定で構成できる電源機能に関するLTM4686の側面を、以下の一覧に箇条書きで示します。ただし、WP(書込み保護)ピンの状態とWRITE\_PROTECTレジスタの値がI<sup>2</sup>Cによる書込みを許可することが前提です。

- 出力起動電圧(VOUT\_COMMAND<sub>n</sub>)、コマンド指定可能な最大出力電圧(VOUT\_MAX<sub>n</sub>)、出力マージン・ハイ(VOUT\_MARGIN\_HIGH<sub>n</sub>)およびマージン・ロー(VOUT\_MARGIN\_LOW<sub>n</sub>)コマンドの電圧、および出力過電圧/低電圧警告閾値および障害閾値(VOUT\_OV\_WARN\_LIMIT<sub>n</sub>、VOUT\_OV\_FAULT\_LIMIT<sub>n</sub>、VOUT\_UV\_WARN\_LIMIT<sub>n</sub>、およびVOUT\_UV\_FAULT\_LIMIT<sub>n</sub>)。更に、これらの値はVOUT0CFG、VTRIM0CFG、VOUT1CFG、あるいはVTRIM1CFGピンの抵抗ピンストラップに従って、SV<sub>IN</sub>の電源投入時に設定できます。ただし、MFR\_CONFIG\_ALL[6] = 0<sub>b</sub>が前提です。
- 遷移速度(ΔV/Δt)を含む、実行中の出力電圧、VOUT\_TRANSITION\_RATE<sub>n</sub>、VOUT\_COMMAND<sub>n</sub>、VOUT\_MARGIN\_HIGH<sub>n</sub>、またはVOUT\_MARGIN\_LOW<sub>n</sub>レジスタへの、あるいはOPERATION<sub>n</sub>レジスタへのI<sup>2</sup>Cによる書込み。
- 入力低電圧ロックアウト、立上がり(VIN\_ON)時と入力低電圧ロックアウト、立下がり(VIN\_OFF)時、SV<sub>IN</sub>ピンの電圧に基づく。
- スwitchング周波数(FREQUENCY\_SWITCH)とチャンネルの位相インターリーブ角(MFR\_PWM\_CONFIG[2:0])。ただし、これらのパラメータをI<sup>2</sup>Cを介して変更できるのは、LTM4686のチャンネルがオフのとき(つまり、スイッチングしていないとき)だけです。LTM4686は、MFR\_CONFIG\_ALL[4]=1<sub>b</sub>のとき、そのスイッチング周波数を、SYNCピンに供給されているクロック信号と同期させます。これらのパラメータは、FSWPHCFGピンの抵抗ピンストラップに従ってSV<sub>IN</sub>の電源投入時に設定できます。ただし、MFR\_CONFIG\_ALL[6] = 0<sub>b</sub>が前提です。

## 動作

- 出力電圧のターンオン・シーケンス制御とターンオフ・シーケンス制御および関連のウォッチドッグ・タイマー。具体的には次のとおり。
  - 出力電圧ターンオン遅延時間(LTM4686をオンするようコマンドで指示してから(例えば、RUN<sub>n</sub>ピンをロジック・ローからハイに切り替えてから)、スイッチング動作が始まるまでの遅延時間。TON\_DELAY<sub>n</sub>)。
  - 出力電圧のソフトスタート立上がり時間(TON\_RISE<sub>n</sub>)。
  - LTM4686をオンするようコマンドで指示してからの許容経過時間(TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT<sub>n</sub>)。例えば、RUN<sub>n</sub>ピンがロジック・ローからハイに切り替わった後に、出力電圧が出力低電圧障害の閾値(VOUT\_UV\_FAULT\_LIMIT<sub>n</sub>)を超えなかった場合、LTM4686の出力電圧(VOUT<sub>n</sub>)はタイミング良く上昇しなかったと宣言されます。
  - 前述したTON\_MAX\_FAULT\_LIMIT<sub>n</sub>のような事象に対するLTM4686の応答(TON\_MAX\_FAULT\_RESPONSE<sub>n</sub>)。
  - 出力電圧のソフトストップ立下がり時間(TOFF\_FALL<sub>n</sub>)。
  - 出力電圧ターンオフ遅延時間(LTM4686をオフするようコマンドで指示してから(例えば、RUN<sub>n</sub>ピンをロジック・ハイからローに切り替えてから)、スイッチング動作が停止するまでの遅延時間。TOFF\_DELAY<sub>n</sub>)。
  - 出力をオフするようコマンドで指示する場合か、または障害に応答して出力をオフする場合。LTM4686の出力(VOUT<sub>n</sub>)が高インピーダンス(「High-Z」または「スリーステート」)になるよう設定し、パワー段のMT<sub>n</sub>とMB<sub>n</sub>の両方をオフにする。(「即時オフ」、ON\_OFF\_CONFIG<sub>n</sub>[0] = 1<sub>b</sub>に対して、TOFF\_FALL<sub>n</sub>またはTOFF\_DELAY<sub>n</sub>あるいはその両方の設定に従って出力電圧が減少するよう設定、ON\_OFF\_CONFIG<sub>n</sub>[0] = 0<sub>b</sub>)。
  - LTM4686がその出力をオフしたと推定される時刻からの許容経過時間(TOFF\_MAX\_WARN\_LIMIT<sub>n</sub>)。つまり、TOFF\_FALL<sub>n</sub>によって規定されている期間の終了時以降に、出力電圧が以前のレギュレーション目標電圧の12.5%より低くならなかった場合、LTM4686の出力(VOUT<sub>n</sub>)は、タイミング良く電源が落ちなかったと宣言されます。
- 設定可能な出力電圧再起動時間。RUN<sub>n</sub>ピンがローになった後、LTM4686はデバイス単独でRUN<sub>n</sub>をロジック・ローにします。出力は最小時間(再起動遅延時間)が経過するまで再起動できません。この遅延により、全てのシステム・レールのシーケンスが適切に制御されます。LTM4686によって処理される再起動遅延時間の最小値は、(TOFF\_DELAY<sub>n</sub> + TOFF\_FALL<sub>n</sub> + 136ミリ秒)とコマンドで指定されたMFR\_RESTART\_DELAY<sub>n</sub>レジスタの値のうち時間の長い方です。この遅延時間が経過すると、LTM4686はRUN<sub>n</sub>ピンを解放します。
- 設定可能な障害からヒカップ再試行までの遅延時間。障害が発生し、その障害に対するLTM4686の障害応答動作が、前述の障害が発生しなくなった後に出力電圧の電源投入を再試行すること(「無期限の再試行」)である場合、LTM4686がスイッチング動作を再開するまでの遅延時間は、MFR\_RETRY\_DELAY<sub>n</sub>の時間と、出力が以前に指示された出力電圧値の12.5%未満に減衰するまでに必要な時間のうち長い方の時間になります(ただし、MFR\_CHAN\_CONFIG<sub>n</sub>[0]の設定を「1<sub>b</sub>」(LTM4686の出荷時のデフォルトNVM設定)にして、最後の基準、つまり出力を12.5%未満に減衰させる要求を無効にしている場合を除きます)。
- 出力過電圧／低電圧障害に対する応答(VOUT\_OV\_FAULT\_RESPONSE<sub>n</sub>、VOUT\_UV\_FAULT\_RESPONSE<sub>n</sub>)。
- 時間平均での電流制限警告の閾値と瞬時ピーク値(サイクル単位)での障害の閾値、および障害に対する応答(IOUT\_OC\_WARN\_LIMIT<sub>n</sub>、IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT<sub>n</sub>、IOUT\_OC\_FAULT\_RESPONSE<sub>n</sub>)。
- チャンネル(VOUT<sub>0</sub>、VOUT<sub>1</sub>)の過熱警告および障害の閾値、および障害に対する応答(OT\_WARN\_LIMIT<sub>n</sub>、OT\_FAULT\_LIMIT<sub>n</sub>、OT\_FAULT\_RESPONSE<sub>n</sub>)。
- チャンネル(VOUT<sub>0</sub>、VOUT<sub>1</sub>)の低温障害閾値および障害に対する応答(UT\_FAULT\_LIMIT<sub>n</sub>、UT\_FAULT\_RESPONSE<sub>n</sub>)。
- SV<sub>IN</sub>ピンの電圧に基づいた入力過熱障害の閾値および障害に対する応答(VIN\_OV\_FAULT\_LIMIT、VIN\_OV\_FAULT\_RESPONSE)。
- SV<sub>IN</sub>ピンの電圧に基づいた入力低電圧警告の閾値(VIN\_UV\_WARN\_LIMIT)。
- モジュールの入力過電流警告の閾値(IIN\_OC\_WARN\_LIMIT)

## 動作

モジュール内部の制御ICは、制御ICの温度が160°Cを超えるとスイッチング動作を停止します(Note 12)。制御ICは10°Cの冷却ヒステリシス後に動作を再開します。これらの標準パラメータは実験室の恒温槽での測定に基づいており、製造時にはテストされていないことに注意してください。この過熱保護は、瞬間的な過負荷状態時にデバイスを保護するためのものです。この保護機能が動作しているときは、最大定格のジャンクション温度を超えます。規定された絶対最大動作ジャンクション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か、またはデバイスに永続的損傷を与える恐れがあります。

### 読出しデータの時間平均値とピーク値

I<sup>2</sup>C通信を介してアクセス可能な遠隔測定読出しデータの時間平均値は、次のとおりです。

- チャンネルの出力電流(READ\_IOUT<sub>n</sub>)と観測されたREAD\_IOUT<sub>n</sub>のピーク値(MFR\_IOUT\_PEAK<sub>n</sub>)。
- チャンネルの出力電圧(READ\_VOUT<sub>n</sub>)と観測されたREAD\_VOUT<sub>n</sub>のピーク値(MFR\_VOUT\_PEAK<sub>n</sub>)。
- チャンネルの出力電力(READ\_POUT<sub>n</sub>)。
- チャンネルの入力電流(MFR\_READ\_IIN<sub>n</sub>)とモジュールの入力電流(READ\_IIN)。
- チャンネルの温度(READ\_TEMPERATURE\_1<sub>n</sub>)と観測されたREAD\_TEMPERATURE\_1<sub>n</sub>のピーク値(MFR\_TEMPERATURE\_1\_PEAK<sub>n</sub>)。
- 制御ICの温度(READ\_TEMPERATURE\_2)と観測されたピーク値(MFR\_TEMPERATURE\_2\_PEAK)。
- SV<sub>IN</sub>ピンの電圧に基づく入力電圧(READ\_VIN)と観測されたREAD\_VINのピーク値(MFR\_VIN\_PEAK)。
- チャンネルの上側パワー MOSFET (MT<sub>n</sub>)のデューティ・サイクル(READ\_DUTY\_CYCLE<sub>n</sub>)

周期的にデジタル化された遠隔測定値が10Hzの更新レート(代表値)で得られます。MFR\_ADC\_CONTROL コマンドを使用することにより、目的とするいくつかの信号をデジタル化する頻度を最大125Hzの更新レート(代表値)まで高めることができます。新たにデジタル化された遠隔測定データがあるかどうかは、MFR\_ADC\_TELEMETRY\_STATUS コマンドによって知ることができます。

周期的にデジタル化された遠隔測定値が10Hzの更新レート(代表値)で得られます。MFR\_ADC\_CONTROL コマンドを使用することにより、目的とするいくつかの信号をデジタル化する頻度を最大125Hzの更新レート(代表値)まで高めることができます。新たにデジタル化された遠隔測定データがあるかどうかは、MFR\_ADC\_TELEMETRY\_STATUS コマンドによって知ることができます。

観測された遠隔測定読出しデータのピーク値はI<sup>2</sup>CコマンドのMFR\_CLEAR\_PEAKSによりクリアできます。ただし、WRITE\_PROTECTレジスタの値が許容する場合に限り( MFR\_CLEAR\_PEAKSは、WPピンの状態にかかわらず実行できます)。

LTM4686の障害ログ機能の詳細は次のとおりです。

- 障害ログはMFR\_CONFIG\_ALL[7] = 1<sub>b</sub>のときに有効になります。
- 障害ログはSTATUS\_MFR\_SPECIFIC<sub>n</sub>[3]が「1<sub>b</sub>」を報告した場合、NVMに存在します。これはSTATUS\_WORDレジスタのMFRビット(ビット12)に伝搬されます。
- 障害ログ・データ(存在する場合)の検索は、MFR\_FAULT\_LOG コマンドを使用して実行します。PMBus定義の変数をSMBusブロック読出しプロトコルに対して使用することで、147バイトのデータが検索されます。
- NVMに格納されている障害ログは、存在する場合、MFR\_FAULT\_LOG\_CLEAR コマンドを実行すればクリアされます。
- 障害ログがNVMに既に存在する場合、その障害ログは書き込まれません。
- MFR\_FAULT\_LOG\_STORE コマンドを実行することで、LTM4686がNVMに障害ログを書き込むよう強制できます。LTM4686は、チャンネルに障害が発生してオフしたかのように動作します。このコマンドにはNACKが返され、またMFR\_FAULT\_LOG\_STOREの実行時に障害ログが既に存在する場合には、CML障害が報告されることに注意してください。

外部の刺激によってLTM4686のGPIO<sub>n</sub>ピンがロジック・ローになった場合、各チャンネル(VOUT<sub>n</sub>)の反応は次のいずれかになります。MFR\_GPIO\_RESPONSE<sub>n</sub> = 0x00の場合は何の反応も示しません。つまり、完全に無視します。MFR\_

## 動作

GPIO\_RESPONSE<sub>n</sub> = 0xC0の場合は、直ちにオフします。つまり、パワー段が高インピーダンス(「抑制状態」)になります。

MFR\_GPIO\_PROPAGATE<sub>n</sub>レジスタの内容によって設定されるのは、どの障害が原因でLTM4686のGPIO<sub>n</sub>ピンがロジック・ローになるかです。

I<sup>2</sup>C通信は、(システムの)I<sup>2</sup>Cマスタ・デバイスから始まります。LTM4686のチャンネル0への書込み/チャンネル0からの読出し(V<sub>OUT0</sub>:PAGE 0x00)、LTM4686のチャンネル1への書込み/チャンネル1からの読出し(V<sub>OUT1</sub>:PAGE 0x01)、またはLTM4686のチャンネル0および1の両方への書込み(V<sub>OUT0</sub>およびV<sub>OUT1</sub>:PAGE 0xFF)が可能です。対象のチャンネルはI<sup>2</sup>Cマスタによって選択されますが、そのためにはPAGEコマンドを実行して、ペイロード内の適切な引数(0x00、0x01、0xFF)を送信します。PAGEコマンドには制限がありません。すなわち、WPピンの設定やWRITE\_PROTECTレジスタの設定には影響されません。

LTM4686は、グローバル・スレーブ・アドレス(0x5Aおよび0x5B)に必ず応答します。グローバル・アドレス0x5Aに送信されたコマンドの動作は、PAGEコマンドが0xFFに設定された場合と同じです。すなわち、受け取ったコマンドは両方のチャンネルに同時に書き込まれます。グローバル・アドレス0x5Bに送信されたコマンドは、グローバル・アドレスが遷移する時点で有効なPAGEに適用されます。つまり、バス上にある全てのLTM4686デバイスのチャンネル固有のコマンドが可能です。

上に記載されていないI<sup>2</sup>Cコマンドで、障害のステータスとEEPROM NVMの動作と関係があるコマンドを以下に示します。以下の書込みが可能です。WP(書込み保護)ピンの状態とWRITE\_PROTECTレジスタの値がI<sup>2</sup>Cによる書込みを許可することが前提です。

- モジュールの障害ステータスの要求(読出し)とモジュールの障害ステータスの消去(書込み)(CLEAR\_FAULTS、STATUS\_BYTE<sub>n</sub>、STATUS\_WORD<sub>n</sub>、STATUS\_VOUT<sub>n</sub>、STATUS\_IOUT<sub>n</sub>、STATUS\_INPUT、STATUS\_TEMPERATURE<sub>n</sub>、STATUS\_CML[通信、メモリ、あるいはロジック]、およびSTATUS\_MFR\_SPECIFIC<sub>n</sub>[その他])。
- 書込み可能なLTM4686のRAMレジスタ・データのEEPROM NVMへの格納(STORE\_USER\_ALL)。
- ロック解除キーによって保護されているLTM4686のEEPROMの内容を直接消去して書き込むSTORE\_USER\_ALLコマンドの代替手段。例えば、組み込みハードウェアやLTpowerPlay GUIによるICT(イン

サーキット・テスト)や一括プログラミングなどの環境でLTM4686のEEPROMのプログラミングを容易にします。また、LTM4686のEEPROMの内容を直接読み出す手段(MFR\_EE\_UNLOCK、MFR\_EE\_ERASE、MFR\_EE\_DATA)。

- LTM4686のソフト・リセットをSV<sub>IN</sub>電源を入れ直さずに引き起こす(MFR\_RESET)。MFR\_RESETコマンドは、SV<sub>IN</sub>電源が入れ直されたかのように、EEPROM NVMデータのRAMレジスタへのダウンロードをトリガします。
- EEPROM NVMのデータをRAMレジスタへ強制的にダウンロードする(RESTORE\_USER\_ALL)。これはMFR\_RESETの実行と区別できません。

LTM4686からI<sup>2</sup>C通信を介して入手できるその他のデータは次のとおりです。

- PMBusによって規定されたPMBusの機能をLTM4686に要求する(CAPABILITY)
  - PEC(パケット・エラー・チェック)。MFR\_CONFIG\_ALL[2] = 1<sub>b</sub>の場合、LTM4686はI<sup>2</sup>C通信において有効なPECが必要です。NVMの出荷時のデフォルト設定はMFR\_CONFIG\_ALL[2] = 0<sub>b</sub>です。つまり、PECは必要ありません。
  - I<sup>2</sup>C通信は最大400kHzのSCLバス速度でサポートできます。LTM4686に対してクロックのロー時間の延長(クロック・ストレッチング)を有効にして、100kHzを超えるSCLバス速度の堅牢な通信を確保する必要があります。すなわちMFR\_CONFIG\_ALL[1] = 1<sub>b</sub>にします。NVMの出荷時のデフォルト設定はMFR\_CONFIG\_ALL[1] = 0<sub>b</sub>です。つまり、クロック・ストレッチングは無効になっています。
  - LTM4686はSMBALERT(ALERT)ピンを備えており、SMBus ARA(アラート応答アドレス)プロトコルをサポートします。
- 生成をコマンドで指定できる最大出力電圧をモジュールに対して要求する(MFR\_VOUT\_MAX<sub>n</sub>)。
- デバイスの出力電圧関連レジスタのデータ・フォーマットをデバイスに対して要求する(VOUT\_MODE<sub>n</sub>)。
- デバイスがサポートしているPMBus仕様のリビジョンをデバイスに対して要求する(Part I: Rev. 1.2; Part II: Rev 1.2)。
- LTM4686のメーカーID「LTC」(MFR\_ID)と、LTM4686およびリビジョンを表すメーカー・コード0x47AX(MFR\_SPECIAL\_ID)をデバイスに対して要求する。

## 動作

- 製品番号「LTM4686」(MFR\_MODEL)\*をデバイスに対して要求する。
  - シリアル番号(MFR\_SERIAL)をデバイスに対して要求する。
  - LTM4686のI/OパッドおよびADCの妥当性のデジタル・ステータス(MFR\_PADS)とWPピンのステータス(MFR\_COMMON[0])。
- I<sup>2</sup>C通信とEEPROMの設定によって構成できるパワー・システム・マネージメントと電源のシーケンス制御に関するLTM4686の別の側面を以下の一覧に示します。ただし、WP(書込み保護)ピンの状態とWRITE\_PROTECTレジスタの値がI<sup>2</sup>Cによる書込みを許可することが前提です。
- チャンネル0および1に追加のスレーブ・アドレス(MFR\_RAIL\_ADDRESS<sub>n</sub>)を割り当てることで、LTM4686の特定のチャンネルに対してデータの読出し/書込みを直接行う複数の手段を提供する。この利点は、ページ・コマンドの使用頻度と関連のI<sup>2</sup>Cトラフィックを低減することです。また、PMBusグループ・コマンド・プロトコルを呼び出さずに、複数のLTM4686の同じレジスタを一斉に変更するのが簡単になります。PAGE\_PLUS\_READおよびPAGE\_PLUS\_WRITEも参照してください。
  - RUN<sub>n</sub>ピン以外の手段で出力電圧のオンまたはオフを設定する(ON\_OFF\_CONFIG<sub>n</sub>[3]、OPERATIONコマンド)。
  - 一方のRUN<sub>n</sub>ピンがロジック・ローからロジック・ハイに切り替わるときに、LTM4686がデバイス自体に対してCLEAR\_FAULTSコマンドを実行するかどうかを設定する(MFR\_CONFIG\_ALL[0])。
  - LTM4686が他の手段でオフするよう指示された場合、LTM4686がRUN<sub>n</sub>をロジック・ローにするかどうかを設定する(MFR\_CHAN\_CONFIG<sub>n</sub>[4])。
  - 電源遮断シーケンスTOFF\_DELAY<sub>n</sub>およびTOFF\_FALL<sub>n</sub>の処理が完了する前に、LTM4686が出力をオンするよう指示された場合のデバイスの応答を設定する(MFR\_CHAN\_CONFIG<sub>n</sub>[3])。
  - SHARE\_CLKをローに保持しているときに、LTM4686の出力をディセーブルするかどうかを設定する(MFR\_CHAN\_CONFIG<sub>n</sub>[2])。
  - 外部の刺激によって $\overline{\text{GPIO}}_n$ がローになったときに、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをローにするかどうかを設定する(MFR\_CHAN\_CONFIG<sub>n</sub>[1])。
  - SV<sub>IN</sub>ピンに流れる電流の推定値を表す、MFR\_IIN\_OFFSET<sub>n</sub>レジスタの値を設定する。LTM4686はSV<sub>IN</sub>ピンの電流を測定しませんが、チャンネルと全モジュールの入力電流の計算と報告にはMFR\_IIN\_OFFSET<sub>n</sub>が使用されます(MFR\_READ\_IIN<sub>n</sub>、READ\_IIN)。
  - ユーザ・データの格納に使用できる、LTM4686のEEPROMの3つのワード(6バイト)(USER\_DATA\_03<sub>n</sub>、USER\_DATA\_04)。
  - 数レベルのI<sup>2</sup>C書込み保護の呼び出しまたは解放(WRITE\_PROTECT)。
  - ホストがI<sup>2</sup>Cトランザクションを完了する時間を増やす必要がある場合、バスのタイムアウトを255ミリ秒に設定する(MFR\_CONFIG\_ALL[3]=1<sub>b</sub>)。
  - 編集可能なRAMのレジスタ値をNVMの内容と同一にするかどうかを決定する(MFR\_COMPARE\_USER\_ALL)。
  - V<sub>OUT</sub>調整の分解能をデフォルトで可能な分解能より高くするため、V<sub>OUT</sub>のプログラマブル出力電圧範囲を狭める(0.5V~2.75V)ことを設定する(MFR\_PWM\_MODE<sub>n</sub>[1])。MFR\_PWM\_MODEを実行中に変更することはできません。スイッチング動作はオフする必要があります。V<sub>OUT</sub>の範囲を変更すると制御ループのゲインも変更されるので、ループ補償の調整が必要になります。
  - 必要に応じて、LTM4686の電流検出素子の温度係数を変更する(MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TC<sub>n</sub>) (このパラメータをNVMの出荷時デフォルト設定から変更するのは一般的ではありません)。
  - パワー段センサーのゲインまたはオフセットを変更する(MFR\_TEMP\_1\_GAIN<sub>n</sub>およびMFR\_TEMP\_1\_OFFSET<sub>n</sub>)。TSNS<sub>1a</sub>ピンに外部温度センサーを使用する場合は、外部温度センサーのゲインまたはオフセットを変更する(このパラメータをNVMの出荷時デフォルト設定から変更するのは一般的ではありません)。

\* MFR\_MODELの値はLTM4686です。この値は8つのASCII文字で構成されており、最後の文字は空白句読文字(「」)、つまりASCIIコード0x20または32dです。

## 動作

- $SV_{IN}$  が低下して、UVLO 閾値の範囲外になったときに、LTM4686 が SHARE\_CLK をロジック・ローにするかどうかを設定する (MFR\_PWM\_CONFIG[4])。MFR\_PWM\_CONFIG を実行中に変更することはできません。スイッチング動作はオフする必要があります (このパラメータを NVM の出荷時デフォルト設定から変更するのは一般的ではありません)。
- LTM4686 の出力電圧デジタル・サーボを動作状態にするか停止状態にするかを設定する (MFR\_PWM\_MODE<sub>n</sub>[6])。このパラメータを NVM の出荷時デフォルト設定から変更するのは一般的ではありません)。
- LTM4686 の電流制限範囲を高範囲と低範囲のいずれにするかを設定する (MFR\_PWM\_MODE<sub>n</sub>[7])。このパラメータを NVM の出荷時デフォルト設定から変更するのは推奨しません)。

I<sup>2</sup>C 通信を介して照会できる LTM4686 の残りのステータスは次のとおりです。

- 3つの「ハンドシェーキング」ステータス・ビット (MFR\_COMMON[6:4]) にアクセスして、PMBus ビジー・プロトコルの実装を簡単にします。つまり、これらのビットのポーリングにより、高速で堅牢なシステム・レベルの通信を有効にして、LTM4686 がその後の I<sup>2</sup>C による書込みに従う準備ができているかを推定します (アプリケーション情報のセクションの PMBus 通信とコマンド処理を参照してください)。
- LTM4686 の NVM の RAM へのダウンロードが実行されたかどうかを判別する手段を提供する (「NVM は初期化済み」、MFR\_COMMON[3])。
- ARA プロトコル以外の手段を提供して、LTM4686 が ALERT をローにしたかどうかを判別する (MFR\_COMMON[7])。
- SHARE\_CLK のタイムアウト・イベントを検出する (MFR\_COMMON[1])。
- LTM4686 のスレーブ・アドレスを検証または変更する (MFR\_ADDRESS)。

## 電源モジュールの概要

専用のリモート検出アンプは、 $V_{OUT0}$  の負荷を  $V_{OSNS0}^+$  と  $V_{OSNS0}^-$  で形成される差動ピンペアを介して高精度なケルビン・センスを実現します。 $V_{OUT0}$  は 0.5VDC ~ 3.6VDC の範囲内で指定できます。 $V_{OUT1}$  は  $V_{OSNS1}$  とモジュールの SGND の信号グラウンドで形成されるピンペアを介して検出されます。 $V_{OUT1}$  は 0.5VDC ~ 3.6VDC の範囲内で指定できます。出力電圧の読出し遠隔測定データは、I<sup>2</sup>C (READ\_VOUT<sub>n</sub> レジスタ) を介して入手できます。ピーク出力電圧の読出し遠隔測定データには、MFR\_READ\_VOUT\_PEAK<sub>n</sub> レジスタでアクセスできます。 $V_{OSNS0}^-$  の電圧が  $V_{OSNS}^+$  の電圧を超えた場合、差動で検出された出力電圧帰還信号の位相反転は起こりません (Note 12)。同様に、SGND の電圧が  $V_{OSNS1}$  の電圧を超えた場合にも位相反転は起こりません (Note 12)。柔軟性を高めるため、MFR\_PWM\_CONFIG[7]=1<sub>b</sub> を設定することで、 $V_{OSNS0}^+/V_{OSNS0}^-$  帰還ピンを  $V_{OUT0}$  と  $V_{OUT1}$  の両方の制御ループ帰還経路として設定します (図 34 を参照してください)。

代表的なアプリケーション回路図をこのデータシートの最終ページにある図 61 に示します。

LTM4686 は 5.75V ~ 17V の入力電圧範囲で動作できます (図 61 参照)。この構成では、INTV<sub>CC</sub> MOSFET ドライバと制御 IC のバイアスは、 $SV_{IN}$  から電力を供給される LDO によって内部生成され、最大 100mA のピーク出力電流時に 5V を発生します。その他の内部 LDO (3.3V ( $V_{DD33}$ ))、供給源は INTV<sub>CC</sub>、および 2.5V ( $V_{DD25}$ )、供給源は  $V_{DD33}$  は、LTM4686 のデジタル回路にバイアスを供給します。INTV<sub>CC</sub> を  $SV_{IN}$  に接続した場合、LTM4686 は 4.5V ~ 5.75V の入力電圧範囲で動作できます (図 27 参照)。制御 IC のバイアス ( $SV_{IN}$ ) はパワー段の入力 ( $V_{IN0}$ 、 $V_{IN1}$ ) と無関係に供給されています。これにより、 $SV_{IN}$  (モジュールの制御 IC) を適切にバイアスするための補助電源 (約 5V) が供給されている限り、4.5V 未満の入力で降圧 DC/DC 変換が可能です (図 29 参照)。あわせてテスト回路 3 も参照。更に、2つのパワー段の入力は、モジュールの内部で互いに接続されていません。このため、2つの異なる電源からの DC/DC 降圧変換を実行できます。

電気的特性のセクションの Note 6 により、一部の動作条件では出力電流のディレーティングが必要になります。ディレーティングの詳細な説明は、アプリケーション情報のセクションに記載されています。

## 動作

LTM4686は、組み込みのパワー MOSFETが高速でスイッチングできるデュアル固定周波数電流モード降圧レギュレータ（チャンネル0およびチャンネル1）を内蔵しています。NVMの出荷時のデフォルトのスイッチング周波数はSYNCを500kHzのクロックで制御しますが、この値はレギュレータが自己のスイッチング周波数を同期する周波数です。チャンネル間のデフォルトの位相インターリーブ角は180°です。F<sub>SWPHCFG</sub>のピンストラップ抵抗により、SYNCクロックの周波数（スイッチング周波数）が設定され、チャンネルのチャンネル位相関係が互いに設定され、更にSYNC信号の立下がりエッジを基準にして位相関係が設定されます。（スイッチング周波数と位相角割り当ての組み合わせは、抵抗ピンでのプログラミングによって必ずしも設定できるわけではありません。表4を参照してください。抵抗ピンストラップでは得られない設定を実行するため、LTM4686のNVMを設定します。）F<sub>SWPHCFG</sub>のピンストラップ抵抗でLTM4686のチャンネル位相関係を設定した場合、SYNCクロックがモジュールによって駆動されることはありません。むしろ、SYNCは厳密に高インピーダンス入力になります。また、チャンネルのスイッチング周波数は、外部生成クロックによって供給されるSYNCか、またはプルアップ抵抗がV<sub>DD33</sub>に接続されているLTM4686姉妹デバイスによって供給されるSYNCと同期します。スイッチング周波数と位相の関係はI<sup>2</sup>Cインターフェースを介して変更できますが、それはスイッチング動作がオフのとき、つまり、モジュールがいずれの出力も安定化していないときに限ります。詳細については、アプリケーション情報のセクションを参照してください。

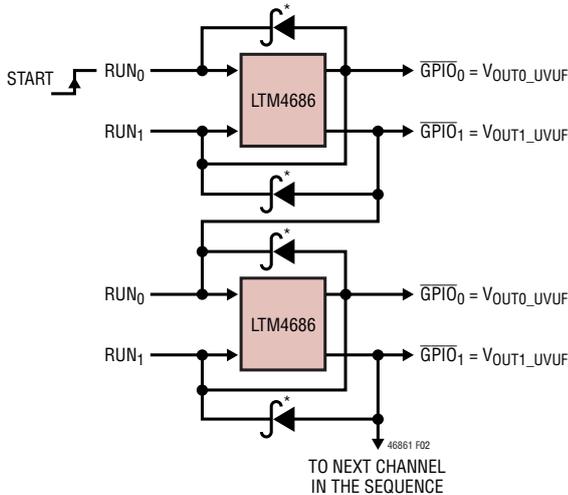
レギュレータ0の内部帰還ループ補償は、COMP<sub>0a</sub>をCOMP<sub>0b</sub>に接続すれば有効になります（レギュレータ1の場合は、COMP<sub>1a</sub>をCOMP<sub>1b</sub>に接続します）。電流モード制御と内部帰還ループ補償により、LTM4686モジュールは、広範囲の出力コンデンサを使用して（全てセラミックMLCCの場合でも）十分に余裕のある安定性と良好なトランジェント性能を達成します。多くの一般的な動作条件に対して推奨される入出力コンデンサの目安を表20に示します。トランジェントと安定性の解析のため、アナログ・デバイセズのμModule電源設計ツールを使用できます。更に、モジュール内部の帰還ループ補償を使用するのではなく、帰還ループの補償を自分のアプリケーションに合わせて特別に調整したい熟練者は、COMP<sub>na</sub>をCOMP<sub>nb</sub>に接続しないことで目的を果たすことができます。個人用のループ補償ネットワークを外部から、すなわちCOMP<sub>na</sub>とSGNDの間に接続して、COMP<sub>nb</sub>はオープン・サーキットのままにします。

LTM4686には、 $\overline{\text{GPIO}}_0$ および $\overline{\text{GPIO}}_1$ という2つの汎用入出力ピンがあります。これらのピンの動作は、レジスタMFR\_GPIO\_PROPAGATE<sub>n</sub>およびMFR\_GPIO\_RESPONSE<sub>n</sub>を介して設定できます。 $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンは、NVMからRAMへの初期化のデータをダウンロード中は高インピーダンスです。これらのピンの目的は、主な2つの機能のいずれか、または両方の機能を混在させて実行することです。すなわち、オープンドレインでアクティブ・ローの障害／警告インジケータとして動作するか、それぞれのV<sub>OUT</sub>の補助のRUNピンとして動作するか、あるいはその両方です。前者の場合は、これらのピンを割り込みピンとして設定して、出力の過電圧／低電圧、入力の高電圧／低電圧、入出力の過電流、過熱状態、あるいは通信、メモリ、またはロジック(CML)障害や警告の事象をLTM4686が検出したら、アクティブ・ローにできます。後者の場合は、電源の投入と遮断を正しい順序で、つまり一斉に実行するために、並列接続した姉妹デバイス（並列接続したLTM4686チャンネル／モジュール）に $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンをバスを介して接続できます。LTM4686 DC/DCレギュレータは、出力電圧が目標レギュレーション点の数パーセント以内になった場合、それを示す従来の「パワーグッド」(PGOOD)インジケータ・ピンを備えていません。ただし、 $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンをPGOODインジケータとして設定できます。実際に、これは出荷時のデフォルトNVM設定です。 $\overline{\text{GPIO}}_n$ は下流のレールのイベントベースのシーケンス制御に適しているため、MFR\_GPIO\_PROPAGATE<sub>n</sub>のビット12を「1<sub>b</sub>」に設定して、VOUT\_UV\_FAULT\_LIMIT<sub>n</sub>コンパレータのフィルタなし出力として設定します。MFR\_GPIO\_PROPAGATE<sub>n</sub>のビット9および10は設定しません。後者の事例でパワーグッド信号を伝搬すると、監視回路のフィルタリングやコンパレータの遅延が生じるからです。SV<sub>IN</sub>の電源投入直後に、目的とするPGOODの極性を $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンに示す必要がある場合、このピンは、NVMの内容がRAMにダウンロードされるまで最初は高インピーダンスになるので、LTM4686のRUN<sub>n</sub>ピンとそれぞれの $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンの間にプルダウンのショットキー・ダイオードが必要です（図2を参照してください）。 $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンをPGOODインジケータとして設定する場合は、MFR\_GPIO\_RESPONSE<sub>n</sub>を「無視」（出荷時のデフォルト値は0x00）に設定します。さもなければ、ラッチオフ条件を強要されてLTM4686を起動できなくなります。

RUN<sub>n</sub>ピンは、双方向のオープンドレイン・ピンです。これは、このピンが低インピーダンス源によってロジック・ハイに駆動されないことを意味します。代わりに、RUN<sub>n</sub>ピンとV<sub>DD33</sub>の間に10kのプルアップ抵抗をそのまま接続します。

## 動作

Voltage Based Sequencing by Cascading  $\overline{\text{GPIO}}_n$  Pins Into  $\text{RUN}_n$  Pins  
(MFR\_GPIO\_PROPAGATE = XXX1X00X00XXXX $_b$  and MFR\_GPIO\_RESPONSE = 0x00)



NOTE: RESISTOR OR RC PULL-UPS ON  $\text{RUN}_n$  AND  $\overline{\text{GPIO}}_n$  PINS NOT SHOWN  
\*OPTIONAL SIGNAL SCHOTTKY DIODE. ONLY NEEDED WHEN ACCURATE PGOOD (POWER GOOD) INDICATION IS REQUIRED BY THE SYSTEM/USER IMMEDIATELY AT  $\text{SV}_{\text{IN}}$  POWER UP

図2. イベント(電圧)ベースのシーケンス制御

LTM4686は、 $\text{SV}_{\text{IN}}$ がコマンド指定の低電圧ロックアウト電圧(立上がり時の $\text{VIN}_{\text{ON}}$ および立下がり時の $\text{VIN}_{\text{OFF}}$ )より低くなり、 $\text{RUN}$ ピンをローにする刺激を外部から受けると、NVMからRAMへの初期化データのダウンロード中に、 $\text{MFR\_RESTART\_DELAY}_n$ によって規定されている最小時間の間、 $\text{RUN}_n$ ピンをロジック・ローにします。 $\text{RUN}_n$ ピンおよび $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンをそれぞれバスを介してLTM4686姉妹モジュールと接続すると、協調した電源の投入/遮断をうまく調整できます。言い換えると、電源のオンとオフを一元化方式で実行できます。

$\text{RUN}_n$ の電圧が1.35Vを超えると、LTM4686は最初に、 $\text{TON\_DELAY}_n$ レジスタで規定されている時間だけアイドル状態になります。 $\text{TON\_DELAY}_n$ の時間が経過した後、モジュールは各制御ループの内部リファレンスを0Vから立ち上げ始めます。 $\text{VOUT}_n$ がプリバイアスされた状態ではない場合、出力電圧は0Vからコマンド指定の目標電圧まで、 $\text{TON\_RISE}_n$ レジスタで規定された立上がり時間で直線的に増加します。 $\text{VOUT}_n$ がプリバイアスされた状態である場合、出力電圧は前述した方法と同じ方法でレギュレーション状態になります。ただし、インダクタ電流が負にならないようにしていることを除きます(起動時はモジュールのコントローラが不連続モードで動作します)。どちらの場合も、 $\text{RUN}_n$ がハイに切り替わるタイミングを基準にして測定すると、出力電圧は

一定の時間内にレギュレーション状態に達します。代表的な性能特性のセクションの起動時のオシロスコープ波形を参照してください。

$\text{RUN}_n$ ピンの電圧を0.8Vより低くすると、DC/DCコンバータはオフします。言い換えると、各レギュレータは強制的にシャットダウン状態になります。出荷時のデフォルトNVM設定では、LTM4686はそのパワー段のMOSFETを即座にオフするよう設定されているので、高インピーダンスになります。その後、出力電圧は、接続されている出力容量と負荷のインピーダンスに従って減衰します。あるいは、NVM/レジスタの設定により、 $\text{RUN}_n$ がロジック・ローになったら、規定の $\text{TOFF\_DELAY}_n$ 遅延時間や $\text{TOFF\_FALL}_n$ 立下がり時間に従って、 $\text{VOUT}_n$ を能動的に放電するようLTM4686を設定することもできます。詳細については、アプリケーション情報のセクションを参照してください。LTM4686は、明示的なアナログTRACKピンを備えていません。レールtoレールのトラッキングとシーケンス制御は、前述したようにデジタル式に処理されます。

全てのLTM4686のオープンドレインの $\text{SHARE\_CLK}$ ピンをバスに接続して、 $\text{V}_{\text{DD}33}$ との間にプルアップ抵抗を接続すると、システム内にある全てのLTM4686に、そのタイムベース(すなわち、「ハートビート」)を最高速の $\text{SHARE\_CLK}$ クロックに同期する手段が与えられます。全てのLTM4686間でハートビートを共有すると、全てのレールが期待どおりにシーケンス制御されるようになります。すなわち、ハートビートがないと $\text{SHARE\_CLK}$ (タイムベース)の許容誤差とデバイス間のばらつきによって発生する可能性があるタイミング誤差が、ハートビートによって打ち消されます。

電流検出情報はLTM4686の内部にあるパワー・インダクタの両端から得られ、内部制御ICの電流制御ループおよびADCセンサーで利用できるようになります。出力電流の読出し遠隔測定データは、 $\text{I}^2\text{C}$ ( $\text{READ\_IOUT}_n$ レジスタ)を介して入手できます。ピーク出力電流の読出し遠隔測定データは、 $\text{MFR\_READ\_IOUT\_PEAK}_n$ レジスタで入手できます。

出力電力の読出し値は、LTM4686により、次式に従って計算されます。

$$\text{READ\_POUT}_n = \text{READ\_VOUT}_n \cdot \text{READ\_IOUT}_n$$

2 $\mu\text{A}$ および30 $\mu\text{A}$ の交流励起電流が $\text{TSNS}_{1a}$ ピンから供給されます。 $\text{TSNS}_{1a}$ と $\text{TSNS}_{1b}$ を接続すると、チャンネル1のパワー段の温度検出がLTM4686によって実現され、 $\text{TSNS}_{1b}$ ピンの内部に存在するPNPトランジスタ温度センサーに現

## 動作

れる電圧がデジタル化されます。同様の動作がTSNS<sub>0</sub>ノードで行われ、このノードからチャンネル0のパワー段温度が得られます。LTM4686は、業界でデルタVBE ( $\Delta V_{BE}$ ) 計算として知られる計算を実行して、チャンネルの(パワー段)温度の遠隔測定値をI<sup>2</sup>Cを介して読み出すことができます(READ\_TEMPERATURE\_1<sub>n</sub>)。また、LTM4686内部にある制御ICのジャンクション温度もI<sup>2</sup>Cを介して読み出すことができます(READ\_TEMPERATURE\_2)。観測されたチャンネル温度のピーク値は、レジスタREAD\_MFR\_TEMPERATURE\_1\_PEAK<sub>n</sub>で読み出すことができます。観測された制御ICの温度のピーク値は、レジスタMFR\_READ\_TEMPERATURE\_2\_PEAKで読み出すことができます。

負荷電流が固定の場合、電流検出情報の振幅は、銅(インダクタのDCR)の温度係数(約3900ppm/°C)が原因で温度に応じて変化します。このことから、LTM4686の温度読出し情報と電流知覚検出信号を併用して温度補正された電流読出しデータを得ない場合は、モジュールの動作温度範囲にわたってかなり大きな電流読出し誤差が生じます。

必要な場合は、TSNS<sub>0</sub>ピンによって得られる温度読出し情報のみを使用して、チャンネル0および1の両方の温度補正電流読出しデータを出力できます。こうすれば、チャンネル1の温度センサーは、LTM4686外部の温度センサーをモニタすることから解放されます。このためには、MFR\_PWM\_MODE0[4] = 1<sub>b</sub>を設定します(NVMの出荷時デフォルト値は0<sub>b</sub>です)。こうすると、チャンネル1の電流読出し精度は低下します。チャンネル0とチャンネル1が並列接続出力ではない場合は、更に低下します。ただし、TSNS<sub>1a</sub>ピンはダイオード接続の外付け小信号PNPトランジスタ(2N3906など)と10nFのX7Rコンデンサ、つまり外部温度センサーを接続できるように、その温度読出しデータとピーク値はI<sup>2</sup>Cを介して読み出すことができます(READ\_TEMPERATURE\_1<sub>1</sub>、MFR\_READ\_TEMPERATURE\_1\_PEAK<sub>1</sub>)。前述した回路の実装は次のとおりです。(1) LTM4686の近くで、10nFのX7Rコンデンサ1個をTSNS<sub>1a</sub>とSGNDの間に直接、電氣的に接続します。(2) LTM4686のTSNS<sub>1a</sub>ピンおよびSGNDピンから目的のPNPトランジスタまで1対のパターンを差動で配線します。(3) PNPトランジスタのエミッタとTSNS<sub>1a</sub>を電氣的に接続します。(4) PNPトランジスタのコレクタとベースをSGNDに電氣的に接続します。

パワー段のデューティ・サイクル読出し遠隔測定データは、I<sup>2</sup>C (READ\_DUTY\_CYCLE<sub>n</sub>レジスタ)を介して入手できます。チャンネル入力電流の読出し計算値は、LTM4686によって次式のように計算されます。

$$MFR\_READ\_IIN_n = READ\_DUTY\_CYCLE_n \cdot READ\_IOUT_n + MFR\_IIN\_OFFSET_n$$

モジュール入力電流の読出し計算値は、LTM4686によって次式のように計算されます。

$$READ\_IIN = MFR\_READ\_IIN_0 + MFR\_READ\_IIN_1$$

ここで、MFR\_IIN\_OFFSET<sub>n</sub>はSV<sub>IN</sub>の入力バイアス電流を表すレジスタ値です。SV<sub>IN</sub>の電流はモジュールによってデジタル化されません。MFR\_IIN\_OFFSET<sub>n</sub>のNVM出荷時デフォルト値は29.56mAであり、出荷時のデフォルトのスイッチング周波数である500kHzのときにパワー段が強制連続モードで動作する場合、この電流値はSV<sub>IN</sub>ピンにおいてモジュールの各チャンネルによって流れる電流の寄与分を表しています。推奨のMFR\_IIN\_OFFSET<sub>n</sub>設定とスイッチング周波数については、アプリケーション情報のセクションに記載されている表8を参照してください。前述した入力電流の計算方法により、負荷電流が軽い場合でも正確な電流読出し値が得られますが、それはモジュールが強制連続動作に合わせて設定されている場合に限定されます(NVMの出荷時デフォルト設定)。SV<sub>IN</sub>とSV<sub>IN</sub>の読出し遠隔測定ピーク値には、それぞれREAD\_VINレジスタおよびMFR\_VIN\_PEAKレジスタで、I<sup>2</sup>Cを介してアクセスできます。

パワー段のスイッチ・ノードはSW<sub>n</sub>ピンから取り出されます。その目的は、機能動作をモニタリングすることや、オプションで抵抗とコンデンサのスナバ回路(GNDに終端)を取り付けてEMIの低減に対応することです。

LTM4686は書込み保護(WP)ピンを備えています。WPがオープン・サーキットまたはロジック・ハイの場合は、I<sup>2</sup>Cによる書込みが厳しく制限されます。PAGE、OPERATION、CLEAR\_FAULTS、MFR\_CLEAR\_PEAKS、およびMFR\_EE\_UNLOCKコマンドに対するI<sup>2</sup>Cによる書込みだけがサポートされます。例外として、個々の障害ビットは、STATUS\_\*レジスタのそれぞれのビットに「1<sub>b</sub>」を書き込むことによってクリアできます。レジスタの読出しが制限されることはありません。WPピンと混同しないように、LTM4686はWRITE\_PROTECTレジスタを備えており、I<sup>2</sup>Cによるレジ

## 動作

スタ内容への書き込みを制限する目的でも使用されます。詳細については、付録C：PMBus コマンドの詳細を参照してください。WPピンとWRITE\_PROTECTレジスタは、RAMやEEPROMの内容の偶発的な変更に対して一定のレベルで保護します。

LTM4686は、7ビットのスレーブ・アドレスを全てサポートしています。NVMの出荷時のデフォルトのスレーブ・アドレスは0x4Fです。ASELピンとSGNDの間に抵抗を接続することにより、LTM4686のスレーブ・アドレスの下位4ビットをこのデフォルト値から変更できます。詳細については、アプリケーション情報のセクションの表5を参照してください。ビット[6:4]はSLAVE\_ADDRESSコマンドに書き込むことによって変更できます。SLAVE\_ADDRESSコマンドの値はNVMに格納できますが、SLAVE\_ADDRESSの下位4ビットは、常にASEL抵抗ピンストラップ設定によって規定されます。

最大4つのLTM4686モジュール(8チャンネル)を並列接続できるので、CPUやGPUなど、80A程度の負荷に電力を供給するのに適しています(図31参照)。LTM4686は、同様にLTM4650やその他のモジュールと並列接続できます(図32および図33参照)。

## EEPROM

LTM4686の制御ICは、構成設定と障害ログ情報を格納するため、誤り訂正符号化(ECC)機能を備えたEEPROM(不揮発性メモリ、NVM)を内蔵しています。EEPROMの書換え回数、データ保持期間、一括書き込み動作時間は、電気的特性と絶対最大定格のセクションに規定されています。 $T_J < 0^\circ\text{C}$ または $T_J > 85^\circ\text{C}$ での書き込み動作は可能ですが、電気的特性は確保されておらず、EEPROMのデータ保持特性は低下することがあります。読出し動作を $-40^\circ\text{C}$ ~ $125^\circ\text{C}$ のジャンクション温度範囲内で行えば、EEPROM特性は低下しません。障害ログ機能は、高温で発生する場合があるシステム問題のデバッグに役立ちますが、書き込み先が障害ログ固有のEEPROM領域(区画)に限定されます。これらのレジスタへの不定期の書き込みが $85^\circ\text{C}$ より高いジャンクション温度で行われた場合、障害ログのデータ保持特性はわずかに低下しますが、それによってこの機能の有用性が揺らぐことはありません。

制御ICのダイ温度が $85^\circ\text{C}$ より高い場合は、EEPROMに書き込まないことを推奨します。ダイ温度が $130^\circ\text{C}$ を超えると、

LTM4686の制御ICは全てのEEPROM書き込み動作を停止します。ダイの温度が $125^\circ\text{C}$ より低くなると、その後、EEPROMの書き込み動作は再度可能になります。

$125^\circ\text{C}$ を超える温度でのEEPROMのデータ保持特性の劣化は、次式を使用して無次元の加速係数を計算することによって概算できます。

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

ここで、

AF = 加速係数

$E_a$  = 活性化エネルギー =  $1.4\text{eV}$

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

$T_{USE}$  =  $125^\circ\text{C}$ の規定ジャンクション温度

$T_{STRESS}$  = 実際のジャンクション温度( $^\circ\text{C}$ )

例: $135^\circ\text{C}$ のジャンクション温度で10時間動作させた場合のデータ保持期間への影響を計算します。

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

$T_{USE} = 125^\circ\text{C}$

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

$125^\circ\text{C}$ での等価動作時間 = 16.6時間。

したがって、EEPROMの全データ保持期間は、 $130^\circ\text{C}$ のジャンクション温度で10時間動作させた場合、6.6時間劣化したこととなります。ただし、EEPROMのデータ保持期間定格は全体として $125^\circ\text{C}$ の最大ジャンクション温度で87,600時間であり、この値と比較すると、オーバーストレスの影響は無視できます。

EEPROMの完全性は、パワーオン・リセット、RESTORE\_USER\_ALLコマンド、MFR\_RESETコマンドの実行後など、データを読み出すたびにCRC計算によって検査されます。CRCエラーが発生すると、STATUS\_BYTEコマンドとSTATUS\_WORDコマンドでMFRビットが設定されます。STATUS\_MFR\_SPECIFICコマンドのNVM CRCエラー・ビットが設定され、ALERTピンとRUNピンがローになって、安全対策として出力がデイスエーブルされます。デバイスが応答するのは特殊アドレスの0x7Cまたはグローバル・アドレスの0x5Aおよび0x5Bの場合だけです。

## 動作

### CRC保護機能とECC機能を備えた内蔵EEPROM

LTM4686は、構成設定と障害ログ情報を格納するため、誤り訂正符号化(ECC)機能を備えたEEPROMを内蔵しています。ユーザ空間と障害ログ・ページを対象とするEEPROMの書換え回数とデータ保持期間は、絶対最大定格と電気的特性の表に仕様が規定されています。

EEPROMメモリの完全性は、パワーオン・リセット後など、データを読み出すたびにCRC計算によって検査されます。CRCエラーがあると、コントローラはオフ状態から抜けられなくなります。CRCエラーが発生すると、STATUS\_BYTEコマンドとSTATUS\_WORDコマンドのCMLビットが設定され、STATUS\_MFR\_SPECIFICコマンドの該当ビットが設定されて、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンとRUNピンがローになります。その時点で、デバイスは特殊アドレス0x7Cの場合に応答ようになります。このアドレスが動作状態になるのは、無効なCRCが検出された後だけです。モジュールはグローバル・アドレス0x5Aおよび0x5Bにも応答しますが、アナログ・デバイセズの全てのPSMモジュールおよびICはこれらのアドレスに応答するので、グローバル・アドレスを使用する場合には注意する必要があります。コントローラに対する目的の設定を書き込み、STORE\_USER\_ALLコマンドを実行してからCLEAR\_FAULTSコマンドを実行することで、EEPROMの修復を試みることができます。EEPROMの修復がうまくいかない場合は、弊社にお問い合わせください。

バルクEEPROMのプログラミングなど、LTM4686もサポートしているEEPROMの効率的なシステム内プログラミングの詳細については、アプリケーション情報のセクションおよびアプリケーション・ノート145を参照するか、弊社にお問い合わせください。

### シリアル・インターフェース

LTM4686のシリアル・インターフェースはPMBus準拠のスレーブ・デバイスであり、10kHz~400kHzの間の任意の周波数で動作できます。アドレスはEEPROMまたは外付け抵抗分圧器のいずれかを使用して設定可能です。更に、LTM4686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)に必ず応答します。アドレス0x5Aはページ指定されず、両方のチャンネルで実行されます。0x5BはPAGEコマンドに従います。アドレス0x5AはPAGEをサポートしないので、どのページ指定読出しコマンドにも使用できません。

シリアル・インターフェースは、PMBus仕様に規定された、以下のプロトコルをサポートします。1)コマンド送信、2)バイト書き込み、3)ワード書き込み、4)グループ、5)バイト読出し、6)ワード読出し、7)ブロック読出し、8)PAGE\_PLUS\_READ、

9)PAGE\_PLUS\_WRITE、10)SMBALERT\_MASK読出し、11)SMBALERT\_MASK書き込み。PMBusマスタがPECを要求した場合、全ての読出し動作は有効なPECを返します。MFR\_CONFIG\_ALLコマンドのPEC\_REQUIREDビットを設定した場合は、LTM4686が有効なPECを受け取るまでPMBus書き込み動作は実行されません。

### 通信保護

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

### デバイスのアドレス指定

LTM4686のPMBusインターフェースを介したアドレス指定には、次の4種類が用意されています。1)グローバル、2)デバイス、3)ルールによるアドレス指定および4)アラート応答アドレス(ARA)。

グローバル・アドレス指定は、バス上の全てのLTM4686デバイスのアドレスを指定する手段をPMBusマスタに提供します。LTM4686のグローバル・アドレスは、固定された0x5A(7ビット)または0xB4(8ビット)であり、無効化することはできません。グローバル・アドレスに送信されたコマンドは、PAGEの値を0xFFに設定した場合と同じ動作になります。送信されたコマンドは、両方のチャンネルに同時に書き込まれます。グローバル・コマンド0x5B(7ビット)または0xB6(8ビット)はページ指定され、バス上にある全てのLTM4686デバイスのチャンネル固有のコマンドが可能です。アナログ・デバイセズの他のデバイス・タイプは、これらのグローバル・アドレスの一方または両方に応答できます。このため、グローバル・アドレスからは読み出さないでください。

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

デバイスのアドレス指定は、PMBusマスタがLTM4686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設定ピンとMFR\_ADDRESSコマ

## 動作

ンドの組み合わせによって設定します。このアドレス指定方法を使用した場合は、作用を受けるチャンネルがPAGEコマンドによって決まります。デバイスのアドレス指定は、MFR\_ADDRESSに0x80という値を書き込むと無効になります。

以上の4つのPMBusアドレス指定方法は、いずれも整然とした計画に基づいて適用し、アドレスの競合を防ぐ必要があります。グローバル・アドレスとレール・アドレスでのLTM4686デバイスへの通信は、書込み動作を実行するコマンドに限定してください。

## 障害の検出と処理

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

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

更に、LTM4686は、 $\overline{\text{GPIO}}_n$ 応答の伝搬コマンドであるMFR\_GPIO\_PROPAGATE<sub>n</sub>を使用して、障害インジケータの任意の組み合わせをそれぞれの $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンに対応付けることができます。 $\overline{\text{GPIO}}$ ピンは、外部クローバ・デバイスのドライバ、過熱アラート、過電圧アラートとして使用するか、マイクロコントローラが障害コマンドに対してポーリングを開始する引き金となる割り込みとして使用するのが一般的です。あるいは、即時の応答が要求されるコントローラの下流で外部障害を検出する入力として $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンを使用することもできます。また、 $\overline{\text{GPIO}}_0$ ピンと $\overline{\text{GPIO}}_1$ ピンは、パワーグッド出力としても設定できます。パワーグッドは、コントローラ出力がOV/UV障害閾値の範囲内にあることを示します。電源投入時に、このピンは当初スリーステートになります。この構成で電源投入時にこのピンを目的の極性にする必要がある場合は、伝搬されたパワーグッド信号のRUNピンと $\overline{\text{GPIO}}$ ピンの間にショットキー・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 $\overline{\text{GPIO}}$ ピンに接続する必要があります(図2参照)。 $\overline{\text{GPIO}}$ ピンをパワーグッド・ステータスに設定する場合は、MFR\_GPIO\_RESPONSEを無視する必要があります。さもなければ、ラッチオフ状態が生じます。

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

障害や警告の事象が発生すると、 $\overline{\text{ALERT}}$ がSMBALERT\_MASKコマンドによってマスクされない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンはローにアサートされます。このピンは、CLEAR\_FAULTSコマンドが発行されるか、障害ビットに1が書き込まれるか、PMBusマスタがデバイスのARAレジスタを正常に読み出すか、バイアス電源が入れ直されるか、MFR\_RESETコマンドまたはRESTORE\_USER\_ALLコマンドが発行されるまで、ローにアサートされたままになります。RUNピンのオフ/オンが切り替えられるか、デバイスのオフ/オンがPMBusを介してコマンドで指定されると、チャンネル固有の障害ビットはクリアされます。MFR\_CONFIG\_ALLのビット0を1に設定している場合は、RUNピンのオフ/オンを切り替えるか、デバイスのオフ/オンをPMBusを介してコマンドで指定すると、全ての障害ビットはクリアされます。MFR\_GPIO\_PROPAGATE<sub>n</sub>コマンドは、障害が検出されたときに $\overline{\text{GPIO}}$ ピンをローにするかどうかを決定します。ただし、障害または警告が検出された場合は、SMBALERT\_MASKコマンドを使用して $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをマスクしない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンは必ずローになり、ステータス・ビットは更新されます。

出力と入力の障害事象処理は、表24～表28に規定されているように、対応する障害応答バイトによって制御されます。これらの種類の障害からのシャットダウン回復は、自律型とラッチ型のいずれかになります。自律型の回復では障害がラッチされないため、再試行間隔の経過後は障害状態が存在しなくなり、新しいソフトスタートが試行されます。障害が解消されない場合、コントローラは再試行を続行します。再試行間隔はMFR\_RETRY\_DELAYコマンドによって規定され、電源の入れ直しを繰り返すことによってレギュレータ部品の損傷を防止します。MFR\_RETRY\_DELAYは120ミリ秒より長くする必要があります。83.88秒を超えることはできません。

チャンネル間の障害依存関係は、 $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンを互いに接続すれば作成できます。内部障害が発生した場合は、バスに接続されている $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンがローになるように1つまたは複数のチャンネルが設定されます。その後、 $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンがローになると、他のチャンネルはシャットダウンするように設定されます。グループの自動再試行では、再試行間隔の経過後、障害発生チャンネルが $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンを解放するよう設定され、元の障害は解消されたものとみなされます。その後、グループ内の全てのチャンネルがソフトスタート・シーケンスを開始します。障害応答がLATCH\_OFFである場合は、RUNピンがオフ/オンに切り替えられるか、デバイスがオフ/オンを

## 動作

コマンドで指定されるまで、 $\overline{\text{GPIO}}_n$  ピンはローにアサートされたままです。RUNピンの切替をピンまたはオフ/オン・コマンドのいずれかで行うと、該当チャンネルに関連した障害は解消されます。いずれかのRUNピンを切り替えるときに、全ての障害を解消しておくことが望まれる場合は、MFR\_CONFIG\_ALLのビット0を1に設定します。

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

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

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

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

I<sub>IN</sub>およびI<sub>OUT</sub>の過電流モニタは、ADCの読出しと計算によって実行します。したがって、これらの値は平均電流に基づいており、最大90ミリ秒の公称遅延時間が生じることがあります。I<sub>OUT</sub>の計算では、パワー・インダクタのDCRとインダクタの銅巻線の温度係数を考慮に入れています。入力電流は、出力電流に各チャンネルのデューティ・サイクルを掛けた値と各チャンネルの入力オフセット電流の和に等しくなります。この入力電流計算値がI<sub>IN\_OC\_WARN\_LIMIT</sub>を超えると、ALERTピンがローになり、STATUS\_INPUTレジスタのI<sub>IN\_OC\_WARN</sub>ビットがアサートされます。

LTM4686は、障害を無視する機能、シャットダウンしてラッチオフする機能、またはシャットダウンして無期限に再試行する機能(ヒカップ)を備えています。再試行間隔はMFR\_RETRY\_DELAY<sub>n</sub>で設定され、120ミリ秒~83.88秒まで1ミリ秒刻みで設定できます。OV/UVおよびOCに応じたシャットダウンは、直ちに実行することも、選択可能なデグリッチ時間の経過後に実行することもできます。

### 出力過電圧障害の応答

プログラム可能な過電圧コンパレータ(OV)は、出力でのトランジェント・オーバーシュートや長時間の過電圧からデバイスを保護します。そのような場合には、PMBus V<sub>OUT\_OV\_FAULT\_RESPONSE<sub>n</sub></sub> コマンドのバイト値に関係なく、過電圧状態が解消されるまで上側MOSFETがオフして、下側MOSFETがオンします。このハードウェア・レベルの障害

応答遅延時間は、過電圧状態からBGがハイにアサートされるまで代表値で2マイクロ秒です。V<sub>OUT\_OV\_FAULT\_RESPONSE<sub>n</sub></sub> コマンドを使用すると、次のいずれかの動作を選択できます。

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

ラッチオフまたは再試行のいずれの障害応答でも、(0~7)・10マイクロ秒刻みでグリッチを除去できます。表24を参照してください。

### 出力低電圧の応答

低電圧コンパレータの出力に対する応答は、以下のいずれかになります。

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

ラッチオフまたは再試行のいずれの障害応答でも、(0~7)・10マイクロ秒刻みでグリッチを除去できます。表25を参照してください。

### ピーク出力過電流障害の応答

電流モード制御アルゴリズムにより、ピーク・インダクタ電流は、常にサイクル単位で制限されます。ピーク電流制限の値は、電気的特性の表で規定されています。電流制限回路は、COMP<sub>na</sub>の最大電圧を制限することによって動作します。DCRの検出を使用するので、COMP<sub>na</sub>の最大電圧には、インダクタのDCRの温度係数に正比例する温度依存性があります。LTM4686はパワー段の温度センサーを自動的にモニタし、COMP<sub>na</sub>の許容最大電圧を変更してこの項を補償します。

過電流障害処理回路は以下の動作を実行できます。

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

過電流応答のグリッチは(0~7)・16ミリ秒刻みで除去できます。表26を参照してください。

## 動作

### タイミング障害に対する応答

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

- 無視
- 即座にシャットダウン(スイッチング停止)-ラッチオフ
- 即座にシャットダウン-MFR\_RETRY\_DELAY<sub>n</sub>で指定した時間間隔を使用して無期限に再試行

この障害応答のグリッチは除去されません。TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT<sub>n</sub>の値が0の場合は、障害が無視されることを意味します。TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT<sub>n</sub>は、TON\_RISE<sub>n</sub>の時間より長い値に設定します。TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT<sub>n</sub>は常に0以外の値に設定することを推奨します。さもないと、出力電圧が上昇しない場合があり、何のラグも設定されなくなります。

表28を参照してください。

### SV<sub>IN</sub>のOV障害に対する応答

SV<sub>IN</sub>の過電圧はADCを使用して測定します。したがって、応答のグリッチはADCの代表的な応答時間である90ミリ秒までに自然に除去されます。障害の応答は以下のとおりです。

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

表28を参照してください。

### OT/UT障害に対する応答

#### 内部過熱障害/警告の応答

内部温度センサーはEEPROMを損傷から保護します。85°Cより高い場合、EEPROMへの書込みは推奨しません。130°Cより高い場合は、内部過熱警告閾値を超えるので、デバイスにはEEPROMへの書込みを無効化して、温度が125°Cに低下するまで再有効化しません。ダイ温度が160°Cを超えると、内部の温度障害応答が有効になり、ダイ温度が150°C未満に低下するまでPWMは無効になります。温度はADCにより測定されます。内部温度障害は無視できません。内部温度リミットは調整できません。

表27を参照してください。

#### 外部過熱障害および低温障害の応答

LTM4686内部の2つの温度センサーは、パワー段の温度を検出するために使用します。OT\_FAULT\_RESPONSE<sub>n</sub> コマンドおよびUT\_FAULT\_RESPONSE<sub>n</sub> コマンドを使用して、それぞれ過熱状態および低温状態に対する適切な応答を決定します。

障害の応答は以下のとおりです。

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

表28を参照してください。

### 外部障害に対する反応

いずれかのGPIO<sub>n</sub>ピンがローになると、STATUS\_WORD コマンドのOTHERビットが設定され、STATUS\_MFR\_SPECIFIC コマンドの該当ビットが設定されて、ALERTピンはローになります。応答のグリッチは除去されません。各チャンネルは、MFR\_GPIO\_RESPONSE<sub>n</sub> コマンドを変更することにより、GPIO<sub>n</sub>ピンがローになるのに応じて、無視するか、シャットダウンしてから再試行するように設定できます。GPIO<sub>n</sub>がローになったときにALERTピンがローにアサートされないようにするには、MFR\_CHAN\_CONFIG<sub>n</sub>のビット1をアサートするか、SMBALERT\_MASKコマンドを使用してALERTをマスクします。

## 動作

### 障害ログ

LTM4686は障害ログ機能を備えています。データは表30に示す順にメモリに記録されます。障害ログに格納されるデータは、内部の揮発性メモリに絶えず格納されます。障害が発生すると、内部の揮発性メモリへの記録が停止し、MFR\_FAULT\_LOGコマンドによって障害ログ情報が得られ、内部メモリの内容がEEPROMにコピーされます。障害ログは85°Cより高い温度でも可能ですが、10年のデータ保持期間は確保されません。ダイ温度が130°Cを超えると、障害ログは遅延し、ダイ温度が125°C未満に低下するまで遅延したままです。障害ログを引き起こした障害が取り除かれたら、障害ログのデータが消去される前に障害(ビット)をクリアします。そうしないと、デバイスは直ちに別の障害ログを発行します。

LTM4686は、起動するとEEPROMを検査して有効な障害ログの有無を確認します。EEPROMに有効な障害ログが存在する場合は、STATUS\_MFR\_SPECIFICコマンドの「Valid Fault Log」ビットが設定され、ALERTイベントが生成されます。また、LTM4686がMFR\_FAULT\_LOG\_CLEARコマンドを受け取るまで障害ログは遮断されるので、障害ログが再度有効になるのはその後です。

いずれかのチャンネルのコントローラをディスエーブルする障害が発生すると、情報はEEPROMに格納されます。外部の $\overline{\text{GPIO}}_n$ をローにした場合、障害ログは作動しません。

### バスのタイムアウト保護

シリアル・インターフェースのハングアップを防ぐために、LTM4686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・タイマーはデバイス・アドレス書込みバイトの前の最初のSTARTイベントによって起動されます。データ・パケット情報は25ミリ秒以内に完了する必要があります。この時間を超過すると、LTM4686はバスをスリーステートにして、与えられたデータ・パケットを無視します。時間を長くすることが必要な場合は、MFR\_CONFIG\_ALLのビット3をアサートして、代表的なバスのタイムアウトである255ミリ秒を可能にします。データ・パケットの情報には、デバイス・アドレスのバイト書込み、コマンド・バイト、反復スタート・イベント(読出し動作の場合)、デバイス・アドレスのバイト読出し(読出し動作の場合)、全てのデータ・バイト、およびPECバイト(該当する場合)が含まれます。

LTM4686では、ブロック読出しデータ・パケットに対してPMBusタイムアウトを長くすることができます。このタイムアウトはブロック読出しの長さに比例します。ブロック読出しの追加のタイムアウトは、主にMFR\_FAULT\_LOGコマンドに適用します。タイムアウトの時間が $t_{\text{TIMEOUT\_SMB}}$ の仕様である32ミリ秒(代表値)より短くなることはありません。

シリアル・バス・インターフェースを共有する全てのデバイス間の効率的なデータ・パケット伝送を維持するために、できるだけ速いクロック・レートを使用することを推奨します。LTM4686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 コマンドの概要

### PMBus コマンド

表1は、サポートされているPMBus コマンドとメーカー固有のコマンドの一覧です。これらのコマンドの詳細な説明は、『PMBus Power System Management Protocol Specification – Part II – Revision 1.2』に記載されています。この仕様を参照することを推奨します。例外またはメーカー固有の実装形態を表1に示します。

この表に記載されていない0xD0~0xFFの全コマンドは、メーカーによって暗に予備とされています。この範囲内のコマンドを不用意に書き込まないようにして、デバイスの望ましくない動作を回避する必要があります。この表に記載されていない0x00~0xCFの全コマンドは、メーカーによって暗にサポート対象外にされています。サポート対象外のコマンドまたは予備のコマンドにアクセスしようとすると、CML コマンド障害が発生する可能性があります。

出力電圧の全ての設定値および測定値は、VOUT\_MODE 設定値0x14に基づいています。これは、言い換えると指数の2-12になります。

PMBus コマンドの受信速度が処理速度を超えると、デバイスはビジー状態となり、コマンドを新たに処理できなくなる場合があります。このような状況では、デバイスは『PMBus Specification v1.2, Part II, Section 10.8.7』に規定されているプロトコルに従って、ビジーであることを通知します。

デバイスは、ビジー・エラーをなくして、エラー処理ソフトウェアを簡素化しつつ、堅牢な通信とシステム動作を確保するハンドシェイク機能を備えています。詳細については、アプリケーション情報のセクションに記載されているPMBus 通信とコマンド処理のサブセクションを参照してください。

表1. サポート対象コマンドの要約

PMBus コマンド名 または機能	コマンド・ コード (レジスタ)	コマンドまたは機能の説明	LTM4686 の NVM 出荷時デフォルト値あるいは属性	ページ
PAGE	0x00	現在ページ指定通信の対象になっているチャンネルまたはページ。	0x00、読み出し/書き込み、非ページ指定、NVM には格納しません。	83
OPERATION <sub>n</sub>	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	0x80、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能なNVM に格納します。	87
ON_OFF_CONFIG <sub>n</sub>	0x02	RUN <sub>n</sub> ピンとオン/オフの設定	0x1F、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能なNVM に格納します。	86
CLEAR_FAULTS	0x03	設定されている全ての障害ビットをクリアします。	デフォルト値は適用されず、バイト送信専用、非ページ指定、NVM には格納しません。	110
PAGE_PLUS_WRITE	0x05	指定されたページにコマンドを直接書き込みます。	デフォルト値は適用されず、書き込み専用、非ページ指定、NVM には格納しません。	83
PAGE_PLUS_READ	0x06	指定されたページからコマンドを直接読み出します。	デフォルト値は適用されず、読み出し/書き込み、非ページ指定、NVM には格納しません。	84
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	0x00、読み出し/書き込み、非ページ指定、編集可能なNVM に格納します。	84
STORE_USER_ALL	0x15	動作メモリをEEPROM (編集可能なNVM) に格納します。	デフォルト値は適用されず、バイト送信専用、非ページ指定、NVM には格納しません。	121
RESTORE_USER_ALL	0x16	動作メモリをEEPROM から再生します。	デフォルト値は適用されず、バイト送信専用、非ページ指定、NVM には格納しません。 MFR_RESET コマンド (0xFD) と同一	122
CAPABILITY	0x19	このデバイスによってサポートされているPMBus オプション通信プロトコルの要約	0xB0、読み出し専用、非ページ指定、NVM には格納しません。	109
SMBALERT_MASK <sub>n</sub>	0x1B	ALERTの動作をマスクします。	マスクのデフォルト値: STATUS_VOUT <sub>n</sub> =0x00、STATUS_IOUT <sub>n</sub> =0x00、STATUS_INPUT=0x00、STATUS_TEMPERATURE <sub>n</sub> =0x00、STATUS_CML=0x00、STATUS_MFR_SPECIFIC <sub>n</sub> =0x11。 読み出し/書き込み、指示どおりにページ指定、合計10バイト、NVM に格納します。	111
VOUT_MODE <sub>n</sub>	0x20	出力電圧のフォーマット/指数	0x14 (2 <sup>-12</sup> )、読み出し専用、ページ指定、NVM には格納しません。	91
VOUT_COMMAND <sub>n</sub>	0x21	公称の出力電圧設定値	0x1333 (1.200V)、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能なNVM に格納します。	92

## PMBus コマンドの概要

表 1. サポート対象コマンドの要約

PMBus コマンド名 または機能	コマンド・ コード (レジスタ)	コマンドまたは機能の説明	LTM4686 の NVM 出荷時デフォルト値あるいは属性	ページ
VOUT_MAX <sub>n</sub>	0x24	コマンド指定可能な出力電圧の上限	0x3A14 (3.630V)、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	91
VOUT_MARGIN_HIGH <sub>n</sub>	0x25	マージン・ハイの出力電圧設定値 VOUT_COMMAND <sub>n</sub> より大きくする必要があります。	0x1429 (1.260V)、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	92
VOUT_MARGIN_LOW <sub>n</sub>	0x26	マージン・ローの出力電圧設定値 VOUT_COMMAND <sub>n</sub> より小さくする必要があります。	0x123D (1.140V)、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	93
VOUT_TRANSITION_RATE <sub>n</sub>	0x27	VOUT <sub>n</sub> の値を I <sup>2</sup> C を介してコマンドで更新したときに出力電圧が変化するレート。	0x8B33 (25mV/ms)、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	98
FREQUENCY_SWITCH	0x33	スイッチング周波数の設定	0xFBE8 (500kHz)、読み出し/書き込み、非ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	90
VIN_ON	0x35	低電圧ロックアウト (UVLO) の立上がり時間値	LTM4686: 0xCAC0 (5.500V) LTM4686-1: 0xCA20 (4.250V) SV <sub>IN</sub> ピンでモニタした電圧、読み出し/書き込み、非ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	91
VIN_OFF	0x36	低電圧ロックアウト (UVLO) の立下がり時間値	LTM4686: 0xCAA0 (5.250V) LTM4686-1: 0xCA00 (4.000V) SV <sub>IN</sub> ピンでモニタした電圧、読み出し/書き込み、非ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	91
IOUT_CAL_GAIN <sub>n</sub>	0x38	制御 IC の電流検出ピンでの電圧と検出した電流との比 (単位: mΩ, 25°C)	ATE で調整、読み出し/書き込み、ページ指定、出荷時限定の NVM に格納します。このレジスタへの書き込みは推奨しません。	94
VOUT_OV_FAULT_LIMIT <sub>n</sub>	0x40	出力過電圧障害のリミット	0x151E (1.320V)、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	92
VOUT_OV_FAULT_RESPONSE <sub>n</sub>	0x41	出力過電圧障害が検出されたときのデバイスの動作	0x80 (即時オフ、再試行なし)、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	101
VOUT_OV_WARN_LIMIT <sub>n</sub>	0x42	出力過電圧警告の閾値	0x14A4 (1.290V)、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	92
VOUT_UV_WARN_LIMIT <sub>n</sub>	0x43	出力低電圧警告の閾値	0x11C2 (1.110V)、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	93
VOUT_UV_FAULT_LIMIT <sub>n</sub>	0x44	出力低電圧障害のリミット	0x1148 (1.080V)、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	93
VOUT_UV_FAULT_RESPONSE <sub>n</sub>	0x45	出力低電圧障害が検出されたときのデバイスの動作	0xB8 (非ラッチ・シャットダウン、障害解消時に自律再起動)、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	102
IOUT_OC_FAULT_LIMIT <sub>n</sub>	0x46	出力過電流障害の閾値 (サイクル単位のインダクタ・ピーク電流)	0xDA5A (18.81A)、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	95
IOUT_OC_FAULT_RESPONSE <sub>n</sub>	0x47	出力過電流障害が検出されたときのデバイスの動作	0x00 (障害状態の間ずっと安定化しようとする、インダクタ電流のサイクル単位のピークを制限して、コマンドで指定された IOUT_OC_FAULT_LIMIT を超えないようにする)、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	104
IOUT_OC_WARN_LIMIT <sub>n</sub>	0x4A	出力過電流警告の閾値 (インダクタ電流の時間平均値)	0xD39A (14.41A)、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	96
OT_FAULT_LIMIT <sub>n</sub>	0x4F	過熱障害の閾値	0xF200 (128°C)、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	97

## PMBus コマンドの概要

表 1. サポート対象コマンドの要約

PMBus コマンド名 または機能	コマンド・ コード (レジスタ)	コマンドまたは機能の説明	LTM4686 の NVM 出荷時デフォルト値あるいは属性	ページ
OT_FAULT_RESPONSE <sub>n</sub>	0x50	TSNS <sub>na</sub> を介して過熱障害が検出されたときのデバイスの動作	0x80 (即時オフ、再試行なし)、読出し/書込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	106
OT_WARN_LIMIT <sub>n</sub>	0x51	過熱警告の閾値	0xE8E8 (125°C)、読出し/書込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	97
UT_FAULT_LIMIT <sub>n</sub>	0x53	低温障害の閾値	0xE530 (-45°C)、読出し/書込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	97
UT_FAULT_RESPONSE <sub>n</sub>	0x54	低温障害事象に対する応答	0x80 (即時オフ、再試行なし)、読出し/書込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	106
VIN_OV_FAULT_LIMIT	0x55	入力電源 (SV <sub>IN</sub> ) の過電圧障害のリミット	0xDA2E (17.44V)、読出し/書込み、非ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	90
VIN_OV_FAULT_RESPONSE <sub>n</sub>	0x56	入力過電圧障害事象に対する応答	0x80 (即時オフ、再試行なし)、読出し/書込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	100
VIN_UV_WARN_LIMIT	0x58	入力低電圧警告の閾値	LTM4686: 0xCAA6 (5.297V) LTM4686-1: 0xCA0C (4.094V) SV <sub>IN</sub> ピンで測定した電圧、読出し/書込み、非ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	90
IIN_OC_WARN_LIMIT	0x5D	入力電源の過電流警告の閾値	0xD220 (8.5A)、読出し/書込み、非ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	94
TON_DELAY <sub>n</sub>	0x60	RUN <sub>n</sub> または OPERATION <sub>n</sub> (あるいはその両方) でのオンの指示から出力レールがオンするまでの時間。	0x0000 (0ms)、読出し/書込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	98
TON_RISE <sub>n</sub>	0x61	出力電圧リファレンスが上昇し始めてからコマンド設定値に達するまでの時間	0xC200 (2ms)、読出し/書込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	98
TON_MAX_FAULT_LIMIT <sub>n</sub>	0x62	ターンオン・ウォッチドッグ・タイムアウト障害の閾値 (ターンオン・コマンドを受け取ってから VOUT <sub>n</sub> が VOUT_UV_FAULT_LIMIT <sub>n</sub> に達するか超えるまでに許容される時間)	0xD280 (10ms)、読出し/書込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	98
TON_MAX_FAULT_RESPONSE <sub>n</sub>	0x63	TON_MAX_FAULT <sub>n</sub> イベントが検出されたときのデバイスの動作	0xB8 (非ラッチ・シャットダウン、障害解消時に自律再起動)、読出し/書込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	103
TOFF_DELAY <sub>n</sub>	0x64	RUN または OPERATION のオフから TOFF_FALL <sub>n</sub> ランプの開始までの時間	0x0000 (0ms)、読出し/書込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	99
TOFF_FALL <sub>n</sub>	0x65	出力電圧リファレンスが下降し始めてから 0V に達するまでの時間	0xC280 (2.5ms)、読出し/書込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	99
TOFF_MAX_WARN_LIMIT <sub>n</sub>	0x66	ターンオフ・ウォッチドッグ・タイムアウト障害の閾値 (ターンオフ・コマンドを受け取ってから VOUT <sub>n</sub> が VOUT <sub>n</sub> のコマンド指定値の 12.5% 以下に減衰するまでに許容される時間)	0xF320 (200ms)、読出し/書込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	99
STATUS_BYTE <sub>n</sub>	0x78	デバイスの障害状態の 1 バイトの要約	デフォルト値は適用されず、読出し/書込み、ページ指定、NVM に格納しません。	112
STATUS_WORD <sub>n</sub>	0x79	デバイスの障害状態の 2 バイトの要約	デフォルト値は適用されず、読出し/書込み、ページ指定、NVM に格納しません。	112

## PMBus コマンドの概要

表 1. サポート対象コマンドの要約

PMBus コマンド名 または機能	コマンド・ コード (レジスタ)	コマンドまたは機能の説明	LTM4686 の NVM 出荷時デフォルト値あるいは属性	ページ
STATUS_VOUT <sub>n</sub>	0x7A	出力電圧の障害および警告のステータス	デフォルト値は適用されず、読み出し/書き込み、ページ指定、NVM には格納しません。	113
STATUS_IOUT <sub>n</sub>	0x7B	出力電流の障害および警告のステータス	デフォルト値は適用されず、読み出し/書き込み、ページ指定、NVM には格納しません。	113
STATUS_INPUT	0x7C	入力電源 (SV <sub>IN</sub> ) の障害および警告のステータス	デフォルト値は適用されず、読み出し/書き込み、非ページ指定、NVM には格納しません。	113
STATUS_TEMPERATURE <sub>n</sub>	0x7D	READ_TEMPERATURE_1 <sub>n</sub> を対象として TSNS <sub>na</sub> で検出された温度の障害および警告のステータス	デフォルト値は適用されず、読み出し/書き込み、ページ指定、NVM には格納しません。	114
STATUS_CML	0x7E	通信およびメモリの障害および警告のステータス	デフォルト値は適用されず、読み出し/書き込み、非ページ指定、NVM には格納しません。	114
STATUS_MFR_SPECIFIC <sub>n</sub>	0x80	メーカー固有の障害および状態の情報	デフォルト値は適用されず、読み出し/書き込み、ページ指定、NVM には格納しません。	114
READ_VIN	0x88	測定された入力電源 (SV <sub>IN</sub> ) 電圧	デフォルト値は適用されず、読み出し専用、非ページ指定、NVM には格納しません。	118
READ_IIN	0x89	全入力電源電流の計算値	デフォルト値は適用されず、読み出し専用、非ページ指定、NVM には格納しません。	118
READ_VOUT <sub>n</sub>	0x8B	測定された出力電圧	デフォルト値は適用されず、読み出し専用、ページ指定、NVM には格納しません。	118
READ_IOUT <sub>n</sub>	0x8C	測定された出力電流	デフォルト値は適用されず、読み出し専用、ページ指定、NVM には格納しません。	118
READ_TEMPERATURE_1 <sub>n</sub>	0x8D	TSNS <sub>na</sub> で検出された温度の測定値	デフォルト値は適用されず、読み出し専用、ページ指定、NVM には格納しません。	118
READ_TEMPERATURE_2	0x8E	制御 IC のジャンクション温度の測定値	デフォルト値は適用されず、読み出し専用、非ページ指定、NVM には格納しません。	119
READ_DUTY_CYCLE <sub>n</sub>	0x94	MT <sub>n</sub> のデューティ・サイクル測定値	デフォルト値は適用されず、読み出し専用、ページ指定、NVM には格納しません。	119
READ_POUT <sub>n</sub>	0x96	出力電力の計算値	デフォルト値は適用されず、読み出し専用、ページ指定、NVM には格納しません。	119
PMBUS_REVISION	0x98	このデバイスがサポートする PMBus のリビジョン	0x22 (PMBus Specification 文書の Part I の Revision 1.2 と Part II の Revision 1.2)、読み出し専用、非ページ指定、NVM には格納しません。	109
MFR_ID	0x99	メーカー ID (ASCII)	LTC、読み出し専用、非ページ指定	109
MFR_MODEL	0x9A	メーカーの製品番号 (ASCII)	LTM4686、読み出し専用、非ページ指定	110
MFR_SERIAL	0x9E	この特定のデバイスのシリアル番号	デバイスの設定を識別する最大 9 バイトのカスタム・フォーマット・データ、読み出し専用、非ページ指定	110
MFR_VOUT_MAX <sub>n</sub>	0xA5	許容最大出力電圧	両方のチャンネルで 0x5B34 (5.700V) 読み出し専用、ページ指定、編集可能な NVM に格納しません。	93
USER_DATA_00	0xB0	OEM の予備データ	読み出し/書き込み、非ページ指定、編集可能な NVM に格納します。変更しないことを推奨します。	109
USER_DATA_01 <sub>n</sub>	0xB1	OEM の予備データ	読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。変更しないことを推奨します。	109
USER_DATA_02	0xB2	OEM の予備データ	読み出し/書き込み、非ページ指定、編集可能な NVM に格納します。変更しないことを推奨します。	109
USER_DATA_03 <sub>n</sub>	0xB3	編集可能なワード	0x0000、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	109
USER_DATA_04	0xB4	編集可能なワード	0x0000、読み出し/書き込み、非ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	109

## PMBus コマンドの概要

表 1. サポート対象コマンドの要約

PMBus コマンド名 または機能	コマンド・ コード (レジスタ)	コマンドまたは機能の説明	LTM4686 の NVM 出荷時デフォルト値あるいは属性	ページ
MFR_INFO	0xB6	製造固有の情報	デフォルト値は適用されず、読み出し専用、非ページ指定、NVM には格納しません。 EEPROM のユーザ空間から派生したデータを ECC が訂正した場合、ビット 5 は 0 <sub>b</sub> です。	117
MFR_EE_UNLOCK	0xBD	MFR_EE_ERASE コマンドおよび MFR_EE_DATA コマンドでアクセスするため、EEPROM のロックを解除する。	デフォルト値は適用されず、読み出し/書き込み、非ページ指定、NVM には格納しません。	127
MFR_EE_ERASE	0xBE	MFR_EE_DATA による一括プログラミングのため、EEPROM を初期化する。	デフォルト値は適用されず、読み出し/書き込み、非ページ指定、NVM には格納しません。	127
MFR_EE_DATA	0xBF	PMBus ワードの順次読み出しまたは書き込みを使用して EEPROM との間で転送されるデータ。一括プログラミングをサポートする。	デフォルト値は適用されず、読み出し/書き込み、非ページ指定、NVM には格納しません。	127
MFR_CHAN_CONFIG_*	0xD0	チャンネル固有の設定ビット	0x1D、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。レジスタは MFR_CHAN_CONFIG と命名され、LTpowerPlay では MFR_CHAN_CONFIG_LTM468X と呼ばれます。	85
MFR_CONFIG_ALL_*	0xD1	グローバル設定ビット、つまり、V <sub>OUT</sub> のチャンネル 0 と 1 の両方に共通	0x09、読み出し/書き込み、非ページ指定、編集可能な NVM に格納します。ビット 4 は SYNC 駆動回路を駆動状態 (0 <sub>b</sub> ) にするか停止状態 (1 <sub>b</sub> ) にするかを設定します。ビット 3 は、スタック状態の PMBus タイマーのタイムアウトをブロック読み出しの場合は 150 ミリ秒にして非ブロック読み出しの場合は 32 ミリ秒にする (0 <sub>b</sub> ) か、全ての読み出しに対して 250 ミリ秒 (1 <sub>b</sub> ) にするかを設定します。 レジスタは LTpowerPlay では MFR_CONFIG_ALL_LTM468X と命名されます。	86
MFR_GPIO_PROPAGATE_*	0xD2	障害情報を GPIO <sub>n</sub> ピンに伝搬するための設定ビット	0x7993、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。レジスタは MFR_GPIO_PROPAGATE と命名され、LTpowerPlay では MFR_GPIO_PROPAGATE_LTM468X と呼ばれます。	107
MFR_PWM_MODE_*	0xD4	各 V <sub>OUT</sub> チャンネルの PWM エンジンの設定	0xC3、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。ビット 1 は、出力を高範囲 (0 <sub>b</sub> ) にするか低範囲 (1 <sub>b</sub> ) にするかを指定します。ビット 0 は、出力を強制連続導通モード (1 <sub>b</sub> ) で動作させるか不連続モード (0 <sub>b</sub> ) で動作させるかを指定します。 コマンドは MFR_PWM_MODE と命名され、LTpowerPlay では MFR_PWM_MODE_LTM468X と呼ばれます。	88
MFR_GPIO_RESPONSE <sub>n</sub>	0xD5	デバイス外部の回路によって GPIO <sub>n</sub> ピンがローにアサートされたときのデバイスの動作	0x00 (該当なし、無視)、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	108
MFR_OT_FAULT_RESPONSE	0xD6	制御 IC のジャンクション過熱障害が検出されたときのデバイスの動作	0xC0 (それぞれの出力のパワー段を高インピーダンス、つまりスリーステートにする、障害解消時に自動再起動)、読み出し専用、非ページ指定、編集可能な NVM に格納しません。	105
MFR_IOUT_PEAK <sub>n</sub>	0xD7	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での READ_IOUT <sub>n</sub> の最大測定値	デフォルト値は適用されず、読み出し専用、ページ指定、NVM には格納しません。	120
MFR_ADC_CONTROL	0xD8	高速の ADC 読み出しを繰り返す場合に対応する ADC の遠隔測定パラメータ	0x00、読み出し/書き込み、非ページ指定、NVM には格納しません。遠隔測定読み出しレートを 10Hz (公称) の代わりに最大 125Hz に設定できます。	120
MFR_ADC_TELEMETRY_STATUS	0xDA	短いループ中の ADC のステータス	デフォルト値は適用されず、読み出し/書き込み、非ページ指定、NVM には格納しません。短い順繰り方式のループに入ったとき、デジタル化された最新の遠隔測定値を示す ADC ステータス (MFR_ADC_CONTROL=0x0D)	121
MFR_RETRY_DELAY <sub>n</sub>	0xDB	障害再試行モード時の再試行間隔	0xFABC (350ms)、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	100

## PMBus コマンドの概要

表 1. サポート対象コマンドの要約

PMBus コマンド名 または機能	コマンド・ コード (レジスタ)	コマンドまたは機能の説明	LTM4686 の NVM 出荷時デフォルト値あるいは属性	ページ
MFR_RESTART_ DELAY <sub>n</sub>	0xDC	内部回路が RUN <sub>n</sub> ピンをローにする最小 間隔 (公称)	0xF320 (200ms)、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	100
MFR_VOUT_PEAK <sub>n</sub>	0xDD	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での READ_VOUT <sub>n</sub> の最大測定値	デフォルト値は適用されず、読み出し専用、ページ指定、NVM には格 納しません。	119
MFR_VIN_PEAK	0xDE	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での READ_VIN の最大測定値	デフォルト値は適用されず、読み出し専用、非ページ指定、NVM には 格納しません。	119
MFR_ TEMPERATURE_1_ PEAK <sub>n</sub>	0xDF	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での TSNS <sub>na</sub> の測定温度の最大値	デフォルト値は適用されず、読み出し専用、ページ指定、NVM には格 納しません。	119
MFR_CLEAR_PEAKS	0xE3	全てのピーク値をクリアします。	デフォルト値は適用されず、バイト送信専用、非ページ指定、NVM には格納しません。	111
MFR_PADS	0xE5	I/O パッドのデジタル・ステータス	デフォルト値は適用されず、読み出し専用、非ページ指定、NVM には 格納しません。	115
MFR_ADDRESS	0xE6	LTM4686 の I <sup>2</sup> C スレーブ・アドレス、 右揃え	0x4F、読み出し/書き込み、非ページ指定、編集可能な NVM に格納し ます。ビット [6:4] は、デバイスの 7 ビット・スレーブ・アドレスの、設 定可能な上位 3 ビットを表します。ビット [3:0] は、ASEL の抵抗ピン ストラップ設定によって規定されます。このコマンドを 0x80 に設定 すると、デバイス固有のアドレス指定は無効になります。	85
MFR_SPECIAL_ID	0xE7	IC シリコン・チップとリビジョンを表す メーカー・コード	0x477X、読み出し専用、非ページ指定	110
MFR_IIN_OFFSET <sub>n</sub>	0xE9	READ_IIN および MFR_READ_IIN <sub>n</sub> の計算で 使用される係数。制御 IC (MOSFET ドライ バを含む) によって流れる入力電流の 影響を表します。	0x8BC9 (0.02956A)、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	94
MFR_FAULT_LOG_ STORE	0xEA	RAM から EEPROM への障害ログの転送を コマンドで指定します。これにより、デバ イスはチャンネルに障害が発生してオ フになったかのように動作します。	デフォルト値は適用されず、バイト送信専用、非ページ指定、NVM には格納しません。	127
MFR_FAULT_LOG_ CLEAR	0xEC	障害ログ用に確保された EEPROM ブロッ クを初期化して、以前の障害ログ・ロッ クをクリアします。	デフォルト値は適用されず、バイト送信専用、非ページ指定、NVM には格納しません。	127
MFR_READ_IIN <sub>n</sub>	0xED	入力電流の計算値、チャンネル別	デフォルト値は適用されず、読み出し専用、ページ指定、NVM には格 納しません。	118
MFR_FAULT_LOG	0xEE	障害ログのデータ・バイトこの逐次検 索データを使用して、完全な障害ログ を組み立てます。	デフォルト値は適用されず、読み出し専用、非ページ指定、障害ロ グの NVM に格納しません。	126
MFR_COMMON	0xEF	アナログ・デバイスサイズの複数の PSM IC / モジュールに共通するメーカー・ス テータス・ビット	デフォルト値は適用されず、読み出し専用、非ページ指定、NVM には 格納しません。	115
MFR_COMPARE_ USER_ALL	0xF0	電流コマンドの内容 (RAM) を NVM と比 較します。	デフォルト値は適用されず、バイト送信専用、非ページ指定、NVM には格納しません。	122
MFR_ TEMPERATURE_2_ PEAK	0xF4	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での制 御 IC のジャンクション温度の最大測定 値	デフォルト値は適用されず、読み出し専用、非ページ指定、NVM には 格納しません。	119
MFR_PWM_CONFIG_*	0xF5	チャンネル 0 および 1 の位相インター リーブ角、UVLO 状態での SHARE_CLK 動 作を設定し、完全差動アンプを使用し て並列接続出力チャンネルを安定化す るための設定ビット	0x10、読み出し/書き込み、非ページ指定、編集可能な NVM に格納 します。ビット 7 が 0 <sub>b</sub> の場合、チャンネル 1 の出力は V <sub>OSNS1</sub> および SGND の帰還信号によって安定化されます。ビット 7 が 1 <sub>b</sub> の場合、 チャンネル 1 の出力は V <sub>OSNS0+</sub> および V <sub>OSNS0-</sub> の帰還信号によって 安定化されます。PolyPhase レール・アプリケーションの場合には、 ビット 7 を 1 <sub>b</sub> に設定するだけです。コマンドは MFR_PWM_CONFIG と 命名され、LTpowerPlay では MFR_PWM_CONFIG_LTM468X と呼ばれ ます。	89

## PMBus コマンドの概要

表 1. サポート対象コマンドの要約

PMBus コマンド名 または機能	コマンド・ コード (レジスタ)	コマンドまたは機能の説明	LTM4686 の NVM 出荷時デフォルト値あるいは属性	ページ
MFR_IOUT_CAL_ GAIN_TC <sub>n</sub>	0xF6	電流検出素子の温度係数	0x0F14 (3860ppm/°C)、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納します。	94
MFR_TEMP_1_ GAIN <sub>n</sub>	0xF8	TSNS <sub>na</sub> とインターフェース接続する温度センサーの勾配を設定します。	0x3FAE (0.995、カスタム・ユニットの場合)、読み出し/書き込み、ページ指定、編集可能な NVM に格納される。	96
MFR_TEMP_1_ OFFSET <sub>n</sub>	0xF9	TSNS <sub>na</sub> の温度センサーのオフセットを -273.1°C を基準にして設定します。	0x8000 (0.0)、読み出し/書き込み、ページ指定、NVM に格納します。	96
MFR_RAIL_ADDRESS <sub>n</sub>	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	0x80、読み出し/書き込み、ページ指定、NVM に格納します。	85
MFR_RESET	0xFD	電源の遮断が不要のコマンドによるリセット	デフォルト値は適用されず、バイト送信専用、非ページ指定、NVM には格納しません。RESTORE_USER_ALL と同一	88

## アプリケーション情報

表 2. LTM4686 の出力電圧に対応する  $V_{OUTnCFG}$  のピンストラップ参照表、粗い設定 (MFR\_CONFIG\_ALL[6] = 1<sub>b</sub> の場合は該当しない)

$R_{VOUTnCFG}^*$ (k $\Omega$ )	粗く設定した $V_{OUTn}$ (V)	MFR_PWM_MODE <sub>n</sub> [1] ビット
Open	NVM	NVM
32.4	See Table 3	See Table 3
22.6	3.3	0
18.0	3.1	0
15.4	2.9	0
12.7	2.7	0
10.7	2.5	0, if $V_{TRIMn} > 0mV$ 1, if $V_{TRIMn} \leq 0mV$
9.09	2.3	1
7.68	2.1	1
6.34	1.9	1
5.23	1.7	1
4.22	1.5	1
3.24	1.3	1
2.43	1.1	1
1.65	0.9	1
0.787	0.7	1
0	0.5	1

\* $R_{VOUTnCFG}$  の表示値は公称です。抵抗値が表に示す値の3%以内に常に入るように、抵抗メーカーから  $R_{VOUTnCFG}$  を選択してください。抵抗の初期許容誤差、T.C.R. と抵抗の動作温度、ハンダ処理熱/IRリフロー、および抵抗の寿命にわたる耐久性を考慮に入れてください。また、熱衝撃/温度サイクル、湿気(湿度)、および他の影響(特定のアプリケーションに依存)も時間が経過するにつれて  $R_{VOUTnCFG}$  の値に影響します。SV<sub>IN</sub> の電源を投入するたびに、あるいは MFR\_RESET や RESTORE\_USER\_ALL を実行するたびに、抵抗ピン間のストラップ(配線)によって期待どおりの結果を得るため、製品の動作寿命にわたって前述の影響を全て考慮する必要があります。

表 3. LTM4686 の出力電圧に対応する  $V_{TRIMnCFG}$  のピンストラップ参照表、微調整設定 (MFR\_CONFIG\_ALL[6] = 1<sub>b</sub> の場合は該当しない)

$R_{VTRIMnCFG}^*$ (k $\Omega$ )	$V_{OUTn}$ の設定値 までの $V_{TRIM}$ (mV) 微調整電圧: $R_{VOUTnCFG}$ $\neq 32.4k\Omega$ の場合	$V_{OUT\_}$ COMMAND <sub>n</sub> の 設定値 (V): $R_{VOUTnCFG} =$ 32.4k $\Omega$ の場合	MFR_PWM_MODE <sub>n</sub> [1] ビット
Open	0	NVM	0, if $V_{OUT\_OV\_}$ FAULT_LIMIT <sub>n</sub> > 2.75V 1, if $V_{OUT\_OV\_}$ FAULT_LIMIT <sub>n</sub> $\leq 2.75V$
32.4	99		
22.6	86.625		
18.0	74.25		
15.4	61.875		
12.7	49.5		
10.7	37.125	Do Not Use	0
9.09	24.75	Do Not Use	0
7.68	12.375	Do Not Use	0
6.34	-12.375	Do Not Use	0
5.23	-24.75	Do Not Use	0
4.22	-37.125	Do Not Use	0
3.24	-49.5	Do Not Use	0
2.43	-61.875	Do Not Use	0
1.65	-74.25	Do Not Use	0
0.787	-86.625	3.50	0
0	-99	3.46	0

\* $R_{VTRIMnCFG}$  の表示値は公称です。抵抗値が表に示す値の3%以内に常に入るように、抵抗メーカーから  $R_{VTRIMnCFG}$  を選択してください。抵抗の初期許容誤差、T.C.R. と抵抗の動作温度、ハンダ処理熱/IRリフロー、および抵抗の寿命にわたる耐久性を考慮に入れてください。また、熱衝撃/温度サイクル、湿気(湿度)、および他の影響(特定のアプリケーションに依存)も時間が経過するにつれて  $R_{VTRIMnCFG}$  の値に影響します。SV<sub>IN</sub> の電源を投入するたびに、あるいは MFR\_RESET や RESTORE\_USER\_ALL を実行するたびに、抵抗ピン間のストラップ(配線)によって期待どおりの結果を得るため、製品の動作寿命にわたって前述の影響を全て考慮する必要があります。

## アプリケーション情報

表 4. LTM4686 のスイッチング周波数とチャンネルの位相インターリーブ角を設定する F<sub>SWPHCFG</sub> のピンストラップ参照表 (MFR\_CONFIG\_ALL[6] = 1<sub>b</sub> の場合は該当しない)

R <sub>FSWPHCFG</sub> * (kΩ)	スイッチング周波数 (kHz)	θ <sub>SYNC</sub> と θ <sub>0</sub> の間	θ <sub>SYNC</sub> と θ <sub>1</sub> の間	MFR_PWM_CONFIG の ビット [2:0]	MFR_CONFIG_ALL の ビット [4]
Open	NVM; LTM4686 Default = 500	NVM; LTM4686 Default = 0°	NVM; LTM4686 Default = 180°	NVM; LTM4686 Default = 000 <sub>b</sub>	NVM; LTM4686 Default = 0 <sub>b</sub>
32.4	250	0°	180°	000 <sub>b</sub>	0 <sub>b</sub>
22.6	350	0°	180°	000 <sub>b</sub>	0 <sub>b</sub>
18.0	425	0°	180°	000 <sub>b</sub>	0 <sub>b</sub>
15.4	575	0°	180°	000 <sub>b</sub>	0 <sub>b</sub>
12.7	650	0°	180°	000 <sub>b</sub>	0 <sub>b</sub>
10.7	750	0°	180°	000 <sub>b</sub>	0 <sub>b</sub>
9.09	1000	0°	180°	000 <sub>b</sub>	0 <sub>b</sub>
7.68	500	120°	240°	100 <sub>b</sub>	0 <sub>b</sub>
6.34	500	90°	270°	001 <sub>b</sub>	0 <sub>b</sub>
5.23	Sync Slave**	0°	240°	010 <sub>b</sub>	1 <sub>b</sub>
4.22	Sync Slave**	0°	120°	011 <sub>b</sub>	1 <sub>b</sub>
3.24	Sync Slave**	60°	240°	101 <sub>b</sub>	1 <sub>b</sub>
2.43	Sync Slave**	120°	300°	110 <sub>b</sub>	1 <sub>b</sub>
1.65	Sync Slave**	90°	270°	001 <sub>b</sub>	1 <sub>b</sub>
0.787	Sync Slave**	0°	180°	000 <sub>b</sub>	1 <sub>b</sub>
0	Sync Slave**	120°	240°	100 <sub>b</sub>	1 <sub>b</sub>

\* R<sub>FSWPHCFG</sub> の表示値は公称です。抵抗値が表に示す値の 3% 以内に常に入るように、抵抗メーカーから R<sub>FSWPHCFG</sub> を選択してください。抵抗の初期許容誤差、T.C.R. と抵抗の動作温度、ハンダ処理熱 / IR リフロー、および抵抗の寿命にわたる耐久性を考慮に入れてください。また、熱衝撃 / 温度サイクル、湿度 (湿度)、および他の影響 (特定のアプリケーションに依存) も時間が経過するにつれて R<sub>FSWPHCFG</sub> の値に影響します。S<sub>VIN</sub> の電源を投入するたびに、あるいは MFR\_RESET や RESTORE\_USER\_ALL を実行するたびに、抵抗ピン間のストラップ (配線) によって期待どおりの結果を得るため、製品の動作寿命にわたって前述の影響を全て考慮する必要があります。

\*\* 「Sync Slave」を設定すると、MFR\_CONFIG\_ALL[4] は 1<sub>b</sub> に設定され、FREQUENCY\_SWITCH は、コマンド 0x33 に対応する設定可能 EEPROM の内容に従って設定される (出荷時のデフォルト値: 500kHz)。この設定では、モジュールのスイッチング周波数が SYNC 信号に同期します。ただし、仕様に合致する方法で SYNC ピンを駆動することが前提です (詳細については、アプリケーション情報のセクションのスイッチング周波数と位相のサブセクションを参照してください)。

## アプリケーション情報

表 5. LTM4686 の MFR\_ADDRESS を設定する ASEL のピンストラップ参照表 (MFR\_CONFIG\_ALL[6] の設定にかかわらず適用可能)

R <sub>ASEL</sub> * (kΩ)	スレーブ・アドレス
Open	100_1111_R/W
32.4	100_1111_R/W
22.6	100_1110_R/W
18.0	100_1101_R/W
15.4	100_1100_R/W
12.7	100_1011_R/W
10.7	100_1010_R/W
9.09	100_1001_R/W
7.68	100_1000_R/W
6.34	100_0111_R/W
5.23	100_0110_R/W
4.22	100_0101_R/W
3.24	100_0100_R/W
2.43	100_0011_R/W
1.65	100_0010_R/W
0.787	100_0001_R/W
0	100_0000_R/W

ここで、

R/W = 制御バイトでの読出し/書き込みビット。

注記がない限り、仕様に記載されている全ての PMBus デバイス・アドレスは 7 ビット幅。

注記: LTM4686 は、NVM または ASEL の抵抗設定値に関係なく、スレーブ・アドレス 0x5A および 0x5B に常に応答します。

\*R<sub>CFG</sub> の表示値は公称です。抵抗値が表に示す値の 3% 以内に常に入るように、抵抗メーカーから R<sub>CFG</sub> を選択してください。抵抗の初期許容誤差、T.C.R. と抵抗の動作温度、ハンダ処理熱/IR リフロー、および抵抗の寿命にわたる耐久性を考慮に入れてください。また、熱衝撃/温度サイクル、湿気(湿度)、および他の影響(特定のアプリケーションに依存)も時間が経過するにつれて R<sub>CFG</sub> の値に影響します。S<sub>VIN</sub> の電源を投入するたびに、あるいは MFR\_RESET や RESTORE\_USER\_ALL を実行するたびに、抵抗ピン間のストラップ(配線)によって期待どおりの結果を得るため、製品の動作寿命にわたって前述の影響を全て考慮する必要があります。

表 6. 7 ビットおよび 8 ビットのアドレス指定で表現した LTM4686 の MFR\_ADDRESS コマンドの例

説明	16 進数の デバイス・ アドレス		7	6	5	4	3	2	1	0	R/W
	7	8	ビット								
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	0x40	0x80	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Example 2	0x41	0x82	0	1	0	0	0	0	0	1	0
Disabled <sup>2,3</sup>			1	0	0	0	0	0	0	0	0

Note 1: この表は MFR\_RAIL\_ADDRESS<sub>n</sub> コマンドには当てはまるが、MFR\_ADDRESS コマンドには当てはまらない。

Note 2: あるコマンドに無効な値があってもデバイスはディスエーブルされず、グローバル・アドレスが無効化されることもない。

Note 3: あるコマンドに無効な値があっても、デバイスが他のコマンドで指定されたデバイス・アドレスに応答することは禁止されない。

Note 4: 0x00、0x0C (7 ビット)、0x5A (7 ビット)、0x5B (7 ビット)、0x7C (7 ビット) のいずれかの値を MFR\_RAIL\_ADDRESS<sub>n</sub> コマンドまたは MFR\_ADDRESS コマンドに書き込むことは推奨されない。

## アプリケーション情報

### V<sub>IN</sub>からV<sub>OUT</sub>への降圧比

実現可能なV<sub>IN</sub>からV<sub>OUT</sub>への最大降圧比には、与えられた入力電圧に応じた制約があります。LTM4686の各出力は500kHzのとき95%のデューティ・サイクルが可能ですが、V<sub>IN</sub>とV<sub>OUT</sub>の間の最小ドロップアウト電圧は負荷電流の関数なので、上側スイッチの高いデューティ・サイクルに関係のある出力電流供給能力を制限します。最小オン時間t<sub>ON(MIN)</sub>は、 $t_{ON(MIN)} < D/f_{SW}$  (Dはデューティ・サイクル、f<sub>SW</sub>はスイッチング周波数)という事実があるため、規定のデューティ・サイクルで動作しながら一定の周波数で動作する場合のもう1つの考慮事項です。t<sub>ON(MIN)</sub>は電気的パラメータで45ナノ秒と規定されています。出力電流のガイドラインについては電気的特性のセクションのNote 6を参照してください。

### 入力コンデンサ

LTM4686モジュールは低ACインピーダンスのDC電源に接続する必要があります。レギュレータ入力では、4個の22μF入力セラミック・コンデンサを使用してRMSリップル電流に対処します。入力バルク容量を増やすには、47μF~100μFの表面実装アルミ電解バルク・コンデンサを使うことができます。このバルク入力コンデンサは、長い誘導性のリードやトレースまたは電源の容量不足によって入力ソース・インピーダンスが損なわれる場合にだけ必要です。低インピーダンスの電源プレーンを使用している場合は、このバルク・コンデンサは不要です。

降圧コンバータの場合、スイッチングのデューティ・サイクルは次のように概算することができます。

$$D_n = \frac{V_{OUTn}}{V_{INn}}$$

インダクタの電流リップルを考慮しなければ、入力コンデンサのRMS電流は、各出力に対して次のように概算できます。

$$I_{CINn(RMS)} = \frac{I_{OUTn(MAX)}}{\eta\%} \cdot \sqrt{D_n \cdot (1 - D_n)}$$

上の式で、η%は電源モジュールの推定効率です。バルク・コンデンサは、スイッチャ定格のアルミ電解コンデンサでもポリマー・コンデンサでもかまいません。

### 出力コンデンサ

LTM4686は出力電圧リップル・ノイズを小さくし、優れた過渡応答が得られるように設計されています。C<sub>OUT</sub>として定義されているバルク出力コンデンサは、出力電圧リップルとトランジェントの要件を満たすために、等価直列抵抗(ESR)が十分に小さいものを選択します。C<sub>OUT</sub>は低ESRのタンタル・コンデンサ、低ESRのポリマー・コンデンサ、またはセラミック・コンデンサのいずれでもかまいません。各出力の標準的な出力容量の範囲は400μF~700μFです。出力リップルや動的トランジェント・スパイクを更に低減する必要がある場合は、システム設計者が出力フィルタを追加することが必要になる可能性があります。5A/μsのトランジェント発生時の電圧低下やオーバーシュートを最小限に抑えるための、様々な出力電圧と出力コンデンサの一覧を表20に示します。この表では、最適なトランジェント性能を得るために、全等価ESRと全バルク容量が最適化されています。表20の一覧は安定性に対する判定基準が考慮されており、安定性の解析にはアナログ・デバイセズのμModule電源設計ツールが用意されています。マルチフェーズ動作では、位相数に応じて実効出力リップルが減少します。このノイズ低減と出力リップル電流の相殺については『アプリケーション・ノート77』で解説していますが、出力容量と安定性や過渡応答の関係を注意深く検討する必要があります。アナログ・デバイセズのμModule電源設計ツールは、実装される位相数をN倍に増加させたときの、出力リップルの減少を計算できます。V<sub>OUTn</sub>ピンとV<sub>OSNS0</sub><sup>+</sup>ピンまたはV<sub>OSNS1</sub>ピンの間に値の小さな10Ωの抵抗を直列に接続することにより、ボード線図アナライザが制御ループに信号を注入して、レギュレータの安定性を検証できます。

### 軽負荷電流動作

LTM4686には、効率の高い不連続導通モードと強制連続導通モードという2つの動作モードがあります。動作モードはMFR\_PWM\_MODE<sub>n</sub>コマンドのビット0で設定します(不連続導通モードは常に起動モードであり、強制連続モードはデフォルトの実行モードです)。

## アプリケーション情報

チャンネルが不連続モード動作にな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  $I_{REV}$  が下側 MOSFET ( $MB_n$ ) をオフにして、インダクタ電流が反転して負にならないようにします。したがって、コントローラは不連続(パルススキップ)状態で動作できます。強制連続動作の場合は、軽負荷時または大きなトランジェント状態でインダクタ電流が反転できます。インダクタのピーク電流は、 $COMP_{na}$  ピンの電圧だけで決まります。このモードでは、軽負荷での効率が不連続モード動作の場合より低下します。ただし、連続モードは出力リップルが小さく、オーディオ回路への干渉が少なく済みます。強制連続導通モードでは、逆方向のインダクタ電流が発生して、これが入力電源電圧を上昇させる原因になることがあります。 $VIN\_OV\_FAULT\_LIMIT$  は ( $SV_{IN}$  が  $V_{IN0}$  または  $V_{IN1}$ 、あるいはその両方に接続されている場合)、逆方向のインダクタ電流を検出して、障害の原因となるチャンネルをオフにすることができます。ただし、この障害は ADC の読出しに基づいており、検出するのに公称では最大 90 ミリ秒の時間がかかります。入力電源の昇圧について懸念がある場合は、デバイスを不連続導通動作に維持します。

## スイッチング周波数と位相

LTM4686 のチャンネルのスイッチング周波数は、モジュールの SYNC ピンに入力されるクロックに同期するアナログ・フェーズ・ロック・ループ (PLL) によって決まります。SYNC ピンのクロック波形を LTM4686 の内部回路によって生成できるのは、外付けプルアップ抵抗を 3.3V (例えば、 $V_{DD33}$ ) に接続し、LTM4686 の制御 IC の FREQUENCY\_SWITCH コマンドを次のいずれかのサポート対象値 250kHz、350kHz、425kHz、500kHz、575kHz、650kHz、750kHz、1MHz に設定して、それらを組み合わせただけの場合です (16 進値については、表 8 を参照)。この構成では、モジュールは「同期マスタ」と呼ばれます。出荷時のデフォルト設定値である MFR\_CONFIG\_ALL[4]=0<sub>b</sub> を使用すると、SYNC は双方向のオープンドレイン・ピンになり、LTM4686 は規定のクロック・レートのとおり、1 サイクルにつき公称 500 ナノ秒の間 SYNC をロジック・ローにします。システム内の複数のモジュールのスイッチング周波数に同期することを目的として、その他の(「同期スレーブ」に設定された) LTM4686 モジュールに

SYNC 信号をバスで接続することができます。ただし、「同期マスタ」に設定する LTM4686 は 1 つに限定し、他の LTM4686 は「同期スレーブ」に設定します。

LTM4686 を「同期スレーブ」として設定する推奨方法は、次のように 2 つあります。

- FSWPHCFG ピンに適切なピンストラップ抵抗設定を適用して (表 4 参照)、出荷時のデフォルト設定値 MFR\_CONFIG\_ALL[6] = 0<sub>b</sub> を使用します。これにより、MFR\_CONFIG\_ALL[4] = 1<sub>b</sub> および FREQUENCY\_SWITCH が EEPROM の設定値 (0xFBE8 が出荷時のデフォルト値、500kHz に対応) に従って設定されます。LTM4686 の SYNC ピンはこうして高インピーダンス入力になり、モジュールはその周波数を外部入力クロックの周波数に同期させます。ただし、外部入力クロックの周波数が目標周波数 (FREQUENCY\_SWITCH) の約 45% を超えていることが前提です。SYNC クロックが入力されていない場合、モジュールはその目標周波数で (無期限に) 動作することによって応答します。SYNC クロックが元に戻ると、モジュールは通常どおり SYNC クロックに自動的に位相同期します。
- FREQUENCY\_SWITCH を 0x0000 に設定して、MFR\_CONFIG\_ALL[4]=1<sub>b</sub> を設定します。MFR\_CONFIG\_ALL[4] = 1<sub>b</sub> を使用すると、LTM4686 の SYNC ピンは高インピーダンス入力専用になります。つまり、SYNC はローになりません。モジュールはその周波数を、SYNC ピンに入力されたクロックの周波数と同期させます。この方法の唯一の欠点は、外部入力クロックがない場合、モジュールのスイッチング周波数がデフォルトでその周波数同期キャプチャ・レンジの下端 (約 225kHz) になることです。

FREQUENCY\_SWITCH コマンドは I<sup>2</sup>C コマンドを介して変更できますが、それはスイッチング動作が停止しているとき (つまりモジュールの出力がオフのとき) だけです。FREQUENCY\_SWITCH コマンドは、 $SV_{ININ}$  の電源投入時に NVM に格納された値をとりませんが、モジュールが抵抗のピンストラップ設定に従うよう設定されている場合 (MFR\_CONFIG\_ALL[6] = 0<sub>b</sub>) に限り、FSWPH\_CFG ピンと SGND の間に適用される抵抗ピンストラップに応じてオーバーライドされます。表 4 に、使用可能な抵抗ピンストラップと、対応する FREQUENCY\_SWITCH の設定値を示します。

## アプリケーション情報

PolyPhase レールでのアクティブなチャンネルの相対位相は、全て最適に設定してください。各レールの相対位相は  $360^\circ/n$  です。ここで、 $n$  はレール内での位相の数です。MFR\_PWM\_CONFIG[2:0] では、チャンネルの相対位相が SYNC ピンを基準にして設定されます。位相関係の値が  $0^\circ$  と表示されるのは、SYNC の立下がりエッジが上側 MOSFET、MT $n$  のターンオンに一致する場合に対応しています。

MFR\_PWM\_CONFIG コマンドは I<sup>2</sup>C コマンドを介して変更できますが、それはスイッチング動作が停止しているとき(つまりモジュールの出力がオフのとき)だけです。MFR\_PWM\_CONFIG コマンドは、SV<sub>IN</sub> の電源投入時に NVM に格納された値をとりませんが、モジュールが抵抗のピンストラップ設定に従うよう設定されている場合 (MFR\_CONFIG\_ALL[6] = 0<sub>b</sub>) に限り、FSWPH\_CFG ピンと SGND の間に適用される抵抗ピンストラップ設定に応じてオーバーライドされます。表 4 に、使用可能な抵抗ピンストラップと、対応する MFR\_PWM\_CONFIG[2:0] の設定値を示します。

FREQUENCY\_SWITCH と MFR\_PWM\_CONFIG[2:0] の組み合わせによっては、FSWPH\_CFG ピンの抵抗ピンストラップでは実現できないことがあります。FREQUENCY\_SWITCH と MFR\_PWM\_CONFIG[2:0] でサポートされている値の全ての組み合わせは、NVM のプログラミング、すなわち I<sup>2</sup>C トランザクションによって設定できます。ただし、スイッチング動作が停止している(つまりモジュールの出力がオフになっている)ことが前提です。

SYNC の容量を最小限に抑えて、プルアップ抵抗とコンデンサ負荷の時定数が十分に小さくなり、アプリケーションが「きれいな」クロックを生成できるように注意する必要があります(このセクションで後述する「オープンドレイン・ピン」を参照してください)。

LTM4686 を同期スレーブとして設定した場合は、プルアップ抵抗ではなく、電流制限された電流源 (10mA 未満) を使用して、外部回路から SYNC ピンを駆動できます。SV<sub>IN</sub> の電源投入時には、NVM の内容が RAM にダウンロードされるまで、外部回路によって適当な値の低インピーダンスで SYNC をハイに駆動してはなりません。SYNC の出力が低インピーダンスになる可能性があるからです。

V<sub>IN</sub>-V<sub>OUT</sub> 間の電圧値が一般的な多くのアプリケーションにおける LTM4686 の推奨の動作スイッチング周波数を表 7 に示します。1 つの LTM4686 の 2 つのチャンネルが入力電圧を出力電圧に降圧していて、表 7 に示す推奨スイッチング周波数が大幅に異なる場合は、2 つの推奨スイッチング周波数のうち高い方の動作が望ましいですが、最小オン時間を考慮する必要があります(最小オン時間に関する検討事項のセクションを参照してください)。例えば、LTM4686 がチャンネル 0 では 12V 入力を 1V 出力に降圧して、チャンネル 1 では 12V 入力を 3.3V 出力に降圧することが要求されるアプリケーションについて考えます。表 7 によると、推奨のスイッチング周波数はそれぞれ 500kHz と 1MHz です。ただし、LTM4686 のスイッチング周波数設定は両方のチャンネルに共通です。前述の指針に基づいて、(インダクタのリプル電流を適度な値に保つため) 1MHz での動作が優先されますが、1MHz では 12V 入力、1V 出力条件でのオン時間がわずか 83 ナノ秒となり、ガードバンド推奨値の 90 ナノ秒に達しないことが分かります。したがって、この個別の例では、推奨のスイッチング周波数は 750kHz になります。

表 7. V<sub>IN</sub>-V<sub>OUT</sub> 間の様々な降圧シナリオに対する推奨のスイッチング周波数

	5V <sub>IN</sub>	8V <sub>IN</sub> ~ 12V <sub>IN</sub>
0.9V <sub>OUT</sub>	425kHz	425kHz
1.0V <sub>OUT</sub>	500kHz	500kHz
1.2V <sub>OUT</sub>	500kHz	575kHz
1.5V <sub>OUT</sub>	575kHz	650kHz
1.8V <sub>OUT</sub>	650kHz	750kHz
2.5V <sub>OUT</sub>	650kHz	1MHz
3.3V <sub>OUT</sub>	650kHz	1MHz

LTM4686 の SV<sub>IN</sub> ピンに流れる電流は、デジタル化も計算も行われません。SV<sub>IN</sub> の推定電流を表す値は MFR\_IIN\_OFFSET<sub>n</sub> コマンドに置かれており、入力電流の読出し遠隔測定値、つまり READ\_IIN および MFR\_READ\_IIN<sub>n</sub> の計算に使用されます。MFR\_IIN\_OFFSET<sub>n</sub> の推奨設定値を表 8 に示します。MFR\_IIN\_OFFSET<sub>0</sub> と MFR\_IIN\_OFFSET<sub>1</sub> (すなわち、ページ 0x00 および 0x01) には同じ値を使用してください。

## アプリケーション情報

表 8. 推奨の MFR\_IIN\_OFFSET<sub>n</sub> 設定とスイッチング周波数設定

スイッチング周波数 (kHz)	FREQUENCY_SWITCH コマンドの値 (16進数)	推奨の MFR_IIN_OFFSET <sub>n</sub> 設定 (mA)	推奨の MFR_IIN_OFFSET <sub>n</sub> 設定 (16進数)
250	0xF3E8	20.26	0x8A98
350	0xFABC	23.98	0x8B12
425	0xFB52	26.77	0x8B6D
500	0xFBEE	29.56	0x8BC9
575	0x023F	32.35	0x9212
650	0x028A	35.14	0x9240
750	0x02EE	38.86	0x927D
1000	0x03E8	48.16	0x9315
Sync. to External Clock, f <sub>SYNC</sub>	N/A	0.372 • f <sub>SYNC</sub> + 10.96	*

\*付録 C: PMBus コマンドの詳細、L11 のデータ・フォーマットを参照してください。

## 最小オン時間に関する検討事項

最小オン時間  $t_{ON(MIN)}$  は、LTM4686 が上側 MOSFET をオンすることができる最小時間です。これは内部タイミング遅延と上側 MOSFET をオンするのに必要なゲート電荷の量によって決まります。低デューティ・サイクルのアプリケーションでは、この最小オン時間のリミットに接近する可能性があるため、次の条件が成り立つように注意する必要があります。

$$t_{ON(MIN)} < \frac{V_{OUTn}}{V_{INn} \cdot f_{OSC}}$$

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

LTM4686 の最小オン時間は公称 45 ナノ秒で、ガードバンドをとると 90 ナノ秒です。

## 可変遅延時間、ソフトスタート、および出力電圧の上昇

LTM4686 はソフトスタートの前に動作状態になっている必要があります。RUN<sub>n</sub> ピンが解放されるのは、デバイスが初期化され、SV<sub>IN</sub> が VIN\_ON の閾値より高くなった後です。アプリケーションに複数の LTM4686 を使用する場合は、同じ RUN<sub>n</sub> ピンを共用するようデバイスを設定します。全ての

デバイスが初期化され、全てのデバイスについて SV<sub>IN</sub> が VIN\_ON の閾値を超えるまで、全てのデバイスがそれぞれの RUN<sub>n</sub> ピンをローに保持します。SHARE\_CLK ピンは、信号に接続されている全てのデバイスが同じタイム・ベースを使用するようにします。

RUN<sub>n</sub> ピンが解放されると、コントローラはユーザ指定のターンオン遅延 (TON\_DELAY<sub>n</sub>) の間待機した後、出力電圧の上昇を開始します。複数の LTM4686 とアナログ・デバイスズの他のデバイスを可変遅延時間で起動するよう設定できます。正常に動作させるには、全てのデバイスが同じタイミング・クロック (SHARE\_CLK) を使用して、更に全てのデバイスが RUN<sub>n</sub> ピンを共用する必要があります。これにより、全てのデバイスの相対的な遅延を同期させることができます。遅延時間の実際の変動は、SHARE\_CLK ピンに接続されているデバイスの最も速いクロック・レートに依存します (アナログ・デバイスズの全ての IC は、最も速い SHARE\_CLK 信号で全てのデバイスのタイミングを制御できるように設定されています)。SHARE\_CLK 信号は周波数の幅が ±5% あるので、実際の遅延時間にはある程度の差異が生じます。

ソフトスタートは、負荷電圧を能動的に安定化しつつ、目的の電圧を 0V からコマンド指定の電圧設定値までデジタル式に増加することによって実行します。電圧ランプの立ち上がり時間を TON\_RISE<sub>n</sub> コマンドを使用してプログラムし、起動電圧ランプに関連した突入電流を最小限に抑えることができます。ソフトスタート機能を無効にするには、TON\_RISE<sub>n</sub> の値を 0.250 ミリ秒より小さい任意の値に設定します。LTM4686 は必要な数値計算を内部で実行して、電圧ランプが目的の勾配になるように制御します。ただし、電圧勾配をパワー段の基本的なリミットより高くすることはできません。傾斜のステップ数は TON\_RISE/0.1ms に等しくなります。したがって、TON\_RISE<sub>n</sub> の時間設定が短くなるほど、現れるソフトスタート・ランプ波形は鋸歯状波に近づきます。

LTM4686 の PWM は、TON\_RISE<sub>n</sub> 動作の間、常に不連続モードで動作します。不連続モードでは、インダクタに逆電流が流れていることが検出されると、下側 MOSFET (MB<sub>n</sub>) はすぐにオフになります。これにより、レギュレータはプリバイアスされた負荷状態で起動できます。

LTM4686 にアナログ・トラッキング機能はありませんが、2つの出力に与えられる TON\_RISE<sub>n</sub> および TON\_DELAY<sub>n</sub> は同じ時間なので、レシオメトリックのレール・トラッキングを実現できます。RUN<sub>n</sub> ピンは同時に解放され、両方のデバイスが同じタイム・ベース (SHARE\_CLK) を使用するの、出力の追従は非常に緊密になります。回路が PolyPhase 構成になっている場合は、全てのタイミング・パラメータを同じにする必要があります。

## アプリケーション情報

レールの同時トラッキングを実現するには、2つの出力のターンオンとターンオフのスルー・レート、ターンオン遅延を次のように同じ値に設定して、ターンオフ遅延を適切に選択します。

$$\frac{VOUT\_COMMAND_{RAIL1}}{TON\_RISE_{RAIL1}} = \frac{VOUT\_COMMAND_{RAIL2}}{TON\_RISE_{RAIL2}}$$

and

$$\frac{VOUT\_COMMAND_{RAIL1}}{TOFF\_FALL_{RAIL1}} = \frac{VOUT\_COMMAND_{RAIL2}}{TOFF\_FALL_{RAIL2}}$$

および

$$TON\_DELAY_{RAIL1} = TON\_DELAY_{RAIL2}$$

および ( $VOUT\_COMMAND_{RAIL2} \geq VOUT\_COMMAND_{RAIL1}$  の場合)

$$TOFF\_DELAY_{RAIL1} =$$

$$TOFF\_DELAY_{RAIL2} + \left( 1 - \frac{VOUT\_COMMAND_{RAIL1}}{VOUT\_COMMAND_{RAIL2}} \right)$$

$$\bullet TOFF\_FALL_{RAIL2}$$

あるいは ( $VOUT\_COMMAND_{RAIL2} < VOUT\_COMMAND_{RAIL1}$ )

$$TOFF\_DELAY_{RAIL2} =$$

$$TOFF\_DELAY_{RAIL1} + \left( 1 - \frac{VOUT\_COMMAND_{RAIL2}}{VOUT\_COMMAND_{RAIL1}} \right)$$

$$\bullet TOFF\_FALL_{RAIL1}$$

説明した起動シーケンス制御の方式は時間ベースです。連鎖事象の場合は、別のコントローラの  $\overline{GPIO}_n$  ピンに基づいて  $RUN$  ピンを制御できます (図2参照)。 $\overline{GPIO}_n$  ピンは、コンバータの出力電圧が  $VOUT\_UV\_FAULT\_LIMIT_n$  より高くなったら解放されるように設定できます。フィルタなしの  $VOUT$  UV 障害リミットを使用することを推奨します。理由は、コンバータが UV 閾値を超えてから  $\overline{GPIO}_n$  ピンが解放されるまでに明確な時間遅延がほとんどないからです。フィルタなしの出力をイネーブルするには、 $MFR\_GPIO\_PROPAGATE_n[12]$  を設定します (付録 C: PMBus コマンドの詳細に記載している PMBus コマンドの MFR のセクションを参照してください)。 $VOUT$  信号はコンパレータの閾値を経て遷移するので、フィルタなしの信号にはある程度のグリッチが生じます。250 マイクロ秒の小型デジタル・フィルタが  $\overline{GPIO}_n$  ピンのグリッチを内部で除去します。 $TON\_RISE$  の時間が 100 ミリ秒より長い場合は、 $\overline{GPIO}_n$  とグラウンドの間にコンデンサを外付けしてグリッチ除去フィルタを補完し、波形を更に整形してください。フィルタの RC 時定数を十分高速に設定して、顕著な遅延が生じないようにします。大半のア

プリケーションでは、300 マイクロ秒～500 マイクロ秒の範囲の値で十分なフィルタリングが得られ、トリガ・イベントを大幅に遅延させることもありません。

## デジタル・サーボ・モード

安定化出力電圧の精度を最高にするには、 $MFR\_PWM\_MODE_n$  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、LTM4686 は ADC の電圧測定値に基づいて安定化出力電圧を調整します。デジタル・サーボ・ループは、出力が ADC の正しい読出し値になるまで、90 ミリ秒ごとに DAC の LSB (電圧範囲ビット  $MFR\_PWM\_MODE_n[1]$  に応じて公称 1.375 mV または 0.6875 mV) 刻みで調整します。電源投入時には、リミットが 0 (無制限) に設定されていない限り、 $TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT_n$  の後にこのモードに入ります。 $TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT_n$  が 0 (無制限) に設定されている場合、サーボ制御が始まるのは、 $TON\_RISE_n$  が完了して  $VOUT_n$  が  $VOUT\_UV\_FAULT\_LIMIT_n$  を超え、 $IOUT\_OC_n$  が存在しなくなった後です。これと同じ時点で、出力は不連続モードから  $MFR\_PWM\_MODE_n[0]$  で指定されたモードに切り替わります。時間ベースのシーケンス制御における  $VOUT_n$  波形の詳細については、図3を参照してください。

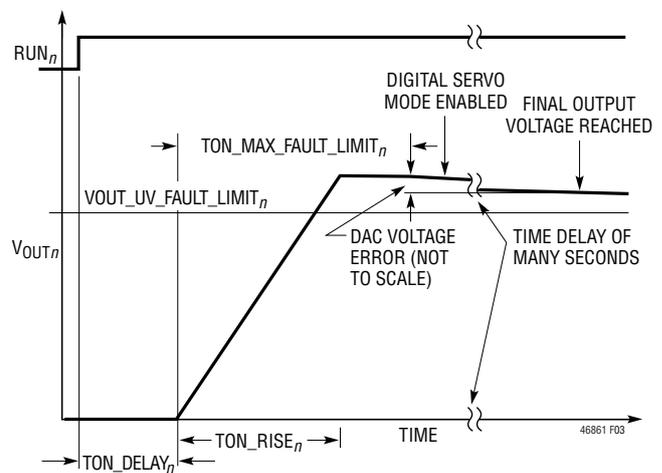


図3. タイミングが制御された  $VOUT$  の立上がり

## アプリケーション情報

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

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

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

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

立上がり時間の最大値は1.3秒に制限されます。

PolyPhase構成では、制御ループのいずれか1つだけをデジタル・サーボ・モードが有効な状態にすることを推奨します。これにより、リファレンス回路でのわずかな差が原因で個々のループが互いに反する動作をしないようになります。

## ソフトオフ(シーケンス制御によるオフ)

LTM4686は、起動の制御の他に、ターンオフの制御もサポートしています。TOFF\_DELAY<sub>n</sub>機能とTOFF\_FALL<sub>n</sub>機能を図4に示します。TOFF\_FALL<sub>n</sub>が処理されるのは、RUN<sub>n</sub>ピンがローになるか、モジュールがオフするようコマンドで指定された場合です。モジュールに障害が発生してオフになるか、 $\overline{\text{GPIO}}_n$ を外部からローにして、これ(MFR\_GPIO\_RESPONSE<sub>n</sub> = 0xC0)に応答するようにモジュールをプログ

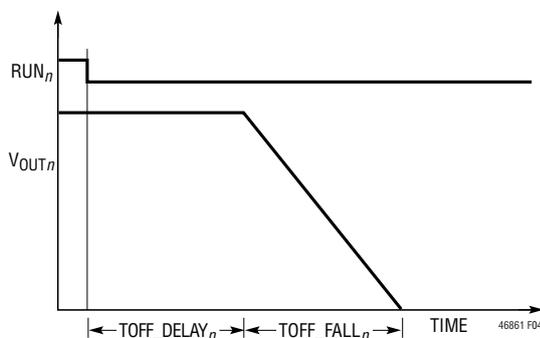


図4. TOFF\_DELAY<sub>n</sub>とTOFF\_FALL<sub>n</sub>

ラムすると、出力はスリーステート(高インピーダンス)になり、制御された傾斜を示しません。その後、出力は負荷に応じて減少します。

デバイスが強制連続モードであり、TOFF\_FALL<sub>n</sub>の時間が十分に長く、パワー段が目的の勾配を実現できる限り、出力電圧は図4に示すように動作します。TOFF\_FALL<sub>n</sub>の時間が適合できるのは、パワー段とコントローラが十分なシンク電流を供給して、立下がり時間の間隔が終了するまでに出力電圧が0Vになることを確実にできる場合に限りです。負荷容量を放電するのに必要な時間より短い時間をTOFF\_FALL<sub>n</sub>に設定すると、出力は目的とする0Vの状態に達しません。TOFF\_FALL<sub>n</sub>の終了時に、コントローラはシンク電流の供給を停止し、VOUT<sub>n</sub>は負荷インピーダンスによって決まる固有の速度で低下します。コントローラが不連続モードである場合、コントローラは負電流を流し込みません。また、出力はパワー段ではなく負荷によってローになります。立下がり時間の最大値は1.3秒に制限されます。傾斜のステップ数はTOFF\_FALL/0.1msに等しくなります。したがって、TOFF\_FALL<sub>n</sub>の設定値が短くなるほど、現れるTOFF\_FALL<sub>n</sub>のランプ波形は鋸歯状波に近づきます。

## 低電圧ロックアウト

LTM4686は内部閾値ベースのUVLOによって初期化されます。ここでは、SV<sub>IN</sub>を約4Vにする必要があります。INTV<sub>CC</sub>、VDD33、VDD25を安定化電圧の値の約20%以内にする必要があります。更に、VDD33はRUN<sub>n</sub>ピンが解放されるより前に、目標値の約7%以内に入る必要があります。デバイスの初期化が完了すると、別のコンパレータがSV<sub>IN</sub>をモニタします。電源のシーケンス制御を開始するには、その前にVIN\_ON閾値を超える必要があります。SV<sub>IN</sub>がVIN\_OFF閾値より低くなると、LTM4686はPWM動作を停止します。また、コントローラを再起動するには、その前にSV<sub>IN</sub>をVIN\_ON閾値より高くしておく必要があります。通常の起動シーケンスが可能になるのは、VIN\_ON閾値を超えた後です。

VDD33電源を外部から駆動する場合は、NVMの内容をアプリケーション内でプログラムすることができます。これによりLTM4686のデジタル部は起動しますが、高電圧部は作動しません。この電源構成では、PMBus通信は有効です。LTM4686にSV<sub>IN</sub>が印加されていなかった場合は、MFR\_COMMON[3]がローにアサートされ、NVMが初期化されていないことが示されます。この状態を検出すると、デバイスはアドレス0x5Aおよび0x5Bに対してのみ応答するようになります。デバイスを初期化するには、次の一連のコマンド(グ

## アプリケーション情報

ローバル・アドレス 0x5B、コマンド 0xBD、データ 0x2B、その後グローバル・アドレス 0x5B、コマンド 0xBD、およびデータ 0xC4)を発行します。これで、デバイスは正しいアドレスに応答するようになります。必要に応じてデバイスを設定してから、STORE\_USER\_ALLを発行します。SV<sub>IN</sub>を印加したら、MFR\_RESET コマンドまたはRESTORE\_USER\_ALL コマンドを発行してPWMをイネーブルし、有効なA/D変換結果を読み出せるようにする必要があります。

### 障害の検出と処理

LTM4686のGPIO<sub>n</sub>ピンは、OV/UV、OC、OT、タイミング障害、ピーク過電流障害などの様々な障害を通知する目的で設定できます。更に、GPIO<sub>n</sub>ピンを外部信号源によってローにすると、システムの他の部分に障害が発生していることをLTM4686に知らせることができます。障害応答はRESPONSE接尾辞を付けたPMBusコマンド・コード名によって設定可能であり、以下のオプションが可能です。

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

詳細については、付録CとPMBusの仕様を参照してください。

OV応答は自動的かつ迅速です。OVが検出されると、MT<sub>n</sub>はオフになり、BG<sub>n</sub>はオンになり、この状態はOV状態が解消されるまで続きます。

LTM4686には障害ログ機能があります。障害ログは、デバイスをオフにする障害が発生した場合、データを自動的に格納するように設定できます。障害ログの表の見出し部にはピーク値が記載されています。これらの値はいつでも読み出すことができます。このデータは障害に対応するときに役立ちます。

LTM4686の内部温度が85°Cを超えるか0°C未満になった場合、NVMへの書込みは推奨しません。3.3V電源のUVLO閾値に達していない限り、データは引き続きRAMの中に保持されます。ダイ温度が130°Cを超えると、NVMの全ての通信はダイ温度が125°Cより低くなるまで無効になります。ただし、RESTORE\_USER\_ALLコマンドは例外で、どんな温度でも有効です。

### オープンドレイン・ピン

LTM4686を正常に動作させるには、以下に示すように最大9個のプルアップ抵抗が必要です。

- SMBus/I<sup>2</sup>Cインターフェース(SCL、SDA、およびALERTピン)に対して3個。SMBusホストがALERT割り込みを使用しない場合に限り、2個(これらの耐圧は5Vです)。
- RUN<sub>0</sub>ピンとRUN<sub>1</sub>ピンに対してそれぞれ1個(または、RUN<sub>0</sub>とRUN<sub>1</sub>を互いに電氣的に接続している場合は、RUN<sub>0</sub>およびRUN<sub>1</sub>に対して1個だけ)。(これらの耐圧は5Vです)。
- GPIO<sub>0</sub>およびGPIO<sub>1</sub>に対してそれぞれ1個(または、GPIO<sub>0</sub>とGPIO<sub>1</sub>を互いに電氣的に接続している場合は、GPIO<sub>0</sub>およびGPIO<sub>1</sub>に対して1個だけ)。(これらの耐圧は3.3Vです)。
- SHARE\_CLKに1個。タイミング関連の動作および機能(出力電圧の上昇のタイミング、電圧マージン制御の遷移のタイミング、SYNCオープンドレイン・ピンの駆動周波数)を対象としたハートビート・タイムベースをLTM4686が設定するために必要(SHARE CLKの耐圧は3.3Vです)。
- SYNCに1個。LTM4686がデジタル・エンジンのオープンドレイン出力によって生成される周波数に位相同期するため。例外：アプリケーションによっては、LTM4686のSYNCピンを強く駆動された(低インピーダンスの)外部クロックで駆動することが望まれます。これは、LTM4686がSYNCにプルアップ抵抗を必要としない唯一の状況です。ただし、NVMの初期化中、つまりEEPROMの内容をRAMにダウンロードしているとき(SV<sub>IN</sub>電源の投入後約50ミリ秒[Note 12]の間)はSYNCピンが低インピーダンスになることがあるので注意してください。したがって、強く駆動されたクロック信号をLTM4686のSYNCピンに入力する場合は、NVMの初期化中にSYNCピンに流れ込む電流が10mA未満に制限される直列抵抗を介して入力することが必要です。FREQUENCY\_SWITCH=0x0000の場合は、RUN<sub>n</sub>ピンをロジック・ローからロジック・ハイに切り替える前に、何らかのクロック信号を入力してください。さもないと、LTM4686のスイッチング周波数は、SYNCのクロックが確立されるまで、PLLキャプチャ・レンジの下端(約225kHz)から始まります(SYNCの耐圧は3.3Vです)。

## アプリケーション情報

上記の全てのピンは、0.4Vのとき3mAのシンク電流を流すことができるモジュール内部のプルダウン・トランジスタと接続しています。これらのピンの低い方の閾値は0.8Vなので、3mAの電流でデジタル信号に十分な余裕があります。3.3Vのピンの場合、3mAの電流は1.1kΩの抵抗を意味します。プルアップ抵抗とグラウンドまでの寄生容量によるRC時定数に関連したトランジエント速度の問題がない限り、一般的には10k以上の抵抗を推奨します。

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

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

SDAピンとSCLピンの寄生容量を最小限に抑えて、通信問題を回避するように注意してください。負荷容量を見積もるには、問題の信号をモニタして、目的の信号が出力値の約63%に達するのに要する時間を測定します。これが1倍の時定数になります。

SYNCピンはプルダウン・トランジスタを内蔵しており、スイッチング周期につき公称で500ナノ秒の間、出力をローに保持します。内部発振器を500kHzに設定し、負荷が100pFで3倍の時定数が必要な場合、抵抗の計算は次のとおりです。

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

最も近い1%精度の抵抗は4.99kです。

タイミング誤差が発生する場合、またはSYNCの周波数が必要な速度に達していない場合は、波形をモニタして、RC時定数がアプリケーションに対して長すぎないかを調べます。可能な場合は、寄生容量を低減します。可能でない場合は、プルアップ抵抗を十分に小さくして、適切なタイミングを確保してください。

## フェーズ・ロック・ループと周波数同期

LTM4686には、内部の電圧制御発振器(VCO)と位相検出器によって構成されるフェーズ・ロック・ループ(PLL)が内蔵されています。PLLはSYNCピンの信号の立下がりエッジに同期します。チャンネル0、チャンネル1、SYNCの立下がりエッジの間の位相関係は、MFR\_PWM\_CONFIGコマンドの下位3ビットによって制御されます。PolyPhaseアプリケーションでは、全ての位相の間隔を均一にすることを推奨します。したがって、2フェーズ・システムでは信号の位相を180°ずらし、4フェーズ・システムでは間隔を90°あけます。

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

位相検出器の出力は、内部フィルタ回路網を充放電する、1対の相補型電流源です。PLLロック・レンジは225kHz～1.05MHzになります。

PLLにはロック検出回路があります。動作中にPLLのロックが外れると、STATUS\_MFR\_SPECIFICコマンドのビット4がアサートされ、ALERTピンはローになります。このビットに1を書き込めば、障害は解消できます。PLL\_FAULTが表示されないようにするには、電源投入時に同期クロックを入力できない場合でも、MFR\_CONFIG\_ALLコマンドのビット3をアサートする必要があります。

SYNCの信号がアプリケーションのクロックとして動作していない場合、PLLはVCOの最小自走周波数で動作します。これはアプリケーションの目的のPWM周波数よりかなり低くなるので、コンバータの望ましくない動作を引き起こすことがあります。

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

## アプリケーション情報

共用するには、複数のLTM4686が必要ですが、その他の構成の場合はオプションです。複数のLTM4686の間でSYNCピンを共用する場合、1つの周波数出力を使用してプログラムできるLTM4686は1つだけです。それ以外のLTM4686は、全て外部クロックに合わせて設定する必要があります(MFR\_CONFIG\_ALL[4]=1<sub>b</sub>とするか、表4を参照してください)。

### RCONFIGピンストラップ(外付け抵抗設定ピン)

LTM4686のデフォルトのNVMは、RCONFIGピンに従うようにプログラムされます。デバイスをプログラミングせずに、あるいは特殊なプログラム済みデバイスを購入することなく、出力電圧、PWM周波数、位相制御、およびアドレスを設定する場合は、RCONFIGピンを使用してこれらのパラメータを設定できます。ただし、MFR\_CONFIG\_ALL[6] = 0<sub>b</sub>であることが前提です。RCONFIGピンに必要なのは、LTM4686のSGNDに終端する抵抗だけです。RCONFIGピンがモニタされるのは、最初の電源投入時とリセット時(MFR\_RESETまたはRESTORE\_USER\_ALL)だけなので、デバイスに電源を投入した後に、DACを使用して終端抵抗の値を変更しても効果はありません。正常な動作を確保するため、LTM4686のピンストラップ・ピンに接続するRCONFIG抵抗の値は、製品の寿命の間、表2～表5の参照表に示す目標の公称値から±3%を超えてずれないようにする必要があります。KOA Speer、Panasonic、Vishay、およびYageoなどのメーカー製の許容誤差1%(以内)、T.C.R.定格が±50ppm/°C(以内)の薄膜抵抗が有力な候補です。ノイズの多いクロック信号の配線は、これらのピンに近づけないようにします。MFR\_ADDRESSのビット[3:0]は、MFR\_CONFIG\_ALL[6]の設定に関係なく、ASELピンストラップ抵抗によって規定されることに注意してください。

### 電圧の選択

VOUT<sub>n</sub>\_CFGやVTRIM<sub>n</sub>\_CFGのRCONFIGピンを使用して出力電圧を設定すると(MFR\_CONFIG\_ALL[6] = 0<sub>b</sub>)、以下のパラメータは出力電圧のパーセント値として設定されます。

- VOUT\_OV\_FAULT\_LIMIT +10%
- VOUT\_OV\_WARN +7.5%
- VOUT\_MAX +7.5%
- VOUT\_MARGIN\_HI +5%
- VOUT\_MARGIN\_LO -5%
- VOUT\_UV\_WARN -6.5%
- VOUT\_UV\_FAULT\_LIMIT -7%

### USB-I<sup>2</sup>C/SMBus/PMBus間コントローラからシステム内のLTM4686への接続

アナログ・デバイスサイズのUSB-I<sup>2</sup>C/SMBus/PMBusコントローラは、基板上にあるLTM4686とインターフェースをとって、プログラミング、遠隔測定、およびシステムのデバッグを行うことができます。このコントローラは、LTpowerPlayと組み合わせて使用すると、電源システム全体を強力的にデバッグできます。遠隔測定値、障害ステータス・レジスタ、および障害ログを使用して、障害を素早く診断することができます。最終設定を迅速に作成して、LTM4686のEEPROMに格納できます。

## アプリケーション情報

システム電源が存在するかどうかに関係なく、アナログ・デバイセズのI<sup>2</sup>C/SMBus/PMBusコントローラを介して、1つ以上のLTM4686に対する電力供給、プログラミング、および通信を行うためのアプリケーション回路図を図5および図6に示します。システム電源が存在しない場合は、ドングルからV<sub>DD33</sub>電源ピンを介してLTM4686に電力を供給します。SV<sub>IN</sub>が印加されておらず、V<sub>DD33</sub>ピンに電力が供給されているときにデバイスを初期化するには、グローバル・アドレス0x5B、コマンド0xBD、データ0x2B、その後アドレス0x5B、コマンド0xBD、およびデータ0xC4を使用します。これにより、デバイスは通信できるようになり、プロジェクト・ファイルを更新できます。更新後のプロジェクト・ファイルをNVMに書き込むため、STORE\_USER\_ALLコマンドを発行します。SV<sub>IN</sub>を印加したら、MFR\_RESETまたはRESTORE\_USER\_ALLを発行してPWMをイネーブルし、有効なA/D変換結果を読み出せるようにする必要があります。

コントローラの電流供給能力は限られているので、OR接続されている3.3V/3.4V電源から電力を供給するのは、LTM4686、付随するプルアップ抵抗、およびI<sup>2</sup>Cのプルアップ抵抗に限定してください。更に、I<sup>2</sup>Cバス接続をLTM4686と共有するデバイスでは、SDA/SCLピンとそれぞれのV<sub>DD</sub>ノードの間にボディ・ダイオードが形成されないようにする必要があります。ボディ・ダイオードは、システム電源が存在しないときバス通信に干渉するからです。図5では、SV<sub>IN</sub>が存在する場合、ドングルはLTM4686に電力を供給しません。RUN<sub>n</sub>ピンをローに保持して、デバイスが完全に設定されるまで負荷に電力を与えないことを推奨します。

アナログ・デバイセズのコントローラ/アダプタのI<sup>2</sup>C接続は、PCのUSBから光学的に遮断されています。コントローラ/アダプタからの3.3V/3.4VとLTM4686のV<sub>DD33</sub>ピンは、図5および図6に従って、個別のPFETまたはダイオードを使用してそれぞれのLTM4686を駆動する必要があります。SV<sub>IN</sub>を印加していない場合に限り、V<sub>DD33</sub>ピンを電氣的に並列にすることが可能です。INTV<sub>CC</sub> LDOがオフしているからです。DC1613の3.3Vの電流制限は100mAですが、V<sub>DD33</sub>の代表的な電流は15mA以下です。V<sub>DD33</sub>はINTV<sub>CC</sub>ピンを逆駆動します。SV<sub>IN</sub>がオープンの場合、このことは通常問題ありません。DC2086は、3.4V/2Aを供給する能力があります。

図5または図6に示す4ピンのヘッダを使用すると、柔軟性が最大限に向上し、製品開発サイクルや生産サイクルのあらゆる段階でLTM4686のNVMの内容を変更できます。LTM4686をプリント基板/マザーボードにハンダ付けする前に、NVMを「プリプログラム」した場合、つまり、NVMに最終設定を格納してある場合や、システムにLTM4686のNVMの内容を変更する他の手段が用意されている場合は、ヘッダの3.3V/3.4Vピンは不要であり、GUI通信を確立するには3ピンのヘッダで十分です。LTM4686は、NVMの内容をカスタマイズして購入できます。詳細については、弊社にお問い合わせください。また、LTM4686のNVMの内容を量産環境で設定するには、それをICT(インサーキット・テスト)で実施できるよう設計するか、LTM4686のRUNピンをローに保持している間にSV<sub>IN</sub>を印加する手段を提供します。モジュールへの通信は、NVMの全てのプログラミング計画において、SCLピンやSDAピンまたはそれらのネットワークを介して可能にする必要があります。推奨のヘッダは、表9および表10に記載しています。

## アプリケーション情報

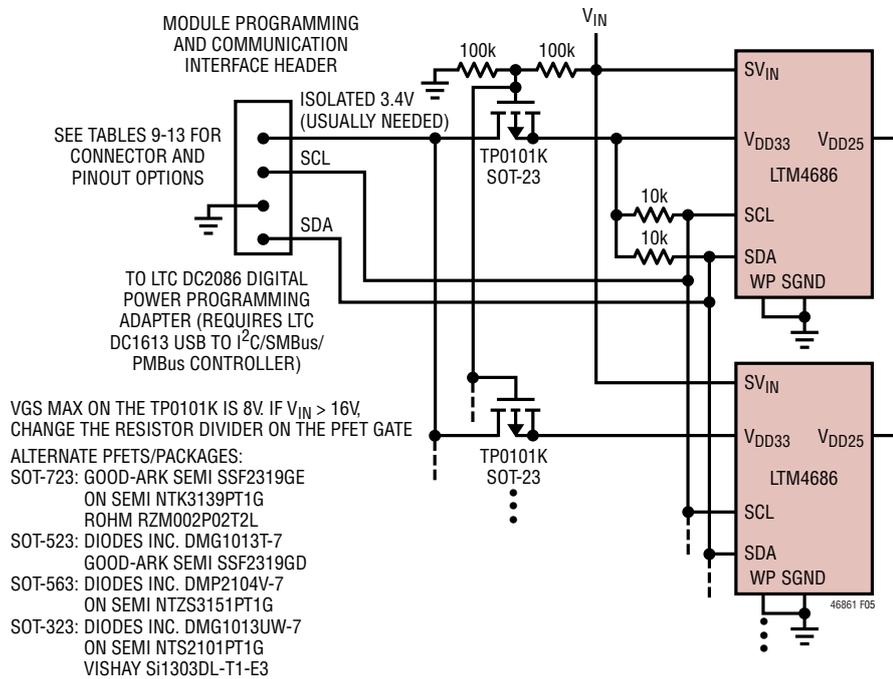


図5. 巨大なシステムで $V_{IN}$ 電源が投入されていない場合でもLTM4686やアナログ・デバイセズの他のPSMモジュール/ICのEEPROM/NVMをプログラミングするのに適した回路、 $0^{\circ}\text{C} < T_J \leq 85^{\circ}\text{C}$

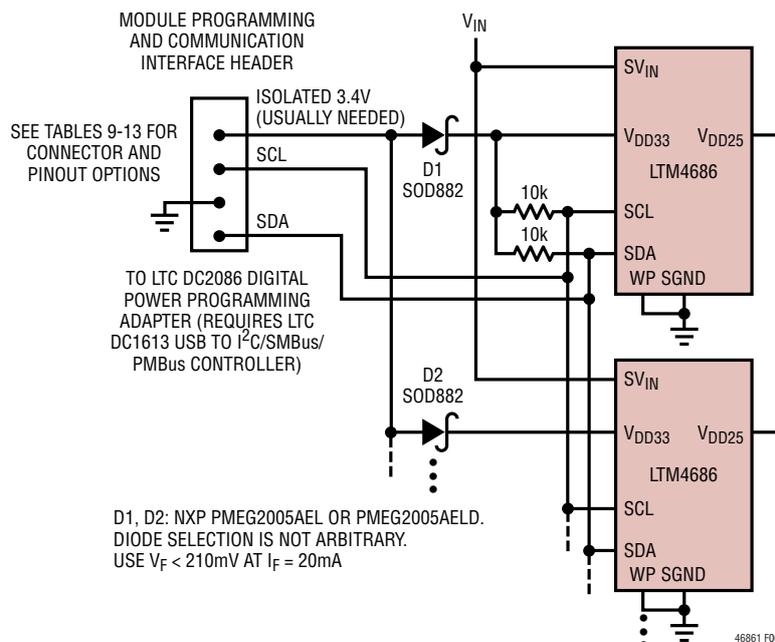


図6. 巨大なシステムで $V_{IN}$ 電源が投入されていない場合でもLTM4686やアナログ・デバイセズの他のPSMモジュール/ICのEEPROM/NVMをプログラミングするのに適した回路、 $T_A > 20^{\circ}\text{C}$ かつ $T_J < 85^{\circ}\text{C}$

## アプリケーション情報

表 9. 4ピン・ヘッダ、2mmのピン間隔、金のフラッシュめっきまたは金めっき、DC2086ケーブルと互換

装着方式	挿入角	インターフェース方式	メーカー	製品番号	ピン配列方式(表11参照)
Surface Mount	Vertical	Shrouded and Keyed Header	Hirose	DF3DZ-4P-2V(51) DF3DZ-4P-2V(50) DF3Z-4P-2V(50)	Type A
		Non Shrouded, Non-Keyed Header	3M	951104-2530-AR-PR	Type A and B Supported.Reversible/Not Keyed
	Right Angle	Shrouded and Keyed Header	Hirose	DF3DZ-4P-2H(51) DF3DZ-4P-2H(50)	Type A
		Non Shrouded.Cable-to-Header/PCB Mechanics Yield Keying Effect	FCI	10112684-G03-04ULF	Type B. Keying Achieved by PCB Surface
Through-Hole	Vertical	Shrouded and Keyed Header	Hirose	DF3-4P-2DSA(01)	Type A
		Non Shrouded, Non-Keyed Header	Harwin	M22-2010405	Type A and B Supported.Reversible/Not Keyed
			Samtec	TMM-104-01-LS	
	Sullins		NRPNO41PAEN-RC		
	Right Angle	Shrouded and Keyed Header	Hirose	DF3-4P-2DS(01)	Type A
		Non Shrouded.Cable-to-Header/PCB Mechanics Yield Keying Effect	Norcomp	27630402RP2	Type B. Keying Achieved by Intentional PCB Interference
			Harwin	M22-2030405	
			Samtec	TMM-104-01-L-S-RA	

表 10. 3ピン・ヘッダ、2mmのピン間隔、金のフラッシュめっきまたは金めっき、DC2086ケーブルと互換

装着方式	挿入角	インターフェース方式	メーカー	製品番号	ピン配列方式(表12参照)
Surface Mount	Vertical	Shrouded and Keyed Header	Hirose	DF3DZ-3P-2V(51) DF3DZ-3P-2V(50) DF3Z-3P-2V(50)	Type A
		Non Shrouded, Non-Keyed Header	3M	951103-2530-AR-PR	Type A and B Supported.Reversible/Not Keyed
	Right Angle	Shrouded and Keyed Header	Hirose	DF3DZ-3P-2H(51) DF3DZ-3P-2H(50)	Type A
		Non Shrouded.Cable-to-Header/PCB Mechanics Yield Keying Effect	FCI	10112684-G03-03LF	Type B. Keying Achieved by PCB Surface
Through-Hole	Vertical	Shrouded and Keyed Header	Hirose	DF3-3P-2DSA(01)	Type A
		Non Shrouded, Non-Keyed Header	Harwin	M22-2010305	Type A and B Supported.Reversible/Not Keyed
			Samtec	TMM-103-01-LS	
	Sullins		NRPNO31PAEN-RC		
	Right Angle	Shrouded and Keyed Header	Hirose	DF3-3P-2DS(01)	Type A
		Non Shrouded.Cable-to-Header/PCB Mechanics Yield Keying Effect	Norcomp	27630302RP2	Type B. Keying Achieved by Intentional PCB Interference
			Harwin	M22-2030305	
			Samtec	TMM-103-01-L-S-RA	

表 11. 推奨の4ピン・ヘッダ・ピン配列(ピン番号の付与方式はヒロセ社の規則に準拠)。DC2086ケーブルとインターフェース接続

ピン番号	ピン配列方式A (表9参照)	ピン配列方式B (表9参照)
1	SDA	Isolated 3.3V/3.4V
2	GND	SCL
3	SCL	GND
4	Isolated 3.3V/3.4V	SDA

表 12. 推奨の3ピン・ヘッダ・ピン配列(ピン番号の付与方式はヒロセ社の規則に準拠)。DC2086ケーブルとインターフェース接続

ピン番号	ピン配列方式A (表10参照)	ピン配列方式B (表10参照)
1	SDA	SCL
2	GND	GND
3	SCL	SDA

## アプリケーション情報

表 13. 4ピン両オス型のシュラウド付きキー・アダプタ (オプション。推奨のコネクタ/ピン配列からずれている場合は、アダプタ・ケーブルの作成が容易)。  
DC2086 ケーブルとインターフェース接続

メーカー	製品番号	Web サイト
Hirose	DF3-4EP-2A	www.hirose.com, www.hirose.co.jp

## LTpowerPlay: デジタル・パワー・システム・マネージメント用のインタラクティブ GUI

LTpowerPlay は Windows ベースの強力な開発環境で、LTM4686 を含むアナログ・デバイセズのデジタル・パワー IC をサポートします。このソフトウェアは様々な作業をサポートします。デモ基板またはお客様のアプリケーションに接続することにより、LTpowerPlay を使用してアナログ・デバイセズの IC を評価できます。また、LTpowerPlay は、保存してから後で再ロードできる多数の IC 設定ファイルを作成

するために、(ハードウェアと接続しない) オフライン・モードでも使用できます。LTpowerPlay は、従来にない診断機能とデバッグ機能を提供します。基板起動時の貴重な診断ツールになっており、パワー・システムのプログラムや調整、あるいはレール起動時の電源問題の診断を目的として使用します。LTpowerPlay はアナログ・デバイセズの USB-I<sup>2</sup>C/SMBus/PMBus 間コントローラを使用して、DC2722 (1 個の LTM4686)、DC1811 (1 個の LTM4676A)、DC1989B (2、3、4 個の LTM4676A) といったデモ基板や、ターゲット・システムなど、多くの潜在的ターゲットのいずれか 1 つと通信します。また、このソフトウェアは自動更新機能も備えており、最新のデバイス・ドライバと技術文書一式により、リビジョンを最新の状態に維持します。LTpowerPlay では、豊富なコンテキスト・ヘルプといくつかのチュートリアル・デモを利用することができます。詳細は <http://www.ltpowerplay.com> で参照できます。

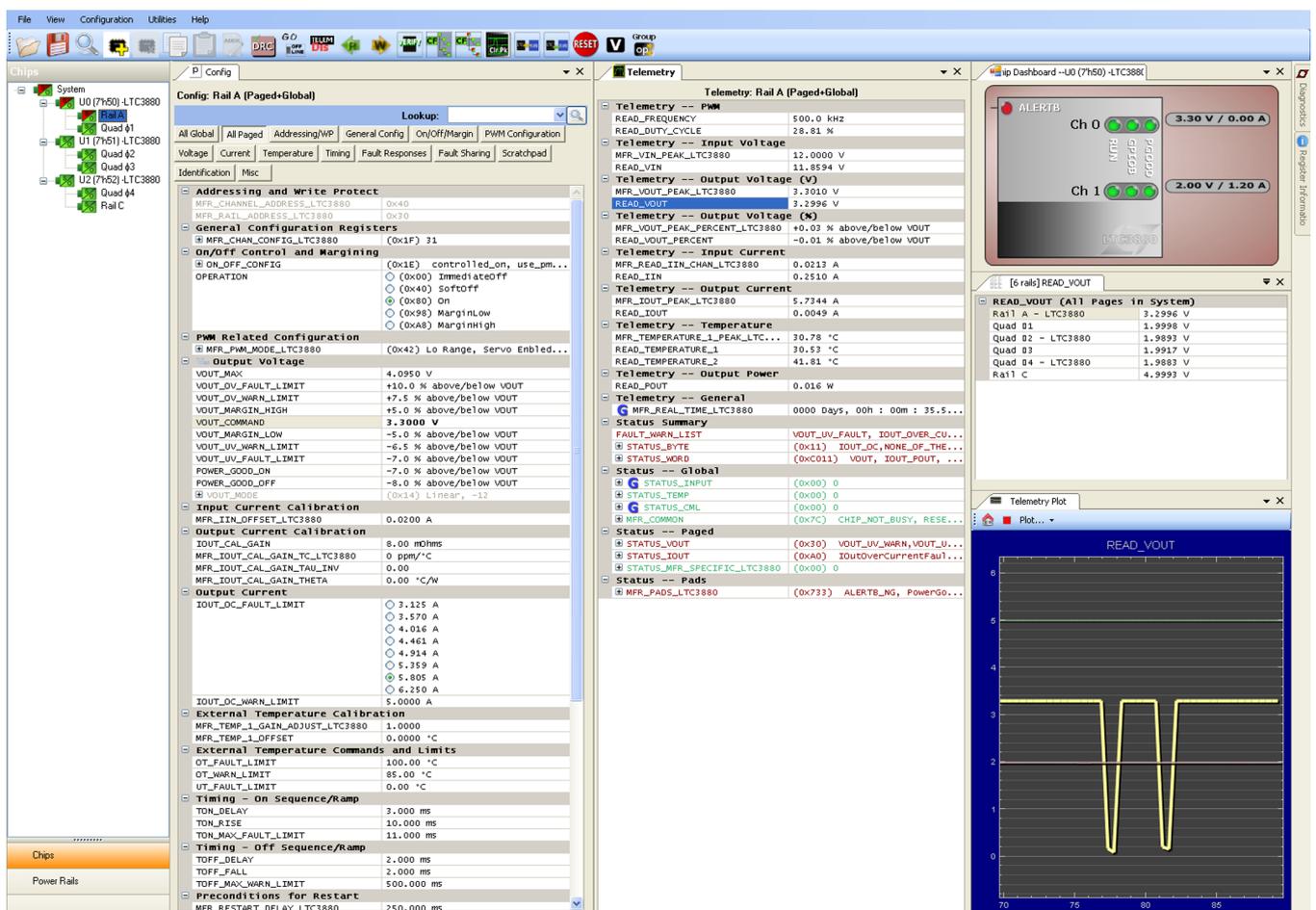


図 7. LTpowerPlay

## アプリケーション情報

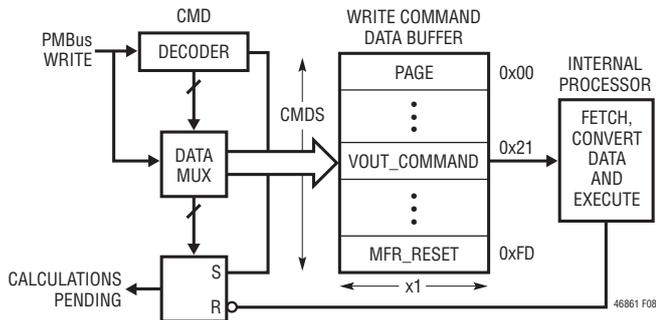


図8. 書き込みコマンドのデータ処理

## PMBus 通信とコマンド処理

LTM4686は、図8「書き込みコマンドのデータ処理」に示すように、処理の前にサポート対象コマンドごとに書き込まれた最後のデータを保持するため、ディープ・バッファを内蔵しています。デバイスは、バスから新しいコマンドを受信すると、そのデータを書込みコマンド・データ・バッファにコピーして、このコマンド・データを取り出す必要があることを内部プロセッサに示し、コマンドを内部フォーマットに変換して、実行できるようにします。

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

大量の計算が必要な一部のコマンド(例: タイミング・パラメータ、温度、電圧、電流)では、PMBusのタイミングに比べて内部プロセッサの実行時間が長くなる場合があります。デバイスがコマンドの処理でビジー状態になっているときに新しいコマンドが届くと、実行が遅れる場合があります。デバイスは、内部計算が処理中である場合、それをMFR\_COMMONのビット5(計算は保留中ではない)によって示します。デバイスが計算でビジー状態になっている場合、ビット5はクリアされます。このビットが設定されると、デバイスは別のコマンドを実行する準備が整います。ポーリング・ループの例を図8に示します。ポーリング・ループは、コマンドが

確実に順序どおり処理されるようにする一方で、エラー処理ルーチンを簡略化します。

デバイスはビジー状態の間に新しいコマンドを受け取ると、この状態を標準のPMBusプロトコルを使用して伝達します。デバイスは、その設定に応じて、コマンドに対してNACKを返すか、全て1(0xFF)を返して読出しに備えます。また、BUSY障害とALERT通知を生成することや、SCLクロックのローの時間を長くすることもできます。詳細については、『PMBus Specification V1.2, Part II, Section 10.8.7』および『SMBus V2.0 Section 4.3.3』を参照してください。クロック・ストレッチングは、MFR\_CONFIG\_ALLのビット1をアサートすることにより、有効にすることができます。クロック・ストレッチングが実行されるのは、それを有効にして、かつバス通信速度が100kHzを超えている場合だけです。

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

3つのハンドシェーキング・ステータス・ビットは、MFR\_COMMONレジスタ内にあります。デバイスは、内部動作の実行中でビジー状態のとき、MFR\_COMMONのビット6(モジュールはビジーではない)をクリアします。特に、VOUTが遷移状態(マージンのハイ/ロー制御、電源のオフ/オン、新しい出力電圧設定値への移行など)であることが理由でデバイスがビジー状態である場合、デバイスはMFR\_COMMONのビット4(出力は遷移中でない)をクリアします。内部計算が進行中のときは、MFR\_COMMONのビット5(計算は保留されない)がクリアされます。これら3つのステータス・ビットは、3つ全てのビットが設定されるまで、MFR\_COMMONレジスタのPMBus読出しバイトを使用してポーリングすることができます。ステータス・ビットが設定された直後のコマンドは受け付けられ、NACK応答が返されることも、BUSY障害/ALERT通知が生成されることもありま

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

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

図9. VOUT\_COMMANDのコマンド書き込みの例

## アプリケーション情報

せん。ただし、PMBus仕様が要求する他の理由(例えば、無効なコマンドやデータなど)によって、デバイスはコマンドにNACK応答を返すことがあります。VOUT\_COMMAND<sub>n</sub>レジスタに対する堅牢なコマンド書込みアルゴリズムの例を図9に示します。

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

100kHz以下のバス速度で通信する場合、ここに示すポーリング・メカニズムは、クロック・ストレッチングなしで堅牢な通信を可能にする簡素な解決策を提供します。バス速度が100kHzを超える場合は、クロック・ストレッチングが有効になるようにデバイスを設定することを強く推奨します。このためには、クロック・ストレッチングをサポートするPMBusマスタが必要です。クロック・ストレッチングを使用せずに100kHzを超える速度で通信するには、『PMBus Specification V1.2, Part II Section 10.8.7』に記載された方法で標準のPMBus NACK/BUSY障害を検出し、正常に回復できるシステム・ソフトウェアが必要です。クロック・ストレッチングが、規定の400kHzを超えてPMBus速度を向上することはありません。

### 熱に関する検討事項と出力電流のディレーティング

このデータシートのピン配置のセクションに記載されている熱抵抗はJESD51-12で定義されているパラメータと整合しており、有限要素解析(FEA)ソフトウェア・モデリング・ツールを併用することを想定しています。このツールは、熱モデリング、シミュレーションの他に、ハードウェア・テスト基板に実装したμModuleパッケージで実行したハードウェア評価に対する相関の結果を活用します。これらの熱係数を示す意図は、JESD51-12(「Guidelines for Reporting and Using Electronic Package Thermal Information」)に記載されています。

多くの設計者は、様々な電気的および環境的動作条件での実際のアプリケーションにおけるμModuleレギュレータの熱性能を予測するのに、実験室の装置やテスト手段(デモ用基板など)の使用を選択して、FEAの作業を補足することができます。FEAソフトウェアを使用しない場合、ピン配置のセクションに記載された熱抵抗は、それだけでは熱性能の目安を示すことになりません。むしろ、このデータシートに記載されたディレーティング曲線を使った方が、アプリケーションへの適用方法に沿った見通しと参考情報が得られ、熱性能を独自のアプリケーションと対応付けるようにディレーティング曲線を適合させることができます。

ピン配置のセクションには、JESD51-12に明示的に定義された4つの熱係数が記載されています。これらの係数は以下のように引用されるか言い換えられます。

1.  $\theta_{JA}$  (接合部から周囲までの熱抵抗)は、1立方フィートの密閉された筐体内で測定された、接合部から自然対流する周囲の空気までの熱抵抗です。この環境は、自然対流により空気が移動しますが、「自然空冷」と呼ばれることがあります。この値は、JESD51-9で定義されているテストボードに実装したデバイスを使って決定されます。このテストボードは実際のアプリケーションまたは実現可能な動作条件を反映するものではありません。
2.  $\theta_{Jcbottom}$  (接合部から製品のケースの底面までの熱抵抗)は、パッケージの底面を通して流れ出す部品の全消費電力によって決まります。標準的なμModuleレギュレータでは、熱の大半がパッケージの底面から流出しますが、周囲の環境への熱の流出が必ず発生します。その結果、この熱抵抗値はパッケージの比較には役立ちますが、このテスト条件は一般に個々のアプリケーションに合致しません。
3.  $\theta_{JcTop}$  (接合部から製品のケースの上面までの熱抵抗)は、部品のほぼ全消費電力がパッケージの上面を通して流れ出す状態で決定されます。標準的なμModuleレギュレータの電気的接続はパッケージの底面なので、接合部からデバイスの上面に熱の大半が流れるようにアプリケーションが動作することは稀です。 $\theta_{Jcbottom}$ の場合のように、この値はパッケージの比較には役立ちますが、このテスト条件は一般に個々のアプリケーションに合致しません。
4.  $\theta_{JB}$  (接合部からプリント回路基板までの熱抵抗)は、熱の大部分がμModuleレギュレータの底面を通して基板に流れ出すときの接合部から基板までの熱抵抗であり、

## アプリケーション情報

実際には、 $\theta_{JCbottom}$ と、デバイスの底面からハンダ接合部を通り、基板の一部までの熱抵抗の和です。基板の温度は、両面の2層基板を使って、パッケージからの規定された距離で測定されます。この基板はJESD51-9に記述されています。

前述の熱抵抗を図式化したものが図10です。青色の部分は $\mu$ Moduleレギュレータ内部の熱抵抗、緑色の部分は $\mu$ Moduleパッケージの外部に存在する熱抵抗です。

実際には、JESD51-12またはピン配置のセクションで定義されている4種類の熱抵抗パラメータは、個別でもいくつかの組み合わせでも、 $\mu$ Moduleレギュレータの通常の動作条件を再現することも表現することもないので注意してください。例えば、通常の基板実装アプリケーションでは、デバイスの全電力損失(熱)が100%パッケージの $\mu$ Moduleパッケージの上のみを通るか底面のみを通して熱的に伝達されることはありません。これは、 $\theta_{JCTop}$ および $\theta_{JCbottom}$ を標準規格で個々に定義しているのと同様です。実際には、電力損失はパッケージの両面から熱的に放散されます。ヒートシンクと空気流がない場合には、当然、熱流の大部分は基板に流れます。

LTM4686の内部では、電力損失を生じるパワー・デバイスや部品が複数存在するので、結果として、部品やダイの様々な接合部を基準にした熱抵抗は、パッケージの全電力損失に対して正確には線形になっていないことに注意してください。この複雑な問題をモデリングの簡潔性を犠牲にすることなく、(しかも実用的な現実性を無視せずに)解決するため、制御環境室でのラボ・テストと共にFEAソフトウェア・モ

デリングを使用するやり方を採用して、このデータシートに記載されている熱抵抗値を合理的に定義して相関をとります。(1)最初に、FEAソフトウェアを使用し、正しい材料係数に加えて正確な電力損失源の定義を使用することにより、LTM4686と指定のPCBの機械的形狀モデルを高精度で作成します。(2)このモデルにより、JESD51-9およびJESD51-12に適合するソフトウェア定義のJEDEC環境のシミュレーションを行い、様々な界面での電力損失熱流と温度計測値を予測します。これにより、JEDEC定義の熱抵抗値を計算できます。(3)モデルとFEAソフトウェアを使用してヒートシンクと空気流がある場合のLTM4686の熱性能を評価します。(4)これらの熱抵抗値を計算して分析し、ソフトウェア・モデル内で様々な動作条件によるシミュレーションを行った上で、徹底した実験室評価を実施してシミュレーションで得た状態を再現します。具体的には、制御環境室内で、シミュレーションと同じ電力損失でデバイスを動作させながら、熱電対を使用して温度を測定します。この作業をした上で適切な評価を行うと、このデータシートのピン配置のセクションに示すディレーティング曲線一式に加えて、このデータシートのピン配置のセクションに示す、十分に相関のとれたJESD51-12定義の $\theta$ の値が得られます。

図11、図12、図13にそれぞれ示す1V、1.8V、3.3Vの電力損失曲線を図14～図25の負荷電流ディレーティング曲線と組み合わせて使用することにより、様々なヒートシンク条件および空気流条件でLTM4686の熱抵抗 $\theta_{JA}$ を概算することができます。これらの熱抵抗は、LTM4686の実証済みの性能をDC2722Aハードウェア上で表しています。寸法が99mm × 133mm × 1.6mmの4層FR4 PCBの重量は、銅箔を外側

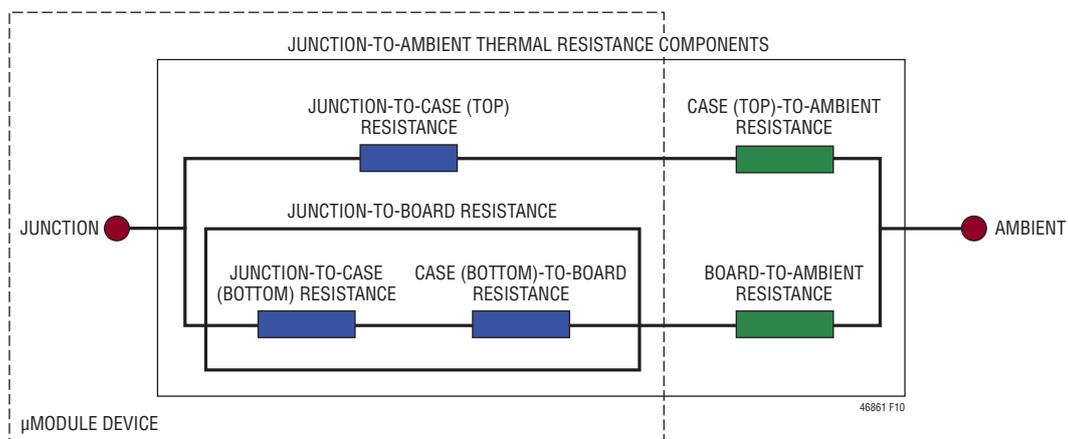


図10. JESD51-12の熱係数の図解

## アプリケーション情報

と内側に使用した場合、それぞれ2オンスと1オンスです。電力損失曲線は室温で測定されますが、周囲温度に応じた倍率で増加します。これらの近似倍率を表14に示します(中間の温度については、インターポレーションによって倍率を計算します)。これらのデレレーティング曲線は、LTM4686の並列接続出力の初期供給電流を最大20Aに設定して、周囲温度25°Cでプロットされています。出力電圧は1V、1.8V、および3.3Vです。これらの数値が選ばれたのは、低めおよび高めの出力電圧範囲を含むようにして、熱抵抗の相関をとるためです。熱モデルは、恒温槽での数回の温度計測と熱モデリング解析から得られます。ジャンクション温度は、空気流の有無、熱伝導性接着テープによるヒートシンクの取り付けの有無を条件として、周囲温度が高くなる間にモニタされます。デレレーティング曲線には、周囲温度の変化に応じた電力損失の増加が加味されます。周囲温度が上昇する一方で出力電流つまり電力が減少する間、ジャンクション温度は最大120°Cに維持されます。周囲温度を上げながら出力電流を減らすと、内部モジュールの損失が減少します。モニタされた120°Cのジャンクション温度から周囲動作温度を差し引いた値は、どれだけのモジュール温度の上昇を許容できるかを規定します。図19の例で示すように、空気流もヒートシンクもない条件で周囲温度が約65°Cのとき、負荷電流は約12.3Aにデレレーティングされ、12V入力、1.8V/12.3A出力の条件では、室温(25°C)での電力損失は約3.8Wになります。4.3Wの損失は、12V入力、1.8V/12.3A出力での電力損失曲線(図12)から得られる約3.8Wの室温での損失と、65°Cの周囲温度での1.125の倍率(表14参照)を掛けて計算します。120°Cのジャンクション温度から65°Cの周囲温度

を差し引き、その差の55°Cを4.3Wで割ると、12.8°C/Wという熱抵抗 $\theta_{JA}$ が得られます。この値は表16とよく一致しています。表15、表16、および表17は、空気流とヒートシンクの有無を条件として、1V出力、1.8V出力、および3.3V出力の等価熱抵抗を示しています。表15、表16、および表17で得られる様々な条件での熱抵抗に、周囲温度の関数として算出した電力損失を掛けると、周囲温度からの温度上昇値が得られ、この値から最大ジャンクション温度が得られます。室温での電力損失を代表的な性能特性のセクションの効率曲線から求めて、表14に示す周囲温度の倍率で調整することができます。

表14. 電力損失の倍率と周囲温度

周囲温度	電力損失の倍率
Up to 40°C	1.00
50°C	1.05
60°C	1.10
70°C	1.15
80°C	1.20
90°C	1.25
100°C	1.30
110°C	1.35
120°C	1.40

## アプリケーション情報

表 15. 1.0V 出力

ディレーティング曲線	V <sub>IN</sub> (V)	電力損失曲線	空気流 (LFM)	ヒートシンク	θ <sub>JA</sub> (°C/W)
Figure 14, Figure 15	5, 12	Figure 11	0	None	12.5
Figure 14, Figure 15	5, 12	Figure 11	200	None	9.8
Figure 14, Figure 15	5, 12	Figure 11	400	None	9.4
Figure 16, Figure 17	5, 12	Figure 11	0	BGA Heat Sink	12.3
Figure 16, Figure 17	5, 12	Figure 11	200	BGA Heat Sink	9.6
Figure 16, Figure 17	5, 12	Figure 11	400	BGA Heat Sink	9.0

表 16. 1.8V 出力

ディレーティング曲線	V <sub>IN</sub> (V)	電力損失曲線	空気流 (LFM)	ヒートシンク	θ <sub>JA</sub> (°C/W)
Figure 18, Figure 19	5, 12	Figure 12	0	None	12.6
Figure 18, Figure 19	5, 12	Figure 12	200	None	10.1
Figure 18, Figure 19	5, 12	Figure 12	400	None	9.4
Figure 20, Figure 21	5, 12	Figure 12	0	BGA Heat Sink	12.4
Figure 20, Figure 21	5, 12	Figure 12	200	BGA Heat Sink	9.7
Figure 20, Figure 21	5, 12	Figure 12	400	BGA Heat Sink	8.6

表 17. 3.3V 出力

ディレーティング曲線	V <sub>IN</sub> (V)	電力損失曲線	空気流 (LFM)	ヒートシンク	θ <sub>JA</sub> (°C/W)
Figure 22, Figure 23	5, 12	Figure 13	0	None	12.0
Figure 22, Figure 23	5, 12	Figure 13	200	None	9.7
Figure 22, Figure 23	5, 12	Figure 13	400	None	8.8
Figure 24, Figure 25	5, 12	Figure 13	0	BGA Heat Sink	11.5
Figure 24, Figure 25	5, 12	Figure 13	200	BGA Heat Sink	8.9
Figure 24, Figure 25	5, 12	Figure 13	400	BGA Heat Sink	8.1

表 18. ヒートシンクのメーカー (熱伝導性接着テープを事前に装着済み)

ヒートシンクのメーカー	製品番号	Web サイト
Cool Innovations	3-0504035UT411	www.coolinnovations.com

表 19. 熱伝導性接着テープのメーカー

熱伝導性接着テープのメーカー	製品番号	Web サイト
Chomerics	T411	www.chomerics.com

## アプリケーション情報

表 20. LTM4686 のチャンネル出力電圧応答と部品の表 5A の負荷ステップ (5A/μs)。代表的な測定値

C <sub>OUTH</sub> のメーカー		製品番号			C <sub>OUTL</sub> のメーカー		製品番号								
AVX		12106D107MAT2A (100 μF, 6.3V, 1210 Case Size)			Sanyo POSCAP		6TPF330M9L (330 μF, 6.3V, 9mΩ ESR, D3L Case Size)								
Murata		GRM32ER60J107ME20L (100 μF, 6.3V, 1210 Case Size)			Sanyo POSCAP		6TPD470M (470 μF, 6.3V, 10mΩ ESR, D4D Case Size)								
Taiyo Yuden		JMK325BJ107MM-T (100 μF, 6.3V, 1210 Case Size)			Sanyo POSCAP		2R5TPE470M9** (470 μF, 2.5V, 9mΩ ESR, D2E Case Size)								
TDK		C3225X5R0J107MT (100 μF, 6.3V, 1210 Case Size)			Sanyo POSCAP		6TPF470MAH (470 μF, 6.3V, 10mΩ ESR, D4 Case Size)								

V <sub>OUTn</sub> (V)	V <sub>INn</sub> (V)	参照回路*	C <sub>OUTHn</sub> (セラミック出力コンデンサ)	C <sub>OUTLn</sub> (バルク出力コンデンサ)	COMP <sub>na</sub> を COMP <sub>nb</sub> に接続? (内部ループ補償)	R <sub>THn</sub> (外部ループ補償) (kΩ)	C <sub>THn</sub> (外部ループ補償) (nF)	f <sub>sw</sub> (kHz)	SGND までの F <sub>SWPHCFG</sub> のピンストラップ抵抗 (表4) (kΩ)	SGND までの V <sub>OUTnCFG</sub> のピンストラップ抵抗 (表2) (kΩ)	SGND までの V <sub>TRIMnCFG</sub> のピンストラップ抵抗 (表3) (kΩ)	トランジェント時の低下電圧 (0A → 5A) (mV)	ピーク to ピーク変動 (0A → 5A) (mV)	回復時間 (μs)
0.9	5	Test Ckt.2	100 μF × 4	None	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	425	18.0	1.65	None	41	84	45
0.9	5	Test Ckt.2	100 μF × 3	470 μF	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	425	18.0	1.65	None	33	70	50
0.9	12	Test Ckt.1	100 μF × 4	None	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	425	18.0	1.65	None	41	84	45
0.9	12	Test Ckt.1	100 μF × 3	470 μF	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	425	18.0	1.65	None	33	70	50
1	5	Test Ckt.2	100 μF × 4	None	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	500	None	2.43	0	43	88	45
1	5	Test Ckt.2	100 μF × 3	470 μF	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	500	None	2.43	0	34	70	50
1	12	Test Ckt.1	100 μF × 4	None	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	500	None	2.43	0	43	88	45
1	12	Test Ckt.1	100 μF × 3	470 μF	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	500	None	2.43	0	34	70	50
1.2	5	Test Ckt.2	100 μF × 4	None	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	500	None	3.24	0	44	89	45
1.2	5	Test Ckt.2	100 μF × 3	470 μF	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	500	None	3.24	0	36	71	50
1.2	12	Test Ckt.1	100 μF × 4	None	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	575	15.4	3.24	0	44	89	45
1.2	12	Test Ckt.1	100 μF × 3	470 μF	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	575	15.4	3.24	0	36	71	50
1.5	5	Test Ckt.2	100 μF × 4	None	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	575	15.4	4.22	None	46	90	45
1.5	5	Test Ckt.2	100 μF × 3	470 μF	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	575	15.4	4.22	None	36	72	50
1.5	12	Test Ckt.1	100 μF × 4	None	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	650	12.7	4.22	None	46	90	45
1.5	12	Test Ckt.1	100 μF × 3	470 μF	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	650	12.7	4.22	None	36	72	50
1.8	5	Test Ckt.2	100 μF × 4	None	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	650	12.7	6.34	0	46	91	45
1.8	5	Test Ckt.2	100 μF × 3	470 μF	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	650	12.7	6.34	0	36	72	50
1.8	12	Test Ckt.1	100 μF × 4	None	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	750	10.7	6.34	0	46	91	45
1.8	12	Test Ckt.1	100 μF × 3	470 μF	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	750	10.7	6.34	0	36	72	50
2.5	5	Test Ckt.2	100 μF × 4	None	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	650	12.7	10.7	None	47	97	45
2.5	5	Test Ckt.2	100 μF × 3	470 μF	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	650	12.7	10.7	None	36	72	50
2.5	12	Test Ckt.1	100 μF × 4	None	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	1000	9.09	10.7	None	47	97	45
2.5	12	Test Ckt.1	100 μF × 3	470 μF	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	1000	9.09	10.7	None	36	72	50
3.3	5	Test Ckt.2	100 μF × 4	None	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	650	12.7	22.6	None	78	163	50
3.3	5	Test Ckt.2	100 μF × 3	470 μF	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	650	12.7	22.6	None	60	115	60
3.3	12	Test Ckt.1	100 μF × 4	None	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	1000	9.09	22.6	None	78	163	50
3.3	12	Test Ckt.1	100 μF × 3	470 μF	Yes, cf. Figure 61	N/A	N/A	1000	9.09	22.6	None	60	116	60

\* 以下は全ての条件が対象: C<sub>NH</sub> の入力容量は、各チャンネル (V<sub>IN0</sub>, V<sub>IN1</sub>) につき 10 μF × 2。V<sub>IN</sub> の入力インピーダンスが非常に低い場合、C<sub>NL</sub> のバルク入力容量である 150 μF はオプション。

\*\* 出力電圧が最大 1.8V の場合は、2.5V 定格の出力コンデンサが適している。

## アプリケーション情報 - ディレーティング曲線

図30および図35のディレーティング曲線も参照。

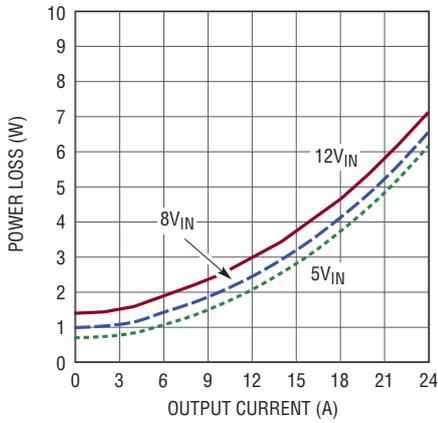


図11. 1V出力の電力損失曲線

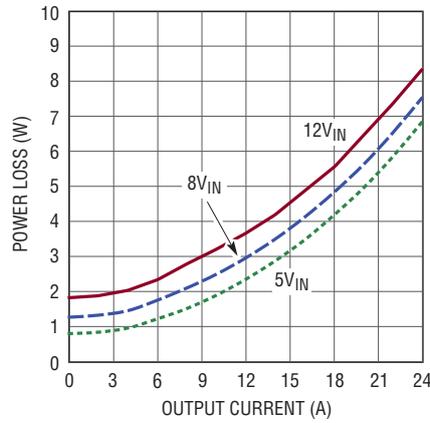


図12. 1.8V出力の電力損失曲線

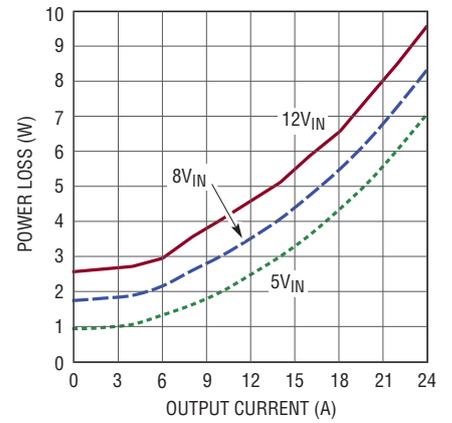


図13. 3.3V出力の電力損失曲線

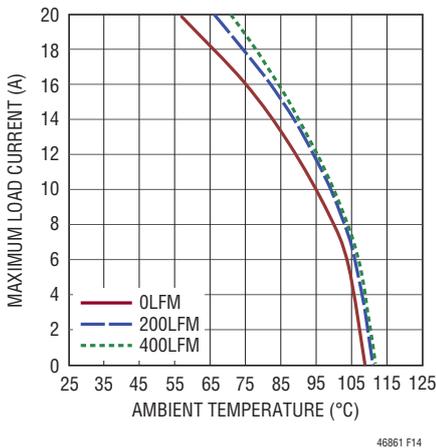


図14. 5V入力、1V出力のディレーティング曲線、ヒートシンクなし

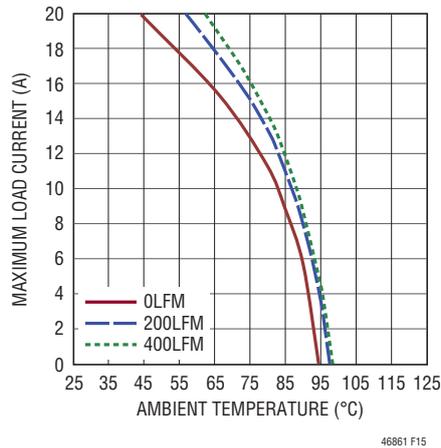


図15. 12V入力、1V出力のディレーティング曲線、ヒートシンクなし

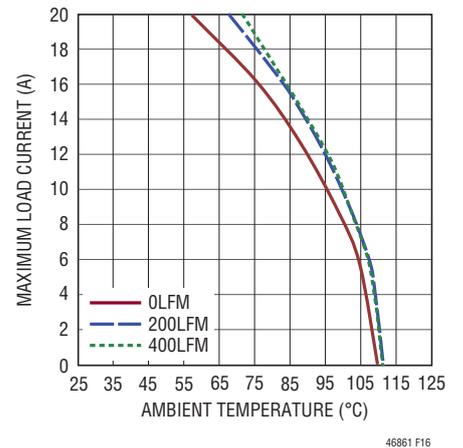


図16. 5V入力、1V出力のディレーティング曲線、ヒートシンクあり

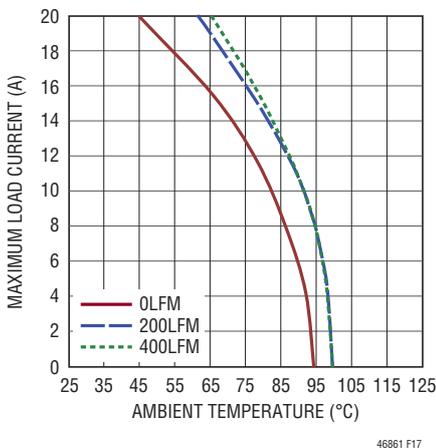


図17. 12V入力、1V出力のディレーティング曲線、ヒートシンクあり

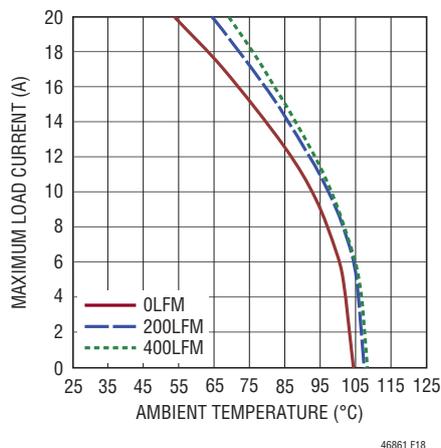


図18. 5V入力、1.8V出力のディレーティング曲線、ヒートシンクなし

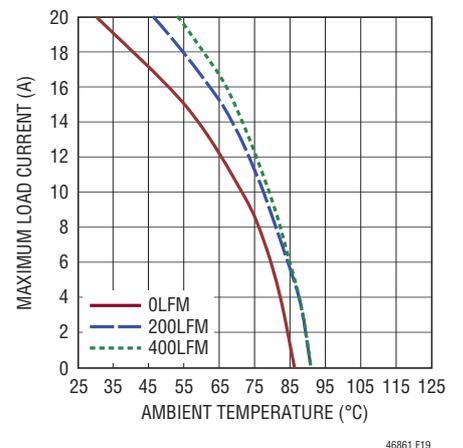


図19. 12V入力、1.8V出力のディレーティング曲線、ヒートシンクなし

## アプリケーション情報 - デイレーティング曲線

図30および図35のデイレーティング曲線も参照。

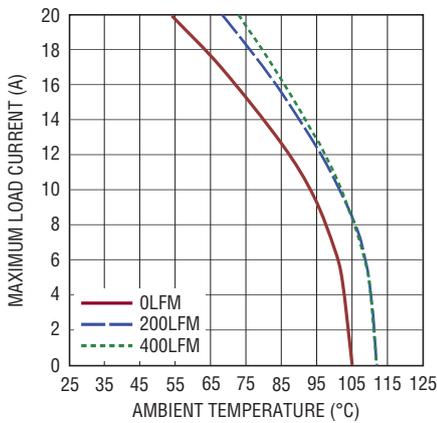


図20. 5V入力、1.8V出力のデイレーティング曲線、ヒートシンクあり

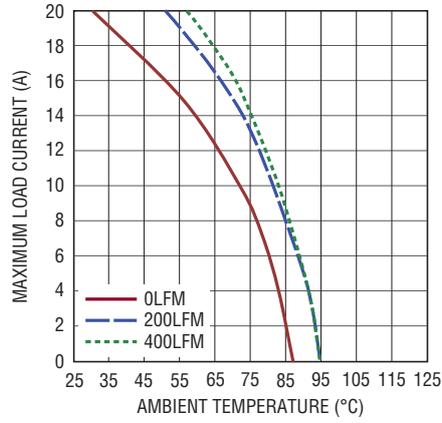


図21. 12V入力、1.8V出力のデイレーティング曲線、ヒートシンクあり

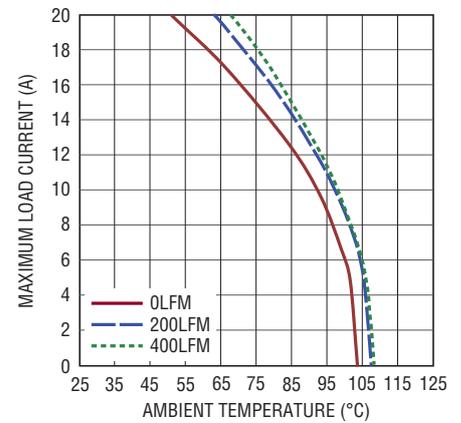


図22. 5V入力、3.3V出力のデイレーティング曲線、ヒートシンクなし

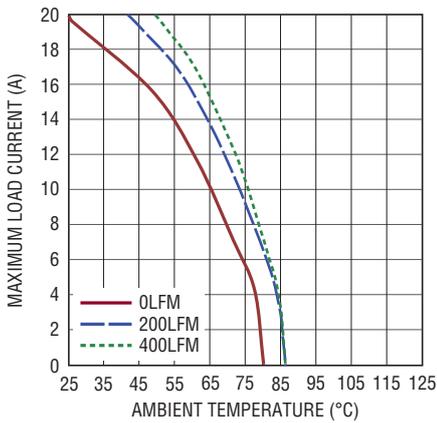


図23. 12V入力、3.3V出力のデイレーティング曲線、ヒートシンクなし、  
図35参照

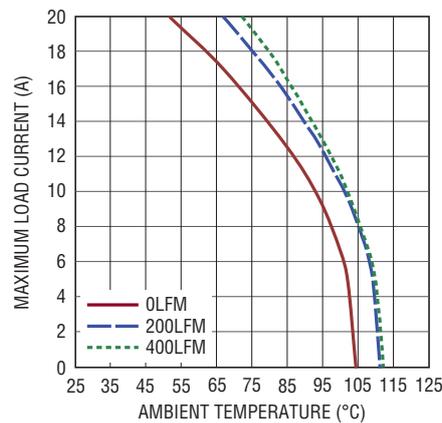


図24. 5V入力、3.3V出力のデイレーティング曲線、ヒートシンクあり

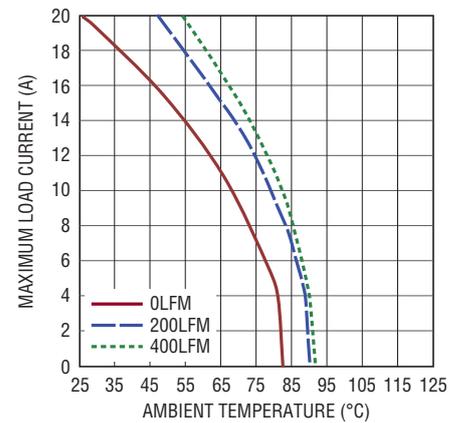


図25. 12V入力、3.3V出力のデイレーティング曲線、ヒートシンクあり、  
図35参照

## アプリケーション情報

### EMI性能

$SW_n$ ピンは、LTM4686のパワー段にあるパワーMOSFETの中間点に接続されています。

$SW_n$ とGNDの間にオプションの直列RCネットワークを接続すると、切替え電流経路内の寄生インダクタンスと寄生容量によって発生する高周波(約30MHz以上)のスイッチ・ノード・リングングを減衰させることができます。このRCネットワークは寄生成分による共振を減衰(抑制)するのでスナバ(抑制)回路と呼ばれますが、代償として電力損失が大きくなります。

スナバ回路を使用するには、まずこの動作に割り当てる電力と、スナバ回路の実装に利用できるPCBの面積を決めます。例えば、PCBのスペースで低インダクタンスの1W抵抗を使用できる場合、安全を見込んで600mW ( $P_{SNUB}$ )にデレーティングしたとすると、スナバ回路ネットワークでのコンデンサ( $C_{SW}$ )は次式で計算されます。

$$C_{SW} = \frac{P_{SNUB}}{V_{INn(MAX)}^2 \cdot f_{SW}}$$

ここで、 $V_{INn(MAX)}$ はこのアプリケーションにおけるパワー段への入力( $V_{INn}$ )の最大入力電圧であり、 $f_{SW}$ はDC/DCコンバータの動作時のスイッチング周波数です。 $C_{SW}$ の材質はNPO、COG、またはX7Rタイプ(以上)のものにします。

この結果、スナバ抵抗( $R_{SW}$ )の値は次式で与えられます。

$$R_{SW} = \sqrt{\frac{5nH}{C_{SW}}}$$

スナバ抵抗は、低ESLで、スナバ回路に生じるパルス電流に耐えられるものにします。通常は $0.7\Omega \sim 4.2\Omega$ の範囲内の値です。

### 安全性に関する検討事項

LTM4686モジュールでは、 $V_{IN}$ と $V_{OUT}$ の間が電氣的に絶縁されていません。内部にヒューズはありません。必要に応じて、最大入力電流の2倍の定格の低速溶断ヒューズを使って各ユニットを致命的損傷から保護してください。

内部上側MOSFETの障害による過電圧状態の間、レギュレータへの電流を制限するために、ヒューズまたは回路ブレーカを選択する必要があります。内部上側MOSFETに障害が発生した場合、これをオフするだけでは過電圧は解消されません。このため、内部下側MOSFETがオンしつづけて負荷の保護を試みます。このような障害状態では、障害が発生した内部上側MOSFETとイネーブされた内部下側MOSFETを通して、入力電圧源からグラウンドに非常に大きな電流が流れます。この電流によって、入力電圧源がこのシステムに供給できる電力量に応じて、過度の熱が発生したり、基板に損傷を与えたりする可能性があります。このような状況に対する2次的な障害保護として、ヒューズまたは回路ブレーカを使用できます。デバイスは過電流保護機能と過熱保護機能をサポートしています。

### レイアウトのチェックリスト/例

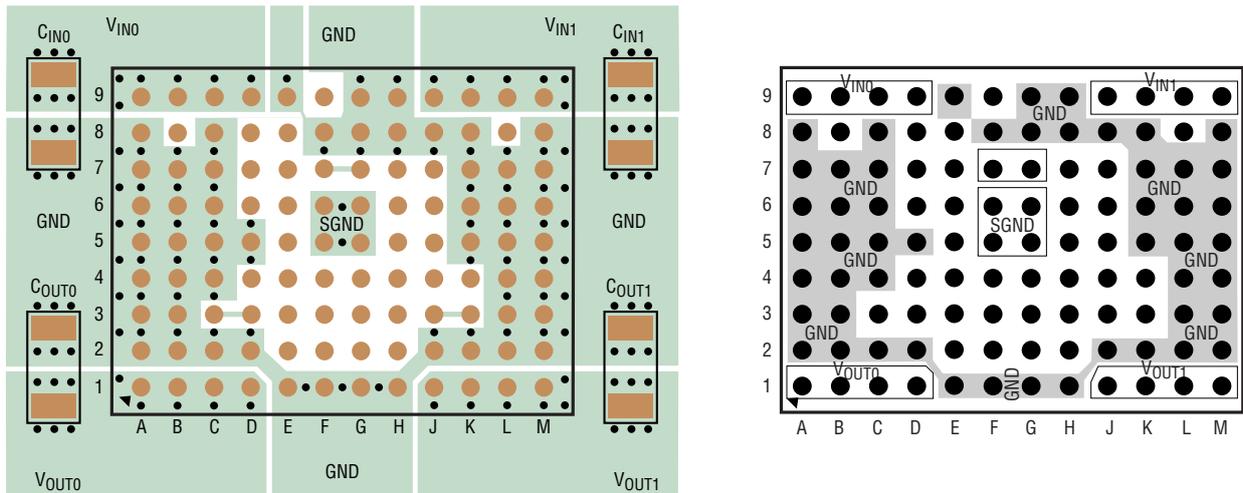
LTM4686は高度に集積化されているので、PCB基板のレイアウトが非常に簡単です。ただし、電氣的性能と熱的性能を最適化するには、更にレイアウト上の配慮がいくつか必要です。

- $V_{INn}$ 、GNDおよび $V_{OUTn}$ を含む大電流経路では、PCBの銅箔面積を広くします。PCBの導通損失と熱ストレスを最小に抑えるのに役立ちます。
- 入力と出力の高周波用セラミック・コンデンサを $V_{INn}$ 、GND、および $V_{OUTn}$ の各ピンに隣接させて配置し、高周波ノイズを最小に抑えます。
- モジュールの下に専用の電源グラウンド層を配置します。
- ビアの導通損失を最小限に抑え、モジュールの熱ストレスを減らすため、トップ層と他の電源層の間の相互接続に複数のビアを使用します。
- 充填ビアまたはメッキビアでない限り、パッドの上に直接ビアを置かないでください。
- 信号ピンに接続されている部品には、SGNDの別の銅箔プレーンを使用します。SGNDはLTM4686の近くのGNDに接続します。

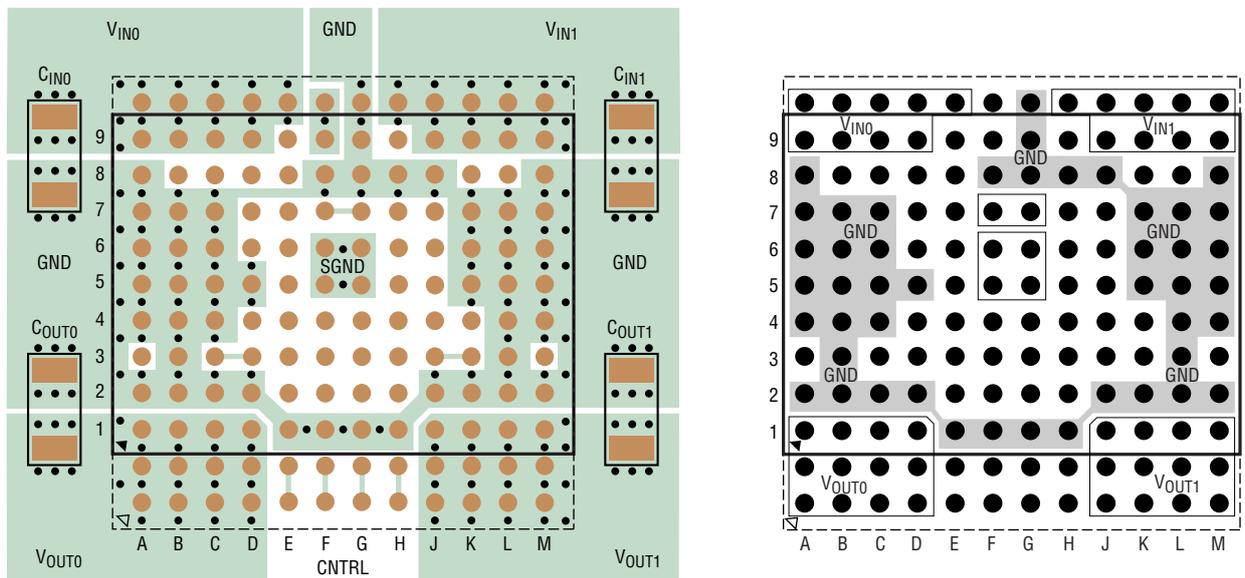
## アプリケーション情報

- 並列モジュールの場合は、図31に示すように、 $V_{OUTn}$ 、 $V_{OSNS0^+}/V_{OSNS^-}$ 、あるいは $V_{OSNS1}/SGND$ の電圧検出差動ペア線、 $RUN_n$ 、 $\overline{GPIO}_n$ 、 $COMP_{na}$ 、 $SYNC$ 、および $SHARE\_CLK$ ピンを互いに接続します。
- 信号ピンからは、モニタリング用にテスト・ポイントを引き出してください。

LTM4686の推奨レイアウトの良い例を図26(a)に示します。柔軟性向上のため、LTM4686は、より高く大型の姉妹モジュールであるLTM4676A(デュアル13A)およびLTM4677(デュアル18A)の差し込み互換品になっています。これは、図26(b)で推奨されているレイアウトに示すとおりです。



(a) PCB Layout for LTM4686 and LTM4675, Package Top View



(b) PCB Layout to Accommodate Any of LTM4686 or LTM4675 or LTM4676A or LTM4677 Modules

46861 F26ab

図26. 推奨のPCBレイアウト、パッケージ上面図

## 代表的なアプリケーション

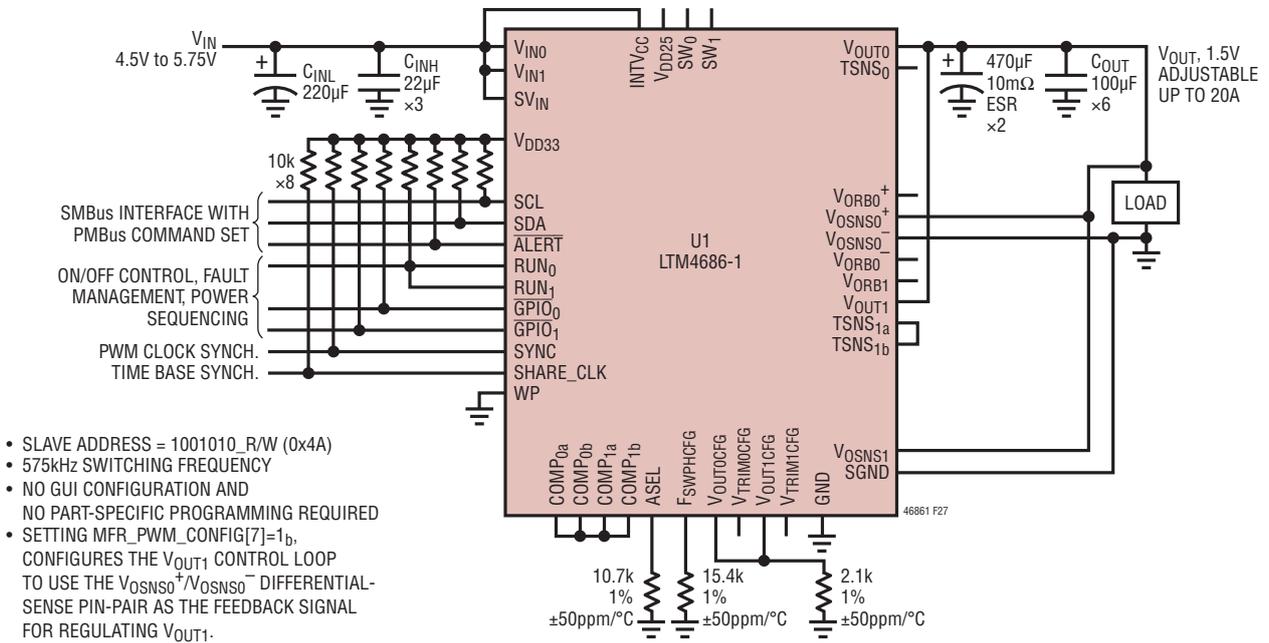
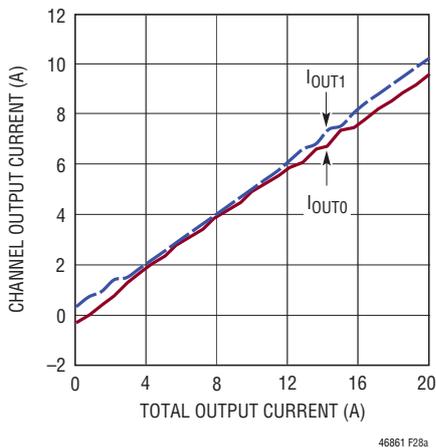
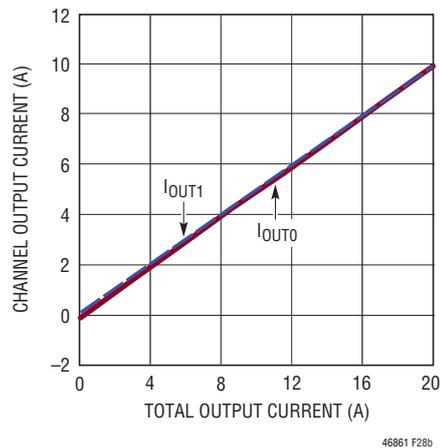


図 27. I<sup>2</sup>C/SMBus/PMBus シリアル・インターフェースを備えた 20A、1.5V 出力の DC/DC  $\mu$ Module レギュレータ



(28a) 5V 入力、図 27 の回路



(28b) 12V 入力、図 27 の回路で U1 に LTM4686 を取り付け、INTV<sub>CC</sub> をオープンにして、V<sub>OUT</sub> は 1V に指定

図 28. LTM4686 のチャンネルの電流分担性能

代表的なアプリケーション

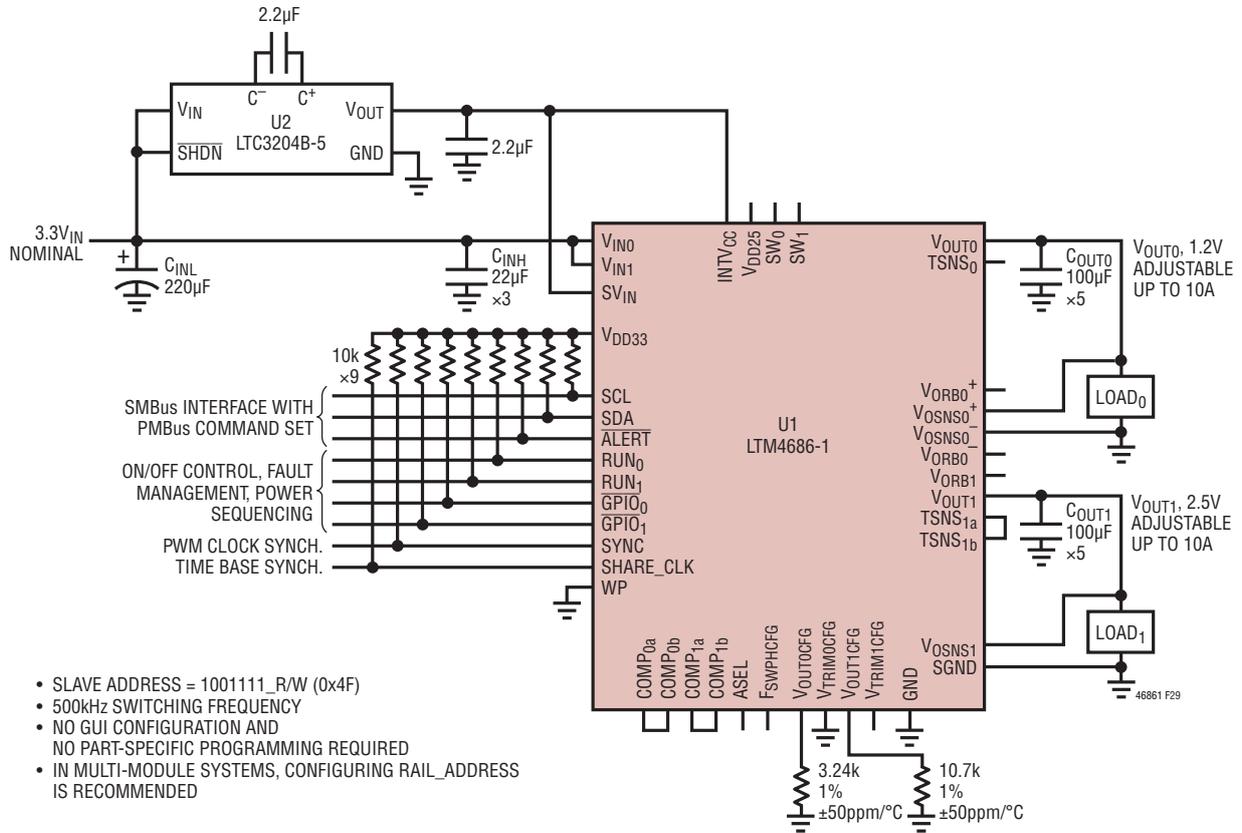
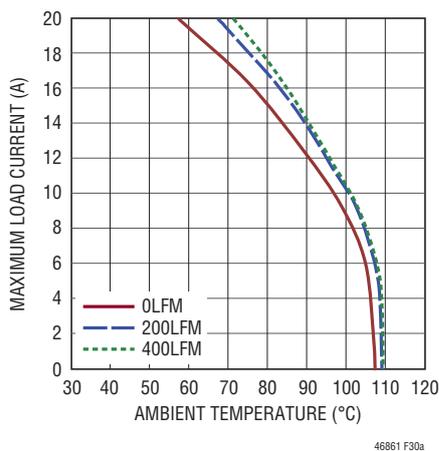
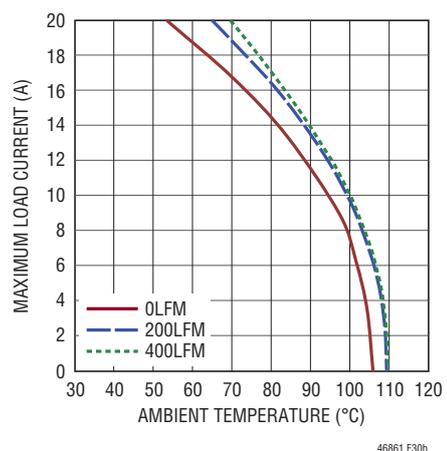


図29. 3.3V 電源入力から生成され、i<sup>2</sup>C/SMBus/PMBus シリアル・インターフェースを備えた 10A、1.2V 出力および 2.5V 出力



(30a) シングル 20A、1V 出力、ヒートシンクなし



(30b) シングル 20A、1.8V 出力、ヒートシンクなし

図30. 熱ディレーティング曲線、並列出力動作に合わせて変更した図29の回路、出力はコマンドで同じ出力電圧を指定。DC2722 でテスト

## 代表的なアプリケーション

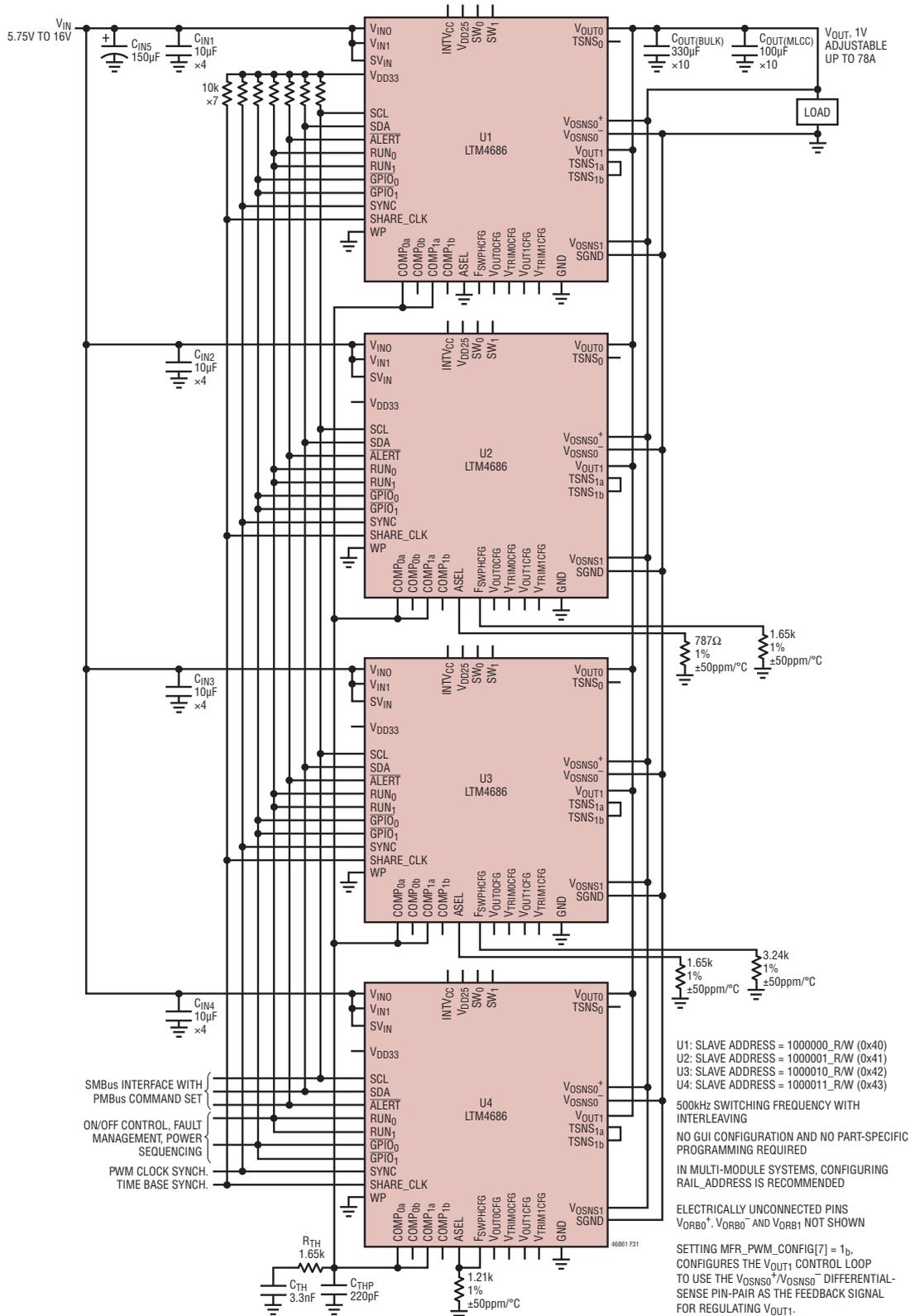


図31. 4つのLTM4686の並列接続による1V出力、最大78A。2線I<sup>2</sup>C/SMBus/PMBusシリアル・インターフェースを介してアクセス可能なパワー・システム・マネージメント機能内蔵。DC1989B-Cで評価、LTM4686モジュールを個別仕様で搭載

代表的なアプリケーション

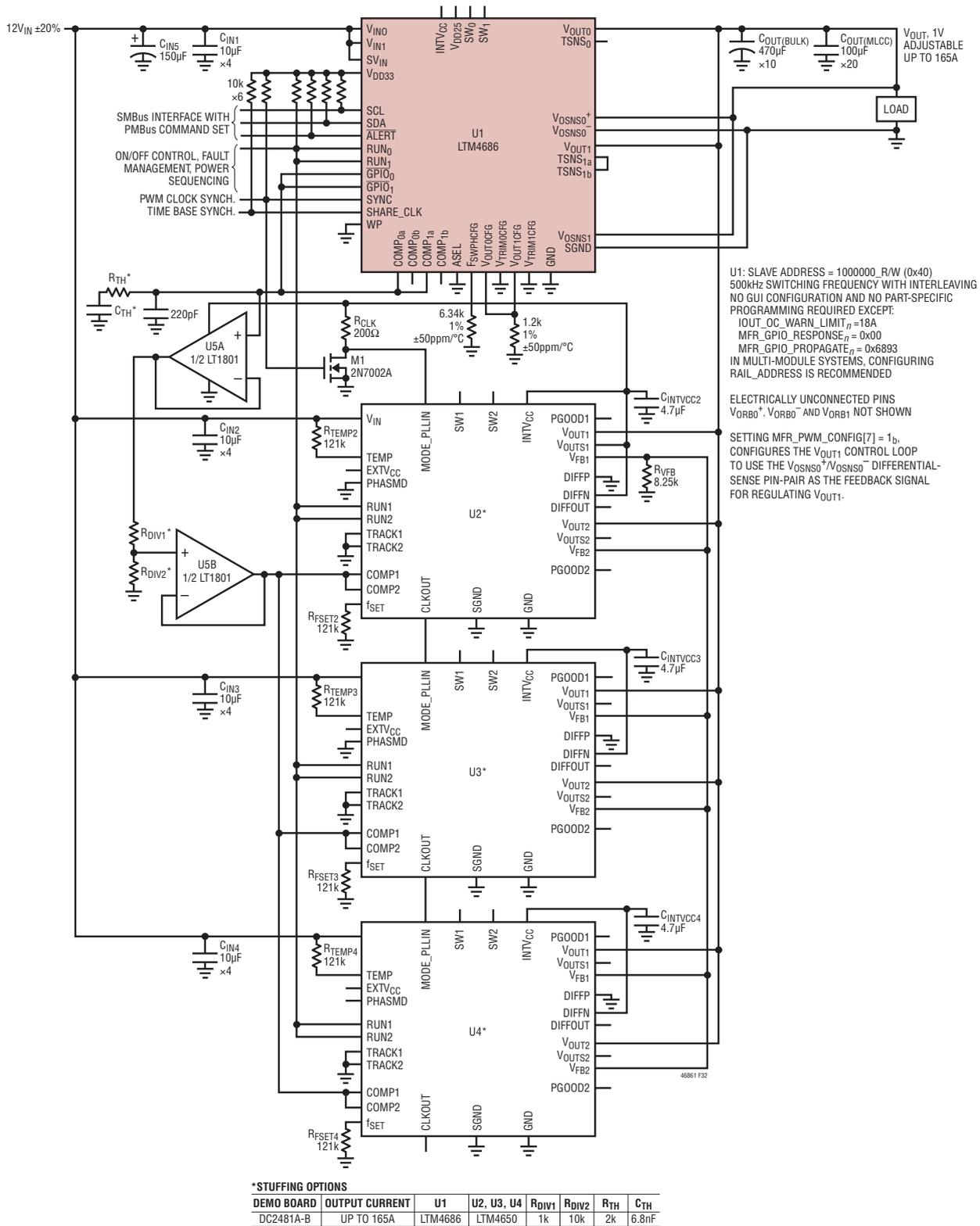
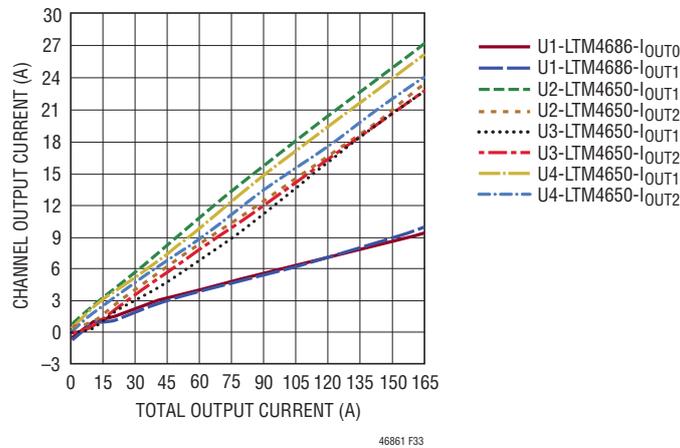


図 32. 3つのLTM4650と並列に動作する1つのLTM4686(デモ基板DC2481A-B、U1についてはLTM4686モジュールを個別仕様で搭載)、1V/最大165Aの出力を生成。パワー・システム・マネージメント機能をLTM4686を通じて利用可能。図33を参照。LTM4686をLTM4631、LTM4620A、LTM4630と併用するための適応回路については、弊社にお問い合わせください。

## 代表的なアプリケーション



3つのLTM4650と並列接続したLTM4686(最大出力165A)

図33. 図32の回路の12V入力での電流分担性能

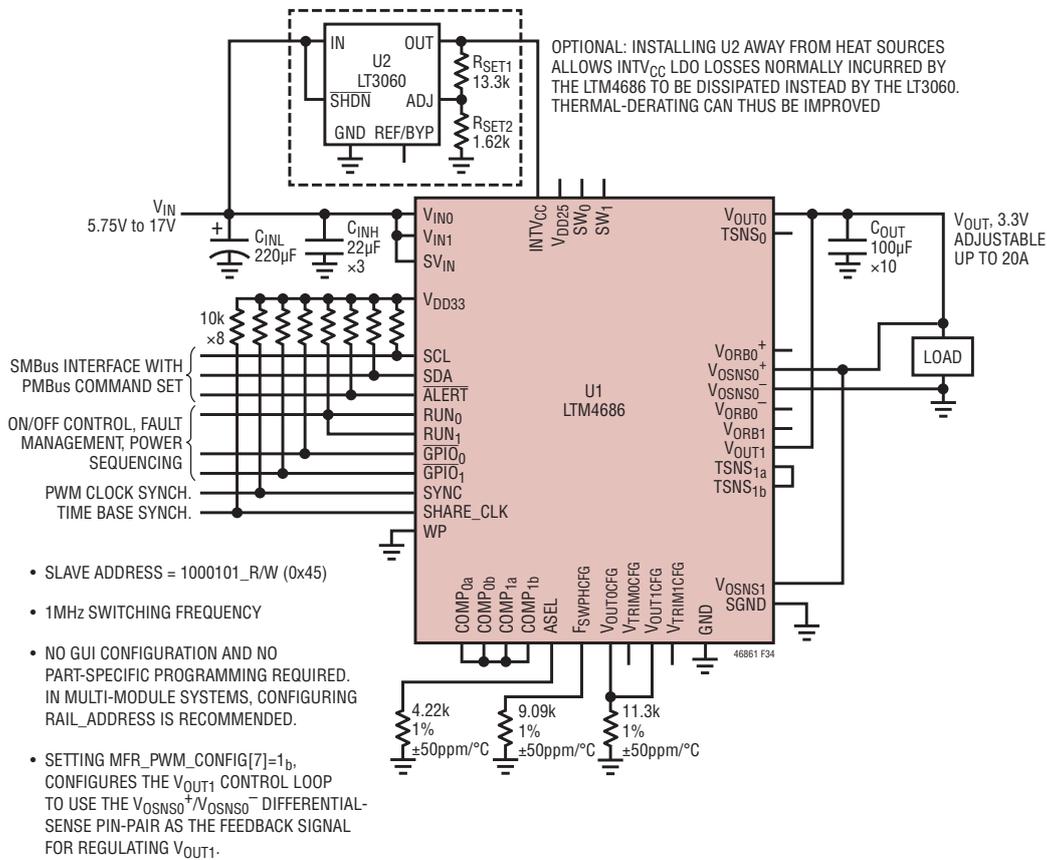
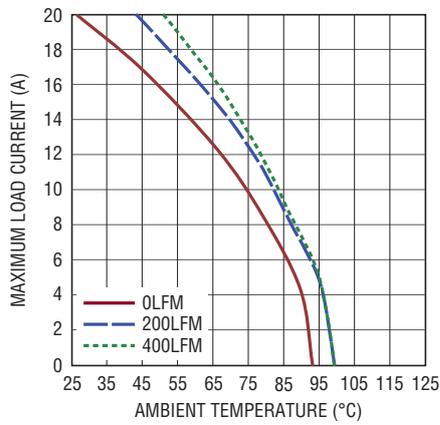
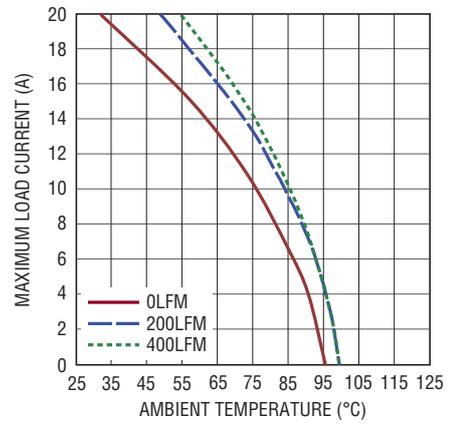


図34. シリアル・インターフェースを備えた20A、3.3V出力のDC/DC μModuleレギュレータ

## 代表的なアプリケーション



(35a) 12V 入力、ヒートシンクなし



(35b) 12V 入力、表18のヒートシンクを取り付けた場合

図 35. 図 34 の回路の出カディレーティング曲線。DC2722 に U2、R<sub>SET1</sub>、および R<sub>SET2</sub> を取り付けてテストを実施。  
 図 23 および 25 のディレーティング曲線と比較すること。

## 付録 A

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

PMBus 2線インターフェースはSMBusの拡張版です。SMBusは、I<sup>2</sup>Cを基盤として構築され、両者の間にはタイミング、DCパラメータ、プロトコルにいくつかのわずかな差異が存在します。PMBus/SMBusプロトコルはバス・エラーを防ぐタイムアウトと、データの完全性を確保するオプションの packets・エラー・チェック(PEC)機能を備えているので、PMBus/SMBusプロトコルはシンプルなI<sup>2</sup>Cのバイト・コマンドより堅牢です。通常、I<sup>2</sup>C通信用に構成できるマスタ・デバイスは、ハードウェアまたはファームウェアにわずかな変更を加えるか、まったく変更することなくPMBus通信に使用できます。反復スタート(リスタート)は、全てのI<sup>2</sup>Cコントローラでサポートされているわけではありませんが、SMBus/PMBusの読出しには必要です。汎用I<sup>2</sup>Cコントローラを使用

する場合は、反復スタートをサポートしているか確認してください。

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

SMBusとI<sup>2</sup>Cの相違点については、『System Management Bus (SMBus) Specification Version 2.0』の付録B「Differences Between SMBus and I<sup>2</sup>C」を参照してください。

アナログ・デバイセズのデータシート、アプリケーション・ノート、およびLTpowerPlay GUIで使用されているPMBusデータ・フォーマットの用語および略語(例えば、付録C参照)を表21に示します。

表21. データ・フォーマット用語

PMBusの用語	意味	用語の対象:仕様、GUI、アプリケーション・ノート	コマンド概要の表での略語
Linear	Linear	Linear_5s_11s	L11
Linear (for Voltage Related Commands)	Linear	Linear_16u	L16
Direct	Direct-Manufacturer Customized	DirectMfr	CF
Hex		Hex	I16
ASCII		ASCII	ASC
	Register Fields	Reg	Reg

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

## 付録B

### PMBus シリアル・デジタル・インターフェース

LTM4686は、標準のPMBusシリアル・バス・インターフェースを使用してホスト(マスタ)と通信します。バス上の信号のタイミング関係をタイミング図(図36)に示します。バスを使用していないときは、2本のバスライン(SDAとSCL)をハイにする必要があります。これらのラインには外付けのプルアップ抵抗または電流源が必要です。

LTM4686はスレーブ・デバイスです。マスタは以下のフォーマットでLTM4686と通信できます。

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

以下のPMBusプロトコルがサポートされています。

- バイト書込み、ワード書込み、バイト送信、ブロック書込み
- バイト読出し、ワード読出し、ブロック読出し
- ブロック書込み – ブロック読出しプロセス呼び出し
- アラート応答アドレス

図38～図54に前述のPMBusプロトコルを示します。全てのトランザクションはPEC(パケット・エラー・チェック)およびGCP(グループ・コマンド・プロトコル)をサポートしています。ブロック読出しは、255バイトの戻りデータに対応しています。

したがって、障害ログを読み出すときにはPMBusのタイムアウトを延長できます。

図37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の下に示す値は、そのフィールドに対する必須の値です。

PMBusによって実装されるデータ・フォーマットは次のとおりです。

- マスタ・トランスミッタがスレーブ・レシーバーに送信します。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します。最初のアクノレッジ(スレーブ・レシーバーによる)の時点で、マスタ・トランスミッタはマスタ・レシーバーになり、スレーブ・レシーバーがスレーブ・トランスミッタになります。
- 複合フォーマット。伝送中に方向が変化する時点で、マスタはスタート条件とスレーブ・アドレスの両方を反復しますが、その際R/Wビットを反転させます。その場合、マスタ・レシーバーは伝送の最後のバイトと停止条件に対してNACKを生成して伝送を中止します。

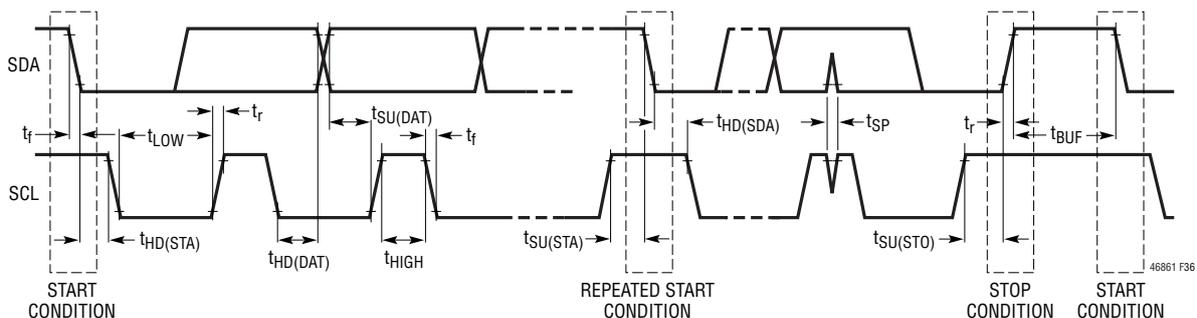


図36. タイミング図



付録B

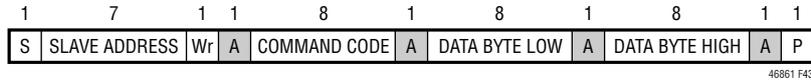


図43. ワード書き込みプロトコル

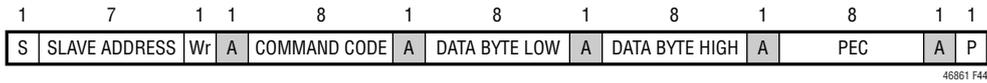


図44. PEC 付きワード書き込みプロトコル

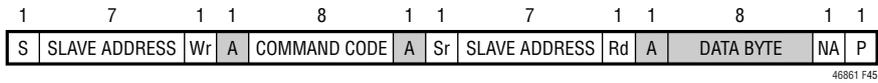


図45. バイト読出しプロトコル

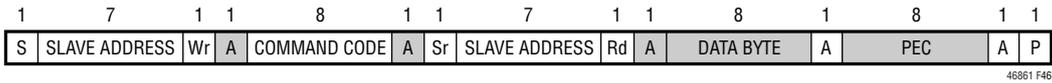


図46. PEC 付きバイト読出しプロトコル

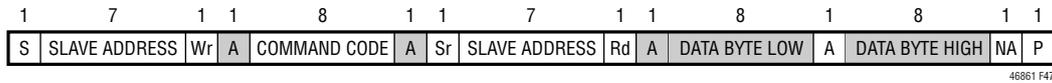


図47. ワード読出しプロトコル

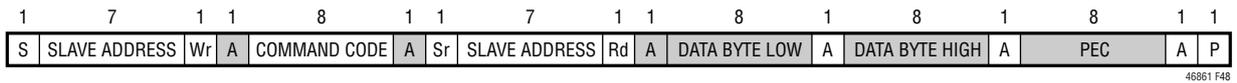


図48. PEC 付きワード読出しプロトコル

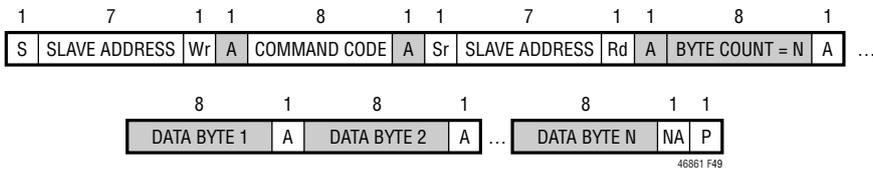


図49. ブロック読出しプロトコル

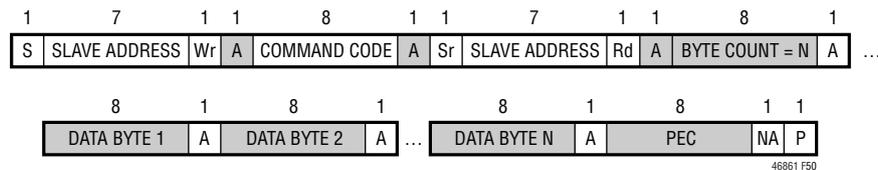


図50. PEC 付きブロック読出しプロトコル

付録B

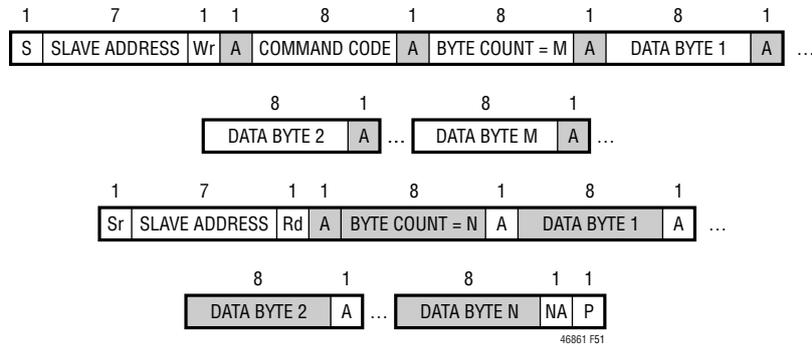


図51. ブロック書込み - ブロック読出しプロセス呼び出し

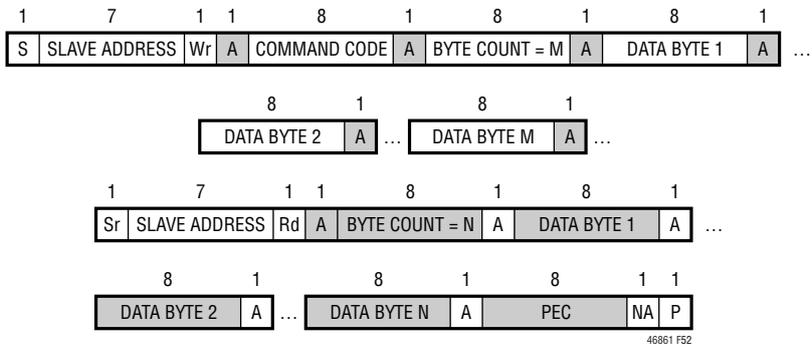


図52. ブロック書込み - PEC付きブロック読出しプロセス呼び出し

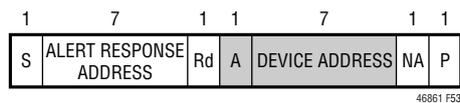


図53. アラート応答アドレス・プロトコル

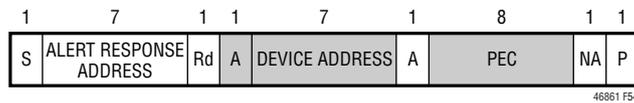


図54. PEC付きアラート応答アドレス・プロトコル

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

## アドレス指定と書き込み保護

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
PAGE	0x00	任意のページ指定コマンドに対して現在選択されているチャンネル(ページ)。	R/W Byte	N	Reg			0x00
PAGE_PLUS_WRITE	0x05	指定されたページにコマンドを直接書き込みます。	W Block	N				
PAGE_PLUS_READ	0x06	指定されたページからコマンドを直接読み出します。	Block R/W Process	N				
WRITE_PROTECT	0x10	意図しないPMBusの変更からデバイスを保護します。	R/W Byte	N	Reg		Y	0x00
MFR_ADDRESS	0xE6	右揃えの7ビット・デバイス・アドレスを指定します。	R/W Byte	N	Reg		Y	0x4F
MFR_RAIL_ADDRESS	0xFA	PolyPhase 出力を構成するチャンネルに対して一意の右揃え7ビット・デバイス・アドレスを指定します。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x80

関連コマンド: MFR\_COMMON。

**PAGE**

PAGE コマンドは、MFR\_ADDRESS または GLOBAL デバイス・アドレスのいずれか一方の物理アドレスだけで両方の PWM チャンネルの設定、制御、およびモニタを実行できます。各 PAGE には、一方の PWM チャンネルの動作メモリが含まれます。

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

PAGE を 0xFF に設定すると、以下の全てのページ化コマンドが両方の出力に適用されます。PAGE を 0xFF に設定すると、LTM4686 は、PAGE が 0x00 (チャンネル 0 の結果) に設定されたかのように読出しコマンドに応答します。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

**PAGE\_PLUS\_WRITE**

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

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

このコマンドはブロック書き込みプロトコルを使用します。2 バイトのデータを伴うコマンドを送信する PEC 付き PAGE\_PLUS\_WRITE コマンドの一例を図 55 に示します。

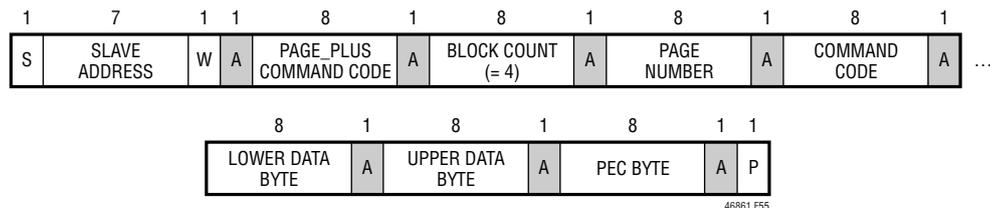


図 55. PAGE\_PLUS\_WRITE の例

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

### PAGE\_PLUS\_READ

PAGE\_PLUS\_READ コマンドは、デバイス内にページを設定し、コマンドを送信して、その後コマンドによって返されたデータを1つの通信パケットで全て読み出す機能を提供します。

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

このコマンドは「ブロック書込み – ブロック読出しプロセス呼び出し」プロトコルを使用します。PEC 付きの PAGE\_PLUS\_READ コマンドの一例を図 56 に示します。

注記：PAGE\_PLUS コマンドをネストすることはできません。PAGE\_PLUS コマンドは、別の PAGE\_PLUS コマンドの読出しまたは書込みに使用することはできません。これを試行すると、LTM4686 は PAGE\_PLUS パケット全体に NACK を返し、無効なデータやサポートされていないデータに対して CML 障害信号を出力します。

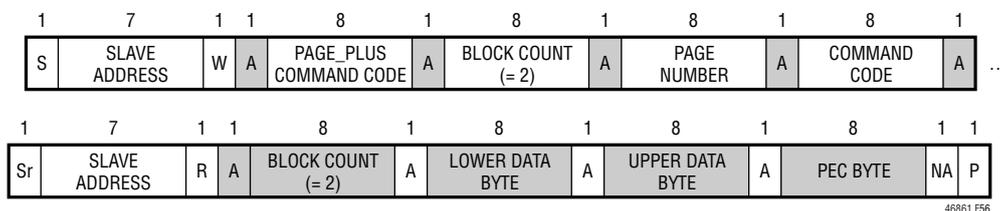


図 56. PAGE\_PLUS\_READ の例

### WRITE\_PROTECT

WRITE\_PROTECT コマンドは、LTM4686 デバイスへの書込みを制御するために使用します。このコマンドは、MFR\_COMMON コマンドで規定される WP ピンの状態は表示しません。WP ピンはこのコマンドの値より優先されます。ただし、WRITE\_PROTECT コマンドの方が厳しい場合を除きます。

バイト	意味
0x80	WRITE_PROTECT、PAGE、MFR_EE_UNLOCK、STORE_USER_ALL コマンドに対する書込みを除く、全ての書込みを無効化します。
0x40	WRITE_PROTECT、PAGE、MFR_EE_UNLOCK、MFR_CLEAR_PEAKS、STORE_USER_ALL、OPERATION、CLEAR_FAULTS コマンドに対する書込みを除く、全ての書込みを無効化する。個々の障害ビットは、STATUS レジスタのそれぞれのビットに 1 を書き込むことによってクリアできます。
0x20	WRITE_PROTECT、OPERATION、MFR_EE_UNLOCK、MFR_CLEAR_PEAKS、CLEAR_FAULTS、PAGE、ON_OFF_CONFIG、VOULT_COMMAND、STORE_USER_ALL に対する書込みを除く、全ての書込みを無効化します。個々の障害ビットは、STATUS レジスタのそれぞれのビットに 1 を書き込むことによってクリアできます。
0x10	予備、0 にする必要があります
0x08	予備、0 にする必要があります
0x04	予備、0 にする必要があります
0x02	予備、0 にする必要があります
0x01	予備、0 にする必要があります

WRITE\_PROTECT を 0x00 に設定すると、全てのコマンドへの書込みが有効になります。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

WPピンがハイの場合は、PAGE、OPERATION、MFR\_CLEAR\_PEAKS、MFR\_EE\_UNLOCK、CLEAR\_FAULTS コマンドがサポートされます。個々の障害ビットは、STATUSレジスタのそれぞれのビットに1を書き込むことによってクリアできる。

### MFR\_ADDRESS

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

このコマンドの値を0x80に設定すると、デバイスのアドレス指定は無効になります。グローバル・デバイス・アドレス(0x5Aおよび0x5B)を非活動状態にすることはできません。RCONFIGを無視するよう設定した場合(MFR\_CONFIG\_ALL[6]=1b)は、ASELピンを引き続き使用して、チャンネル・アドレスのLSBを決定します。ASELピンがオープンの場合、LTM4686はEEPROMに格納されたMFR\_ADDRESSの4つのLSBを使用するようになります。0x5A、0x5B、0x0C、0x7Cという値は推奨しません。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

### MFR\_RAIL\_ADDRESS

MFR\_RAIL\_ADDRESS コマンドを使用すると、デバイス・アドレスによって、PAGEで起動したチャンネルに直接アクセスできます。このコマンドの値は、単一電源レールに接続された全てのデバイスに対して共通にする必要があります。

このアドレスにはコマンドの書込みだけを実行してください。このアドレスからの読出しを実行した場合に、レール・デバイスが完全に同じ値で応答しないと、LTM4686はバス競合を検出して、CML通信障害を設定します。

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

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

## 汎用設定レジスタ

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
MFR_CHAN_CONFIG	0xD0	チャンネル固有の設定ビット。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x1D
MFR_CONFIG_ALL	0xD1	全てのページに共通の設定ビット。	R/W Byte	N	Reg		Y	0x09

### MFR\_CHAN\_CONFIG

アナログ・デバイセズの複数の製品に共通の汎用設定コマンドです。

ビット	意味
7	予備
6	予備
5	予備
4	RUNのロー状態を無効にします。このビットがアサートされると、オフが指示された場合、RUNピンにローのパルスが出力されません。
3	短サイクル。このビットがアサートされると、出力は、TOFF_DELAYまたはTOFF_FALLを待機している間オンするよう指示されていた場合、即座にオフになります。120ミリ秒のTOFF_MINが受け付けられると、デバイスはオンするよう指示されます。
2	SHARE_CLOCKの制御。SHARE_CLOCKをローに保持すると、出力はディスエーブルになります。
1	GPIO ALERTなし。GPIOを外からローにした場合、ALERTはローになりません。POWER_GOODまたはVOUT_UVUFのいずれかがGPIOに伝搬された場合は、このビットをアサートします。
0	MFR_RETRY_TIME処理に関するVOUTの減衰値条件を無効にします。このビットを0に設定すると、障害、OFF/ONコマンド、ハイからロー、更にハイへのRUNの切り替えなど、レールをオフにする動作に対しても、出力が事前設定値の12.5%より低い値に減衰する必要があります。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

**MFR\_CONFIG\_ALL**

アナログ・デバイセズの複数の製品に共通の汎用設定コマンドです。

ビット	意味
7	障害ログを有効にします
6	抵抗設定ピンを無視します
5	クイック・コマンド・メッセージのCML障害を無効にします
4	SYNC出力をディスエーブルする
3	255ミリ秒のタイムアウトを有効にします
2	PMBusの書込みが受け付けられるために必要な有効なPEC。このビットを設定しなかった場合、デバイスは無効なPECが指定されたコマンドを受け付けます。
1	PMBusクロック・ストレッチングの使用を可能にします
0	いずれかのRUNピンでローからハイへの遷移を有効にしてCLEAR_FAULTSコマンドを発行します

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

## オン/オフ/マージン

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
ON_OFF_CONFIG	0x02	RUNピンおよびPMBusバスのオン/オフ・コマンドの設定	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x1F
OPERATION	0x01	動作モードの制御オン/オフ、マージン・ハイおよびマージン・ロー	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x80
MFR_RESET	0xFD	電源の遮断が不要のコマンドによるリセット RESTORE_USER_ALLと同一	Send Byte	N				NA

**ON\_OFF\_CONFIG**

ON\_OFF\_CONFIGコマンドは、デバイスをオン/オフするために必要なRUN<sub>n</sub>ピンの入力とシリアル・バス・コマンドの組み合わせを設定します。これには、電源投入時にデバイスがどのように応答するかが含まれます。

表 22. サポート対象値

値	意味
0x1F	OPERATIONの値とRUN <sub>n</sub> ピンの両方がデバイスの起動/実行を指示する必要があります。コマンドでオフが指定されると、デバイスは即時のオフを実行します。
0x1E	OPERATIONの値とRUN <sub>n</sub> ピンの両方がデバイスの起動/実行を指示する必要があります。コマンドでオフが指定されると、デバイスはTOFF_コマンドの値を使用します。
0x17	コマンドでオフが指定された場合、即時オフによるRUN <sub>n</sub> ピンの制御を実行します。OPERATIONによるオン/オフ制御は無視されません。
0x16	コマンドでオフが指定された場合、TOFF_コマンドの値を使用したRUN <sub>n</sub> ピンの制御を実行します。OPERATIONによるオン/オフ制御は無視されます。

注記: 電力変換を開始するには、RUN<sub>n</sub>ピンをハイにすることが常に必要です。電力変換はRUN<sub>n</sub>をローにすると必ず停止します。

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

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

### OPERATION

OPERATION コマンドは、デバイスをオン/オフするために、RUN<sub>n</sub> ピンからの入力と組み合わせて使用します。また、デバイスの出力電圧をマージン電圧の上限または下限に設定する場合にも使用します。デバイスは、次の OPERATION コマンドまでか、RUN<sub>n</sub> ピンの状態の変化によって別のモードに切り替えられるまで、コマンド指定の動作モードにとどまります。デバイスが MARGIN\_LOW/HIGH 状態に保存されると、次の MFR\_RESET または RESTORE\_USER\_ALL または SV<sub>IN</sub> の電源入れ直し時にその状態まで上昇します。OPERATION コマンドを変更すると (例えば、ON を MARGIN\_LOW に変更すると)、出力は VOUT\_TRANSITION\_RATE によって設定された固定の勾配で変化します。デフォルトの動作コマンドはシーケンス・オフです。

マージン・ハイ (障害を無視) 動作およびマージン・ロー (障害を無視) 動作は LTM4686 ではサポートされていません。

デバイスはデフォルトでシーケンス・オフ状態になっています。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

**表 23. OPERATION コマンドの詳細レジスタ: On\_Off\_Config\_Use\_PMBus が Operation\_Control を有効にした場合の OPERATION データの内容**

記号	動作	値
ビット		
機能	Turn off immediately	0x00
	Turn on	0x80
	Margin Low	0x98
	Margin High	0xA8
	Sequence off	0x40

**OPERATION コマンドを使用しないでチャンネルのオンまたはオフを指示するように On\_Off\_Config を設定した場合の OPERATION データの内容**

記号	動作	値
ビット		
機能	Output at Nominal	0x80
	Margin Low	0x98
	Margin High	0xA8

注記: 予備の値を書き込もうとすると、CML 障害が発生する。

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

**MFR\_RESET**

このコマンドは、ユーザがLTM4686のリセット動作を実行する手段を提供します。RESTORE\_USER\_ALLと同一。

この書込み専用コマンドにはデータ・バイトはありません。

**PWM CONFIG**

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
MFR_PWM_MODE	0xD4	各チャンネルのPWMエンジンの設定	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xC3
MFR_PWM_CONFIG	0xF5	位相制御など、DC/DCコントローラの多くのパラメータを設定します。	R/W Byte	N	Reg		Y	0x10
FREQUENCY_SWITCH	0x33	コントローラのスイッチング周波数	R/W Word	N	L11	kHz	Y	500 0xFBE8

**MFR\_PWM\_MODE**

MFR\_PWM\_MODEコマンドを使用すると、PWMコントローラが不連続モード(パルス・スキップ・モード)または強制連続導通モードのどちらを使用するかをプログラムできます。

ビット	意味
7	ILIMITの範囲 0 - 低電流範囲 1 - 高電流範囲
6	サーボ・モードをイネーブルする
5	予備
4	ページ0のみ: TSNS <sub>1a</sub> で検出された温度の遠隔測定値の使用 0 - TSNS <sub>1a</sub> を介して検出された温度を使用して、チャンネル1によってデジタル化された電流検出情報を温度補正する。 1 - TSNS <sub>0</sub> を介して検出された温度を使用して、チャンネル1によってデジタル化された電流検出情報を温度補正する。TSNS <sub>1a</sub> に接続されているサーマル・センサーから得られる遠隔測定値は、必要に応じてモジュールの外部に出力できる。
3	予備
2	予備
1	電圧範囲 0 - 高電圧範囲、最大3.6V 1 - 低電圧範囲、最大2.75V
0	PWMモード 0 - 不連続モード 1 - 連続モード

チャンネルの電圧上昇がオンのときは、このコマンドの値に関係なく、PWMモードは必ず不連続モードになります。

このコマンドのビット[7]は、デバイスがIOUT\_OC\_FAULT\_LIMITコマンドの高範囲または低範囲のいずれに入っているかを決定します。このビットの値を変更すると、PWMループのゲインおよび補償が変更されます。出力がアクティブなときに、このビットの値を変更すると常に、システムの結果に悪影響を及ぼす可能性があります。

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

ビット[6]:LTM4686は、デバイスがオフのとき、電源電圧上昇時または下降時にはサーボ制御を行いません。1に設定すると、出力サーボはイネーブルされます。出力設定点 DAC は、READ\_VOUT\_ADC と VOUT\_COMMAND の差(つまり、適切な余裕のある値)を最小限に抑えるよう徐々に調整されます。

このコマンドのビット[1]は、デバイスが高電圧範囲または低電圧範囲のいずれに入っているかを決定します。このビットの値を変更すると、PWMループのゲインおよび補償が変更されます。出力がアクティブなときは、このビットの値を変更することはできません。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

### MFR\_PWM\_CONFIG

MFR\_PWM\_CONFIG コマンドは、スイッチング周波数の位相オフセットを SYNC 信号の立下がりエッジを基準にして設定します。デバイスはこのコマンドを処理するためにオフ状態になっている必要があります。RUNピンをローにするか、デバイスをコマンドでオフにする必要があります。デバイスがRUN状態の場合にこのコマンドを記述すると、コマンドは無視され、BUSY 障害信号がアサートされます。ビット7により、PolyPhase レール・アプリケーションでのリモートの差動電圧検出が可能になります。

ビット	意味	
7	EAの接続 0 – EA出力とチャンネルの出力は独立しています 1 – EA1はPolyPhase動作のためEA0入力を使用します	
6	予備	
5	予備	
4	共有クロックのイネーブル:このビットが1の場合、 $SV_{IN} > VIN_{ON}$ になるまでSHARE_CLKピンは解放されません。 $SV_{IN} < VIN_{OFF}$ のとき、SHARE_CLKピンはローになります。このビットが0の場合は、 $SV_{IN} < VIN_{OFF}$ のときにSHARE_CLKピンはローになりません。ただし、 $SV_{IN}$ の初期アプリケーションを除きます。	
3	予備	
ビット[2:0]	チャンネル0(度)	チャンネル1(度)
000b	0	180
001b	90	270
010b	0	240
011b	0	120
100b	120	240
101b	60	240
110b	120	300

PolyPhase アプリケーションではない場合、両方のV<sub>OUT</sub>ピンを互いに接続していない場合、または両方のCOMP<sub>na</sub>ピンを互いに接続していない場合に限り、ビット[7]はアサートしないでください。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

## 付録C: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 (kHz) を設定します。推奨値については、表7を参照してください。

サポート対象周波数:

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

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

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

## 電圧

入力電圧 (SV<sub>IN</sub>) とリミット

コマンド名	コマンドコード	説明	タイプ	ページ指定	データフォーマット	単位	NVM	デフォルト値
VIN_OV_FAULT_LIMIT	0x55	入力電源 (SV <sub>IN</sub> ) の過電圧障害のリミット	R/W Word	N	L11	V	Y	17.44 0xDA2E
VIN_UV_WARN_LIMIT	0x58	入力電源 (SV <sub>IN</sub> ) の低電圧警告のリミット	R/W Word	N	L11	V	Y	LTM4686: 5.297 (0xCAA6) LTM4686-1: 4.094 (0xCA0C)
VIN_ON	0x35	デバイスが電力変換を開始する入力電圧 (SV <sub>IN</sub> )	R/W Word	N	L11	V	Y	LTM4686: 5.500 (0xCAC0) LTM4686-1: 4.250 (0xCA20)
VIN_OFF	0x36	デバイスが電力変換を停止する入力電圧 (SV <sub>IN</sub> )	R/W Word	N	L11	V	Y	LTM4686: 5.250 (0xCAA0) LTM4686-1: 4.000 (0xCA00)

**VIN\_OV\_FAULT\_LIMIT**

VIN\_OV\_FAULT\_LIMIT コマンドは、入力過電圧障害を引き起こす (SV<sub>IN</sub>) 入力電圧測定値 (V) を設定します。この障害は A/D コンバータによって検出されるので、最大 90 ミリ秒 (代表値) の遅延が生じます。

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

**VIN\_UV\_WARN\_LIMIT**

VIN\_UV\_WARN\_LIMIT コマンドは、SV<sub>IN</sub> 入力低電圧警告を引き起こす SV<sub>IN</sub> 入力電圧の値を設定します。この警告は A/D コンバータによって検出されるので、最大 90 ミリ秒 (代表値) の遅延が生じます。

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

## 付録C: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  $SV_{IN}$  入力電圧 (V) を設定します。このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

### VIN\_OFF

VIN\_OFF コマンドは、デバイスが電力変換を停止する  $SV_{IN}$  入力電圧 (V) を設定します。このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。

### 出力電圧とリミット

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
VOUT_MODE	0x20	出力電圧のフォーマットおよび指数 ( $2^{-12}$ )	R Byte	Y	Reg			$2^{-12}$ 0x14
VOUT_MAX	0x24	VOUT_MARGIN_HIGH を含む、コマンドで指定した出力電圧の上限	R/W Word	Y	L16	V	Y	3.630 0x3A14
VOUT_OV_FAULT_LIMIT	0x40	出力過電圧障害のリミット	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.320 0x151E
VOUT_OV_WARN_LIMIT	0x42	出力過電圧警告のリミット	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.290 0x14A4
VOUT_MARGIN_HIGH	0x25	マージン・ハイの出力電圧設定値。VOUT_COMMAND より大きくする必要があります。	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.260 0x1429
VOUT_COMMAND	0x21	公称の出力電圧設定値	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.200 0x1333
VOUT_MARGIN_LOW	0x26	マージン・ローの出力電圧設定値。VOUT_COMMAND より小さくする必要があります。	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.140 0x123D
VOUT_UV_WARN_LIMIT	0x43	出力低電圧警告のリミット	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.110 0x11C2
VOUT_UV_FAULT_LIMIT	0x44	出力低電圧障害のリミット	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.080 0x1148
MFR_VOUT_MAX	0xA5	許容最大出力電圧。VOUT_OV_FAULT_LIMIT を含む。	R Word	Y	L16	V		5.7 0x5B34

### VOUT\_MODE

VOUT\_MODE コマンドのデータ・バイトは、出力電圧の指定および読出しに使用され、(リニア・フォーマットのみがサポートされる)3ビットのモードと、出力電圧の読出し／書込みコマンドで使用される指数を表す5ビットのパラメータで構成されます。この読出し専用コマンドは1バイトのデータを伴います。

### VOUT\_MAX

VOUT\_MAX コマンドは、他のコマンドまたはコマンドの組み合わせと関係なく、デバイスが指定できる電圧の上限 (VOUT\_MARGIN\_HIGH を含む) を設定します。このコマンドの最大許容値は5.7Vです。LTM4686が発生できる最大出力電圧は、VOUT\_MARGIN\_HIGH を含めて3.6Vです。ただし、VOUT\_OV\_FAULT\_LIMIT は4.0Vまで指定できます。LTM4686は、VOUTが3.6Vより高い動作は規定されていません。

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

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

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

VOUT\_OV\_FAULT\_LIMIT コマンドは、検出ピンで測定された出力電圧に対して、出力過電圧障害を引き起こす出力電圧の値(V)を設定します。

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

VOUT\_OV\_FAULT\_RESPONSE をOV\_PULLDOWN に設定すると、VOUT\_OV\_FAULT が伝搬されている場合、 $\overline{\text{GPIO}}$ ピンはアサートされません。LTM4686はTGをローにして、過電圧状態が検出されるとすぐにBGビットをアサートします。

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

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

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

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

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

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

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

### **VOUT\_MARGIN\_HIGH**

VOUT\_MARGIN\_HIGH コマンドは、OPERATION コマンドが「Margin High」に設定された場合、出力の変更後の電圧(V)をデバイスにロードします。値はVOUT\_COMMAND より大きくする必要があります。VOUT\_MARGIN\_HIGH の最大許容値は3.6Vです。

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

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

### **VOUT\_COMMAND**

VOUT\_COMMAND は2バイトで構成され、出力電圧(V)を設定するために使用されます。VOUTの最大許容値は3.6Vです。

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

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

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

### VOUT\_MARGIN\_LOW

VOUT\_MARGIN\_LOW コマンドは、OPERATION コマンドが「Margin Low」に設定された場合、出力の変更後の電圧(V)をデバイスにロードします。値はVOUT\_COMMANDより小さくする必要があります。

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

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

### VOUT\_UV\_WARN\_LIMIT

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

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

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

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

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

### VOUT\_UV\_FAULT\_LIMIT

VOUT\_UV\_FAULT\_LIMIT コマンドは、検出ピンで測定された出力電圧に対して、出力低電圧障害を引き起こす出力電圧の値(V)を読み出します。

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

### MFR\_VOUT\_MAX

MFR\_VOUT\_MAX コマンドは、各チャンネルの最大出力電圧(単位:V、VOUT\_OV\_FAULT\_LIMITを含む)です。出力電圧を高範囲に設定(MFR\_PWM\_MODEのビット1を0に設定)した場合、チャンネル0および1のMFR\_VOUT\_MAXは5.7Vになります。出力電圧を低範囲に設定(MFR\_PWM\_MODEのビット1を1に設定)した場合、両方のチャンネルのMFR\_VOUT\_MAXは2.75Vになります。これより大きなVOUT\_COMMANDの値を入力すると、CML障害が発生し、出力電圧設定値は最大レベルにクランプされます。

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

## 電流

### 入力電流のキャリブレーション

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
MFR_IIN_OFFSET	0xE9	デバイスのIQを考慮に入れるため、入力電流に追加して使用する係数	R/W Word	Y	L11	A	Y	0.02956 0x8BC9

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

**MFR\_IIN\_OFFSET**

MFR\_IIN\_OFFSET コマンドを使用すると、各チャンネルの自己消費電流を表す入力電流を設定できます。低出力電流時に正確な結果を得るには、デバイスを連続導通モードにします(MFR\_PWM\_MODE[0]=1<sub>b</sub>)。推奨値については、表8を参照してください。

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

## 出力電流のキャリブレーション

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
IOUT_CAL_GAIN	0x38	電流検出ピンでの電圧と検出した電流との比	R/W Word	Y	L11	mΩ	Factory-Only NVM	Trimmed, 3.89mΩ typical
MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC	0xF6	電流検出素子の温度係数	R/W Word	Y	CF		Y	3860 0x0F14

**IOUT\_CAL\_GAIN**

IOUT\_CAL\_GAIN コマンドは、電流検出素子の抵抗値(mΩ)を設定するときに名目上使用します(MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TCも参照)。このレジスタに書き込むとNACKが返され、出力電流の読出し遠隔測定には影響しません。

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

**MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TC**

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

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

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

IOUT\_CAL\_GAIN および MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TC は、READ\_IOUT、READ\_IIN、IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT、および IOUT\_OC\_WARN\_LIMIT を含む全ての電流パラメータに影響を与えます。このレジスタへの書込みは推奨しません。出荷時のデフォルト値を使用してください。

## 入力電流

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
IIN_OC_WARN_LIMIT	0x5D	入力過電流警告のリミット	R/W Word	N	L11	A	Y	8.5 0xD220

**IIN\_OC\_WARN\_LIMIT**

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

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

- STATUS\_BYTE の OTHER ビットを設定します
- STATUS\_WORD の上位バイトにある INPUT ビットを設定します

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

- STATUS\_INPUT コマンドの IIN 過電流警告ビットを設定します
- マスクされていない限り、ALERT ピンをアサートすることにより、ホストに通知します

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

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

### 出力電流

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
IOUT_OC_FAULT_LIMIT	0x46	出力過電流障害のリミット	R/W Word	Y	L11	A	Y	18.81 0xDA5A
IOUT_OC_WARN_LIMIT	0x4A	出力過電流警告のリミット	R/W Word	Y	L11	A	Y	14.41 0xD39A

### IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT

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

25mV/IOUT_CAL_GAIN	Low Range (1.5x Nominal Loop Gain) MFR_PWM_MODE [7]=0
28.6mV/IOUT_CAL_GAIN	
32.1mV/IOUT_CAL_GAIN	
35.7mV/IOUT_CAL_GAIN	
39.3mV/IOUT_CAL_GAIN	
42.9mV/IOUT_CAL_GAIN	
46.4mV/IOUT_CAL_GAIN	
50mV/IOUT_CAL_GAIN	
37.5mV/IOUT_CAL_GAIN	High Range (Nominal Loop Gain) MFR_PWM_MODE [7]=1
42.9mV/IOUT_CAL_GAIN	
48.2mV/IOUT_CAL_GAIN	
53.6mV/IOUT_CAL_GAIN	
58.9mV/IOUT_CAL_GAIN	
64.3mV/IOUT_CAL_GAIN	
69.6mV/IOUT_CAL_GAIN	
75mV/IOUT_CAL_GAIN	

注記: これは電流波形のピークです。READ\_IOUT コマンドは平均電流を返します。ピーク出力電流制限値は、次式を使用して、MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TC に基づく温度で調整されます。

$$IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT = IOUT\_CAL\_GAIN \cdot (1 + MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TC \cdot (READ\_TEMPERATURE\_1 - 27.0))$$

LTpowerPlay GUI は電圧を電流に自動的に変換します。

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

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

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

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

**IOUT\_OC\_WARN\_LIMIT**

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

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

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

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

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

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

## 温度

## パワー段 DCR の温度キャリブレーション

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
MFR_TEMP_1_GAIN	0xF8	パワー段の温度センサーの勾配を設定します。	R/W Word	Y	CF		Y	0.995 0x3FAE
MFR_TEMP_1_OFFSET	0xF9	パワー段の温度センサーのオフセットを $-273.1^{\circ}\text{C}$ を基準にして設定します。	R/W Word	Y	L11	C	Y	0 0x8000

**MFR\_TEMP\_1\_GAIN**

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

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、16 ビットの 2 の補数形式の整数でフォーマットが設定されています。N = 8192 ~ 32767 です。実質的な調整は  $N \cdot 2^{-14}$  です。公称値は 1 です。

**MFR\_TEMP\_1\_OFFSET**

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

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear\_5s\_11s フォーマットが設定されています。デバイスは  $-273.15$  の値でキャリブレーションを開始するので、デフォルトの調整値はゼロです。

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

### パワー段の温度リミット

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
OT_FAULT_LIMIT	0x4F	パワー段の過熱障害リミット	R/W Word	Y	L11	C	Y	128 0xF200
OT_WARN_LIMIT	0x51	パワー段の過熱警告リミット	R/W Word	Y	L11	C	Y	125 0xEBE8
UT_FAULT_LIMIT	0x53	パワー段の低温障害リミット	R/W Word	Y	L11	C	Y	-45 0xE530

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

OT\_FAULT\_LIMIT コマンドは、過熱障害を引き起こすパワー段の温度(°C)の値を設定します。このリミットを超えたかどうかを判別するのに READ\_TEMPERATURE\_1 の値が使用されます。

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

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

#### **OT\_WARN\_LIMIT**

OT\_WARN\_LIMIT コマンドは、過熱警告を引き起こすパワー段の温度(°C)の値を設定します。このリミットを超えたかどうかを判別するのに READ\_TEMPERATURE\_1 の値が使用されます。

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

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

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

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

#### **UT\_FAULT\_LIMIT**

UT\_FAULT\_LIMIT コマンドは、低温障害を引き起こすパワー段の温度(°C)の値を設定します。このリミットを超えたかどうかを判別するのに READ\_TEMPERATURE\_1 の値が使用されます。

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

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

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

## タイミング

## タイミングーオン・シーケンス/ランプ

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
TON_DELAY	0x60	RUNまたはOPERATION(あるいはその両方)でのオンの指示から出力レールがオンするまでの時間	R/W Word	Y	L11	ms	Y	0.0 0x0000
TON_RISE	0x61	出力電圧が上昇し始めてからVOUTのコマンド指定値に達するまでの時間	R/W Word	Y	L11	ms	Y	2.0 0xC200
TON_MAX_FAULT_LIMIT	0x62	TON_RISEの開始からVOUTがVOUT_UV_FAULT_LIMITを超えるまでの最大時間	R/W Word	Y	L11	ms	Y	10 0xD280
VOUT_TRANSITION_RATE	0x27	VOUTに新しい値が指定されたときに出力電圧が変化する比率	R/W Word	Y	L11	V/ms	Y	0.025 0x8B33

**TON\_DELAY**

TON\_DELAY コマンドは、開始条件を受け取ってから出力電圧が立ち上がり始めるまでの時間をミリ秒単位で設定します。0ミリ秒～83秒までの値が有効です。

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

**TON\_RISE**

TON\_RISE コマンドは、出力が上昇し始める時間から出力がレギュレーション範囲内に入るまでの時間をミリ秒単位で設定します。0～1.3秒までの値が有効です。デバイスはTON\_RISE イベントの間、不連続モードになります。TON\_RISEが0.25ミリ秒より短い場合、LTM4686のデジタル勾配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により制御されます。最大許容勾配は4V/msです。

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

**TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT**

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

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

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

**VOUT\_TRANSITION\_RATE**

出力電圧を変更するVOUT\_COMMANDまたはOPERATION (Margin High, Margin Low)をPMBusデバイスが受け取ると、このコマンドは出力電圧が変化する比率(V/ms)を設定します。デバイスのオンまたはオフをコマンドで指定した場合、このコマンドで指定した変化比率は適用されません。

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

## 付録C: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	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
TOFF_DELAY	0x64	RUNまたはOPERATIONのオフからTOFF_FALLランプの開始までの時間	R/W Word	Y	L11	ms	Y	0.0 0x0000
TOFF_FALL	0x65	出力が低下し始めてから出力が0Vに達するまでの時間	R/W Word	Y	L11	ms	Y	2.5 0xC280
TOFF_MAX_WARN_LIMIT	0x66	TOFF_FALL完了後、デバイスが12.5%未満に減衰するまでの最大許容時間	R/W Word	Y	L11	ms	Y	200 0xF320

#### TOFF\_DELAY

TOFF\_DELAY コマンドは、停止条件を受け取ってから出力電圧が立ち下がり始めるまでの時間をミリ秒単位で設定します。0～83秒までの値が有効です。

このコマンドは障害事象からは除外されます。

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

#### TOFF\_FALL

TOFF\_FALL コマンドは、ターンオフ遅延時間の終了時から出力電圧を0にするようコマンドで指定するまでの時間をミリ秒単位で設定します。これはDACのV<sub>OUT</sub>の立上がり時間です。V<sub>OUT</sub> DACがゼロのとき、デバイスはスリーステートになります。

デバイスはこの事前設定動作モードを維持します。規定のTOFF\_FALL時間の場合、デバイスを連続導通モードに設定してください。最大値をロードすると、デバイスの電圧は可能な限り低速で下降します。サポートされている最小の立下がり時間は0.25ミリ秒です。値を0.25ミリ秒より小さくすると、立下がり時間は0.25ミリ秒になります。立下がり時間の最大値は1.3秒です。最大許容勾配は4V/msです。

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

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

#### TOFF\_MAX\_WARN\_LIMIT

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

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

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

### 再起動の前提条件

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
MFR_RESTART_DELAY	0xDC	RUNの実際のアクティブ・エッジからRUNの仮想アクティブ・エッジまでの遅延	R/W Word	Y	L11	ms	Y	200 0xF320

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

**MFR\_RESTART\_DELAY**

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

注記：再起動の遅延は再試行の遅延とは異なります。再起動の遅延では、標準の起動シーケンス開始後、指定された時間にわたってRUNピンがローになります。再起動遅延の最小時間はTOFF\_DELAY + TOFF\_FALL + 136ミリ秒になります。有効な値は136ミリ秒～65.52秒(16ミリ秒刻み)です。最小オフ時間を確保するには、MFR\_RESTART\_DELAYを目的の時間より16ミリ秒長く設定します。MFR\_CHAN\_CONFIGの出力減衰ビット1を有効にした場合で、出力が設定値の12.5%より低くなるのに時間がかかる場合は、RUNピンがハイになった後、出力レールがオフになるのに要する時間がMFR\_RESTART\_DELAYより長くなってもかまいません。

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

## 障害応答

## 全障害に対する障害応答

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

**MFR\_RETRY\_DELAY**

このコマンドは、障害応答の目的がコントローラの再試行を指定の時間間隔で行うことである場合、再起動間の時間をミリ秒単位で設定します。このコマンド値を使用する対象は、再試行を必要とする全ての障害応答です。障害発生側のチャンネルによって障害が検出されると、再試行の時間が始まります。有効な値は120ミリ秒～83.88秒(10マイクロ秒刻み)です。

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

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

入力電圧(SV<sub>IN</sub>)の障害に対する応答

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

**VIN\_OV\_FAULT\_RESPONSE**

VIN\_OV\_FAULT\_RESPONSEコマンドは、(SV<sub>IN</sub>)入力過電圧障害に対してどう動作するべきかをデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットは、表28に示したものです。

また、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS\_BYTEのNONE\_OF\_THE\_ABOVEビットを設定します
- STATUS\_WORDの上位バイトにあるINPUTビットを設定します

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

- STATUS\_INPUT コマンドの SV<sub>IN</sub> 過電圧障害ビットを設定します
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンをアサートすることにより、ホストに通知します

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

### 出力電圧に対する障害応答

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
VOUT_OV_FAULT_RESPONSE	0x41	出力過電圧障害が検出されたときのデバイスの動作	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x80
VOUT_UV_FAULT_RESPONSE	0x45	出力低電圧障害が検出されたときのデバイスの動作	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xB8
TON_MAX_FAULT_RESPONSE	0x63	TON_MAX_FAULT イベントが検出されたときのデバイスの動作	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xB8

### VOUT\_OV\_FAULT\_RESPONSE

VOUT\_OV\_FAULT\_RESPONSE コマンドは、出力過電圧障害に対してどう動作するべきかをデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットは、表 24 に示したものです。

また、デバイスの動作は以下のようになります。

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

このコマンドで認識される値は以下のものに限られます。

0x80: デバイスはシャットダウン(出力をディスエーブル)して、再試行しようとしません障害ビットがクリアされるまで、出力はディスエーブルされたままになります (PMBus, Part II, Section 10.7)。

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

0x4n: デバイスはシャットダウンして、再試行しようとしません。デバイスがオフの後にオンするよう指示されるか、RUN ピンをローにしてからハイにアサートするか、MFR\_RESET コマンドまたは RESTORE\_USER\_ALL コマンドを実行するか、SV<sub>IN</sub> を取り外すまで、出力はディスエーブル状態のままです。OV 障害は n・10 マイクロ秒の間発生している必要があります (n は 0~7 の値)。

0x78+n: デバイスはシャットダウンして、障害状態が解消されるか、デバイスがオフの後にオンするよう指示されるか、RUN ピンをローにしてからハイにアサートするか、MFR\_RESET コマンドまたは RESTORE\_USER\_ALL コマンドを実行するか、SV<sub>IN</sub> を取り外すまで、再試行し続けようとしています。OV 障害は n・10 マイクロ秒の間発生している必要があります (n は 0~7 の値)。

他の値にすると、CML 障害が発生して、書込みは無視されます。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

表 24. VOUT\_OV\_FAULT\_RESPONSE のデータ・バイトの内容

ビット	説明	値	意味
7:6	応答 ビット [7:6] の全ての値に対して、LTM4686 は以下のように動作します。 <ul style="list-style-type: none"> <li>STATUS コマンドの対応する障害ビットを設定します</li> <li>マスクされていない限り、<math>\overline{\text{ALERT}}</math> ピンをアサートすることにより、ホストに通知します</li> </ul> (いったん設定すると) 障害ビットがクリアされるのは、以下の状況のいずれかまたは複数が発生した場合に限られます。 <ul style="list-style-type: none"> <li>デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受け取ります。</li> <li>RUN<sub>n</sub> ピン、OPERATION コマンド、または RUN<sub>n</sub> ピンと OPERATION コマンドの複合動作により、出力をいったんオフにしてからオンに戻すよう指示します。</li> <li>LTM4686 からバイアス電源がいったん取り外され、その後再印加されます。</li> </ul>	00	デバイスは 0V プルダウンのみを実行します (すなわち、V <sub>OUT</sub> が VOUT_OV_FAULT よりも高いときは上側 MOSFET をオフして下側 MOSFET をオンします)。
		01	PMBus デバイスは、ビット [2:0] によって指定された遅延時間と、特定の障害に対して指定された遅延時間の単位にわたって動作を継続します。遅延時間の終了時に障害状態が残っている場合、デバイスは再試行設定 (ビット [5:3]) でのプログラム内容に従って応答します。
		10	デバイスは直ちにシャットダウン (出力をディスエーブル) し、ビット [5:3] での再試行設定に従って応答します。
		11	サポートされていません。この値を書き込むと、CML 障害が発生します。
5:3	再試行設定	000-110	デバイスは再起動しようとしません。障害状態が解消されるか、デバイスをオフするよう指示するか、バイアス電源を取り外すまで、出力はディスエーブルされたままになります。
		111	PMBus デバイスは、(RUN <sub>n</sub> ピンまたは OPERATION コマンド、あるいはその両方によって) オフするよう指示されるか、バイアス電源が取り外されるか、または別の障害状態が原因でデバイスが再試行せずにシャットダウンするまで、制限なく再起動し続けようとしています。注記: 再試行間隔は MFR_RETRY_DELAY コマンドによって設定されます。
2:0	遅延時間	XXX	10 マイクロ秒刻みでの遅延時間。この遅延時間は、障害が検出された後、コントローラがどれだけの時間動作し続けるのかを決定します。グリッチの除去されたオフ状態の場合のみ有効です。

**VOUT\_UV\_FAULT\_RESPONSE**

VOUT\_UV\_FAULT\_RESPONSE コマンドは、出力低電圧障害に対してどう動作するべきかをデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットは、表 25 に示したものです。

また、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS\_WORD の VOUT ビットを設定します
- STATUS\_VOUT コマンドの VOUT 低電圧障害ビットを設定します
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンをアサートすることにより、ホストに通知します

UV 障害および警告は、以下の基準を満たすまでマスクされます。

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

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

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

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

表 25. VOUT\_UV\_FAULT\_RESPONSE のデータ・バイトの内容

ビット	説明	値	意味
7:6	応答 ビット [7:6] の全ての値に対して、LTM4686 は以下のように動作します。 • STATUS コマンドの対応する障害ビットを設定します。 • マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートすることにより、ホストに通知します。 (いったん設定すると) 障害ビットがクリアされるのは、以下の状況のいずれかまたは複数が発生した場合に限られます。 • デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受け取ります。 • $\text{RUN}_n$ ピン、OPERATION コマンド、または $\text{RUN}_n$ ピンと OPERATION コマンドの複合動作により、出力をいったんオフにしてからオンに戻すよう指示します。 • LTM4686 からバイアス電源がいったん取り外され、その後再印加されます。	00	PMBus デバイスは中断せずに動作を続けます。(障害を機能的に無視する)
		01	PMBus デバイスは、ビット [2:0] によって指定された遅延時間と、特定の障害に対して指定された遅延時間の単位にわたって動作を継続します。遅延時間の終了時に障害状態が残っている場合、デバイスは再試行設定 (ビット [5:3]) でのプログラム内容に従って応答します。
		10	デバイスはシャットダウン (出力をディスエーブル) し、ビット [5:3] での再試行設定に従って応答します。
		11	サポートされていません。この値を書き込むと、CML 障害が発生します。
5:3	再試行設定	000-110	デバイスは再起動しようとしません。障害状態が解消されるか、デバイスをオフするよう指示するか、バイアス電源を取り外すまで、出力はディスエーブルされたままになります。
		111	PMBus デバイスは、( $\text{RUN}_n$ ピンまたは OPERATION コマンド、あるいはその両方によって) オフするよう指示されるか、バイアス電源が取り外されるか、または別の障害状態が原因でデバイスが再試行せずにシャットダウンするまで、制限なく再起動し続けようとしています。注記: 再試行間隔は MFR_RETRY_DELAY コマンドによって設定されます。
2:0	遅延時間	XXX	10 マイクロ秒刻みでの遅延時間。この遅延時間は、障害が検出された後、コントローラがどれだけの時間動作し続けるのかを決定します。グリッチの除去されたオフ状態の場合にのみ有効です。

**TON\_MAX\_FAULT\_RESPONSE**

TON\_MAX\_FAULT\_RESPONSE コマンドは、TON\_MAX 障害に対してどう動作するべきかをデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットは、表 28 に示したものです。

また、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS\_BYTE の NONE\_OF\_THE\_ABOVE ビットを設定します
- STATUS\_WORD の VOUT ビットを設定します
- STATUS\_VOUT コマンドの TON\_MAX\_FAULT ビットを設定します
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンをアサートすることにより、ホストに通知します
- 値を 0 にすると、TON\_MAX\_FAULT\_RESPONSE は無効になります 0 を使用することは推奨できません。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

## 出力電流に対する障害応答

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
IOUT_OC_FAULT_RESPONSE	0x47	出力過電流障害が検出されたときのデバイスの動作	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x00

**IOUT\_OC\_FAULT\_RESPONSE**

IOUT\_OC\_FAULT\_RESPONSE コマンドは、出力過電流障害に対してどう動作するべきかをデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットは、表 26 に示したものです。

また、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS\_BYTE の IOUT\_OC ビットを設定します
- STATUS\_WORD の IOUT ビットを設定します
- STATUS\_IOUT コマンドの IOUT 過電流障害ビットを設定します
- マスクされていない限り、ALERT ピンをアサートすることにより、ホストに通知します

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

表 26. IOUT\_OC\_FAULT\_RESPONSE のデータ・バイトの内容

ビット	説明	値	意味
7:6	応答 ビット [7:6] の全ての値に対して、LTM4686 は以下のように動作します。 • STATUS コマンドの対応する障害ビットを設定します。 • マスクされていない限り、ALERT ピンをアサートすることにより、ホストに通知します。 (いったん設定すると) 障害ビットがクリアされるのは、以下の状況のいずれかまたは複数が発生した場合に限られます。 • デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受け取ります。 • RUN <sub>n</sub> ピン、OPERATION コマンド、または RUN <sub>n</sub> ピンと OPERATION コマンドの複合動作により、出力をいったんオフにしてからオンに戻すよう指示します。 • LTM4686 からバイアス電源がいったん取り外され、その後再印加されます。	00	LTM4686 は、出力電圧に関係なく、IOUT_OC_FAULT_LIMIT によって設定された値に出力電流を維持しつつ、無期限に動作を継続します (定電流制限または垂下型制限として知られます)。
		01	サポートされていません。
		10	LTM4686 は動作を継続し、出力電圧に関係なく、ビット [2:0] で指定された遅延時間にわたって、IOUT_OC_FAULT_LIMIT によって設定された値に出力電流を維持します。遅延時間の終了時にデバイスがまだ電流制限状態で動作している場合、デバイスはビット [5:3] での再試行設定でプログラムしたとおりに応答します。
		11	LTM4686 は直ちにシャットダウンし、ビット [5:3] での再試行設定でプログラムしたとおりに応答します。
5:3	再試行設定	000-110	デバイスは再起動しようとしません。RUN <sub>n</sub> ピンのロー/ハイを切り替えるか、バイアス電源を取り外すことによって障害状態を解消するまで、出力はディスエーブルされたままになります。
		111	デバイスは、(RUN <sub>n</sub> ピンまたは OPERATION コマンド、あるいはその両方によって) オフするよう指示されるか、バイアス電源が取り外されるか、または別の障害状態が原因でデバイスがシャットダウンするまで、制限なく再起動し続けようとしています。注記: 再試行間隔は MFR_RETRY_DELAY コマンドによって設定されます。
2:0	遅延時間	XXX	16 ミリ秒刻みでの遅延時間単位の数。この遅延時間を使用して、障害検出後、デバイスがシャットダウンするまで動作を継続する時間を求めます。グリッチの除去されたオフ状態の場合にのみ有効です。

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

## ICの温度障害に対する応答

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

**MFR\_OT\_FAULT\_RESPONSE**

MFR\_OT\_FAULT\_RESPONSE コマンド・バイトは、内部過熱障害に対してどう動作するべきかをデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットは、表27に示したものです。

また、LTM4686の動作は以下のようになります。

- STATUS\_WORDのMFRビットを設定します
- STATUS\_MFR\_SPECIFIC コマンドの過熱障害ビットを設定します
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートすることにより、ホストに通知します

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

表27. MFR\_OT\_FAULT\_RESPONSEのデータ・バイトの内容

ビット	説明	値	意味
7:6	応答 ビット[7:6]の全ての値に対して、LTM4686は以下のように動作します。 • STATUS コマンドの対応する障害ビットを設定します。 • マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートすることにより、ホストに通知します。 (いったん設定すると) 障害ビットがクリアされるのは、以下の状況のいずれかまたは複数が発生した場合に限られます。 • デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受け取ります。 • RUN <sub>n</sub> ピン、OPERATION コマンド、または RUN <sub>n</sub> ピンと OPERATION コマンドの複合動作により、出力をいったんオフにしてからオンに戻すよう指示します。 • LTM4686からバイアス電源がいったん取り外され、その後再印加されます。	00	サポートされていません。この値を書き込むと、CML 障害が発生します。
		01	サポートされていません。この値を書き込むと、CML 障害が発生します。
		10	デバイスは直ちにシャットダウン(出力をディスエーブル)し、ビット[5:3]での再試行設定に従って応答します。
		11	デバイスの出力はディスエーブルされるが、障害は残ります。障害状態が解消されると、動作が再開され、出力がイネーブルされます。
5:3	再試行設定	000	デバイスは再起動しようとしません。障害ビットがクリアされるまで、出力はディスエーブルされたままになります。
		001-111	サポートされていません。この値を書き込むと、CML 障害が発生します。
2:0	遅延時間	XXX	サポートされていません。値は無視されます。

## パワー一段の温度障害に対する応答

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
OT_FAULT_RESPONSE	0x50	パワー一段の過熱障害が検出されたときのデバイスの動作	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x80
UT_FAULT_RESPONSE	0x54	パワー一段の低温障害が検出されたときのデバイスの動作	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x80

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

## OT\_FAULT\_RESPONSE

OT\_FAULT\_RESPONSEコマンドは、パワー段の過熱障害に対してどう動作するべきかをデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットは、表28に示したものです。

また、デバイスの動作は以下のようになります。

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

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

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

## UT\_FAULT\_RESPONSE

UT\_FAULT\_RESPONSEコマンドは、パワー段の低温障害に対してどう動作するべきかをデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットは、表28に示したものです。

また、デバイスの動作は以下のようになります。

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

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

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

表28. データ・バイトの内容:TON\_MAX\_FAULT\_RESPONSE、VIN\_OV\_FAULT\_RESPONSE、OT\_FAULT\_RESPONSE、UT\_FAULT\_RESPONSE

ビット	説明	値	意味
7:6	応答 ビット[7:6]の全ての値に対して、LTM4686は以下のように動作します。 <ul style="list-style-type: none"> <li>• STATUSコマンドの対応する障害ビットを設定します。</li> <li>• マスクされていない限り、<math>\overline{\text{ALERT}}</math>ピンをアサートすることにより、ホストに通知します。</li> </ul> (いったん設定すると)障害ビットがクリアされるのは、以下の状況のいずれかまたは複数が発生した場合に限られます。 <ul style="list-style-type: none"> <li>• デバイスがCLEAR_FAULTSコマンドを受け取ります。</li> <li>• RUN<sub>n</sub>ピン、OPERATIONコマンド、またはRUN<sub>n</sub>ピンとOPERATIONコマンドの複合動作により、出力をいったんオフにしてからオンに戻すよう指示します。</li> <li>• LTM4686からバイアス電源がいったん取り外され、その後再印加されます。</li> </ul>	00	PMBus デバイスは中断せずに動作を続けます。
		01	サポートされていません。この値を書き込むと、CML 障害が発生します。
		10	デバイスは直ちにシャットダウン(出力をディスエーブル)し、ビット[5:3]での再試行設定に従って応答します。
		11	サポートされていません。この値を書き込むと、CML 障害が発生します。
5:3	再試行設定	000-110	デバイスは再起動しようとしません。障害状態が解消されるか、デバイスをオフするよう指示するか、バイアス電源を取り外すまで、出力はディスエーブルされたままになります。
		111	PMBus デバイスは、(RUN <sub>n</sub> ピンまたはOPERATIONコマンド、あるいはその両方によって)オフするよう指示されるか、バイアス電源が取り外されるか、または別の障害状態が原因でデバイスが再試行せずにシャットダウンするまで、制限なく再起動し続けようとしています。注記:再試行間隔はMFR_RETRY_DELAYコマンドによって設定されます。
2:0	遅延時間	XXX	サポートされていません。値は無視されます。

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

## 障害信号の共有

## 障害信号の共有と伝搬

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
MFR_GPIO_PROPAGATE <sub>n</sub>	0xD2	どの障害をGPIO <sub>n</sub> ピンに伝搬するかを決定する設定	R/W Word	Y	Reg		Y	0x7993

**MFR\_GPIO\_PROPAGATE**

MFR\_GPIO\_PROPAGATE コマンドによりGPIO<sub>n</sub>ピンをローにアサートする障害信号を有効にします。このコマンドのフォーマットは、表29に示すとおりです。障害信号をGPIO<sub>n</sub>に伝搬できるのは、障害信号が障害に応答するようプログラムされている場合に限りです。

このコマンドは2バイトのデータを伴います。

**表29. GPIO<sub>n</sub>の障害信号伝搬設定。GPIO<sub>0</sub>ピンおよびGPIO<sub>1</sub>ピンは、選択されたイベントを電気的に通知する目的で設計されています。これらのイベントのいくつかは、両方の出力チャンネルに共通です。その他は一方の出力チャンネルに固有のもので、また、チャンネル間で障害信号を共有するために使用することもできます。**

ビット	記号	動作
B[15]	VOUTはディスエーブルされますが減衰しません。	MFR_CHAN_CONFIGのビット0が0のとき、これはPolyPhase構成で使用されます。RUNピンを切り替えるかデバイスがオフするよう指示することによってチャンネルをオフし、その後RUNを再アサートするか、出力が減衰する前にデバイスをオンに戻すと、12.5%の減衰が受け付けられるまでVOUTは再起動しません。ビット15がアサートされる場合は、この状態の間にGPIO <sub>n</sub> ピンをアサートします。
B[14]	Mfr_gpio_propagate_short_CMD_cycle	0: 動作なし 1: 出力がシーケンス制御でオフになる前に、オフしてからオンするよう指示すると、ローにアサートされます。シーケンス・オフしてから120ミリ秒経過後にハイを再アサートします。
b[13]	Mfr_gpio_propagate_ton_max_fault	0: TON_MAX_FAULT 障害信号がアサートされた場合、動作はありません 1: TON_MAX_FAULT 障害信号がアサートされた場合、対応する出力がローにアサートされます GPIO <sub>0</sub> はページ0のTON_MAX_FAULT 障害に対応付けられます GPIO <sub>1</sub> はページ1のTON_MAX_FAULT 障害に対応付けられます
b[12]	Mfr_gpio0_propagate_vout_uvuf Mfr_gpio1_propagate_vout_uvuf	フィルタなしのVOUT_UV_FAULT_LIMITコンパレータ出力 GPIO <sub>0</sub> はチャンネル0に対応付けられます GPIO <sub>1</sub> はチャンネル1に対応付けられます
b[11]	Mfr_gpio0_propagate_int_ot Mfr_gpio1_propagate_int_ot	0: MFR_OT_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、動作はありません 1: MFR_OT_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、対応する出力がローにアサートされます
b[10]	Mfr_pwrpd1_en*	0: チャンネル1のPOWER_GOODが真でない場合、動作はありません 1: チャンネル1のPOWER_GOODが真でない場合、対応する出力がローにアサートされます このビットがアサートされた場合、GPIO_FAULT_RESPONSEは無視する必要があります。GPIO_FAULT_RESPONSEを無視するように設定しないと、デバイスはラッチオフして起動できなくなります。
b[9]	Mfr_pwrpd0_en*	0: チャンネル0のPOWER_GOODが真でない場合、動作はありません 1: チャンネル0のPOWER_GOODが真でない場合、対応する出力がローにアサートされます このビットがアサートされた場合、GPIO_FAULT_RESPONSEは無視する必要があります。GPIO_FAULT_RESPONSEを無視するように設定しないと、デバイスはラッチオフして起動できなくなります。
b[8]	Mfr_gpio0_propagate_ut Mfr_gpio1_propagate_ut	0: UT_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、動作はありません 1: UT_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、対応する出力がローにアサートされます GPIO <sub>0</sub> はページ0のUT 障害に対応付けられます GPIO <sub>1</sub> はページ1のUT 障害に対応付けられます

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

表 29. GPIO<sub>n</sub>の障害信号伝搬設定。GPIO<sub>0</sub>ピンおよびGPIO<sub>1</sub>ピンは、選択されたイベントを電氣的に通知する目的で設計されています。これらのイベントのいくつかは、両方の出力チャンネルに共通です。その他は一方の出力チャンネルに固有のものです。また、チャンネル間で障害信号を共有するために使用することもできます。

ビット	記号	動作
b[7]	Mfr_gpio0_propagate_ot Mfr_gpio1_propagate_ot	0: OT_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、動作はありません 1: OT_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、対応する出力がローにアサートされます GPIO <sub>0</sub> はページ0のOT障害に対応付けられます GPIO <sub>1</sub> はページ1のOT障害に対応付けられます
b[6]	予備	
b[5]	予備	
b[4]	Mfr_gpio0_propagate_input_ov Mfr_gpio1_propagate_input_ov	0: VIN_OV_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、動作はありません 1: VIN_OV_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、対応する出力がローにアサートされます
b[3]	予備	
b[2]	Mfr_gpio0_propagate_iout_oc Mfr_gpio1_propagate_iout_oc	0: IOUT_OC_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、動作はありません 1: IOUT_OC_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、対応する出力がローにアサートされます GPIO <sub>0</sub> はページ0のOC障害に対応付けられます GPIO <sub>1</sub> はページ1のOC障害に対応付けられます
b[1]	Mfr_gpio0_propagate_vout_uv Mfr_gpio1_propagate_vout_uv	0: VOUT_UV_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、動作はありません 1: VOUT_UV_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、対応する出力がローにアサートされます GPIO <sub>0</sub> はページ0のUV障害に対応付けられます GPIO <sub>1</sub> はページ1のUV障害に対応付けられます
b[0]	Mfr_gpio0_propagate_vout_ov Mfr_gpio1_propagate_vout_ov	0: VOUT_OV_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、動作はありません 1: VOUT_OV_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、対応する出力がローにアサートされます GPIO <sub>0</sub> はページ0のOV障害に対応付けられます GPIO <sub>1</sub> はページ1のOV障害に対応付けられます

\*PWRGD ステータスはインジケータとして設計されており、電源のシーケンス制御に使用するためではありません。

## 障害共有信号の応答

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
MFR_GPIO_RESPONSE	0xD5	GPIO <sub>n</sub> ピンがローにアサートされたときのデバイスの動作	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x00

## MFR\_GPIO\_RESPONSE

このコマンドは、GPIO<sub>n</sub>ピンが外部信号源によってローになった場合、それに対するコントローラの応答を決定します。

値	意味
0xC0	GPIO_INHIBIT: LTM4686は、GPIO <sub>n</sub> ピンがローになった場合に出力をスリーステートにします。
0x00	GPIO_IGNORE: LTM4686は中断せずに動作を続けます。

また、デバイスの動作は以下ようになります。

- STATUS\_BYTEのNONE\_OF\_THE\_ABOVEビットを設定します
- STATUS\_WORDのMFRビットを設定します
- STATUS\_MFR\_SPECIFICコマンドのGPIOBビットを設定します
- マスクされていない限り、ALERTピンをアサートすることにより、ホストに通知しますローにされたALERTピンは、MFR\_CHAN\_CFGのビット[1]を設定すればディスエーブルできます。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

### スクラッチパッド

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

#### USER\_DATA\_00からUSER\_DATA\_04まで

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

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

### 識別情報

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
PMBUS_REVISION	0x98	このデバイスがサポートするPMBusのレビジョン。現在のレビジョンは1.2です。	R Byte	N	Reg			0x22
CAPABILITY	0x19	このデバイスによってサポートされているPMBusオプション通信プロトコルの要約	R Byte	N	Reg			0xB0
MFR_ID	0x99	LTM4686のメーカーID(ASCII)	R String	N	ASC			LTC
MFR_MODEL	0x9A	メーカーの製品番号(ASCII)	R String	N	ASC			LTM4686*
MFR_SERIAL	0x9E	この特定のデバイスのシリアル番号(ASCII)	R Block	N	CF			NA
MFR_SPECIAL_ID	0xE7	LTM4686を表すメーカー・コード	R Word	N	Reg			0x477X

\* MFR\_MODELの値は「LTM4686」です。この値は8つのASCII文字で構成されており、最後の文字は空白句読文字(「」)、つまりASCIIコード0x20または32dです。

#### PMBus\_REVISION

PMBUS\_REVISIONコマンドは、デバイスが準拠するPMBusのレビジョンを示します。LTM4686は、PMBusバージョン1.2のPart IおよびPart IIの両方に準拠しています。

この読出し専用コマンドは1バイトのデータを伴います。

#### CAPABILITY

このコマンドにより、ホスト・システムはPMBusデバイスのいくつかの重要な機能を指定できます。

LTM4686は、パケット・エラー・チェック、400kHzのバス速度、およびALERTピンをサポートしています。

この読出し専用コマンドは1バイトのデータを伴います。

#### MFR\_ID

MFR\_IDコマンドは、LTM4686のメーカーIDをASCII文字を使用して表示します。

この読出し専用コマンドにはブロック・フォーマットが設定されています。

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

### MFR\_MODEL

MFR\_MODEL コマンドは、LTM4686のメーカー製品番号をASCII文字を使用して表示します。\* MFR\_MODELの値は「LTM4686」です。この値は8つのASCII文字で構成されており、最後の文字は空白句読文字(「」)、つまりASCIIコード0x20または32dです。

この読出し専用コマンドにはブロック・フォーマットが設定されています。

### MFR\_SERIAL

MFR\_SERIAL コマンドには、LTM4686の設定を一意に識別するために使用される最大9バイトのカスタム・フォーマット・データが格納されています。

この読出し専用コマンドにはブロック・フォーマットが設定されています。

### MFR\_SPECIAL\_ID

デバイス名を表す16ビットのワードです。0x47A 接頭辞はデバイスがLTM4686であることを示し、Xはメーカーが調整可能です。

この読出し専用コマンドは2バイトのデータを伴います。

## 障害および警告のステータス

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
CLEAR_FAULTS	0x03	設定されている全ての障害ビットをクリアします。	Send Byte	N				NA
SMBALERT_MASK	0x1B	ALERTの動作をマスクします。	Block R/W	Y	Reg		Y	詳細については、コマンドを参照してください。
MFR_CLEAR_PEAKS	0xE3	全てのピーク値をクリアします。	Send Byte	N				NA
STATUS_BYTE	0x78	デバイスの障害状態の1バイトの要約	R/W Byte	Y	Reg			NA
STATUS_WORD	0x79	デバイスの障害状態の2バイトの要約	R/W Word	Y	Reg			NA
STATUS_VOUT	0x7A	出力電圧の障害および警告のステータス	R/W Byte	Y	Reg			NA
STATUS_IOUT	0x7B	出力電流の障害および警告のステータス	R/W Byte	Y	Reg			NA
STATUS_INPUT	0x7C	入力電源(SV <sub>IN</sub> )の障害および警告のステータス	R/W Byte	N	Reg			NA
STATUS_TEMPERATURE	0x7D	TSNS <sub>PA</sub> で検出された、READ_TEMPERATURE_1の障害および警告のステータス	R/W Byte	Y	Reg			NA
STATUS_CML	0x7E	通信およびメモリの障害および警告のステータス	R/W Byte	N	Reg			NA
STATUS_MFR_SPECIFIC	0x80	メーカー固有の障害および状態の情報	R/W Byte	Y	Reg			NA
MFR_PADS	0xE5	I/Oパッドのデジタル・ステータス	R Word	N	Reg			NA
MFR_COMMON	0xEF	アナログ・デバイセズの複数のIC / モジュールに共通するメーカー・ステータス・ビット	R Byte	N	Reg			NA
MFR_INFO	0xB6	製造固有の情報	R Word	N	Reg			NA

### CLEAR\_FAULTS

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

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

10マイクロ秒かかります。その時間枠内に障害が発生すると、ステータス・レジスタが設定される前にクリアされる場合があります。

この書込み専用コマンドにはデータ・バイトはありません。

CLEAR\_FAULTSは、障害状態のせいでラッチオフ状態になったデバイスを再起動することはありません。障害状態のせいでシャットダウンしたデバイスが再起動するのは以下の場合です。

- RUNピン、OPERATION コマンド、またはRUNピンとOPERATIONコマンドの複合動作により、出力をいったんオフにしてからオンに戻すよう指示した場合
- MFR\_RESET コマンドまたはRESTORE\_USER\_ALL コマンドが発行された場合
- 集積回路からバイアス電源がいったん取り外され、その後再印加された場合

### 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 または RESTORE\_USER\_ALL は、このコマンドを初期化します。

この書込み専用コマンドにはデータ・バイトはありません。

### SMBALERT\_MASK

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

図57に、 $\overline{\text{ALERT}}$  マスクを(この場合はPECなしで)設定するときを使用されるワード書込みフォーマットの例を示します。マスク・バイト内のビットは、指定のステータス・レジスタ内のビットと一致します。例えば、STATUS\_TEMPERATURE コマンドのコードが最初のデータ・バイトで送られ、マスク・バイトに0x40が含まれる場合、後続の外部過熱警告は引き続きSTATUS\_TEMPERATUREのビット6を設定しますが、 $\overline{\text{ALERT}}$ はアサートしません。設定した場合、サポートされているそれ以外の全STATUS\_TEMPERATUREビットは、 $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートし続けます。

図58に「ブロック書込み – ブロック読出しプロセス呼び出し」プロトコルの例を示します。これは、サポートされている任意のステータス・レジスタの現在の状態を(やはりPECなしで)読み出すときに使用します。

SMBALERT\_MASK は、STATUS\_BYTE、STATUS\_WORD、MFR\_COMMON、MFR\_PADSのいずれにも適用できません。適用できるステータス・レジスタの出荷時のデフォルトのマスク設定を以下に示します。サポートされていないコマンド・コードをSMBALERT\_MASKに設定すると、無効なデータ/サポートされていないデータに対してCMLが生成されます。

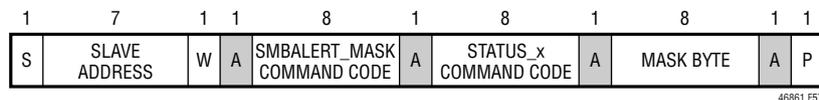


図57. SMBALERT\_MASK 設定の例

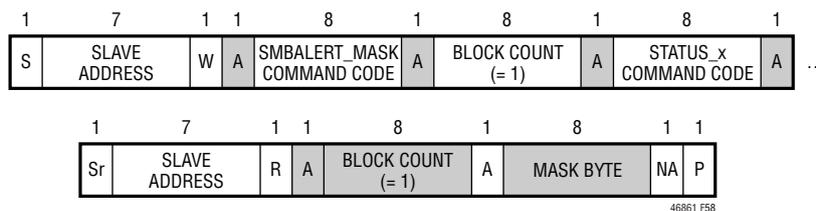


図58. SMBALERT\_MASK 読出しの例

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

## SMBALERT\_MASKのデフォルト設定:(ステータス・レジスタの要約、図59も参照)

ステータス・レジスタ	ALERT マスクの値	マスクされたビット
STATUS_VOUT <sub>n</sub>	0x00	なし
STATUS_IOUT <sub>n</sub>	0x00	なし
STATUS_TEMPERATURE <sub>n</sub>	0x00	なし
STATUS_CML	0x00	なし
STATUS_INPUT	0x00	なし
STATUS_MFR_SPECIFIC <sub>n</sub>	0x11	ビット4(内部PLLは非同期)、ビット0(GPIO <sub>n</sub> は外部デバイスによってローになる)

**STATUS\_BYTE**

STATUS\_BYTE コマンドは、最も重大な障害の1バイトの要約を返します。

**STATUS\_BYTEのメッセージの内容:**

ビット	ステータス・ビット名	意味
7	BUSY	LTM4686が応答できないので、障害が宣言されています。
6	OFF	このビットは、単純にイネーブルされない場合も含めて、チャンネルがその出力に電力を供給していない場合、理由に関係なく設定されます。
5	VOUT_OV	出力過電圧障害が発生しています。
4	IOUT_OC	出力過電流障害が発生しています。
3	VIN_UV	サポートされていません(LTM4686は0を返します)。
2	TEMPERATURE	温度障害または警告が発生しています。
1	CML	通信、メモリ、またはロジック障害が発生しています。
0	上記のいずれでもない	ビット[7:1]に記載されていない障害が発生しています。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

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

**STATUS\_WORD**

STATUS\_WORD コマンドは、チャンネルの障害状態の2バイトの要約を返します。STATUS\_WORDの下位バイトはSTATUS\_BYTE コマンドと同じです。

**STATUS\_WORDの上位バイトのメッセージの内容:**

ビット	ステータス・ビット名	意味
15	VOUT	出力電圧障害または警告が発生しています。
14	IOUT	出力電流障害または警告が発生しています。
13	INPUT	SV <sub>IN</sub> 入力電圧障害または警告が発生しています。
12	MFR_SPECIFIC	LTM4686に固有の障害または警告が発生しています。
11	POWER_GOOD#	このビットが設定されている場合、POWER_GOOD状態は正しくありません。
10	FANS	サポートされていません(LTM4686は0を返します)。
9	OTHER	サポートされていません(LTM4686は0を返します)。
8	UNKNOWN	サポートされていません(LTM4686は0を返します)。

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

このコマンドは2バイトのデータを伴います。

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

### STATUS\_VOUT

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

#### STATUS\_VOUT のメッセージの内容:

ビット	意味
7	V <sub>OUT</sub> の過電圧障害
6	V <sub>OUT</sub> の過電圧警告
5	V <sub>OUT</sub> の低電圧警告
4	V <sub>OUT</sub> の低電圧障害
3	V <sub>OUT_MAX</sub> の警告
2	TON_MAX の障害
1	TOFF_MAX の警告
0	LTM4686 によってサポートされていません(0を返します)。

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

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

### STATUS\_IOUT

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

#### STATUS\_IOUT のメッセージの内容:

ビット	意味
7	I <sub>OUT</sub> の過電流障害
6	サポートされていません(LTM4686 は 0 を返します)。
5	I <sub>OUT</sub> の過電流警告
4:0	サポートされていません(LTM4686 は 0 を返します)。

いずれかのサポート対象ビットを設定した場合は、ALERT をアサートできます。サポート対象ビットは、CLEAR\_FAULTS コマンドの代わりに、STATUS\_IOUT での該当のビット位置に 1 を書き込むことによりクリアできます。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

### STATUS\_INPUT

STATUS\_INPUT コマンドは、1 バイトの V<sub>IN</sub> (SV<sub>IN</sub>) ステータス情報を返します。

#### STATUS\_INPUT のメッセージの内容:

ビット	意味
7	SV <sub>IN</sub> の過電圧障害
6	サポートされていません(LTM4686 は 0 を返します)。
5	SV <sub>IN</sub> の低電圧警告
4	サポートされていません(LTM4686 は 0 を返します)。
3	SV <sub>IN</sub> の電圧が不十分なためデバイスはオフになります。
2	サポートされていません(LTM4686 は 0 を返します)。
1	入力過電流警告
0	サポートされていません(LTM4686 は 0 を返します)。

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

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

### STATUS\_TEMPERATURE

STATUS\_TEMPERATURE コマンドは、検出されたパワー段温度の1バイトのステータス情報を返します。

#### STATUS\_TEMPERATURE のメッセージの内容:

ビット	意味
7	外部過熱障害
6	外部過熱警告
5	サポートされていません(LTM4686は0を返します)。
4	外部低温障害
3:0	サポートされていません(LTM4686は0を返します)。

いずれかのサポート対象ビットを設定した場合は、ALERTをアサートできます。サポート対象ビットは、CLEAR\_FAULTS コマンドの代わりに、STATUS\_TEMPERATUREでの該当のビット位置に1を書き込むことによりクリアできます。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

### STATUS\_CML

STATUS\_CML コマンドは、受け取ったコマンド、内部メモリ、およびロジックに関する1バイトのステータス情報を返します。

#### STATUS\_CML のメッセージの内容:

ビット	意味
7	無効なコマンドまたはサポートされていないコマンドを受け取りました。
6	無効なデータまたはサポートされていないデータを受け取りました。
5	パケット・エラー・チェックの障害が発生しました。
4	メモリ障害が検出されました。
3	プロセッサ障害が検出されました。
2	予備(LTM4686は0を返します)。
1	その他の通信障害
0	その他のメモリ障害またはロジック障害

いずれかのサポート対象ビットを設定した場合は、ALERTをアサートできます。サポート対象ビットは、CLEAR\_FAULTS コマンドの代わりに、STATUS\_CMLでの該当のビット位置に1を書き込むことによりクリアできます。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

### STATUS\_MFR\_SPECIFIC

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

各チャンネルには同じ情報のコピーがあります。ビット0だけがページ固有です。

このバイトのフォーマットは次のとおりです。

ビット	意味
7	内部温度障害リミットを超過しています。
6	内部温度警告リミットを超過しています。
5	NVMのCRC障害
4	PLLの同期が外れています
3	障害ログが存在しています
2	V <sub>DD33</sub> のUV障害または0V障害
0	GPIO <sub>n</sub> ピンが外部デバイスによってローにアサートされています(ページ指定)。

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

これらのビットのいずれかが設定されると、STATUS\_WORD の MFR ビットが設定されます。

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

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

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

### MFR\_PADS

このコマンドにより、ユーザはデバイスのI/Oピンのデジタル・ステータスを直接読み出すことができます。このコマンドのビット割り当ては以下のとおりです。

ビット	割り当てられるデジタル・ピン
15	V <sub>DD33</sub> のOV 障害
14	V <sub>DD33</sub> のUV 障害
13	予備
12	予備
11	ADCの値が無効。起動時に発生
10	外部クロックによってSYNC出力がディスエーブルされます。
9	PowerGood1
8	PowerGood0
7	デバイスはRUN <sub>1</sub> をローに駆動
6	デバイスはRUN <sub>0</sub> をローに駆動
5	RUN <sub>1</sub>
4	RUN <sub>0</sub>
3	デバイスはGPIO <sub>1</sub> をローに駆動
2	デバイスはGPIO <sub>0</sub> をローに駆動
1	GPIO <sub>1</sub>
0	GPIO <sub>0</sub>

1は条件が真であることを示します。

この読出し専用コマンドは2バイトのデータを伴います。

### MFR\_COMMON

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

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

この読出し専用コマンドは1バイトのデータを伴います。

付録C:PMBus コマンドの詳細

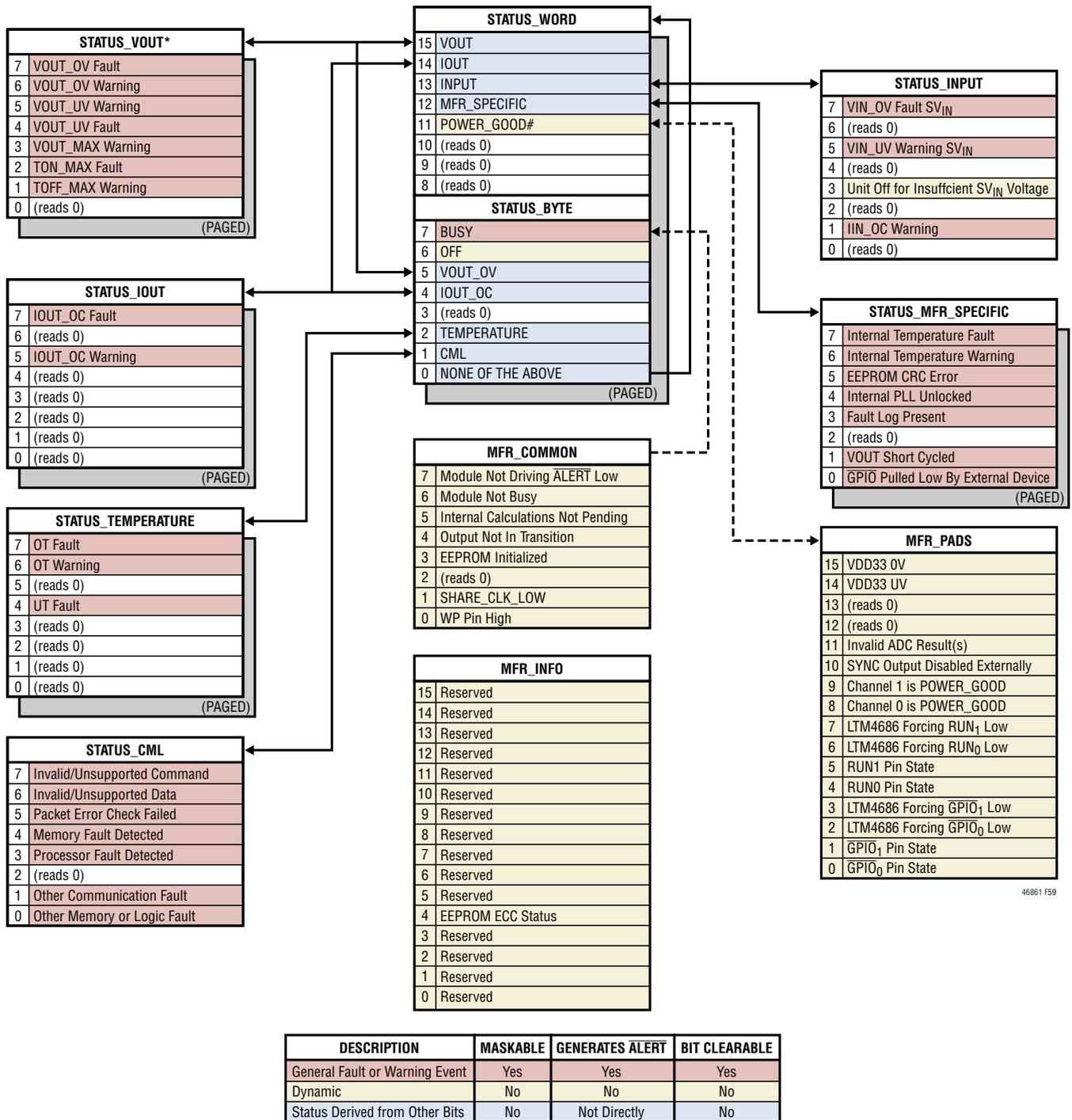


図 59. ステータス・レジスタの要約

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

### MFR\_INFO

MFR\_INFO コマンドには、LTM4686 固有のステータス・ビットで、かつアナログ・デバイセズの複数の PSM 製品に共通するステータス・ビットが含まれています。

### MFR\_INFO のデータの内容

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

RESTORE\_USER\_ALL コマンド、RESET コマンド、パワーオン・リセット、または EEPROM バルク読み出し動作がそれぞれ行われた後に、EEPROM の ECC の状態が更新されます。この読み出し専用コマンドは 2 バイトのデータを伴います。

### 遠隔測定

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
READ_VIN	0x88	測定された入力電源 (SV <sub>IN</sub> ) 電圧	R Word	N	L11	V		NA
READ_VOUT	0x8B	測定された出力電圧	R Word	Y	L16	V		NA
READ_IIN	0x89	入力電源電流の計算値	R Word	N	L11	A		NA
MFR_READ_IIN	0xED	チャンネルごとの入力電流計算値	R Word	Y	L11	A		NA
READ_IOUT	0x8C	測定された出力電流	R Word	Y	L11	A		NA
READ_TEMPERATURE_1	0x8D	パワー段の温度センサーこれは、IOUT_CAL_GAIN を含む全ての温度関連処理に使用される値です。	R Word	Y	L11	C		NA
READ_TEMPERATURE_2	0x8E	制御 IC のダイ温度他のレジスタには影響しません。	R Word	N	L11	C		NA
READ_DUTY_CYCLE	0x94	上側ゲート制御信号のデューティ・サイクル	R Word	Y	L11	%		NA
READ_POUT	0x96	出力電力の計算値	R Word	Y	L11	W		NA
MFR_VOUT_PEAK	0xDD	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での READ_VOUT の最大測定値	R Word	Y	L16	V		NA
MFR_VIN_PEAK	0xDE	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での READ_VIN の最大測定値	R Word	N	L11	V		NA
MFR_TEMPERATURE_1_PEAK	0xDF	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降でのパワー段温度 (READ_TEMPERATURE_1) の最大測定値	R Word	Y	L11	C		NA
MFR_TEMPERATURE_2_PEAK	0xF4	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での制御 IC ダイ温度 (READ_TEMPERATURE_2) の最大測定値	R Word	N	L11	C		NA
MFR_IOUT_PEAK	0xD7	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での READ_IOUT の最大測定値を報告します。	R Word	Y	L11	A		NA
MFR_ADC_CONTROL	0xD8	高速の ADC 読み出しを繰り返す場合に選択される ADC の遠隔測定パラメータ	R/W Byte	N	Reg			0x00
MFR_ADC_TELEMETRY_STATUS	0xDA	短い順線方式の ADC ループが有効になったときに、変換された最新のパラメータがどれかを示す ADC 遠隔測定ステータス	R/W Byte	N	Reg			NA

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

### **READ\_VIN**

READ\_VIN コマンドは、 $SV_{IN}$  入力電圧の測定値 (V) を返します。

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

### **READ\_VOUT**

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

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

### **READ\_IIN**

READ\_IIN コマンドは入力電流 (A) を返します。注記：入力電流は、両方の出力からの READ\_IOUT 電流と READ\_DUTY\_CYCLE の値に MFR\_IIN\_OFFSET を加えて計算します。低電流時に正確な結果を得るには、デバイスを連続導通モードにする必要があります。DCR による検出を使用する場合、最大の誤差発生源は、インダクタの寄生 DC 抵抗 (DCR) の室温での精度 IOUT\_CAL\_GAIN です。

$$\text{READ\_IIN} = \text{MFR\_READ\_IIN\_PAGE0} + \text{MFR\_READ\_IIN\_PAGE1}$$

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

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

MFR\_READ\_IIN コマンドは、ページ指定された MFR\_IIN\_OFFSET パラメータを適用する入力電流のページ指定読出しです。この計算は、ページ指定された値を使用する以外は、READ\_IIN と同様です。

$$\text{MFR\_READ\_IIN} = \text{MFR\_IIN\_OFFSET} + (\text{IOUT} \cdot \text{DUTY\_CYCLE})$$

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

### **READ\_IOUT**

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

- a) パワー・インダクタの  $\Delta I_{SNSn}$  から得られた差動電圧
- b) IOUT\_CAL\_GAIN の値
- c) MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TC の値
- d) READ\_TEMPERATURE\_1 の値
- e) MFR\_TEMP\_1\_GAIN および MFR\_TEMP\_1\_OFFSET の値

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

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

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

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

## 付録C:PMBusコマンドの詳細

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

READ\_TEMPERATURE\_2 コマンドは、内部検出素子の温度(°C)を返します。

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

### **READ\_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(%)を返します。

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

### **READ\_POUT**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

**MFR\_IOUT\_PEAK**

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

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

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

**MFR\_ADC\_CONTROL**

MFR\_ADC\_CONTROL コマンドは、ADC の読出し選択肢を指定します。このコマンドのデフォルト値 0 では、標準の遠隔測定ループが実行され、全てのパラメータが遅延時間の代表値である 90 ミリ秒で順繰りに更新されます。0 以外の値を指定して、8 ミリ秒の概算更新レートで1つのパラメータをモニタできます。このコマンドの遅延は、最大2回の A/D 変換によるもので、約 16 ミリ秒です (パワー段の温度変換の遅延は最大3回の A/D 変換によるもので、約 24 ミリ秒になる可能性があります)。0x0D という値を選択すると、短い順繰り方式のループが有効になります。このコマンド指定値では、VOUT0、IOUT0、VOUT1、および IOUT1 を順繰りに選択するだけで、短い遠隔測定ループが実行されます。順繰り方式での代表的な遅延時間は 27 ミリ秒です。1つのパラメータを ADC で高速に更新することが必要な特殊な場合を除いて、デバイスは標準の遠隔測定モードのままにすることを推奨します。目的のパラメータを限られた時間 (例えば 1 秒未満) だけモニタするようデバイスにコマンドを出し、その後、標準の順繰り方式に戻るようコマンドを設定します。このコマンドを標準の順繰り遠隔測定 (0) 以外の任意の値に設定した場合、選択したパラメータ以外の遠隔測定に関連した全ての警告および障害は、事実上無効になり、電圧のサーボ制御はディスエーブルされます。順繰り方式が再アサートされると、全ての警告と障害信号およびサーボ・モードは再度有効化されます。

コマンド指定値	選択される遠隔測定
0x00	標準の ADC 順繰り遠隔測定
0x01	SV <sub>IN</sub>
0x02	予備
0x03	予備
0x04	内部 IC の温度
0x05	チャンネル 0 の出力電圧
0x06	チャンネル 0 の出力電流
0x07	予備
0x08	チャンネル 0 のパワー段での検出温度
0x09	チャンネル 1 の出力電圧
0x0A	チャンネル 1 の出力電流
0x0B	予備
0x0C	チャンネル 1 のパワー段または TSNS <sub>1a</sub> での検出温度
0x0D	ADC の短い順繰り方式
0x0E-0xFF	予備

予備のコマンド値を入力すると、デバイスはデフォルトで内部 IC 温度になり、CML[6] 障害信号を出力します。有効なコマンド値を入力するまで、LTM4686 によって CML[6] 障害信号が出力され続けます。

この読出し/書込みコマンドは1バイトのデータを伴い、レジスタ・フォーマットが設定されています。

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

### MFR\_ADC\_TELEMETRY\_STATUS

MFR\_ADC\_TELEMETRY\_STATUS コマンドは、MFR\_ADC\_CONTROL の短い順繰り方式のループがコマンドの値 0xD8 および 0x0D を使用して有効になったときに、最新の A/D 変換を判別する方法を提供します。このコマンドのビット割り当ては以下のとおりです。

ビット	得られる遠隔測定データ
7	予備、0を返します
6	予備、0を返します
5	予備、0を返します
4	予備、0を返します
3	チャンネル1の I <sub>OUT</sub> 読出し値 (I <sub>OUT1</sub> )
2	チャンネル1の V <sub>OUT</sub> 読出し値 (V <sub>OUT1</sub> )
1	チャンネル0の I <sub>OUT</sub> 読出し値 (I <sub>OUT0</sub> )
0	チャンネル0の V <sub>OUT</sub> 読出し値 (V <sub>OUT0</sub> )

データ・ビットを 1 に設定して MFR\_ADC\_TELEMETRY\_STATUS に書き込むと、各ビットはクリアされます。

この読出し／書込みコマンドは 1 バイトのデータを伴い、レジスタ・フォーマットが設定されています。

## NVM (EEPROM) メモリのコマンド

### STORE/RESTORE

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
STORE_USER_ALL	0x15	ユーザの動作メモリを EEPROM に格納します。	Send Byte	N				NA
RESTORE_USER_ALL	0x16	ユーザの動作メモリを EEPROM から再生します。MFR_RESET と同一です。	Send Byte	N				NA
MFR_COMPARE_USER_ALL	0xF0	電流コマンドの内容を NVM と比較します。	Send Byte	N				NA

### STORE\_USER\_ALL

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

10 年間のデータ保持を確保できるのは、STORE\_USER\_ALL を  $0^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq 85^{\circ}\text{C}$  の範囲内で実行する場合に限られます。85°C より高いか 0°C より低い温度でのコマンドの実行は推奨しません。その条件ではデータ保持を確保できないからです。ダイ温度が 130°C を超える場合、STORE\_USER\_ALL コマンドは無効になります。IC 温度が 125°C より低くなると、このコマンドは再度有効になります。

LTM4686 との通信および EEPROM のプログラミングを開始できるのは、VDD33 が供給されていて、SV<sub>IN</sub> が印加されていない場合です。グローバル・アドレス 0x5B を使用して、デバイスをこの状態でイネーブルするには、0x2B を書き込み、続いて 0xC4 を書き込みます。これにより、デバイスは通信できるようになり、プロジェクト・ファイルを更新できます。更新後のプロジェクト・ファイルを EEPROM に書き込むため、STORE\_USER\_ALL コマンドを発行します。SV<sub>IN</sub> を印加したら、MFR\_RESET または RESTORE\_USER\_ALL を発行して PWM をイネーブルし、有効な A/D 変換結果を読み出せるようにする必要があります。

この書込み専用コマンドにはデータ・バイトはありません。

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

### RESTORE\_USER\_ALL

RESTORE\_USER\_ALL コマンドは、LTM4686 の MFR\_RESET を実行できる代替手段を提供します。

この書込み専用コマンドにはデータ・バイトはありません。

### MFR\_COMPARE\_USER\_ALL

MFR\_COMPARE\_USER\_ALL コマンドは、現在のコマンドの内容と不揮発性メモリに格納されている内容を比較するよう PMBus デバイスに指示します。比較動作によって差が検出された場合は、CML ビット 0 障害信号が生成されます。

MFR\_COMPARE\_USER\_ALL コマンドは、ダイ温度が 130°C を超えると無効になり、ダイ温度が 125°C より低くなるまで再有効化されません。

この書込み専用コマンドにはデータ・バイトはありません。

### 障害ログの動作

障害ログの概念図を図 60 に示します。障害ログにより、遠隔測定の実績機能が LTM4686 に与えられます。通常動作時に、ステータス・レジスタの内容、出力電圧の読出し値、温度の読出し値、ならびにこれらの量のピーク値が RAM の常時更新バッファに格納されます。この動作は帯形記録計に似ています。障害が発生すると、内容は不揮発性の EEPROM に書き込まれます。EEPROM の障害ログは、その後ロックされます。デバイスの電源を遮断しても、後から障害ログを読み出すことができます。ECC を追加した結果として、EEPROM 内で障害ログに使用できる領域は減少します。障害ログを RAM から読み出した場合、周期的データの 6 つの事象は全て残ります。ただし、(リセット後に) EEPROM から障害ログを読み出すと、最後の 2 つの事象は失われます。147 バイトの読出し長はそのままですが、5 番目と 6 番目の事象は 4 番目の事象の繰り返しです。

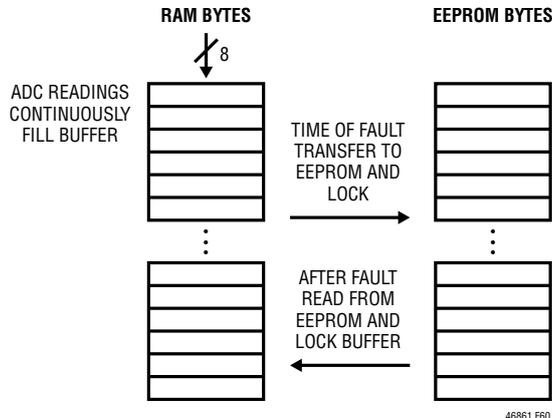


図 60. 障害ログの概念図

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

表 30. 障害ログこの表は、MFR\_FAULT\_LOGコマンドの読み出しブロック・データを基にブロック・データのフォーマットの概要を示しています。

データ・フォーマットの定義				LIN 11 = PMBus = Rev 1.2, Part 2, section 7.1
				LIN 16 = PMBus Rev 1.2, Part 2, section 8. 仮数部のみ
				BYTE = このコマンドの定義に従って解釈された8ビット
データ	ビット	データ・フォーマット	バイト番号	ブロック読み出しコマンド
ブロック長		バイト	147	MFR_FAULT_LOGコマンドは147バイトの固定長 データ・ログ・イベントが取り込まれていない場合、ブロック長は0になります。
ヘッダ情報				
障害ログの前書き	[7:0]	ASC	0	部分的または完全な障害ログが存在する場合、バイト0で始まるLTxxを返します。ワードxxはデバイスごとに変更できる工場識別マーク
	[7:0]		1	
	[15:8]	Reg	2	
	[7:0]		3	
障害発生源	[7:0]	Reg	4	表31参照。
MFR_REAL_TIME	[7:0]	Reg	5	障害発生時の48ビット共有クロック・カウンタの値(分解能200µs)
	[15:8]		6	
	[23:16]		7	
	[31:24]		8	
	[39:32]		9	
MFR_VOUT_PEAK (PAGE 0)	[15:8]	L16	11	最後の電源投入後またはCLEAR_PEAKSコマンド以降でのチャンネル0のREAD_VOUTのピーク値
	[7:0]		12	
MFR_VOUT_PEAK (PAGE 1)	[15:8]	L16	13	最後の電源投入後またはCLEAR_PEAKSコマンド以降でのチャンネル1のREAD_VOUTのピーク値
	[7:0]		14	
MFR_IOUT_PEAK (PAGE 0)	[15:8]	L11	15	最後の電源投入後またはCLEAR_PEAKSコマンド以降でのチャンネル0のREAD_IOUTのピーク値
	[7:0]		16	
MFR_IOUT_PEAK (PAGE 1)	[15:8]	L11	17	最後の電源投入後またはCLEAR_PEAKSコマンド以降でのチャンネル1のREAD_IOUTのピーク値
	[7:0]		18	
MFR_VIN_PEAK	[15:8]	L11	19	最後の電源投入後またはCLEAR_PEAKSコマンド以降でのREAD_VINのピーク値
	[7:0]		20	
READ_TEMPERATURE1 (PAGE 0)	[15:8]	L11	21	最後のイベント発生時のチャンネル0のパワー一段
	[7:0]		22	
READ_TEMPERATURE1 (PAGE 1)	[15:8]	L11	23	最後のイベント発生時のチャンネル1のパワー一段またはTSNS <sub>1a</sub> で検出された温度1
	[7:0]		24	
READ_TEMPERATURE2	[15:8]	L11	25	最後のイベント発生時の内部温度センサー
	[7:0]		26	
周期的データ				
イベントn (障害発生時のデータ、最新のデータ)				イベント「n」は、障害の発生時にMUXを介してADCが読み出す完全な1サイクルを示します。例:ADCがステップ15を処理しているときに障害が発生した場合、読み出しをステップ25まで続けてから、ヘッダと全6ページのイベント・ページをEEPROMに格納します。

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

表 30. 障害ログこの表は、MFR\_FAULT\_LOGコマンドの読み出しブロック・データを基にブロック・データのフォーマットの概要を示しています。

READ_VOUT (PAGE 0)	[15:8]	LIN 16	27	
	[7:0]	LIN 16	28	
READ_VOUT (PAGE 1)	[15:8]	LIN 16	29	
	[7:0]	LIN 16	30	
READ_IOUT (PAGE 0)	[15:8]	LIN 11	31	
	[7:0]	LIN 11	32	
READ_IOUT (PAGE 1)	[15:8]	LIN 11	33	
	[7:0]	LIN 11	34	
READ_VIN	[15:8]	LIN 11	35	
	[7:0]	LIN 11	36	
READ_IIN	[15:8]	LIN 11	37	
	[7:0]	LIN 11	38	
STATUS_VOUT (PAGE 0)		BYTE	39	
STATUS_VOUT (PAGE 1)		BYTE	40	
STATUS_WORD (PAGE 0)	[15:8]	WORD	41	
	[7:0]	WORD	42	
STATUS_WORD (PAGE 1)	[15:8]	WORD	43	
	[7:0]	WORD	44	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 0)		BYTE	45	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 1)		BYTE	46	
<b>イベント n-1</b>				
<b>(障害が検出される前に測定されたデータ)</b>				
READ_VOUT (PAGE 0)	[15:8]	LIN 16	47	
	[7:0]	LIN 16	48	
READ_VOUT (PAGE 1)	[15:8]	LIN 16	49	
	[7:0]	LIN 16	50	
READ_IOUT (PAGE 0)	[15:8]	LIN 11	51	
	[7:0]	LIN 11	52	
READ_IOUT (PAGE 1)	[15:8]	LIN 11	53	
	[7:0]	LIN 11	54	
READ_VIN	[15:8]	LIN 11	55	
	[7:0]	LIN 11	56	
READ_IIN	[15:8]	LIN 11	57	
	[7:0]	LIN 11	58	
STATUS_VOUT (PAGE 0)		BYTE	59	
STATUS_VOUT (PAGE 1)		BYTE	60	
STATUS_WORD (PAGE 0)	[15:8]	WORD	61	
	[7:0]	WORD	62	
STATUS_WORD (PAGE 1)	[15:8]	WORD	63	
	[7:0]	WORD	64	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 0)		BYTE	65	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 1)		BYTE	66	

## 付録C:PMBusコマンドの詳細

表 30. 障害ログこの表は、MFR\_FAULT\_LOGコマンドの読み出しブロック・データを基にブロック・データのフォーマットの概要を示しています。

*				
*				
*				
イベント n-5 (最も古い記録データ)				
READ_VOUT (PAGE 0)	[15:8]	LIN 16	127	
	[7:0]	LIN 16	128	
READ_VOUT (PAGE 1)	[15:8]	LIN 16	129	
	[7:0]	LIN 16	130	
READ_IOUT (PAGE 0)	[15:8]	LIN 11	131	
	[7:0]	LIN 11	132	
READ_IOUT (PAGE 1)	[15:8]	LIN 11	133	
	[7:0]	LIN 11	134	
READ_VIN	[15:8]	LIN 11	135	
	[7:0]	LIN 11	136	
READ_IIN	[15:8]	LIN 11	137	
	[7:0]	LIN 11	138	
STATUS_VOUT (PAGE 0)		BYTE	139	
STATUS_VOUT (PAGE 1)		BYTE	140	
STATUS_WORD (PAGE 0)	[15:8]	WORD	141	
	[7:0]	WORD	142	
STATUS_WORD (PAGE 1)	[15:8]	WORD	143	
	[7:0]	WORD	144	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 0)		BYTE	145	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 1)		BYTE	146	

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

表 31. Position\_Fault の値の説明

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

## 障害ログ

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
MFR_FAULT_LOG	0xEE	障害ログのデータ・バイト。この逐次検索データを使用して、完全な障害ログを組み立てます。	R Block	N	CF		Y	NA
MFR_FAULT_LOG_STORE	0xEA	RAM から EEPROM への障害ログの転送をコマンドで指定します。	Send Byte	N				NA
MFR_FAULT_LOG_CLEAR	0xEC	障害ログの予備として確保された EEPROM ブロックを初期化します。	Send Byte	N				NA

**MFR\_FAULT\_LOG**

MFR\_FAULT\_LOG コマンドを使用すると、MFR\_FAULT\_LOG\_CLEAR コマンドが最後に書き込まれて以降、初めて障害が発生した後に FAULT\_LOG の内容を読み出すことができます。このコマンドの内容は不揮発性メモリに格納され、MFR\_FAULT\_LOG\_CLEAR コマンドによってクリアされます。このコマンドの長さとは内容は表 30 に記載されています。MFR\_FAULT\_LOG コマンドにアクセスするときに障害ログが存在しない場合、コマンドはデータ長として 0 を返します。障害ログが存在する場合、MFR\_FAULT\_LOG は常に 147 バイト長のデータ・ブロックを返します。電源を投入して 1 秒以内に障害が発生した場合は、障害ログの先頭付近のページに有効データが含まれていないことがあります。

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

この読み出し専用コマンドにはブロック・フォーマットが設定されています。

## 付録C:PMBus コマンドの詳細

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

MFR\_FAULT\_LOG\_STORE コマンドは、あたかも障害が発生したかのように障害ログ動作をEEPROMに強制的に書き込みます。MFR\_CONFIG\_ALL コマンドで「Enable Fault Logging」ビットを設定している場合は、MFR\_FAULT\_LOG\_STORE コマンドによってMFR\_SPECIFIC 障害が発生します。

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

障害ログのヘッダには稼働時間カウンタがあります。このカウンタは、モジュールの最後のリセット(MFR\_RESET、RESTORE\_USER\_ALL、またはSV<sub>IN</sub>の電源入れ直し)以降の時間を200マイクロ秒刻みで示すものです。これは48ビットの2進カウンタです。

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトはありません。

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

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

この書き込み専用コマンドはバイト送信コマンドです。

### ブロック・メモリの書き込み/読出し

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
MFR_EE_UNLOCK	0xBD	MFR_EE_ERASE コマンドおよびMFR_EE_DATA コマンドでアクセスするため、ユーザのEEPROMのロックを解除します。	R/W Byte	N	Reg			NA
MFR_EE_ERASE	0xBE	MFR_EE_DATA による一括プログラミングのため、ユーザのEEPROMを初期化します。	R/W Byte	N	Reg			NA
MFR_EE_DATA	0xBF	PMBusワードの順次読出しまたは書き込みを使用してEEPROMとの間で転送されるデータ一括プログラミングをサポートします。	R/W Word	N	Reg			NA

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

### **MFR\_EE\_xxxx**

MFR\_EE\_XXXX コマンドは、内部EEPROMの一括プログラミングを簡単にする目的で使用します。詳細については弊社にご連絡ください。

## パッケージ



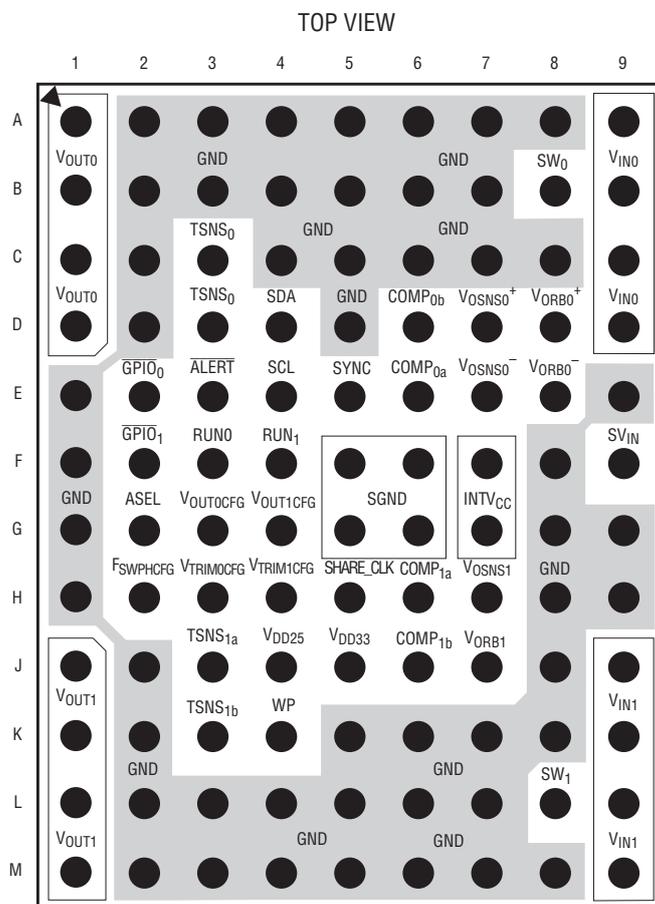
パッケージの行と列のラベルはμModule 製品間で異なります。各パッケージのレイアウトをよく確認してください。

表 32. LTM4686 の LGA ピン配列

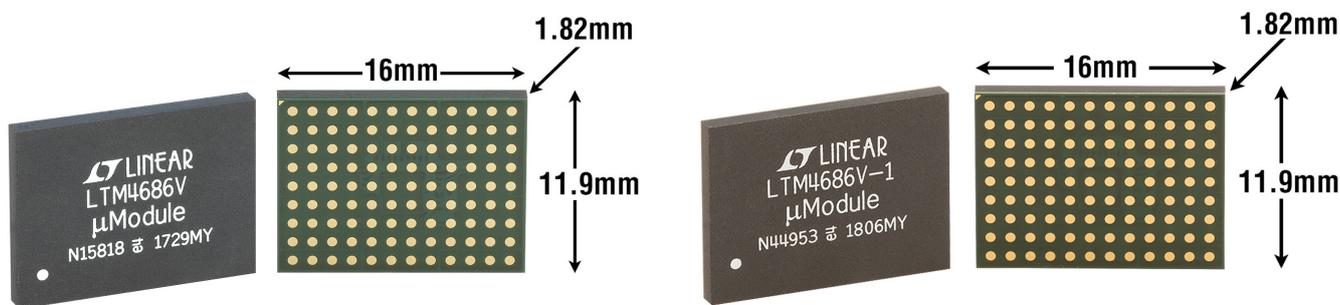
ピンID	機能	ピンID	機能	ピンID	機能	ピンID	機能	ピンID	機能	ピンID	機能
A1	V <sub>OUT0</sub>	B1	V <sub>OUT0</sub>	C1	V <sub>OUT0</sub>	D1	V <sub>OUT0</sub>	E1	GND	F1	GND
A2	GND	B2	GND	C2	GND	D2	GND	E2	$\overline{\text{GPIO}}_0$	F2	$\overline{\text{GPIO}}_1$
A3	GND	B3	GND	C3	TSNS <sub>0</sub>	D3	TSNS <sub>0</sub>	E3	$\overline{\text{ALERT}}$	F3	RUN <sub>0</sub>
A4	GND	B4	GND	C4	GND	D4	SDA	E4	SCL	F4	RUN <sub>1</sub>
A5	GND	B5	GND	C5	GND	D5	GND	E5	SYNC	F5	SGND
A6	GND	B6	GND	C6	GND	D6	COMP <sub>0b</sub>	E6	COMP <sub>0a</sub>	F6	SGND
A7	GND	B7	GND	C7	GND	D7	V <sub>OSNS0+</sub>	E7	V <sub>OSNS0</sub>	F7	INTV <sub>CC</sub>
A8	GND	B8	SW <sub>0</sub>	C8	GND	D8	V <sub>ORB0+</sub>	E8	V <sub>ORB0</sub>	F8	GND
A9	V <sub>IN0</sub>	B9	V <sub>IN0</sub>	C9	V <sub>IN0</sub>	D9	V <sub>IN0</sub>	E9	GND	F9	SV <sub>IN</sub>

ピンID	機能	ピンID	機能	ピンID	機能	ピンID	機能	ピンID	機能	ピンID	機能
G1	GND	H1	GND	J1	V <sub>OUT1</sub>	K1	V <sub>OUT1</sub>	L1	V <sub>OUT1</sub>	M1	V <sub>OUT1</sub>
G2	ASEL	H2	F <sub>SWPHCFG</sub>	J2	GND	K2	GND	L2	GND	M2	GND
G3	V <sub>OUT0CFG</sub>	H3	V <sub>TRIM0CFG</sub>	J3	TSNS <sub>1a</sub>	K3	TSNS <sub>1b</sub>	L3	GND	M3	GND
G4	V <sub>OUT1CFG</sub>	H4	V <sub>TRIM1CFG</sub>	J4	V <sub>DD25</sub>	K4	WP	L4	GND	M4	GND
G5	SGND	H5	SHARE_CLK	J5	V <sub>DD33</sub>	K5	GND	L5	GND	M5	GND
G6	SGND	H6	COMP <sub>1a</sub>	J6	COMP <sub>1b</sub>	K6	GND	L6	GND	M6	GND
G7	INTV <sub>CC</sub>	H7	V <sub>OSNS1</sub>	J7	V <sub>ORB1</sub>	K7	GND	L7	GND	M7	GND
G8	GND	H8	GND	J8	GND	K8	GND	L8	SW <sub>1</sub>	M8	GND
G9	GND	H9	GND	J9	V <sub>IN1</sub>	K9	V <sub>IN1</sub>	L9	V <sub>IN1</sub>	M9	V <sub>IN1</sub>

パッケージ

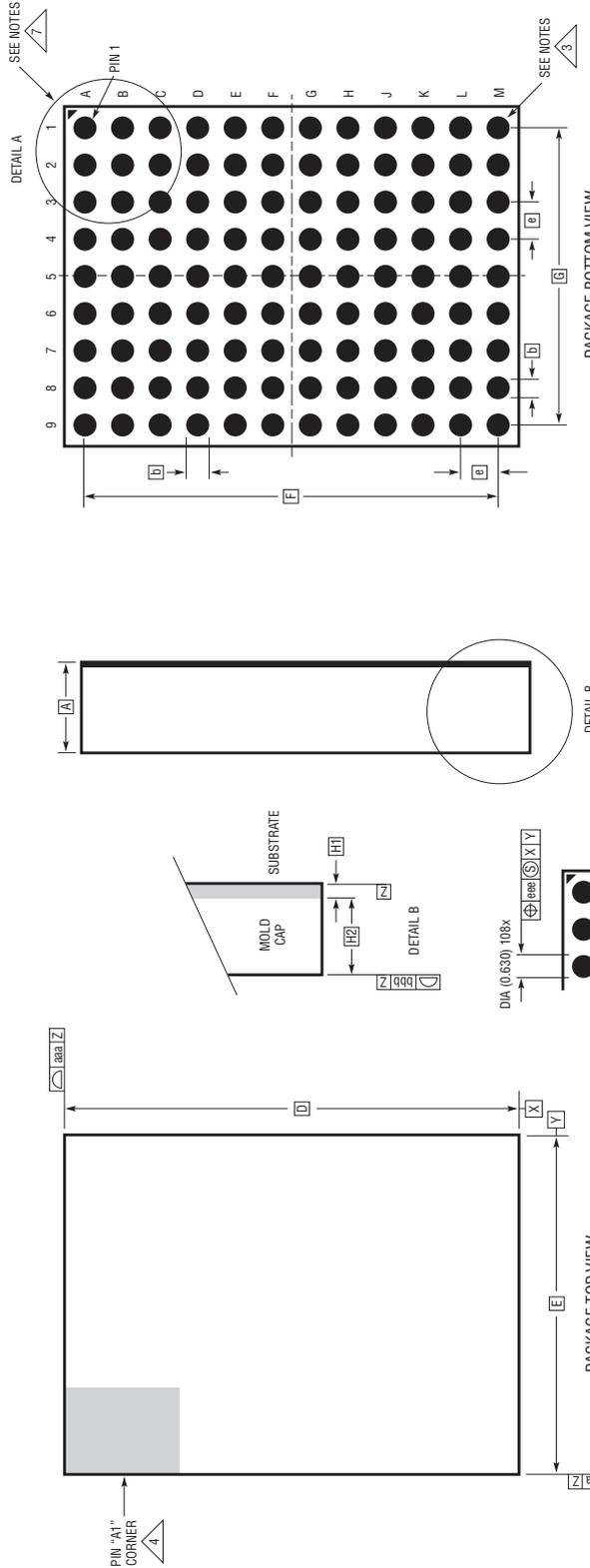


パッケージの写真



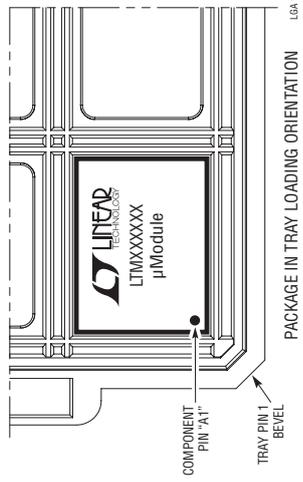
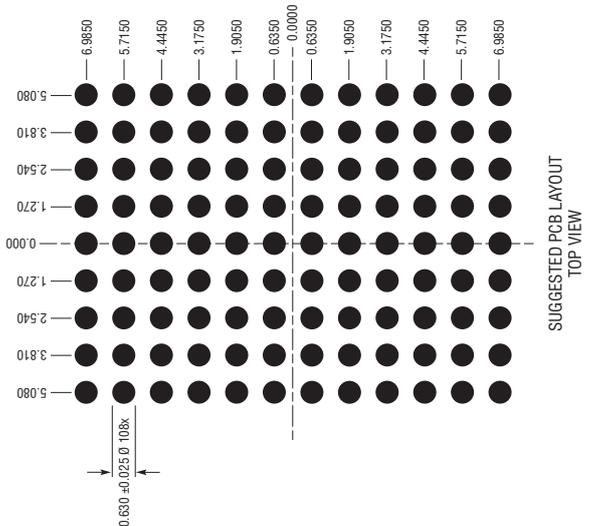
## パッケージ

### LGA Package 108-Lead (16mm × 11.9mm × 1.82mm) (Reference LTC DWG # 05-08-1563 Rev 0)



- 注記:
1. 寸法と許容誤差は ASME Y14.5M-1994 による
  2. 全ての寸法はミリメートル
  3. ボールの指定は JESD MS-028 および JEPC95 による
  4. ピン #1 の識別マークの詳細はオプションだが、示された領域内にはなければならない。ピン #1 の識別マークはモールドまたはマーキングにすることができる
  5. 主データム-Z はシーティングプレーン
  6. パッドの総数: 108
  7. パッケージの行と列のラベルは、μModule 製品間で異なります。各パッケージのレイアウトを十分に確認してください

DIMENSIONS				
SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTES
A	1.72	1.82	1.92	
b	0.60	0.63	0.66	
D		16.00		
E		11.90		
e		1.27		
F		13.97		
G		10.16		
H1	0.27	0.32	0.37	
H2	1.45	1.50	1.55	
aaa		0.15		
bbb		0.10		
eee		0.15		
TOTAL NUMBER OF LGA PADS: 108				



## 改訂履歴

バージョン	日付	説明	ページ番号
A	9/18	製品のビデオや技術クリップへのハイパーリンクを追加。	1

## 代表的なアプリケーション

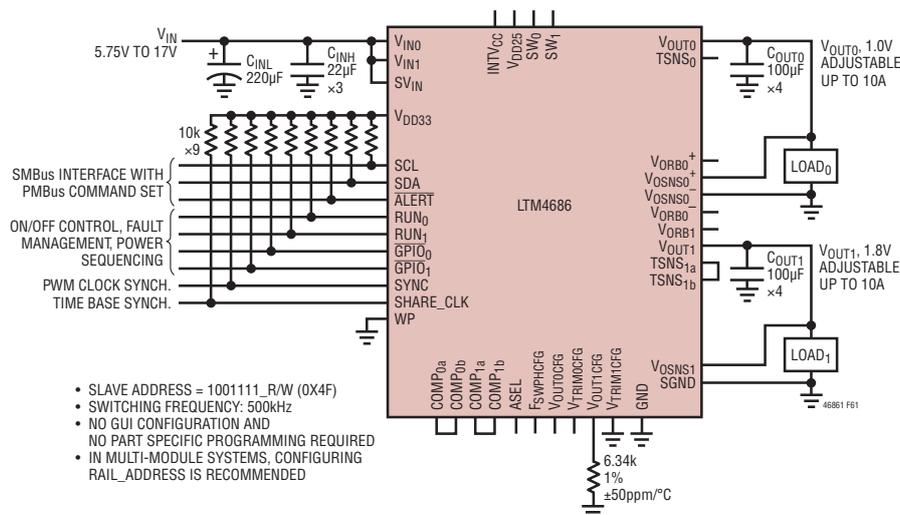


図 61. シリアル・インターフェースを備えた 10A、1V および 10A、1.8V 出力の DC/DC μModule レギュレータ

## デザイン・リソース

主題	説明
<a href="#">μModule の設計 / 製造リソース</a>	設計: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 選択ガイド</li> <li>• 評価用ボードおよび Gerber ファイル</li> <li>• 無料シミュレーション・ツール</li> </ul> 製造: <ul style="list-style-type: none"> <li>• クイック・スタート・ガイド</li> <li>• PCB の設計、組立、および製造ガイドライン</li> <li>• パッケージおよびボード・レベルの信頼性</li> </ul>
<a href="#">μModule レギュレータ製品の検索</a>	1. 製品の表をパラメータによって並べ替え、結果をスプレッドシートとしてダウンロードする 2. Quick Power Search パラメトリック・テーブルを使って検索を実行する <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>Quick Power Search</p> <p>INPUT   <math>V_{in}(\text{Min})</math> <input type="text"/> V <math>V_{in}(\text{Max})</math> <input type="text"/> V</p> <p>OUTPUT   <math>V_{out}</math> <input type="text"/> V <math>I_{out}</math> <input type="text"/> A</p> <p>FEATURES   <input type="checkbox"/> Low EMI <input type="checkbox"/> Ultrathin <input type="checkbox"/> Internal Heat Sink</p> <p style="text-align: center;"><a href="#">Multiple Outputs</a> <a href="#">Search</a></p> </div>
<a href="#">デジタル・パワー・システム・マネージメント</a>	アナログ・デバイスズのデジタル電源管理デバイス・ファミリーは、電源の監視、管理、マージン制御およびシーケンス制御などの基本機能を提供する高度に集積されたソリューションであり、ユーザの設定と障害ログを格納する EEPROM を搭載しています。

## 関連製品

製品番号	説明	注釈
LTM4631	超薄型のデュアル 10A またはシングル 20A μModule レギュレータ (非 PMBus)	$4.5V \leq V_{IN} \leq 15V$ , $0.6V \leq V_{OUT} \leq 1.8V$ , 16mm × 16mm × 1.91mm LGA パッケージ
LTM4676A	デジタル・パワー・システム・マネージメント機能を備えたデュアル 13A またはシングル 26A 降圧 μModule レギュレータ	$4.5V \leq V_{IN} \leq 17V$ , $0.5V \leq V_{OUT} \leq 5.5V$ , 16mm × 16mm × 5.01mm BGA パッケージ
LTM4677	デジタル・パワー・システム・マネージメント機能を備えたデュアル 18A またはシングル 36A 降圧 μModule レギュレータ	$4.5V \leq V_{IN} \leq 16V$ , $0.6V \leq V_{OUT} \leq 1.8V$ , 16mm × 16mm × 5.01mm BGA パッケージ
LTM4630	LTM4677 と消費電力は同じだがデジタル・パワー・システム・マネージメント機能はない (非 PMBus)	LTM4650A とピン互換, $4.5V \leq V_{IN} \leq 15V$ , $0.6V \leq V_{OUT} \leq 1.8V$ , 16mm × 16mm × 4.41mm (LGA), 16mm × 16mm × 5.01mm (BGA)
LTM4678	デュアル 25A またはシングル 50A μModule レギュレータ	$4.5V \leq V_{IN} \leq 16V$ , $0.5V \leq V_{OUT} \leq 3.3V$ , 16mm × 16mm × 5.86mm BGA パッケージ
LTM4650	デュアル 25A またはシングル 50A 降圧 μModule レギュレータ (非 PMBus)	$4.5V \leq V_{IN} \leq 15V$ , $0.6V \leq V_{OUT} \leq 1.8V$ , 16mm × 16mm × 5.01mm BGA パッケージ

米国特許 7000125 およびその他の関連特許の使用許可を世界中で受けています。TUE は全未調整誤差を表します。

Rev. A