

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25Aまたはシングル50A μ Moduleレギュレータ

特長

- デジタル式に調整可能なデュアル・アナログ・ループとデジタル・インターフェースにより制御とモニタリングに対応
- 広い入力電圧範囲: 4.5V~16V
- 出力電圧範囲: 0.5V~3.3V
- 全温度範囲でのDC出力誤差: 最大 $\pm 0.5\%$
- 電流の読み出し精度: $\pm 5\%$
- 1m Ω 未満のDCRによる電流検出
- 入力電流検出アンプ内蔵
- PMBus準拠の400kHz I²Cシリアル・インターフェース
- 最大125Hzの遠隔測定ポーリングをサポート
- 16ビットの $\Delta\Sigma$ ADC内蔵
- 固定周波数電流モード制御
- 並列接続と最大250Aの電流分担
- 16mm \times 16mm \times 5.86mm CoP-BGAパッケージ

読み出し可能なデータ:

- 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

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、電圧シーケンスおよび電圧マージン
- デジタル・ソフトスタート/ストップ・ランプ、アナログ・ループのプログラム
- OV/UV/OT、UVLO、周波数、および位相制御

アプリケーション

- プロトタイプ環境、量産環境、現場環境でのシステム最適化、特性評価、およびデータ検索

概要

LTM[®]4678は、デュアル25Aまたはシングル50A降圧 μ Module[®](パワー・モジュール)DC/DCレギュレータであり、オープン・スタンダードかつI²Cベースのデジタル・インターフェース・プロトコルである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を特長としています。LTM4678は、デジタル式にプログラム可能な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。

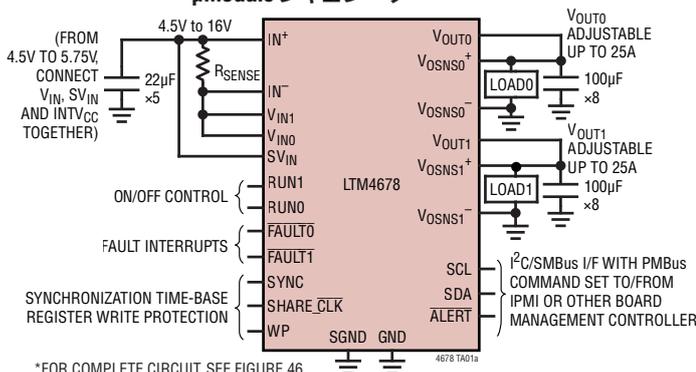
LTM4678は、その2線シリアル・インターフェースにより、出力のマージン制御、調整、上昇、および下降をプログラム可能なスルー・レートで、遅延時間をシーケンス制御することで実行できます。真の入力電流検出値、出力電流、出力電圧、出力電力、温度、動作時間、およびピーク値を読み出すことができます。EEPROM内容のカスタム設定は必要ありません。起動時には、出力電圧、スイッチング周波数、およびチャンネルの位相角割り当てを、ピンストラップ抵抗によって設定できます。LTpowerPlay[®] GUI、DC1613 USB/PMBusコンバータ、およびデモ・キットが供給されています。

LTM4678は、端子仕上げがSnPbまたはRoHS準拠の16mm \times 16mm \times 5.86mm CoP-BGAパッケージで供給されます。

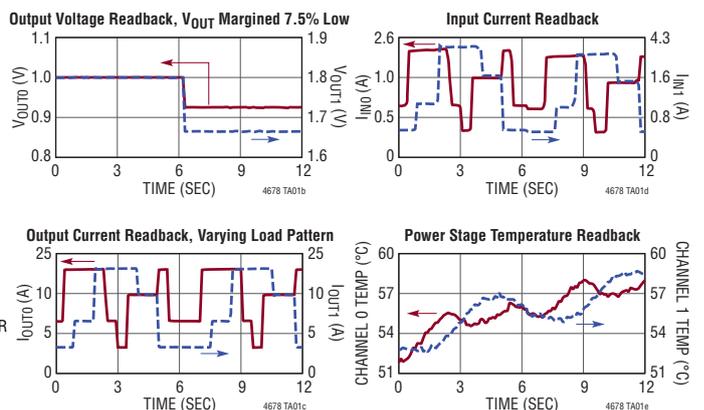
全ての登録商標および商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。5408150、5481178、5705919、5929620、6144194、6177787、6580258、7420359、8163643を含む米国特許によって保護されています。米国特許7000125およびその他の関連特許の使用許可を世界中で受けています。

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25A μ Moduleレギュレータ*



負荷パターン・テスト、ポーリング・レート10Hz、 $V_{IN} = 12V$ 時に、PMBusとLTpowerPlayを使用して遠隔測定をモニタし、 V_{OUT0}/V_{OUT1} をマージン制御



目次

特長	1	表 3. LTM4678 のスイッチング周波数と	
アプリケーション	1	チャンネルの位相インターリーブ角を設定する	
代表的なアプリケーション	1	FSWPH_CFG のピンストラップ参照表	
概要	1	(MFR_CONFIG_ALL[6] = 1b の場合は該当しない) ...	32
目次	2	表 4. LTM4678 のスレーブ・アドレスを設定する	
絶対最大定格	4	ASEL のピンストラップ参照表	
発注情報	4	(MFR_CONFIG_ALL[6] の設定にかかわらず	
ピン配置	4	適用可能)	33
電気的特性	5	表 5. 7ビットおよび8ビットのアドレス指定で表現	
代表的な性能特性	12	したLTM4678のMFR_ADDRESS コマンドの例	33
ピン機能	15	障害の検出と処理	33
簡略ブロック図	19	ステータス・レジスタとALERT のマスキング	34
デカップリングの要件	19	図 5. LTM4678 ステータス・レジスタの概要	35
機能図	20	FAULT ピンへの障害情報のマッピング	36
テスト回路	21	パワーグッド・ピン	36
動作	23	CRC 保護	36
パワー・モジュールの概説	23	シリアル・インターフェース	36
パワー・モジュールの概要、主な機能	23	通信保護	36
ECC 機能を備えた EEPROM	24	デバイスのアドレス指定	36
電源の投入と初期化	25	V _{OUT} と I _{IN} /I _{OUT} の障害に対する応答	37
ソフトスタート	26	出力過電圧障害の応答	37
時間ベースのシーケンス制御	26	出力低電圧の応答	38
電圧ベースのシーケンス制御	26	ピーク出力過電流障害の応答	38
シャットダウン	27	タイミング障害に対する応答	38
軽負荷電流動作	27	V _{IN} の 0V 障害に対する応答	38
スイッチング周波数と位相	28	OT/UT 障害に対する応答	38
PWM ループ補償	28	内部過熱障害の応答	38
出力電圧の検出	28	外部過熱障害および低温障害の応答	39
INTV _{CC} /EXTV _{CC} 電源	28	入力過電流障害および出力低電流障害に対する	
出力電流の検出と1mΩ未満のDCRによる電流検出 ...	29	応答	39
入力電流の検出	29	外部障害に対する反応	39
PolyPhase による負荷分担	29	障害ログ	39
外部温度/内部温度の検出	30	バスのタイムアウト保護	39
RCONFIG (抵抗設定) ピン	30	PMBus、SMBus、および I ² C 2 線インターフェースの	
表 1. LTM4678 の出力電圧、粗い設定に対応する		類似点	40
VOUTn_CFG のピンストラップ参照表		PMBus シリアル・デジタル・インターフェース	40
(MFR_CONFIG_ALL[6] = 1b の場合は該当しない) ...	30	表 6. サポートされているデータ・フォーマットの	
表 2. LTM4678 の出力電圧、微調整設定に対応する		略号	41
VTRIMn_CFG のピンストラップ参照表		図 6. PMBus のタイミング図	41
(MFR_CONFIG_ALL[6] = 1b の場合は該当しない) ...	31	図 7～図 24 の PMBus プロトコル	42

目次

PMBus コマンドの概要	45	代表的なアプリケーション	72
PMBus コマンド	45	PMBus コマンドの詳細	77
表 7. PMBus コマンドの概要 (注記: データ・フォーマットの略号は表 8 に詳細を記載)	45	アドレス指定と書き込み保護	77
表 8. データ・フォーマットの略号	50	汎用設定コマンド	79
アプリケーション情報	51	オン/オフ/マージン	80
V_{IN} から V_{OUT} への降圧比	51	PWM 設定	82
入力コンデンサ	51	電圧	85
出力コンデンサ	51	入力電圧とリミット	85
軽負荷電流動作	51	出力電圧とリミット	86
スイッチング周波数と位相	52	出力電流とリミット	89
出力電流制限のプログラミング	53	入力電流とリミット	91
最小オン時間に関する検討事項	54	温度	92
可変遅延時間、ソフトスタート、および出力電圧の上昇	54	パワー段 DCR の温度キャリブレーション	92
デジタル・サーボ・モード	54	タイミング	93
ソフトオフ (シーケンス制御によるオフ)	55	タイミングオン・シーケンス/ランプ	93
低電圧ロックアウト	56	タイミング - オフ・シーケンス/ランプ	94
障害の検出と処理	56	再起動の前提条件	95
オープンドレイン・ピン	56	障害応答	95
フェーズ・ロック・ループと周波数同期	57	全障害に対する障害応答	95
入力電流検出アンブ	58	入力電圧に対する障害応答	96
プログラム可能なループ補償	58	出力電圧に対する障害応答	96
過渡応答のチェック	59	出力電流に対する障害応答	99
PolyPhase 構成	60	IC 温度に対する障害応答	100
USB- I^2C /SMBus/PMBus 間コントローラから	60	外部温度に対する障害応答	101
システム内の LTM4678 への接続	60	障害信号の共有	102
LTpowerPlay: デジタル電源用のインタラクティブ GUI	61	障害信号の共有と伝搬	102
PMBus 通信とコマンド処理	61	障害共有信号の応答	104
熱に関する検討事項と出力電流のディレーティング	63	スクラッチパッド	104
表 10~11: 出力電流のディレーティング	66	識別情報	105
表 12. チャンネルの出力電圧と部品の選択、負荷ステップ: 0A~12.5A/ μ s	67	障害および警告のステータス	106
出力コンデンサ: GRM32ER60G337ME05L、330 μ F、4V、X5R、村田製作所	67	遠隔測定	112
表 13. チャンネルの出力電圧と部品の選択、負荷ステップ: 0A~12.5A/ μ s	68	NVM メモリ・コマンド	116
デュアル・フェーズ・シングル出力電圧と部品の選択、負荷ステップ: 25A~50A/ μ s	68	STORE/RESTORE	116
アプリケーション情報 - ディレーティング曲線	69	障害ログ	117
EMI 性能	70	ブロック・メモリの書き込み/読み出し	121
安全性に関する検討事項	70	パッケージ	122
レイアウトのチェックリスト/例	70	表 22. LTM4678 の BGA ピン配列	122
		パッケージの写真	124
		デザイン・リソース	124
		関連製品	124

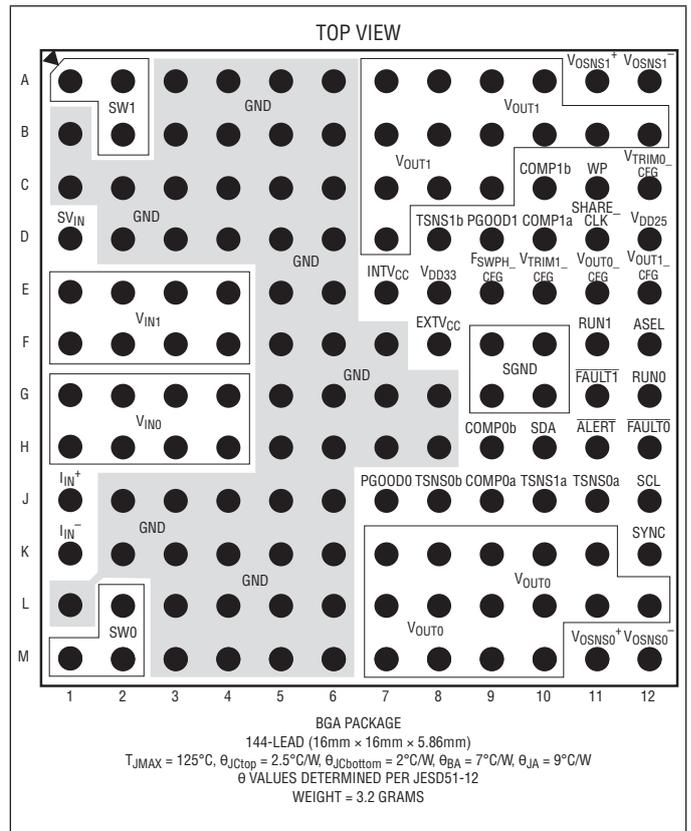
絶対最大定格

(Note 1)

端子電圧:

V_{INn} (Note 4)、 SV_{IN} 、 I_{IN}^+ 、 I_{IN}^-	-0.3V~18V
$(SV_{IN} - I_{IN}^+)$ 、 $(I_{IN}^+ - I_{IN}^-)$	-0.3V~0.3V
SW0、SW1	-1V~18V、トランジエント時は-5V~18V
V_{OUTn} 、INTV _{CC} 、EXTV _{CC}	-0.3V~6V
V_{OSNS0}^+ 、 V_{OSNS1}^+	-0.3V~6V
V_{OSNS0}^- 、 V_{OSNS1}^-	-0.3V~0.3V
RUN _n 、SDA、SCL、 \overline{ALERT}	-0.3V~5.5V
FSWPH_CFG、VOUT0、1_CFG、 VTRIM0、1_CFG、ASEL	-0.3V~2.75V
FAULT _n 、SYNC、SHARE_CLK、WP、 PGOOD0、PGOOD1	-0.3V~3.6V
COMPna、COMPnb	-0.3V~2.7V
TSNS0a、TSNS1a	-0.3V~2.2V
TSNS1b、TSNS1b	-0.3V~0.8V
温度	
内部動作温度範囲 (Note 2、13、17、18)	-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	245°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			
LTM4678EY#PBF	SAC305 (RoHS)	LTM4678Y	e1	BGA	4.	-40°C~125°C
LTM4678IY#PBF		LTM4678Y				
LTM4678IY	SnPb (63/37)	LTM4678Y	e0			

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。* デバイスの温度グレードは出荷時のコンテナのラベルに表示されます。パッド/ボール仕上げのコードはIPC/JEDEC J-STD-609による。

電气的特性

●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1つに対する規格値 (Note 4)。注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $RUN_n = 3.3\text{V}$ 、 $EXTV_{CC} = 0$ 、 $FREQUENCY_SWITCH = 350\text{kHz}$ 、 V_{OUT_n} は 1.000V に指定。注記がない限り、出荷時のデフォルト EEPROM 設定を使用して設定し、テスト回路1に従う。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
V_{IN_n}, SV_{IN}	Input DC Voltage	Test Circuit 1	●	5.75	16	V
		Test Circuit 2; $V_{IN_OFF} < V_{IN_ON} = 4\text{V}$	●	4.5	5.75	V
V_{OUT_n}	Range of Output Voltage Regulation	V_{OUT0} Differentially Sensed on V_{OSNS0^+}/V_{OSNS0^-} Pin-Pair;	●	0.5	3.3	V
		V_{OUT1} Differentially Sensed on V_{OSNS1^+}/V_{OSNS1^-} Pin-Pair; Commanded by Serial Bus or with Resistors Present at Start-Up on $V_{OUT_n_CFG}$	●	0.5	3.3	V
$V_{OUT_n(DC)}$	Output Voltage, Total Variation with Line and Load	(Note 5)				
		Digital Servo Engaged (MFR_PWM_MODE n [6] = 1b) Digital Servo Disengaged (MFR_PWM_MODE n [6] = 0b) V_{OUT_n} Commanded to 1.000V , V_{OUT_n} Low Range (MFR_PWM_MODE n [1] = 1b)	●	0.995	1.000	1.005
V_{UVLO}	Undervoltage Lockout Threshold, When $V_{IN} < 4.3\text{V}$	V_{INTVCC} Falling		3.55		V
		V_{INTVCC} Rising		3.90		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; $TON_RISE_n = 3\text{ms}$		400		mA
$I_Q(SVIN)$	Input Supply Bias Current	Forced Continuous Mode, MFR_PWM_MODE n [0] = 1b $RUN_n = 3.3\text{V}$ Shutdown, $RUN0 = RUN1 = 0\text{V}$		25		mA
$I_S(VIN_n, PSM)$	Input Supply Current in Pulse-Skipping Mode Operation	Pulse-Skipping Mode, MFR_PWM_MODE n [0] = 0b, $I_{OUT_n} = 100\text{mA}$		20		mA
$I_S(VIN_n, FCM)$	Input Supply Current in Forced-Continuous Mode Operation	Forced Continuous Mode, MFR_PWM_MODE n [0] = 1b $I_{OUT_n} = 100\text{mA}$ $I_{OUT_n} = 25\text{A}$		50	2.4	mA A

出力の仕様

I_{OUT_n}	Output Continuous Current Range	(Note 6) Utilizing MFR_PWM_MODE[7] = 1 and Using $\sim I_{OUT} = 34\text{A}$ for $I_{OUT_OC_FAULT_LIMIT}$, Page 90		0	25	A	
$\frac{\Delta V_{OUT_n(LINE)}}{V_{OUT_n}}$	Line Regulation Accuracy	Digital Servo Engaged (MFR_PWM_MODE n [6] = 1b) Digital Servo Disengaged (MFR_PWM_MODE n [6] = 0b) SV_{IN} and V_{IN_n} Electrically Shorted Together and $INTV_{CC}$ Open Circuit; $I_{OUT_n} = 0\text{A}$, $5.0\text{V} \leq V_{IN} \leq 16\text{V}$, V_{OUT} Low Range (MFR_PWM_MODE n [1] = 1b), $FREQUENCY_SWITCH = 350\text{kHz}$ (Note 5)	●	0.03	± 0.2	%/V %/V	
$\frac{\Delta V_{OUT_n(LOAD)}}{V_{OUT_n}}$	Load Regulation Accuracy	Digital Servo Engaged (MFR_PWM_MODE n [6] = 1b) Digital Servo Disengaged (MFR_PWM_MODE n [6] = 0b) $0\text{A} \leq I_{OUT_n} \leq 25\text{A}$, V_{OUT} Low Range, (MFR_PWM_MODE n [1] = 1b) (Note 5)	●	0.03	0.2	% %	
$V_{OUT_n(AC)}$	Output Voltage Ripple			10		mV _{p-p}	
f_S (Each Channel)	V_{OUT_n} Ripple Frequency	$FREQUENCY_SWITCH$ Set to 350kHz (0x $FABC$)	●	325.	350	375	kHz
$\Delta V_{OUT_n(START)}$	Turn-On Overshoot	$TON_RISE_n = 3\text{ms}$ (Note 12)		8		mV	
t_{START}	Turn-On Start-Up Time	Time from V_{IN} Toggling from 0V to 12V to Rising Edge $PGOOD_n$. $TON_DELAY_n = 0\text{ms}$, $TON_RISE_n = 3\text{ms}$	●	30.		ms	
$t_{DELAY(0ms)}$	Turn-On Delay Time	Time from First Rising Edge of RUN_n to Rising Edge of $PGOOD_n$. $TON_DELAY_n = 0\text{ms}$, $TON_RISE_n = 3\text{ms}$, V_{IN} Having Been Established for at Least 70ms	●	2.95.	3.3	3.7	ms
$\Delta V_{OUT_n(LS)}$	Peak Output Voltage Deviation for Dynamic Load Step	Load: 0A to 12.5A and 12.5A to 0A at $12.5\text{A}/\mu\text{s}$, $V_{OUT_n} = 1\text{V}$, $V_{IN} = 12\text{V}$ (Note 12) See Load Transient Graphs		50		mV	

電气的特性

●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1つに対する規格値(Note 4)。注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $\text{RUN}_n = 3.3\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{CC} = 0$ 、 $\text{FREQUENCY_SWITCH} = 350\text{kHz}$ 、 V_{OUT}_n は1.000Vに指定。注記がない限り、出荷時のデフォルトEEPROM設定を使用して設定し、テスト回路1に従う。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
t_{SETTLE}	Settling Time for Dynamic Load Step	Load: 0A to 12.5A and 12.5A to 0A at 12.5A/ μs , $V_{OUT}_n = 1\text{V}$, $V_{IN} = 12\text{V}$ (Note 12) See Load Transient Graphs		25		μs
$I_{OUT}_n(\text{OCL_PK})$	Output Current Limit, Peak High Range	Cycle-by-Cycle Inductor Peak Current Limit Inception, Utilizing $\text{MFR_PWM_MODE}[7] = 1$, Using $\sim I_{OUT} = 34\text{A}$ for $I_{OUT_OC_}$ FAULT_LIMIT , Page 90		40		A
$I_{OUT}_n(\text{OCL_AVG})$	Output Current Limit, Time Averaged	Time-Averaged Output Inductor Current Limit Inception Threshold, Commanded by $I_{OUT_OC_FAULT_LIMIT}_n$ (Note 12) Utilizing $\text{MFR_PWM_MODE}[7] = 1$, Using $\sim I_{OUT} = 34\text{A}$, Page 90		35A; See $I_{O_RB_ACC}$ Specification (Output Current Readback Accuracy)		

制御セクション

$V_{\text{FCM}0}$	Channel 0 Feedback Input Common Mode Range	$V_{\text{OSNS}0^-}$ Valid Input Range (Referred to SGND) $V_{\text{OSNS}0^+}$ Valid Input Range (Referred to SGND)	● ●	-0.1	0.3 3.6	V V
$V_{\text{FCM}1}$	Channel 1 Feedback Input Common Mode Range	$V_{\text{OSNS}1^-}$ Valid Input Range (Referred to SGND) $V_{\text{OSNS}1^+}$ Valid Input Range (Referred to SGND)	● ●	-0.1	0.3 3.6	V V
$V_{\text{OUT-RNGL}}$	Full-Scale Command Voltage, Range Low (0.6V to 2.75V, Notes 7, 15)	V_{OUT_n} Commanded to 2.750V, $\text{MFR_PWM_MODE}_n[1] = 1\text{b}$ Set Point Accuracy Resolution LSB Step Size		2.7 -0.5	2.8 -0.5 12 0.688	V % Bits mV
$V_{\text{OUT-RNGH}}$	Full-Scale Command Voltage, Range High (0.6V to 3.6V, Note 8)	V_{OUT_n} Commanded to 3.6V, $\text{MFR_PWM_MODE}_n[0] = 1\text{b}$ Limit Design to 1.5V Operating for Module Set Point Accuracy Resolution LSB Step Size		3.5	3.7 12 1.375	V Bits mV
$R_{\text{VNS}0^+}$	$V_{\text{OSNS}0^+}$ Impedance to SGND	$0.05\text{V} \leq V_{\text{OSNS}0^+} - V_{\text{SGND}} \leq 3.3\text{V}$			50	k Ω
$R_{\text{VNS}1^+}$	$V_{\text{OSNS}1^+}$ Impedance to SGND	$0.05\text{V} \leq V_{\text{OSNS}1^+} - V_{\text{SGND}} \leq 3.3\text{V}$			50	k Ω
$t_{\text{ON(MIN)}}$	Minimum On-Time	(Note 8)			50	ns
$R_{\text{COMP}0,1}$	Resolution Compensation Resistor $R_{\text{TH(MAX)}}$ Compensation Resistor $R_{\text{TH(MIN)}}$	$\text{MFR_PWM_CONFIG}[4:0] = 0$ to 31 (See Figure 1, Note Section)			5 62 0	Bits k Ω k Ω
$g_{m0,1}$	Resolution Error Amplifier $g_{m(\text{MAX})}$ Error Amplifier $g_{m(\text{MIN})}$ LSB Step Size	$\text{COMP}0,1 = 1.35\text{V}$, $\text{MFR_PWM_CONFIG}[7:5] = 0$ to 7			3 5.76 1 0.68	Bits mmho mmho mmho

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($V_{\text{OUT_OV/UV_FAULT_LIMIT}}$ モニタと $V_{\text{OUT_OV/UV_WARN_LIMIT}}$ モニタ)

$N_{\text{OV/UV_COMP}}$	Resolution, Output Voltage Supervisors	(Notes 14, 15)			9	Bits
$V_{\text{OV-RNG}}$	Output OV Comparator Threshold Detection Range	(Notes 14, 15) High Range Scale, $\text{MFR_PWM_MODE}_n[1] = 0\text{b}$ Low Range Scale, $\text{MFR_PWM_MODE}_n[1] = 1\text{b}$		1 0.5	3.6 2.7	V V
V_{OUSTP}	Output OV and UV Comparator Threshold Programming LSB Step Size	(Note 15) High Range Scale, $\text{MFR_PWM_MODE}_n[1] = 0\text{b}$ Low Range Scale, $\text{MFR_PWM_MODE}_n[1] = 1\text{b}$			11.2 5.6	mV mV
$V_{\text{OUT-RNGH}}$	Full-Scale Command Voltage, Range High (0.6V to 3.6V, Notes 7, 15)	V_{OUT_n} Commanded to 3.6V, $\text{MFR_PWM_MODE}_n[0] = 1\text{b}$ Set Point Accuracy Resolution LSB Step Size		3.5 -0.5	3.7 -0.5 12 1.375	V % Bits mV
$V_{\text{OV-ACC-0,1}}$	Output OV Comparator Threshold Accuracy Channel 0 and 1	(See Note 14) $1\text{V} \leq V_{\text{OSNS}n^+} - V_{\text{OSNS}n^-} \leq 2.7\text{V}$, $\text{MFR_PWM_MODE}[1] = 1\text{b}$ $0.5\text{V} \leq V_{\text{OSNS}n^+} - V_{\text{OSNS}n^-} \leq 1\text{V}$, $\text{MFR_PWM_MODE}[1] = 1\text{b}$ $2.0\text{V} \leq V_{\text{VNS}} - V_{\text{SNG}} \leq 3.6\text{V}$, $\text{MFR_PWM_MODE}[0] = 0\text{b}$	● ● ●		± 1.5 ± 40 ± 1.5	% mV %

電气的特性

●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1つに対する規格値 (Note 4)。注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $RUN_n = 3.3\text{V}$ 、 $EXTV_{CC} = 0$ 、 $FREQUENCY_SWITCH = 350\text{kHz}$ 、 V_{OUT_n} は1.000Vに指定。注記がない限り、出荷時のデフォルトEEPROM設定を使用して設定し、テスト回路1に従う。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
V_{UV-RNG}	Output UV Comparator Threshold Detection Range	(Note 15) High Range Scale, MFR_PWM_MODE n [1] = 0b Low Range Scale, MFR_PWM_MODE n [1] = 1b	1 0.5		3.6 2.7	V V
V_{UV-ACC}	Output UV Comparator Threshold Accuracy	(See Note 14) $1\text{V} \leq V_{VOSNS_n^+} - V_{VOSNS_n^-} \leq 2.7\text{V}$, MFR_PWM_MODE[1] = 1b $0.5\text{V} \leq V_{VOSNS_n^+} - V_{VOSNS_n^-} \leq 1\text{V}$, MFR_PWM_MODE[1] = 1b $2.0\text{V} \leq V_{VSNS} - V_{VSN} \leq 3.6\text{V}$, MFR_PWM_MODE[0] = 0b	● ● ●		± 1.5 ± 40 ± 1.5	% mV %
$t_{PROP-OV}$	Output OV Comparator Response Times	Overdrive to 10% Above Programmed Threshold			100	μs
$t_{PROP-UV}$	Output UV Comparator Response Times	Under Drive to 10% Below Programmed Threshold			100	μs

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	(Notes 14, 15)		9		Bits
$SV_{IN-OU-RANGE}$	SV_{IN} OV/UV Comparator Threshold-Programming Range		●	4.5	16	V
$SV_{IN-OU-STP}$	SV_{IN} OV/UV Comparator Threshold-Programming LSB Step Size	(Note 15)		76		mV
$SV_{IN-OU-ACC}$	SV_{IN} OV/UV Comparator Threshold Accuracy	$9\text{V} < SV_{IN} \leq 16\text{V}$ $4.5\text{V} \leq SV_{IN} \leq 9\text{V}$	● ●		± 3.5 ± 315	% mV
$t_{PROP-SVIN-HIGH-VIN}$	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	● ●		100 100	μs μs
$t_{PROP-SVIN-LOW-VIN}$	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	● ●		100 100	μs μs

チャンネル0および1の出力電圧の読み出し (READ_VOUT n)

N_{VO-RB}	Output Voltage Readback Resolution and LSB Step Size	(Note 15)		16 244		Bits μV
$V_{O-F/S}$	Output Voltage Full-Scale Digitizable Range	$V_{RUN_n} = 0\text{V}$ (Note 15)		8		V
$V_{O-RB-ACC}$	Output Voltage Readback Accuracy	Channel 0, 1: $1\text{V} \leq V_{VOSNS^+} - V_{VOSNS^-} \leq 3.6\text{V}$ Channel 0, 1: $0.6\text{V} \leq V_{VOSNS^+} - V_{VOSNS^-} < 1\text{V}$	● ●		Within $\pm 0.5\%$ of Reading Within $\pm 5\text{mV}$ of Reading	
$t_{CONVERT-VO-RB}$	Output Voltage Readback Update Rate	MFR_ADC_CONTROL = 0x00 (Notes 9, 15) MFR_ADC_CONTROL = 0x01 through 0x0C (Notes 9, 15) MFR_ADC_CONTROLSection		90 8		ms ms ms

入力電圧 (SV_{IN}) の読み出し (READ_VIN)

$N_{SVIN-RB}$	Input Voltage Readback Resolution and LSB Step Size	(Notes 10, 15) Limited to Abs Max = 18V for LTM4678 Module		10 15.625		Bits mV
$SV_{IN-F/S}$	Input Voltage Full-Scale Digitizable Range	(Notes 11, 15)		43		V
$SV_{IN-RB-ACC}$	Input Voltage Readback Accuracy	READ_VIN, $4.5\text{V} \leq SV_{IN} \leq 16\text{V}$	●		Within $\pm 2\%$ of Reading	
$t_{CONVERT-SVIN-RB}$	Input Voltage Readback Update Rate	MFR_ADC_CONTROL = 0x00 (Notes 9, 15) MFR_ADC_CONTROL = 0x01 (Notes 9, 15)		90 8		ms ms

チャンネル0および1の出力電流の読み出し (READ_IOUT n)

N_{IO-RB}	Output Current Readback Resolution and LSB Step Size	(Notes 10, 12)		10 34.1		Bits mA
-------------	--	----------------	--	------------	--	------------

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1つに対する規格値 (Note 4)。注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $RUN_{\text{M}} = 3.3\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{\text{CC}} = 0$ 、 $\text{FREQUENCY_SWITCH} = 350\text{kHz}$ 、 V_{OUT_n} は 1.000V に指定。注記がない限り、出荷時のデフォルト EEPROM 設定を使用して設定し、テスト回路 1 に従う。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$I_{O_F/S}$	Output Current Full-Scale Digitizable Range	(Note 12) Utilizing MFR_PWM_MODE[7] = 1, Using IOUT_OC_FAULT_LIMIT = 34A, Page 90		40		A
$I_{O_RB_ACC}$	Output Current, Readback Accuracy	READ_IOUT _n , Channels 0 and 1, $0 \leq I_{\text{OUT}_n} \leq 25\text{A}$, (Note 12) Forced-Continuous Mode, MFR_PWM_MODE _n [1:0] = 1b	●	Within 1.25A of Reading		
$I_{O_RB(25A)}$	Full Load Output Current Readback	$I_{\text{OUT}_n} = 25\text{A}$ (Note 12). See Histograms in Typical Performance Characteristics (Note 12)		25		A
$t_{\text{CONVERT-IO-RB}}$	Output Current Readback Update Rate	MFR_ADC_CONTROL = 0x00 (Notes 9, 15) MFR_ADC_CONTROL = 0x06 (CH0 I _{OUT}) or 0x01 (CH1 I _{OUT}) (Notes 9, 15) See MFR_ADC_CONTROL Section		90 8		ms ms

入力電流の読み出し

N	Resolution	(Note 10)		10		Bits
V_{INSTP}	LSB Step Size Full-Scale Range = 16mV LSB Step Size Full-Scale Range = 32mV LSB Step Size Full-Scale Range = 64mV	Gain = 8, $0\text{V} \leq V_{\text{IN}}^+ - V_{\text{IN}}^- \leq 5\text{mV}$ Gain = 4, $0\text{V} \leq V_{\text{IN}}^+ - V_{\text{IN}}^- \leq 20\text{mV}$ Gain = 2, $0\text{V} \leq V_{\text{IN}}^+ - V_{\text{IN}}^- \leq 50\text{mV}$		15.26 30.52 61		μV μV μV
$I_{\text{IN_TUE}}$	Total Unadjusted Error	Gain = 8, $2.5\text{mV} \leq V_{\text{IN}}^+ - V_{\text{IN}}^- $ Gain = 4, $4\text{mV} \leq V_{\text{IN}}^+ - V_{\text{IN}}^- $ Gain = 2, $6\text{mV} \leq V_{\text{IN}}^+ - V_{\text{IN}}^- $	● ● ●		± 2 ± 1.3 ± 1.2	% % %
V_{OS}	Zero-Code Offset Voltage	(Note 15)			± 50	μV
t_{CONVERT}	Update Rate	(Notes 9,15) See MFR_ADC_CONTROL Section for Faster Update Rates		90		ms

電源電流の読み出し

N	Resolution	(Note 10)		10		Bits
V_{CHIPSTP}	LSB Step Size Full-Scale Range = 256mV	Onboard 1 Ω Resistor		244		μV
$I_{\text{CHIP-RB}}$	I_{CHIP} Readback	SV_{IN} Current		± 50		mA
t_{CONVERT}	Update Rate	(Notes 9,15) See MFR_ADC_CONTROL Section for Faster Update Rates		90		ms

温度の読み出し (T₀, T₁)

$T_{\text{RES-RB}}$	Temperature Readback Resolution	Channel 0, Channel 1, and Controller (Note 15)		0.25		$^\circ\text{C}$
$T_{\text{0_TUE}}$	External Temperature Total Unadjusted Readback Error	Supporting Only ΔV_{BE} Sensing		± 5		$^\circ\text{C}$ $^\circ\text{C}$
$T_{\text{1_TUE}}$	Internal TSNS TUE	$V_{\text{RUN0,1}} = 0.0$, $f_{\text{SYNC}} = 0\text{kHz}$ (Note 15)	●	± 1		$^\circ\text{C}$
t_{CONVERT}	Update Rate	(Note 9) MFR_ADC_CONTROL = 0x04 or 0x0C (Notes 9, 15)		90 8		ms ms

INTV_{CC}レギュレータ / EXTV_{CC}

V_{INTVCC}	Internal V _{CC} Voltage No Load	$6\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 16\text{V}$	●	5.25.	5.5	5.75	V
$V_{\text{LDO_INT}}$	INTV _{CC} Load Regulation	$I_{\text{CC}} = 0\text{mA}$ to 20mA , $6\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 16\text{V}$			0.5	± 2	%
V_{EXTVCC}	EXTV _{CC} Switchover Voltage	$V_{\text{IN}} \geq 7\text{V}$, EXTV _{CC} Rising	●	4.5.	4.7	4.9	V
$V_{\text{LDO_HYS}}$	EXTV _{CC} Hysteresis				290		mV
$V_{\text{LDO_EXT}}$	EXTV _{CC} Voltage Drop	$I_{\text{CC}} = 20\text{mA}$, $V_{\text{EXTVCC}} = 5.5\text{V}$			80	120	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1つに対する規格値 (Note 4)。注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $\text{RUN}_n = 3.3\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{CC} = 0$ 、 $\text{FREQUENCY_SWITCH} = 350\text{kHz}$ 、 V_{OUT}_n は 1.000V に指定。注記がない限り、出荷時のデフォルト EEPROM 設定を使用して設定し、テスト回路 1 に従う。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
V_{IN_THR}	V_{IN} Threshold to Enable EXTV_{CC} Switchover	V_{IN} Rising		7	7.4	V
V_{IN_THF}	V_{IN} Hysteresis to Disable EXTV_{CC} Switchover	V_{IN} Falling		600		mV

 V_{DD33} レギュレータ

V_{VDD33}	Internal V_{DD33} Voltage	$4.5\text{V} < V_{INTVCC}$ or $4.8\text{V} < V_{EXTVCC}$	3.2	3.3	3.4	V
I_{LIM}	V_{DD33} Current Limit	$V_{DD33} = \text{GND}$		100		mA
V_{VDD33_OV}	V_{DD33} Overvoltage Threshold			3.5		V
V_{VDD33_UV}	V_{DD33} Undervoltage Threshold			3.1		V

 V_{DD25} レギュレータ

V_{VDD25}	Internal V_{DD25} Voltage			2.5		V
I_{LIM}	V_{DD25} Current Limit	$V_{DD25} = \text{GND}$		80		mA

発振器とフェーズ・ロック・ループ (PLL)

f_{RANGE}	PLL SYNC Range	Synchronized with Falling Edge of SYNC	●	300.	1075	kHz
f_{OSC}	Oscillator Frequency Accuracy	Frequency Switch = 350.0kHz to 1000.0kHz (Note 15)			± 7.5	%
$V_{\text{TH(SYNC)}}$	SYNC Input Threshold	V_{SYNC} Falling V_{SYNC} Rising		1 1.5		V V
$V_{\text{OL(SYNC)}}$	SYNC Low Output Voltage	$I_{\text{LOAD}} = 3\text{mA}$		0.2	0.4	V
$I_{\text{LEAK(SYNC)}}$	SYNC Leakage Current in Slave Mode	$0\text{V} \leq V_{\text{PIN}} \leq 3.6\text{V}$			± 5	μA
$\theta_{\text{SYNC-00}}$	SYNC to Ch0 Phase Relationship Based on the Falling Edge of Sync and Rising Edge of TGO (Note 15)	$\text{MFR_PWM_CONFIG}[2:0] = 0, 2, 3$ $\text{MFR_PWM_CONFIG}[2:0] = 5$ $\text{MFR_PWM_CONFIG}[2:0] = 1$ $\text{MFR_PWM_CONFIG}[2:0] = 4, 6$		0 60 90 120		Deg Deg Deg Deg
$\theta_{\text{SYNC-01}}$	SYNC to Ch1 Phase Relationship Based on the Falling Edge of Sync and Rising Edge of TG1 (Note 15)	$\text{MFR_PWM_CONFIG}[2:0] = 3$ $\text{MFR_PWM_CONFIG}[2:0] = 0$ $\text{MFR_PWM_CONFIG}[2:0] = 2, 4, 5$ $\text{MFR_PWM_CONFIG}[2:0] = 1$ $\text{MFR_PWM_CONFIG}[2:0] = 6$		120 180 240 270 300		Deg Deg Deg Deg Deg

EEPROM の特性

Endurance	(Notes 13 and 17)	$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 85^\circ\text{C}$ During EEPROM Write Operations	●	10,000.		Cycles
Retention	(Notes 13 and 17)	$T_J < 125^\circ\text{C}$	●	10.		Years
Mass_Write	Mass Write Operation Time (Notes 13 and 17)	STORE_USER_ALL , $0^\circ\text{C} < T_J < 85^\circ\text{C}$ During EEPROM Write Operation		440	4100	ms

リーク電流: SDA、SCL、ALERT、RUN

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

リーク電流: FAULT_n、PGOOD_n

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

デジタル入力: SCL、SDA、RUN_n、GPIO_n (Note 15)

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

電气的特性

●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1つに対する規格値 (Note 4)。注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $RUN_n = 3.3\text{V}$ 、 $EXTV_{CC} = 0$ 、 $FREQUENCY_SWITCH = 575\text{kHz}$ 、 V_{OUT_n} は 1.000V に指定。注記がない限り、出荷時のデフォルト EEPROM 設定を使用して設定し、テスト回路 1 に従う。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
デジタル入力: WP (Note 15)						
I_{PUWP}	Input Pull-Up Current	WP		10		μA
オープンドレイン出力: SCL, SDA, FAULT\bar{n}, ALERT\bar{n}, RUNn, SHARE_CLK, PGOODn (Note 15)						
V_{OL}	Output Low Voltage	$I_{SINK} = 3\text{mA}$			0.4	V
デジタル入力: SHARE_CLK, WP (Note 15)						
V_{IH}	Input High Threshold Voltage		●	1.5.	1.8	V
V_{IL}	Input Low Threshold Voltage		●	0.6.	1	V
FAULTnのデジタル・フィルタリング (Note 15)						
I_{FLTG}	Input Digital Filtering FAULT n			3		μs
PGOODnのデジタル・フィルタリング (Note 15)						
I_{FLTG}	Output Digital Filtering PGOOD n			60		μs
RUNnのデジタル・フィルタリング (Note 15)						
I_{FLTG}	Input Digital Filtering RUN			10		μs
PMBus インターフェースのタイミング特性 (Note 15)						
f_{SCL}	Serial Bus Operating Frequency		●	10.	400	kHz
t_{BUF}	Bus Free Time Between Stop and Start		●	1.3.		μs
$t_{HD(STA)}$	Hold Time After Repeated Start Condition After This Period, the First Clock is Generated		●	0.6.		μs
$t_{SU(STA)}$	Repeated Start Condition Setup Time		●	0.6.	10000	μs
$t_{SU(STO)}$	Stop Condition Setup Time		●	0.6.		μs
$t_{HD(DAT)}$	Date Hold Time Receiving Data Transmitting Data		● ●	0 0.3	0.9	μs μs
$t_{SU(DAT)}$	Data Setup Time Receiving Data			0.1		μs
$t_{TIMEOUT_SMB}$	Stuck PMBus Timer Non-Block Reads Stuck PMBus Timer Block Reads	Measured from the Last PMBus Start Event		32 255		ms
t_{LOW}	Serial Clock Low Period		●	1.3.	10000	μs
t_{HIGH}	Serial Clock High Period		●	0.6.		μs

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

Note 2: LTM4678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。LTM4678Eは、 0°C ~ 125°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°C ~ 125°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。LTM4678Iは -40°C ~ 125°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。 T_J は周囲温度 T_A および消費電力PDから次式に従って計算される。

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

これらの仕様を満たす最大周囲温度は、基板レイアウト、パッケージの定格熱抵抗および他の環境要因と関連した特定の動作条件によって決まることに注意。

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

電気的特性

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(ページ化データ)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、 $V_{OUT_COMMANDn}$ 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 ($MFR_PWM_MODEn[6] = 0b$) と V_{OUTn} の低電圧範囲を選択した条件 ($MFR_PWM_MODEn[1] = 1b$) 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 ($MFR_PWM_MODEn[6] = 1b$ 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を満たしている。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: V_{IN} 、 V_{OUT} 、および T_A が異なる出力電流ディレーティング曲線については、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、出力チャンネル0および1を安定化するための推奨の最大コマンド電圧は、3.6V (V_{OUT} の範囲設定ビットを $MFR_PWM_MODE[1] = 0b$ を使用して設定した場合)

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、デフォルトではラウンドロビン方式で行われる。全ての入力信号は90msの標準的な遅延の間に絶え間なく変換される。 MFR_ADC_CTRL の値を0~12に設定すると、LTM4678はわずか8ms~10msで高速データ変換を実行できる。詳細については、PMBus コマンドのセクションを参照。

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(符号付き仮数部を表す)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})、 $READ_IOUTn$ 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_IINn 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・パワー一段のデューティ・サイクル、 $READ_DUTY_CYCLEn$ コマンド・コードを介してアクセス。内部ADCが16ビットで、LTM4678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18V。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マークテストに基づいており、出荷時にはテストされない。出力電流の読み出し精度を向上するため、LTM4678を使用してシステムを評価する。周囲温度と各チャンネルのモジュールのインダクタ温度を空気が流れる状態で評価することで、GUIの読み出し温度と比較できる。これは、インダクタと内部温度センサーが完全には同じ位置にないからである。この温度差が分かると、 $MFR_TEMP_1_GAIN$ パラメータと $MFR_TEMP_1_OFFSET$ パラメータを調整して、出力電流の読み出し精度を更に向上できる。

Note 13: データ保持のためのEEPROMの耐久性とデータ保持期間は、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の書き換え回数が最小書き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 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: $MFR_PWM_MODEn[1] = 1b$ でのチャンネル0のOV/UVコンパレータ閾値精度は、 $V_{VOSNS0+} - V_{VOSNS0-} = 0.5V$ および $3.6V$ 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。 $MFR_PWM_MODEn[1] = 1b$ でのチャンネル1のOV/UVコンパレータ閾値精度は、 $V_{VOSNS1} - V_{SGND} = 0.5V$ および $3.6V$ 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。 $MFR_PWM_MODEn[1] = 1b$ はロー・レンジである。

Note 15: ICレベルのATEでテストされる。

Note 16: LTM4678の自己消費電流 (I_Q) は、 V_{IN} の I_Q に $EXTV_{CC}$ の I_Q を加えたものに等しい。

Note 17: 有効な書き込みコマンドを得るためのLTM4678のEEPROMの温度範囲は $0^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$ 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、LTM4678のEEPROMの温度が 130°C 未満である限り、LTM4678は $STORE_USER_ALL$ コマンドに従う。EEPROMの温度が 130°C を超えた場合に限り、LTM4678は $STORE_USER_ALL$ トランザクションには従わない。代わりに、LTM4678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 18: LTM4678は、瞬間的な過負荷状態時にデバイスを保護するための過熱保護機能を備えている。過熱保護機能がアクティブなときジャンクション温度は 125°C を超える。規定された最大動作ジャンクション温度を超えた状態で動作が継続すると、デバイスの信頼性を損なう恐れがある。

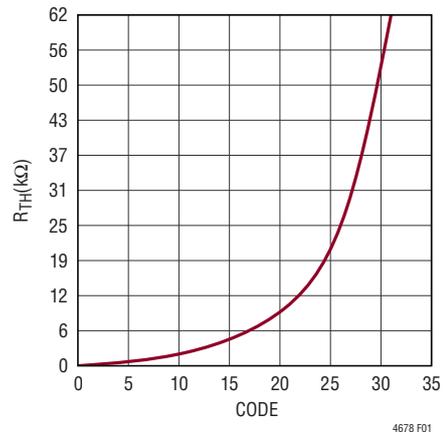
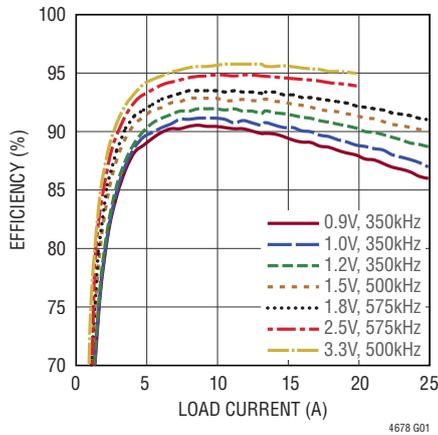


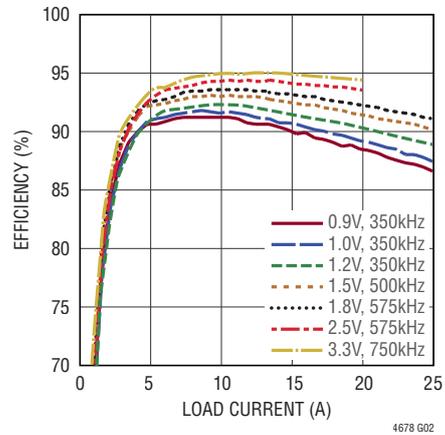
図1. プログラム可能な R_{COMP}

代表的な性能特性 $T_A = 25^\circ\text{C}$

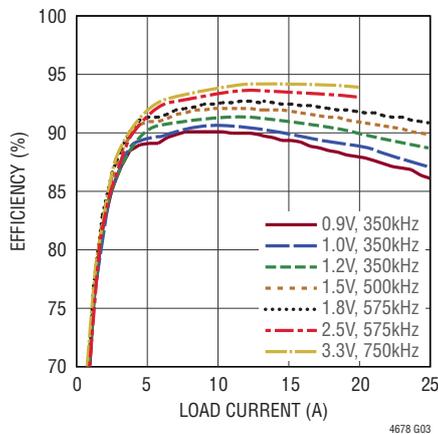
シングル出力の効率、 $5V_{IN}$ 、
 $V_{IN} = SV_{IN} = EXT_{V_{CC}} = 5V$ 、CCMモード



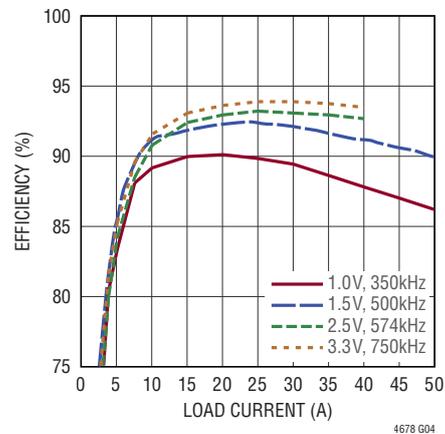
シングル出力の効率、 $8V_{IN}$ 、
 $V_{IN} = SV_{IN} = 8V$ 、 $EXT_{V_{CC}} = 5V$ 、CCMモード



シングル出力の効率、
 $V_{IN} = SV_{IN} = 12V$ 、 $EXT_{V_{CC}} = 5V$



デュアル・フェーズ・シングル出力の効率、
 $12V_{IN}$ 、 $V_{IN} = SV_{IN} = 12V$ 、 $EXT_{V_{CC}} = 5V$ 、 V_{OUT0} と
 V_{OUT1} を並列接続したCCMモード



代表的な性能特性

注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

シングル・チャンネルの
負荷過渡応答、50%から100%への
負荷ステップ、12A/ μs 、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、
 $V_{OUT} = 0.9\text{V}$

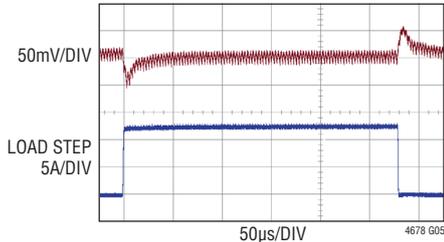


FIGURE 46 CIRCUIT, 12V TO 0.9V, FREQ = 350kHz
 $C_{OUT} = 470\mu\text{F} \times 2$ POSCAP, $100\mu\text{F} \times 2$ CERAMIC
 $R_{COMP} = 11\text{k}\Omega$, EA-GM = 1ms,
 $C_{OMPna} = 1500\text{pF}$, $C_{OMPnb} = 150\text{pF}$

シングル・チャンネルの
負荷過渡応答、50%から100%への
負荷ステップ、12A/ μs 、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、
 $V_{OUT} = 1.2\text{V}$

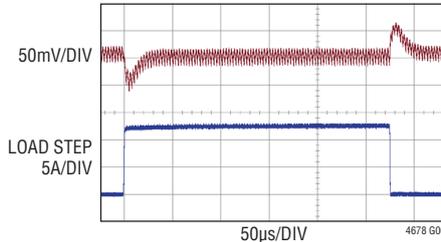


FIGURE 46 CIRCUIT, 12V TO 1.2V, FREQ = 500kHz
 $C_{OUT} = 470\mu\text{F} \times 2$ POSCAP, $100\mu\text{F} \times 2$ CERAMIC
 $R_{COMP} = 7\text{k}\Omega$, EA-GM = 1ms,
 $C_{OMPna} = 1500\text{pF}$, $C_{OMPnb} = 150\text{pF}$

シングル・チャンネルの
負荷過渡応答、50%から100%への
負荷ステップ、12A/ μs 、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、
 $V_{OUT} = 1.5\text{V}$

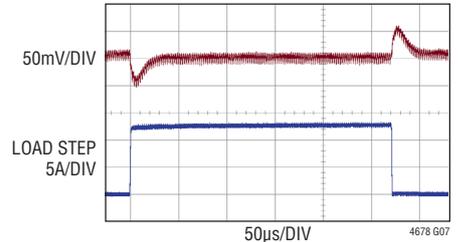


FIGURE 46 CIRCUIT, 12V TO 1.5V, FREQ = 500kHz
 $C_{OUT} = 470\mu\text{F} \times 2$ POSCAP, $100\mu\text{F} \times 2$ CERAMIC
 $R_{COMP} = 7\text{k}\Omega$, EA-GM = 1ms,
 $C_{OMPna} = 1500\text{pF}$, $C_{OMPnb} = 150\text{pF}$

シングル・チャンネルの
負荷過渡応答、50%から100%への
負荷ステップ、12A/ μs 、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、
 $V_{OUT} = 1.8\text{V}$

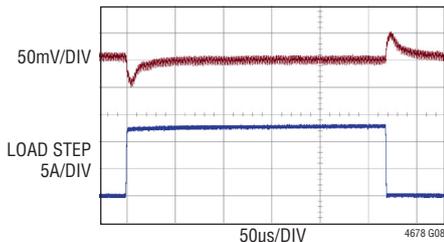


FIGURE 46 CIRCUIT, 12V TO 1.8V, FREQ = 575kHz
 $C_{OUT} = 470\mu\text{F} \times 2$ POSCAP, $100\mu\text{F} \times 2$ CERAMIC
 $R_{COMP} = 11\text{k}\Omega$, EA-GM = 1ms,
 $C_{OMPna} = 1500\text{pF}$, $C_{OMPnb} = 150\text{pF}$

デュアル出力の並行レール、
起動/シャットダウン

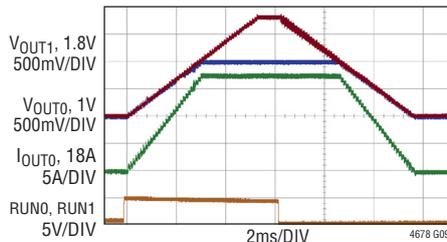


FIGURE 46 CIRCUIT, 12VIN, 18A LOAD V_{OUT0} ,
NO LOAD V_{OUT1} , V_{OUT1} PRE-BIASED TO 500mV
THROUGH A DIODE (PRE-BIAS DISCONNECTED AT SHUT-DOWN)
TON_RISE0 = 3ms TON_RISE1 = 5.297ms
TON_DELAY0 = 2.43ms TOFF_DELAY1 = 0ms
TON_FALL0 = 3ms TON_FALL1 = 5.328ms
ON_OFF CONFIGN = 0X1F

デュアル出力の並行レール、
起動/シャットダウン、
プリバイアス

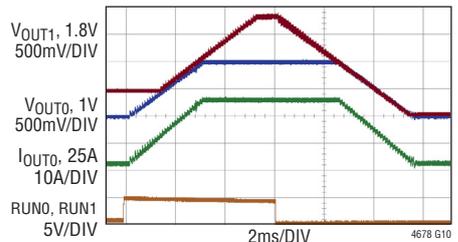


FIGURE 46 CIRCUIT, 12VIN, 25A LOAD V_{OUT0} ,
NO LOAD V_{OUT1} , V_{OUT1} PRE-BIASED TO 500mV
THROUGH A DIODE (PRE-BIAS DISCONNECTED
AT SHUT-DOWN)
TON_RISE0 = 3ms TON_RISE1 = 5.297ms
TON_DELAY0 = 2.43ms TOFF_DELAY1 = 0ms
TON_FALL0 = 3ms TON_FALL1 = 5.328ms
ON_OFF CONFIGn = 0X1F

デュアル出力の並行レール、
起動/シャットダウン、プリバイアス

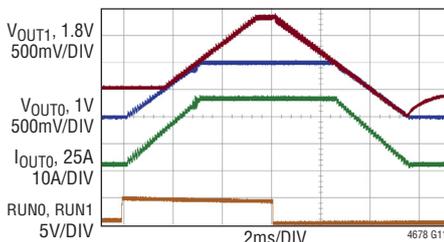


FIGURE 46 CIRCUIT, 12VIN, 25A LOAD V_{OUT0} ,
NO LOAD V_{OUT1} , V_{OUT1} PRE-BIASED TO
500mV THROUGH A DIODE
(PRE-BIAS DISCONNECTED AT SHUT-DOWN)
TON_RISE0 = 3ms TON_RISE0 = 5.297ms
TON_DELAY0 = 2.43ms TOFF_DELAY1 = 0ms
TON_FALL0 = 3ms TON_FALL1 = 5.328ms
ON_OFF CONFIGn = 0X1F

シングル・フェーズ・シングル
出力の短絡保護、無負荷

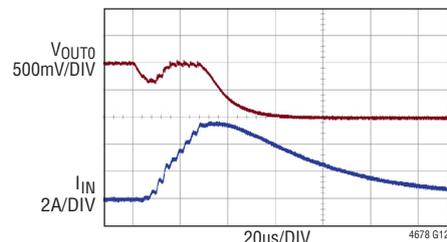


FIGURE 46 CIRCUIT, 12VIN, NO LOAD V_{OUT0} ,
PRIOR TO APPLICATION OF SHORT-CIRCUIT
USE HIGH RANGE OF I LIMIT SYSTEM
SHORT-CIRCUIT USING 50N04-8M
MOSFET ACROSS OUTPUT

シングル・フェーズ・シングル
出力の短絡保護、18A 負荷

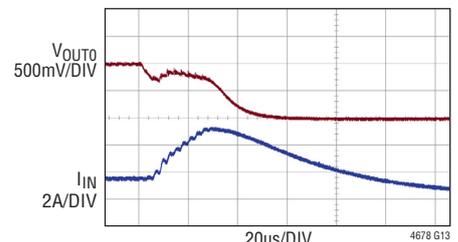
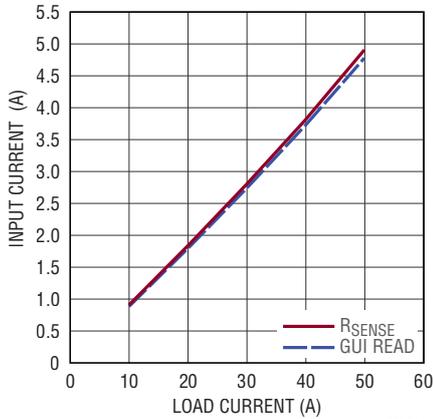


FIGURE 46 CIRCUIT, 12VIN, 18A LOAD V_{OUT0} ,
PRIOR TO APPLICATION OF SHORT-CIRCUIT
USE HIGH RANGE OF I LIMIT SYSTEM
SHORT-CIRCUIT USING 50N04-8M
MOSFET ACROSS OUTPUT

代表的な性能特性

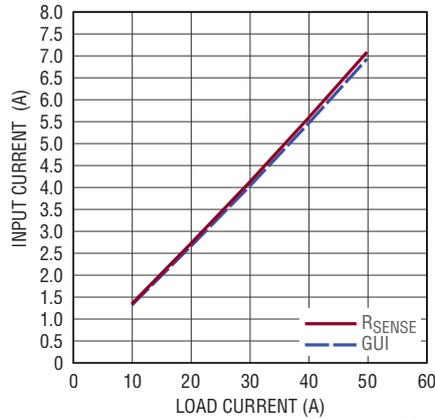
注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{OUT} = 1\text{V}$ 。

電源電流と負荷電流の比較、
 $R_{SENSE} = 4\text{m}\Omega$ 、12V入力/1.0V出力、
350kHz



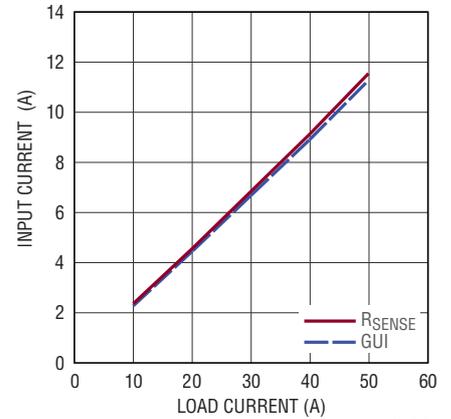
4678 G14

電源電流と負荷電流の比較、
 $R_{SENSE} = 4\text{m}\Omega$ 、12V入力/1.5V出力、
500kHz



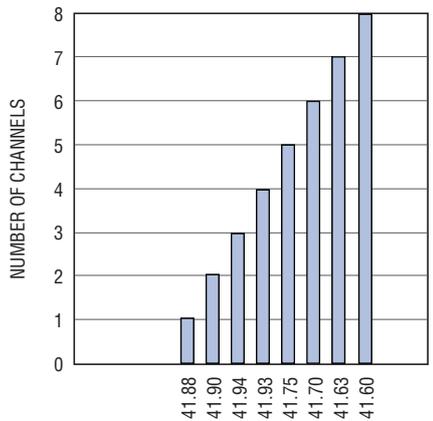
4678 G15

電源電流と負荷電流の比較、
 $R_{SENSE} = 4\text{m}\Omega$ 、12V入力/2.5V出力、
575kHz



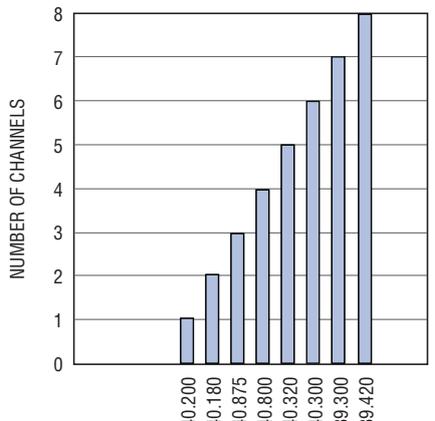
4678 G16

LTM4678の8つのチャンネルの
READ_IOUT (DC2570A)、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、
 $V_{OUT} = 1\text{V}$ 、 $T_J = -40^\circ\text{C}$ 、 $I_{OUTn} = 40\text{A}$ 、
熱的な定常状態に達したシステム、
空気流なし



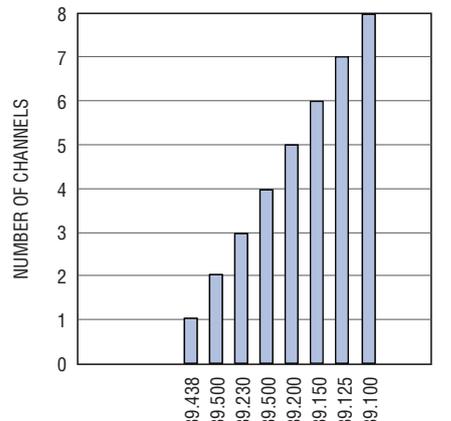
READ_IOUT CHANNEL READBACK (A) 4678 G17

LTM4678の8つのチャンネルの
READ_IOUT (DC2570A)、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、
 $V_{OUT} = 1\text{V}$ 、 $T_J = 25^\circ\text{C}$ 、 $I_{OUTn} = 40\text{A}$ 、
熱的な定常状態に達したシステム、
空気流なし



READ_IOUT CHANNEL READBACK (A) 4678 G18

LTM4678の8つのチャンネルの
READ_IOUT (DC2570A)、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、
 $V_{OUT} = 1\text{V}$ 、 $T_J = 125^\circ\text{C}$ 、 $I_{OUTn} = 40\text{A}$ 、
熱的な定常状態に達したシステム、
空気流なし



READ_IOUT CHANNEL READBACK (A) 4678 G19

ピン機能



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。

GND (A3~A6, B1, B3~B6, C1~C6, D2~D6, E5~E6, F5~F7, G5~G8, H5~H8, J2~J6, K2~6, L1, L3~L6, M3~M6) : LTM4678の電源グラウンド。V_{OUT0}とV_{OUT1}の電力帰還点。入出力のコンデンサはこの点に戻します。

V_{OUT0} (K7~K11, L7~L12, M7~M10) : チャンネル0の出力電圧。推奨の出力コンデンサを指定された形状でGNDとの間に配置します。推奨レイアウトを参照してください。

V_{OSNS0}⁺ (M11) : 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の帰還ループに直接供給します。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)内容(出荷時のデフォルト値:1.000V)で指定されます。あるいは、構成抵抗によって設定することもできます。V_{OUT0_CFG}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}⁻ (M12) : 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_{OUT1} (A7~A10, B7~B12, C7~C9, D7) : チャンネル1の出力電圧。推奨の出力コンデンサを指定された形状でGNDとの間に配置します。推奨レイアウトを参照してください。

V_{OSNS1}⁺ (A11) : チャンネル1の正の差動電圧検出入力。V_{OSNS1}⁺とV_{OSNS1}⁻は、互いに出力電圧V_{OUT1}をV_{OUT1}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1の帰還ループに直接供給します。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。SV_{IN}電源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:1.000V)で指定されます。あるいは、構成抵抗によって設定することもできます。V_{OUT1_CFG}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_{OSNS1}⁻ (A12) : チャンネル1の負の差動電圧検出入力。V_{OSNS1}⁺を参照してください。

SGND (F9-10, G9-10) : SGNDはLTM4678の信号グラウンド帰還経路です。SGNDは内部でGNDに接続されています。SGNDはLTM4678の近くのGNDに接続します。推奨レイアウトを参照してください。

V_{IN0} (G1~G4, H1~H4) : 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、LTM4678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のセクションに記載されているレイアウトに関する推奨事項を参照してください。

V_{IN1} (E1~E4, F1~F4) : 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、LTM4678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のセクションに記載されているレイアウトに関する推奨事項を参照してください。

SW0 (L2, M1~M2) : 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。

SW1 (A1~A2, B2) : 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_{IN} (D1) : LTM4678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_{IN}をV_{IN0}またはV_{IN1}、あるいはその両方に接続します。SV_{IN}は、V_{IN0}/V_{IN1}とは別の補助電源から動作して、3.3Vのような低電圧電源からV_{IN0}/V_{IN1}に電力を供給することができます。SV_{IN}ピンは、1Ωの抵抗と1μFのデカップリング・コンデンサを内蔵しています。1Ωの抵抗を使用するのは、実際の制御チップ電流を測定するためです。MFR_READ_ICHIPとMFR_ADC_CONTROLのセクションを参照してください。4.5V~5.75Vの範囲で動作する場合で、補助バイアス電源を接続しない場合は、主入力電源をSV_{IN}とINTV_{CC}に接続します。例についてはテスト回路2を参照してください。この構成では、INTV_{CC}をSV_{IN}に接続しているため、ICHIPの電流は関係ありません。

ピン機能

I_{IN}⁺ (J1) : 電流検出アンプの正入力。入力電流検出アンプを使用しない場合、このピンはI_{IN}⁻とSV_{IN}ピンに短絡する必要があります。入力電流検出の詳細については、アプリケーションのセクションを参照してください。

I_{IN}⁻ (K1) : 電流検出アンプの負入力。入力電流検出アンプを使用しない場合、このピンはI_{IN}⁺とSV_{IN}ピンに短絡する必要があります。入力電流検出の詳細については、アプリケーションのセクションを参照してください。

EXTV_{CC} (F8) : INTV_{CC}に接続された内部スイッチへの外部電源入力。EXTV_{CC}が4.7Vより高く、V_{IN}が7Vより高い場合は、このスイッチが必ず閉じてICに電力を供給し、内部レギュレータをバイパスします。また、EXTV_{CC}が4.7Vより高く、INTV_{CC}が3.8Vより低い場合にも、EXTV_{CC}はV_{DD33}に電力を供給します。このピンの電圧が6Vを超えないようにしてください。最小4.7μFの低ESRタンタル・コンデンサまたはセラミック・コンデンサを使用して、このピンをPGNDにデカップリングします。INTV_{CC}に電力を供給するのにEXTV_{CC}ピンを使用しない場合、EXTV_{CC}ピンはGNDに接続する必要があります。

INTV_{CC} (E7) : 内部レギュレータ、5.5V出力。LTM4678を5.75V ≤ SV_{IN} ≤ 16Vの範囲で動作させる場合、LDOはINTV_{CC}をSV_{IN}から生成して、LTM4678の内部制御回路とMOSFETドライバにバイアスをかけます。外付けの2.2μFセラミック・デカップリング・コンデンサが必要です。INTV_{CC}は、RUN_nピンの状態に関係なく安定化されます。LTM4678を4.5V ≤ SV_{IN} < 5.75Vの範囲で動作させる場合は、INTV_{CC}をSV_{IN}に電氣的に短絡する必要があります。

V_{DD33} (E8) : 内部生成された3.3V電源の出力ピン。このピンは、 $\overline{\text{FAULT}}_n$ 、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ためにのみ使用します。また、RUN_n、SDA、SCL、 $\overline{\text{ALERT}}$ 、およびPGOOD_n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_{DD25} (D12) : 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にのみ使用され、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 (F12) : シリアル・バスのアドレス設定ピン。I²C/SMBusシリアル・バスの任意のセグメントでは、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、LTM4678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1001111b(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、LTM4678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)容量を最小限に抑えて、ピンの状態を正確に検出します。

FSWPH_CFG (E9) : スイッチング周波数、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LTM4678を設定した場合(つまり、MFR_CONFIG_ALL[6] = 1bと設定した場合)、LTM4678のスイッチング周波数(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_{IN}の電源投入時に、LTM4678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、575kHz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(更にNVMの出荷時デフォルト設定であるMFR_CONFIG_ALL[6] = 0bを使用して)、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スイッチ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LTM4678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)容量を最小限に抑えて、ピンの状態を正確に検出します。

VOUT0_CFG (E11) : V_{OUT0}の出力電圧選択ピン、粗い設定。VOUT0_CFGピンとVTRIM0_CFG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LTM4678を設定した場合(つまり、MFR_CONFIG_ALL[6] = 1bと設定した場合)、LTM4678の目標のV_{OUT0}出

ピン機能

力電圧設定値 (VOUT_COMMAND0)、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_{IN}の電源投入時に、LTM4678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、VTRIM0_CFG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] = 0bを使用して、LTM4678のチャンネル0出力を設定して起動し、VOUT_COMMAND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)をNVMの内容とは異なる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。) VOUT0_CFGとSGNDの間あるいはVTRIM0_CFG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全てに対して同じ内容のNVMを使用することで、GUIによる手動操作なしで、あるいはモジュールのNVMの内容を「カスタム・プリプログラム」する必要なく、複数のLTM4678を便利な方法で設定できます。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します。VOUT0_CFG/VTRIM0_CFGにRCONFIGを使用すると、VOUT0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。

VTRIM1_CFG (E10) : VOUT1の出力電圧選択ピン、細かい設定。VOUT1_CFGとの組み合わせで機能し、SV_{IN}の電源投入時に、チャンネル1のVOUT_COMMAND(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。(VOUT1_CFG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します。VOUT1_CFG/VTRIM1_CFGにRCONFIGを使用すると、VOUT1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。

VOUT1_CFG (E12) : VOUT1の出力電圧選択ピン、粗い設定。VOUT1_CFGピンとVTRIM1_CFGピンを両方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LTM4678を設定すると(つまり、MFR_CONFIG_ALL[6] = 1b)、LTM4678の目的のVOUT1出力電圧設定(VOUT_COMMAND1)と関連のOV/UV警告閾値および障害閾値は、VOUT1_CFGピンとVTRIM1_CFGピンがVOUT1/チャンネル1のそれぞれの設定に影響するのと全く同様に、SV_{IN}の電源投入時に、LTM4678のNVMの内容に従って規定されます。(VOUT1_CFG、VTRIM1_CFG、

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)容量を最小限に抑えて、ピンの状態を正確に検出します。VOUT1_CFG/VTRIM1_CFGにRCONFIGを使用すると、VOUT1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。

VTRIM0_CFG (C12) : VOUT0の出力電圧選択ピン、細かい設定。VOUT0_CFGとの組み合わせで機能し、SV_{IN}の電源投入時に、チャンネル0のVOUT_COMMAND(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。(VOUT0_CFG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)容量を最小限に抑えて、ピンの状態を正確に検出します。VOUT0_CFG/VTRIM0_CFGにRCONFIGを使用すると、VOUT0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。

RUN0、RUN1 (それぞれG12、F11) : 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、LTM4678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、LTM4678がリセットから解放され、SV_{IN}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。LTM4678は、全体的な障害やチャンネル固有の障害が発生した場合、ラッチオフしてレギュレーションを停止するよう障害応答が設定されていると、RUN0あるいはRUN1を適宜ローにします。このような場合には、I²Cを介してCLEAR_FAULTSコマンドを発行するか、SV_{IN}の電源を入れ直して、モジュールを再起動することが必要です。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。

PGOOD0/PGOOD1 (J7/D9) : パワーグッド・インジケータ出力。オープンドレインのロジック出力で、出力がUVおよびOVのレギュレーション範囲を超えると、グラウンド電位に低下します。出力のグリッチは内部の100μsフィルタにより除去されます。このアプリケーションでは3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。

FAULT0/FAULT1 (H12/G11) : デジタル・プログラマブルFAULT入力および出力。オープンドレイン出力。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。

ピン機能

COMP0b/COMP1b (H9/C10) : 電流制御閾値およびエラー・アンプの補償ノード。対応する各チャンネルの電流コンパレータの作動閾値は、その補償電圧に応じて増加します。各チャンネルにはSGNDとの間に22pFがあります。

COMP0a/COMP1a (J9/D10) : ループ補償ノード。LTM4678の内部PWMループ補償抵抗 R_{COMPn} は、MFR_PWM_COMPコマンドのビット[4:0]を使用して調整できます。LTM4678 PWMエラー・アンプのトランスコンダクタンスは、MFR_PWM_COMPコマンドのビット[7:5]を使用して調整できます。これら2つのループ補償パラメータは、デバイスの動作中にプログラムできます。詳細については、アプリケーション情報のセクションに記載されているプログラム可能なループ補償のサブセクションを参照してください。図1を参照してください。

SYNC (K12) : 外部クロックの同期入力ピンおよびオープンドレイン出力ピン。このピンに外部クロックが入ると、スイッチング周波数は外部クロックに同期します。クロック・マスタ・モードを有効にすると、このピンは500nsのスイッチング周波数に合わせてローになります。LTM4678がマスタである場合は、アプリケーション内に3.3Vへの抵抗プルアップが必要です。

SCL (J12) : 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。LTM4678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] = 1bを設定することによってクロック・ストレッチングがイネーブルされていない限り、LTM4678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] = 0b、つまり、クロック・ストレッチングはディスエーブルされています。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1bに設定します。クロック・ストレッチングをイネーブルすると、SCLはLTM4678での双方向オープンドレイン出力ピンになります。

SDA (H10) : 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 (H11) : 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 (D11) : 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LTM4678（とSHARE_CLKピンを備えたアナログ・デバイスズの他のデバイス）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。3.3Vへのプルアップ抵抗が必要なのは、デバイス間のタイム・ベースを同期させる場合だけです。

TSNS0a, TSNS0b (それぞれJ11およびJ8) : それぞれ、チャンネル0の温度励起/測定ピンとサーマル・センサー・ピン。TSNS0aとTSNS0bを接続します。これにより、LTM4678はチャンネル0のパワー段の温度をモニタできます。

TSNS1a, TSNS1b (それぞれJ10およびD8) : 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、TSNS1aをTSNS1bに接続します。これにより、LTM4678はチャンネル1のパワー段の温度をモニタできます。TSNS1aを使用して外部温度センサーをモニタする方法については、アプリケーションのセクションを参照してください。

WP (C11) : 書込み保護ピン、アクティブ・ハイ。内部10 μ A電流源は、このピンの電圧を V_{DD33} まで引き上げます。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I²Cによる書込みだけがサポートされます。更に、前に「STATUS」の付いたレジスタの対象ビットに1b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、I²Cによる書込みは制限されません。

簡略ブロック図

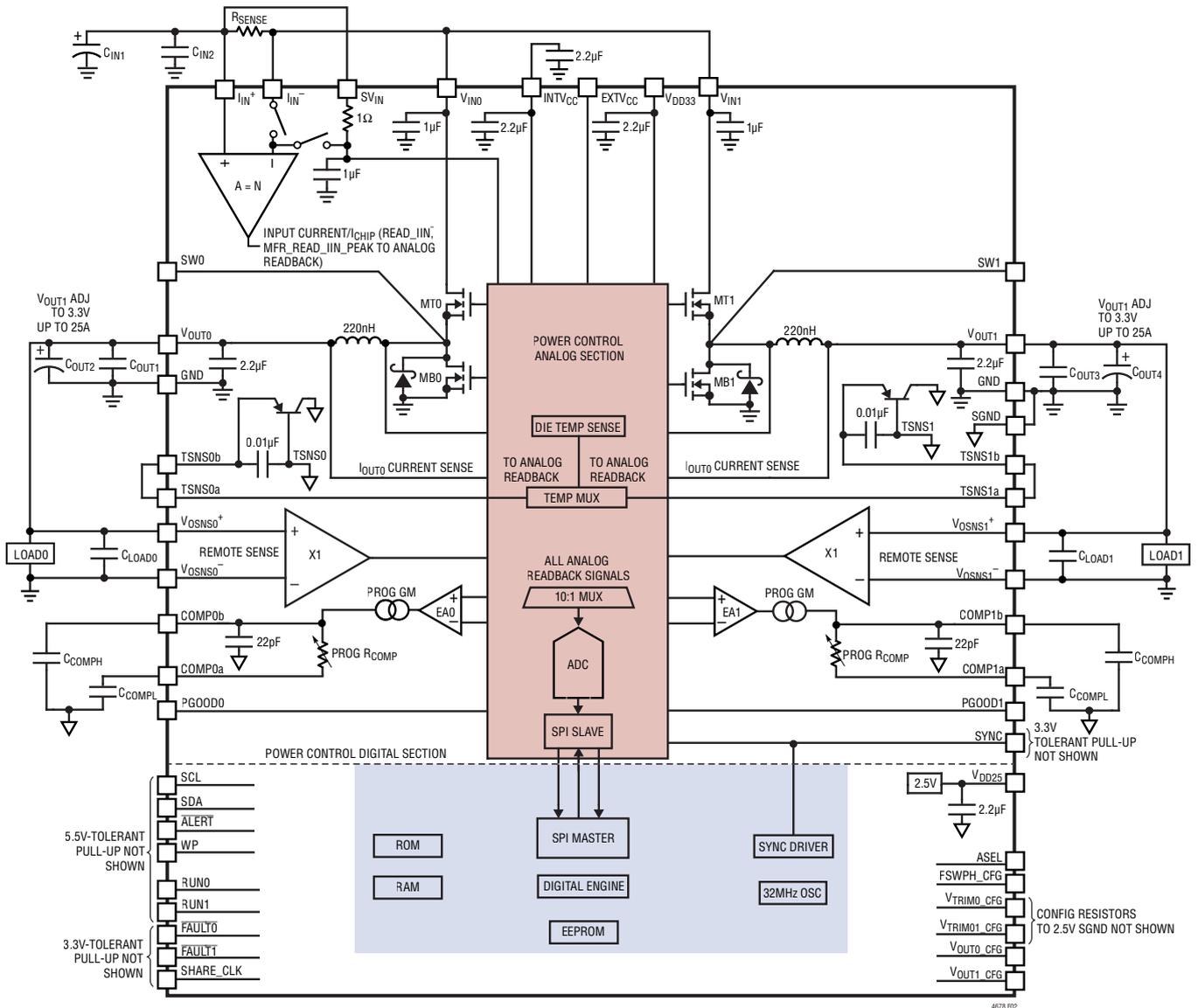


図2. LTM4678の簡略ブロック図

デカップリングの要件

$T_A = 25^\circ\text{C}$ 。図1の構成を使用。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
C_{INH}	External High Frequency Input Capacitor Requirement ($5.75\text{V} \leq V_{IN} \leq 16\text{V}$, V_{OUTn} Commanded to 1.000V)	$I_{OUT0} = 25\text{A}$ $I_{OUT1} = 25\text{A}$		66	66	μF
C_{OUTn}	External High Frequency Output Capacitor Requirement ($5.75\text{V} \leq V_{IN} \leq 16\text{V}$, V_{OUTn} Commanded to 1.000V)	$I_{OUT0} = 25\text{A}$ $I_{OUT1} = 25\text{A}$		400	400	μF

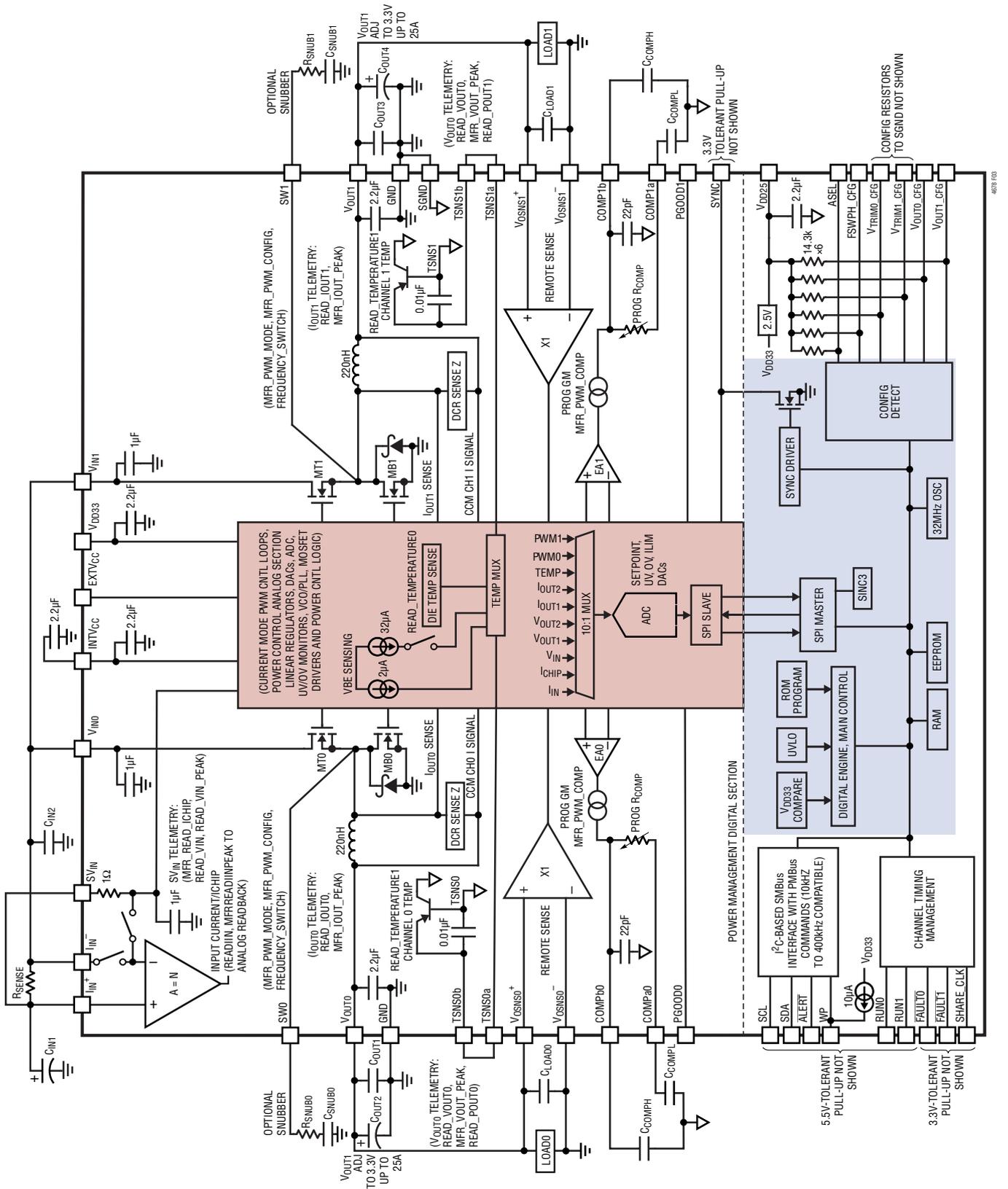
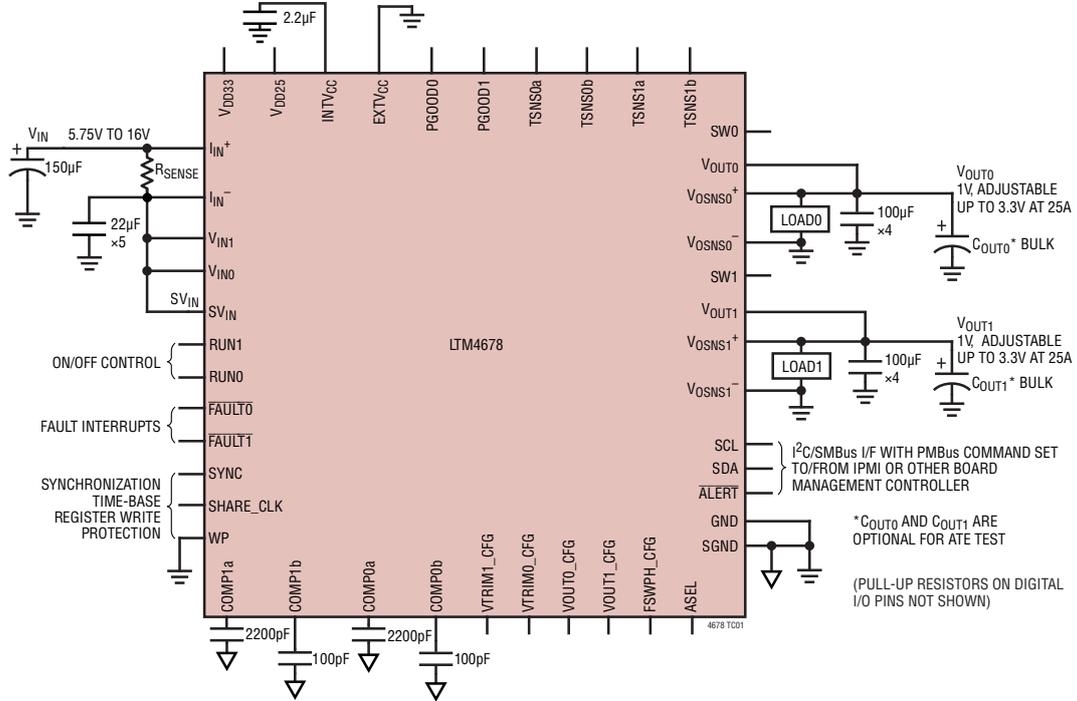


図3. LTM4678の機能ブロック図

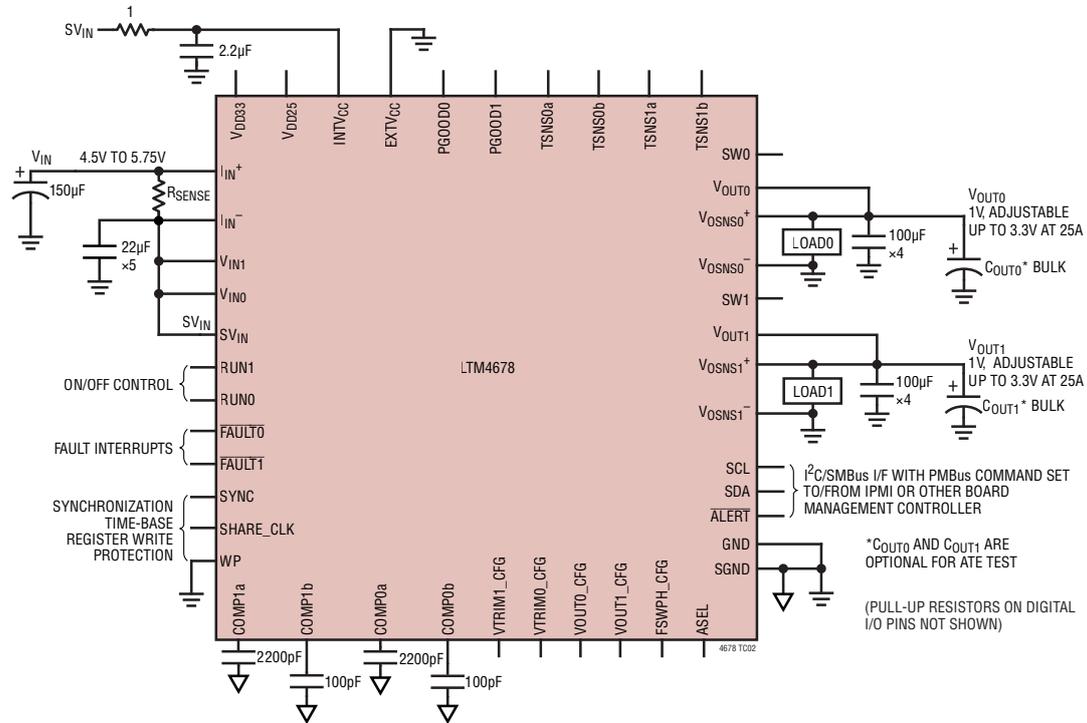
テスト回路

テスト回路 1. V_{IN} 動作電圧範囲が高い場合の LTM4678 ATE 構成、 $5.75V \leq V_{IN} \leq 16V$



テスト回路

テスト回路 $2 \cdot V_{IN}$ 動作電圧範囲が低い場合の LTM4678 ATE 構成、 $4.5V \leq V_{IN} \leq 5.75V$



動作

パワー・モジュールの概説

LTM4678は高度な設定が可能なデュアル25A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I²C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。外付けの入出力コンデンサとプルアップ抵抗をいくつか使用することにより、2つの出力電圧(V_{OUT0}、V_{OUT1}：まとめてV_{OUTn}と表記)を安定化できます。入出力電圧と入出力電流の読み出し遠隔測定データ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I²Cを介して検索して、分析に使うことができます。ブロック図については図2と図3を参照してください。

パワー・モジュールの概要、主な機能

主な機能は以下のとおりです。

- 専用のパワーグッド・インジケータ
 - 入力電流およびチップ電流の直接検出
 - プログラム可能なループ補償パラメータ
 - T_{INIT} 起動時間: 30ms
 - PWM同期回路(詳細については、スイッチング周波数と位相のセクションを参照)
 - MFR_ADC_CONTROLにより、1パラメータの高速ADCサンプリング(8ms)に対応(詳細についてはPMBusコマンドを参照)
 - V_{OUT0}/V_{OUT1}の両方のチャンネルに対する完全差動出力検出、両方とも3.6Vまでプログラム可能
 - EXT_{VCC}によるEEPROMの起動とプログラム
 - 入力電圧: 最大16V
 - ΔV_{BE}による温度検出
 - SYNC競合回路(詳細については、スイッチング周波数と位相のセクションを参照)
 - 障害ログ
 - プログラム可能な出力電圧
 - 入力電圧のオンとオフの閾値電圧をプログラム可能
 - プログラム可能な電流制限
 - プログラム可能なスイッチング周波数
 - プログラム可能なOVおよびUV閾値電圧
 - プログラム可能なオンとオフの遅延時間
 - プログラム可能な出力立上がり/立下がり時間
 - フェーズ・ロック・ループ(PLL)により、同期PolyPhase動作(2、3、4、6フェーズ)に対応
 - ECC機能を備えた不揮発性構成メモリ
 - 重要な動作パラメータのためのオプションの外付け設定抵抗
 - オプションのタイム・ベース相互接続による複数コントローラ間の同期
 - 内部設定を保護するWPピン
 - お客様の工場での設定後に単独で動作
 - PMBus、バージョン1.2、400kHz準拠のインターフェース
- PMBusインターフェースでは、システムの動作時に、以下の項目を含む重要なパワー・マネージメント・データにアクセスできます。
- 内部コントローラの温度
 - 電源チャンネルの内部温度、平均出力電流
 - 平均出力電圧
 - 平均入力電圧
 - 平均入力電流
 - V_{IN}からの平均チップ入力電流
 - ラッチ状態または非ラッチ状態の設定可能な個々の障害および警告のステータス
- 個々のチャンネルは、PAGEコマンド(つまりPAGE 0または1)を使用して、PMBusを介してアクセスされます。
- 障害報告およびシャットダウン動作は完全に設定可能です。2つの個別出力FAULT₀、FAULT₁を備えており、どちらも個別にマスクをかけることができます。

動作

$\overline{\text{ALERT}}$ 、PGOOD0/PGOOD1 機能に対応する3つの専用ピンを備えています。また、シャットダウン動作でも全ての障害を個別にマスク可能であり、非ラッチ(ヒカップ)モードとラッチ・モードのいずれでも動作できます。

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

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

ECC 機能を備えた EEPROM

LTM4678はECC(誤り訂正符号化)機能を備えたEEPROMを内蔵しており、構成設定と障害ログ情報を格納します。EEPROMの書き換え回数、データ保持期間、一括書込み動作時間は、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。 $T_J = 85^\circ\text{C}$ を超える温度での書込み動作は可能ですが、電気的特性は保証されておらず、EEPROMは劣化します。読み出し動作を -40°C ~ 125°C の温度範囲内で行えば、EEPROMは劣化しません。 85°C より高い温度でEEPROMに書き込むと、データ保持特性が劣化します。障害ログ機能は、高温で発生する可能性があるシステム問題のデバッグに役立ちますが、書込み先が障害ログのEEPROM領域に限定されます。これらのレジスタへの不定期の書込みが 85°C より高い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劣化しますが、それによってこの機能の有用性がなくなることはありません。

ダイ温度が 85°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°C を超えると、LTM4678は全てのEEPROM書き込み動作を停止します。ダイ温度が 125°C より低くなると、EEPROMの全ての書き込み動作が再び可能になります(ダイ温度が内部過熱障害制限値の 160°C (10°C のヒステリシスあり)を超えると、コントローラはやはりスイッチングを全て停止します)。

125°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。

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

ここで、

AF = 加速係数

E_a = 活性化エネルギー = 1.4eV

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

T_{USE} = 125°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°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。

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

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

$AF = e^{((1.4/8.617 \cdot 10^{-5}) \cdot (1/398 - 1/403))} = 16.6$

125°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°C のジャンクション温度で10時間動作させた場合、16.6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°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。

内蔵EEPROM全体の完全性は、パワーオン・リセットやRESTORE_USER_ALLコマンドの実行後など、データを読み出すたびにCRC計算により検査されます。CRCエラーが発生すると、STATUS_BYTEコマンドとSTATUS_WORDコマンドのCMLビットが設定され、STATUS_MFR_SPECIFICコマンドのEEPROM CRCエラー・ビットが設定されて、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンとRUNピンがロー(PWMチャンネルがオフ)になります。その時点で、デバイスは特殊アドレス $0x7C$ の場合にのみ応答するようになります。このアドレスが動作状態になるのは、無効なCRCが検出された後だけです。また、デバイスはグローバル・アドレス $0x5A$ および $0x5B$ でも応答しますが、CRCの問題から回復しようとするときにこれらのアドレスを使用するのは推奨しません。無効なCRCを報告しているデバイスのいずれかのPWMチャンネルに関連付けられている電源レールは、問題が解決するまでディスエーブル状態のままになります。バルクEEPROMのプログラミングなど、LTM4678もサポートしているEEPROMの効率的なシステム

動作

内プログラミングの詳細については、アプリケーション情報のセクションを参照するか、弊社にお問い合わせください。

LTM4678は、組込みのパワー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575kHz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。FSWPH_CFG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最も可能性の高い組み合わせは、抵抗ピンでのプログラミングによって決定できます。表3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装するには、LTM4678のNVMを設定します)FSWPH_CFGのピンストラップ抵抗でLTM4678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_{DD33}に接続されている従属のLTM4678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I²C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。

チャンネル0とチャンネル1のプログラム可能なアナログ帰還ループ補償を完了するには、COMP_{0,1a}とSGNDの間にコンデンサを接続し、COMP_{0,1b}とSGNDの間にコンデンサを接続します。COMP_{0,1b}ピンは高周波でゲインをロールオフするためのピンであり、範囲をプログラム可能なg_mアンプの出力です。また、COMP_{0,1a}ピンには、プログラム可能な抵抗範囲の他に、SGNDとの間に、周波数補償を設定するコンデンサがあります。プログラム可能なループ補償のセクションを参照してください。LTM4678モジュールは、広範囲の出力コンデンサで(全てセラミックのMLCCの場合であっても)、十分な安定余裕と優れたトランジェント性能を備えています。多くの一般的な動作条件と並んでプログラム可能な補償設定に対して推奨される入出力コンデンサの目安を表13に示します。アナログ・デバイスサイズのLTpowerCADツールは、トランジェント解析や安定性解析に利用できます。また、モジュールの帰還ループ補償パラメータの調整を希望する経験豊富な方もこのツールを使用できます。

電源の投入と初期化

LTM4678は、独立した電源シーケンス制御と、制御されたターンオン動作およびターンオフ動作を実現する目的で設計されています。このデバイスは1つの入力電源(4.5V~16V)で動作しますが、3つの内蔵リニア電圧レギュレータが内部の2.5V、3.3V、および5.5Vを生成します。V_{IN}が6Vを超えることがなく、EXTV_{CC}ピンが外部電源によって駆動されない場合は、INTV_{CC}ピンとV_{IN}ピンを互いに接続する必要があります。コントローラの設定は内部閾値ベースのUVLOによって初期化されます。ここでは、V_{IN}を約4Vにする必要があります。5.5V、3.3V、2.5Vの各リニア電圧レギュレータを安定化電圧の値の約20%以内にする必要があります。電源の他に、PMBus RESTORE_USER_ALLコマンドまたはMFR_RESETコマンドもデバイスを初期化できます。

EXTV_{CC}ピンを外部レギュレータによって駆動するのは、V_{IN}が高いときに、回路の効率を向上してLTM4678での電力損失を最小限に抑えるためです。INTV_{CC} LDOがEXTV_{CC}ピンを電源として動作するには、その前にEXTV_{CC}ピンが約4.7Vを超える必要があります。V_{IN}が約7Vを超える必要があります。アプリケーションの電力を最小限に抑えるため、EXTV_{CC}ピンにはスイッチング・レギュレータから電力を供給することができます。

初期化時には、外付けの設定抵抗が識別されるか、NVMの内容がコントローラのコマンドに読み込まれ、駆動系はオフに維持されます。RUN_n、FAULT_n、およびPGOOD_nはローに維持されます。LTM4678は表1~表5の内容を使用して、抵抗で定義されたパラメータを判別します。詳細については、RCONFIG(抵抗設定)ピンのセクションを参照してください。抵抗設定ピンが制御するのは、コントローラのプリセット値の一部です。残りの値は出荷時にNVMにプログラムされます。あるいは、お客様にプログラムしていただきます。

設定抵抗を挿入しなかった場合、またはRCONFIG無視ビット(MFR_CONFIG_ALL構成コマンドのビット6)をアサートした場合、LTM4678はNVMの内容だけを使用してDC/DC特性を決定します。このピンがオープンでない限り、電源投入時またはリセット時に読み出されたASELの値は常に有効です。ASELによって下位4ビットが設定され、NVMによってMSBが設定されます。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。

動作

デバイスの初期化が完了すると、別のコンパレータが V_{IN} をモニタします。出力電源のシーケンス制御を開始するには、 V_{IN_ON} の閾値を超える必要があります。 V_{IN} が初めて印加されてからデバイスがTON_DELAYタイマを初期化して始動するまでに、通常は30msかかります。電圧と電流の読み出しには、更に0ms~90msかかることがあります。

ソフトスタート

後述する起動シーケンス制御の方式は時間ベースです。デバイスはソフトスタートの前に動作状態になっている必要があります。RUNピンがLTM4678によって解放されるのは、デバイスが初期化され、 V_{IN} が V_{IN_ON} の閾値より高くなった後です。アプリケーションに複数のLTM4678を使用している場合は、全てのデバイスが初期化され、全てのデバイスについて V_{IN} が V_{IN_ON} の閾値を超えるまで、全てのデバイスがそれぞれのRUNピンをローに保持します。SHARE_CLKピンは、信号に接続されている全てのデバイスが同じタイム・ベースを使用するようにします。 V_{IN} が印加された後、デバイスの初期化が完了するまで、SHARE_CLKピンはローに維持されます。SHARE_CLKがロー（MFR_CHAN_CONFIGのビット2を1に設定）の場合は、LTM4678をターンオフ（またはオフのまま）に設定できます。これにより、基板の制約によってRUNピンを互いに接続できない場合でも、多数のLTC®デバイスの同期が可能になります。一般に、デバイス間の同期に注意を払う場合は、それぞれのRUNピンを全て互いに接続するだけでなく、それぞれのSHARE_CLKピンも全て互いに接続して、10kの抵抗で V_{DD33} にプルアップするのが最善です。これにより、全てのデバイスがシーケンス制御を同時に開始して同じタイム・ベースを使用します。

RUNピンが解放された後、一定の出力電圧レギュレーション状態に入る前に、LTM4678は単調な初期ランプまたは「ソフトスタート」を実行します。ソフトスタートは、負荷電圧を能動的に安定化しつつ、目的の電圧を0Vからコマンド指定の電圧設定値までデジタル式に増加することによって実行します。（電源の投入と初期化後に）LTM4678の起動をコマンドで指定すると、コントローラはユーザ指定のターンオン遅延（TON_DELAY）の間待機した後、この出力電圧ランプを開始します。電圧ランプの立上がり時間をTON_RISEコマンドを使用してプログラムし、起動電圧ランプに関連した突入電流を最小限に抑えることができます。ソフトスタート機能を無効にするには、TON_RISEの値を0.25msより小さい任意の値に設定します。LTM4678のPWMは、TON_RISE動作の間、常に不連続モードを使用します。不連続モードでは、インダクタに逆電流が流れていることが検出されると、下側MOSFETはすぐにオフになります。これにより、レギュレータはプリバイアスされた負荷状態で起動できるようになりま

す。TON_MAX_FAULT_LIMITに到達すると、デバイスは連続モードに遷移します（事前にプログラムしてある場合）。TON_MAX_FAULT_LIMITを0に設定すると、時間制限は存在なくなり、TON_RISEの経過後にデバイスは目的の導通モードに遷移し、 V_{OUT} は $V_{OUT_UV_FAULT_LIMIT}$ を超え、IOUT_OCは存在しなくなります。ただし、TON_MAX_FAULT_LIMITの値を0に設定することは推奨しません。

時間ベースのシーケンス制御

出力のオンとオフをシーケンス制御するデフォルトのモードは時間ベースです。各出力がイネーブルされるのは、RUNピンがハイになるか、PMBusコマンドによってオンにするか、 V_{IN} が事前設定電圧より高くなってから、TON_DELAYの時間待機した後です。オフ・シーケンス制御は同様の方法で処理されます。適切なシーケンス制御を実施するため、全てのICでSHARE_CLKピンを互いに接続し、かつRUNピンを互いに接続します。何らかの理由でRUNピンを互いに接続できない場合は、MFR_CHAN_CPNFIGのビット2を1に設定します。このビットにより、電源出力が起動するには、その前にSHARE_CLKピンをクロックで制御することが必要になります。RUNピンがローになると、LTM4678はこのピンをMFR_RESTART_DELAYの時間中、ローに保持します。MFR_RESTART_DELAYの最小値は、TOFF_DELAY + TOFF_FALL + 136msです。この遅延により、全てのレールのシーケンスが適切に制御されます。LTM4678はこの遅延を内部で計算し、これより短い遅延時間では処理しません。ただし、デバイスはこれより長い時間が指定されたMFR_RESTART_DELAYを使用できます。最大許容値は65.52秒です。

電圧ベースのシーケンス制御

シーケンスは電圧ベースにすることもできます。図4に示すように、各出力のUV閾値を超えると、 $PGOOD_n$ ピンがアサートされます。あるLTM4678の $PGOOD$ ピンから、シーケンスの次のLTM4678のRUNピンに、特に複数のLTM4678にまたがって電力を供給することができます。 $PGOOD_n$ は60 μ sのフィルタを内蔵しています。 V_{OUT} の電圧がUV閾値の前後で長時間にわたってはね返る場合は、 $PGOOD_n$ 出力を複数回切り替えることができます。この問題を最小限に抑えるには、TON_RISEの時間を100msより短い値に設定します。

一連のレールに障害が検出されると、障害が発生したレールと下流のレールだけ障害でオフになります。障害が発生したレールの上流にある一連のデバイスのレールは、コマンド指定でオフにしない限り、引き続きオンのままです。

動作

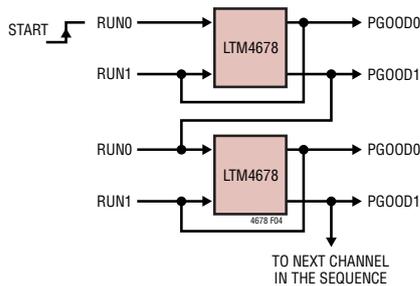


図4. イベント(電圧)ベースのシーケンス制御

シャットダウン

LTM4678は2つのシャットダウン・モードに対応します。最初のモードはクローズドループのシャットダウン応答で、ユーザ定義のターンオフ遅延(TOFF_DELAY)と下降率(TOFF_FALL)を指定できます。コントローラはTOFF_FALLの間この動作モードを維持します。2番目のモードは不連続導通モードで、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TOFF_FALLではなく、出力容量と負荷電流によって設定されます。

シャットダウン状態は、以下の状況になった時に発生します：障害状態、SHARE_CLKが失われた場合(MFR_CHAN_CONFIGのビット2を1に設定した場合)、VINがVIN_OFF閾値より低くなった場合、またはFAULTが外部からローにされた場合(MFR_FAULT_RESPONSEを禁止に設定した場合)です。これらの状況では、負荷へのエネルギー伝達をできるだけ迅速に停止するため、パワー段がディスエーブルされます。シャットダウン状態には、ソフトスタート状態またはアクティブなレギュレーション状態から入ることも、手動操作によって入ることもあります。

障害に応答する方法は2つあり、それは再試行モードとラッチオフ・モードです。再試行モードでは、コントローラは、プログラム可能な遅延時間(MFR_RETRY_DELAY)の間にシャットダウンして非アクティブ状態に入ることにより、障害に応答します。出力がディスエーブルされるとシャットダウンの原因となる障害が消滅する場合は、この遅延によって自動再試行に関連したデューティ・サイクルが最小限に抑えられます。再試行遅延時間は、MFR_RETRY_DELAYコマンドの時間と、安定化出力が設定値の12.5%より低くなるまでに必要な時間の長い方によって決まります。複数の出力が同じFAULT_nピンによって制御される場合は、障害が

発生した出力の減衰時間によって再試行遅延時間が決まります。出力の自然な減衰時間が長すぎる場合は、MFR_CHAN_CONFIG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。また、ラッチオフ・モードは、障害発生後コントローラがラッチオフ状態のままであることを意味し、これを解除するにはRUN_nの切替えや、デバイスをオフにしてからオンにするコマンドの実行などの手動操作が必要です。

軽負荷電流動作

LTM4678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。モード選択はMFR_PWM_MODEコマンドを使用していきます(不連続導通モードは常に起動モードであり、強制連続モードはデフォルトの実行モードです)。

コントローラが不連続動作になるようにイネーブルされると、インダクタ電流は反転できません。インダクタ電流がゼロに達する直前に、逆電流コンパレータの出力が外付けの下側MOSFETをオフにして、インダクタ電流が反転して負になるのを防ぎます。

強制連続動作の場合は、軽負荷時または大きなトランジェント状態でインダクタ電流が反転できます。インダクタのピーク電流は、COMP_n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も低下します。ただし、連続モードは出力リップルが小さく、オーディオ回路との干渉が少なく済みますが、逆方向のインダクタ電流が発生して、これが入力電源電圧を上昇させる原因になることがあります。VIN_OV_FAULT_LIMITはこれを検出して、障害の原因となるチャンネルをオフにすることができます。ただし、この障害はADCの読み出しに基づいており、検出するのに最大でt_{CONVERT}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モードで維持します。

デバイスが不連続モード動作に設定されている場合は、インダクタの平均電流が増加するにつれて、コントローラは動作を不連続モードから連続モードに自動的に変更します。

動作

スイッチング周波数と位相

PWMのスイッチング周波数は、内部発振器または外部タイム・ベースを使用して設定できます。内部フェーズ・ロック・ループ(PLL)は、クロックを内部で供給するか外部から供給するかにかかわらず、PWM制御をこのタイミング・リファレンスに同期させ、適切な位相関係を維持します。また、表3に概要を示すように、PMBus コマンド、NVM 設定、または外付け設定抵抗によって他のデバイスにマスタ・クロックを供給するようにデバイスを構成することもできます。

クロック・マスタとして、LTM4678は、そのオープンドレインのSYNCピンを、選択されたレートと500nsのパルス幅で駆動します。この場合には、SYNCと V_{DD33} の間に外付けプルアップ抵抗が必要です。SYNCに接続した1デバイスのみを指定してこのピンを駆動します。LTM4678は、SYNCの外部周波数がSYNCの設定周波数の80%より高い限り、SYNCの外部入力に自動的に戻り、デバイス自体のSYNCをディスプレイします。SYNCの外部入力のデューティ・サイクルは、20%~80%の範囲になります。

LTM4678は、SYNCを駆動するように構成されているかどうかにかかわらず、外部クロック信号が後で失われた場合、デバイス自体の内部発振器を使用してPWM動作を継続できます。

また、MFR_CONFIG_ALLのビット4を設定することにより、PWM動作のために外部発振器が必ず必要になるようにデバイスをプログラムすることができます。SYNCドライバのステータスは、MFR_PADSのビット10によって示されます。

MFR_PWM_CONFIG コマンドを使用して、各チャンネルの位相を設定できます。また、表3に概要を示すように、目的の位相はEEPROMまたは外付け設定抵抗により設定できます。指定の位相は、SYNCの立下がりエッジと、PWMラッチを設定して上側のパワー・スイッチをオンする内部クロック・エッジとの関係です。PWM制御ピンには、短時間の追加伝播遅延も適用されます。FREQUENCY_SWITCH コマンドとMFR_PWM_CONFIG コマンドをLTM4678に書き込むには、その前に両方のチャンネルをオフしておく必要があります。

数多くのアプリケーション・オプション用に、位相関係と周波数のオプションが提供されています。複数のLTM4678モジュールを同期して、PolyPhaseアレイを実現することができます。この場合には、位相を $360/n$ 度で区切ります。ここで、 n は出力電圧レールを駆動する位相の数です。

PWMループ補償

LTM4678の内部PWMループ補償抵抗 R_{COMPna} は、MFR_PWM_COMP コマンドのビット[4:0]を使用して調整できます。

LTM4678 PWMエラー・アンプのトランスコンダクタンス(gm)は、MFR_PWM_COMP コマンドのビット[7:5]を使用して調整できます。これら2つのループ補償パラメータは、デバイスの動作中にプログラムできます。詳細については、アプリケーション情報のセクションに記載されているプログラム可能なループ補償のサブセクションを参照してください。

出力電圧の検出

LTM4678は両方のチャンネルに差動アンプを内蔵しており、 V^+ ピンと V^- ピンの間の負荷電圧をリモート検出することができます。また、遠隔測定ADCも完全に差動であり、両方のチャンネルの V_{OSNSn}^+ と V_{OSNSn}^- の間の電圧を、それぞれ V^+ ピンと V^- ピンで測定します。最大許容電圧は3.6Vですが、LTM4678の設計は3.3V出力に制限されています。

INTV_{CC}/EXTV_{CC} 電源

上側と下側の内部MOSFETドライバおよび他の大部分の内部回路への電源は、INTV_{CC}ピンから供給されます。EXTV_{CC}ピンをGNDに短絡するか、4.7Vより低い電圧に接続すると、内部の5.5Vリニア電圧レギュレータがINTV_{CC}の電力を V_{IN} から供給します。EXTV_{CC}が4.7Vより高く、 V_{IN} が7.0Vより高い場合は、5.5Vレギュレータがオフして内部スイッチがオンし、EXTV_{CC}をINTV_{CC}に接続します。EXTV_{CC}を使用すると、スイッチング・レギュレータ出力などの高効率の外部電源からINTV_{CC}の電力を供給できます。EXTV_{CC}は、 V_{IN} がない場合でも、内部の3.3Vリニア電圧レギュレータに電力を供給できます。このため、主電源が投入されていない場合でも、LTM4678を初期化してプログラムすることができます。

INTV_{CC}レギュレータには SV_{IN} ピンから電力が供給され、ICからの電力は $SV_{IN} \cdot I_{INTVCC}$ に等しくなります。ゲート充電電流は動作周波数に依存します。INTV_{CC}レギュレータは最大100mAを供給可能であり、LTM4678の代表的なINTV_{CC}電流は約50mAです。12Vの入力電圧は、内部コントローラ両端での7Vの電圧降下に相当するので、50mAを掛けると350mWの電力損失になります。この損失は、EXTV_{CC}ピンに外部の5Vバイアスを印加することで解消できます。

動作

LTM4678のINTV_{CC}は外部電源に接続しないでください。なぜなら、INTV_{CC}は外部電源の電圧を高くしようとして電流制限値に達するので、ダイ温度が大幅に上昇するからです。

V_{IN}が5Vであるアプリケーションでは、テスト回路2に示すように、V_{IN}ピンとINTV_{CC}ピンを互いに接続し、1Ωまたは2.2Ωの抵抗を介して5V入力に接続します。

出力電流の検出と1mΩ未満のDCRによる電流検出

LTM4678は独自の1mΩ未満のインダクタ電流検出技術を採用しており、高レベルのS/N比を実現しつつ、電流モード動作時に非常に小さい信号を検出します。これにより、1mΩ未満の内部インダクタを重負荷アプリケーションで使用して、高い変換効率を実現できます。MFR_PWM_MODE[7]を使用して、ハイ・レンジおよびロー・レンジの電流制限閾値を正確に設定できます(90ページ参照)。

内部のDCR検出ネットワーク、例えば電流制限値は、室温でのインダクタのDCRに基づいて計算されます。インダクタのDCRの温度係数は大きく、約3900ppm/°Cです。インダクタの温度係数はMFR_IOUT_CAL_GAIN_TCレジスタに書き込まれます。外部温度はインダクタの近くで検出し、内部電流制限回路を調整して温度による実質的な定電流制限を維持するために使用します。検出された電流は、入力電圧範囲が±128mV、ノイズ・フロアが7μV_{RMS}、ピークtoピーク・ノイズが約46.5μVであるLTM4678の遠隔測定ADCによってデジタル化されます。LTM4678は、IOUT_CAL_GAINコマンドに格納されたDCRの値とMFR_IOUT_CAL_GAIN_TCコマンドに格納された温度係数を使用してインダクタ電流を計算します。得られる電流値はREAD_IOUTコマンドによって返されます。

LTM4678の各チャンネルのパワー・インダクタはモジュールの上であり、各チャンネルの温度センサーは、パワー段とインダクタ・クリップの近くの基板上に置かれています。インダクタと温度センサーの間の温度差は、最大負荷のとき約12°Cです。このため、出力電流の読み出し精度は全温度範囲で±5%低下します。この読み出し精度は、LTM4678を終端システムで評価することで向上させることができます。周囲温度、空気流、およびGUIと上面にあるインダクタの間の温度差を評価することで、オフセット値が得られます。MFR_TEMP_1_OFFSETコマンドを使用してこのオフセット値をプログラムし、出力電流の読み出し精度を向上させることができます。

入力電流の検出

LTM4678のパワー段によって消費される全入力電流を検出するため、電源電圧と上側NチャンネルMOSFETのドレインの間に検出抵抗が配置されています。I_{IN}⁺ピンとI_{IN}⁻ピンを検出抵抗に接続します。フィルタ処理された電圧は内部の高電位側電流検出アンプによって増幅され、LTM4678の遠隔測定ADCによってデジタル化されます。入力電流検出アンプには3つのゲイン設定値(2倍、4倍、8倍)があり、MFR_PWM_MODEコマンドのビット[3:2]によって設定されます。3つのゲイン設定の最大入力検出電圧は、それぞれ50mV、20mV、5mVです。LTM4678は、IIN_CAL_GAINコマンドに格納された内部のR_{SENSE}の値を使用して入力電流を計算します。結果として得られるパワー段の測定電流は、READ_IINコマンドによって返されます。

LTM4678は、1Ωの抵抗を使用して、LTM4678が消費するSV_{IN}ピンの電源電流を測定します。この値はMFR_READ_ICHIPコマンドによって返されます。デバイス電流は、MFR_ICHIP_CAL_GAINコマンドに格納された1Ωの値を使用して計算します。詳細については、アプリケーション情報のセクションに記載されている入力電流検出アンプという表題のサブセクションを参照してください。

PolyPhaseによる負荷分担

必要なピンをバスに接続することにより、複数のLTM4678を並べて、バランスのとれた負荷分担ソリューションを実現できます。図47に、負荷分担に必要な4フェーズの設計共有接続を示します。

外部発振器を接続しない場合は、いずれか1つのLTM4678だけSYNCピンをイネーブルします。それ以外のデバイスについては、MFR_CONFIG_ALLのビット4を使用して、SYNCをディスエーブルするようプログラムします。外部発振器を接続している場合は、SYNCピンをイネーブルにしたデバイスが外部クロックの存在を検出して、その出力をディスエーブルします。

動作

複数のチャンネルで全ての V_{OSNSn}^+ ピン、全ての V_{OSNSn}^- ピンを互いに接続する必要があり、 $COMP_{na}$ ピンおよび $COMP_{nb}$ ピンも同様に互いに接続する必要があります。PolyPhaseアプリケーション以外では、MFR_CONFIG_ALLのビット[4]をアサートしないでください。

これらのデバイスのSYNC、SHARE_CLK、 \overline{FAULT} 、および \overline{ALERT} ピンは共有する必要があります。SYNC、 \overline{FAULT} 、SHARE_CLK、および \overline{ALERT} には、必ずプルアップ抵抗を使用してください。

外部温度／内部温度の検出

温度は、(チャンネル0に対応する)TSNS0bピンまたは(チャンネル1に対応する)TSNS1bピンの内部ダイオード接続PNPトランジスタを使用して測定します。TSNS n bピンは、対応するTSNS na ピンに接続し、これらの帰還路はLTM4678のSGNDピンに直接接続します。ダイオードには2種類の異なる電流(公称 $2\mu A$ および $32\mu A$)が流れ、温度は内蔵の16ビット・モニタADCによる ΔV_{BE} 測定から計算します(図2のブロック図参照)。

LTM4678は ΔV_{BE} の温度検出を実装しているだけなので、MFR_PWM_MODEのビット[5]は予備です。

CH0とCH1の温度は、温度補償変数の調整と内部温度モニタリングの目的に限り、CH0にリンクできます。これにより、TSNS1aは外部温度検出用に解放されます。

RCONFIG(抵抗設定)ピン

6つの入力ピンがあり、これらのピンとSGNDの間に1%精度の抵抗を使用して、重要な動作パラメータを選択します。該当のピンは、ASEL、FSWPH_CFG、VOUT0_CFG、VOUT1_CFG、VTRIM0_CFG、VTRIM1_CFGです。ピンがフロート状態の場合は、対応するNVMコマンドに格納された値を使用します。MFR_CONFIG_ALL設定コマンドのビット6がNVMでアサートされると、抵抗入力電源投入時に無視されますが、ASELは例外で、常に有効です。抵抗設定ピンが測定されるのは、電源投入リセット時か、MFR_RESETコマンドやRESTORE_USER_ALLコマンドの実行後だけです。

VOUT n _CFGピンの設定については、表1で説明しています。これらのピンは、LTM4678のVOUT0およびVOUT1の出力電圧を「粗い設定」にします。ピンがオープンの場合は、VOUT_COMMANDコマンドをNVMから読み出して出力電圧を決定します。デフォルトの設定では、電圧設定ピンが装備されていない限りスイッチャをオフにします。出力電圧を微調整するには、表2のVTRIM n _CFGピンを使用します。両方を組み合わせることにより、いくつかの異なる出力電圧が得られます。

表1. LTM4678の出力電圧、粗い設定に対応するVOUT n _CFGのピンストラップ参照表 (MFR_CONFIG_ALL[6] = 1bの場合は該当しない)

R _{VOUTn_CFG} * (k Ω)	V _{OUTn} (V)の粗い設定	MFR_PWM_MODE n [1] ビット
Open	NVM	NVM
32.4	NVM	NVM
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} ≤ 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_{VOUT n _CFG}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_{VOUT n _CFG}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_{VOUT n _CFG}の値に影響します。SV_{IN}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)によって期待通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。

動作

表2. LTM4678の出力電圧、微調整設定に対応する
VTRIMn_CFGのピンストラップ参照表
(MFR_CONFIG_ALL[6] = 1bの場合は該当しない)

RvTRIMn_CFG* (kΩ)	有効な場合、VOUT _n の設定値に対する VTRIM (mV)の微調整
Open	0
32.4	99
22.6	86.625
18.0	74.25
15.4	61.875
12.7	49.5
10.7	37.125
9.09	24.75
7.68	12.375
6.34	-12.375
5.23	-24.75
4.22	-37.125
3.24	-49.5
2.43	-61.875
1.65	-74.25
0.787	-86.625
0	-99

*RvTRIMn_CFG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RvTRIMn_CFG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RvTRIMn_CFGの値に影響します。SV_{IN}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。

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

- VOUT_OV_FAULT_LIMIT +10%
- VOUT_OV_WARN_LIMIT +7.5%
- VOUT_MAX +7.5%
- VOUT_MARGIN_HIGH..... +5%
- VOUT_MARGIN_LOW -5%
- VOUT_UV_FAULT_LIMIT -7%

FSWPH_CFGピンの設定については、表3で説明しています。このピンは、各チャンネルのスイッチング周波数と位相を選択します。2つのチャンネルとSYNCピンの間の位相関係は、表3で決まります。外部クロックと同期するには、デバイスを外部クロック・モードにします(SYNC出力はディスエーブルするが周波数は公称値に設定)。外部クロックを入力しない場合、デバイスは設定周波数でクロックを制御します。アプリケーションがマルチフェーズで、デバイス間のSYNC信号が失われると、デバイスは、同じ周波数に設定され、調整されている場合でも、設計どおりの位相では動作しません。

これにより、出力のリップル電圧が増加して、場合によっては望ましくない動作が生じます。外部SYNC信号が内部で生成され、外部SYNCを選択していない場合、MFR_PADSのビット10がアサートされます。周波数を選択しておらず、外部SYNC周波数が存在しない場合は、PLL_FAULTが発生します。電源投入時に有効な同期信号がない場合でも、PLL_FAULTからのALERTを見たくない場合は、PLL_FAULTのALERTマスクを書き込む必要があります。詳細についてはSMBALERT_MASKに関する説明を参照してください。複数のIC間でSYNCピンを接続している場合は、いずれか1つのICのみMFR_CONFIG_ALL[4]=1を使用してSYNCピンをイネーブルし、それ以外の全てのICではMFR_CONFIG_ALL[4]=0を使用してSYNCピンをディスエーブルするように設定します。

ASELピンの設定については、表4で説明しています。ASELはLTM4678にスレーブ・アドレスを選択します。詳細については、表5を参照してください。

注記: PMBusの仕様に従って、ピンでプログラムしたパラメータはデジタル・インターフェースからのコマンドによりオーバーライドできます。ただし、ASELは例外で、常に優先されます。デバイス・アドレスは0x5Aまたは0x5Bに設定しないでください。これらはグローバル・アドレスであり、全てのデバイスが応答するようになるからです。

動作

表 3. LTM4678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FSWPH_CFGのピンストラップ参照表 (MFR_CONFIG_ALL[6] = 1bの場合は該当しない)

RFSWPH_CFG* (k Ω)	スイッチング周波数 (kHz)	θ SYNCと θ 0の間	θ SYNCと θ 1の間	MFR_PWM_CONFIGの ビット [2:0]	MFR_CONFIG_ALLの ビット [4]
Open	NVM; LTM4678 Default = 500	NVM; LTM4678 Default = 0°	NVM; LTM4678 Default = 180°	NVM; LTM4678 Default = 000b	NVM; LTM4678 Default = 0b
32.4	250	0°	180°	000b	0b
22.6	350	0°	180°	000b	0b
18.0	425	0°	180°	000b	0b
15.4	575	0°	180°	000b	0b
12.7	650	0°	180°	000b	0b
10.7	750	0°	180°	000b	0b
7.68	500	120°	240°	100b	0b
6.34	500	90°	270°	001b	0b
5.23	External**	0°	240°	010b	1b
4.22	External**	0°	120°	011b	1b
3.24	External**	60°	240°	101b	1b
2.43	External**	120°	300°	110b	1b
1.65	External**	90°	270°	001b	1b
0.787	External**	0°	180°	000b	1b
0	External**	120°	240°	100b	1b

*RFSWPH_CFG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RFSWPH_CFG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RFSWPH_CFGの値に影響します。SV_{IN}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。

**外部設定はFREQUENCY_SWITCH (レジスタ0x33)の値を0x0000に設定することに対応します。デバイスはそのスイッチング周波数を、SYNCピンに入力されているクロックの周波数と同期します(MFR_CONFIG_ALL[4] = 1bであることが前提です)。

動作

表 4. LTM4678 のスレープ・アドレスを設定する 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 _{ASEL} * (kΩ)	スレープ・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 = 制御バイトでの読み出し/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: LTM4678 は、NVM または ASEL の抵抗設定値に関係なく、スレープ・アドレス 0x5A および 0x5B に常に応答します。

*R_{CFG} 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_{CFG} 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_{CFG} の値に影響します。S_{VIN} 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 5. 7 ビットおよび 8 ビットのアドレス指定で表現した LTM4678 の MFR_ADDRESS コマンドの例

概要	16 進数の デバイス・アドレス		ビット								
	7 ビット	8 ビット	7	6	5	4	3	2	1	0	R/W
Rail ⁴	0x5A	0xB4	0	1	0	1	1	0	1	0	0
Global ⁴	0x5B	0xB6	0	1	0	1	1	0	1	1	0
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 ^{2,3}			1	0	0	0	0	0	0	0	0

Note 1: この表は MFR_RAIL_ADDRESS_n 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_CHANNEL_ADDRESS_n コマンドまたは MFR_RAIL_ADDRESS_n コマンドに書き込むことは推奨されない。

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 障害および警告の保護
- 出力 OC 障害および警告の保護
- 内部制御ダイと内部モジュールの過熱障害および警告保護
- 内部低温障害および警告保護
- CML 障害(通信、メモリ、またはロジック)
- 双方向の FAULT_n ピンを介した外部障害検出

更に、LTM4678 は、FAULT_n 応答の伝搬コマンドである MFR_FAULT_PROPAGATE 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 FAULT_n ピンに対応付けることができます。FAULT_n ピンは、外部クロバ・デバイスのドライバ、過熱アラート、過電圧アラートとして使用するか、マイクロコントローラが障害コマンドに対してポーリングを開始する引き金となる割り込みとして使用するのが一般

動作

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 $FAULT_n$ ピンを使用することもできます。

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

出力と入力の障害事象処理は、表14～表18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、再試行の実行後は障害が存在しなくなり、新しいソフトスタートが試行されます。

障害が解消されない場合、コントローラは再試行を続行します。再試行間隔は MFR_RETRY_DELAY コマンドによって規定され、電源の入れ直しを繰り返すことによってレギュレータ部品の損傷を防止します。ただし、障害自体が破壊に直結していないことが前提です。 MFR_RETRY_DELAY は120msより長くする必要があります。83.88秒を超えることはできません。

ステータス・レジスタと \overline{ALERT} のマスクング

図5は、 $PMBus$ コマンドによってアクセス可能なLTM4678の内部ステータス・レジスタをまとめたものです。これらには、各種の障害、警告、およびその他の重要な動作条件の表示が含まれています。ここに示すように、 $STATUS_BYTE$ コマンドと $STATUS_WORD$ コマンドは、他のステータス・レジスタの内容も要約しています。個別の情報については $PMBus$ コマンドの詳細を参照してください。

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

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

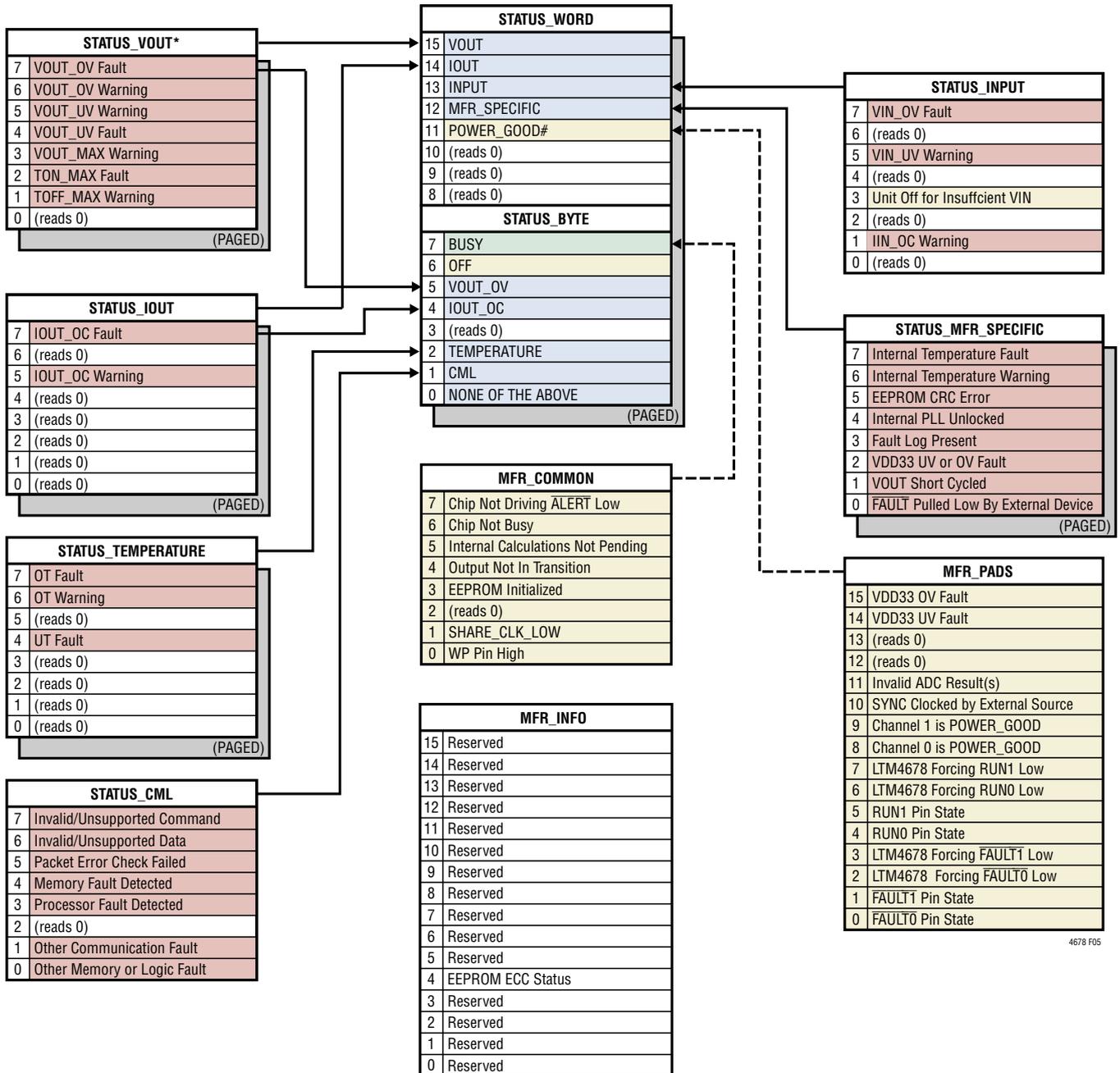
- $CLEAR_FAULTS$ コマンドまたは MFR_RESET コマンドが発行される
- 関連のステータス・ビットに1が書き込まれる
- 障害発生チャンネルをオフにしてからオンに戻すコマンドが適切に実行される
- $PMBus$ の ARA の間にLTM4678がそのアドレスを正常に送信する
- バイアス電源を入れ直す

一部の例外を除き、 $SMBALERT_MASK$ コマンドを使用して、LTM4678がこれらのレジスタの複数のビットに対してビット単位で \overline{ALERT} をアサートしないようにすることができます。これらのマスク設定は、ステータス・ビット自体と同じ方法で $STATUS_WORD$ および $STATUS_BYTE$ まで進められます。例えば、チャンネル0の $STATUS_VOUT$ の全てのビットに対して \overline{ALERT} がマスクされると、 \overline{ALERT} が実質的にマスクされる対象ビットは、 $PAGE\ 0$ では $STATUS_WORD$ の $VOUT$ ビットになります。また、 $STATUS_BYTE$ の $BUSY$ ビットも \overline{ALERT} をローにアサートし、マスクすることはできません。このビットは $PMBus$ 通信との様々な内部での相互作用の結果として設定できます。この障害が発生するのは、一方または両方のチャンネルをイネーブルしている状態で安全に実行できないコマンドを受け取った場合です。アプリケーション情報で説明したように、 $BUSY$ 障害は、いくつかのコマンドを実行する前に MFR_COMMON をポーリングすることで回避できます。

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

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

動作



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

図5. LTM4678 ステータス・レジスタの概要

4678 F05

動作

FAULTピンへの障害情報のマッピング

(複数のLTM4678のチャンネルを含む)チャンネル間の障害依存関係は、 $\overline{\text{FAULT}}_n$ 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 $\overline{\text{FAULT}}_n$ 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、 $\overline{\text{FAULT}}_n$ 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、再試行の終了後、障害発生チャンネルが $\overline{\text{FAULT}}_n$ 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/オンをコマンドで指定されるまで、 $\overline{\text{FAULT}}_n$ ピンはローにアサートされたままです。RUNピンの切替えをピンまたはオフ/オン・コマンドのいずれかで行うと、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。

その他の障害検出機能と処理機能は以下のとおりです。

パワーグッド・ピン

LTM4678のPGOOD $_n$ ピンは、内部MOSFETのオープンドレインに接続されています。チャンネルの出力電圧がチャンネルのUVおよびOV電圧閾値範囲内に入っていない場合は、MOSFETがオンしてPGOOD $_n$ ピンをローにします。TON_DELAYとTON_RISEのシーケンス制御時に、PGOOD $_n$ ピンはローに保持されます。また、PGOOD $_n$ ピンは、それぞれのRUN $_n$ ピンがローになったときもローになります。PGOOD $_n$ ピンの応答は、内部の60 μ sデジタル・フィルタによってグリッチが除去されます。PGOOD $_n$ ピンとPGOODステータスは、最大10 μ sの通信遅延が原因で異なる場合があります。

CRC保護

NVMメモリの完全性は、パワーオン・リセット後に検査されます。CRCエラーがあると、コントローラは非アクティブ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、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンがローになります。コントローラに対する目的の設定を書き込み、STORE_USER_ALLコマンドを実行してからCLEAR_FAULTSコマンドを実行することで、NVMの修復を試みることができます。

LTM4678を製造する際、NVMはミラーリングができるように配置されます。コピーが両方とも壊れた場合は、STATUS_MFR_SPECIFICコマンドで「NVM CRC Fault」を設定します。CLEAR_FAULTSを発行するかこのビットに1を書き込むことでビットをクリアした後に、ビットが設定されたままの場合は、回復不能な内部障害が発生しています。ユーザはこの特定のデバイスに関連した両方の出力電源レールをディスエーブルするよう警告されます。製造中に発生したNVM障害を現場で修復することは想定していません。

シリアル・インターフェース

LTM4678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NVMまたは外付け抵抗のいずれかを使用して設定可能です。更に、LTM4678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。

シリアル・インターフェースは、PMBus仕様に規定された、以下のプロトコルをサポートします。1)コマンド送信、2)バイト書込み、3)ワード書込み、4)グループ、5)バイト読み出し、6)ワード読み出し、7)ブロック読み出し、8)ブロック書込み。PMBusマスタがPECを要求した場合、全ての読み出し動作は有効な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、LTM4678が有効なPECを受け取るまでPMBus書込み動作は実行されません。

通信保護

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

デバイスのアドレス指定

LTM4678のPMBusインターフェースを介したアドレス指定には、次の5種類が用意されています。それは、1)グローバル、2)デバイス、3)レールによるアドレス指定、および4)アラート応答アドレス(ARA)です。

動作

グローバル・アドレス指定は、バス上の全てのLTM4678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。LTM4678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) はページ化され、バス上にある全てのLTM4678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・デバイス以外のデバイス・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。グローバル・アドレスからの読み出しは決して行わないでください。

デバイスのアドレス指定は、PMBus マスタがLTM4678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。

レールのアドレス指定は、互いに接続している全てのチャンネルと同時に通信して、1つの出力電圧を生成する手段をバス・マスタに提供します (PolyPhase)。更に、グローバル・アドレス指定の場合と同様、ページ化されたMFR_RAIL_ADDRESS コマンドを使用してレール・アドレスを動的に割り当て、信頼できるシステム制御に必要なと思われるチャンネルの任意の論理的グループ化が可能になります。また、レール・アドレスからの読み出しは決して行わないでください。

以上の4つのPMBus アドレス指定方法は、いずれもユーザによる整然とした計画に基づいて適用し、アドレスの競合を防ぐ必要があります。グローバル・アドレスとレール・アドレスでのLTM4678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。

V_{OUT}とI_{IN}/I_{OUT}の障害に対する応答

V_{OUT}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_{OUT}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NVMで設定する
- PMBus コマンドによって設定する

I_{IN}およびI_{OUT}の過電流モニタは、ADCの読み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t_{CONVERT}の遅延時間が生じることがあります。I_{OUT}の計算には、DCRとその温度係数を考慮に入れます。入力電流は、R_{SENSE} 抵抗の両端で測定した電圧を、MFR_RVIN コマンドで設定した抵抗値で割った値に等しくなります。この入力電流計算値がIN_OC_WARN_LIMITを超えると、ALERTピンがローになり、STATUS_INPUT コマンドのIIN_OC_WARNビットがアサートされます。

LTM4678内部のデジタル・プロセッサは、障害を無視する機能、シャットダウンしてラッチオフする機能、またはシャットダウンして無期限に再試行する機能 (ヒカップ) を備えています。再試行間隔はMFR_RETRY_DELAYで設定され、120ms~83.88秒まで1ms刻みで設定できます。OV/UVおよびOCに応じたシャットダウンは、直ちに実行することも、ユーザが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、上側MOSFETがオフになり、下側MOSFETがオンします。ただし、デバイスがOV障害になっているときは、逆方向の出力電流をモニタします。電流がリミットに達すると、上側と下側の両方のMOSFETがオフになります。上側と下側のMOSFETは、PMBusのVOUT_OV_FAULT_RESPONSE コマンドのバイト値に関係なく、過電圧状態が解消されるまで元の状態を維持します。このハードウェア・レベルの障害応答遅延時間は、過電圧状態からBGがハイにアサートされるまで代表値で2μsです。VOUT_OV_FAULT_RESPONSE コマンドを使用すると、次のいずれかの動作を選択できます。

- OV プルダウンのみ (OVは無視できない)
- 即座にシャットダウン (スイッチング停止) —ラッチオフ
- 即座にシャットダウン -MFR_RETRY_DELAYで指定した時間間隔で無期限に再試行

ラッチオフまたは再試行のいずれの障害応答でも、(0~7)・10μs刻みでデグリッチを除去できます。表14を参照してください。

動作

出力低電圧の応答

低電圧コンパレータの出力に対する応答は、以下のいずれかになります。

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

UVの応答はグリッチを除去できます。表15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、インダクタ両端のピーク出力電流は、常にサイクル単位で制限されます。ピーク電流制限の値は、電気的特性の表で規定されています。電流制限回路は、COMP_nの最大電圧を制限することによって動作します。内部DCRの検出を使用するので、COMP_nの最大電圧には、インダクタのDCRのTCに正比例する温度依存性があります。LTM4678は外部の温度センサーを自動的にモニタし、COMP_nの許容最大電圧を変更してこの期間を補償します。IOUT_OC_FAULT_LIMITのセクションでは、IOUTを制限するためのデータ点を90ページに示します。

過電流障害処理回路は以下の動作を実行できます。

- 電流を無期限に制限
- 即座にシャットダウン-ラッチオフ
- 即座にシャットダウン-MFR_RETRY_DELAYで指定した時間間隔で無期限に再試行

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

タイミング障害に対する応答

TON_MAX_FAULT_LIMITは、V_{OUT}が起動時に上昇して安定するまでの許容時間です。出力はSOFT_STARTシーケンスを経ているので、TON_MAX_FAULT_LIMITの条件はVOUT_UV_FAULT_LIMITの検出を前提にしています。TON_MAX_FAULT_LIMITの時間が始まるのは、TON_DELAYに達してSOFT_STARTシーケンスが始まった後です。TON_MAX_FAULT_LIMITの分解能は10μsです。

TON_MAX_FAULT_LIMITの時間以内にVOUT_UV_FAULT_LIMITに達しない場合、この障害の応答はTON_MAX_FAULT_RESPONSEコマンドの値によって決まります。この応答は以下のいずれかの状態にできます。

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

この障害応答のグリッチは除去されません。TON_MAX_FAULT_LIMITの値が0の場合は、障害が無視されることを意味します。TON_MAX_FAULT_LIMITは、TON_RISEの時間より長い値に設定します。TON_MAX_FAULT_LIMIT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、ユーザには何のフラグも設定されなくなります。表18を参照してください。

V_{IN}のOV障害に対する応答

V_{IN}の過電圧はADCを使用して測定します。応答のグリッチはADCの代表的な応答時間である100ms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で指定した時間間隔で無期限に再試行。表18を参照してください。

OT/UT障害に対する応答

内部過熱障害の応答

内部温度センサーはNVMを損傷から保護します。85°Cより高い場合、NVMへの書込みは推奨しません。130°Cより高い場合は、内部過熱警告閾値を超えるので、デバイスはNVMをディスエーブルして、温度が125°Cに低下するまで再イネーブルしません。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17を参照してください。

動作

外部過熱障害および低温障害の応答

2つの内部温度センサーを使用して、インダクタやパワーMOSFETのような重要な回路素子の温度をチャンネルごとに検出します。OT_FAULT_RESPONSE コマンドおよび UT_FAULT_RESPONSE 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。外付けの検出素子を使用しない場合(非推奨)は、UT_FAULT_RESPONSE を無視するように設定し、UT_FAULT_LIMIT を 275°C に設定します。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 で指定した時間間隔で無期限に再試行。表 18 を参照してください。

入力過電流障害および出力低電流障害に対する応答

入力過電流および出力低電流は、ADC を使用して測定します。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 で指定した時間間隔で無期限に再試行

外部障害に対する反応

いずれかの FAULT_n 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_FAULT_RESPONSE コマンドを変更することにより、FAULT_n ピンがローになるのに応じて、無視するよう設定するか、シャットダウンしてから再試行するように設定できます。FAULT 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 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。

障害ログ

LTM4678 は障害ログ機能を備えています。データは表 19 に示す順にメモリに記録されます。データは RAM の常時更新バッファに格納されます。障害が発生すると、障害ログのバッファが RAM のバッファから NVM 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保証されません。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・データは、MFR_FAULT_LOG_CLEAR コマンドが発行されるまで NVM に残ります。このコマンドを発行すると、障害ログ機能は再度有効化されます。障害ログを再度有効化する前に、障害が存在しないこと、および CLEAR_FAULTS コマンドが発行されていることを確認してください。

LTM4678 は、起動するか、そのリセット状態を抜けると、NVM を検査して有効な障害ログの有無を確認します。NVM 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、LTM4678 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。FAULT_n を外部からローにした場合、障害ログは作動しません。

バスのタイムアウト保護

シリアル・インターフェースで障害が解消しない状況を防ぐため、LTM4678 はタイムアウト機能を実装しています。データ・パケット・タイマーはデバイス・アドレス書込みバイトの最初の START イベントによって起動されます。データ・パケット情報は 30ms 以内に完了する必要があります。この時間を超過すると、LTM4678 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 255ms を可能にします。データ・パケットの情報には、デバイス・アドレスのバイト書込み、コマンド・バイト、反復スタート・イベント(読み出し動作の場合)、デバイス・アドレスのバイト読み出し(読み出し動作の場合)、全てのデータ・バイト、および PEC バイト(該当する場合)が含まれます。

動作

LTM4678では、ブロック読み出しデータ・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み出しの長さに比例します。ブロック読み出しの追加のタイムアウトは、主にMFR_FAULT_LOGコマンドに適用します。タイムアウトの時間は、デフォルトでは32msです。

シリアル・バス・インターフェースを共有する全てのデバイス間の効率的なデータ・パケット伝送を維持するために、できるだけ速いクロック・レートを使用することを推奨します。LTM4678は、PMBusの周波数範囲である10kHz～400kHzの全域をサポートしています。

PMBus、SMBus、およびI²C 2線インターフェースの類似点

PMBus 2線インターフェースはSMBusの拡張版です。SMBusは、I²Cを基盤として構築され、両者の間にはタイミング、DCパラメータ、プロトコルにわずかな差異がいくつか存在します。PMBus/SMBusプロトコルは持続的なバス・エラーを防ぐタイムアウトと、データの完全性を確保するオプションのバケット・エラー・チェック(PEC)機能を備えているので、PMBus/SMBusプロトコルはシンプルなI²Cのバイト・コマンドより堅牢です。通常、I²C通信用に構成できるマスタ・デバイスは、ハードウェアまたはファームウェアにわずかな変更を加えるか、まったく変更することなく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I²Cコントローラでサポートされているわけではありませんが、SMBus/PMBusの読み出しには必要です。汎用のI²Cコントローラを使用する場合は、反復スタートをサポートしていることを確認してください。

LTM4678はSMBusクロックの最高速度である100kHzに対応しており、MFR_COMMONのポーリングまたはクロック・ストレッチングを有効にしている場合は、より高速のPMBus仕様(100kHz～400kHz)と互換性があります。堅牢な通信および動作については、PMBusコマンドの概要の注記のセクションを参照してください。クロック・ストレッチングは、MFR_CONFIG_ALLのビット1をアサートすることにより有効になります。

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

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

PMBus シリアル・デジタル・インターフェース

LTM4678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6)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。LTM4678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LTM4678と通信できます。

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

以下のPMBusプロトコルがサポートされています。

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

図7～図24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。ブロック読み出しは、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7は、このセクションに示すプロトコル図の最重要項目を表しています。PECはオプションです。

以下の図のフィールドの下に示す値は、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・レシーバーに送信する。この場合、伝送方向は変化しません。
- 最初のバイトの直後にマスタがスレーブを読み出す。最初のアクノレッジ(スレーブ・レシーバーによる)の時点で、マスタ・トランスミッタはマスタ・レシーバーになり、スレーブ・レシーバーがスレーブ・トランスミッタになります。
- 複合フォーマット。伝送中に方向が変化する時点で、マスタは開始条件とスレーブ・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。

動作

凡例については、図7を参照してください。

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

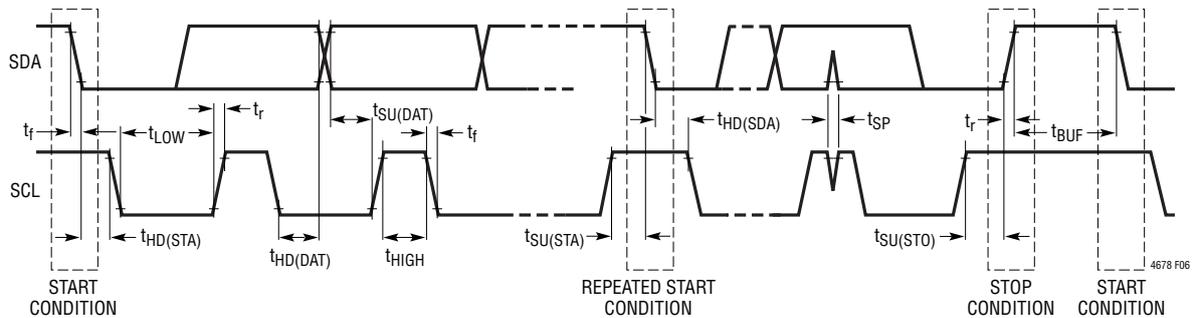


図6. PMBusのタイミング図

表6. サポートされているデータ・フォーマットの略号

	PMBus		アナログ・ デバイスの 用語	定義	例
	用語	仕様の リファレンス			
L11	Linear	Part II ¶ 7.1	Linear_5s_11s	Floating point 16-bit data: value = $Y \cdot 2^N$, where $N = b[15:11]$ and $Y = b[10:0]$, both two's complement binary integers	$b[15:0] = 0x9807 = 10011_000_0000_0111$ value = $7 \cdot 2^{-13} = 854E-6$
L16	Linear VOUT_ MODE	Part II ¶ 8.2	Linear_16u	Floating point 16-bit data: value = $Y \cdot 2^{-12}$, where $Y = b[15:0]$, an unsigned integer	$b[15:0] = 0x4C00 = 0100_1100_0000_0000$ value = $19456 \cdot 2^{-12} = 4.75$
CF	DIRECT	Part II ¶ 7.2	Varies	16-bit data with a custom format defined in the detailed PMBus command description	Often an unsigned or two's complement integer
Reg	Register Bits	Part II ¶ 10.3	Reg	Per-bit meaning defined in detailed PMBus command description	PMBus STATUS_BYTE command
ASC	Text Characters	Part II ¶ 22.2.1	ASCII	ISO/IEC 8859-1 [A05]	ADI (0x4C5443)

動作

図7～図24のPMBusプロトコル

- S START CONDITION
- Sr REPEATED START CONDITION
- Rd READ (BIT VALUE OF 1)
- Wr WRITE (BIT VALUE OF 0)
- A ACKNOWLEDGE (THIS BIT POSITION MAY BE 0 FOR AN ACK OR 1 FOR A NACK)
- P STOP CONDITION
- PEC PACKET ERROR CODE
- MASTER TO SLAVE
- SLAVE TO MASTER
- ... CONTINUATION OF PROTOCOL 4678 F07

図7. PMBus パケット・プロトコル図の凡例

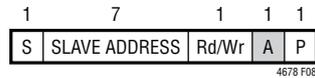


図8. クイック・コマンド・プロトコル

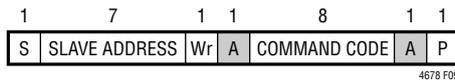


図9. バイト送信プロトコル

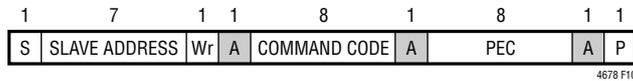


図10. PEC 付きバイト送信プロトコル

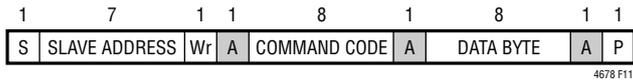


図11. バイト書き込みプロトコル

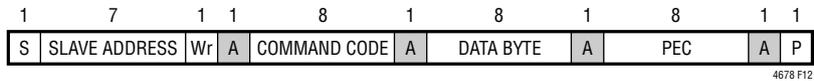


図12. PEC 付きバイト書き込みプロトコル

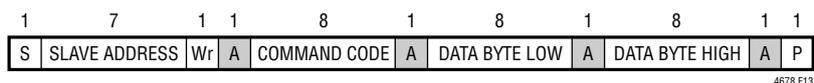


図13. ワード書き込みプロトコル

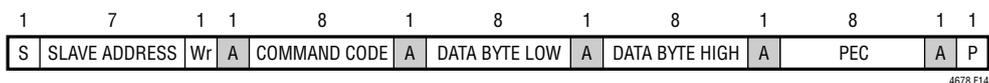


図14. PEC 付きワード書き込みプロトコル

動作

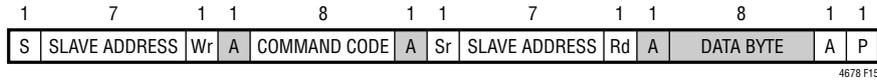


図 15. バイト読出しプロトコル

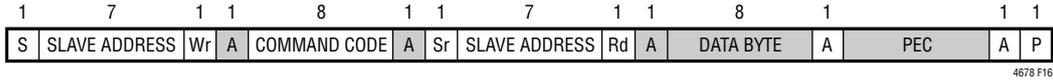


図 16. PEC 付きバイト読み出しプロトコル

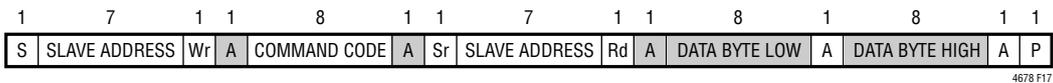


図 17. ワード読み出しプロトコル

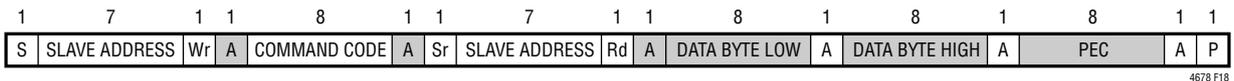


図 18. PEC 付きワード読み出しプロトコル

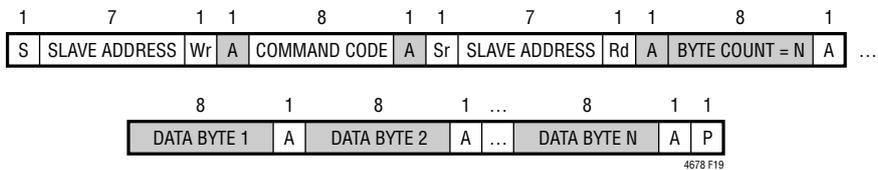


図 19. ブロック読み出しプロトコル

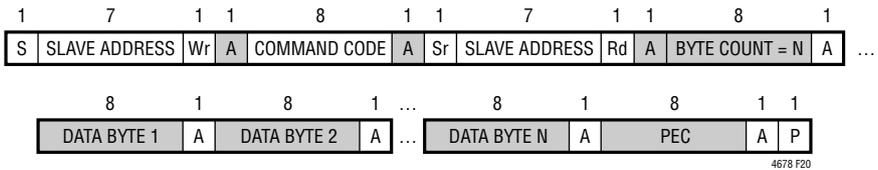


図 20. PEC 付きブロック読み出しプロトコル

動作

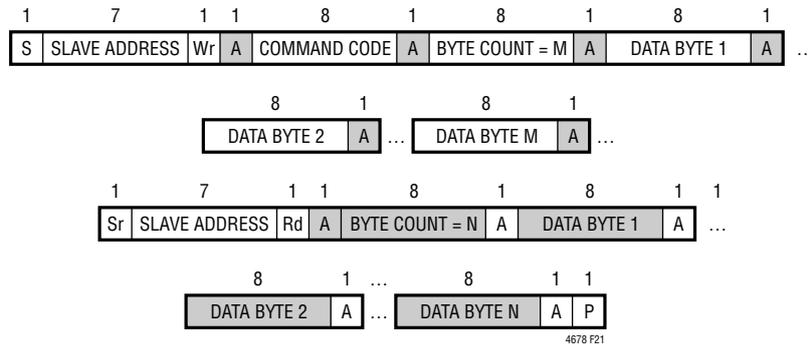


図21. ブロック書込み-ブロック読み出しプロセス呼び出し

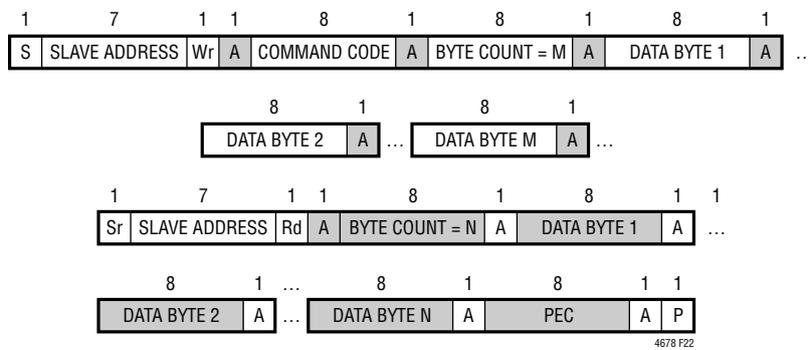


図22. ブロック書込み-PEC付きブロック読み出しプロセス呼び出し

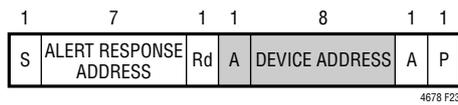


図23. アラート応答アドレス・プロトコル

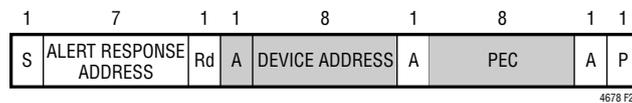


図24. PEC付きアラート応答アドレス・プロトコル

PMBus コマンドの概要

PMBus コマンド

表7は、サポートされているPMBus コマンドとメーカー固有のコマンドの一覧です。これらのコマンドの詳細な説明は、『PMBus Power System Mgt Protocol Specification – 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7に示します。「デフォルト値」の列に記載されている浮動小数点の値は、16ビット符号付きLinearフォーマット(前述のPMBus 文献のセクション8.3.1)またはLinear_5s_11sフォーマット(PMBus 文献のセクション7.1)で、コマンドにとっていずれか適切な方になります。表7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。ユーザは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。表7に記載されていない0x00~0xCFの全コマンドは、メーカーによって暗にサポート対象外にさ

れています。サポート対象外のコマンドまたは予備のコマンドにアクセスしようとする、CMLコマンド障害が発生する可能性があります。出力電圧の全ての設定値および測定値は、VOUT_MODE設定値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という表題のサブセクションを参照してください。

表7. PMBus コマンドの概要 (注記: データ・フォーマットの略号は表8に詳細を記載)

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE	PAGE
PAGE	0x00	Provides integration with multi-page PMBus devices.	R/W Byte	N	Reg			0x00	77
OPERATION	0x01	Operating mode control. On/off, margin high and margin low.	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x80	81
ON_OFF_CONFIG	0x02	RUN pin and PMBus bus on/off command configuration.	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x1E	81
CLEAR_FAULTS	0x03	Clear any fault bits that have been set.	Send Byte	N				NA	106
PAGE_PLUS_WRITE	0x05	Write a command directly to a specified page.	W Block	N					77
PAGE_PLUS_READ	0x06	Read a command directly from a specified page.	Block R/W	N					77
WRITE_PROTECT	0x10	Level of protection provided by the device against accidental changes.	R/W Byte	N	Reg		Y	0x00	78
STORE_USER_ALL	0x15	Store user operating memory to EEPROM.	Send Byte	N				NA	116
RESTORE_USER_ALL	0x16	Restore user operating memory from EEPROM.	Send Byte	N				NA	117
CAPABILITY	0x19	Summary of PMBus optional communication protocols supported by this device.	R Byte	N	Reg			0xB0	105
SMBALERT_MASK	0x1B	Mask $\overline{\text{ALERT}}$ activity	Block R/W	Y	Reg		Y	See CMD	106
VOUT_MODE	0x20	Output voltage format and exponent (2^{-12}).	R Byte	Y	Reg			2^{-12} 0x14	87
VOUT_COMMAND	0x21	Nominal output voltage set point.	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.0 0x1000	88
VOUT_MAX	0x24	Upper limit on the commanded output voltage including VOUT_MARGIN_HI.	R/W Word	Y	L16	V	Y	3.6 0xC399	87

PMBus コマンドの概要

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE	PAGE
VOUT_MARGIN_HIGH	0x25	Margin high output voltage set point. Must be greater than VOUT_COMMAND.	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.05 0x10CD	88
VOUT_MARGIN_LOW	0x26	Margin low output voltage set point. Must be less than VOUT_COMMAND.	R/W Word	Y	L16	V	Y	0.95 0x0F33	88
VOUT_TRANSITION_RATE	0x27	Rate the output changes when V _{OUT} commanded to a new value.	R/W Word	Y	L11	V/ms	Y	0.001 0x8042	94
FREQUENCY_SWITCH	0x33	Switching frequency of the controller.	R/W Word	N	L11	kHz	Y	350kHz 0xFABC	85
VIN_ON	0x35	Input voltage at which the unit should start power conversion.	R/W Word	N	L11	V	Y	4.75 0xD130	86
VIN_OFF	0x36	Input voltage at which the unit should stop power conversion.	R/W Word	N	L11	V	Y	4.5 0xD120	86
VOUT_OV_FAULT_LIMIT	0x40	Output overvoltage fault limit.	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.1 0x119A	87
VOUT_OV_FAULT_RESPONSE	0x41	Action to be taken by the device when an output overvoltage fault is detected.	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xB8	96
VOUT_OV_WARN_LIMIT	0x42	Output overvoltage warning limit.	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.075 0x1133	87
VOUT_UV_WARN_LIMIT	0x43	Output undervoltage warning limit.	R/W Word	Y	L16	V	Y	0.925 0x0ECD	88
VOUT_UV_FAULT_LIMIT	0x44	Output undervoltage fault limit.	R/W Word	Y	L16	V	Y	0.9 0x0E66	88
VOUT_UV_FAULT_RESPONSE	0x45	Action to be taken by the device when an output undervoltage fault is detected.	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xB8	97
IOUT_OC_FAULT_LIMIT	0x46	Output overcurrent fault limit.	R/W Word	Y	L11	A	Y	40.00 0xE280	90
IOUT_OC_FAULT_RESPONSE	0x47	Action to be taken by the device when an output overcurrent fault is detected.	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x00	99
IOUT_OC_WARN_LIMIT	0x4A	Output overcurrent warning limit.	R/W Word	Y	L11	A	Y	30.0 0xDBC0	91
OT_FAULT_LIMIT	0x4F	External overtemperature fault limit.	R/W Word	Y	L11	C	Y	128.0 0xF200	92
OT_FAULT_RESPONSE	0x50	Action to be taken by the device when an external overtemperature fault is detected,	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xB8	101
OT_WARN_LIMIT	0x51	External overtemperature warning limit.	R/W Word	Y	L11	C	Y	125.0 0xEBE8	92
UT_FAULT_LIMIT	0x53	External undertemperature fault limit.	R/W Word	Y	L11	C	Y	-45.0 0xE530	93
UT_FAULT_RESPONSE	0x54	Action to be taken by the device when an external undertemperature fault is detected.	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xB8	101
VIN_OV_FAULT_LIMIT	0x55	Input supply overvoltage fault limit.	R/W Word	N	L11	V	Y	15.5 0xD3E0	87
VIN_OV_FAULT_RESPONSE	0x56	Action to be taken by the device when an input overvoltage fault is detected.	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x80	96
VIN_UV_WARN_LIMIT	0x58	Input supply undervoltage warning limit.	R/W Word	N	L11	V	Y	4.65 0xD12A	86

PMBus コマンドの概要

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE	PAGE
IIN_OC_WARN_LIMIT	0x5D	Input supply overcurrent warning limit.	R/W Word	N	L11	A	Y	10.0 0xD280	91
TON_DELAY	0x60	Time from RUN and/or Operation on to output rail turn-on.	R/W Word	Y	L11	ms	Y	0.0 0x8000	93
TON_RISE	0x61	Time from when the output starts to rise until the output voltage reaches the V_{OUT} commanded value.	R/W Word	Y	L11	ms	Y	3.0 0xC300	93
TON_MAX_FAULT_LIMIT	0x62	Maximum time from the start of TON_RISE for V_{OUT} to cross the $V_{OUT_UV_FAULT_LIMIT}$.	R/W Word	Y	L11	ms	Y	5.0 0xCA80	94
TON_MAX_FAULT_RESPONSE	0x63	Action to be taken by the device when a TON_MAX_FAULT event is detected.	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xB8	99
TOFF_DELAY	0x64	Time from RUN and/or Operation off to the start of TOFF_FALL ramp.	R/W Word	Y	L11	ms	Y	0.0 0x8000	94
TOFF_FALL	0x65	Time from when the output starts to fall until the output reaches zero volts.	R/W Word	Y	L11	ms	Y	3.0 0xC300	94
TOFF_MAX_WARN_LIMIT	0x66	Maximum allowed time, after TOFF_FALL completed, for the unit to decay below 12.5%.	R/W Word	Y	L11	ms	Y	0 0x8000	95
STATUS_BYTE	0x78	One byte summary of the unit's fault condition.	R/W Byte	Y	Reg			NA	107
STATUS_WORD	0x79	Two byte summary of the unit's fault condition.	R/W Word	Y	Reg			NA	108
STATUS_VOUT	0x7A	Output voltage fault and warning status.	R/W Byte	Y	Reg			NA	108
STATUS_IOUT	0x7B	Output current fault and warning status.	R/W Byte	Y	Reg			NA	109
STATUS_INPUT	0x7C	Input supply fault and warning status.	R/W Byte	N	Reg			NA	109
STATUS_TEMPERATURE	0x7D	External temperature fault and warning status for READ_TEMPERATURE_1.	R/W Byte	Y	Reg			NA	110
STATUS_CML	0x7E	Communication and memory fault and warning status.	R/W Byte	N	Reg			NA	110
STATUS_MFR_SPECIFIC	0x80	Manufacturer specific fault and state information.	R/W Byte	Y	Reg			NA	111
READ_VIN	0x88	Measured input supply voltage.	R Word	N	L11	V		NA	113
READ_IIN	0x89	Measured input supply current.	R Word	N	L11	A		NA	113
READ_VOUT	0x8B	Measured output voltage.	R Word	Y	L16	V		NA	113
READ_IOUT	0x8C	Measured output current.	R Word	Y	L11	A		NA	113
READ_TEMPERATURE_1	0x8D	External temperature sensor temperature. This is the value used for all temperature related processing, including IOUT_CAL_GAIN.	R Word	Y	L11	C		NA	113
READ_TEMPERATURE_2	0x8E	Internal die junction temperature. Does not affect any other commands.	R Word	N	L11	C		NA	114
READ_FREQUENCY	0x95	Measured PWM switching frequency.	R Word	Y	L11	Hz		NA	114
READ_POUT	0x96	Measured output power	R Word	Y	L11	W		N/A	114
READ_PIN	0x97	Calculated input power	R Word	Y	L11	W		N/A	114
PMBus_REVISION	0x98	PMBus revision supported by this device. Current revision is 1.2.	R Byte	N	Reg			0x22	105
MFR_ID	0x99	The manufacturer ID of the LTM4678 in ASCII.	R String	N	ASC			LTC	105
MFR_MODEL	0x9A	Manufacturer part number in ASCII.	R String	N	ASC				105

PMBus コマンドの概要

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE	PAGE
MFR_VOUT_MAX	0xA5	Maximum allowed output voltage including VOUT_OV_FAULT_LIMIT.	R Word	Y	L16	V		3.6 0x0399	89
MFR_PIN_ACCURACY	0xAC	Returns the accuracy of the READ_PIN command	R Byte	N	%			5.0%	114
USER_DATA_00	0xB0	OEM RESERVED. Typically used for part serialization.	R/W Word	N	Reg		Y	NA	104
USER_DATA_01	0xB1	Manufacturer reserved for LTpowerPlay.	R/W Word	Y	Reg		Y	NA	104
USER_DATA_02	0xB2	OEM RESERVED. Typically used for part serialization	R/W Word	N	Reg		Y	NA	104
USER_DATA_03	0xB3	An NVM word available for the user.	R/W Word	Y	Reg		Y	0x0000	104
USER_DATA_04	0xB4	An NVM word available for the user.	R/W Word	N	Reg		Y	0x0000	104
MFR_EE_UNLOCK	0xBD	Contact factory.							121
MFR_EE_ERASE	0xBE	Contact factory.							121
MFR_EE_DATA	0xBF	Contact factory.							121
MFR_CHAN_CONFIG	0xD0	Configuration bits that are channel specific.	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x1D	79
MFR_CONFIG_ALL	0xD1	General configuration bits.	R/W Byte	N	Reg		Y	0x21	80
MFR_FAULT_PROPAGATE	0xD2	Configuration that determines which faults are propagated to the FAULT pin.	R/W Word	Y	Reg		Y	0x6993	102
MFR_PWM_COMP	0xD3	PWM loop compensation configuration	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x28	83
MFR_PWM_MODE	0xD4	Configuration for the PWM engine.	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xC7	82
MFR_FAULT_RESPONSE	0xD5	Action to be taken by the device when the FAULT pin is externally asserted low.	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xC0	100
MFR_OT_FAULT_RESPONSE	0xD6	Action to be taken by the device when an internal overtemperature fault is detected.	R Byte	N	Reg			0xC0	100
MFR_IOUT_PEAK	0xD7	Report the maximum measured value of READ_IOUT since last MFR_CLEAR_PEAKS.	R Word	Y	L11	A		NA	114
MFR_ADC_CONTROL	0xD8	ADC telemetry parameter selected for repeated fast ADC read back	R/W Byte	N	Reg			0x00	115
MFR_RETRY_DELAY	0xDB	Retry interval during FAULT retry mode.	R/W Word	Y	L11	ms	Y	250.0 0xF3E8	95
MFR_RESTART_DELAY	0xDC	Minimum time the RUN pin is held low by the LTM4678.	R/W Word	Y	L11	ms	Y	150.0 0xF258	95
MFR_VOUT_PEAK	0xDD	Maximum measured value of READ_VOUT since last MFR_CLEAR_PEAKS.	R Word	Y	L16	V		NA	114
MFR_VIN_PEAK	0xDE	Maximum measured value of READ_VIN since last MFR_CLEAR_PEAKS.	R Word	N	L11	V		NA	114
MFR_TEMPERATURE_1_PEAK	0xDF	Maximum measured value of external Temperature (READ_TEMPERATURE_1) since last MFR_CLEAR_PEAKS.	R Word	Y	L11	C		NA	115
MFR_READ_IIN_PEAK	0xE1	Maximum measured value of READ_IIN command since last MFR_CLEAR_PEAKS	R Word	N	L11	A		NA	115
MFR_CLEAR_PEAKS	0xE3	Clears all peak values.	Send Byte	N				NA	107
MFR_READ_ICHIP	0xE4	Measured supply current of the SVIN pin	R Word	N	L11	A		NA	115
MFR_PADS	0xE5	Digital status of the I/O pads.	R Word	N	Reg			NA	111

PMBus コマンドの概要

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE	PAGE
MFR_ADDRESS	0xE6	Sets the 7-bit I ² C address byte.	R/W Byte	N	Reg		Y	0x4F	79
MFR_SPECIAL_ID	0xE7	Manufacturer code representing the LTM4678 and revision	R Word	N	Reg			0x4100	105
MFR_IIN_CAL_GAIN	0xE8	The resistance value of the input current sense element in mΩ.	R/W Word	N	L11	mΩ	Y	2.0 0xC200	91
MFR_FAULT_LOG_STORE	0xEA	Command a transfer of the fault log from RAM to EEPROM.	Send Byte	N				NA	118
MFR_INFO	0x	Contact factory.							120
MFR_IOUT_CAL_GAIN	0x	SET AT FACTORY							89
MFR_FAULT_LOG_CLEAR	0xEC	Initialize the EEPROM block reserved for fault logging.	Send Byte	N				NA	121
MFR_FAULT_LOG	0xEE	Fault log data bytes.	R Block	N	Reg		Y	NA	117
MFR_COMMON	0xEF	Manufacturer status bits that are common across multiple ADI chips.	R Byte	N	Reg			NA	112
MFR_COMPARE_USER_ALL	0xF0	Compares current command contents with NVM.	Send Byte	N				NA	117
MFR_TEMPERATURE_2_PEAK	0xF4	Peak internal die temperature since last MFR_CLEAR_PEAKS.	R Word	N	L11	C		NA	115
MFR_PWM_CONFIG	0xF5	Set numerous parameters for the DC/DC controller including phasing.	R/W Byte	N	Reg		Y	0x10	84
MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC	0xF6	Temperature coefficient of the current sensing element.	R/W Word	Y	CF	ppm/ °C	Y	3900 0x0F3C	89
MFR_ICHIP_CAL_GAIN	0xF7	The resistance value of the V _{IN} pin filter element in mΩ.	R/W Word	N	L11	mΩ	Y	1000 0x03E8	86
MFR_TEMP_1_GAIN	0xF8	Sets the slope of the external temperature sensor.	R/W Word	Y	CF		Y	0.995 0x3FAE	92
MFR_TEMP_1_OFFSET	0xF9	Sets the offset of the external temperature sensor with respect to -273.1°C	R/W Word	Y	L11	C	Y	0.0 0x8000	92
MFR_RAIL_ADDRESS	0xFA	Common address for PolyPhase outputs to adjust common parameters.	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x80	79
MFR_REAL_TIME	0xFB	48-bit share-clock counter value.	R Block	N	CF			NA	105104
MFR_RESET	0xFD	Commanded reset without requiring a power down.	Send Byte	N				NA	81

Note 1: NVMの列にYが表示されているコマンドは、これらのコマンドがSTORE_USER_ALLコマンドを使用して格納され、RESTORE_USER_ALLコマンドを使用して再生されることを示す。

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

Note 3: LTM4678には表7に記載されていない追加コマンドが組み込まれている。これらのコマンドを読み出してもICの動作に悪影響はないが、これらのコマンドの内容と意味は予告なく変更されることがある。

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

Note 5: 表7で公開されていないコマンドへの書き込みは許可されていない。

Note 6: コマンド名に基づいて、異なるデバイス間にコマンドの互換性があると思いがちなこと。コマンドの機能の完全な定義については、必ずデバイスごとにメーカーのデータシートを参照すること。アナログ・デバイセズは、アナログ・デバイセズの全てのデバイス間でコマンドの機能に互換性をもたせるよう努めている。製品固有の条件に対応するため、違いが生じる場合がある。

PMBus コマンドの概要

表 8. データ・フォーマットの略号

L11	Linear_5s_11s	PMBus のデータ・フィールド b[15:0] 値 = $Y \cdot 2^N$ ここで、N = b[15:11] は 5 ビットの 2 の補数形式の整数、Y = b[10:0] は 11 ビットの 2 の補数形式の整数 例： b[15:0] = 0x9807 = 'b10011_000_0000_0111 の場合 値 = $7 \cdot 2^{-13} = 854 \cdot 10^{-6}$ 出典：『PMBus Spec Part II: Paragraph 7.1』
L16	Linear_16u	PMBus のデータ・フィールド b[15:0] 値 = $Y \cdot 2^N$ ここで、Y = b[15:0] は符号なしの整数、N = VOUT_MODE_PARAMETER は 5 ビットの 2 の補数形式の指数で、10 進数の -12 に固定配線されている 例： b[15:0] = 0x9800 = 'b1001_1000_0000_0000 の場合 値 = $19456 \cdot 2^{-12} = 4.75$ 出典：『PMBus Spec Part II: Paragraph 8.2』
Reg	レジスタ	PMBus のデータ・フィールド b[15:0] または b[7:0]。 ビット・フィールドの意味は PMBus コマンドの詳細な記述で定義されている。
L16	整数ワード	PMBus のデータ・フィールド b[15:0] 値 = Y ここで、Y = b[15:0] は 16 ビット符号なしの整数 例： b[15:0] = 0x9807 = 'b1001_1000_0000_0111 の場合 値 = 38919 (10 進数)
CF	カスタム・フォーマット	値は PMBus コマンドの詳細な記述で定義されている。 多くの場合、MFR 固有の一定の倍率が掛けられる、符号なし整数または 2 の補数形式の整数である。
ASC	ASCII フォーマット	ISO/IEC 8859-1 規格に適合しているテキスト文字の可変長文字列。

アプリケーション情報

V_{IN}からV_{OUT}への降圧比

V_{IN}からV_{OUT}への実現可能な最大降圧比には、与えられた入力電圧に応じた制約があります。LTM4678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_{IN}とV_{OUT}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 $t_{ON(MIN)}$ は、 $t_{ON(MIN)} < D/f_{SW}$ (Dはデューティ・サイクル、 f_{SW} はスイッチング周波数)という事実によって、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。 $t_{ON(MIN)}$ は電氣的パラメータで50ns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氣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

LTM4678モジュールは低ACインピーダンスのDC電源に接続します。レギュレータ入力では、4個の22 μ F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、47 μ F~150 μ F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、 $\eta\%$ 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

LTM4678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_{OUT}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_{OUT}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400 μ F~1000 μ F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。0Aから12.5Aへのステップ、12A/ μ sのトランジェントが発生したとき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13に示します。表13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13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LTpowerCAD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。LTpowerCAD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_{OUTn}とV_{OSNS0}⁺ピンの間に10 Ω 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。LTM4678の安定性補償は2つの外付けコンデンサ、およびMFR_PWM_COMPコマンドを使用して調整できます。

軽負荷電流動作

LTM4678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_n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 (MBn) 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、COMPnb 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も低下します。ただし、連続モードは出力リップルが小さく、オーディオ回路への干渉が少なく済みます。強制連続導通モードでは、逆方向のインダクタ電流が発生して、これが入力電源電圧を上昇させる原因になることがあります。VIN_OV_FAULT_LIMITは(SVINがVIN0またはVIN1、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の読み出しに基づいており、検出するのに公称では最大100ms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

LTM4678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LTM4678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、VDD33)に接続し、LTM4678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)に設定して、それらを組み合わせた場合です。この構成では、モジュールを「同期マスタ」と呼びます。(出荷時のデフォルト設定値であるMFR_CONFIG_ALL[4] = 0b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、LTM4678は規定のクロック・レートするとき、1サイクルにつき公称500ns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)LTM4678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LTM4678は1つに限定し、他のLTM4678は「同期スレーブ」に設定します。

最も単純な方法は、そのFREQUENCY_SWITCHコマンドを0x0000に設定し、MFR_CONFIG_ALL[4] = 1bに設定することです。これはFSWPH_CFGピンで抵抗のピンストラップ設定を行うことで容易に実装できます(表3参照)。MFR_CONFIG_ALL[4] = 1bを使用すると、LTM4678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。

外部入力のSYNCクロックがない場合の耐障害性が要求される場合は、「同期スレーブ」のFREQUENCY_SWITCHコマンドをアプリケーションの公称の目標スイッチング周波数のままにして、0x0000には設定しなくてもかまいません。ただし、その場合にもやはりMFR_CONFIG_ALL[4] = 1bを設定する必要があります。この設定の組み合わせにより、LTM4678のSYNCピンは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 $\frac{1}{2}$ 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。この方法の唯一の欠点は、前述の手引きに従ってEEPROMを設定する必要があることです。FSWPH_CFGピンでの抵抗ピンストラップ・オプション単独では、SYNCクロックがない場合の耐障害性を確保できないからです。

FREQUENCY_SWITCHレジスタはI²C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、SVINの電源投入時にNVMに格納された値をとりますが、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] = 0b)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3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° と表示されるのは、SYNC の立下がりエッジが上側 MOSFET (MTn) 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 I²C 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_{IN} の電源投入時に NVM に格納された値をとりますが、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] = 0b) 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 3 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 I²C 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)。

LTM4678 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 ピンを駆動することができます。SV_{IN} 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_{IN}-V_{OUT} 間の電圧が一般的な値となっている多くのアプリケーションに対する、LTM4678 の推奨の動作スイッチング周波数を以下に示します。1 つの LTM4678 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、以下の表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)。

表 9. V_{IN}-V_{OUT} 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 _{IN}	8V _{IN}	12V _{IN}
0.9V _{OUT}	350kHz to 400kHz		
1.0V _{OUT}			
1.2V _{OUT}			
1.5V _{OUT}	450kHz to 550kHz		
1.8V _{OUT}			
2.5V _{OUT}	650kHz to 750kHz		
3.3V _{OUT}			

出力電流制限のプログラミング

サイクルごとの電流制限閾値電圧 V_{IL} リミットは V_{COMPnb} に比例しますが、後者の値は PMBus コマンド IOUT_OC_FAULT_LIMIT を使用して 1.45V ~ 2.2V にプログラムできます。LTM4678 は、1mΩ 未満の検出抵抗だけを使用して電流レベルを検出します。90 ページを参照してください。LTM4678 には 2 種類の電流制限プログラミング範囲があります。MFR_PWM_MODE[2] の値は予備であり、MFR_PWM_MODE[7] および IOUT_OC_FAULT_LIMIT を使用して電流制限レベルを設定します。PMBus コマンドのセクションを参照してください。デバイスは、通常の動作では IOUT_OC_FAULT_LIMIT の値より少ないピーク電流で出力電圧を安定化できます。その電流制限値を超える出力電流の場合には、OC 障害情報が発行されます。IOUT_OC_FAULT_LIMIT の各範囲はループ・ゲインに影響し、その後ループ安定性に影響するので、電流制限の範囲の設定はループ設計の一部になっています。

電流制限を調整する場合は、LTPowerCAD 設計ツールを使用してループ安定性の変化を調べることができます。LTM4678 は、インダクタの温度変化に応じて電流リミットを自動的に更新します。この動作はサイクル単位であり、ピーク・インダクタ電流のみの関数であることに留意してください。平均インダクタ電流は ADC によってモニタされ、検出される平均出力電流が多すぎると警告を出すことができます。COMPnb の電圧が最大値に達すると、過電流障害が検出されます。LTM4678 内部のデジタル・プロセッサは、障害を無視する機能、シャットダウンしてラッチオフする機能、またはシャットダウンして無期限に再試行する機能(ヒカップ)を備えています。詳細については、動作のセクションに記載されている過電流の部分を参照してください。Read_POOUT を使用して出力電力の計算値を読み出すことができます。

アプリケーション情報

最小オン時間に関する検討事項

最小オン時間 $t_{ON(MIN)}$ は、LTM4678 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。

LTM4678 の最小オン時間は 50ns 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

LTM4678 はソフトスタートの前に動作状態になっている必要があります。RUN $_n$ ピンが解放されるのは、デバイスが初期化され、 SV_{IN} が V_{IN_ON} の閾値より高くなった後です。アプリケーションに複数の LTM4678 を使用する場合は、同じ RUN $_n$ ピンを共用するようデバイスを設定します。全てのデバイスが初期化され、全てのデバイスについて SV_{IN} が V_{IN_ON} の閾値を超えるまで、全てのデバイスがそれぞれの RUN $_n$ ピンをローに保持します。SHARE_CLK ピンは、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 $_n$ 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_n) の間待機した後、出力電圧の上昇を開始します。複数の LTM4678 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 $_n$ 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 $\pm 10\%$ 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_n 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_n の値を 0.250ms より小さい任意の値に設定します。LTM4678 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 V_{OUTn} の基本的なリミットより高くすることはできません。ランプの $t_{ON(MIN)}$ ステップの数は $TON_RISE/0.1ms$ に比例します。したがって、 TON_RISE_n の時間設定が短くなるほど、ソフトスタート・ランプにより離散的なステップが現れます。

LTM4678 の PWM は、 TON_RISE_n 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 $_n$) 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。

LTM4678 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_n および TON_DELAY_n 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 $_n$ 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) を使用するので、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。

デジタル・サーボ・モード

安定化出力電圧の精度を最大にするために、MFR_PWM_MODE 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、LTM4678 は ADC の電圧測定値に基づいて出力電圧が安定するように調整します。デジタル・サーボ・ループは、出力が ADC の正しい読み出し値になるまで、90ms ごとに DAC の LSB (電圧範囲ビットに応じて公称 1.375mV または 0.688mV) 刻みで調整します。電源投入時には、リミットが 0 (無制限) に設定されていない限り、 $TON_MAX_FAULT_LIMIT$ の後にこのモードに入ります。 $TON_MAX_FAULT_LIMIT$ が 0 (無制限) に設定されている場合、サーボ制御が始まるのは、 TON_RISE が完了して V_{OUT} が $V_{OUT_UV_FAULT_LIMIT}$ を超えた後です。MFR_PWM_MODE のビッ

アプリケーション情報

ト0に示すように、出力は同じ時点で不連続モードからプログラム済みモードに切り替わります。時間ベースのシーケンス制御における V_{OUT} 波形の詳細については、図25を参照してください。TON_MAX_FAULT_LIMITに0より大きい値を設定し、TON_MAX_FAULT_RESPONSEを0x00(無視)に設定すると、サーボ制御は以下の条件で開始されます。

1. TON_RISEシーケンスが完了した後
2. TON_MAX_FAULT_LIMITの時間に達した後
3. VOUT_UV_FAULT_LIMITを超えた後か、IOUT_OC_FAULT_LIMITが有効ではなくなった後

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

1. TON_RISEシーケンスが完了した後
2. TON_MAX_FAULT_LIMITの時間が経過した後で、VOUT_UV_FAULTとIOUT_OC_FAULTが両方とも存在しない場合

立上がり時間の最大値は1.3秒に制限されます。

PolyPhase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。

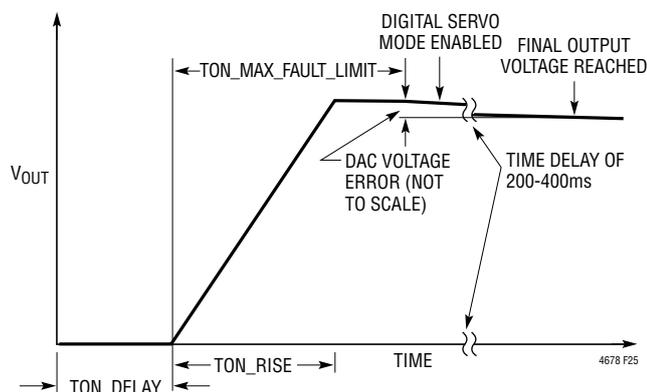


図25. タイミングが制御された V_{OUT} の立上がり

ソフトオフ(シーケンス制御によるオフ)

LTM4678は、起動の制御の他に、ターンオフの制御もサポートしています。TOFF_DELAY機能とTOFF_FALL機能を図26に示します。TOFF_FALLが処理されるのは、RUNピンがローになるか、デバイスがオフするようコマンドで指定された場合です。デバイスに障害が発生してオフになるか、 \overline{FAULTn} を外部からローにして、デバイスがこれに応答するようプログラムされていると、出力はスリーステートになり、制御された傾斜を示しません。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26に示すように動作します。TOFF_FALLの時間が適合できるのは、パワー段とコントローラが十分なシンク電流を供給して、立下がり時間の間隔が終了するまでに出力電圧が0Vになることを確認できる場合に限りです。負荷容量を放電するのに必要な時間より短い時間をTOFF_FALLに設定すると、出力は目的とする0Vの状態に達しません。TOFF_FALLの終了時に、コントローラはシンク電流の供給を停止し、 V_{OUT} は負荷インピーダンスによって決まる固有の速度で低下します。コントローラが不連続モードである場合、コントローラは負電流を流し込みません。また、出力はパワー段ではなく負荷によってローになります。立下がり時間の最大値は1.3秒に制限されます。TOFF_FALLの設定時間が短くなるほど、TOFF_FALLの傾斜に現れる離散的なステップは大きくなります。傾斜のステップ数はTOFF_FALL/0.1msに等しくなります。

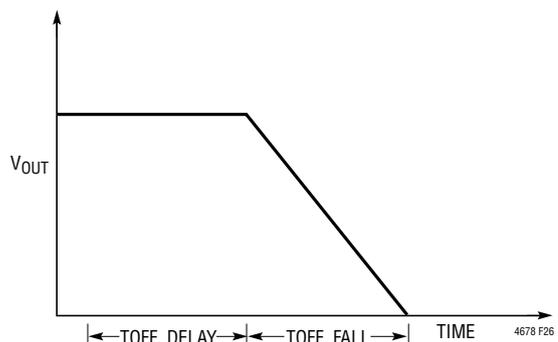


図26. TOFF_DELAYとTOFF_FALL

アプリケーション情報

低電圧ロックアウト

LTM4678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、VINを約4Vにする必要があります、INTVCC、VDD33、およびVDD25はそれらの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VIN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。VINがVIN_OFF閾値より低くなると、SHARE_CLKピンはローになります。また、コントローラを再起動するには、その前にVIN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。VINが印加されたときにFAULT_nがローに保持されている場合は、FAULT_nがローに保持されているときにALERTがアサートされないようデバイスがプログラムされている場合でも、ALERTはローにアサートされます。LTM4678がリセット状態を離れる前にI2C通信が行われ、デバイスが認識するのがコマンドの一部だけになった場合、これはCML障害として解釈されることがあります。CML障害が検出されると、ALERTはローにアサートされます。

VDD33電源をVDD33へ外部から直接駆動するか、またはEXTVCCを介して駆動する場合は、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LTM4678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。LTM4678にVINが印加されていない場合は、MFR_COMMONのビット3 (NVMが初期化されていない)がローにアサートされます。この状態を検出すると、デバイスはアドレス5Aおよび5Bに対してのみ応答ようになります。デバイスを初期化するには、次の一連のコマンド(グローバル・アドレス0x5B、コマンド0xBD、データ0x2B、その後グローバル・アドレス5B、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。VINを印加したら、MFR_RESETコマンドを発行してPWMをイネーブルし、有効なA/D変換結果を読み出すことができるようにする必要があります。

障害の検出と処理

LTM4678のFAULT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表示する目的で設定されています。更に、FAULTピンを外部信号源によってローにすると、システムの他の部分での障害を表示できま

す。障害応答は設定可能であり、以下のオプションが可能です。

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

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

OV応答は自動的です。OV状態が検出されると、TG_nはローになり、BG_nがアサートされます。

LTM4678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。

LTM4678の内部温度が85°Cを超えた場合、NVMへの書込みは(障害ログ以外)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の通信はダイ温度が120°Cより低くなるまで無効になります。

オープンドレイン・ピン

LTM4678は以下のオープンドレイン・ピンを備えています。

3.3Vのピン

1. FAULT_n
2. SYNC
3. SHARE_CLK
4. PGOOD_n

5Vのピン(5Vのピンは3.3Vまで低下しても正しく動作します。)

1. RUN_n
2. ALERT
3. SCL
4. SDA

上記の全てのピンは、0.4Vのとき3mAのシンク電流を流すことができるプルダウン・トランジスタを内蔵しています。これ

アプリケーション情報

らのピンの低い方の閾値は0.8Vなので、3mAの電流では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ことがあります。RC時定数は、タイミングの問題を回避するのに必要な立上がり時間の1/3～1/5に設定します。負荷が100pFでPMBusの通信速度が400kHzの場合、立上がり時間は300nsより短くする必要があります。時定数を立上がり時間の1/3に設定した、SDAピンとSCLピンのプルアップ抵抗は次のとおりです。

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

最も近い1%精度の抵抗値は1kです。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、出力を公称で500nsの間ローに保持します。内部発振器を500kHzに設定し、負荷が100pFで3倍の時定数が必要な場合、抵抗の計算は次のとおりです。

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

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。SHARE_CLKのプルアップ抵抗には、周期が10μsでプルダウン時間が1μsの同様の式があります。RC時定数は約3μs(以下)にします。

フェーズ・ロック・ループと周波数同期

LTM4678には、内部の電圧制御発振器(VCO)と位相検出器によって構成されるフェーズ・ロック・ループ(PLL)が内蔵されています。PLLはSYNCピンの信号の立下がりエッジに同期します。PWMコントローラとSYNCの立下がりエッジの間の位相関係は、MFR_PWM_CONFIGコマンドの下位3ビットによって制御されます。PolyPhaseアプリケーションでは、全ての位相の間隔を均一にすることを推奨します。したがって、2フェーズ・システムでは信号の位相を180°ずらし、4フェーズ・システムでは間隔を90°あけます。

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

位相検出器の出力は、内部フィルタ回路網を充放電する、1対の相補型電流源です。PLLロック・レンジは200kHz～1MHzになります。公称デバイスの範囲はこれを超えていますが、動作可能な周波数範囲を広げることは保証されていません。

PLLにはロック検出回路があります。動作中にPLLのロックが外れると、STATUS_MFR_SPECIFICコマンドのビット4がアサートされ、ALERTピンはローになります。このビットに1を書き込めば、障害は解消できます。PLL_FAULTの発生時にALERTピンのアサートを表示しないようにするには、SMBALERT_MASKコマンドを使用してアラートを防止します。

SYNCの信号がアプリケーションのクロックとして動作しない場合は、公称の事前設定周波数がPWM回路を制御します。ただし、複数のデバイスがSYNCピンを共用していて、その信号がクロックとして動作しない場合、デバイスは同期せず、出力に過剰な電圧リップルが生じることがあります。この状態が存在する場合、MFR_PADSのビット10はローにアサートされます。

動作中のPWM信号の周波数が高すぎるように見える場合は、SYNCピンをモニタしてください。立下がりエッジに余計な遷移があると、PLLは目的の信号に対するノイズを自動追跡しようとします。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1つのSYNCピンを共用するには、複数のLTM4678が必要です。他の構成の場合、SYNCピンを接続して単一のSYNC信号を生成するのはオ

アプリケーション情報

クションです。複数のLTM4678の間でSYNCピンを共有する場合、周波数出力を使用してプログラムできるLTM4678は1つだけです。それ以外のLTM4678は、全てSYNC出力をディスエーブルするようプログラムします。ただし、周波数は公称の目標値にプログラムしてください。

入力電流検出アンプ

LTM4678の入力電流検出アンプは、図2のブロック図に示すように、外付けの検出抵抗を使用して、 V_{IN0} および V_{IN1} のパワー段ピンに流れ込む電源電流を検出できます。 R_{SENSE} の値は、MFR_IIN_CAL_GAINコマンドを使用してプログラムできます。誤差をなくすため、 R_{SENSE} 抵抗の両端でのケルビン検出を推奨します。MFR_PWM_CONFIG[6:5]は、入力電流検出アンプのゲインを設定します。MFR_PWM_CONFIGのセクションを参照してください。IIN_OC_WARN_LIMITコマンドは、ADCによって測定された入力電流において、入力電流が多いことを示す警告を引き起こす入力電流の値(A)を設定します。このリミットを超えたかどうかを判別するのにREAD_IINの値が使用されます。READ_IINコマンドは、入力電流検出抵抗の両端で測定された入力電流(A)を返します。

SV_{IN} ピンに流れ込む電流により、電源と SV_{IN} ピンの間にはIR電圧降下が生じます。この電圧降下を補償するため、MFR_RVINは、図2のブロック図に示す 1Ω の内部検出抵抗に自動的に設定されます。LTM4678はMFR_READ_ICHIPの測定値にこの 1Ω 抵抗を掛けて、得られた電圧を SV_{IN} ピンの測定電圧に加算します。したがって、 $READ_{VIN} = V_{SVIN_PIN} + (MFR_READ_ICHIP \cdot 1\Omega)$ となります。MFR_READ_ICHIPコマンドは、内部コントローラの電流を測定するために使用します。READ_PINコマンドを使用すると、入力電力の計算値を読み出すことができます。

プログラム可能なループ補償

LTM4678は、プログラム可能なループ補償により、ハードウェアを変更せずに過渡応答を最適化することができます。エラーアンプのゲイン g_m は $1.0mS \sim 5.73mS$ の範囲で変化し、補償抵抗 R_{COMPn} はコントローラ内部では $0k\Omega \sim 62k\Omega$ の範囲で変化します。このデザインでは、2つの補償コンデンサ(COMPnaおよびCOMPnb)が必要であり、COMPnaとCOMPnbの代表的な比は10です。図2のブロック図と図27も参照してください。

g_m と R_{COMPn} だけを調整することにより、LTM4678は柔軟なタイプIIの補償回路ネットワークを実現して、広範囲の出力コンデンサにわたってループを最適化できます。 g_m を調整すると、図28に示すように、ポールとゼロの位置を移動することなく、全周波数範囲にわたって補償のゲインを変更できます。

R_{COMP} を変更すると、図29に示すように、ポールとゼロの位置が変わります。LTPowerCADツールを使用して、 g_m および R_{COMPn} の適切な値を決定することを推奨します。

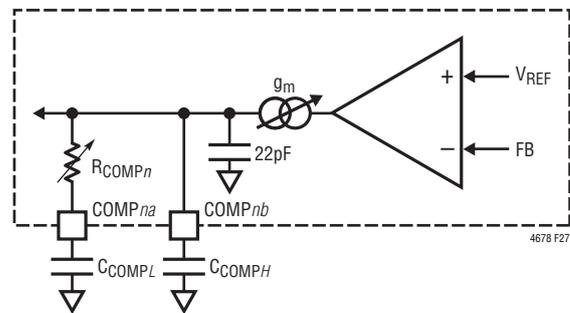


図27. プログラム可能なループ補償

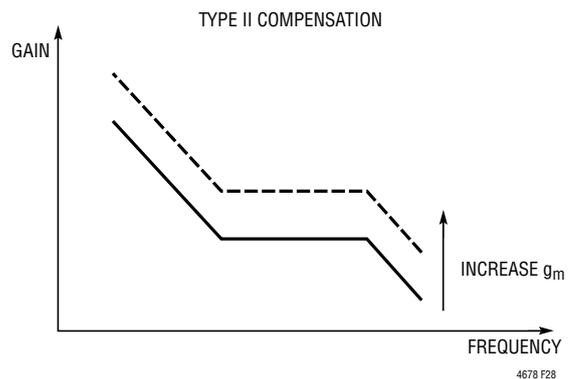
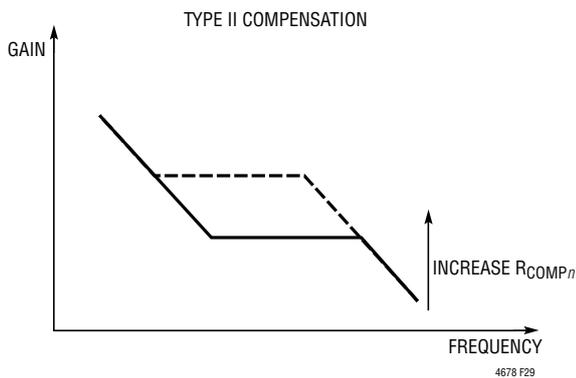


図28. エラーアンプの g_m 調整

アプリケーション情報

図 29. R_{TH} の調整

過渡応答のチェック

レギュレータのループ応答は、負荷電流の過渡応答を調べることで確認できます。スイッチング・レギュレータは、DC (抵抗性) 負荷電流のステップに応答するのに数サイクルを要します。負荷ステップが発生すると、 V_{OUT} は $\Delta I_{LOAD}(ESR)$ に等しい大きさだけシフトします。ここで、 ESR は C_{OUT} の等価直列抵抗です。更に、 ΔI_{LOAD} によって C_{OUT} の充放電も始まります。これにより、帰還誤差信号が発生してレギュレータを電流変化に適応させ、 V_{OUT} を定常値に回復させます。この回復期間に、安定性に問題があることを示す過度のオーバーシュートやリングングが発生しないか、 V_{OUT} をモニタすることができます。COMPピンを備えているので、制御ループの動作を最適化できるだけでなく、DC 結合され、AC フィルタを通したクロズドループ応答のテスト・ポイントも得られます。このテスト・ポイントでの DC ステップ、立上がり時間、およびセトリングは、クロズドループ応答を正確に反映します。2次特性が支配的なシステムを想定すれば、位相余裕やダンピング・ファクタは、このピンに現れるオーバーシュートのパーセンテージを使用して概算できます。このピンの立上がり時間を調べることにより、帯域幅も概算できます。代表的なアプリケーションの回路に示す COMP n_a の外付けコンデンサは、ほとんどのアプリケーションで妥当な初期値として使用されます。ループ・ゲインに影響するプログラム可能なパラメータは、電圧範囲 (MFR_PWM_CONFIG コマンドのビット [1])、電流範囲 (MFR_PWM_MODE コマンドのビット [7])、PWM チャンネル・アンプの g_m (MFR_PWM_COMP のビット [7:5])、および内部の R_{COMP} 補償抵抗 (MFR_PWM_COMP のビット [4:0]) です。補償計算の前には、必ずこれらの設定値を決めるようにしてください。

COMP n_a の内部直列 R_{COMPn} と外部 C_{COMPn_a} によるフィルタで、支配的なポール-ゼロのループ補償が設定されます。内部 R_{COMPn} の値は、MFR_PWM_COMP コマンドのビット [4:0] を使用して ($0\Omega \sim 62k\Omega$ の範囲で) 変更できます。最終的な PCB レイアウトが完了して、 C_{COMPn_b} フィルタ・コンデンサと出力コンデンサの種類と値を具体的に決めたら、 R_{COMPn} の値を調整して過渡応答を最適化します。ループのゲインと位相は、出力コンデンサの様々な種類と値によって決まるので、出力コンデンサは選択する必要があります。立上がり時間が $1\mu s \sim 10\mu s$ で、最大負荷電流の 20%~80% の出力電流パルスによって発生する出力電圧波形と COMP ピンの波形により、帰還ループを開くことなくループ全体の安定性を判断することができます。グラウンド接地抵抗付きのパワー MOSFET を出力コンデンサの両端に直接接続して、適切な信号発生器でゲートを駆動するのが、負荷ステップを作り出す実用的な方法です。MOSFET + R_{SERIES} により、 V_{OUT}/R_{SERIES} にほぼ等しい出力電流が発生します。電流制限の設定値と事前設定の出力電圧により異なりますが、 R_{SERIES} の値は $0.1\Omega \sim 2\Omega$ が妥当です。出力電流のステップ変化によって生じる初期出力電圧ステップは帰還ループの帯域幅内にない場合があるため、位相余裕を決定するのにこの信号を使用することはできません。このため、COMP ピンの信号を調べる方が確実です。この信号は帰還ループ内にあり、フィルタを通して補償された制御ループ応答です。ループのゲインは R_{COMP} を大きくすると増加し、ループの帯域幅は C_{COMPn_a} を小さくすると広がります。 C_{TH} を減少させるのと同じ比率で R_{COMP} を増加させるとゼロの周波数は変化しないので、帰還ループの最も重要な周波数範囲で位相シフトが一定に保たれます。ループのゲインは、MFR_PWM_COMP コマンドのビット [7:5] を使用して設定するエラーアンプのトランスコンダクタンスに比例します。出力電圧のセトリングの様子はクロズドループ・システムの安定性に関係し、電源全体の実際の性能を表します。次に、大容量の ($>1\mu F$) 電源バイパス・コンデンサが接続されている負荷で切り替えが行われると、更に大きなトランジェントが発生します。放電したバイパス・コンデンサが実質的に C_{OUT} と並列に接続された状態になるため、 V_{OUT} が急激に低下します。負荷スイッチの抵抗が小さく、かつ短時間で駆動されると、どのようなレギュレータでも出力電圧の急激なステップ変化を防止できるほど素早く電流供給を変えることはできません。 C_{LOAD} 対 C_{OUT} の比率が 1:50 より大きい場合は、スイッチの立上がり時間を制御して、負荷の立上がり時間を約 $25 \cdot C_{LOAD}$ に制限するようにしてください。そうすることにより、 $10\mu F$ のコンデンサでは $250\mu s$ の立上がり時間が必要になり、充電電流は約 $200mA$ に制限されるようになります。

アプリケーション情報

PolyPhase 構成

複数のLTM4678を使用してPolyPhaseレールを構成する場合は、これらのデバイスのSYNC、COMP、SHARE_CLK、FAULT、およびALERTピンを共用する必要があります。FAULT、SHARE_CLK、およびALERTには、必ずプルアップ抵抗を使用してください。デバイスのSYNCピンのいずれか1つを目的のスイッチング周波数に設定し、それ以外の全てのFREQUENCY_SWITCHコマンドを外部クロックに設定する必要があります。外部発振器を接続する場合は、全てのデバイスを対象にFREQUENCY_SWITCHコマンドを外部クロックに設定します。全てのチャンネルの相対位相は等間隔にします。全てのデバイスのMFR_RAIL_ADDRESSを同じ値に設定してください。

複数のチャンネルで全てのVSENSE_n⁺ピンを互いに接続する必要があります。全てのVSENSE_n⁻ピン、COMP_{na}ピン、およびCOMP_{nb}ピンも同様に互いに接続する必要があります。PolyPhaseアプリケーション以外では、MFR_CONFIG_ALLのビット[4]をアサートしないでください。図47のアプリケーション例を参照してください。

USB-I²C/SMBus/PMBus 間コントローラからシステム内のLTM4678への接続

アナログ・デバイセズのUSB-I²C/SMBus/PMBusアダプタ(DC1613Aまたは同等品)は、お客様の基板上にあるLTM4678とインターフェースをとって、プログラミング、遠隔測定、およびシステムのデバッグを行うことができます。このアダプタは、LTpowerPlayと組み合わせて使用すると、電源システム全体を強力にデバッグできます。遠隔測定値、障害ステータス・コマンド、および障害ログを使用して、障害を素早く診断することができます。最終設定を迅速に作成して、LTM4678のEEPROMに格納できます。システム電源が存在するかどうかに関係なく、アナログ・デバイセズのI²C/SMBus/PMBusアダプタを介して、1つ以上のLTM4678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30に示します。システム電源が存在しない場合は、ドングルがV_{DD33}電源ピンを介してLTM4678に電力を供給します。V_{IN}が印加されておらず、V_{DD33}ピンに電力が供給されているときにデバイスを初期化するには、グローバル・アドレス0x5B、コマンド0xBD、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。これで、LTM4678は内部のEEPROMと通信し、図30を使用してプロジェクト・ファイルを読み出すことができるようになります。コントローラの接続を更新できません。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。V_{IN}を印加

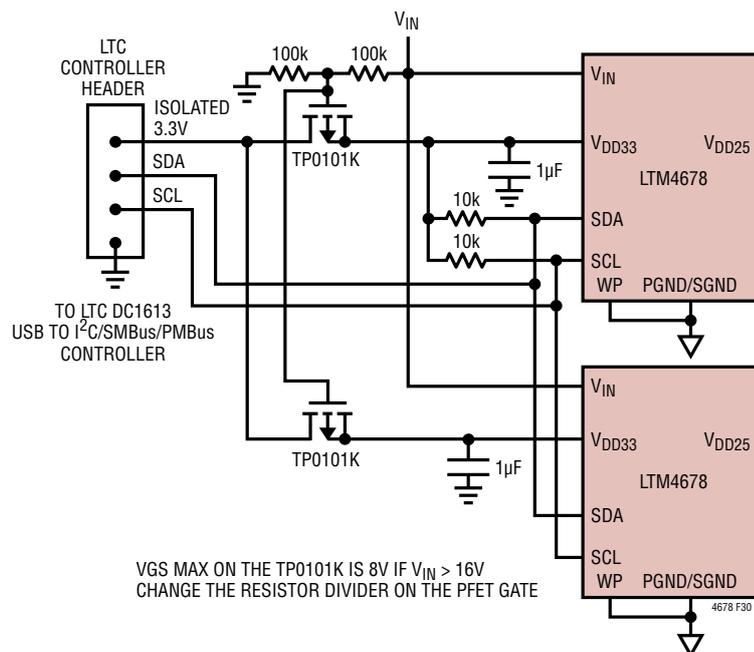


図30. コントローラの接続

アプリケーション情報

したら、MFR_RESETを発行してPWM電源をイネーブルし、有効なA/D変換結果を読み出すことができるようにする必要があります。

アダプタの電流供給能力は限られているので、V_{DD33}の3.3V電源から電力を供給するのは、LTM4678、付随するプルアップ抵抗、およびI²Cのプルアップ抵抗に限定してください。更に、I²Cバス接続をLTM4678と共有するデバイスでは、SDA/SCLピンとそれぞれのV_{DD}ノードの間にボディ・ダイオードが形成されないようにしてください。ボディ・ダイオードは、システム電源が存在しないときバス通信に干渉するからです。V_{IN}を印加した場合、DC1613Aは基板上のLTM4678に電力を供給しなくなります。RUN_nピンをローに保持するか、電圧設定抵抗を挿入しないようにして、デバイスが完全に設定されるまで負荷に電力を与えないことを推奨します。

LTM4678は、DC1613AによってホストPCのグラウンドから完全に絶縁されています。アダプタからの3.3VとLTM4678のV_{DD33}ピンは、各LTM4678で別々のPFETを使用して駆動する必要があります。V_{IN}とEXTV_{CC}が両方とも印加されていない場合は、内蔵LDOがオフなので、V_{DD33}ピンを並列接続してもかまいません。コントローラの3.3Vの電流制限は100mAですが、V_{DD33}の代表的な電流は15mA以下です。V_{DD33}はINTV_{CC}/EXTV_{CC}ピンを逆駆動します。V_{IN}がオープンの場合は、このことは通常問題ありません。

LTpowerPlay: デジタル電源用のインタラクティブ GUI

LTpowerPlay (図31) はWindowsベースの強力な開発環境で、LTM4678を含むアナログ・デバイセズのデジタル・パワー・システム・マネージメント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-I²C/SMBus/PMBus間アダプタを使用して、デモ基板DC2165A、ソケット付きプログラミング基板DC2298A、お客様のターゲット・システムなど、多くの潜在的ターゲットの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。詳細は次のサイトで参照できます。

<http://www.analog.com/jp/design-center/ltpower-play.html>

PMBus通信とコマンド処理

LTM4678は、図32「書き込みコマンドのデータ処理」に示すように、処理の前にサポート対象コマンドごとに書き込まれた最後のデータを保持するため、ディープ・バッファを内蔵しています。デバイスは、バスから新しいコマンドを受信すると、そのデータを書込みコマンド・データ・バッファにコピーして、このコマンド・データを取り出す必要があることを内部プロセッサに示し、コマンドを内部フォーマットに変換して、実行できるようにします。2つの異なる並列ブロックがコマンドのバッファリングとコマンド処理(取り出し、変換、実行)を管理して、どのコマンドに対しても書き込まれた最後のデータが決して失われないようにします。コマンド・データのバッファリングは、コマンド・データを書込みコマンド・データ・バッファに格納し、これらのコマンドにマークを付けて将来の処理に備えることにより、入ってくるPMBus書き込みを処理します。内部プロセッサは並列に動作し、処理対象のマークが付いているコマンドの取り出し、変換、実行といった低速になることがあるタスクを処理します。大量の計算が必要な一部のコマンド(例: タイミング・パラメータ、温度、電圧、電流)では、PMBusのタイミングに比べて内部プロセッサの実行時間が長くなる場合があります。デバイスがコマンドの処理でビジー状態になっているときに新しいコマンドが届くと、実行が遅れる場合や、受け取った順序とは異なる順序で実行される場合があります。デバイスは、内部計算が処理中である場合、それをMFR_COMMONのビット5(「計算は保留中ではない」)によって示します。デバイスが計算でビジー状態になっている場合、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33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。

アプリケーション情報

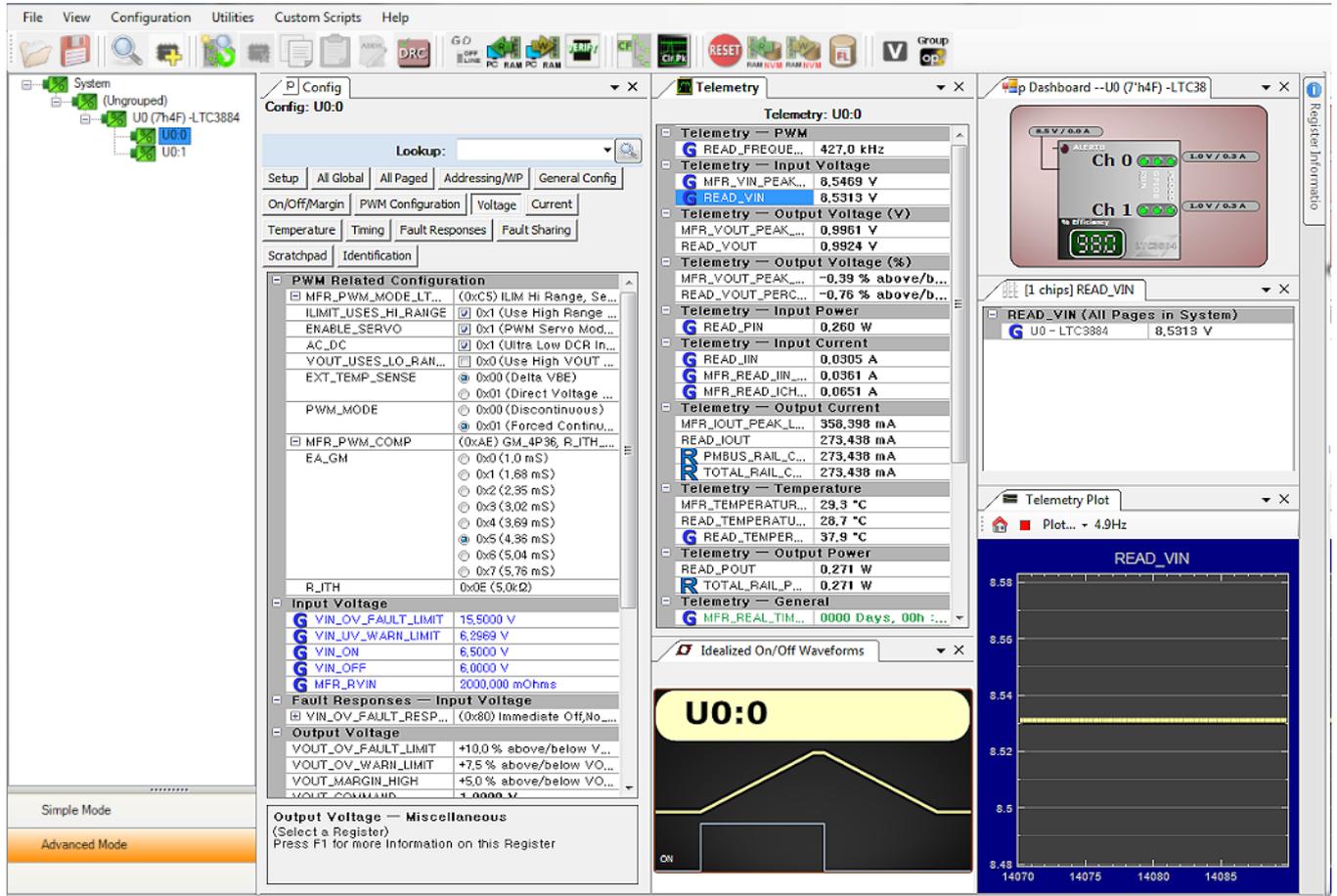


図31. LTpowerPlayのスクリーン・ショット

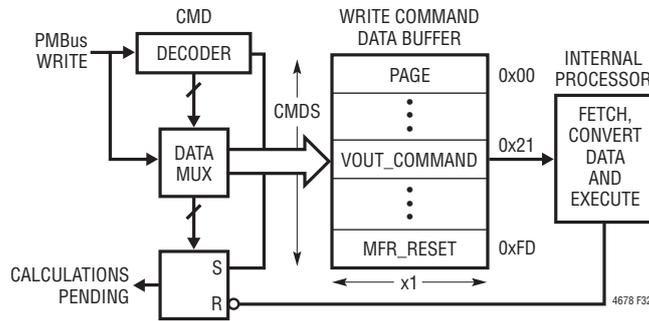


図32. 書き込みコマンドのデータ処理

アプリケーション情報

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 V1.1, 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。

```
// wait until chip is not busy
do
{
mfrCommonValue = PMBUS_READ_
BYTE(0xEF);
partReady = (mfrCommonValue & 0x68)
== 0x68;
}while(!partReady)

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

図 33. VOUT_COMMAND のコマンド書込みの例

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

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

ません。ただし、PMBus仕様が要求する他の理由（例えば、無効なコマンドやデータなど）によって、デバイスはコマンドにNACK応答を返すことがあります。VOUT_COMMANDレジスタに対する堅牢なコマンド書込みアルゴリズムの例を図33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、次に示すアプリケーション・ノートの特典を参照してください。

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

100kHz以下のバス速度で通信する場合、ここに示すポーリング・メカニズムは、クロック・ストレッチングなしで堅牢な通信を可能にする簡素な解決策を提供します。バス速度が100kHzを超える場合は、クロック・ストレッチングが有効になるようにデバイスを設定することを強く推奨します。このためには、クロック・ストレッチングをサポートするPMBusマスタが必要です。実際に通信するには、『PMBus Specification V1.1, Part II Section 10.8.7』に記載された方法で標準のPMBus NACK/BUSY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。LTM4678は、バス速度が400kHzを超えるアプリケーションでは推奨されません。

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た熱抵抗は、JESD51-12に定義されたパラメータと整合しています。これらのパラメータは、有限要素解析 (FEA) ソフトウェアのモデリング・ツールでの使用を意図したものです。モデリング・ツールでは、JESD 51-9（「Test Boards for Area Array Surface Mount Package Thermal Measurements」）によって定義されたハードウェア・テストボードにμModuleパッケージを実装して行われたハードウェア評価で得られた熱的モデリング、シミュレーション、相関の結果を使用します。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。

アプリケーション情報

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 μ Module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ている熱抵抗は、それだけでは熱性能の目安を示すことになりません。代わりに、このデータシートの後半に記載されているデレレーティング曲線を各ユーザのアプリケーション/使用法に関する見通しと参考情報が得られるやり方で使用することや、デレレーティング曲線を適合させて熱性能をユーザ独自のアプリケーションと対応付けることができます。

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. θ_{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. $\theta_{JCbottm}$ (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流れていく製品の全消費電力によって決まります。標準的な μ Module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ユーザのアプリケーションに合致しません。

3. θ_{JCTop} (接合部から製品のケースの上面までの熱抵抗) は、製品のほぼ全消費電力がパッケージの上面を流れていく状態で決定されます。標準的な μ Module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。 $\theta_{JCbottm}$ 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ユーザのアプリケーションに合致しません。
4. θ_{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 μ Moduleレギュレータの底面を流れていくときの接合部から基板までの熱抵抗であり、実際には、 $\theta_{JCbottm}$ 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34です。青色の部分は μ Moduleレギュレータ内部の熱抵抗、緑色の部分は μ Moduleパッケージの外部に存在する熱抵抗です。

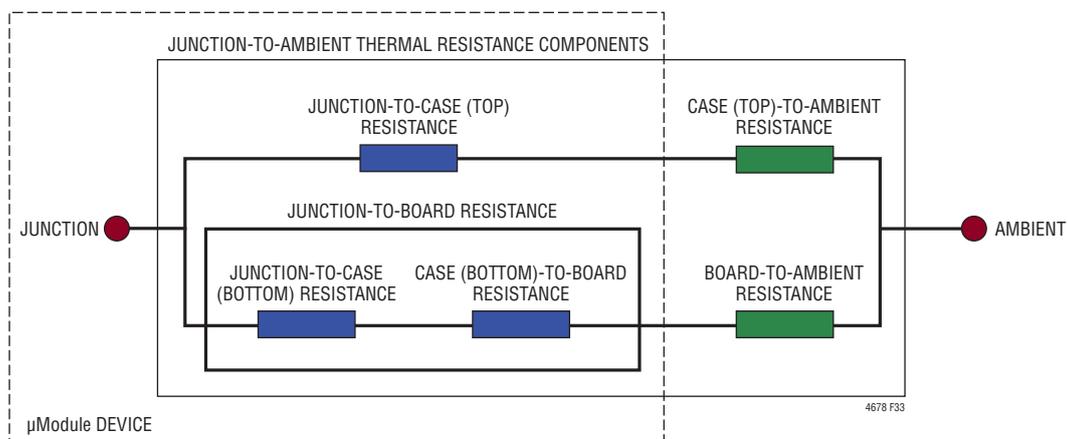


図34. JESD51-12の熱係数の図解

アプリケーション情報

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、 μ 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)の100%が μ Moduleパッケージの上面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、 θ_{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。

LTM4678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、LTM4678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LTM4678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 θ の値が得られます。

図35、図36、図37にそれぞれ示す5V、8V、12Vの電力損失曲線を図38～図42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、LTM4678の熱抵抗 θ_{JA} を空気流の条件を変えて概算することができます。これらの熱抵抗は、ハードウェア上でのLTM4678の実証済みの性能を表しています。ハードウェアは、寸法が99mm×130mm×1.6mmで、全ての層に2オンスの銅箔を使用している6層のFR4 PCBです。電力損失曲線は室温で測定し、ジャンクション温度が125°Cに達した場合は1.35倍に増やします。ディレーティング曲線は、周囲温度25°Cで当初最大50Aを供給するLTM4678の並列接続出力を使用してプロットします。出力電圧は0.9Vおよび1.8V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。空気流ありと空気流なしの条件で周囲温度を上げながらジャンクション温度をモニタします。

ディ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。周囲温度の上昇中に出力電流または出力電力を減少させる間、接合部は最大125°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125°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40の例で示すように、周囲温度が約73°Cのとき、空気流もヒートシンクもなしの条件では負荷電流は約35Aにディレーティングされ、室温(25°C)での電力損失は、入力12V、出力0.9V(35A)という条件では約4Wになります。入力12V、出力0.9V(35A)の電力損失曲線(図35)から得られる室温での損失約4Wに倍率1.35を掛けることにより、5.4Wの損失

アプリケーション情報

が算出されます。125°Cのジャンクション温度から73°Cの周囲温度を差し引き、その差の52°Cを5.4Wで割ると、9.6°C/Wという熱抵抗 θ_{JA} が得られます。この値は表10とよく一致しています。空気流の有無を条件とした0.9V出力および1.8V出力の等価熱抵抗を表10および表11に示します。表10および表11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、前述の周囲温度の倍率で調整することができます。

表10~11: 出力電流のディレーティング

表10. 0.9V出力

ディレーティング曲線	V _{IN} (V)	電力損失曲線	空気流 (LFM)	ヒートシンク	θ_{JA} (°C/W)
Figures 38, 39, 40	5, 8, 12	Figures 35, 36, 37	0	None	9
Figures 38, 39, 40	5, 8, 12	Figures 35, 36, 37	200	None	8
Figures 38, 39, 40	5, 8, 12	Figures 35, 36, 37	400	None	6.5

表11. 1.8V出力

ディレーティング曲線	V _{IN} (V)	電力損失曲線	空気流 (LFM)	ヒートシンク	θ_{JA} (°C/W)
Figures 41, 42, 43	5, 8, 12	Figures 35, 36, 37	0	None	9
Figures 41, 42, 43	5, 8, 12	Figures 35, 36, 37	200	None	8
Figures 41, 42, 43	5, 8, 12	Figures 35, 36, 37	400	None	6.5

アプリケーション情報

表 12. チャンネルの出力電圧と部品の選択、負荷ステップ: 0A~12.5A/μs
出力コンデンサ: GRM32ER60G337ME05L、330 μF、4V、X5R、村田製作所

V _{IN} (V)	V _{OUT} (V)	C _{OUT} (セラミック)	C _{COMP B} (pF)	C _{COMP A} (nF)	R _{ITH} (kΩ)	EA-GM (mS)	F _{sw} (kHz)	負荷 ステップ (A)	ピークto ピーク変動 (mV)	回復時間 (μs)
5	0.9	330 μF x5	150	3.3	3	2.35	350	0-12.5	100	20
12	0.9	330 μF x5	150	3.3	3	2.35	350	0-12.5	100	20
16	0.9	330 μF x5	150	3.3	3	2.35	350	0-12.5	100	20
5	0.9	330 μF x7	150	3.3	3	2.35	350	0-12.5	85	30
12	0.9	330 μF x7	150	3.3	3	2.35	350	0-12.5	85	30
16	0.9	330 μF x7	150	3.3	3	2.35	350	0-12.5	85	30
5	1	330 μF x5	150	3.3	3	2.35	350	0-12.5	100	20
12	1	330 μF x5	150	3.3	3	2.35	350	0-12.5	100	20
16	1	330 μF x5	150	3.3	3	2.35	350	0-12.5	100	20
5	1	330 μF x7	150	3.3	3	2.35	350	0-12.5	85	30
12	1	330 μF x7	150	3.3	3	2.35	350	0-12.5	85	30
16	1	330 μF x7	150	3.3	3	2.35	350	0-12.5	85	30
5	1.2	330 μF x5	150	3.3	3	2.35	350	0-12.5	120	20
12	1.2	330 μF x5	150	3.3	3	2.35	350	0-12.5	100	20
16	1.2	330 μF x5	150	3.3	3	2.35	350	0-12.5	100	20
5	1.5	330 μF x5	150	3.3	3	2.35	500	0-12.5	100	25
12	1.5	330 μF x5	150	3.3	3	2.35	500	0-12.5	100	25
16	1.5	330 μF x5	150	3.3	3	2.35	500	0-12.5	100	25
5	1.8	330 μF x5	150	3.3	3	2.35	575	0-12.5	120	25
12	1.8	330 μF x5	150	3.3	3	2.35	575	0-12.5	100	25
16	1.8	330 μF x5	150	3.3	3	2.35	575	0-12.5	100	25
6	2.5	330 μF x5	150	1.5	5	1.68	575	0-12.5	200	20
12	2.5	330 μF x5	150	1.5	5	1.68	575	0-12.5	150	20
16	2.5	330 μF x5	150	1.5	5	1.68	575	0-12.5	150	20
8	3.3	330 μF x5	150	1.5	5	1.68	750	0-12.5	220	25
12	3.3	330 μF x5	150	1.5	5	1.68	750	0-12.5	160	20
16	3.3	330 μF x5	150	1.5	5	1.68	750	0-12.5	160	20

LTM4678

アプリケーション情報

表 13. チャンネルの出力電圧と部品を選択、負荷ステップ: 0A~12.5A/μs

Murata											
Panasonic											
POSCAP											
V _{IN} (V)	V _{OUT} (V)	C _{OUT} (セラミック)	C _{OUT} (バルク)	C _{COMP B} (pF)	C _{COMP A} (nF)	R _{COMPn} (kΩ)	EA-GM (mS)	F _{sw} (kHz)	負荷ステップ (A)	ピークtoピーク変動 (mV)	回復時間 (μs)
12	0.9	*100 μFx3	**470 μFx2	150	1.5	11	1	350	0-12.5	90	20
12	1	*100 μFx3	**470 μFx2	150	1.5	11	1	350	0-12.5	90	20
5	0.9	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	11	1	350	0-12.5	100	20
12	0.9	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	11	1	350	0-12.5	100	20
16	0.9	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	11	1	350	0-12.5	100	20
5	1	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	11	1	350	0-12.5	100	20
12	1	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	11	1	350	0-12.5	100	20
16	1	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	11	1	350	0-12.5	100	20
5	1.2	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	7	1	350	0-12.5	120	25
12	1.2	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	7	1	350	0-12.5	120	25
16	1.2	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	7	1	350	0-12.5	120	25
5	1.5	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	7	1	500	0-12.5	100	25
12	1.5	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	7	1	500	0-12.5	100	25
16	1.5	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	7	1	500	0-12.5	100	25
5	1.8	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	11	1	575	0-12.5	120	20
6	1.8	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	11	1	575	0-12.5	90	20
12	1.8	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	11	1	575	0-12.5	90	20
16	1.8	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	11	1	575	0-12.5	90	20
6	2.5	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	11	1	575	0-12.5	180	40
12	2.5	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	11	1	575	0-12.5	150	40
16	2.5	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	11	1	575	0-12.5	150	40
5	2.5	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	15	1	575	0-10	110	20
6	2.5	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	15	1	575	0-12.5	120	20
12	2.5	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	15	1	575	0-12.5	100	20
16	2.5	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	15	1	575	0-12.5	100	20
6	3.3	*100 μFx2	**470 μFx1	150	1.5	11	1	750	0-10	180	40
8	3.3	*100 μFx2	**470 μFx1	150	1.5	11	1	750	0-12.5	180	40
12	3.3	*100 μFx2	**470 μFx1	150	1.5	11	1	750	0-12.5	150	40
16	3.3	*100 μFx2	**470 μFx1	150	1.5	11	1	750	0-12.5	150	40
6	3.3	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	15	1	750	0-10	120	40
8	3.3	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	15	1	750	0-12.5	110	40
12	3.3	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	15	1	750	0-12.5	100	40
16	3.3	*100 μFx2	**470 μFx2	150	1.5	15	1	750	0-12.5	100	40

デュアル・フェーズ・シングル出力電圧と部品を選択、負荷ステップ: 25A~50A/μs

5.5	1	*100 μFx6	**470 μFx2	150	3.3	2.5	1	500	25-50	90	15
12	1	*100 μFx6	**470 μFx2	150	3.3	2.5	1	500	25-50	90	15
16	1	*100 μFx6	**470 μFx2	150	3.3	2.5	1	500	25-50	90	15
6	1.5	*100 μFx6	**470 μFx2	150	3.3	5	1.68	500	25-50	100	15
12	1.5	*100 μFx6	**470 μFx2	150	3.3	5	1.68	500	25-50	100	15
16	1.5	*100 μFx6	**470 μFx2	150	3.3	5	1.68	500	25-50	100	15
6	1.8	*100 μFx6	**470 μFx2	150	3.3	5	1.68	575	25-50	110	15
12	1.8	*100 μFx6	**470 μFx2	150	3.3	5	1.68	575	25-50	100	15
16	1.8	*100 μFx6	**470 μFx2	150	3.3	5	1.68	575	25-50	100	15

アプリケーション情報-デレージング曲線

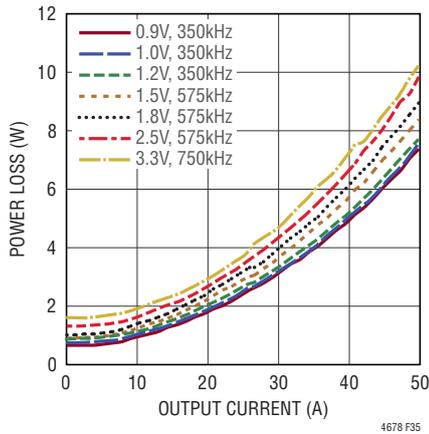


図35. 5V入力の電力損失曲線

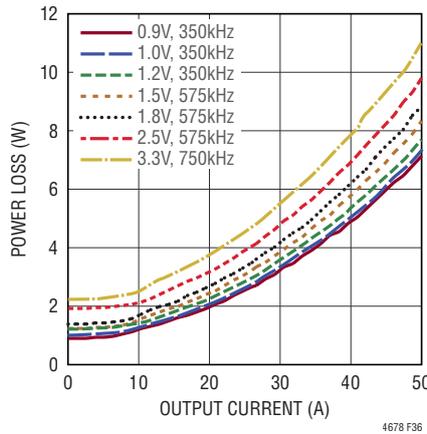


図36. 8V入力の電力損失曲線

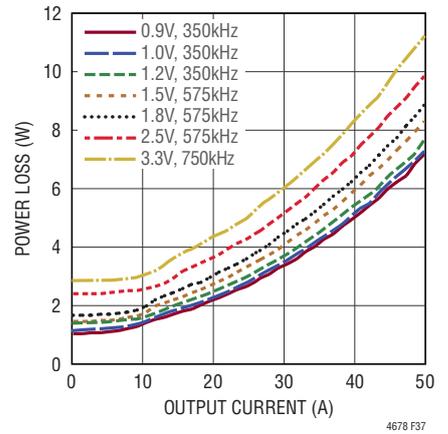


図37. 12V入力の電力損失曲線

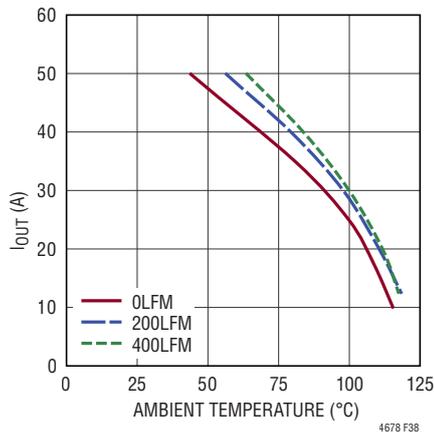


図38. 5V入力、0.9V出力のデレージング曲線、ヒートシンクなし

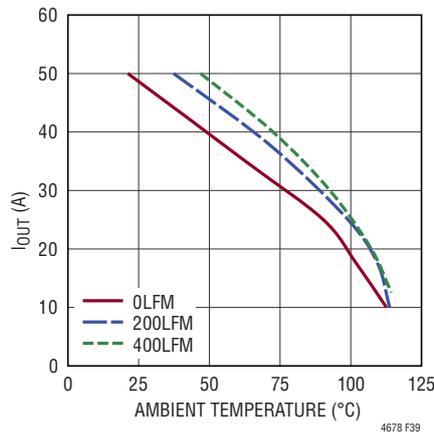


図39. 8V入力、0.9V出力のデレージング曲線、ヒートシンクなし

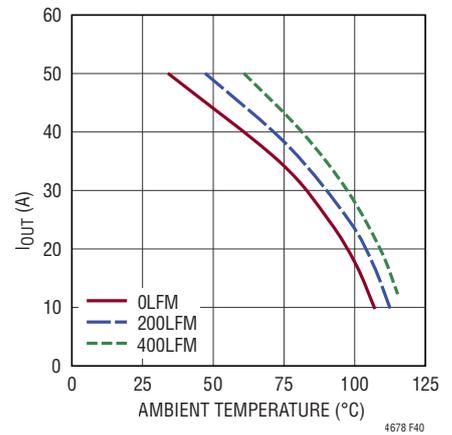


図40. 12V入力、0.9V出力のデレージング曲線、ヒートシンクなし

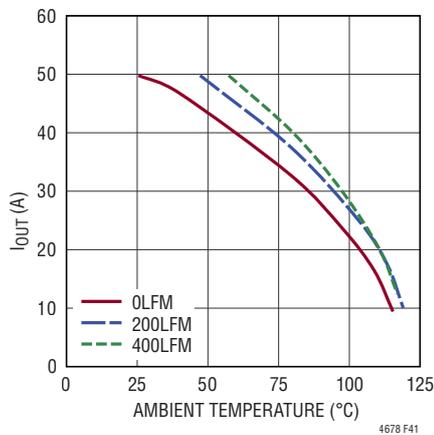


図41. 5V入力、1.8V出力のデレージング曲線、BGA、ヒートシンクなし

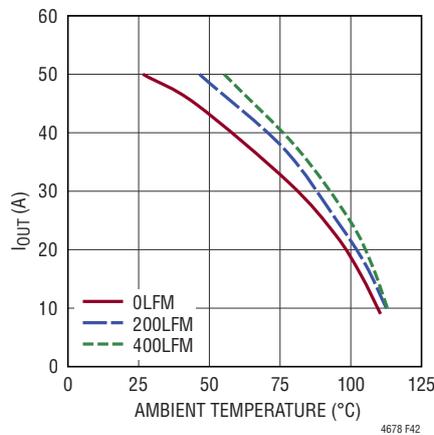


図42. 8V入力、1.8V出力のデレージング曲線、ヒートシンクなし

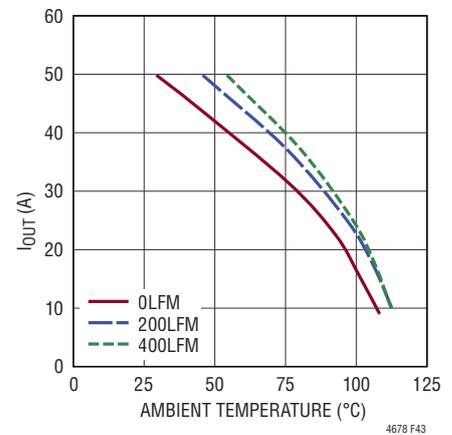


図43. 12V入力、1.8V出力のデレージング曲線、ヒートシンクなし

アプリケーション情報

EMI性能

SW_nピンは、LTM4678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0.5W抵抗を使用できる場合、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、C0G、またはX7Rタイプ(以上)のものにします。

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0.7Ω~4.2Ωの範囲内の値です。

初期値としては2.2nFのスナバ・コンデンサをスナバ抵抗と直列にグラウンドに接続するのが適しています。様々なRC直列スナバ部品を選択するときに無負荷時の入力自己消費電流をモニタして、電力損失の増加量とスイッチ・ノードのリングング減衰量の特性を得ることができます。

安全性に関する検討事項

LTM4678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とイネーブ爾された内部下側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

LTM4678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。
- 高周波の入力および出力用セラミック・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限に抑えます。
- 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、最上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。

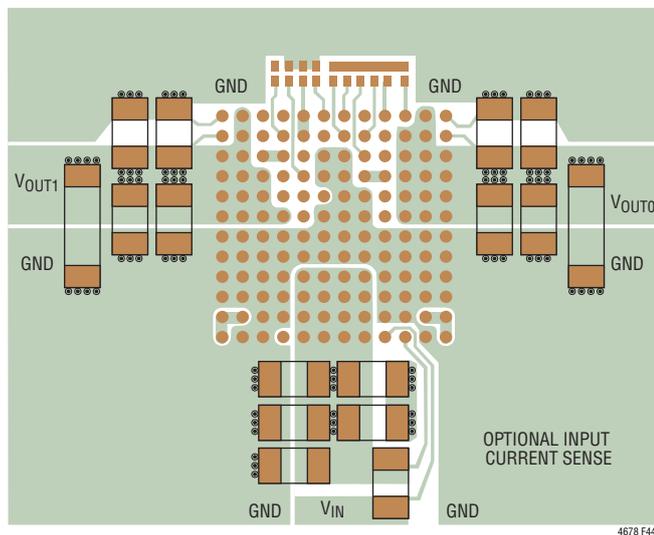
アプリケーション情報

- 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LTM4678の近くのGNDに接続します。
- 入力電流モニタリングを使用する場合は、入力の R_{SENSE} 抵抗の両端でケルビン検出接続を使用します。

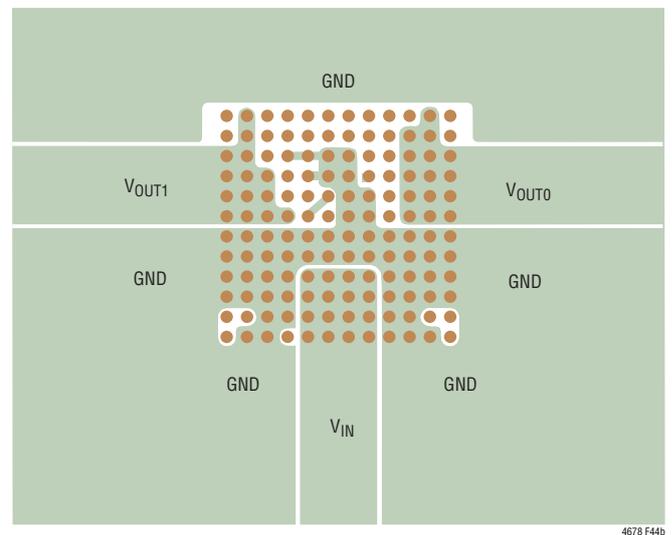
並列モジュールの場合は、 V_{OUTn} 、 V_{OSNSn}^+ / V_{OSNSn} の電圧検出差動ペア線、 $RUNn$ 、 $COMPna$ 、 $COMPnb$ ピンを互いに接続します。

- これらのデバイスのSYNC、SHARE_CLK、FAULT、および \overline{ALERT} ピンは共有する必要があります。 \overline{ALERT} 、SHARE_CLK、および \overline{ALERT} には、必ずプルアップ抵抗を使用してください。
- 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。

推奨レイアウトの良い例を図44に示します。



(a) TOP LAYER



(b) BOTTOM LAYER

図44. 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

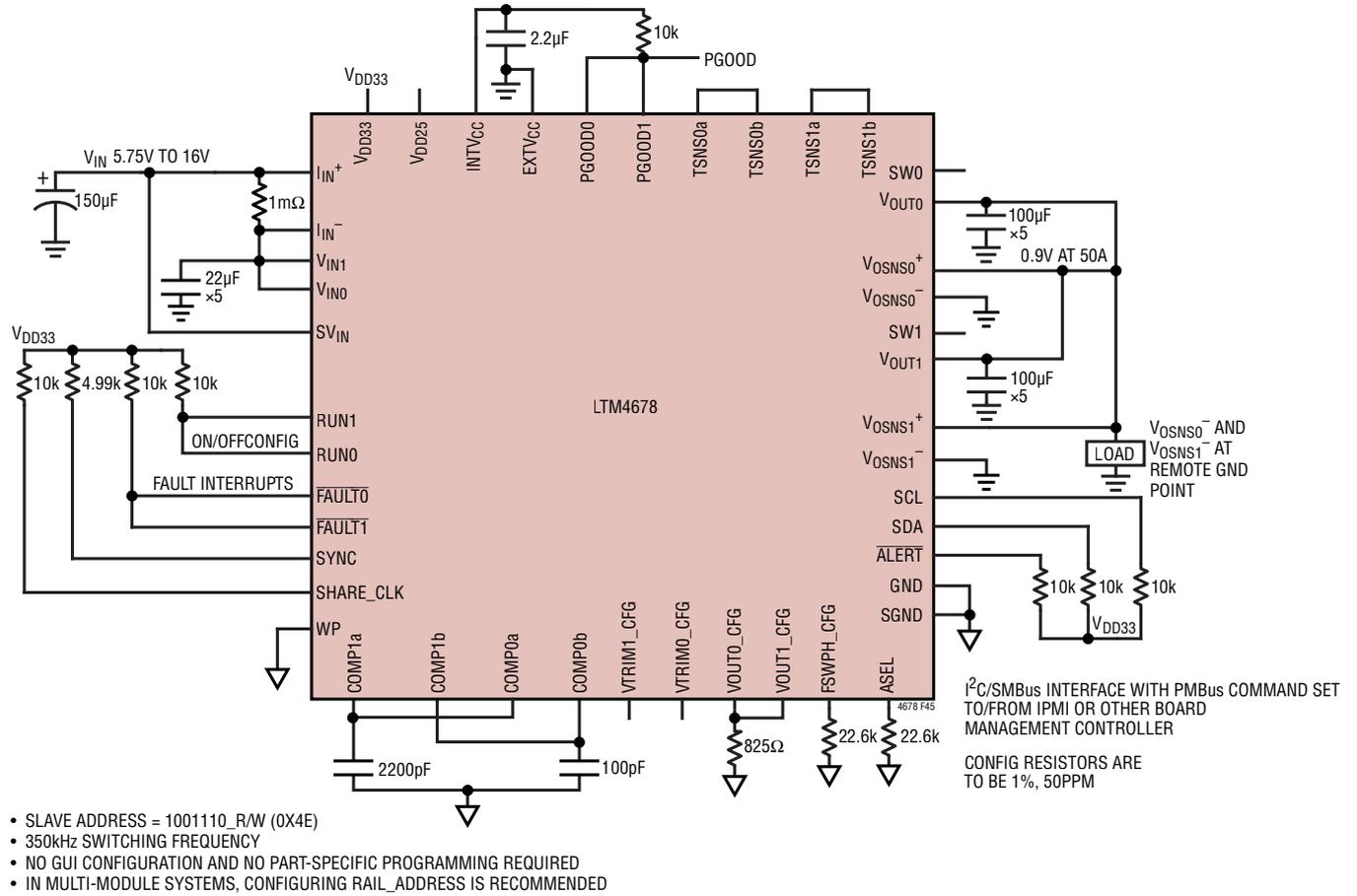


図 45. I²C/SMBus/PMBus シリアル・インターフェースを備えた 50A、0.9V 出力の DC/DC μ Module レギュレータ

代表的なアプリケーション

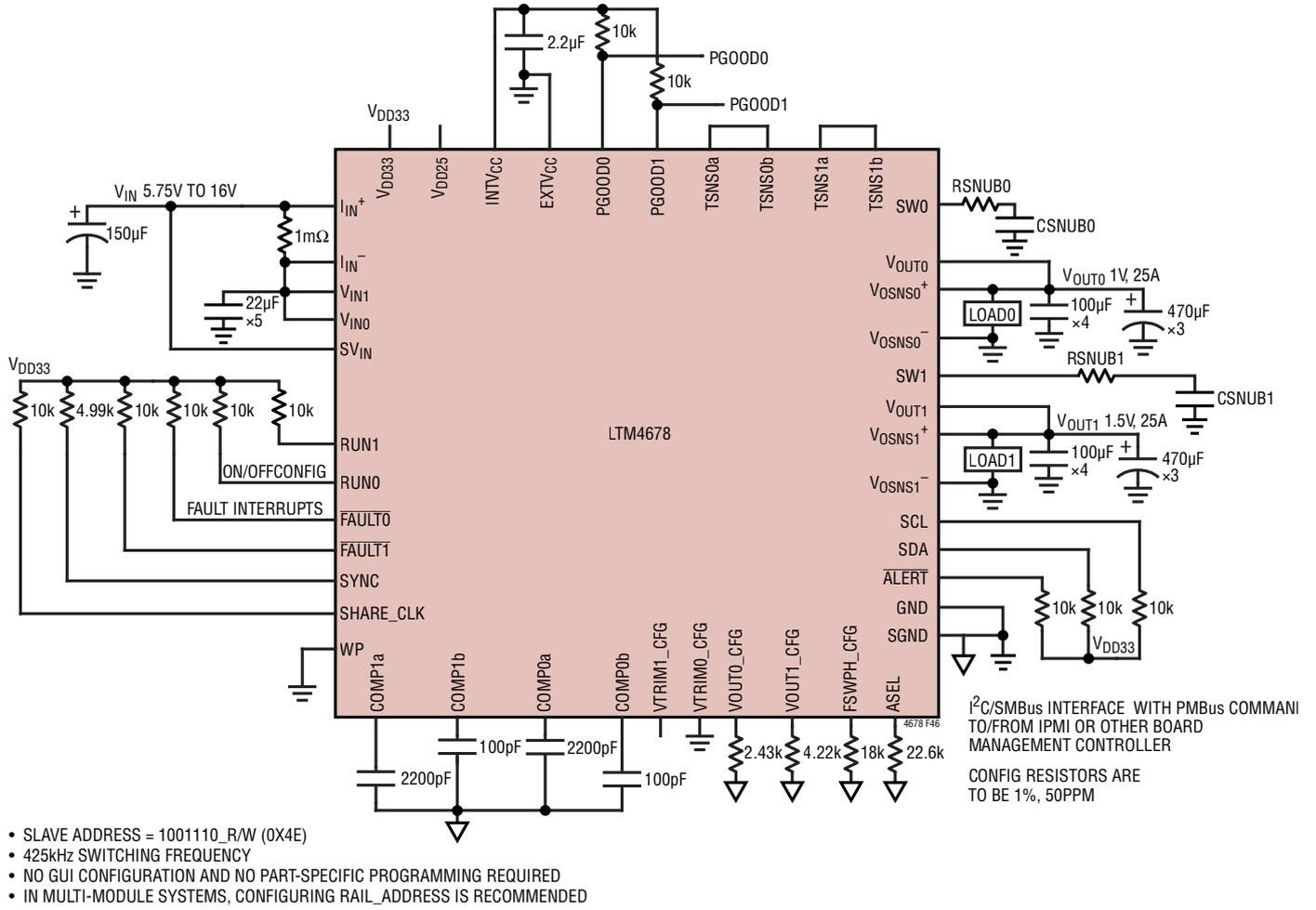


図 46. I²C/SMBus/PMBus シリアル・インターフェースを備えた 1.0V 出力および 1.5V 出力 (25A)

代表的なアプリケーション

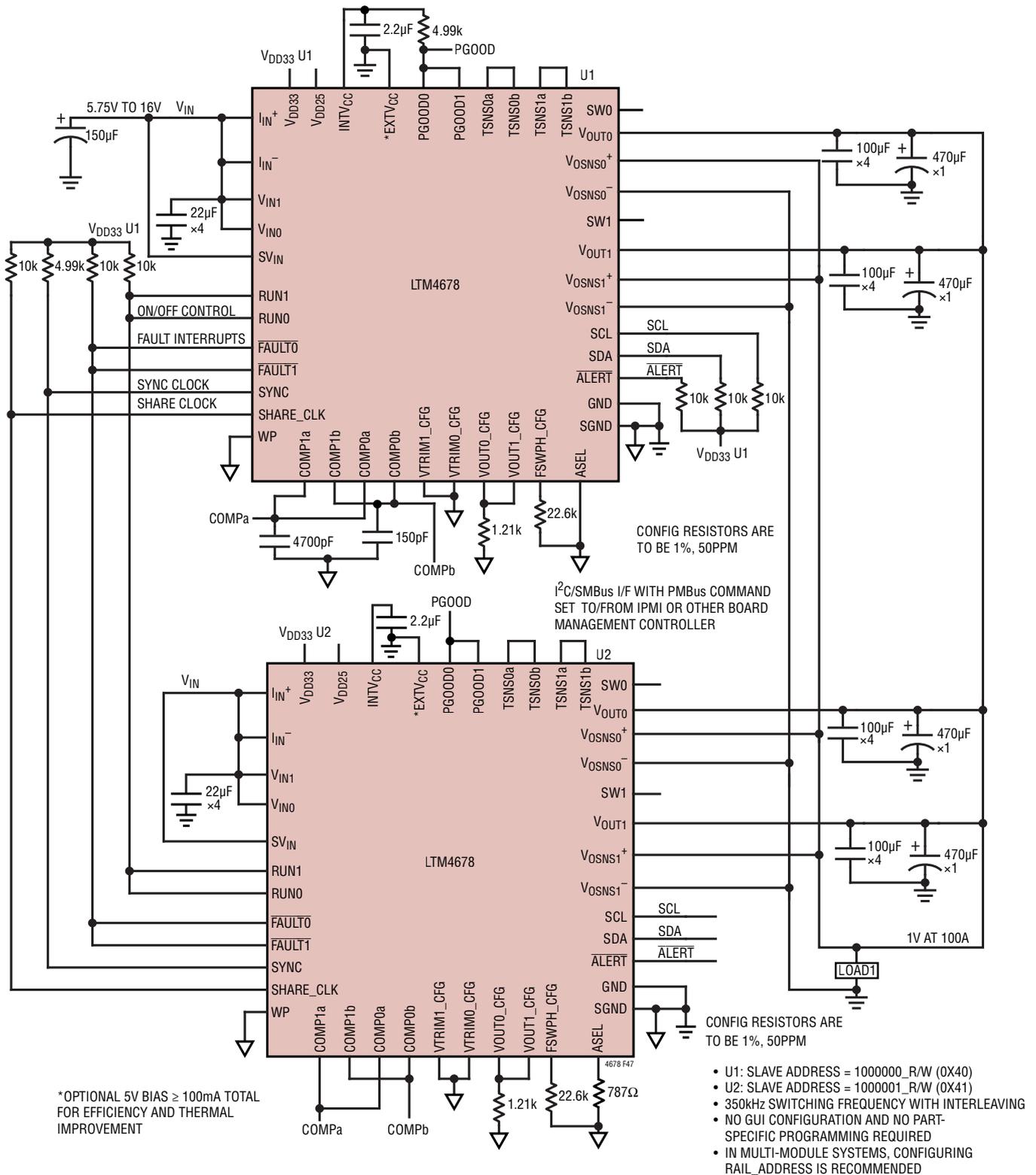


図 47. 2つのLTM4678の並列接続による1V/100A出力。2線 $I^2C/SMBus/PMBus$ シリアル・インターフェースを介してアクセス可能なパワー・システム・マネージメント機能を搭載、入力電流の読み出しなし

代表的なアプリケーション

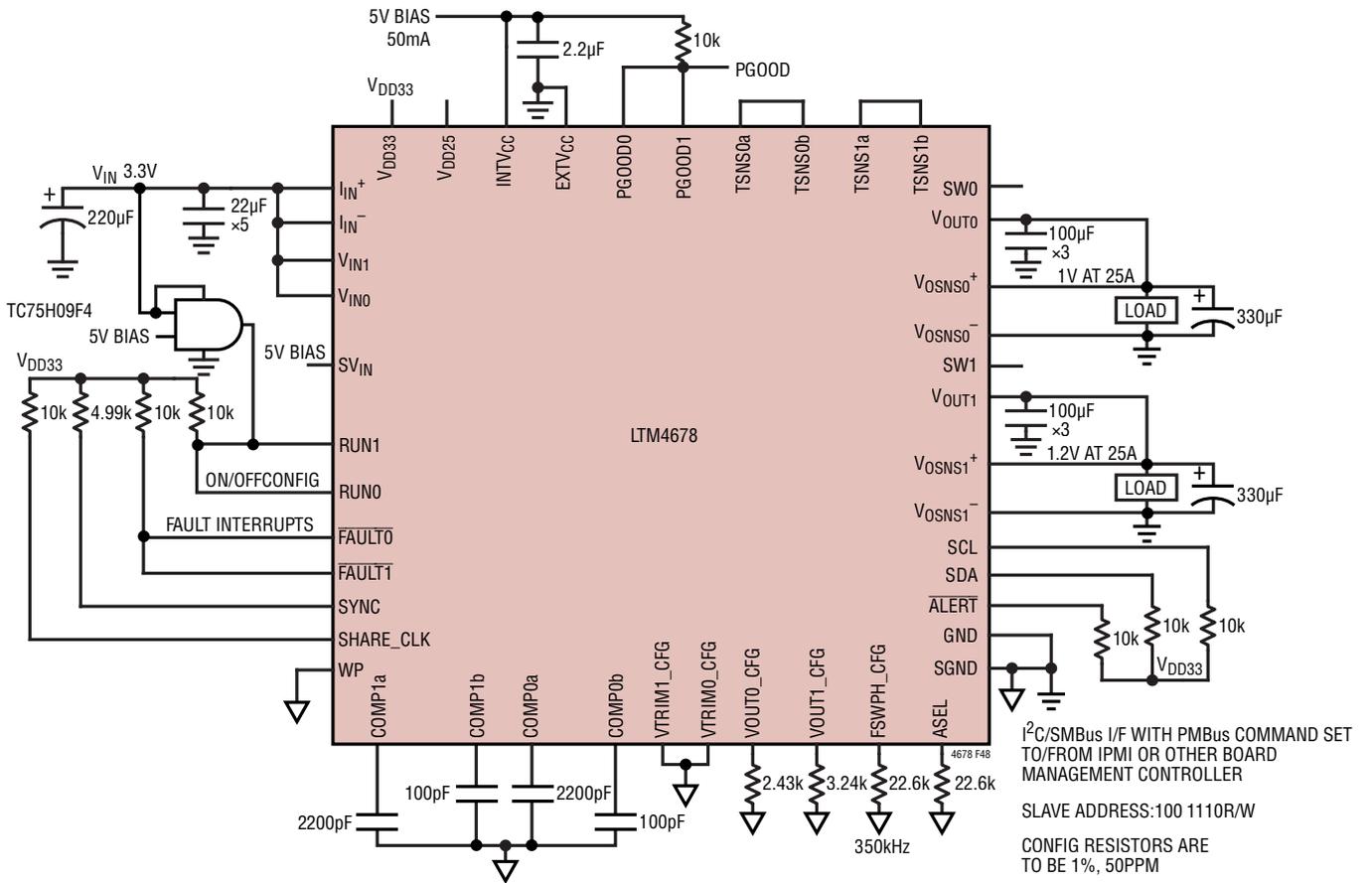


図 48. 3.3V 電源入力から生成され、I²C/SMBus/PMBus シリアル・インターフェースを備えた 1V 出力および 1.2V 出力

代表的なアプリケーション

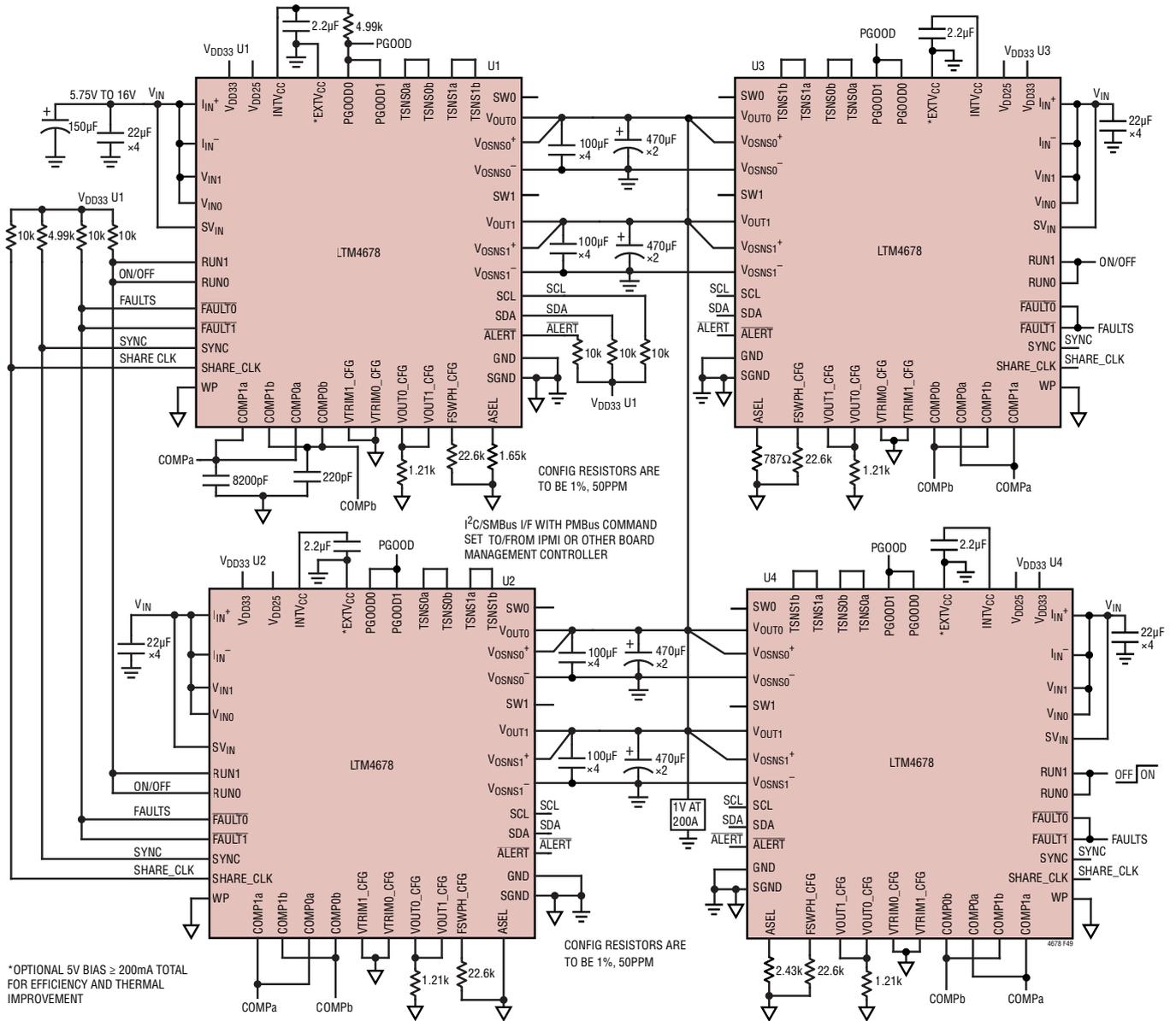


図 49. 1V/200A を生成する 4 つの LTM4678 による 8 フェーズ動作。LTM4678 の 2 線 I²C/SMBus/PMBus シリアル・インターフェースを介してアクセス可能なパワー・システム・マネージメント機能

PMBus コマンドの詳細

アドレス指定と書き込み保護

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
PAGE	0x00	Provides integration with multi-page PMBus devices.	R/W Byte	N	Reg			0x00
PAGE_PLUS_WRITE	0x05	Write a supported command directly to a PWM channel.	W Block	N				
PAGE_PLUS_READ	0x06	Read a supported command directly from a PWM channel.	Block R/W	N				
WRITE_PROTECT	0x10	Level of protection provided by the device against accidental changes.	R/W Byte	N	Reg		Y	0x00
MFR_ADDRESS	0xE6	Sets the 7-bit I ² C address byte.	R/W Byte	N	Reg		Y	0x4F
MFR_RAIL_ADDRESS	0xFA	Common address for PolyPhase outputs to adjust common parameters.	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x80

PAGE

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

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

PAGE を 0xFF に設定すると、以下の全てのページ化コマンドが両方の出力に適用されます。PAGE を 0xFF に設定すると、LTM4678 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み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 を使用してページ化以外のコマンドを送信する場合、ページ番号バイトは無視されます。

このコマンドはブロック書き込みプロトコルを使用します。2 バイトのデータを伴うコマンドを送信する PEC 付き PAGE_PLUS_WRITE コマンドの一例を図 50 に示します。

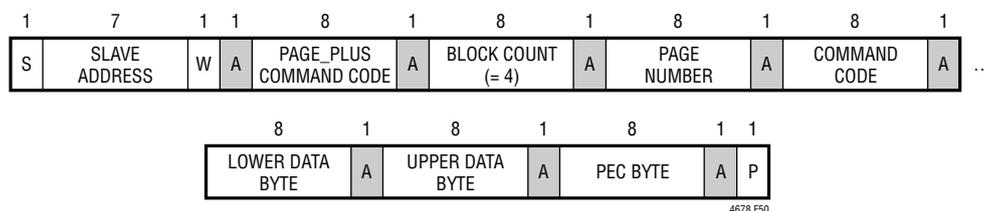


図 50. PAGE_PLUS_WRITE の例

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。

PMBus コマンドの詳細

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51に示します。

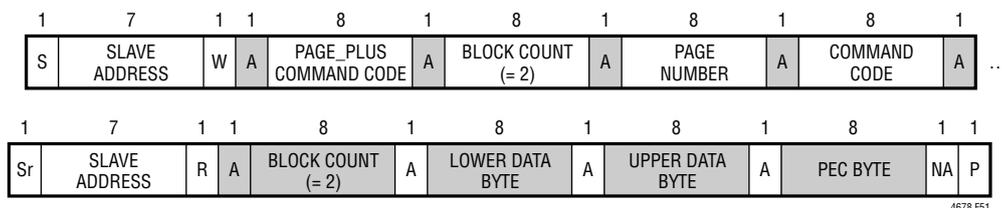


図51. PAGE_PLUS_READの例

注記:PAGE_PLUSコマンドをネストすることはできません。PAGE_PLUSコマンドは、別のPAGE_PLUSコマンドの読み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、LTM4678はPAGE_PLUSパケット全体にNACKを返し、無効なデータやサポートされていないデータに対してCML障害信号を出力します。

WRITE_PROTECT

WRITE_PROTECTコマンドは、LTM4678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。

BYTE	MEANING
0x80	Disable all writes except to the WRITE_PROTECT, PAGE, MFR_EE_UNLOCK, and STORE_USER_ALL commands.
0x40	Disable all writes except to the WRITE_PROTECT, PAGE, MFR_EE_UNLOCK, MFR_CLEAR_PEAKS, STORE_USER_ALL, OPERATION and CLEAR_FAULTS command. Individual fault bits can be cleared by writing a 1 to the respective bits in the STATUS commands.
0x20	Disable all writes except to the WRITE_PROTECT, OPERATION, MFR_EE_UNLOCK, MFR_CLEAR_PEAKS, CLEAR_FAULTS, PAGE, ON_OFF_CONFIG, VOUT_COMMAND and STORE_USER_ALL. Individual fault bits can be cleared by writing a 1 to the respective bits in the STATUS commands.
0x10	Reserved, must be 0
0x08	Reserved, must be 0
0x04	Reserved, must be 0
0x02	Reserved, must be 0
0x01	Reserved, must be 0

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。

WPピンがハイの場合は、PAGE、OPERATION、MFR_CLEAR_PEAKS、MFR_EE_UNLOCK、WRITE_PROTECT、CLEAR_FAULTSコマンドがサポートされます。個々の障害ビットは、STATUSコマンドのそれぞれのビットに1を書き込むことによってクリアできます。

PMBus コマンドの詳細

MFR_ADDRESS

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

このコマンドの値を0x80に設定すると、デバイスのアドレス指定は無効になります。グローバル・デバイス・アドレス(0x5Aおよび0x5B)を非活動状態にすることはできません。RCONFIGを無視するよう設定した場合は、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ピンをオープンにした場合、LTM4678はNVMに格納されたMFR_ADDRESS 値の下位4ビットを使用して、デバイスの有効なアドレスを作成します。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

MFR_RAIL_ADDRESS

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

このアドレスにはコマンドの書き込みだけを実行してください。このアドレスからの読み出しを実行した場合、レール接続デバイスが完全に同じ値で応答しないと、LTM4678はバス競合を検出して、CML通信障害を設定します。

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

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

汎用設定コマンド

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
MFR_CHAN_CONFIG	0xD0	Configuration bits that are channel specific.	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x1D
MFR_CONFIG_ALL	0xD1	General configuration bits.	R/W Byte	N	Reg		Y	0x21

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。

BIT	MEANING
7	Reserved
6	Reserved
5	Reserved
4	Disable RUN Low. When asserted the RUN pin is not pulsed low if commanded OFF.
3	Enable Short Cycle recognition if this bit is set to a 1.
2	SHARE_CLOCK control. If SHARE_CLOCK is held low, the output is disabled.
1	No FAULT ALERT, ALERT is not pulled low if FAULT is pulled low externally. Assert this bit if either POWER_GOOD or VOUT_UVUF are propagated on FAULT.
0	Disables the VOUT decay value requirement for MFR_RETRY_TIME and tOFF(MIN) processing. When this bit is set to a 0, the output must decay to less than 12.5% of the programmed value for any action that turns off the rail including a fault, an OFF/ON command, or a toggle of RUN from high to low to high.

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細

デバイスをオフにすることを指定した後にPWMチャンネルをオンに戻す(つまり再起動する)ことを指定した場合で、TOFF_DELAY状態またはTOFF_FALL状態を処理している場合は、必ずShortCycleイベントが発生します。PWMチャンネルをオン/オフするには、RUNピンまたはPMBusのOPERATIONコマンド、あるいはその両方を使用します。

TOFF_DELAYの間にPWMチャンネルを再起動すると、デバイスは以下の動作を行ないます。

1. PWMチャンネル出力を直ちにスリーステートにします。
2. t_{OFF(MIN)}で指定されている再試行遅延タイマーを始動します。
3. t_{OFF(MIN)}の時間が経過した後、PWMチャンネルはTON_DELAY状態に進み、STATUS_MFR_SPECIFICビット#1がアサートされます。

TOFF_FALLの間にPWMチャンネルを再起動すると、デバイスは以下の動作を行ないます。

1. PWMチャンネル出力の下降を停止します。
2. PWMチャンネル出力を直ちにスリーステートにします。
3. t_{OFF(MIN)}で指定されている再試行遅延タイマーを始動します。
4. t_{OFF(MIN)}の時間が経過した後、PWMチャンネルはTON_DELAY状態に進み、STATUS_MFR_SPECIFICビット#1がアサートされます。

ShortCycleイベントが発生して、ShortCycle MFR_CHAN_CONFIGビットが設定されていない場合、PWMチャンネルのステート・マシンは、そのTOFF_DELAYとTOFF_FALLの動作を、以前にユーザが指定したように実行します。

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。

BIT	MEANING
7	Enable Fault Logging
6	Ignore Resistor Configuration Pins
5	Mask PMBus, Part II, Section 10.9.1 Violations
4	Disable SYNC output
3	Enable 255ms PMBus timeout
2	A valid PEC required for PMBus writes to be accepted. If this bit is not set, the part will accept commands with invalid PEC.
1	Enable the use of PMBus clock stretching
0	Execute CLEAR_FAULTS on rising edge of either RUN pin.

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

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
ON_OFF_CONFIG	0x02	RUN pin and PMBus bus on/off command configuration.	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x1E
OPERATION	0x01	Operating mode control. On/off, margin high and margin low.	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x80
MFR_RESET	0xFD	Commanded reset without requiring a power-down.	Send Byte	N				NA

PMBus コマンドの詳細

ON_OFF_CONFIG

ON_OFF_CONFIG コマンドは、PWM チャンネルをオン／オフするために必要な RUN n ピンの入力状態と PMBus コマンドの組み合わせを指定します。

サポート対象値:

VALUE	MEANING
0x1F	OPERATION value and RUN n pin must both command the device to start/run. Device executes immediate off when commanded off.
0x1E	OPERATION value and RUN n pin must both command the device to start/run. Device uses TOFF_ command values when commanded off.
0x17	RUN n pin control with immediate off when commanded off. OPERATION on/off control ignored.
0x16	RUN n pin control using TOFF_ command values when commanded off. OPERATION on/off control ignored.

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

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

OPERATION

OPERATION コマンドは、デバイスをオン／オフするために、RUN n 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 n ピンの状態の変化によって別のモードに切り替えられるまで、コマンド指定の動作モードにとどまります。デバイスが MARGIN_LOW/HIGH 状態に保存されると、次の RESET または POWER_ON サイクル時にその状態まで上昇します。OPERATION コマンドを変更すると (例えば、ON を MARGIN_LOW に変更すると)、出力は VOUT_TRANSITION_RATE によって設定された固定の勾配で変化します。デフォルトの動作コマンドはシーケンス・オフです。出荷時のデフォルトのプログラミングによってデバイスに V_{IN} を印加し、VOUT_CONFIG 抵抗設定ピンを配線しなかった場合、出力はオフになるよう指定されます。

デバイスはデフォルトでシーケンス・オフ状態になっています。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

サポート対象値:

VALUE	MEANING
0xA8	Margin high.
0x98	Margin low.
0x80	On (VOUT back to nominal even if bit 3 of ON_OFF_CONFIG is not set).
0x40*	Soft off (with sequencing).
0x00*	Immediate off (no sequencing).

*ON_OFF_CONFIG のビット 3 が設定されていない場合、デバイスはこれらのコマンドに応答しません。

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

MFR_RESET

このコマンドは、LTM4678 をシリアル・バスからリセットする手段を提供します。これにより、LTM4678 は両方の PWM チャンネルをオフし、内部 EEPROM から動作メモリをロードして、全ての障害情報をクリアしてから、両方の PWM チャンネルのソフトスタートを実行します (イネーブルされた場合)。

この書込み専用コマンドにはデータ・バイトはありません。

PMBus コマンドの詳細

PWM 設定

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
MFR_PWM_COMP	0xD3	PWM loop compensation configuration	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x28
MFR_PWM_MODE	0xD4	Configuration for the PWM engine.	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xC7
MFR_PWM_CONFIG	0xF5	Set numerous parameters for the DC/DC controller including phasing.	R/W Byte	N	Reg		Y	0x10
FREQUENCY_SWITCH	0x33	Switching frequency of the controller.	R/W Word	N	L11	kHz	Y	350 0xFABC

MFR_PWM_MODE

MFR_PWM_MODE コマンドは、重要な PWM 制御をチャンネルごとに設定します。

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。

BIT	MEANING
7	Use High Range of I_{LIMIT}
0b	Low Current Range
1b	High Current Range
6	Enable Servo Mode
5	External temperature sense: 0: ΔV_{BE} measurement. Now reserved, ΔV_{BE} only supported.
4	Page 0 Only: Use of TSNS _{1a} -Sensed Temperature Telemetry 0 - Temperature sensed via TSNS _{1a} is used to temperature-correct the current-sense information digitized by Channel 1's current sense input, ISNS _{1a+} /ISNS _{1a-} . 1 - Temperature sensed via TSNS _{0a} is used to temperature-correct the current-sense information digitized by Channel 1's current sense input, ISNS _{1a+} /ISNS _{1a-} . Telemetry obtained from the thermal sensor connected to TSNS _{1a} can be external to the module, if desired.
3	Reserved
2	Reserved, always low DCR current sense
1	V _{OUT} Range
1b	The maximum output voltage is 2.75V
0b	The maximum output voltage is 3.6V
Bit[0]	Mode
0b	Discontinuous
1b	Forced Continuous

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。チャンネルの出力がアクティブなときは、このビット値を変更しないでください。チャンネルがアクティブなときにこのビットに書き込むと、CML 障害が発生します。

ビット [6]: LTM4678 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。

LTM4678 は、ADC が TSNS_n ピンで測定した ΔV_{BE} から、次のように温度 (°C) を計算します。

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

PMBus コマンドの詳細

この式では、

$$G = \text{MFR_TEMP_1_GAIN} \cdot 2^{-14}$$

$$O = \text{MFR_TEMP_1_OFFSET}$$

ビット [2] は、現在は予備であり、超低 DCR モードがデフォルトです。

このコマンドのビット [1] は、デバイスが高電圧範囲または低電圧範囲のいずれに入っているかを決定します。このビットの値を変更すると、PWM ループのゲインおよび補償が変更されます。チャンネルの出力がアクティブなときは、このビット値を変更しないでください。チャンネルがアクティブなときにこのビットに書き込むと、CML 障害が発生します。

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

MFR_PWM_COMP

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

BIT	MEANING
BIT [7:5]	Error Amplifier GM Adjust (mS)
000b	1.00
001b	1.68
010b	2.35
011b	3.02
100b	3.69
101b	4.36
110b	5.04
111b	5.73
BIT [4:0]	RITH (kΩ)
00000b	0
00001b	0.25
00010b	0.5
00011b	0.75
00100b	1
00101b	1.25
00110b	1.5
00111b	1.75
01000b	2
01001b	2.5
01010b	3
01011b	3.5
01100b	4
01101b	4.5
01110b	5
01111b	5.5
10000b	6
10001b	7

PMBus コマンドの詳細

10010b	8
10011b	9
10100b	11
10101b	13
10110b	15
10111b	17
11000b	20
11001b	24
11010b	28
11011b	32
11100b	38
11101b	46
11110b	54
11111b	62

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

MFR_PWM_CONFIG

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、チャンネルをコマンドでオフにする必要があります。一方のチャンネルがRUN状態の場合にこのコマンドを記述すると、コマンドにはNACKが返され、BUSY障害信号がアサートされます。

BIT	MEANING	
7	Reserved	
[6:5]	Input current sense gain.	
00b	2x gain. 0mV to 50mV range.	
01b	4x gain. 0mV to 20mV range.	
10b	8x gain. 0mV to 5mV range.	
11b	Reserved	
4	Share Clock Enable : If this bit is 1, the SHARE_CLK pin will not be released until $V_{IN} > V_{IN_ON}$. The SHARE_CLK pin will be pulled low when $V_{IN} < V_{IN_OFF}$. If this bit is 0, the SHARE_CLK pin will not be pulled low when $V_{IN} < V_{IN_OFF}$ except for the initial application of V_{IN} .	
3	Reserved	
BIT [2:0]	CHANNEL 0 (DEGREES)	CHANNEL 1 (DEGREES)
000b	0	180
001b	90	270
010b	0	240
011b	0	120
100b	120	240
101b	60	240
110b	120	300

PMBus コマンドの詳細

FREQUENCY_SWITCH

FREQUENCY_SWITCH コマンドは、LTM4678 のスイッチング周波数 (kHz) を設定します。

サポート対象周波数:

VALUE [15:0]	RESULTING FREQUENCY (TYP)
0x0000	External Oscillator
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、両方のチャンネルをコマンドでオフにする必要があります。デバイスがRUN状態の場合にこのコマンドを記述すると、コマンドにはNACKが返され、BUSY障害信号がアサートされます。デバイスがコマンドでオフになっているときに周波数を変更すると、PLLが新しい周波数に同期するので、PLL_UNLOCKステータスが検出されることがあります。

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear_5s_11sフォーマットが設定されています。

電圧

入力電圧とリミット

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
VIN_OV_FAULT_LIMIT	0x55	Input supply overvoltage fault limit.	R/W Word	N	L11	V	Y	15.5 0xD3E0
VIN_UV_WARN_LIMIT	0x58	Input supply undervoltage warning limit.	R/W Word	N	L11	V	Y	4.65 D12A
VIN_ON	0x35	Input voltage at which the unit should start power conversion.	R/W Word	N	L11	V	Y	4.75 D130
VIN_OFF	0x36	Input voltage at which the unit should stop power conversion.	R/W Word	N	L11	V	Y	4.5 D120
MFR_ICHIP_CAL_GAIN	0xF7	The resistance value of the VIN pin filter element in milliohms	R/W Word	N	L11	mΩ	Y	1000 0x03E8

VIN_OV_FAULT_LIMIT

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

このコマンドはLinear_5s_11sフォーマットの2バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細

VIN_UV_WARN_LIMIT

VIN_UV_WARN_LIMIT コマンドは、ADC によって測定された入力電圧に対して、入力低電圧警告を引き起こす入力電圧の値を設定します。この警告は、VIN_ON コマンドによって設定される入力起動閾値を入力が超えて、デバイスがイネーブルされた状態になるまで無効になっています。VIN の電圧が VIN_OV_WARN_LIMIT より低くなると、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS_WORD の INPUT ビットを設定する
- STATUS_INPUT コマンドの VIN 低電圧警告ビットを設定する
- マスクされていない限り、ALERT をアサートすることにより、ホストに通知する

VIN_ON

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

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear_5s_11s フォーマットが設定されています。

VIN_OFF

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

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear_5s_11s フォーマットが設定されています。

MFR_ICHIP_CAL_GAIN

MFR_ICHIP_CAL_GAIN コマンドは、VIN ピンのフィルタ素子の抵抗値 (mΩ) を設定するときに使用します (READ_VIN も参照)。フィルタ素子を使用しない場合は、MFR_RVIN を 0 に設定してください。

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear_5s_11s フォーマットが設定されています。

出力電圧とリミット

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
VOUT_MODE	0x20	Output voltage format and exponent (2^{-12}).	R Byte	Y	Reg			2^{-12} 0x14
VOUT_MAX	0x24	Upper limit on the output voltage the unit can command regardless of any other commands.	R/W Word	Y	L16	V	Y	3.6 0xC399
VOUT_OV_FAULT_LIMIT	0x40	Output overvoltage fault limit.	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.1 0x119A
VOUT_OV_WARN_LIMIT	0x42	Output overvoltage warning limit.	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.075 0x1133
VOUT_MARGIN_HIGH	0x25	Margin high output voltage set point. Must be greater than VOUT_COMMAND.	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.05 0x10CD
VOUT_COMMAND	0x21	Nominal output voltage set point.	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.0 0x1000
VOUT_MARGIN_LOW	0x26	Margin low output voltage set point. Must be less than VOUT_COMMAND.	R/W Word	Y	L16	V	Y	0.95 0x0F33
VOUT_UV_WARN_LIMIT	0x43	Output undervoltage warning limit.	R/W Word	Y	L16	V	Y	0.925 0x0ECD
VOUT_UV_FAULT_LIMIT	0x44	Output undervoltage fault limit.	R/W Word	Y	L16	V	Y	0.9 0x0E66
MFR_VOUT_MAX	0xA5	Maximum allowed output voltage.	R Word	Y	L16	V		3.6 0x0399

PMBus コマンドの詳細

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み出しに使用され、(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、出力電圧の読み出し／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。

この読み出し専用コマンドは1バイトのデータを伴います。

VOUT_MAX

VOUT_MAX コマンドは、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3.6Vです。LTM4678が発生できる最大出力電圧は、VOUT_MARGIN_HIGHを含めて3.3Vです。ただし、VOUT_OV_FAULT_LIMITは3.6Vまで指定できます。

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_OV_FAULT_LIMIT

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

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

VOUT_OV_FAULT_RESPONSEをOV_PULLDOWNまたは0x00に設定すると、VOUT_OV_FAULTが伝搬されている場合、FAULTピンはアサートされません。LTM4678はTGをローにして、過電圧状態が検出されるとすぐにBGビットをアサートします。

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear_16uフォーマットが設定されています。

VOUT_OV_WARN_LIMIT

VOUT_OV_WARN_LIMIT コマンドは、検出ピンでADCによって測定された出力電圧に対して、出力電圧「高」の警告を引き起こす出力電圧の値(V)を設定します。このリミットを超えたかどうかを判別するのにMFR_VOUT_PEAKの値を使用できます。

VOUT_OV_WARN_LIMITを超えた場合に依りて、デバイスの動作は以下ようになります。

- STATUS_BYTEのNONE_OF_THE_ABOVEビットを設定する
- STATUS_WORDのVOUTビットを設定する
- STATUS_VOUTコマンドのVOUT過電圧警告ビットを設定する
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートすることにより、ホストに通知する

この状態はADCによって検出されるので、応答時間は最大で t_{CONVERT} 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。

PMBus コマンドの詳細

VOUT_MARGIN_HIGH

VOUT_MARGIN_HIGH コマンドは、OPERATION コマンドが「マージン・ハイ」に設定された場合、出力の変更後の電圧 (V) をデバイスにロードします。値は VOUT_COMMAND より大きくする必要があります。VOUT_MARGIN_HIGH の最大許容値は 3.7V 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。

VOUT_MARGIN_LOW

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

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

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear_16u フォーマットが設定されています。

VOUT_UV_WARN_LIMIT

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

VOUT_UV_WARN_LIMIT を超えた場合に依じて、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 ビットを設定する
- STATUS_WORD の VOUT ビットを設定する
- STATUS_VOUT コマンドの VOUT 低電圧警告ビットを設定する
- マスクされていない限り、ALERT ピンをアサートすることにより、ホストに通知する

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear_16u フォーマットが設定されています。

VOUT_UV_FAULT_LIMIT

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

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear_16u フォーマットが設定されています。

PMBus コマンドの詳細

MFR_VOUT_MAX

MFR_VOUT_MAX コマンドは、各チャンネルの最大出力電圧(単位:V、VOUT_OV_FAULT_LIMITを含む)です。出力電圧を高範囲に設定(MFR_PWM_CONFIGのビット6を0に設定)した場合、MFR_VOUT_MAXは3.6Vになります。出力電圧を低範囲に設定(MFR_PWM_CONFIGのビット6を1に設定)した場合、MFR_VOUT_MAXは2.75Vになります。これより大きな値をVOUT_COMMANDに入力すると、CML 障害が発生し、出力電圧設定値は最大レベルにクランプされます。また、これによってSTATUS_VOUTコマンドにビット3(VOUT_MAX_Warning)が設定されます。

この読み出し専用コマンドは2バイトのデータを伴い、Linear_16uフォーマットが設定されています。

出力電流とリミット

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
MFR_IOUT_CAL_GAIN	0xDA	The ratio of the voltage at the current sense pins to the sensed current. For devices using a fixed current sense resistor, it is the resistance value in mΩ.	R Word	Y	L11	mΩ	Factory Only NVM	0.85 Typical 0xB365
MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC	0xF6	Temperature coefficient of the current sensing element.	R/W Word	Y	CF		Y	3900 0x0F3C
IOUT_OC_FAULT_LIMIT	0x46	Output overcurrent fault limit.	R/W Word	Y	L11	A	Y	40.0 0xE280
IOUT_OC_WARN_LIMIT	0x4A	Output overcurrent warning limit.	R/W Word	Y	L11	A	Y	30.0 0xDBC0

MFR_IOUT_CAL_GAIN

MFR_IOUT_CAL_GAIN コマンドは、電流検出抵抗の抵抗値(mΩ)を設定するときに使用します(MFR_IOUT_CAL_GAIN_TCも参照)。

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear_5s_11sフォーマットが設定されています。

MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC

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

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

$$[1.0 + \text{MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC} \cdot (\text{READ_TEMPERATURE_1-27})]$$

DCR 検出での代表値は3900です。

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

PMBus コマンドの詳細

IOUT_OC_FAULT_LIMIT

IOUT_OC_FAULT_LIMIT コマンドは、ピーク出力電流制限値 (A) を設定します。コントローラが電流制限状態になると、過電流検出器が過電流障害状態を示します。次の表に、I_{SENSE+} と I_{SENSE-} の間のプログラム可能なピーク出力電流制限値 (mV) を示します。電流制限の実際の値は (I_{SENSE+} - I_{SENSE-}) / MFR_IOUT_CAL_GAIN (A) です。

BASED ON INDUCTOR CURRENT = 50% OF MAX LOAD OF 25A FOR WORSE CASE, THESE ARE APPROXIMATES, SO USE GUARDBAND AND CHECK

MFR_PWM_MODE[7] = 1 High Current Range (mV)	~ILPeak (A)	~IOUT (A)	MFR_PWM_MODE[7] = 0 Low Current Range (mV)	~ILPeak (A)	~IOUT (A)
15.45	18.28	12	8.59	10.17	4.88
16.59	19.63	14.35	9.22	10.9	5.63
17.73	20.98	15.70	9.85	11.66	6.38
18.86	22.32	17.04	10.48	12.40	7.12
20.42	24.17	18.88	11.34	13.42	8.14
21.14	25.02	19.74	11.74	13.89	8.61
22.27	26.36	21.07	12.37	14.64	9.36
23.41	27.70	22.42	13.01	15.40	10.12
24.55	29.05	23.77	13.64	16.14	10.86
25.68	30.39	25.11	14.27	16.89	11.61
26.82	31.74	26.46	14.90	17.63	12.35
27.95	33.08	27.80	15.53	18.38	13.10
29.50	34.42	29.14	16.5	19.12	13.84
30.23	35.78	30.49	16.79	19.87	14.59
31.36	37.11	31.83	17.42	20.62	15.33
32.50	38.46	33.18	18.06	21.37	16.09

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

$$\text{ピーク電流制限値} = \text{MFR_IOUT_CAL_GAIN} \cdot (1 + \text{MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC} \cdot (\text{READ_TEMPERTURE_1} - 27.0))$$

MFR_IOUT_CAL_GAIN は出荷テスト時に設定されます。

LTM4678 は、電流を適切な内部ビット値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。

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

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

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear_5s_11s フォーマットが設定されています。

PMBus コマンドの詳細

IOUT_OC_WARN_LIMIT

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

IOUT_OC_WARN_LIMITを超えた場合に依じて、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ビットを設定する
- STATUS_WORDのIOUTビットを設定する
- STATUS_IOUTコマンドのIOUT過電流警告ビットを設定する
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートすることにより、ホストに通知する

IOUT_OC_FAULT_LIMITは、TON_RISEおよびTOFF_FALLの間は無視されます。

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear_5s_11sフォーマットが設定されています。

入力電流とリミット

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
MFR_IIN_CAL_GAIN	0xE8	The resistance value of the input current sense element in m Ω .	R/W Word	L11	m Ω	Y	2.000 0xC200

MFR_IIN_CAL_GAIN

MFR_IIN_CAL_GAINコマンドは、入力電流検出抵抗の抵抗値(m Ω)を設定するときに使用します(READ_IINも参照)。

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear_5s_11sフォーマットが設定されています。

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
IIN_OC_WARN_LIMIT	0x5D	Input overcurrent warning limit.	R/W Word	N	L11	A	Y	10.0 0xD280

IIN_OC_WARN_LIMIT

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

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

- STATUS_BYTEのOTHERビットを設定する
- STATUS_WORDの上位バイトにあるINPUTビットを設定する
- STATUS_INPUTコマンドのIIN過電流警告ビット[1]を設定する
- $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートすることにより、ホストに通知する

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear_5s_11sフォーマットが設定されています。

PMBus コマンドの詳細

温度

パワー段 DCR の温度キャリブレーション

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
MFR_TEMP_1_GAIN	0xF8	Sets the slope of the external temperature sensor.	R/W Word	Y	CF		Y	0.995 0x3FAE
MFR_TEMP_1_OFFSET	0xF9	Sets the offset of the external temperature sensor.	R/W Word	Y	L11	C	Y	0.0 0x8000

MFR_TEMP_1_GAIN

MFR_TEMP_1_GAIN コマンドは、パワー段のセンサーの勾配を変更して、素子の非理想特性とインダクタの温度のリモート検出に伴う誤差を考慮に入れます。

このコマンドは2バイトのデータを伴い、16ビットの2の補数形式の整数でフォーマットが設定されています。実質的なゲイン調整は $N \cdot 2^{-14}$ です。公称値は1です。N = 8192~32767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、位置に起因したインダクタの温度のリモート検出に関連した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、デフォルトの調整はゼロです。

パワー段の温度リミット

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
OT_FAULT_LIMIT	0x4F	Power stage overtemperature fault limit.	R/W Word	Y	L11	C	Y	128.0 0xF200
OT_WARN_LIMIT	0x51	Power stage overtemperature warning limit.	R/W Word	Y	L11	C	Y	125.0 0xEBE8
UT_FAULT_LIMIT	0x53	Power stage undertemperature fault limit.	R/W Word	Y	L11	C	Y	-45.0 0xE530

OT_FAULT_LIMIT

OT_FAULT_LIMIT コマンドは、ADCによって測定される、過熱障害を引き起こすパワー段の温度(°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、ADCによって測定される、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。

PMBus コマンドの詳細

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

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

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear_5s_11s フォーマットが設定されています。

UT_FAULT_LIMIT

UT_FAULT_LIMIT コマンドは、ADC によって測定される、低温障害を引き起こすパワー段の温度 (°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。

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

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear_5s_11s フォーマットが設定されています。

タイミング

タイミングオーン・シーケンス/ランプ

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
TON_DELAY	0x60	Time from RUN and/or Operation on to output rail turn-on.	R/W Word	Y	L11	ms	Y	0.0 0x8000
TON_RISE	0x61	Time from when the output starts to rise until the output voltage reaches the VOUT commanded value.	R/W Word	Y	L11	ms	Y	3.0 0xC300
TON_MAX_FAULT_LIMIT	0x62	Maximum time from the start of TON_RISE for VOUT to cross the VOUT_UV_FAULT_LIMIT.	R/W Word	Y	L11	ms	Y	5.0 0xCA80
VOUT_TRANSITION_RATE	0x27	Rate the output changes when VOUT commanded to a new value.	R/W Word	Y	L11	V/ms	Y	0.001 0x8042

TON_DELAY

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

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear_5s_11s フォーマットが設定されています。

TON_RISE

TON_RISE コマンドは、出力が上昇し始める時間から出力がレギュレーション範囲内に入るまでの時間をミリ秒単位で設定します。0~1.3秒までの値が有効です。デバイスは TON_RISE イベントの間、不連続モードになります。TON_RISE が 0.25ms より短いと、LTM4678 のデジタル勾配はバイパスされ、出力電圧の遷移は PWM スイッチャのアナログ性能によってのみ制御されます。TON_RISE のステップ数は TON_RISE (ms) / 0.1ms と等しく、その不確かさは $\pm 0.1\text{ms}$ です。

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear_5s_11s フォーマットが設定されています。

PMBus コマンドの詳細

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。

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

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear_5s_11s フォーマットが設定されています。

VOUT_TRANSITION_RATE

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

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear_5s_11s フォーマットが設定されています。

タイミング - オフ・シーケンス / ランプ

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
TOFF_DELAY	0x64	Time from RUN and/or Operation off to the start of TOFF_FALL ramp.	R/W Word	Y	L11	ms	Y	0.0 0x8000
TOFF_FALL	0x65	Time from when the output starts to fall until the output reaches zero volts.	R/W Word	Y	L11	ms	Y	3.0 0xC300
TOFF_MAX_WARN_LIMIT	0x66	Maximum allowed time, after TOFF_FALL completed, for the unit to decay below 12.5%.	R/W Word	Y	L11	ms	Y	0 0x8000

TOFF_DELAY

TOFF_DELAY コマンドは、停止条件を受け取ってから出力電圧が立ち下がり始めるまでの時間をミリ秒単位で設定します。0~83 秒までの値が有効です。生じるターンオフ遅延は、TOFF_DELAY = 0 の場合に遅延の代表値の 270 μ s になり、TOFF_DELAY の全ての値に対して $\pm 50\mu$ s の不確かさがあります。障害イベントが発生した場合、TOFF_DELAY は適用されません。

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear_5s_11s フォーマットが設定されています。

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_{OUT} の立上がり時間です。DAC の V_{OUT} が 0 のとき、PWM 出力は高インピーダンス状態に設定されます。

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

PMBus コマンドの詳細

TOFF_MAX_WARN_LIMIT

TOFF_MAX_WARN_LIMIT コマンドは、出力電圧が事前設定電圧の 12.5% を超えてから警告がアサートされるまでの時間をミリ秒単位で設定します。V_{OUT} の電圧が VOUT_COMMAND の事前設定値の 12.5% より低くなると、出力はオフであるとみなされます。計算は TOFF_FALL が経過してから始まります。

0ms というデータ値は、制限がないことと、出力電圧が事前設定電圧の 12.5% を無期限に超えることを意味します。0 以外では、120ms～524 秒までの値が有効です。

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear_5s_11s フォーマットが設定されています。

再起動の前提条件

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
MFR_RESTART_DELAY	0xDC	Minimum time the RUN pin is held low by the LTM4678.	R/W Word	Y	L11	ms	Y	150 0xF258

MFR_RESTART_DELAY

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

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

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear_5s_11s フォーマットが設定されています。

障害応答

全障害に対する障害応答

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
MFR_RETRY_DELAY	0xDB	Retry interval during FAULT retry mode.	R/W Word	Y	L11	ms	Y	250 0xF3E8

MFR_RETRY_DELAY

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

PMBus コマンドの詳細

入力電圧に対する障害応答

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
VIN_OV_FAULT_RESPONSE	0x56	Action to be taken by the device when an input supply overvoltage fault is detected.	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x80

VIN_OV_FAULT_RESPONSE

VIN_OV_FAULT_RESPONSE コマンドは、入力過電圧障害に対してどう動作するべきかをデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットは、表 18 に示したものです。

また、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS_BYTE の NONE_OF_THE_ABOVE ビットを設定する
- STATUS_WORD の上位バイトにある INPUT ビットを設定する
- STATUS_INPUT コマンドの VIN 過電圧障害ビットを設定する
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートすることにより、ホストに通知する

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

出力電圧に対する障害応答

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
VOUT_OV_FAULT_RESPONSE	0x41	Action to be taken by the device when an output overvoltage fault is detected.	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xB8
VOUT_UV_FAULT_RESPONSE	0x45	Action to be taken by the device when an output undervoltage fault is detected.	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xB8
TON_MAX_FAULT_RESPONSE	0x63	Action to be taken by the device when a TON_MAX_FAULT event is detected.	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 14 に示したものです。

また、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS_BYTE の VOUT_OV ビットを設定する
- STATUS_WORD の VOUT ビットを設定する
- STATUS_VOUT コマンドの VOUT 過電圧障害ビットを設定する
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートすることにより、ホストに通知する

このコマンドで認識される値は以下のものに限られます。

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

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

PMBus コマンドの詳細

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

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

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

他の値にすると、CML障害が発生して、書込みは無視されます。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

表 14. VOUT_OV_FAULT_RESPONSE のデータ・バイトの内容

BITS	DESCRIPTION	VALUE	MEANING
7:6	Response For all values of bits [7:6], the LTM4678: <ul style="list-style-type: none"> • Sets the corresponding fault bit in the status commands and • Notifies the host by asserting $\overline{\text{ALERT}}$ pin, unless masked. The fault bit, once set, is cleared only when one or more of the following events occurs: <ul style="list-style-type: none"> • The device receives a CLEAR_FAULTS command. • The output is commanded through the RUN pin, the OPERATION command, or the combined action of the RUN pin and OPERATION command, to turn off and then to turn back on, or • Bias power is removed and reapplied to the LTM4678. 	00	Part performs OV pull down only or OV_PULLDOWN (i.e., turns off the top MOSFET and turns on lower MOSFET while V_{OUT} is $> V_{\text{OUT_OV_FAULT}}$).
		01	The PMBus device continues operation for the delay time specified by bits [2:0] and the delay time unit specified for that particular fault. If the fault condition is still present at the end of the delay time, the unit responds as programmed in the Retry Setting (bits [5:3]).
		10	The device shuts down immediately (disables the output) and responds according to the retry setting in bits [5:3].
		11	Not supported. Writing this value will generate a CML fault.
5:3	Retry Setting	000	The unit does not attempt to restart. The output remains disabled until the fault is cleared until the device is commanded OFF bias power is removed.
		111	The PMBus device attempts to restart continuously, without limitation, until it is commanded OFF (by the RUN pin or OPERATION command or both), bias power is removed, or another fault condition causes the unit to shut down without retry. Note: The retry interval is set by the MFR_RETRY_DELAY command.
2:0	Delay Time	000-111	The delay time in $10\mu\text{s}$ increments. This delay time determines how long the controller continues operating after a fault is detected. Only valid for deglitched off state.

VOUT_UV_FAULT_RESPONSE

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

また、デバイスの動作は以下のようになります。

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

PMBus コマンドの詳細

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。

表 15. VOUT_UV_FAULT_RESPONSE のデータ・バイトの内容

BITS	DESCRIPTION	VALUE	MEANING
7:6	Response For all values of bits [7:6], the LTM4678: <ul style="list-style-type: none"> • Sets the corresponding fault bit in the status commands and • Notifies the host by asserting $\overline{\text{ALERT}}$ pin, unless masked. The fault bit, once set, is cleared only when one or more of the following events occurs: <ul style="list-style-type: none"> • The device receives a CLEAR_FAULTS command. • The output is commanded through the RUN pin, the OPERATION command, or the combined action of the RUN pin and OPERATION command, to turn off and then to turn back on, or • The device receives a RESTORE_USER_ALL command. • The device receives a MFR_RESET command. • The device supply power is cycled. 	00	The PMBus device continues operation without interruption. (Ignores the fault functionally)
		01	The PMBus device continues operation for the delay time specified by bits [2:0] and the delay time unit specified for that particular fault. If the fault condition is still present at the end of the delay time, the unit responds as programmed in the Retry Setting (bits [5:3]).
		10	The device shuts down (disables the output) and responds according to the retry setting in bits [5:3].
		11	Not supported. Writing this value will generate a CML fault.
5:3	Retry Setting	000	The unit does not attempt to restart. The output remains disabled until the fault is cleared until the device is commanded OFF bias power is removed.
		111	The PMBus device attempts to restart continuously, without limitation, until it is commanded OFF (by the RUN pin or OPERATION command or both), bias power is removed, or another fault condition causes the unit to shut down without retry. Note: The retry interval is set by the MFR_RETRY_DELAY command.
2:0	Delay Time	000-111	The delay time in 10 μ s increments. This delay time determines how long the controller continues operating after a fault is detected. Only valid for deglitched off state.

PMBus コマンドの詳細

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 13 に示したものです。

また、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS_BYTE の NONE_OF_THE_ABOVE ビットを設定する
- STATUS_WORD の VOUT ビットを設定する
- STATUS_VOUT コマンドの TON_MAX_FAULT ビットを設定する
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートすることにより、ホストに通知する

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

注記: PWM チャンネルは TON_MAX_FAULT_LIMIT を超えるまで不連続モードのままです。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

出力電流に対する障害応答

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
IOUT_OC_FAULT_RESPONSE	0x47	Action to be taken by the device when an output overcurrent fault is detected.	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 9 に示したものです。

また、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS_BYTE の NONE_OF_THE_ABOVE ビットを設定する
- STATUS_BYTE の IOUT_OC ビットを設定する
- STATUS_WORD の IOUT ビットを設定する
- STATUS_IOUT コマンドの IOUT 過電流障害ビットを設定する
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートすることにより、ホストに通知する

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細

表 16. OUT_OC_FAULT_RESPONSE のデータ・バイトの内容

BITS	DESCRIPTION	VALUE	MEANING
7:6	Response For all values of bits [7:6], the LTM4678: <ul style="list-style-type: none"> • Sets the corresponding fault bit in the status commands and • Notifies the host by asserting $\overline{\text{ALERT}}$ pin, unless masked. The fault bit, once set, is cleared only when one or more of the following events occurs: <ul style="list-style-type: none"> • The device receives a CLEAR_FAULTS command. • The output is commanded through the RUN pin, the OPERATION command, or the combined action of the RUN pin and OPERATION command, to turn off and then to turn back on, or • The device receives a RESTORE_USER_ALL command. • The device receives a MFR_RESET command. • The device supply power is cycled. 	00	The LTM4678 continues to operate indefinitely while maintaining the output current at the value set by IOUT_OC_FAULT_LIMIT without regard to the output voltage (known as constant-current or brick-wall limiting).
		01	Not supported.
		10	The LTM4678 continues to operate, maintaining the output current at the value set by IOUT_OC_FAULT_LIMIT without regard to the output voltage, for the delay time set by bits [2:0]. If the device is still operating in current limit at the end of the delay time, the device responds as programmed by the Retry Setting in bits [5:3].
		11	The LTM4678 shuts down immediately and responds as programmed by the Retry Setting in bits [5:3].
5:3	Retry Setting	000	The unit does not attempt to restart. The output remains disabled until the fault is cleared by cycling the RUN pin or removing bias power.
		111	The device attempts to restart continuously, without limitation, until it is commanded OFF (by the RUN pin or OPERATION command or both), bias power is removed, or another fault condition causes the unit to shut down. Note: The retry interval is set by the MFR_RETRY_DELAY command.
2:0	Delay Time	000-111	The number of delay time units in 16ms increments. This delay time is used to determine the amount of time a unit is to continue operating after a fault is detected before shutting down. Only valid for deglitched off response.

IC 温度に対する障害応答

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
MFR_OT_FAULT_RESPONSE	0xD6	Action to be taken by the device when an internal overtemperature fault is detected.	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 12 に示したものです。

また、LTM4678 の動作は以下のようになります。

- STATUS_BYTE の NONE_OF_THE_ABOVE ビットを設定する
- STATUS_WORD の MFR ビットを設定する
- STATUS_MFR_SPECIFIC コマンドの過熱障害ビットを設定する
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートすることにより、ホストに通知する

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細

表 17. MFR_OT_FAULT_RESPONSE のデータ・バイトの内容

BITS	DESCRIPTION	VALUE	MEANING
7:6	Response For all values of bits [7:6], the LTM4678: <ul style="list-style-type: none"> Sets the corresponding fault bit in the status commands and Notifies the host by asserting $\overline{\text{ALERT}}$ pin, unless masked. The fault bit, once set, is cleared only when one or more of the following events occurs: <ul style="list-style-type: none"> The device receives a CLEAR_FAULTS command. The output is commanded through the RUN pin, the OPERATION command, or the combined action of the RUN pin and OPERATION command, to turn off and then to turn back on, or Bias power is removed and reapplied to the LTM4678. 	00	Not supported. Writing this value will generate a CML fault.
		01	Not supported. Writing this value will generate a CML fault
		10	The device shuts down immediately (disables the output) and responds according to the retry setting in bits [5:3].
		11	The device's output is disabled while the fault is present. Operation resumes and the output is enabled when the fault condition no longer exists.
5:3	Retry Setting	000	The unit does not attempt to restart. The output remains disabled until the fault is cleared.
		001-111	Not supported. Writing this value will generate CML fault.
2:0	Delay Time	XXX	Not supported. Value ignored

外部温度に対する障害応答

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
OT_FAULT_RESPONSE	0x50	Action to be taken by the device when an external overtemperature fault is detected,	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xB8
UT_FAULT_RESPONSE	0x54	Action to be taken by the device when an external undertemperature fault is detected.	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xB8

OT_FAULT_RESPONSE

OT_FAULT_RESPONSE コマンドは、外部温度センサーにおける外部過熱障害に対してどう動作するべきかをデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットは、表 13 に示したものです。

また、デバイスの動作は以下のようになります。

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

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

UT_FAULT_RESPONSE

UT_FAULT_RESPONSE コマンドは、外部温度センサーにおける外部低温障害に対してどう動作するべきかをデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットは、表 13 に示したものです。

また、デバイスの動作は以下のようになります。

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

PMBus コマンドの詳細

この状態は ADC によって検出されるので、応答時間は最大で $t_{CONVERT}$ 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 18. データ・バイトの内容: TON_MAX_FAULT_RESPONSE、VIN_OV_FAULT_RESPONSE、OT_FAULT_RESPONSE、UT_FAULT_RESPONSE

BITS	DESCRIPTION	VALUE	MEANING
7:6	Response For all values of bits [7:6], the LTM4678: <ul style="list-style-type: none"> • Sets the corresponding fault bit in the status commands, and • Notifies the host by asserting \overline{ALERT} pin, unless masked. The fault bit, once set, is cleared only when one or more of the following events occurs: <ul style="list-style-type: none"> • The device receives a CLEAR_FAULTS command. • The output is commanded through the RUN pin, the OPERATION command, or the combined action of the RUN pin and OPERATION command, to turn off and then to turn back on, or • The device receives a RESTORE_USER_ALL command. • The device receives a MFR_RESET command. • The device supply power is cycled. 	00	The PMBus device continues operation without interruption.
		01	Not supported. Writing this value will generate a CML fault.
		10	The device shuts down immediately (disables the output) and responds according to the retry setting in bits [5:3].
		11	Not supported. Writing this value will generate a CML fault.
5:3	Retry Setting	000	The unit does not attempt to restart. The output remains disabled until the fault is cleared until the device is commanded OFF bias power is removed.
		111	The PMBus device attempts to restart continuously, without limitation, until it is commanded OFF (by the RUN pin or OPERATION command or both), bias power is removed, or another fault condition causes the unit to shut down without retry. Note: The retry interval is set by the MFR_RETRY_DELAY command.
2:0	Delay Time	XXX	Not supported. Values ignored

障害信号の共有

障害信号の共有と伝搬

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
MFR_FAULT_PROPAGATE	0xD2	Configuration that determines which faults are propagated to the FAULT pins.	R/W Word	Y	Reg		Y	0x6993

MFR_FAULT_PROPAGATE

MFR_FAULT_PROPAGATE コマンド $FAULT_n$ 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 19 に示すとおりです。障害信号を $FAULT_n$ ピンに伝搬できるのは、障害信号が障害にตอบสนองするようプログラムされている場合に限りです。

このコマンドは 2 バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細

表 19. FAULT_n の障害信号伝搬設定

FAULT₀ ピンおよび FAULT₁ ピンは、選択されたイベントをユーザに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あります。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。

BIT(S)	SYMBOL	OPERATION
B[15]	VOUT disabled while not decayed.	This is used in a PolyPhase configuration when bit 0 of the MFR_CHAN_CONFIG_LTM4678 is a zero. If the channel is turned off, by toggling the RUN pin or commanding the part OFF, and then the RUN is reasserted or the part is commanded back on before the output has decayed, VOUT will not restart until the 12.5% decay is honored. The FAULT pin is asserted during this condition if bit 15 is asserted.
B[14]	Mfr_fault_propagate_short_CMD_cycle	0: No action 1: Asserts low if commanded off then on before the output has sequenced off. Re-asserts high t _{OFF(MIN)} after sequence off.
b[13]	Mfr_fault_propagate_ton_max_fault	0: No action if a TON_MAX_FAULT fault is asserted 1: Associated output will be asserted low if a TON_MAX_FAULT fault is asserted FAULT ₀ is associated with page 0 TON_MAX_FAULT faults FAULT ₁ is associated with page 1 TON_MAX_FAULT faults
b[12]	Reserved	
b[11]	Mfr_fault0_propagate_int_ot, Mfr_fault1_propagate_int_ot	0: No action if the MFR_OT_FAULT_LIMIT fault is asserted 1: Associated output will be asserted low if the MFR_OT_FAULT_LIMIT fault is asserted
b[10]	Reserved	
b[9]	Reserved	
b[8]	Mfr_fault0_propagate_ut, Mfr_fault1_propagate_ut	0: No action if the UT_FAULT_LIMIT fault is asserted 1: Associated output will be asserted low if the UT_FAULT_LIMIT fault is asserted FAULT ₀ is associated with page 0 UT faults FAULT ₁ is associated with page 1 UT faults
b[7]	Mfr_fault0_propagate_ot, Mfr_fault1_propagate_ot	0: No action if the OT_FAULT_LIMIT fault is asserted 1: Associated output will be asserted low if the OT_FAULT_LIMIT fault is asserted FAULT ₀ is associated with page 0 OT faults FAULT ₁ is associated with page 1 OT faults
b[6]	Reserved	
b[5]	Reserved	
b[4]	Mfr_fault0_propagate_input_ov, Mfr_fault1_propagate_input_ov	0: No action if the VIN_OV_FAULT_LIMIT fault is asserted 1: Associated output will be asserted low if the VIN_OV_FAULT_LIMIT fault is asserted
b[3]	Reserved	
b[2]	Mfr_fault0_propagate_iout_oc, Mfr_fault1_propagate_iout_oc	0: No action if the IOUT_OC_FAULT_LIMIT fault is asserted 1: Associated output will be asserted low if the IOUT_OC_FAULT_LIMIT fault is asserted FAULT ₀ is associated with page 0 OC faults FAULT ₁ is associated with page 1 OC faults
b[1]	Mfr_fault0_propagate_vout_uv, Mfr_fault1_propagate_vout_uv	0: No action if the VOUT_UV_FAULT_LIMIT fault is asserted 1: Associated output will be asserted low if the VOUT_UV_FAULT_LIMIT fault is asserted FAULT ₀ is associated with page 0 UV faults FAULT ₁ is associated with page 1 UV faults
b[0]	Mfr_fault0_propagate_vout_ov, Mfr_fault1_propagate_vout_ov	0: No action if the VOUT_OV_FAULT_LIMIT fault is asserted 1: Associated output will be asserted low if the VOUT_OV_FAULT_LIMIT fault is asserted FAULT ₀ is associated with page 0 OV faults FAULT ₁ is associated with page 1 OV faults

PMBus コマンドの詳細

障害共有信号の応答

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
MFR_FAULT_RESPONSE	0xD5	Action to be taken by the device when the FAULT pin is asserted low.	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xC0

MFR_FAULT_RESPONSE

MFR_FAULT_RESPONSE コマンドは、 $\overline{\text{FAULT}}_n$ ピンが外部信号源によってローになった場合にどう動作するべきかをデバイスに指示します。

サポート対象値:

VALUE	MEANING
0xC0	FAULT_INHIBIT The LTM4678 will three-state the output in response to the $\overline{\text{FAULT}}$ pin pulled low.
0x00	FAULT_IGNORE The LTM4678 continues operation without interruption.

また、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS_WORD の MFR ビットを設定する
- STATUS_MFR_SPECIFIC コマンドのビット 0 を設定し、 $\overline{\text{FAULT}}_n$ をローにする
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートすることにより、ホストに通知する

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

スクラッチパッド

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
USER_DATA_00	0xB0	OEM reserved. Typically used for part serialization.	R/W Word	N	Reg		Y	NA
USER_DATA_01	0xB1	Manufacturer reserved for LTpowerPlay.	R/W Word	Y	Reg		Y	NA
USER_DATA_02	0xB2	OEM reserved. Typically used for part serialization.	R/W Word	N	Reg		Y	NA
USER_DATA_03	0xB3	A NVM word available for the user.	R/W Word	Y	Reg		Y	0x0000
USER_DATA_04	0xB4	A NVM word available for the user.	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。

PMBus コマンドの詳細

識別情報

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
PMBus_REVISION	0x98	PMBus revision supported by this device. Current revision is 1.2.	R Byte	N	Reg		FS	0x22
CAPABILITY	0x19	Summary of PMBus optional communication protocols supported by this device.	R Byte	N	Reg			0xB0
MFR_ID	0x99	The manufacturer ID of the LTM4678 in ASCII.	R String	N	ASC			LTC
MFR_MODEL	0x9A	Manufacturer part number in ASCII.	R String	N	ASC			LTM4678
MFR_SPECIAL_ID	0xE7	Manufacturer code representing the LTM4678.	R Word	N	Reg			0x410x

PMBus_REVISION

PMBUS_REVISION コマンドは、デバイスが準拠する PMBus のリビジョンを示します。LTM4678 は、PMBus バージョン 1.2 の Part I および Part II の両方に準拠しています。

この読み出し専用コマンドは 1 バイトのデータを伴います。

CAPABILITY

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

LTM4678 は、パケット・エラー・チェック、400kHz のバス速度、および $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをサポートしています。

この読み出し専用コマンドは 1 バイトのデータを伴います。

MFR_ID

MFR_ID コマンドは、LTM4678 のメーカー ID を ASCII 文字を使用して表示します。

この読み出し専用コマンドにはブロック・フォーマットが設定されています。

MFR_MODEL

MFR_MODEL コマンドは、LTM4678 のメーカー製品番号を ASCII 文字を使用して表示します。

この読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。

MFR_SPECIAL_ID

デバイスの名称とリビジョンを表す、16 ビットのワードです。0x41 はデバイスが LTM4678 であることを示します。XX はメーカーによって調整可能です。

この読み出し専用コマンドは 2 バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細

障害および警告のステータス

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
CLEAR_FAULTS	0x03	Clear any fault bits that have been set.	Send Byte	N				NA
SMBALERT_MASK	0x1B	Mask activity.	Block R/W	Y	Reg		Y	See CMD Details
MFR_CLEAR_PEAKS	0xE3	Clears all peak values.	Send Byte	Y				NA
STATUS_BYTE	0x78	One byte summary of the unit's fault condition.	R/W Byte	Y	Reg			NA
STATUS_WORD	0x79	Two byte summary of the unit's fault condition.	R/W Word	Y	Reg			NA
STATUS_VOUT	0x7A	Output voltage fault and warning status.	R/W Byte	Y	Reg			NA
STATUS_IOUT	0x7B	Output current fault and warning status.	R/W Byte	Y	Reg			NA
STATUS_INPUT	0x7C	Input supply fault and warning status.	R/W Byte	N	Reg			NA
STATUS_TEMPERATURE	0x7D	External temperature fault and warning status for READ_TEMPERATURE_1.	R/W Byte	Y	Reg			NA
STATUS_CML	0x7E	Communication and memory fault and warning status.	R/W Byte	N	Reg			NA
STATUS_MFR_SPECIFIC	0x80	Manufacturer specific fault and state information.	R/W Byte	Y	Reg			NA
MFR_PADS	0xE5	Digital status of the I/O pads.	R Word	N	Reg			NA
MFR_COMMON	0xEF	Manufacturer status bits that are common across multiple ADI chips.	R Byte	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 10µs 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

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

PMBus コマンドの詳細

図50に「ブロック書込み – ブロック読み出しプロセス呼び出し」プロトコルの例を示します。これは、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_LTM4678のいずれにも適用できません。適用できるステータス・レジスタの出荷時のデフォルトのマスキング設定を以下に示します。サポートされていないコマンド・コードをSMBALERT_MASKに設定すると、無効なデータ/サポートされていないデータに対してCMLが生成されます。

SMBALERT_MASKのデフォルト設定: (図2も参照)

STATUS RESISTER	ALERT Mask Value	MASKED BITS
STATUS_VOUT	0x00	None
STATUS_IOUT	0x00	None
STATUS_TEMPERATURE	0x00	None
STATUS_CML	0x00	None
STATUS_INPUT	0x00	None
STATUS_MFR_SPECIFIC	0x11	Bit 4 (internal PLL unlocked), bit 0 (FAULT pulled low by external device)

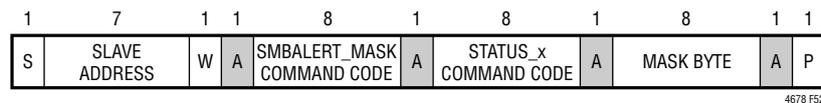


図52. SMBALERT_MASK 書込みの例

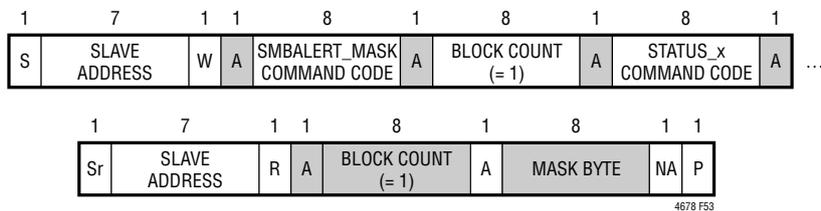


図53. SMBALERT_MASK 読み出しの例

MFR_CLEAR_PEAKS

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

この書込み専用コマンドにはデータ・バイトはありません。

STATUS_BYTE

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

PMBus コマンドの詳細

STATUS_BYTE のメッセージの内容:

BIT	STATUS BIT NAME	MEANING
7*	BUSY	A fault was declared because the LTM4678 was unable to respond.
6	OFF	This bit is set if the channel is not providing power to its output, regardless of the reason, including simply not being enabled.
5	VOUT_OV	An output overvoltage fault has occurred.
4	IOUT_OC	An output overcurrent fault has occurred.
3	VIN_UV	Not supported (LTM4678 returns 0).
2	TEMPERATURE	A temperature fault or warning has occurred.
1	CML	A communications, memory or logic fault has occurred.
0*	NONE OF THE ABOVE	A fault Not listed in bits[7:1] has occurred.

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

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

STATUS_WORD

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

STATUS_WORD の上位バイトのメッセージの内容:

BIT	STATUS BIT NAME	MEANING
15	VOUT	An output voltage fault or warning has occurred.
14	IOUT	An output current fault or warning has occurred.
13	INPUT	An input voltage fault or warning has occurred.
12	MFR_SPECIFIC	A fault or warning specific to the LTM4678 has occurred.
11	POWER_GOOD#	The POWER_GOOD state is false if this bit is set.
10	FANS	Not supported (LTM4678 returns 0).
9	OTHER	Not supported (LTM4678 returns 0).
8	UNKNOWN	Not supported (LTM4678 returns 0).

上位バイトのいずれかのビットを設定すると、NONE_OF_THE_ABOVE がアサートされます。

このコマンドは2バイトのデータを伴います。

STATUS_VOUT

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

STATUS_VOUT のメッセージの内容:

BIT	MEANING
7	V _{OUT} overvoltage fault.
6	V _{OUT} overvoltage warning.
5	V _{OUT} undervoltage warning.
4	V _{OUT} undervoltage fault.
3	V _{OUT} max warning.
2	TON max fault.
1	TOFF max fault.
0	Not supported (LTM4678 returns 0).

PMBus コマンドの詳細

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

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

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

STATUS_IOUT

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

STATUS_IOUT のメッセージの内容:

BIT	MEANING
7	I _{OUT} overcurrent fault.
6	Not supported (LTM4678 returns 0).
5	I _{OUT} overcurrent warning.
4:0	Not supported (LTM4678 returns 0).

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

このコマンドが対応している障害ビットにより、 $\overline{\text{ALERT}}$ イベントが起動します。このコマンドは1バイトのデータを伴います。

STATUS_INPUT

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

STATUS_INPUT のメッセージの内容:

BIT	MEANING
7	V _{IN} overvoltage fault.
6	Not supported (LTM4678 returns 0).
5	V _{IN} undervoltage warning.
4	Not supported (LTM4678 returns 0).
3	Unit off for insufficient V _{IN} .
2	Not supported (LTM4678 returns 0).
1	I _{IN} overcurrent warning.
0	Not supported (LTM4678 returns 0).

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

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

PMBus コマンドの詳細

STATUS_TEMPERATURE

STATUS_TEMPERATURE コマンドは、温度に関する1バイトのステータス情報を返します。これはページ化コマンドであり、READ_TEMPERATURE_1 のそれぞれの値と関係があります。

STATUS_TEMPERATURE のメッセージの内容:

BIT	MEANING
7	External overtemperature fault.
6	External overtemperature warning.
5	Not supported (LTM4678 returns 0).
4	External undertemperature fault.
3:0	Not supported (LTM4678 returns 0).

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

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

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:

BIT	MEANING
7	Invalid or unsupported command received.
6	Invalid or unsupported data received.
5	Packet error check failed.
4	Memory fault detected.
3	Processor fault detected.
2	Reserved (LTM4678 returns 0).
1	Other communication fault.
0	Other memory or logic fault.

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

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

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

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細

STATUS_MFR_SPECIFIC

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

このバイトのフォーマットは次のとおりです。

BIT	MEANING
7	Internal Temperature Fault Limit Exceeded.
6	Internal Temperature Warn Limit Exceeded.
5	Factory Trim Area NVM CRC Fault.
4	PLL is Unlocked
3	Fault Log Present
2	VDD33 UV or OV Fault
1	ShortCycle Event Detected
0	FAULT Pin Asserted Low by External Device

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

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

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

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

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。

BIT	ASSIGNED DIGITAL PIN
15	VDD33 OV Fault
14	VDD33 UV Fault
13	Reserved
12	Reserved
11	ADC Values Invalid, Occurs During Start-Up. May Occur Briefly on Current Measurement Channels During Normal Operation
10	SYNC clocked by external device (when LTM4678 configured to drive SYNC pin)
9	Channel 1 Power Good
8	Channel 0 Power Good
7	LTM4678 Driving RUN1 Low
6	LTM4678 Driving RUN0 Low
5	RUN1 Pin State
4	RUN0 Pin State
3	LTM4678 Driving $\overline{\text{FAULT1}}$ Low
2	LTM4678 Driving $\overline{\text{FAULT0}}$ Low
1	$\overline{\text{FAULT1}}$ Pin State
0	$\overline{\text{FAULT0}}$ Pin State

1は条件が真であることを示します。

この読み出し専用コマンドは2バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細

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。

BIT	MEANING
7	Module Not Driving ALERT Low
6	LTM4678 Not Busy
5	Calculations Not Pending
4	LTM4678 Outputs Not in Transition
3	NVM Initialized
2	Reserved
1	SHARE_CLK Timeout
0	WP Pin Status

この読み出し専用コマンドは1バイトのデータを伴います。

MFR_INFO

MFR_INFO コマンドには、LTC3884 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

BIT	MEANING
15:5	Reserved.
4	EEPROM ECC status. 0: Corrections made in the EEPROM user space. 1: No corrections made in the EEPROM user space.
3:0	Reserved

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

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
READ_VIN	0x88	Measured input supply voltage.	R Word	N	L11	V		NA
READ_IIN	0x89	Measured input supply current.	R Word	N	L11	A		NA
READ_VOUT	0x8B	Measured output voltage.	R Word	Y	L16	V		NA
READ_IOUT	0x8C	Measured output current.	R Word	Y	L11	A		NA
READ_TEMPERATURE_1	0x8D	Power stage temperature sensor. This is the value used for all temperature related processing, including MFR_IOUT_CAL_GAIN.	R Word	Y	L11	C		NA
READ_TEMPERATURE_2	0x8E	Internal junction temperature. Does not affect any other controller commands.	R Word	N	L11	C		NA
READ_FREQUENCY	0x95	Measured PWM switching frequency.	R Word	Y	L11	Hz		NA
READ_POUT	0x96	Calculated output power.	R Word	Y	L11	W		NA
READ_PIN	0x97	Calculated input power.	R Word	N	L11	W		NA
MFR_PIN_ACCURACY	0xAC	Returns the accuracy of the READ_PIN command	R Byte	N		%		5.0%

PMBus コマンドの詳細

MFR_IOUT_PEAK	0xD7	Report the maximum measured value of READ_IOUT since last MFR_CLEAR_PEAKS.	R Word	Y	L11	A		NA
MFR_VOUT_PEAK	0xDD	Maximum measured value of READ_VOUT since last MFR_CLEAR_PEAKS.	R Word	Y	L16	V		NA
MFR_VIN_PEAK	0xDE	Maximum measured value of READ_VIN since last MFR_CLEAR_PEAKS.	R Word	N	L11	V		NA
MFR_TEMPERATURE_1_PEAK	0xDF	Maximum measured value of external Temperature (READ_TEMPERATURE_1) since last MFR_CLEAR_PEAKS.	R Word	Y	L11	C		NA
MFR_READ_IIN_PEAK	0xE1	Maximum measured value of READ_IIN command since last MFR_CLEAR_PEAKS.	R Word	N	L11	A		NA
MFR_READ_ICHIP	0xE4	Measured current used by the LTM4678.	R Word	N	L11	A		NA
MFR_TEMPERATURE_2_PEAK	0xF4	Peak internal die temperature since last MFR_CLEAR_PEAKS.	R Word	N	L11	C		NA
MFR_ADC_CONTROL	0xD8	ADC telemetry parameter selected for repeated fast ADC read back.	R/W Byte	N	N	Reg		NA

READ_VIN

READ_VIN コマンドは V_{IN} ピンの測定電圧に READ_ICHIP • MFR_RVIN を加算した値 (V) を返します。これにより、LTM4678 の電源電流による、 V_{IN} フィルタ素子両端での IR 電圧降下が補償されます。

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_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 コマンドによって測定された出力電圧を返します。

この読み出し専用コマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear_16u フォーマットが設定されています。

READ_IIN

READ_IIN コマンドは、入力電流検出抵抗の両端で測定された入力電流 (A) を返します (MFR_IIN_CAL_GAIN も参照)。

この読み出し専用コマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear_5s_11s フォーマットが設定されています。

READ_IOUT

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

- I_{SENSE} ピンの両端で測定された差動電圧
- IOUT_CAL_GAIN の値
- MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC の値
- READ_TEMPERATURE_1 の値
- MFR_TEMP_1_GAIN および MFR_TEMP_1_OFFSET の値

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_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、パワー段検出素子の温度 (°C) を返します。

この読み出し専用コマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear_5s_11s フォーマットが設定されています。

PMBus コマンドの詳細

READ_TEMPERATURE_2

READ_TEMPERATURE_2 コマンドは、内部検出素子が検出した LTM4678 のダイ温度 (°C) を返します。この読み出し専用コマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear_5s_11s フォーマットが設定されています。

READ_FREQUENCY

READ_FREQUENCY コマンドは、PWM スイッチング周波数の読み出し値 (kHz) です。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_5s_11s フォーマットが設定されています。

READ_POUT

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

READ_PIN コマンドは、DC/DC コンバータの入力電力の読み出し値 (W) です。PIN は、入力電圧と入力電流の最新の読み出し値に基づいて計算されます。この読み出し専用コマンドは 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_PIN_ACCURACY

MFR_PIN_ACCURACY コマンドは、READ_PIN コマンドによって返された値の精度 (%) を返します。1 バイトのデータがあります。値は 1 ビットにつき 0.1% で、±0.0% ~ ±25.5% の範囲が得られます。この読み出し専用コマンドは 1 バイトのデータを伴い、符号なしの整数としてフォーマットが設定されています。

MFR_IOUT_PEAK

MFR_IOUT_PEAK コマンドは、READ_IOUT 測定の最大電流 (A) を報告します。このコマンドは、MFR_CLEAR_PEAKS コマンドを使用してクリアされます。この読み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_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。

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。この読み出し専用コマンドは 2 バイトのデータを伴い、Linear_5s_11s フォーマットが設定されています。

PMBus コマンドの詳細

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。

この読み出し専用コマンドは2バイトのデータを伴い、Linear_5s_11s フォーマットが設定されています。

MFR_READ_IIN_PEAK

MFR_READ_IIN_PEAK コマンドは、READ_IIN 測定の最大電流(A)を報告します。

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

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear_5s_11s フォーマットが設定されています。

MFR_READ_ICHIP

MFR_READ_ICHIP コマンドは、LTM4678 が使用した入力電流測定値(A)を返します。

このコマンドは2バイトのデータを伴い、Linear_5s_11s フォーマットが設定されています。

MFR_TEMPERATURE_2_PEAK

MFR_TEMPERATURE_2_PEAK コマンドは、READ_TEMPERATURE_2 測定の最大温度(°C)を報告します。

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

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

PMBus コマンドの詳細

COMMANDED VALUE	TELEMETRY COMMAND NAME	DESCRIPTION
0x0F		Reserved
0x0E		Reserved
0x0D		Reserved
0x0C	READ_TEMPERATURE_1	Channel 1 external temperature
0x0B		Reserved
0x0A	READ_IOUT	Channel 1 measured output current
0x09	READ_VOUT	Channel 1 measured output voltage
0x08	READ_TEMPERATURE_1	Channel 0 external temperature
0x07		Reserved
0x06	READ_IOUT	Channel 0 measured output current
0x05	READ_VOUT	Channel 0 measured output voltage
0x04	READ_TEMPERATURE_2	Internal junction temperature
0x03	READ_IIN	Measured input supply current
0x02	MFR_READ_ICHIP	Measured supply current of the LTM4678
0x01	READ_VIN	Measured input supply voltage
0x00		Standard ADC Round Robin Telemetry

予備のコマンド値を入力すると、遠隔測定はデフォルトで内部 IC 温度になり、CML 障害信号を出力します。有効なコマンド値を入力するまで、LTM4678 によって CML 障害信号が出力され続けます。測定された入力電源電圧の精度が高くなるのは、MFR_ADC_CONTROL コマンドを標準の順繰り遠隔測定に設定した場合に限ります。

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

NVM メモリ・コマンド

STORE/RESTORE

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
STORE_USER_ALL	0x15	Store user operating memory to EEPROM.	Send Byte	N				NA
RESTORE_USER_ALL	0x16	Restore user operating memory from EEPROM.	Send Byte	N				NA
MFR_COMPARE_USER_ALL	0xF0	Compares current command contents with NVM.	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 メモリの対応する位置にコピーするよう、PMBus デバイスに指示します。

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

LTM4678 との通信および NVM のプログラミングを開始できるのは、EXTV_{CC} または VDD33 が供給されていて、VIN を印加していない場合です。グローバル・アドレス 0x5B を使用して、デバイスをこの状態でイネーブルするには、MFR_EE_UNLOCK に 0x2B を書き込み、続いて 0xC4 を書き込みます。これにより、LTM4678 が正常に通信して、プロジェクト・ファイルを更新す

PMBus コマンドの詳細

ことができます。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。VIN を印加したら、MFR_RESET を発行してPWMをイネーブルし、有効なA/D変換結果を読み出すことができるようにする必要があります。

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトはありません。

RESTORE_USER_ALL

RESTORE_USER_ALL コマンドは、不揮発性メモリの内容を、動作メモリの対応する位置にコピーするようLTM4678に指示します。動作メモリの値は、ユーザ・コマンドによって取得される値により上書きされます。LTM4678は、両方のチャンネルがオフであることを確認し、動作メモリを内部EEPROMからロードし、全ての障害信号をクリアし、抵抗設定ピンを読み出して、該当する場合は両方のPWMチャンネルのソフトスタートを実行します。

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

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトはありません。

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。

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。

障害ログ

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
MFR_FAULT_LOG	0xEE	Fault log data bytes.	R Block	N	CF		Y	NA
MFR_FAULT_LOG_STORE	0xEA	Command a transfer of the fault log from RAM to EEPROM.	Send Byte	N				NA
MFR_FAULT_LOG_CLEAR	0xEC	Initialize the EEPROM block reserved for fault logging.	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15に記載されています。MFR_FAULT_LOG コマンドにアクセスするときに障害ログが存在しない場合、コマンドはデータ長として0を返します。障害ログが存在する場合、MFR_FAULT_LOGは147バイト長のデータ・ブロックを返します。電源を投入して1秒以内に障害が発生した場合は、障害ログの先頭付近のページに有効データが含まれていないことがあります。

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

この読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。

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NVMに強制的に書き込みます。MFR_CONFIG_ALL コマンドのビット7「障害ログを有効にする」が設定されている場合、このコマンドはSTATUS_MFR_SPECIFIC 障害のビット3を設定します。

ダイ温度が130°Cを超えた場合、ICの温度が125°Cより低くなるまでMFR_FAULT_LOG_STORE コマンドは無効になります。この書込み専用コマンドにはデータ・バイトはありません。

表 20. 障害ログ

この表は、MFR_FAULT_LOG コマンドの読出しブロック・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。

Data Format Definitions				LIN 11 = PMBus = Rev 1.2, Part 2, section 7.1
				LIN 16 = PMBus Rev 1.2, Part 2, section 8. Mantissa portion only
				BYTE = 8 bits interpreted per definition of this command
DATA	BITS	DATA FORMAT	BYTE NUM	BLOCK READ COMMAND
Block Length		BYTE	147	The MFR_FAULT_LOG command is a fixed length of 147 bytes The block length will be zero if a data log event has not been captured
HEADER INFORMATION				
Fault Log Preface	[7:0]	ASC	0	Returns LTxx beginning at byte 0 if a partial or complete fault log exists. Word xx is a factory identifier that may vary part to part.
	[7:0]		1	
	[15:8]	Reg	2	
	[7:0]		3	
Fault Source	[7:0]	Reg	4	Refer to Table 16.
MFR_REAL_TIME	[7:0]	Reg	5	48 bit share-clock counter value when fault occurred (200µs resolution).
	[15:8]		6	
	[23:16]		7	
	[31:24]		8	
	[39:32]		9	
	[47:40]		10	
MFR_VOUT_PEAK (PAGE 0)	[15:8]	L16	11	Peak READ_VOUT on Channel 0 since last power-on or CLEAR_PEAKS command.
	[7:0]		12	
MFR_VOUT_PEAK (PAGE 1)	[15:8]	L16	13	Peak READ_VOUT on Channel 1 since last power-on or CLEAR_PEAKS command.
	[7:0]		14	
MFR_IOUT_PEAK (PAGE 0)	[15:8]	L11	15	Peak READ_IOUT on Channel 0 since last power-on or CLEAR_PEAKS command.
	[7:0]		16	
MFR_IOUT_PEAK (PAGE 1)	[15:8]	L11	17	Peak READ_IOUT on Channel 1 since last power-on or CLEAR_PEAKS command.
	[7:0]		18	
MFR_VIN_PEAK	[15:8]	L11	19	Peak READ_VIN since last power-on or CLEAR_PEAKS command.
	[7:0]		20	
READ_TEMPERATURE1 (PAGE 0)	[15:8]	L11	21	Power stage temperature sensor 0 during last event.
	[7:0]		22	
READ_TEMPERATURE1 (PAGE 1)	[15:8]	L11	23	Power stage temperature sensor 1 during last event.
	[7:0]		24	
READ_TEMPERATURE2	[15:8]	L11	25	LTM4678 die temperature sensor during last event.
	[7:0]		26	

PMBus コマンドの詳細

CYCLICAL DATA

EVENT n (Data at Which Fault Occurred; Most Recent Data)				Event "n" represents one complete cycle of ADC reads through the MUX at time of fault. Example: If the fault occurs when the ADC is processing step 15, it will continue to take readings through step 25 and then store the header and all 6 event pages to EEPROM
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	
EVENT n-1 (data measured before fault was detected)				
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	

PMBus コマンドの詳細

STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 0)		BYTE	65	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 1)		BYTE	66	
EVENT n-5 (Oldest Recorded Data)				
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	

表 21. Position_Fault の値の説明

POSITION_FAULT VALUE	SOURCE OF FAULT LOG
0xFF	MFR_FAULT_LOG_STORE
0x00	TON_MAX_FAULT
0x01	VOUT_OV_FAULT
0x02	VOUT_UV_FAULT
0x03	IOUT_OC_FAULT
0x05	TEMP_OT_FAULT
0x06	TEMP_UT_FAULT
0x07	VIN_OV_FAULT
0x0A	MFR_TEMP_2_OT_FAULT

MFR_INFO

詳細については弊社にご連絡ください。

MFR_IOUT_CAL_GAIN

詳細については弊社にご連絡ください。

PMBus コマンドの詳細

MFR_FAULT_LOG_CLEAR

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

この書込み専用コマンドはバイト送信コマンドです。

ブロック・メモリの書込み/読み出し

COMMAND NAME	CMD CODE	DESCRIPTION	TYPE	PAGED	DATA FORMAT	UNITS	NVM	DEFAULT VALUE
MFR_EE_UNLOCK	0xBD	Unlock user EEPROM for access by MFR_EE_ERASE and MFR_EE_DATA commands.	R/W Byte	N	Reg			NA
MFR_EE_ERASE	0xBE	Initialize user EEPROM for bulk programming by MFR_EE_DATA.	R/W Byte	N	Reg			NA
MFR_EE_DATA	0xBF	Data transferred to and from EEPROM using sequential PMBus word reads or writes. Supports bulk programming.	R/W Word	N	Reg			NA

ダイ温度が 130°C を超えると、全ての NVM 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、NVM 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、LTM4678 の内部 EEPROM の一括プログラミングに役立ちます。詳細については弊社にご連絡ください。

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。

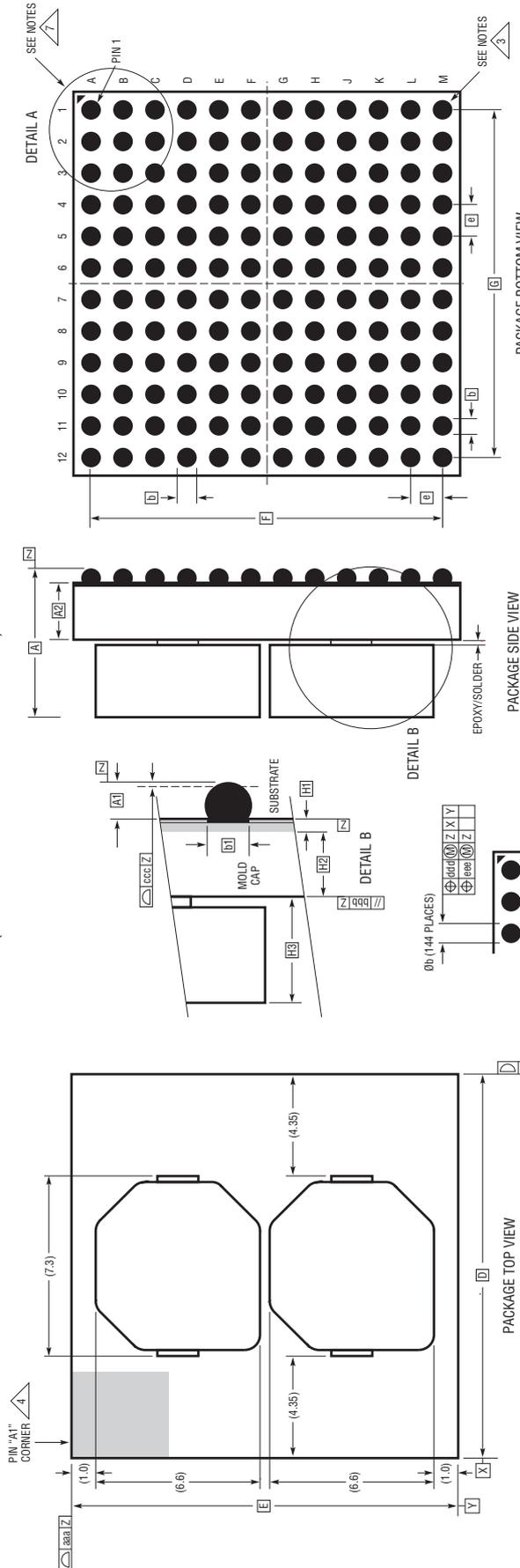
表 22. LTM4678 の BGA ピン配列

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	SW1	B1	GND	C1	GND	D1	SV _{IN}	E1	V _{IN1}	F1	V _{IN1}
A2	SW1	B2	SW1	C2	GND	D2	GND	E2	V _{IN1}	F2	V _{IN1}
A3	GND	B3	GND	C3	GND	D3	GND	E3	V _{IN1}	F3	V _{IN1}
A4	GND	B4	GND	C4	GND	D4	GND	E4	V _{IN1}	F4	V _{IN1}
A5	GND	B5	GND	C5	GND	D5	GND	E5	GND	F5	GND
A6	GND	B6	GND	C6	GND	D6	GND	E6	GND	F6	GND
A7	V _{OUT1}	B7	V _{OUT1}	C7	V _{OUT1}	D7	V _{OUT1}	E7	INTV _{CC}	F7	GND
A8	V _{OUT1}	B8	V _{OUT1}	C8	V _{OUT1}	D8	TSNS1b	E8	V _{DD33}	F8	EXTV _{CC}
A9	V _{OUT1}	B9	V _{OUT1}	C9	V _{OUT1}	D9	PGOOD1	E9	FSWPH_CFG	F9	SGND
A10	V _{OUT1}	B10	V _{OUT1}	C10	COMP1b	D10	COMP1a	E10	VTRIM1_CFG	F10	SGND
A11	V _{OSNS1} ⁺	B11	V _{OUT1}	C11	WP	D11	SHARE_CLK	E11	VOUT0_CFG	F11	RUN1
A12	V _{OSNS1} ⁻	B12	V _{OUT1}	C12	VTRIM0_CFG	D12	V _{DD25}	E12	VOUT1_CFG	F12	ASEL

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	V _{IN0}	H1	V _{IN0}	J1	I _{IN} ⁺	K1	I _{IN}	L1	GND	M1	SW0
G2	V _{IN0}	H2	V _{IN0}	J2	GND	K2	GND	L2	SW0	M2	SW0
G3	V _{IN0}	H3	V _{IN0}	J3	GND	K3	GND	L3	GND	M3	GND
G4	V _{IN0}	H4	V _{IN0}	J4	GND	K4	GND	L4	GND	M4	GND
G5	GND	H5	GND	J5	GND	K5	GND	L5	GND	M5	GND
G6	GND	H6	GND	J6	GND	K6	GND	L6	GND	M6	GND
G7	GND	H7	GND	J7	PGOOD0	K7	V _{OUT0}	L7	V _{OUT0}	M7	V _{OUT0}
G8	GND	H8	GND	J8	TSNS0b	K8	V _{OUT0}	L8	V _{OUT0}	M8	V _{OUT0}
G9	SGND	H9	COMP0b	J9	COMP0a	K9	V _{OUT0}	L9	V _{OUT0}	M9	V _{OUT0}
G10	SGND	H10	SDA	J10	TSNS1a	K10	V _{OUT0}	L10	V _{OUT0}	M10	V _{OUT0}
G11	FAULT1	H11	ALERT	J11	TSNS0a	K11	V _{OUT0}	L11	V _{OUT0}	M11	V _{OSNS0} ⁺
G12	RUN0	H12	FAULT0	J12	SCL	K12	SYNC	L12	V _{OUT0}	M12	V _{OSNS0} ⁻

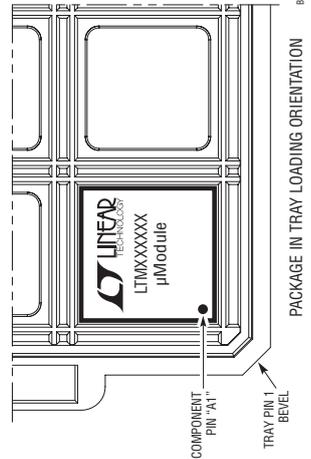
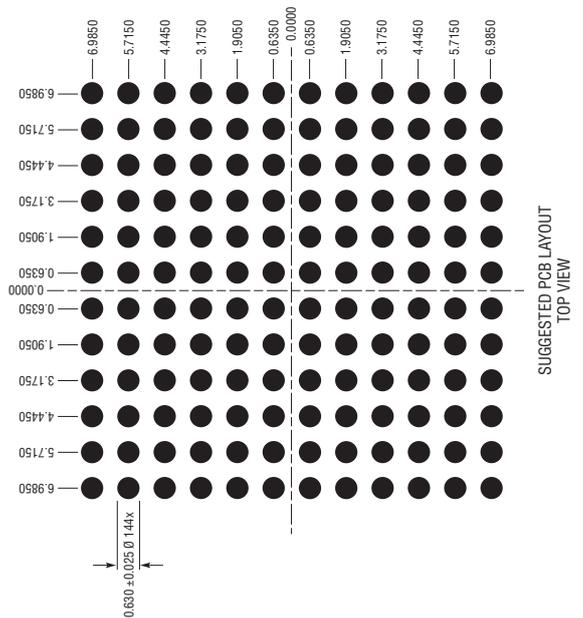
パッケージ

BGA Package
144-Lead (16mm × 16mm × 5.86mm)
 (Reference LTC DWG # 05-08-1540 Rev C)



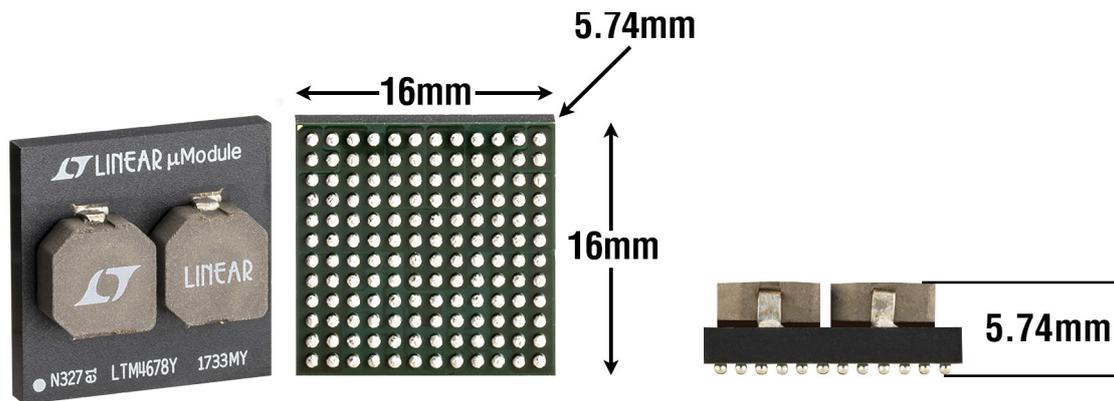
- 注記:
1. 寸法と許容誤差は ASME Y14.5M-1994 による
 2. 全ての寸法はミリメートル
 3. ボールの指定は JESD MS-028 および JEP95 による
 4. ピン #1 の識別マークの詳細はオプションだが、示された領域内にはなければならない。ピン #1 の識別マークはモールドまたはマーキングにすることができる
 5. 主データシートにはシーティングプレーン
 6. パッケージの行と列のラベルは、μModule 製品間で異なります。各パッケージのレイアウトを十分にご確認ください

DIMENSIONS				
SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTES
A	5.46	5.86	6.26	
A1	0.50	0.60	0.70	BALL HT
A2	2.23	2.32	2.41	
b	0.60	0.75	0.90	BALL DIMENSION
b1	0.60	0.63	0.66	PAD DIMENSION
D		16.00		
E		16.00		
e		1.27		
F		13.97		
G		13.97		
H1	0.28	0.32	0.36	SUBSTRATE THK
H2	1.95	2.00	2.05	MOLD CAP HT
H3	2.73	2.94	3.15	INDUCTOR HT
aaa			0.15	
bbb			0.10	
ccc			0.20	
ddd			0.30	
eee			0.15	
TOTAL NUMBER OF BALLS: 144				



LTM4678

パッケージの写真



デザイン・リソース

主題	概要
μModule の設計 / 製造リソース	<p>設計:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 選択ガイド • デモボードおよび Gerber ファイル • 無料シミュレーション・ツール <p>製造:</p> <ul style="list-style-type: none"> • クイック・スタート・ガイド • PCB の設計、組立、および製造ガイドライン • パッケージおよびボード・レベルの信頼性
μModule レギュレータ製品の検索	<p>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</p> <p>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</p> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>Quick Power Search</p> <p>Input V_{in} (Min) <input type="text"/> V V_{in} (Max) <input type="text"/> V</p> <p>Output V_{out} <input type="text"/> V I_{out} <input type="text"/> A</p> <p style="text-align: right;"><input type="button" value="Search"/></p> </div>
TechClip ビデオ	μModule 製品の電気的特性と熱特性のベンチマーク・テストの方法を詳しく説明した短いビデオ
デジタル・パワー・システム・マネージメント	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	概要	注釈
LTM4676A	LTM4677 より低消費電力、ピン互換	デュアル 13A 出力またはシングル 26A 出力
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	デュアル 18A 出力またはシングル 36A 出力
LTM4620/LTM4620A	LTM4677 より低消費電力だがデジタル・パワー・システム・マネージメント機能はない	デュアル 13A 出力またはシングル 26A 出力、LTM4630 とピン互換
LTM4633	トリプル出力、16V 入力、5.5V 出力	10A、10A、10A
LTM4634	トリプル出力、28V 入力、12V 出力	5A、5A、4A
LTM4675	LTM4677 より低消費電力、小型パッケージ	デュアル 9A 出力またはシングル 18A 出力、11.9mm × 16mm × 3.5mm
LTM4650/LTM4650-1	最大 50A の大電流 μModule レギュレータ	デュアル 25A 出力またはシングル 50A 出力
LTM4677	デュアル 18A 出力またはシングル 36A 出力、PSM 機能搭載	$4.5V \leq V_{IN} \leq 16V$ 、 $0.5V \leq V_{OUT} \leq 1.8V$

Rev 0