

デジタル・パワー・システム・マネージメント機能を備えた54V入力、デュアル25A、シングル50A μ Moduleレギュレータ

特長

- 300Aまで拡張可能なフル機能48V入力、低電圧デュアル25A電源
- 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、補償、制御、およびモニタリングに対応
- 入力電圧範囲: 30V~58V
- 出力電圧範囲: 0.5V~1.5V
- 出力電流の読み出し精度: $\pm 3\%$ ($-20^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$)
- 48V入力、1V/50Aでの効率: 88%
- 全温度範囲での出力電圧精度: $\pm 0.5\%$
- PMBus準拠の400kHz $I^2\text{C}$ シリアル・インターフェース
- 16mm $\times$ 16mm $\times$ 7.72mm BGAパッケージ

アプリケーション

- 48Vシステム
- コンピュータおよびネットワーク機器
- 電子試験装置
- ストレージ・システム

📺 クリックすると、関連するTechClipビデオが表示されます。

概要

LTM[®]4664は、フル機能、高効率の非絶縁型48V入力、降圧 μ Module[®]レギュレータで、デュアル25A出力を備えています。スイッチング・コントローラ、パワーMOSFET、インダクタ、および周辺部品を内蔵しています。設計を完了するために必要なのは、外付けコンデンサ1個だけです。LTM4664は30V~58Vの入力電圧範囲で動作し、0.5V~1.5Vの出力電圧を最大75Wまでサポートします。また、25% $\cdot V_{\text{IN}}$ の中間出力も用意されています。LTM4664の製品ビデオをウェブサイトで提供しています。📺

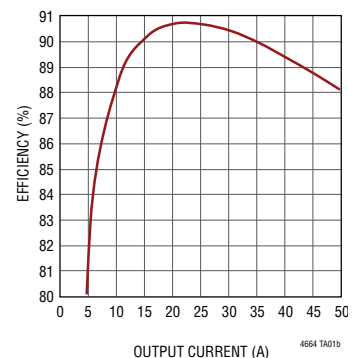
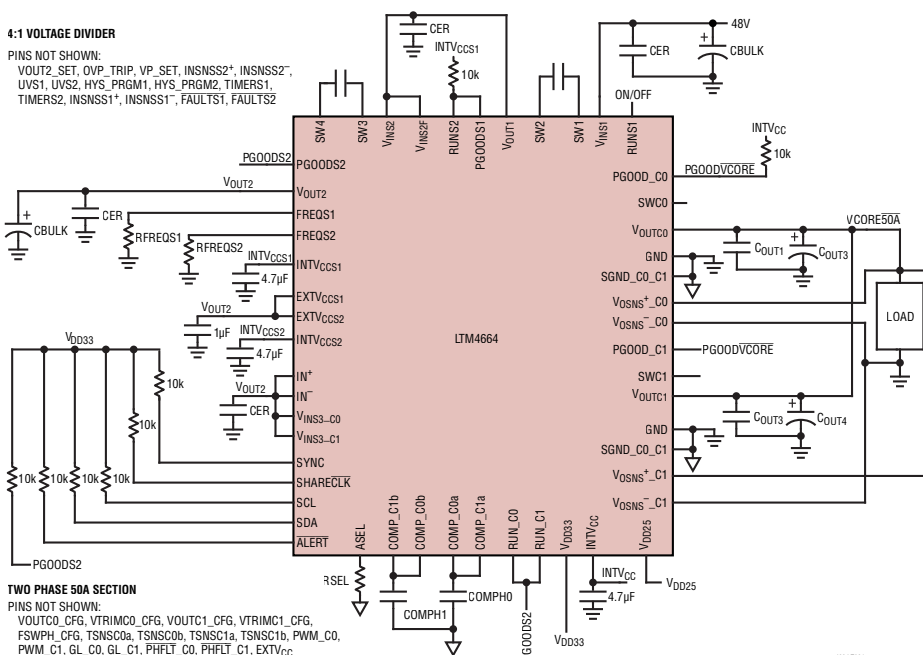
LTM4664デュアル25Aレギュレータは、デジタル式にプログラム可能なアナログ制御ループ、高精度データ・アキュイジション回路、およびECC機能を備えたEEPROMを利用します。LTM4664は、その2線シリアル・インターフェースにより、25A出力のマージン制御、調整、上昇、および下降をプログラム可能なスルー・レートで、遅延時間をシーケンス制御することで実行できます。真の入力電流検出値、出力電流、出力電圧、入力電力、出力電力、温度、動作時間、およびピーク値を全て読み出すことができます。

全ての登録商標および商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。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。

標準的応用例

48V入力、VCORE出力(50A)

48V入力、1V/50A出力



目次

特長	1	出力電圧の検出	40
アプリケーション	1	INTV _{CC} /EXTV _{CC} 電源	40
標準的応用例	1	出力電流の検出と 1mΩ未満の DCR による電流検出	41
概要	1	入力電流の検出	41
目次	2	PolyPhase による負荷分担	41
絶対最大定格	4	外部温度/内部温度の検出	42
発注情報	4	RCONFIG (抵抗設定) ピン	42
ピン配置	4	障害の検出と処理	45
電気的特性	5	ステータス・レジスタと ALERT のマスキング	46
代表的な性能特性	15	FAULT ピンへの障害情報のマッピング	48
4:1 分圧器のブロック図	25	パワーグッド・ピン	48
デュアル 25A パワー・システム・マネージメント (PSM) のブ ロック図	26	CRC 保護	48
4:1 分圧器の動作	27	シリアル・インターフェース	48
4:1 分圧器の概要	27	通信保護	48
主制御	27	デバイスのアドレス指定	48
INTV _{CCS1} 、2/EXTV _{CCS1} 、2 電源	27	V _{OUT} と I _{IN} /I _{OUT} の障害に対する応答	49
起動とシャットダウン	28	出力過電圧障害の応答	49
障害保護とサーマル・シャットダウン	28	出力低電圧の応答	50
ハイサイド電流検出	28	ピーク出力過電流障害の応答	50
周波数の選択	28	タイミング障害に対する応答	50
パワーグッドと UV (PGOODS _n ピンと UVS _n ピン)	29	V _{IN} の OV 障害に対する応答	50
追加の過電圧保護	29	OT/UT 障害に対する応答	50
4:1 分圧器のアプリケーション情報	30	内部過熱障害の応答	50
スイッチング前の分圧器の事前バランス調整	30	外部過熱障害および低温障害の応答	51
過電流保護	31	入力過電流障害および	
ウインドウ・コンパレータの設定	31	出力低電流障害に対する応答	51
実効オープンループ出力抵抗と		外部障害に対する反応	51
負荷レギュレーション	32	障害ログ	51
低電圧ロックアウト	32	バスのタイムアウト保護	51
障害応答とタイマーの設定	32	PMBus、SMBus、および	
入出力コンデンサとフライング・コンデンサの選択	33	I ² C 2 線インターフェースの類似点	52
設計例	33	PMBus シリアル・デジタル・インターフェース	52
デュアル 25A PSM の動作	35	図 11～図 28 の PMBus プロトコル	54
PSM セクションの概要、主な機能	35	PMBus コマンドの概要	57
ECC 機能を備えた EEPROM	36	PMBus コマンド	57
電源の投入と初期化	37	デュアル 25A PSM のアプリケーション情報	63
ソフトスタート	38	V _{IN} から V _{OUT} への降圧比	63
時間ベースのシーケンス制御	38	入力コンデンサ	63
電圧ベースのシーケンス制御	38	出力コンデンサ	63
シャットダウン	39	軽負荷電流動作	63
軽負荷電流動作	39	スイッチング周波数と位相	64
スイッチング周波数と位相	40	出力電流制限のプログラミング	65
PWM ループ補償	40	最小オン時間に関する検討事項	66

目次

可変遅延時間、ソフトスタート、 および出力電圧の上昇	66	出力電圧とリミット	99
デジタル・サーボ・モード	66	出力電流とリミット	102
ソフトオフ(シーケンス制御によるオフ)	67	入力電流とリミット	104
低電圧ロックアウト	68	温度	105
障害の検出と処理	68	外部温度キャリブレーション	105
オープンドレイン・ピン	68	タイミング	106
フェーズ・ロック・ループと周波数同期	69	タイミングオン・シーケンス/ランプ	106
入力電流検出アンプ	70	タイミングオフ・シーケンス/ランプ	107
プログラム可能なループ補償	70	再起動の前提条件	108
過渡応答のチェック	71	障害応答	108
PolyPhase® 構成	72	全障害に対する障害応答	108
USB-I ² C/SMBus/PMBus 間コントローラから システム内の LTM4664 への接続	72	入力電圧に対する障害応答	109
LTpowerPlay: デジタル電源用のインタラクティブ GUI	73	出力電圧に対する障害応答	109
PMBus 通信とコマンド処理	73	出力電流に対する障害応答	112
熱に関する検討事項と出力電流のディレーティング	75	IC 温度に対する障害応答	113
表 10 および表 11: 出力電流のディレーティング (デモ・ボードに基づく)	78	外部温度に対する障害応答	114
デュアル 25A PSM のアプリケーション情報 - ディレーティング曲線	81	障害信号の共有	115
EMI 性能	82	障害信号の共有と伝搬	115
安全性に関する検討事項	82	障害共有信号の応答	117
レイアウトのチェックリスト/例	83	スクラッチパッド	117
標準的応用例	84	識別情報	118
PMBus コマンドの詳細	90	障害および警告のステータス	119
アドレス指定と書き込み保護	90	遠隔測定	126
汎用設定コマンド	92	NVM メモリ・コマンド	130
オン/オフ/マージン	93	STORE/RESTORE	130
PWM 設定	95	障害ログ	131
電圧	98	ブロック・メモリの書き込み/読出し	135
入力電圧とリミット	98	パッケージ	136
		標準的応用例	138
		関連製品	138

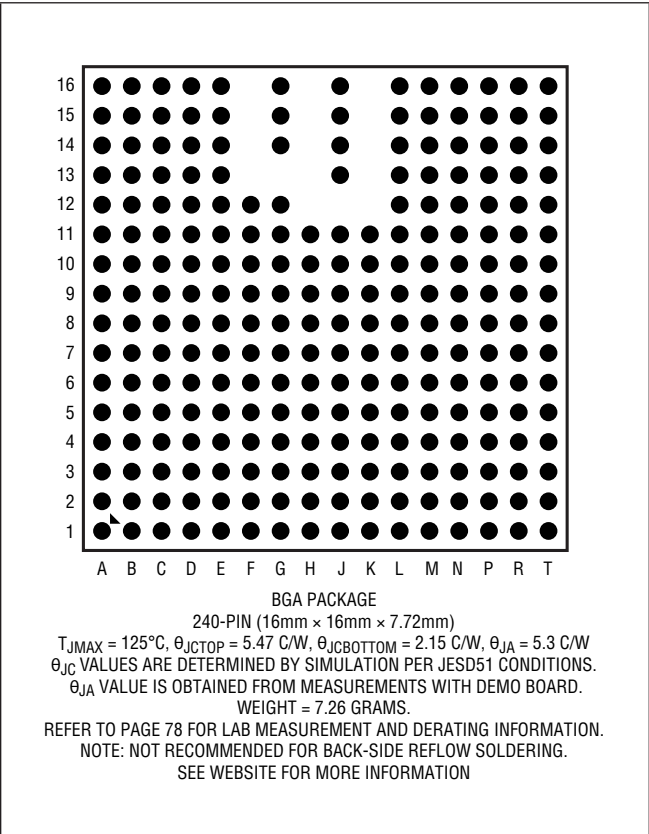
絶対最大定格

(Note 1)

4:1 分圧器

V_{INS1} , SW1, SW2, $INSNSS1^+$, $INSNSS1^-$, FAULTS1, FAULTS2	-0.3V~60V
V_{INS2} , V_{INS2F} , $INSNSS2^+$, $INSNSS2^-$, PG00DS1, PG00DS2 EXTV _{CCS1} , EXTV _{CCS2} , SW3, SW4, OVP_SET, VOUT2_SET, OVP_TRIP, V _{OUT1}	-0.3V~40V
V _{OUT2}	0.3V~20V
INTV _{CCS1} , INTV _{CCS2}	出力のみ、定格 6V
RUNS1, RUNS2	-0.3V~6V
UVS1, UVS2, HYS_PRGMS1, HYS_PRGMS2, TIMERS1, TIMERS2, FREQS1, FREQS2	-0.3V~INTV _{CCS1} , -0.3~INTV _{CCS2}
デュアル 25A PSM セクション	
V_{INS3_Cn} , IN^+ , IN^-	-0.3V~18V
($V_{INS3_Cn} - IN^+$), ($IN^+ - IN^-$)	-0.3V~0.3V
SWC0, SWC1	-1V~18V、トランジェント時は -5V~18V
EXTV _{CC}	-0.3V~6V
V _{OUTCn}	-0.3V~3.6V
$V_{OSNS^+_Cn}$	-0.3V~6V
$V_{OSNS^-_Cn}$	-0.3V~0.3V
RUN_Cn, SDA, SCL, $\overline{ALERT}$	-0.3V~5.5V
FSWPH_CFG, VOUTCn_CFG, VTRIMCn_CFG, ASEL, COMP_1a, COMP_1b, COMP_0a, COMP_0b	-0.3V~2.75V
FAULT_Cn, SYNC, SHARE_CLK, WP, PG00D_Cn, PWM_Cn, $\overline{PHFLT_Cn}$	-0.3V~3.6V
TSNS_Cna	-0.3V~2.2V
TSNS_Cnb	-0.3V~0.8V, < 5mA
OVP-SET I_{MAX} のシンク電流	5mA
INTV _{CC} , V _{DD33} , V _{DD25} および GL_Cn は出力。	
内部動作温度範囲 (Note 2, 14, 15)	-40°C~125°C
保存温度範囲	-55°C~125°C
ハンダ・リフロー・ピーク温度 (パッケージ本体)	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			
LTM4664EY#PBF	SAC305 (RoHS)	LTM4664Y	e1	BGA	3	-40°C to 125°C
LTM4664IY#PBF		LTM4664Y				

- 更に広い動作温度範囲で規定されるデバイスについては、弊社または弊社代理店にお問い合わせください。*パッドまたはボールの仕上げコードはIPC/JEDEC J-STD-609に準拠しています。
- 推奨される LGA/BGA の PCB アセンブリおよび製造方法
- LGA/BGA/パッケージおよびトレイの図面

電氣的特性

●は全内部動作ジャンクション温度範囲で適用される規格値を意味する。

特に指定のない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{INS}1} = 48\text{V}$ 、 $\text{RUN}n = 5\text{V}$ ($n = \text{段数}$)。セットアップについては、図 46 の構成を参照。(Note 3)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
4:1 分圧器セクション							
V _{INS1}	Input DC Voltage Stage 1	Note 4		30		58	V
V _{INS2}	Input DC Voltage Stage 2	Note 4		15		29	V
V _{OUT1} Range	V _{OUT1} Output Range	Note 4		15		29	V
V _{OUT2} Range	V _{OUT2} Output Range	Note 4		7.5V		14.5	V
Maximum Power	Maximum Output Power	All Conditions, Note 4				75	W
V _{OUT1(DC)}	V _{OUT1} OUTPUT	Note 4, Based on Figure 49 V _{INS1} = 48V, RUN = 5V, I _{VOUT1} = 0A	●	23.5	24	24.5	V
V _{OUT2(DC)}	V _{OUT2} OUTPUT	Note 4, Based on Figure 49 V _{INS2} = 24V, RUN = 5V, I _{VOUT2} = 0A	●	11.5	12	12.5	V
V _{UVLO}	Undervoltage Lockout	INTV _{CC} Falling INTV _{CC} Rising			4.85 5.05		V V
I _{Q V_{INSn}}	V _{INS1} , V _{INS2} Quiescent Current Each Stage	RUN _n = 0V RUN _n = 5V, No Switching RUN _n = 5V, Switching			150 1.6 44		μA mA mA

過電流保護セクション

INSNSS1 ⁺	Stage 1 Current Sense ⁺	INSNSS1 ⁺ = INSNSS1 [−] = 60V V _{OUT1} = 30V, RUNS1 = 5V		220	350	μA	
INSNSS2 ⁺	Stage 2 Current Sense ⁺	INSNSS2 ⁺ = INSNSS2 [−] = 30V V _{OUT2} = 15V, RUNS2 = 5V		220	350	μA	
INSNSS1 [−]	Stage 1 Current Sense [−]	INSNSS1 ⁺ = INSNSS1 [−] = 60V, RUNS1 = 0V	●	−5	1	5	μA
INSNSS2 [−]	Stage 2 Current Sense [−]	INSNSS2 ⁺ = INSNSS2 [−] = 30V, RUNS2 = 0V	●	−5	1	5	uA
INSNSS1, INSNSS2 Threshold	Current Limit Threshold for Each Stage		●	45	50	55	mV

プリチャージ・バランス

$R_{V_{\text{INS}2F}}$	$V_{\text{INS}2}$ Resistance to GND	See Block Diagram (Note 10)		1		M Ω
R_{VF2}	Resistance Between Pins $V_{\text{INS}2}$ to $V_{\text{INS}2F}$	See Block Diagram Part of a RC Filter Stage 2		1		k Ω
$\text{INSN}S1^+$ Balance Current	Stage 1 Current Sense + Source	Pre-Balance Phase $V_{\text{INS}1} = 60\text{V}$ $\text{INSN}S1^+ = \text{INSN}S1^- = 60\text{V}$, $V_{\text{OUT}1} = 15\text{V}$, Timer = 1V		95		mA
$\text{INSN}S2^+$ Balance Current	Stage 2 Current Sense + Source	Pre-Balance Phase $V_{\text{INS}2} = 30\text{V}$ $\text{INSN}S2^+ = \text{INSN}S2^- = 30\text{V}$, $V_{\text{OUT}2} = 10\text{V}$, Timer = 1V		95		mA
$I_{\text{SOURCE } V_{\text{OUT}n}}$	I_{SOURCE} Current to Pre-Start Up Balance $V_{\text{OUT}n}$ and $C_{\text{FLY}n}$, $n = \text{Stage \#}$	$\text{INSN}S2^+ = \text{INSN}S2^- = 30\text{V}$, $V_{\text{OUT}2} = 10\text{V}$, Timer = 1V		95		mA
$I_{\text{SINK } V_{\text{OUT}n}}$	I_{SINK} Current to Pre-Start Up Balance $V_{\text{OUT}n}$ and $C_{\text{FLY}n}$, $n = \text{Stage \#}$	$\text{INSN}S1^+ = \text{INSN}S1^- = 60\text{V}$, $V_{\text{OUT}1} = 15\text{V}$, Timer = 1V		95		mA
$I_{\text{SINK } V_{\text{OUT}n}}$	I_{SINK} Current to Pre-Start Up Balance $V_{\text{OUT}n}$ and $C_{\text{FLY}n}$, $n = \text{Stage \#}$	$\text{INSN}S1^+ = \text{INSN}S1^- = 60\text{V}$, $V_{\text{OUT}1} = 15\text{V}$, Timer = 1V		50		mA

RUNn ピン

$V_{\text{TH_RUN}n}$	Run PIN Threshold $n = \text{Stage \#}$	V_{RUN} Rising	●	1.1	1.22	1.4	V
$V_{\text{RUN}n\ \text{HYS}}$	Run Pin Hysteresis $n = \text{Stage \#}$			90			mV

電氣的特性

●は全内部動作ジャンクション温度範囲で適用される規格値を意味する。

特に指定のない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{INS}1} = 48\text{V}$ 、 $\text{RUN}n = 5\text{V}$ ($n = \text{段数}$)。セットアップについては、図 46 の構成を参照。(Note 3)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
OVP コンパレータ						
OVP-SET In	OVP-SET Input Range MAX			25		V
$V_{\text{OUT}2\text{-SET}}$	$V_{\text{OUT}2\text{-SET}}$ Range MAX			25		V
I_B	Input Bias I	$V_{\text{CM}} = 0\text{V to } 25\text{V}$		30		mA
V_{OS}	Input Offset	$0.5\text{V} < V_{\text{CM}} < 25\text{V}$		3		mV
PSRR	Power Supply Rejection	$0.5\text{V} < V_{\text{CM}} < 25\text{V}$ (Note 10)		85		db
CMRR	Common Mode Rejection	$0.5\text{V} < V_{\text{CM}} < 25\text{V}$ (Note 10)		80		db
Delay	Propagation Delay			10		μs
OVP_Trip Sink	OVP_Trip Sink	$I_{\text{SINK}} = 5\text{mA}$ (Note 10)		0.35		V
INTV_{CC} レギュレータ						
$V_{\text{INTVCC}n}$	Internal (LDO) Low Drop Out Regulator, $n = \text{Stage \#}$	$30\text{V} < V_{\text{INS}1} < 58\text{V}$, $V_{\text{EXTVCC}1} = 0\text{V}$, Stage 1 $15\text{V} < V_{\text{INS}2} < 19\text{V}$, $V_{\text{EXTVCC}2} = 0\text{V}$, Stage 2	5.4	5.6	5.9	V
$V_{\text{INTVCC}n}$ Load	LDO Load Regulation	$I_{\text{CC}} = 50\text{mA}$, $V_{\text{EXTVCC}n} = 0\text{V}$		0.5	2	%
INTV _{CC} n I _{Peak}	INTV _{CC} Stage Peak Output Current			150		mA
$V_{\text{INTVCC}n}$ with EXTV _{CC}	LDO Output Range with EXTV _{CC} n , $n = \text{Stage \#}$	$12\text{V} < V_{\text{EXTVCC}n} < 24\text{V}$, $V_{\text{INS}n} = 12\text{V}$	5.4	5.6	5.9	V
$V_{\text{INTVCC}n}$ Load EXT	LDO Load Regulation with EXTV _{CC}	$I_{\text{CC}} = 50\text{mA}$, $V_{\text{EXTVCC}n} = 6.5\text{V}$		1	2	%
VEXTV _{CC} n Threshold	EXTV _{CC} n Switch Over	VEXTV _{CC} n Ramping Positive	6.3	6.5	6.65	V
VEXTV _{CC} n HYS	EXTV _{CC} n Hysteresis			400		mV
スイッチング・オシレータ						
Frequency Range n	Frequency Range	$n = \text{Stage \#}$	100		1000	kHz
f_{NOM} Stage 1	Optimized Efficiency Freq. Stage 1	FREQS1.Pin Resistor = 36.5k		100		kHz
f_{NOM} Stage 2	Optimized Efficiency Freq. Stage 2	FREQS2.Pin Resistor = 60.4k		200		kHz
出力の仕様						
$\Delta V_{\text{OUT}}/V_{\text{OUT}}$ Stage 1	Stage 1 Load Regulation Accuracy	$V_{\text{OUT}1} = 24\text{V}$, 0A to 3.2A Maximum = 75W $V_{\text{INS}1} = 48\text{V}$, FREQS1 = 100kHz $C_{\text{INB}1} = 33\mu\text{F}$ (Bulk Input Capacitor) $C_{\text{IN}1} = 2.2\mu\text{F}$ 100V Ceramic, $C_{\text{FLY}1} = 10\mu\text{F}$ 50V X6 $C_{\text{OUT}1} = 10\mu\text{F}$ 50V		3.5		%
$V_{\text{OUT}1}$ Output Load	$V_{\text{OUT}1}$ Max Load Current (Note 4)	$V_{\text{OUT}1} = 24\text{V}$, 0A to 3.2A Maximum = 75W $V_{\text{INS}1} = 48\text{V}$, FREQS1 = 100kHz $C_{\text{INB}1} = 33\mu\text{F}$ (Bulk Input Capacitor) $C_{\text{IN}1} = 2.2\mu\text{F}$ 100V Ceramic, $C_{\text{FLY}1} = 10\mu\text{F}$ 50V X6 $C_{\text{OUT}1} = 10\mu\text{F}$ 50V			3.2	A
M1-M4 RDS-ON	Stage 1 MOSFET On Resistance	$V_{\text{GS}} = 5\text{V}$ (Note 16)		18		m Ω
$\Delta V_{\text{OUT}}/V_{\text{OUT}}$ Stage 2	Stage 2 Load Regulation Accuracy	$V_{\text{OUT}2} = 12\text{V}$, 0A to 6.3A Maximum = 75W $V_{\text{INS}2} = 24\text{V}$, FREQS2 = 200kHz $C_{\text{INB}2} = 33\mu\text{F}$ (Bulk Input Capacitor) $C_{\text{IN}2} = 10\mu\text{F}$ 50V Ceramic, $C_{\text{FLY}2} = 22\mu\text{F}$ 25V X6, $C_{\text{OUT}2} = 22\mu\text{F}$ 25V		5		%
$V_{\text{OUT}2}$ Output Load	$V_{\text{OUT}2}$ Max Load Current (Note 4)	$V_{\text{OUT}2} = 12\text{V}$, 0A to 6.3A Maximum = 75W $V_{\text{INS}2} = 24\text{V}$, FREQS2 = 200kHz $C_{\text{INB}2} = 33\mu\text{F}$ (Bulk Input Capacitor) $C_{\text{IN}2} = 10\mu\text{F}$ 50V Ceramic, $C_{\text{FLY}2} = 22\mu\text{F}$ 25V X6, $C_{\text{OUT}2} = 22\mu\text{F}$ 25V			6.3	A

電氣的特性

●は全内部動作ジャンクション温度範囲で適用される規格値を意味する。

特に指定のない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{IN}1} = 48\text{V}$ 、 $\text{RUN}n = 5\text{V}$ (n = 段数)。セットアップについては、図 46 の構成を参照。(Note 3)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
M5-M8 RDS-ON	Stage 2 MOSFET On Resistance	$V_{\text{GS}} = 5\text{V}$ (Note 16)		10		$\text{m}\Omega$
$V_{\text{OUT}1}$, (AC)	Output Ripple Voltage	$V_{\text{OUT}1} = 24\text{V}$, 0A to 3A $V_{\text{IN}1} = 48\text{V}$, $\text{FREQS}1 = 100\text{kHz}$ $C_{\text{INB}1} = 33\mu\text{F}$ (Input Bulk Capacitor) $C_{\text{IN}1} = 2.2\mu\text{F}$ 100V Ceramic, $C_{\text{FLY}1} = 10\mu\text{F}$ 50V X6 $C_{\text{OUT}1} = 10\mu\text{F}$ 50V		150		$\text{mV}_{\text{pk-pk}}$
$V_{\text{OUT}2}$, (AC)	Output Ripple Voltage	$V_{\text{OUT}2} = 12\text{V}$, 0A to 6A $V_{\text{IN}2} = 12\text{V}$, $\text{FREQS}2 = 200\text{kHz}$ $C_{\text{INB}2} = 33\mu\text{F}$ (Input Bulk Capacitor) $C_{\text{IN}2} = 10\mu\text{F}$ 50V Ceramic, $C_{\text{FLY}2} = 22\mu\text{F}$ 25V X6, $C_{\text{OUT}2} = 22\mu\text{F}$ 25V		50		$\text{mV}_{\text{pk-pk}}$
t_{START} Stage 1	Turn-on Time From RUN 1	$V_{\text{OUT}1} = 0\text{V}$ at Start Up to 24V, 0A, $V_{\text{IN}1} = 48\text{V}$, $\text{FREQS}1 = 100\text{kHz}$ $C_{\text{INB}1} = 33\mu\text{F}$ (Input Bulk Capacitor) $C_{\text{IN}1} = 2.2\mu\text{F}$ 100V Ceramic, $C_{\text{FLY}1} = 10\mu\text{F}$ 50V X6 $C_{\text{OUT}1} = 10\mu\text{F}$ 50V, $C_{\text{TIMERS}1} = 0.22\mu\text{F}$		40		msec
t_{START} Stage 2	Turn-on Time Stage 2 From RUN 2	$V_{\text{OUT}2} = 0\text{V}$ at Start Up to 12V, 0A, $V_{\text{IN}2} = 24\text{V}$, $\text{FREQS}2 = 200\text{kHz}$ $C_{\text{INB}2} = 33\mu\text{F}$ (Input Bulk Capacitor) $C_{\text{IN}1} = 2.2\mu\text{F}$ 100V Ceramic, $C_{\text{FLY}1} = 22\mu\text{F}$, 25V X6 $C_{\text{OUT}2} = 22\mu\text{F}$ 25V, $C_{\text{TIMERS}2} = 0.47\mu\text{F}$		75		msec

HYS_PRGMn と FAULTSn

V_{FAULTSn}	FAULT Voltage Low	$I_{\text{FAULT}} = 2\text{mA}$		0.2	0.4	V
$I_{\text{FAULT_LEAKSn}}$	FAULT Leakage Current	$V_{\text{FAULT}} = 5\text{V}$			± 1	μA
$I_{\text{HYS_PRGMSn}}$	HYS_PRGM Setting Current		●	9	10	11 μA
V_{FAULTSn}	V_{OUTSn} Fault Trip Level	$V_{\text{INSn}} = 24\text{V}$, V_{OUTSn} , $\text{HYS_PRGMSn} = 0\text{V}$, V_{OUTSn} Ramp Up V_{OUTSn} Ramp Down	● ●	12.2 11.6	12.3 11.7	12.45 11.8 V
V_{FAULTSn}	V_{OUTSn} Fault Trip Level	$V_{\text{INSn}} = 24\text{V}$, V_{OUTSn} , $\text{HYS_PRGMSn} = 5\text{V}$, V_{OUTSn} Ramp Up V_{OUTSn} Ramp Down	● ●	12.7 11.1	12.8 11.2	12.9 11.3 V
V_{FAULTSn}	V_{OUTSn} Fault Trip Level	$V_{\text{INSn}} = 24\text{V}$, V_{OUTSn} , $\text{HYS_PRGMSn} = 2.4\text{V}$, V_{OUTSn} Ramp Up V_{OUTSn} Ramp Down	● ●	14.15 9.5	14.3 9.65	14.45 9.8 V

UV コンパレータ n と PGOODn

V_{UVTHSSn}	Undervoltage Threshold	UV Pin Voltage Rising		0.99	1.01	1.03 V
$V_{\text{HYS_PRGMSn}}$	Undervoltage Hysteresis			120		mV
V_{PGOODSn}	PGOOD Voltage Low	$I_{\text{PGOOD}} = 2\text{mA}$		0.35	0.5	V
$I_{\text{PGOODSn_LEAK}}$	PGOOD Leakage Current	$V_{\text{PGOOD}} = 5\text{V}$			± 1	μA

TimerSn

TimerSn Current	I_{TIMERn}	$V_{\text{TIMER}} < 0.5\text{V}$ or $V_{\text{TIMER}} > 1.2\text{V}$		3.5		μA
		$0.5\text{V} < V_{\text{TIMER}} < 1.2\text{V}$		7		μA

電気的特性

●は規定された全内部動作温度範囲で適用される規格値を意味する (Note 1、2、3)。nで示す個々の出力チャンネルとして規定 (Note 3)。
 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{INS}3} = 12\text{V}$ 、 $\text{RUN_Cn} = 3.3\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{\text{CC}} = 0\text{V}$ 、 $\text{FREQUENCY_SWITCH} = 350\text{kHz}$ 、 V_{OUTCn} 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。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
デュアル 25A PSM 出力						
$V_{\text{INS}3}$	Input DC Voltage Operating		●	7	16	V
V_{OUTCn}	Range of Output Voltage Regulation	V_{OUTCn} Diff Sensed on $V_{\text{OSNS}^+_{\text{Cn}}}/V_{\text{OSNS}^-_{\text{Cn}}}$ -Pin-Pair; Commanded by Serial Bus or with Resistors Present at Start-Up on $V_{\text{OUTCn_CFG}}$, Differential Remote Sense Path Voltage (Notes 4, 6)	●	0.5	1.5	V
$V_{\text{OUTCn(DC)}}$	Output Voltage, Total Variation with Line and Load	Digital Servo Engaged ($\text{MFR_PWM_MODEn}[6] = 1\text{b}$) Digital Servo Disengaged ($\text{MFR_PWM_MODEn}[6] = 0\text{b}$) $V_{\text{OUTCn_CFG}}$ Commanded to 1.000V , V_{OUTCn} Low Range ($\text{MFR_PWM_MODEn}[1] = 1\text{b}$) (Note 6)	● ●	0.995 0.985	1.000 1.015	V V
$V_{\text{INS}3 \text{ UVLO}}$	Undervoltage Lockout Threshold	$V_{\text{INTV}_{\text{CC}}}$ Falling $V_{\text{INTV}_{\text{CC}}}$ Rising		3.55 3.9		V V
$I_{\text{INRUSH}}(V_{\text{INS}3})$	Input Inrush Current at Start-Up	$V_{\text{OUTCn}} = 1\text{V}$, $V_{\text{INS}3} = 12\text{V}$; No Load Besides Capacitors; $\text{TON_RISEn} = 3\text{ms}$		400		mA
$I_{\text{S}}(V_{\text{INS}3, \text{DCM}})$	Input Supply Current in Discontinuous Mode Operation	Discontinuous Mode, $\text{MFR_PWM_MODEn}[0] = 0\text{b}$, $I_{\text{OUTCn}} = 100\text{mA}$		60		mA
$I_{\text{S}}(V_{\text{INS}3, \text{FCM}})$	Input Supply Current in Forced-Continuous Mode Operation	Forced Continuous Mode, $\text{MFR_PWM_MODEn}[0] = 1\text{b}$ $I_{\text{OUTn}} = 100\text{mA}$ $I_{\text{OUTn}} = 25\text{A}$ $V_{\text{INS}3} = 12\text{V}$, $V_{\text{OUTn}} = 1\text{V}$		80 2.3		mA A
$I_{\text{S}}(V_{\text{INS}3, \text{SHUTDOWN}})$	Input Supply Current in Shutdown	Shutdown, $\text{RUN_Cn} = 0\text{V}$		25		mA
出力の仕様						
I_{OUTCn}	Output Continuous Current Range	Utilizing $\text{MFR_PWM_MODE}[7] = 0$, and Using $\sim I_{\text{OUT}} = 34\text{A}$, Page 103, (Note 4)		0	25	A
$\frac{\Delta V_{\text{OUTn(LINE)}}}{V_{\text{OUTn}}}$	Line Regulation Accuracy	Digital Servo Engaged ($\text{MFR_PWM_MODEn}[6] = 0\text{b}$) Digital Servo Disengaged ($\text{MFR_PWM_MODEn}[6] = 0\text{b}$) Open Circuit; $I_{\text{OUTCn}} = 0\text{A}$, $7\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 16\text{V}$, V_{OUT} Low Range ($\text{MFR_PWM_MODEn}[1] = 1\text{b}$), $\text{FREQUENCY_SWITCH} = 350\text{kHz}$ (Note 6)		0.03 0.03	± 0.2	%/V %/V
$\frac{\Delta V_{\text{OUTn(LOAD)}}}{V_{\text{OUTn}}}$	Load Regulation Accuracy	Digital Servo Engaged ($\text{MFR_PWM_MODEn}[6] = 1\text{b}$) Digital Servo Disengaged ($\text{MFR_PWM_MODEn}[6] = 0\text{b}$) $0\text{A} \leq I_{\text{OUTn}} \leq 25\text{A}$, V_{OUT} Low Range, ($\text{MFR_PWM_MODEn}[1] = 1\text{b}$) (Note 6)	●	0.03 0.2	0.5	% %
$V_{\text{OUTn(AC)}}$	Output Voltage Ripple			10		mV
f_{S} (Each Channel)	V_{OUTCn} Ripple Frequency	FREQUENCY_SWITCH Set to 350kHz (0xFABC)	●	320	350 380	kHz
$\Delta V_{\text{OUTn(START)}}$	Turn-On Overshoot	$\text{TON_RISEn} = 3\text{ms}$ (Note 7)		8		mV
t_{START}	Turn-On Start-Up Time	Time from V_{IN} Toggling from 0V to 12V to Rising Edge PGOOD_Cn , $\text{TON_DELAYn} = 0\text{ms}$, $\text{TON_RISEn} = 3\text{ms}$		30		ms
$t_{\text{DELAY(0ms)}}$	Turn-On Delay Time	Time from First Rising Edge of RUN_Cn to Rising Edge of PGOOD_Cn . $\text{TON_DELAYn} = 0\text{ms}$, $\text{TON_RISEn} = 3\text{ms}$, $V_{\text{INS}3}$ Having Been Established for at Least 70ms	●	2.9	3.3 3.7	ms
$\Delta V_{\text{OUTn(LS)}}$	Peak Output Voltage Deviation for Dynamic Load Step	Load: 0A to 12.5A and 12.5A to 0A at $12.5\text{A}/\mu\text{s}$, $V_{\text{OUTn}} = 1\text{V}$, $V_{\text{INS}3} = 12\text{V}$ (Note 7) See Load Transient Graph		40		mV
t_{SETTLE}	Settling Time for Dynamic Load Step	Load: 0A to 12.5A and 12.5A to 0A at $12.5\text{A}/\mu\text{s}$, $V_{\text{OUTn}} = 1\text{V}$, $V_{\text{INS}3} = 12\text{V}$ (Note 7) See Load Transient Graph		30		μs

電気的特性

●は規定された全内部動作温度範囲で適用される規格値を意味する (Note 1、2、3)。n で示す個々の出力チャンネルとして規定 (Note 3)。
 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{INS3}} = 12\text{V}$ 、 $\text{RUN_Cn} = 3.3\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{\text{CC}} = 0\text{V}$ 、 $\text{FREQUENCY_SWITCH} = 350\text{kHz}$ 、 V_{OUTCn} 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。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$\text{I}_{\text{OUTn}}(\text{OCL_AVg})$	Output Current Limit, Time Averaged	Time-Averaged Output Inductor Current Limit Inception Threshold, Commanded by $\text{IOUT_OC_FAULT_LIMITn}$ (Note 7) Utilizing $\text{MFR_PWM_MODE}[7] = 0\text{b}$, and Using $\sim\text{I}_{\text{OUT}} = 34\text{A}$, Page103		34		A

制御セクション

V_{FBCMn}	Feedback Input Common Mode Range	$\text{V}_{\text{OSNS}^-}\text{_Cn}$ Valid Input Range (Referred to SGND) $\text{V}_{\text{OSNS}^+}\text{_Cn}$ Valid Input Range (Referred to SGND)	●	-0.1	0.3	V
			●		3.6	V
$\text{V}_{\text{OUTn-RNGL}}$	Full-Scale Command Voltage Range Low (0.5V to 2.75V) Set Point Accuracy Resolution LSB Step Size	Limit Design to 1.5V Operating for Module $\text{MFR_PWM_MODEn}[1] = 1\text{b}$, VOUTn Commanded to 2.75V (Notes 8, 10)		-0.5	2.75 12 0.688	V % Bits mV
$\text{V}_{\text{OUTn-RNGH}}$	Full-Scale Command Voltage Range High (0.5V to 3.6V) Set Point Accuracy Resolution LSB Step Size	Limit Design to 1.5V Operating for Module $\text{MFR_PWM_MODEn}[1] = 0\text{b}$, VOUTn Commanded to 3.60V (Notes 8, 10)		-0.5	3.60 12 1.375	V % Bits mV
$\text{R}_{\text{VSENSEn}^+}$	$\text{V}_{\text{OSNS}^+}\text{_Cn}$ Impedance to SGND	$0.05\text{V} \leq \text{V}_{\text{OSNS}^+}\text{_Cn} - \text{VSGND} \leq 3.3\text{V}$			50	k Ω
$\text{t}_{\text{ON}}(\text{MIN})$	Minimum On-Time	(Note 10)			60	nsec
$\text{g}_{\text{m0,1}}$	Resolution Error Amplifier $\text{g}_{\text{m}(\text{max})}$ Error Amplifier $\text{g}_{\text{m}(\text{min})}$ LSB Step Size	$\text{COMP0,1} = 1.35\text{V}$, $\text{MFR_PWM_CONFIG}[7:5] = 0$ to 7 MFR_PWW_CONFIG Section (Note 10)			3 5.76 1 0.68	Bits mmho mmho mmho
RCOMP0, 1	Resolution Compensation Resistor $\text{RCOMP}(\text{MAX})$ Compensation Resistor $\text{RCOMP}(\text{MIN})$	$\text{MFR_PWM_CONFIG}[4:0] = 0$ to 31 (See Figure 1, Note 10)			5 62 0.5	Bits k Ω k Ω

アナログ OV/UV チャンネル 0、1 (過電圧/低電圧) 出力電圧監視回路コンパレータ
($\text{VOUT_OV/UV_FAULT_LIMIT}$ モニタと $\text{VOUT_OV/UV_WARN_LIMIT}$ モニタ)

NOV/UV_COMP	Resolution, Output Voltage Supervisors	(Notes 9, 10)			9	Bits
VOV-RNG	Output OV Comparator Threshold Detection Range	(Notes 9, 10) Limit Design to 1.5V Operating for Module Low Range Scale, $\text{MFR_PWM_MODEn}[1] = 1\text{b}$ High Range Scale, $\text{MFR_PWM_MODEn}[1] = 0\text{b}$		0.5 1	2.7 3.6	V V
VOUSTP	Output OV and UV Comparator Threshold Programming LSB Step Size	(Notes 9, 10) Low Range Scale, $\text{MFR_PWM_MODEn}[1] = 1\text{b}$ High Range Scale, $\text{MFR_PWM_MODEn}[1] = 0\text{b}$			5.6 11.2	mV mV
VOV-ACC-Cn	Output OV Threshold Accuracy Range Low Range High	(Notes 9, 10) $0.5\text{V} \leq \text{V}_{\text{OSNS}^+}\text{_Cn} - \text{V}_{\text{OSNS}^-}\text{_Cn} \leq 2.7\text{V}$, $\text{MFR_PWM_MODEn}[1] = 1\text{b}$ $1\text{V} \leq \text{V}_{\text{OSNS}^+}\text{_Cn} - \text{V}_{\text{OSNS}^-}\text{_Cn} \leq 3.6\text{V}$, $\text{MFR_PWM_MODEn}[1] = 0\text{b}$	●		± 40 ± 1.5	mV %

電气的特性

●は規定された全内部動作温度範囲で適用される規格値を意味する (Note 1、2、3)。nで示す個々の出力チャンネルとして規定 (Note 3)。
 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{INS3}} = 12\text{V}$ 、 $\text{RUN_Cn} = 3.3\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{\text{CC}} = 0\text{V}$ 、 $\text{FREQUENCY_SWITCH} = 350\text{kHz}$ 、 V_{OUTCn} 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。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$V_{\text{UV-RNG}}$	Output UV Comparator Threshold Detection Range	(Note 10) Limit Design to 1.5V Operating for Module Low Range Scale, $\text{MFR_PWM_MODEn}[1] = 1\text{b}$ High Range Scale, $\text{MFR_PWM_MODEn}[1] = 0\text{b}$	0.5 1		2.7 3.6	V V
$V_{\text{UV-ACC Cn}}$	Output UV Threshold Accuracy Range Low Range High	(Notes 9, 10) $0.5\text{V} \leq V_{\text{OSNS}}^+_{\text{Cn}} - V_{\text{OSNS}}^-_{\text{Cn}} \leq 2.7\text{V}$, $\text{MFR_PWM_MODEn}[1] = 1\text{b}$ $1\text{V} \leq V_{\text{OSNS}}^+_{\text{Cn}} - V_{\text{OSNS}}^-_{\text{Cn}} \leq 3.6\text{V}$, $\text{MFR_PWM_MODEn}[1] = 0\text{b}$	●		± 40 ± 1.5	mV %
$t_{\text{PROP-OV}}$	Output OV Comparator Response Times	Overdrive to 10% Above Programmed Threshold			100	μs
$t_{\text{PROP-UV}}$	Output UV Comparator Response Times	Underdrive to 10% Below Programmed Threshold			100	μs

アナログ OV/UV V_{INS3} 入力電圧監視回路コンパレータ ($V_{\text{IN_ON}}$ と $V_{\text{IN_OFF}}$ の閾値検出器)

$N_{\text{VINS3-OV/UV-COMP}}$	V_{INS3} OV/UV Comparator Threshold-Programming Resolution	(Notes 9, 10)		9		Bits
$V_{\text{INS3-OU-RANGE}}$	V_{INS3} OV/UV Comparator Threshold-Programming Range	ABS MAX = 18V for Module Design	●	4.5	16	V
$V_{\text{INS3-OU-STP}}$	V_{INS3} OV/UV Comparator Threshold-Programming LSB Step Size	(Note 10)		76		mV
$V_{\text{INS3-OU-ACC}}$	V_{INS3} OV/UV Comparator Threshold Accuracy	$4.5\text{V} < V_{\text{INS3}} \leq 16\text{V}$, Operating Range, 16V Max for Module	●		± 350	mV
$t_{\text{PROP-VINS3-LOW-VIN}}$	V_{INS3} OV/UV Comparator Response Time, High V_{IN} Operating Configuration	Test Circuit 1, and: $V_{\text{IN_ON}} = 9\text{V}$; V_{INS3} Driven from 8.775V to 9.225V $V_{\text{IN_OFF}} = 9\text{V}$; V_{INS3} Driven from 9.225V to 8.775V			100 100	μs μs
$t_{\text{PROP-VINS3-LOW-VIN}}$	V_{INS3} OV/UV Comparator Response Time, Low V_{IN} Operating Configuration	Test Circuit 2, and: $V_{\text{IN_ON}} = 4.5\text{V}$; V_{INS3} Driven from 4.225V to 4.725V $V_{\text{IN_OFF}} = 4.5\text{V}$; V_{INS3} Driven from 4.725V to 4.225V			100 100	μs μs

入力電圧 (V_{INS3}) の読出し (READ_VIN)

$N_{\text{VINS3-RB}}$	Input Voltage Readback Resolution and LSB Step Size	(Notes 5, 10)		10 15.625		Bits mV
$V_{\text{INS3-F/S}}$	Input Voltage Full-Scale Digitizable Range	(Notes 7, 11) 18V for Module Design		43		V
$V_{\text{INS3-RB-ACC}}$	Input Voltage Readback Accuracy	READ_VIN, $4.5\text{V} \leq V_{\text{INS3}} \leq 16\text{V}$, ($V_{\text{IN}} = V_{\text{INS3}}$)	●		2	%
$t_{\text{CONVERT-VINS3-RB}}$	Input Voltage Readback Update Rate	$\text{MFR_ADC_CONTROL} = 0.00$ (Notes 10, 12) $\text{MFR_ADC_CONTROL} = 0.01$ (Notes 10, 12)		90 8		ms ms

チャンネル0および1の出力電圧の読出し (READ_VOUTn)

$N_{\text{VO-RB}}$	Output Voltage Readback Resolution and LSB Step Size	(Note 10)		16 244		Bits μV
$V_{\text{O-F/S}}$	Output Voltage Full-Scale Digitizable Range	$V_{\text{RUNn}} = 0\text{V}$ (Note 10) Design Limited to 1.5V		8		V
$V_{\text{O-RB-ACC-Cn}}$	Output Voltage Readback Accuracy	$0.5\text{V} \leq V_{\text{OSNS}}^+_{\text{Cn}} - V_{\text{OSNS}}^-_{\text{Cn}} \leq 1.0\text{V}$ $1\text{V} \leq V_{\text{OSNS}}^+_{\text{Cn}} - V_{\text{OSNS}}^-_{\text{Cn}} \leq 3.6\text{V}$	●		Within $\pm 5\text{mV}$, Reading Within $\pm 0.5\%$, Reading	

チャンネル0および1の出力電流の読出し (READ_IOUTn)

$N_{\text{IO-RB}}$	Output Current Readback Resolution and LSB Step Size	(Notes 5, 10) Based on $\text{MFR_PWM_MODE}[7] = 1$ Using the $\text{OUT_OC_FAULT_LIMIT}$ of 34A		10 34.1		Bits mA
$I_{\text{O-F/S}}$	Output Current Full-Scale Digitizable Range	(Notes 5, 10) Based on $\text{MFR_PWM_MODE}[7] = 1$ Using the $\text{IOUT_OC_FAULT_LIMIT}$ of 40A		34		A

電気的特性

●は規定された全内部動作温度範囲で適用される規格値を意味する (Note 1、2、3)。n で示す個々の出力チャンネルとして規定 (Note 3)。
 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{INS3}} = 12\text{V}$ 、 $\text{RUN_Cn} = 3.3\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{\text{CC}} = 0\text{V}$ 、 $\text{FREQUENCY_SWITCH} = 350\text{kHz}$ 、 V_{OUTCn} 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。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$I_{\text{O-RB-ACC}}$	Output Current, Readback Accuracy	READ_IOUTn, Channels 0 and 1, $0 \leq I_{\text{OUTn}} \leq 25\text{A}$, Forced-Continuous Mode, MFR_PWM_MODEn[0] = 1b With Offset Adjustment (-20°C to 125°C) (Note 7) See Histograms in Typical Performance Characteristics Section	●		5 3.5	% %
$I_{\text{O-RB(25A)}}$	Full Load Output Current Readback	$I_{\text{OUTn}} = 25\text{A}$ Max by Module Design (Note 7)		25		A
$t_{\text{CONVERT-I0-RB}}$	Output Current Readback Update Rate	MFR_ADC_CONTROL = 0×00 (Notes 10, 12) MFR_ADC_CONTROL = 0×06 (CH0 I_{OUT}) or $0 \times 0A$ (CH1 I_{OUT}) (Notes 9, 17) See MFR_ADC_CONTROL Section		90 8		ms ms

入力電流の読出し

N	Resolution	(Notes 5, 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, $0\text{V} \leq V_{\text{IIN}}^+ - V_{\text{IIN}}^- \leq 5\text{mV}$ Gain = 4, $0\text{V} \leq V_{\text{IIN}}^+ - V_{\text{IIN}}^- \leq 20\text{mV}$ Gain = 2, $0\text{V} \leq V_{\text{IIN}}^+ - V_{\text{IIN}}^- \leq 50\text{mV}$		15.26 30.52 61		μV μV μV
$I_{\text{IN_TUE}}$	Total Unadjusted Error	Gain = 8, $2.5\text{mV} \leq V_{\text{IIN}}^+ - V_{\text{IIN}}^- $ (Note 13) Gain = 4, $4\text{mV} \leq V_{\text{IIN}}^+ - V_{\text{IIN}}^- $ (Note 13) Gain = 2, $6\text{mV} \leq V_{\text{IIN}}^+ - V_{\text{IIN}}^- $ (Note 13)	● ● ●		3.5 2.5 1.8	% % %
V_{OS}	Zero-Code Offset Voltage	(Note 10)			± 50	μV
t_{CONVERT}	Update Rate	(Note 12)		90		ms

内部コントローラの電源電流の読出し V_{INS3}

N	Resolution	(Notes 5, 12) See MFR_ADC_CONTROL Section for Faster Update Rates		10		Bits
$V_{\text{CONTROL STP}}$	LSB Step Size Full-Scale Range = 256mV			244		μV
$I_{\text{CONTROL TUE}}$	Total Unadjusted Error	$20\text{mV} \leq V_{\text{IINS3_C1}} - \text{SVIN} \leq 150\text{mV}$ See Block Diagram (Note 10)			± 3	%
t_{CONVERT}	Update Rate	(Note 12)		90		ms

温度の読出し (TSNS_C0、TSNS_C1)

$T_{\text{RES_T}}$	Resolution			0.25		$^\circ\text{C}$
$T_{\text{0_TUE}}$	External Temperature Total Unadjusted Readback Error	Supporting Only Delta V_{BE} Sensing (Note 13)		3		$^\circ\text{C}$
$T_{\text{1_TUE}}$	Internal TSNS TUE	$V_{\text{RUN_C0,C1}} = 0.0$, $f_{\text{SYNC}} = 0\text{kHz}$ (Note 8)		3		$^\circ\text{C}$
t_{CONVERT}	Update Rate	MFR_ADC_CONTROL = 0×04 or $0 \times 0C$ (Notes 9, 12, 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	$V_{\text{INS3_C1}} \geq 7\text{V}$, EXTV _{CC} Rising		4.5	4.7	4.9	V
$V_{\text{LDO_HYS}}$	EXTV _{CC} Hysteresis			340			mV
$V_{\text{LDO_EXT}}$	EXTV _{CC} Voltage Drop	$I_{\text{CC}} = 20\text{mA}$, $V_{\text{EXTVCC}} = 5.5\text{V}$		60	120		mV
$V_{\text{IN_THR}}$	V_{IN} Threshold to Enable EXTV _{CC} Switchover	V_{IN} Rising		7.1			V
$V_{\text{IN_THF_HYS}}$	V_{IN} Hysteresis to Disable EXTV _{CC} Switchover	V_{IN} Falling		600			mV

電気的特性

●は規定された全内部動作温度範囲で適用される規格値を意味する (Note 1、2、3)。nで示す個々の出力チャンネルとして規定 (Note 3)。
 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{INS}3} = 12\text{V}$ 、 $\text{RUN_C}_n = 3.3\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{\text{CC}} = 0\text{V}$ 、 $\text{FREQUENCY_SWITCH} = 350\text{kHz}$ 、 V_{OUTC_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。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
V_{DD33} レギュレータ						
V _{DD33}	Internal V _{DD33} Voltage	$4.5\text{V} < V_{\text{INTVCC}}$ or $4.8\text{V} < V_{\text{EXTVCC}}$	3.2	3.3	3.4	V
I _{LIM}	V _{DD33} Current Limit	$V_{\text{DD33}} = \text{GND}$, $V_{\text{IN}} = \text{INTVCC} = 4.5\text{V}$		100		mA
V _{DD33_OV}	V _{DD33} Overvoltage Threshold	(Note 10)		3.5		V
V _{DD33_UV}	V _{DD33} Undervoltage Threshold	(Note 10)		3.1		V
V_{DD25} レギュレータ						
V _{DD25}	Internal V _{DD25} Voltage			2.5		V
L _{IM}	V _{DD25} Current Limit	$V_{\text{DD25}} = \text{GND}$, $V_{\text{IN}} = \text{INTVCC} = 4.5\text{V}$		80		mA
発振器とフェーズ・ロック・ループ						
f _{RANGE}	PLL SYNC Range	Synchronized with Falling Edge of SYNC	●	250	1000	kHz
f _{OSC}	Oscillator Frequency Accuracy	Frequency Switch = 250.0kHz to 1000.0kHz (Note 10)	●		±7.5	%
V _{TH(SYNC)}	SYNC Input Threshold	V _{SYNC} Falling V _{SYNC} Rising		1 1.5		V V
V _{OL(SYNC)}	SYNC Low Output Voltage	I _{LOAD} = 3mA		0.2	0.4	V
I _{LEAK(SYNC)}	SYNC Leakage Current in Slave Mode	$0\text{V} \leq V_{\text{PIN}} \leq 3.6\text{V}$			±5	μA
θ _{SYNC-θ0}	SYNC to Ch0 Phase Relationship Based on the Falling Edge of Sync and Rising Edge of SWC0)	MFR_PWM_CONFIG[2:0] = 0,2,3 MFR_PWM_CONFIG[2:0] = 5 MFR_PWM_CONFIG[2:0] = 1 MFR_PWM_CONFIG[2:0] = 4,6 (Note 10)		0 60 90 120		Deg Deg Deg Deg
θ _{SYNC-θ1}	SYNC to Ch1 Phase Relationship Based on the Falling Edge of Sync and Rising Edge of SWC1	MFR_PWM_CONFIG[2:0] = 3 MFR_PWM_CONFIG[2:0] = 0 MFR_PWM_CONFIG[2:0] = 2,4,5 MFR_PWM_CONFIG[2:0] = 1 MFR_PWM_CONFIG[2:0] = 6 (Note 10)		120 180 240 270 300		Deg Deg Deg Deg Deg
EEPROM の特性						
Endurance	(Notes 15, 16)	$0^\circ\text{C} < T_J < 85^\circ\text{C}$ EEPROM Write Operations	●	10,000		Cycles
Retention	(Notes 15, 16)	$T_J < 125^\circ\text{C}$	●	10		Years
Mass_Write	Mass Write Operation Time	STORE_USER_ALL, $0^\circ\text{C} < T_J < 85^\circ\text{C}$ During EEPROM Write Operation	●	440	4100	ms
入力リーク電流: 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_{C_n}						
I _{LEAK}	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_{C_n}、FAULT_{C_n} (Note 10)						
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
デジタル入力: WP (Note 10)						
I _{PUPP}	Input Pull-Up Current	WP		10		μA
オープンドレイン出力: SCL、SDA、FAULT_{C_n}、ALERT、RUN_{C_n}、SHARE_CLK、PGOOD_{C_n}						
V _{OL}	Output Low Voltage	I _{SINK} = 3mA			0.4	V

電气的特性

●は規定された全内部動作温度範囲で適用される規格値を意味する (Note 1、2、3)。nで示す個々の出力チャンネルとして規定 (Note 3)。
 注記がない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{INS3}} = 12\text{V}$ 、 $\text{RUN_C}_n = 3.3\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{\text{CC}} = 0\text{V}$ 、 $\text{FREQUENCY_SWITCH} = 350\text{kHz}$ 、 V_{OUTC_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。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
デジタル入力: SHARE_CLK、WP (Note 10)						
V_{IH}	Input High Threshold Voltage	$I_{\text{SINK}} = 3\text{mA}$	●	1.5	1.8	V
V_{IL}	Input Low Threshold Voltage		●	0.6	1	V
FAULT$\overline{\text{C}}_n$ のデジタル・フィルタリング (Note 10)						
T_{FLT}	Input Digital Filtering FAULT $\overline{\text{C}}_n$			3		μs
PGOOD$\overline{\text{C}}_n$ のデジタル・フィルタリング (Note 10)						
T_{PGF}	Output Digital Filtering PGOOD $\overline{\text{C}}_n$			60		μs
RUN$\overline{\text{C}}_n$ のデジタル・フィルタリング (Note 10)						
T_{RUNF}	Input Digital Filtering RUN $\overline{\text{C}}_n$			10		μs
PMBus インターフェースのタイミング特性 (Note 10)						
f_{SCL}	Serial Bus Operating Frequency		●	10	400	kHz
t_{BUF}	Bus Free Time Between Stop and Start		●	1.3		μs
$t_{\text{HD(STA)}}$	Hold Time After Repeated Start Condition After This Period, the First Clock is Generated		●	0.6		μs
$t_{\text{SU(STA)}}$	Repeated Start Condition Setup Time		●	0.6	10000	μs
$t_{\text{SU(STO)}}$	Stop Condition Setup Time		●	0.6		μs
$t_{\text{HD(DAT)}}$	Date Hold Time Receiving Data Transmitting Data		● ●	0 0.3	0.9	μs μs
$t_{\text{SU(DAT)}}$	Data Setup Time Receiving Data			0.1		μs
$t_{\text{TIMEOUT_SMB}}$	Stuck PMBus Timer Non-Block Reads Stuck PMBus Timer Block Reads	Measured from the Last PMBus Start Event		3 255		ms ms
t_{LOW}	Serial Clock Low Period		●	1.3	10000	μs
t_{HIGH}	Serial Clock High Period		●	0.6		μs
チャンネル0とチャンネル1のパワー段 (Note 10)						
PWM $\overline{\text{C}}_n$ LOW	PWM Drive Low Level, C0, C1				0.6	V
PWM $\overline{\text{C}}_n$ HIGH	PWM Drive High Level, C0, C1			2.6		V
PHFLT $\overline{\text{C}}_n$ T	Warning Temperature			140		C
PHFLT $\overline{\text{C}}_n$ ACC	Thermal Warning Accuracy			-10	10	Kelvin
PHFLT $\overline{\text{C}}_n$ HYS	Hysteresis			10		Kelvin
PHFLT $\overline{\text{C}}_n$ Res	On Resistance	Sink = 8mA		37.5	80	Ω
PHFLT $\overline{\text{C}}_n$ Leak				0.1	5	μA
PHFLT $\overline{\text{C}}_n$ Pull-Up	Pull-Up Resistor	Tied to V_{DD33}		10		k Ω

電気的特性

Note 1: 絶対最大定格に記載された値を超えるストレスはデバイスに永続的損傷を与える可能性がある。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。注記がない限り、全ての電圧はGNDピンを基準にしている。

Note 2: LTM4664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。LTM4664E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 の全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。LTM4664I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。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。PSMの各チャンネル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「 $V_{\text{INS3_CN}}$ 」および「 V_{OUTCN} 」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「 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、 $V_{\text{OUT_COMMAND}n}$ はページ0および1にある $V_{\text{OUT_COMMAND}}$ 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_{OUTC0})とチャンネル1(V_{OUTC1})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「 n 」がない(例: FREQUENCY_SWITCH)。

Note 4: V_{IN} 、 V_{OUT} 、負荷電流、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、デュアル25A PSMの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 5: PMBusでのデータ・フォーマットは、5ビットの指数部(符号付き)と11ビットの仮数部(符号付き)。このため、内部ADCが16ビットで、計算に32ビット・ワードを使用する場合でも、出力の分解能は10ビットに制限される。

Note 6: $V_{\text{OUTC}n}(\text{DC})$ 、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・サーボを動作させない条件($\text{MFR_PWM_MODE}n[6] = 0b$)と $V_{\text{OUTC}n}$ の低電圧範囲を選択した条件($\text{MFR_PWM_MODE}n[1] = 1b$)を適用する。デジタル・サーボ制御ループは製造時に動作が確認される($\text{MFR_PWM_MODE}n[6] = 1b$ を設定)が、最終テスト時に出力電圧の最終セトリング値への収束が必ずしも観測されるわけではない(潜在的に長い時定数が関係するため)。代わりに、最終セトリング値への収束は出力電圧の読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 7: 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。

Note 8: V_{OUTC0} と V_{OUTC1} の絶対最大定格が3.6V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1.5V(V_{OUT} の範囲設定ビットを $\text{MFR_PWM_MODE}n[1]$ を使用して設定した場合)。

Note 9: $\text{MFR_PWM_MODE}n[1] = 1b$ でのチャンネル n のOV/UVコンパレータ閾値精度は、 $V_{\text{VOSNS}^+_{\text{CN}}} - V_{\text{VOSNS}^-_{\text{CN}}} = 0.5\text{V}$ および2.7Vの条件でATEでテストされる。 $\text{MFR_PWM_MODE}n[1] = 1b$ はロー・レンジである。

Note 10: ICレベルのATEでテストされる。

Note 11: V_{INS3} ピンの絶対最大定格は18V。入力電圧の遠隔測定値(READ_VIN)は、 V_{INS3} 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: 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、LTM4664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 13: デバイスはPWMをディセーブルした状態でテストされる。アプリケーションでの評価が性能を裏付けている。総合未調整誤差(%) = ADCのゲイン誤差(%) + 100 (ゼロコード・オフセット + ADCの直線性誤差) / 実際の値。

Note 14: 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 15: T_J が 85°C より高い温度または 0°C より低い温度での書き込み動作は可能だが、電気的特性は確保されず、EEPROMは劣化する。読出し動作は、 125°C より低い温度で行えばEEPROMが劣化することはない。 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する。

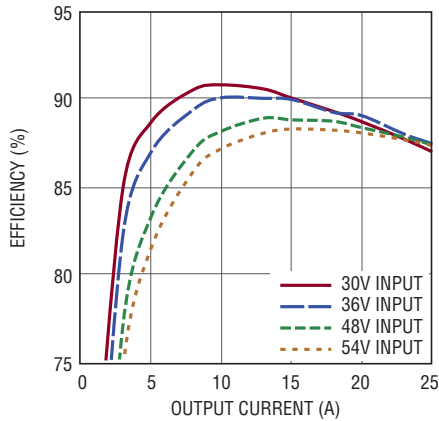
Note 16: M1～M8のパワー MOSFETに対する最終テストは、 μModule へのアセンブリ前に別途実施される。

Note 17: $\text{MFR_PWM_MODE}[2]$ を1にするとデバイスは低DCRモードに設定され、0にすると通常のDCRモードに設定される。 $\text{MFR_PWM_MODE}[7]$ を1にするとデバイスは高出力電流範囲に設定され、0にすると低電流範囲に設定される。動作のセクションの「出力電流の検出と1mΩ未満のDCRによる電流検出」を参照。DCRによる検出では、 V_{ILIMIT} コード2～8のみがサポートされている。

代表的な性能特性

0.9V 個別シングル出力

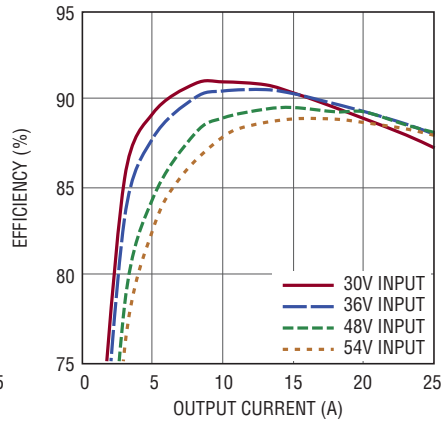
第1段 = 100kHz、
第2段 = 200kHz、
25A 最終段 = 250kHz、EXTV_{CC} = 5V



4664 G01

1V 個別シングル出力

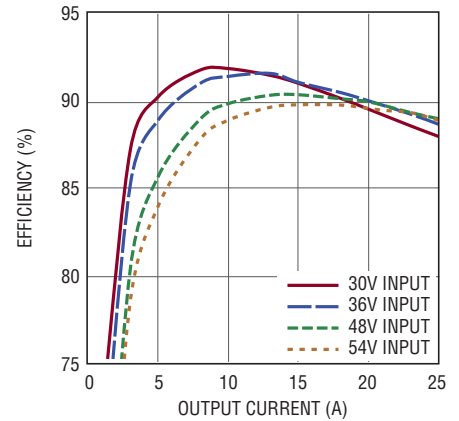
第1段 = 100kHz、
第2段 = 200kHz、
25A 最終段 = 250kHz、EXTV_{CC} = 5V



4664 G02

1.2V 個別シングル出力

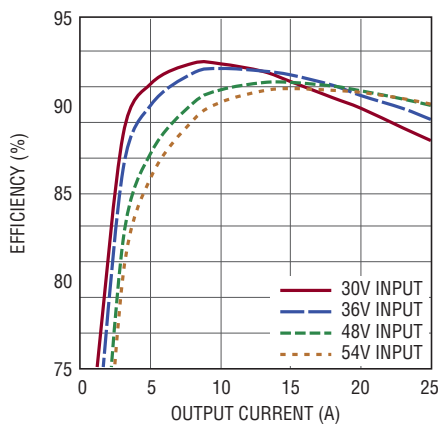
第1段 = 100kHz、
第2段 = 200kHz、
25A 最終段 = 250kHz、EXTV_{CC} = 5V



4664 G03

1.5V 個別シングル出力

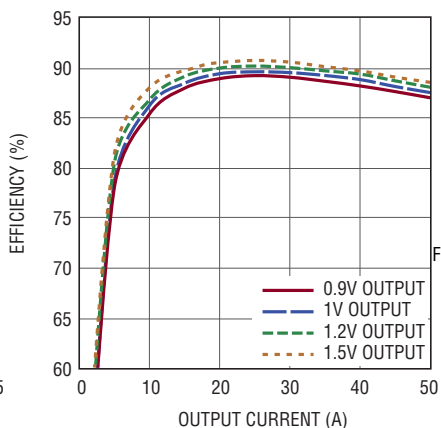
第1段 = 100kHz、
第2段 = 200kHz、
25A 最終段 = 350kHz、EXTV_{CC} = 5V



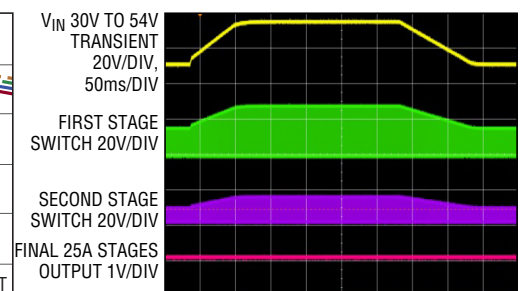
4664 G04

54V 入力、2相 50A シングル出力

第1段 = 100kHz、
第2段 = 200kHz、
25A 最終段 = 350kHz、EXTV_{CC} = 5V

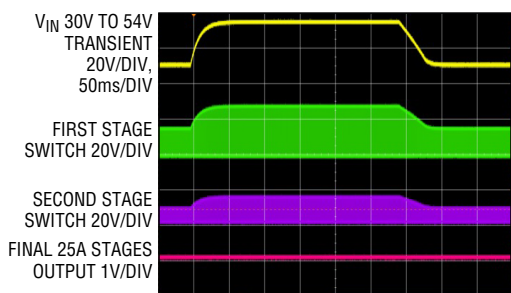


4664 G05

54V 入力の電圧変化、
無負荷

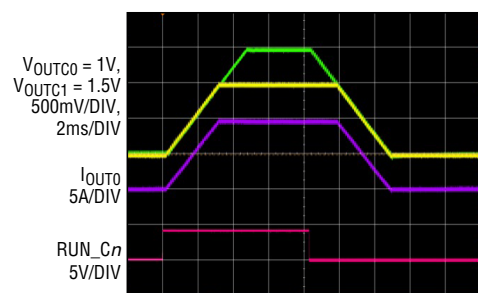
4664 G06

54V TO 1V, NO LOAD
4:1 DIVIDER: FIRST STAGE 100kHz,
SECOND STAGE 200kHz,
FINAL 25A STAGES 250kHz

54V 入力の電圧変化、
負荷: 各 25A

4664 G07

54V TO 1V, 25A LOAD EACH
4:1 DIVIDER: FIRST STAGE 100kHz,
SECOND STAGE 200kHz,
FINAL 25A STAGES 250kHz

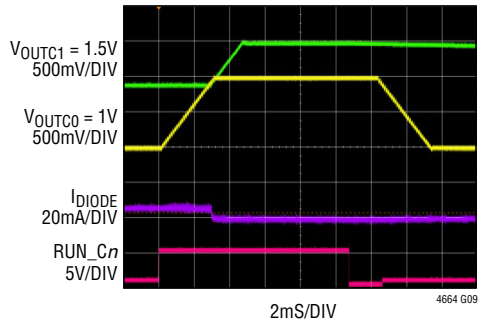
デュアル出力トラッキング
起動/シャットダウン

4664 G08

48VIN, 10A LOAD ON VOUT0, NO LOAD ON VOUTC1,
TON_RISE 0 = 3ms, TON_RISE 1 = 4.5ms,
TOFF_DELAY 1 = 0ms, TOFF_DELAY 0 = 1.5ms
TOFF_FALL 1 = 4.5ms, TOFF_FALL 0 = 3ms,
ON_OFF_CONFIGn = 0x1E

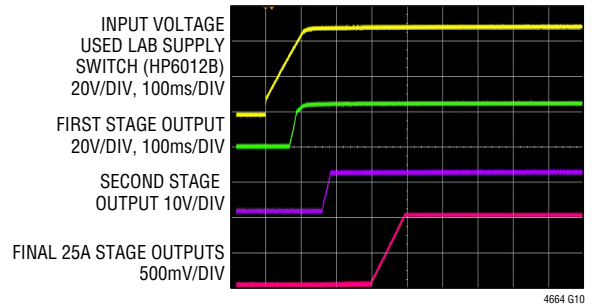
代表的な性能特性

負荷をプリバイアスした状態でのデュアル出力の起動/シャットダウン



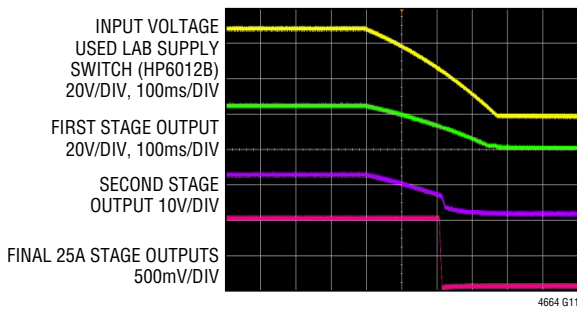
48VIN, 10A LOAD ON VOUT0, 7.5mA LOAD ON VOUT1, VOUT1 PREBIASED THROUGH A DIODE
 TON_RISE 0 = 3ms, TON_RISE 1 = 4.5ms,
 TOFF_DELAY 1 = 0ms, TOFF_DELAY 0 = 1.5ms
 TOFF_FALL 1 = 4.5ms, TOFF_FALL 0 = 3ms,
 ON_OFF_CONFIGn = 0x1E

起動



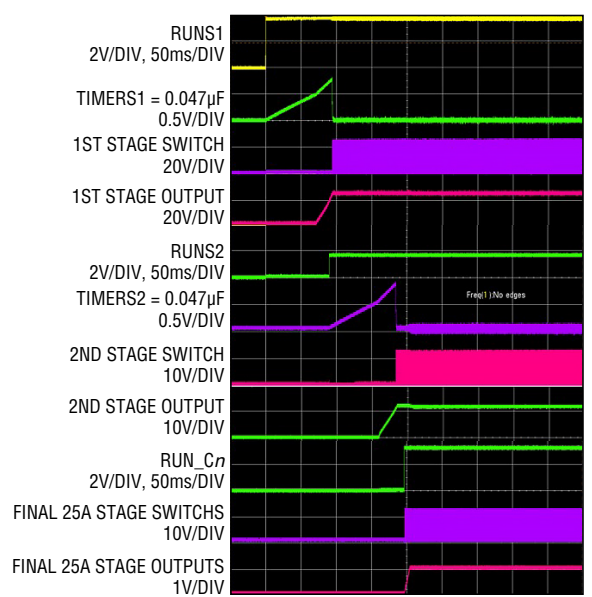
48V TO 1V AT 0A LOAD, EACH 25A STAGE
 FINAL STAGE TON DELAY AND TON RISE SET TO 100ms

シャットダウン



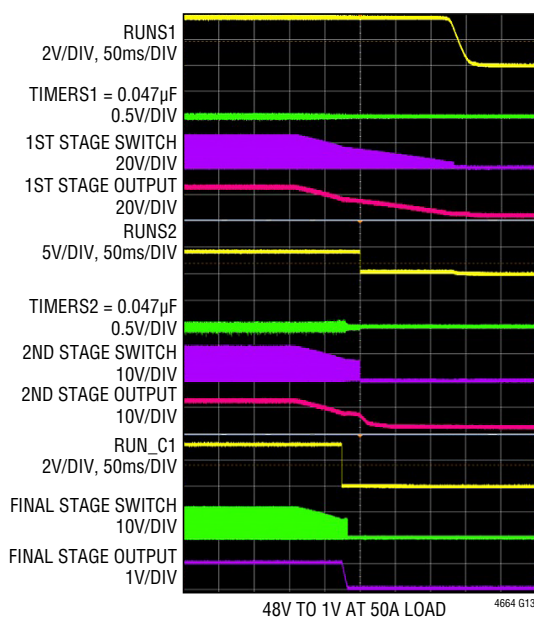
48V TO 1V AT 0A LOAD, EACH 25A STAGE
 FINAL STAGE TON DELAY AND TON RISE SET TO 100ms

全シーケンスのターンオン



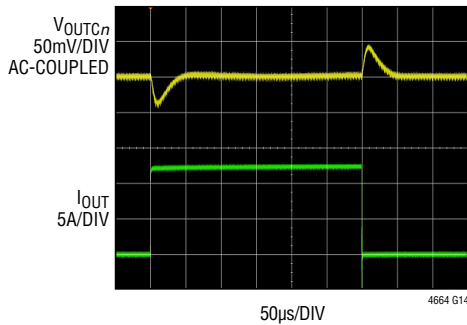
48V TO 1V AT 50A LOAD

全シーケンスのターンオフ

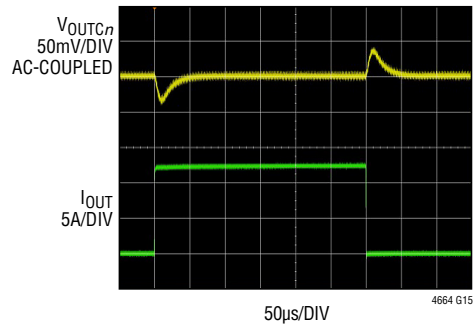


48V TO 1V AT 50A LOAD

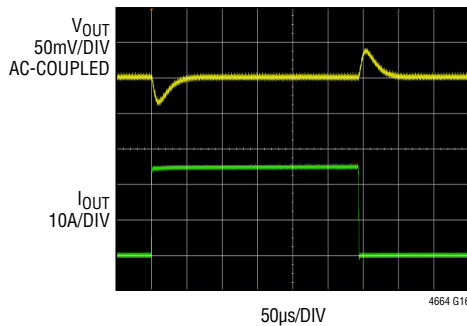
代表的な性能特性

V_{OUTCn} (1V) の負荷過渡応答

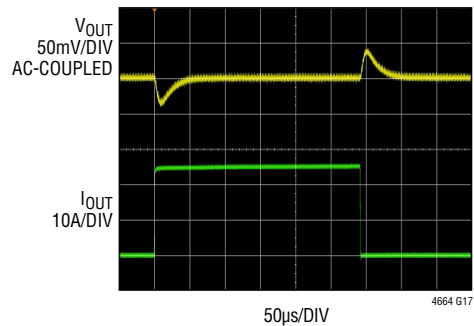
48V TO 1V SINGLE CHANNEL,
0A TO 12.5A/μs LOAD STEP
C_{OUT} = 470μF ×2 POSCAP, 100μF ×5 CER,
COMP_Cna = 2200pF, COMP_Cnb = 100pF,
EA-GM = 3.69ms, RCOMP = 5k,
PSM FREQ = 250kHz, I_{LIMIT} RANGE = LOW
V_{OUT} RANGE = LOW

V_{OUTCn} (1.5V) の負荷過渡応答

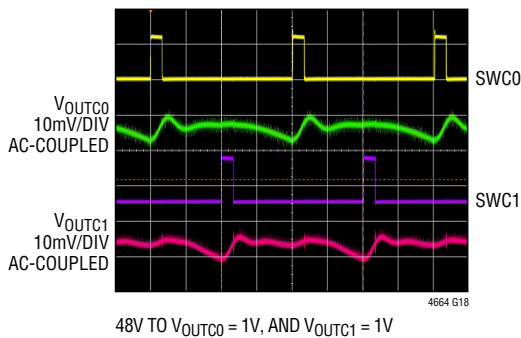
48V TO 1.5V SINGLE CHANNEL, 0A TO 12.5A/μs
LOAD STEP
C_{OUT} = 470μF ×1 POSCAP, 330μF ×2 CER,
COMP_Cna = 2200pF, COMP_Cnb = 220pF,
EA-GM = 3.02ms, RCOMP = 6k,
PSM FREQ = 350kHz

**デュアル・フェーズ (50A/0.9V) の
負荷過渡応答**

48V TO 0.9V DUAL PHASE SINGLE OUTPUT, 0A
TO 25A/μs LOAD STEP
C_{OUT} = 470μF ×2 POSCAP, 330μF ×5 CER,
COMP_C0,1 = 1500pF, COMP_C01b = 100pF,
EA-GM = 4.36ms, RCOMP = 13k,
PSM FREQ = 250kHz, I_{LIMIT} RANGE = LOW
V_{OUT} RANGE = LOW

**デュアル・フェーズ (50A/1V) の
負荷過渡応答**

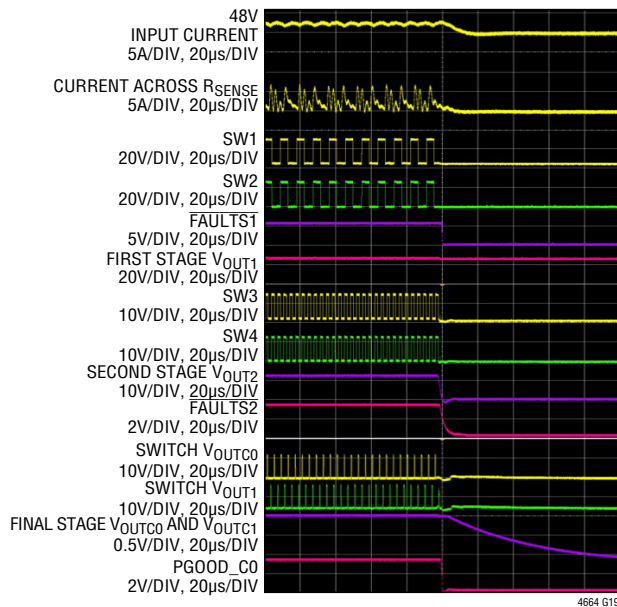
48V TO 1V DUAL PHASE SINGLE OUTPUT, 0A TO
25A/μs LOAD STEP
C_{OUT} = 470μF ×2 POSCAP, 5 × 330μF CER,
COMP_C0,1 = 1500pF, COMP_C01b = 100pF,
EA-GM = 4.36ms, RCOMP = 13k,
PSM FREQ = 350kHz, I_{LIMIT} RANGE = LOW
V_{OUT} RANGE = LOW

25A の AC リップル・ノイズ

48V TO V_{OUTC0} = 1V, AND V_{OUTC1} = 1V

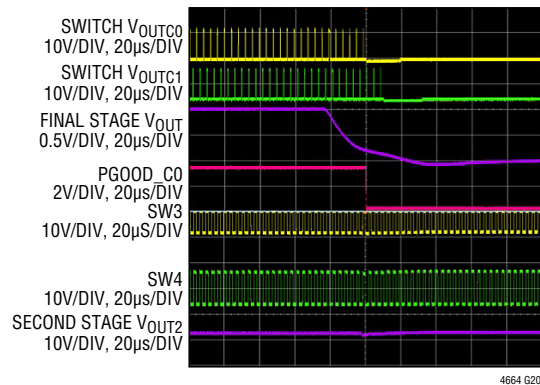
代表的な性能特性

48V 入力、1V 出力、第2段 (12V) の
短絡時



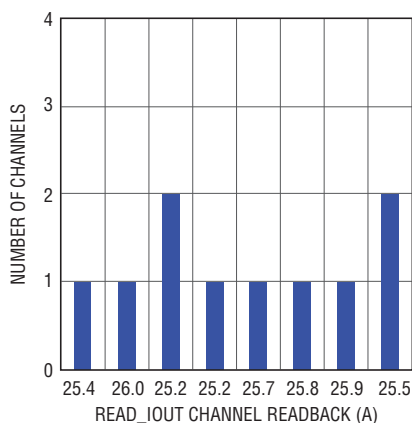
48V TO 1V AT 50A V_{OUT2} STAGE 12V
OUTPUT SHORTED

48V 入力、1V/50A 出力の短絡時



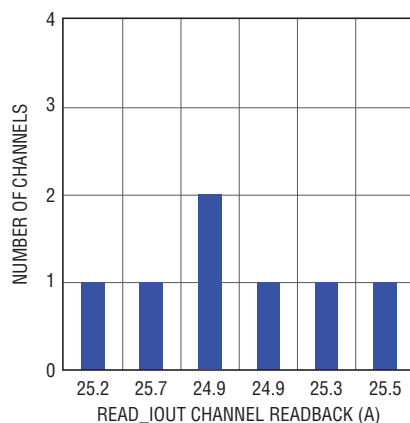
48V TO 1V AT 50A SHORTED LAST STAGE 1V
OUTPUT V_{OUTC0} AND V_{OUTC1} IN PARALLEL

LTM4664 の 16 チャンネルの READ_IOUT、
 $V_{IN} = 12V$ 、 $V_{OUT} = 1V$ 、 $T_J = -40^{\circ}C$ 、
 $I_{OUTn} = 25A$ 、熱的な定常状態に達した
システム、空気流なし



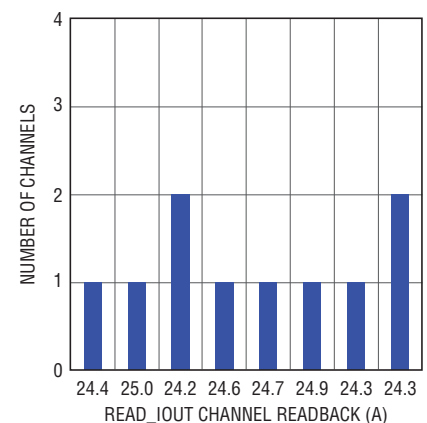
4664 G21

LTM4664 の 16 チャンネルの READ_IOUT、
 $V_{IN} = 12V$ 、 $V_{OUT} = 1V$ 、 $T_J = 25^{\circ}C$ 、
 $I_{OUTn} = 25A$ 、熱的な定常状態に達した
システム、空気流なし



4664 G22

LTM4664 の 16 チャンネルの READ_IOUT、
 $V_{IN} = 12V$ 、 $V_{OUT} = 1V$ 、 $T_J = 125^{\circ}C$ 、
 $I_{OUTn} = 25A$ 、熱的な定常状態に達した
システム、空気流なし



4664 G23

ピン機能

4:1 分圧器セクション(第1段)

V_{INS1} : (J15~J16) 第1段の2分割回路への電源入力ピン。これらのピンとGNDの間には入力容量を接続します。

INSNSS1⁺ : (J14) 電流検出コンパレータの非反転入力、外付け電流検出抵抗の正ノードに接続。電流検出抵抗は最上段MOSFETのドレインに接続する必要があります。INSNSS1⁺ピンとINSNSS1⁻ピンの間の電圧が50mVを超えると、第1段のコントローラは、**FAULTS1**ピンの電圧をローにすることにより、過電流障害を示します。また、INSNSS1⁺ピンを使用して、分圧器アプリケーションでの事前バランス調整時間中に95mAの電流をV_{OUT1}ピンに供給します。使用しない場合は、最上段MOSFETのドレインに直接接続してください。アプリケーション回路図のセクションを参照してください。

INSNSS1⁻ : (J13) 電流検出コンパレータの反転入力、電流検出抵抗の負ノードに接続。使用しない場合は、INSNSS1⁺に短絡します。

V_{OUT1} : (C14~C16) 第1段の2分割回路の出力ピン。これらのピンは第2段のV_{INS2}ピンに接続しています。出力デカップリング・コンデンサはこれらのピンとGNDピンの間に直接配置することを推奨します。

GND : (A8~A9, B1~B3, B8~B9, B14~B16, C4~C13, D4, D8, D9, D13, E1~E4, E8~E9, E13~E16, F1~F4, F8~F10, G4, G8~G11, H4, H9~H11, J1~J4, J11, K1~K4, K11, L3, L11, L14~L16, M3~M5, M11, M14, N1~N4, N7, N11~N16, P1~P4, P7~P9, P13~P15, R1~R6, R9, R13~R16, T2~T3, T8~T9, T14~T15) 全てのグラウンド・リターンノードの主要グラウンド・ピン。入力コンデンサと出力コンデンサはこれらのピンに接続します。推奨レイアウト(図45)を参照してください。

SW1, SW2 : (G14~G16), (D14~D16) 第1段のC_{FLY} フライング・コンデンサのスイッチング・ノード。ブロック図を参照してください。

RUNS1 : (F11) 第1段の実行制御入力。RUNS1を強制的に1.2Vより低い電圧にすると、コントローラはシャットダウンします。RUNS1の電圧が1.2Vより高くなると、内部回路は起動します。RUNS1ピンの電圧が1.2Vより低い場合、1μAのプルアップ電流がRUNS1ピンから流れ出し、RUNS1ピンの電圧が1.2Vより高くなると、更に5μAの電流がRUNS1ピンから流れ出します。

FAULTS1 : (E11) これはオープンドレインの出力ピンです。V_{OUT1}の電圧が(V_{INS1})/2 ウィンドウ閾値の範囲外になると、INSNSS1⁺とINSNSS1⁻の間の電圧が50mVを超えると、**FAULTS1**の電圧はグラウンドまで低下します。**FAULTS1**ピンが解放されるのは、INTV_{CCS1}が起動してUVLOのレベルを超えた後です。**FAULTS1**またはPGOODS1を使用して、第2段のRUNS2のシーケンスを制御します。

PGOODS1 : (D12) これはオープンドレインの出力ピンです。何らかの障害があるか、UVS1ピンの電圧が1Vより低くなると、PGOODS1はグラウンド電位まで低下します。PGOODS1または**FAULTS1**を使用して、第2段のRUNS2のシーケンスを制御します。

UVS1 : (E10) 低電圧コンパレータ。UVS1ピンの電圧が1Vより低くなると、PGOODS1ピンの電圧は低下します。UVピンの電圧が1Vより高く、障害が発生していない場合、PGOODS1ピンは解放されます。使用しない場合は、INTV_{CCS1}に接続します。このピンは、正常な出力レギュレーションを検証する目的で使用されます。

HYS_PRGMS1 : (G12) このピンとグラウンドの間に接続した抵抗によって、(V_{INS1})/2とV_{OUT1}の間の電圧差をモニタするウィンドウ・コンパレータのウィンドウ閾値が設定されます。このピンからは10μAの電流が流れ出します。アプリケーションのセクションを参照してください。

TIMERS1 : (F12) 充電バランスと障害タイマーの制御入力。このピンとグラウンドの間に接続するコンデンサにより、V_{OUT1}を(V_{INS1})/2まで充電する時間を設定します。また、このピンでは短絡再試行時間も設定します。4:1分圧器のアプリケーション情報を参照してください。

FREQSE1 : (E12) 周波数設定ピン。このピンからは10μAの高精度電流が流れ出します。このピンとグラウンドの間に接続された抵抗によって周波数をプログラムする電圧が設定されます。詳細については、4:1分圧器の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。

INTV_{CCS1} : (D10) 5.5Vの内部低ドロップアウト・リニア電圧レギュレータの出力。ドライバと制御回路にはこの電圧源から電力が供給されます。最小4.7μFのセラミック・コンデンサまたは他の低ESRコンデンサを使用して、パワー・グラウンドにバイパスする必要があります。INTV_{CCS1}ピンは他のICには使用しないでください。

ピン機能

EXTV_{CCS1} : (D11) INTV_{CCS1}に接続された内部LDOへの外部電源入力。このLDOはINTV_{CCS1}に電力を供給しており、EXTV_{CCS1}が6.5Vより高く、V_{INS1}が7Vより高いときは必ず、V_{INS1}から電力が供給されている内部LDOをバイパスします。このピンの電圧が30Vを超えないようにしてください。このピンはV_{OUT2}出力を使用して駆動し、入力電圧が高いときにV_{INS1}によるLDOでの電力損失を制限できます。アプリケーションのセクションを参照してください。

4:1 分圧器セクション(第2段)

V_{INS2} : (C1~C3) 第2段の2分割回路への電源入力ピン。これらのピンとGNDの間に入力容量を接続します。

V_{INS2F} : (D5) フィルタ処理機能付きの入力電圧検出端子。このピンにはV_{INS2}との間に1k Ω の抵抗が直列に、またGNDとの間に4700pfのコンデンサが接続されています。このピンはGNDとの間に1M Ω の抵抗を内蔵しています。ブロック図を参照してください。

INSNSS2⁺ : (D7) 電流検出コンパレータの非反転入力、外付け電流検出抵抗の正ノードに接続。電流検出抵抗は最上段MOSFETのドレインに接続する必要があります。INSNSS2⁺ピンとINSNSS2⁻ピンの間の電圧が50mVを超えると、コントローラは、FAULTS2ピンの電圧をローにすることにより、過電流障害を示します。また、INSNSS2⁺ピンを使用して、分圧器アプリケーションでの事前バランス調整時間中に95mAの電流をV_{OUT2}ピンに供給します。使用しない場合は、最上段MOSFETのドレインに直接接続してください。アプリケーション回路図のセクションを参照してください。

INSNSS2⁻ : (D6) 電流検出コンパレータの反転入力、電流検出抵抗の負ノードに接続。使用しない場合は、INSNSS2⁺に短絡します。

V_{OUT2} : (H1~H3) 第2段の2分割回路の出力ピン。これらのピンはデュアル25A PMBusコンバータのV_{INS3}入力に接続しています。出力デカップリング・コンデンサはこれらのピンとGNDピンの間に直接配置することを推奨します。

SW3, SW4 : (D1~D3)、(G1~G3) 第2段のC_{FLY}フライング・コンデンサのスイッチング・ノード。ブロック図を参照してください。

RUNS2 : (G6) 第2段の実行制御入力。RUNS2を強制的に1.2Vより低い電圧にすると、コントローラはシャットダウンします。RUNS2の電圧が1.2Vより高くなると、内部回路は起動します。RUNS2ピンの電圧が1.2Vより低い場合、1 μ Aのプルアップ電流がRUNS2ピンから流れ出し、RUNS2ピンの電

圧が1.2Vより高くなると、更に5 μ Aの電流がRUNS2ピンから流れ出します。第1段のPGOODS1、およびFAULTS1を使用して、第2段をイネーブルします。

FAULTS2 : (H6) これはオープンドレインの出力ピンです。V_{OUT2}の電圧が(V_{INS2})/2のウィンドウ閾値範囲から外れるか、INSNSS2⁺とINSNSS2⁻の間の電圧が50mVを超えると、FAULTS2はグラウンド電位まで低下します。FAULTS2ピンが解放されるのは、INTV_{CCS2}が起動してUVLOのレベルを超えた後です。FAULTS2またはPGOOD2を使用して、デュアル25A PSM段のRUN_C0およびRUN_C1のシーケンスを制御します。

PGOODS2 : (H5) これはオープンドレインの出力ピンです。何らかの障害があるか、UVS2ピンの電圧が1Vより低くなると、PGOODS2はグラウンド電位まで低下します。PGOOD2またはFAULTS2を使用して、デュアル25A PSM段のRUN_C0およびRUN_C1のシーケンスを制御します。

UVS2 : (H7) 低電圧コンパレータ。UVS2ピンの電圧が1Vより低くなると、PGOODS2ピンの電圧は低下します。UVピンの電圧が1Vより高く、障害が発生していない場合、PGOODS2ピンは解放されます。使用しない場合は、INTV_{CCS2}に接続します。このピンは、正常な出力レギュレーションを検証する目的で使用されます。

HYS_PRGMS2 : (E5) このピンとグラウンドの間に接続した抵抗によって、(V_{INS2})/2とV_{OUT2}の間の電圧差をモニタするウィンドウ・コンパレータのウィンドウ閾値が設定されます。このピンからは10 μ Aの電流が流れ出します。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。

TIMERS2 : (F5) 充電バランスと障害タイマーの制御入力。このピンとグラウンドの間に接続するコンデンサにより、V_{OUT2}を(V_{INS2})/2まで充電する時間を設定します。また、このピンでは短絡再試行時間も設定します。4:1分圧器のアプリケーション情報を参照してください。

FREQS2 : (G5) 周波数設定ピン。このピンからは10 μ Aの高精度電流が流れ出します。このピンとグラウンドの間に接続された抵抗によって周波数をプログラムする電圧が設定されます。詳細については、4:1分圧器の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。

INTV_{CCS2} : (G7) 5.5Vの内部低ドロップアウト・リニア電圧レギュレータの出力。ドライバと制御回路にはこの電圧源から電力が供給されます。最小4.7 μ Fのセラミック・コンデンサまたは他の低ESRコンデンサを使用して、パワー・グラウンドに

ピン機能

バイパスする必要があります。INTV_{CCS2}ピンは他のICには使用しないでください。

EXTV_{CCS2} : (F7) INTV_{CCS2}に接続された内部LDOへの外部電源入力。このLDOはINTV_{CCS2}に電力を供給しており、EXTV_{CCS2}が6.5Vより高く、V_{INS2}が7Vより高いときは必ず、V_{IN2}から電力を供給されている内部LDOをバイパスします。このピンの電圧が30Vを超えないようにしてください。このピンはV_{OUT2}出力を使用して駆動し、入力電圧が高いときにV_{INS2}によるLDOでの電力損失を制限できます。4:1分圧器の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。

VOUT2_SET : (F6) V_{OUT2}の作動リファレンス・レベルを設定するための外部反転(−)コンパレータ入力。このためには、V_{IN}からの抵抗と5.1Vのツェナー・ダイオードを使用します。この2次的な障害保護の範囲は、第1段と第2段の障害保護の範囲を超えています。全入力電圧が4分割されるので、V_{OUT2}はV_{IN}の1/4になります。OVP_SETピンにはV_{OUT2}の電圧をモニタする分圧器が接続され、OVP_SETピンの分圧器の midpoint がリファレンス作動レベルを超えると作動するように設定します。このピンを使用しない場合は、グラウンドに接続してください。4:1分圧器の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。

OVP_SET : (E6) V_{OUT2}の作動レベルを設定するための外部非反転(+)入力。OVP_SETピンにはV_{OUT2}の電圧をモニタする分圧器が接続され、OVP_SETピンの分圧器の midpoint がVOUT2_SETピンのリファレンス作動レベルを超えると作動するように設定します。例えば、OVP_SETの作動点をV_{TRIP}に設定した場合、 $RTOP = ((V_{TRIP}/5.1V) - 1) \cdot 7.5K$ となります。この場合、RTOPは分圧器の上側抵抗であり、RBOTは分圧器の下側抵抗です。RBOTは7.5kに設定します。このピンを使用しない場合は、INTV_{CCS2}に接続してください。4:1分圧器の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。

OVP_TRIP : (E7) V_{OUT2}での過電圧障害発生時に入力電力を遮断して、持続エネルギーをクランプするのに使用するオープン・コレクタ出力。アプリケーションのセクションを参照してください。

PMBusデュアル25A セクション

V_{INS3_C1}、V_{INS3_C0} : (L1~L2、M1~M2)、(L12~L13、M12~M13) : チャンネル0への主電源入力、およびチャンネル1のパワー段。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、V_{INS3}に物理的にできるだけ近

づけて配置してください。V_{INS3_C1}入力は、INTV_{CC} LDOレギュレータの入力電力を供給します。デュアル25A PSMの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_{OUTC0} : (A10~A16、B10~B13) : チャンネル0の出力電圧。推奨の出力コンデンサをこの接続箇所とGNDとの間に配置します。図45の推奨レイアウトを参照してください。

V_{OSNS⁺_C0} : (R12) チャンネル0の正の差動電圧検出入力。V_{OSNS⁺_C0}とV_{OSNS⁻_C0}は、互いに出力電圧V_{OUTC0}をV_{OUTC0}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_{OUTC0}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。V_{INS3}電源投入時の初期コマンド値は、NVM(不揮発性メモリ)の内容(出荷時のデフォルト値: 1.000V)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_{OUTC0_CFG}および4:1分圧器の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_{OSNS⁻_C0} : (P12) : チャンネル0の負の差動電圧検出入力。V_{OSNS⁺_C0}を参照してください。

V_{OUTC1} (A1~A7、B4~B7) : チャンネル1の出力電圧。推奨の出力コンデンサをこの接続箇所とGNDとの間に配置します。図45の推奨レイアウトを参照してください。

V_{OSNS⁺_C1 (P6)} : チャンネル1の正の差動電圧検出入力。V_{OSNS⁺_C1}とV_{OSNS⁻_C1}は、互いに出力電圧V_{OUTC1}をV_{OUTC1}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_{OUTC1}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。V_{INS3}電源投入時の初期コマンド値は、NVM(不揮発性メモリ)の内容(出荷時のデフォルト値: 1.000V)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_{OUTC1_CFG}および4:1分圧器の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_{OSNS⁻_C1 (N6)} : チャンネル1の負の差動電圧検出入力。V_{OSNS⁺_C1}を参照してください。

IN⁺ (R10) : 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は、このピンをIN⁻ピンとV_{INS3}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、4:1分圧器のアプリケーション情報のセクションを参照してください。

ピン機能

IN⁻ (P10) : 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は、このピンをIN⁺ピンとV_{IN3}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、4:1分圧器のアプリケーション情報のセクションを参照してください。

SGND_C0_C1 (M9, N8~N9) : SGND_C0_C1は、デュアル25A制御回路の信号グラウンド帰還経路です。SGND_C0_C1は内部でGNDに接続されていません。SGND_C0_C1は、出力コンデンサのグラウンド接続箇所に近いA9、B9、C9ピンでGNDに接続してください。推奨レイアウトを参照してください。

SWC0、SWC1 (T10~T13)、(T4~T7) : チャンネル0とチャンネル1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。

EXTV_{CC} (R8) : 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。バイアスを印加して電力損失を低減できる場合は、このピンを使用することを推奨します。

INTV_{CC} (R7) : 内部レギュレータ、5.5V出力。V_{INS3}を7V ≤ V_{INS3} ≤ 16Vの範囲で動作させると、LDOはINTV_{CC}をV_{INS3_C1}から生成して、デュアル25A電源の内部制御回路とMOSFETドライバにバイアスを供給します。外付けの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_C_nピンの状態に関係なく安定化されます。

VDD33 (L6) : 内部生成された3.3V電源の出力ピン。このピンは、FAULT_C_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_C_n、SDA、SCL、ALERT、およびPGOOD_C_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。外付けのデカップリング・コンデンサは不要です。

VDD25 (K6) : 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。外付けのデカップリング・コンデンサは不要です。

ASEL (J8) : 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、LTM4664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、LTM4664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。4:1分圧器の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。

FSWPH_CFG (H8) : スwitchング周波数、チャンネルの位相インターリーブ角、およびSYNC構成ピンとの位相関係。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デュアル25Aレギュレータを設定した場合(つまり、MFR_CONFIG_ALL[6] = 1bと設定した場合)、LTM4664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、LTM4664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、350kHz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)。VDD25とSGND_C0_C1の間に抵抗分圧器を接続(4ページ参照)すると(また、NVMの出荷時デフォルト設定であるMFR_CONFIG_ALL[6] = 0bを使用すると)、内部モジュールと外部モジュールの並列接続チャンネルの様々な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LTM4664を便利な方法で設定できます(デュアル25A PSMの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。

VOUTC0_CFG (J6) : VOUTC0の出力電圧選択ピン、粗い設定。VOUTC0_CFGピンとVTRIMC0_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LTM4664を設定した場合(つまり、MFR_CONFIG_ALL[6] = 1bと設定した場合)、LTM4664の目標のVOUTC0出力電圧設定値(VOUT_COMMANDON)、関

ピン機能

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、LTM4664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、VTRIMC0_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、LTM4664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(4:1分圧器の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。VOUTC0_CFG/VTRIMC0_CFGにRCONFIGを使用すると、VOUTC0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。

VTRIMC0_CFG (K5) : VOUTC0の出力電圧選択ピン、細かい設定。VOUTC0_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(VOUTC0_CFGおよびデュアル25A PSMの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。VOUTC0_CFG/VTRIMC0_CFGにRCONFIGを使用すると、VOUTC0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。

VOUTC1_CFG (J7) : VOUTC1の出力電圧選択ピン、粗い設定。VOUTC1_CFGピンとVTRIMC1_CFGピンを両方ともオープンのままにするか、ピンストラップ抵抗(RCONFIG)を無視するようにLTM4664を設定すると(つまり、MFR_CONFIG_ALL[6] = 1b)、LTM4664の目的のVOUTC1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、VOUTC1_CFGピンとVTRIMC1_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、LTM4664のNVMの内容に従って規定されます(VOUTC1_CFG、VTRIMC1_CFG、および4:1分圧器の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。VOUTC1_CFG/VTRIMC1_CFGにRCONFIGを使用すると、VOUTC1範囲の設定(MFR_PWM_MODE1[1])およびループ・ゲインに影響するので注意してください。 V_{DD25} とSGND_C0_C1の間の抵抗分圧器です。43ページを参照してください。

VTRIMC1_CFG (J5) : VOUTC1の出力電圧選択ピン、細かい設定。VOUTC1_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(VOUTC1_CFGおよびデュアル25A PSMの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。VOUTC1_CFG/VTRIMC1_CFGにRCONFIGを使用すると、VOUTC1範囲の設定(MFR_PWM_MODE1[1])およびループ・ゲインに影響するので注意してください。 V_{DD25} とSGND_C0_C1の間の抵抗分圧器によってトリム値を設定できます。43ページを参照してください。

RUN_C0、RUN_C1(それぞれJ9、K8) : 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、LTM4664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、LTM4664がリセットから解放され、 V_{IN3_C1} が V_{IN_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。LTM4664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、RUN_C0あるいはRUN_C1を適宜ローにします。このような場合には、 I^2C 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。PGOODS2およびFAULTS2を使用して、デュアル25A PSM段のRUN_C0およびRUN_C1のシーケンスを制御します。

PGOOD_C0/PGOOD_C1 (R11/N5) : 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100 μ s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。

FAULT_C0/FAULT_C1 (K10/K9) : 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。

COMP_0b/COMP_1b (N10/M7) : 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。

ピン機能

COMP_0a/COMP_1a (P11/M6) : ループ補償ノード。LTM4664の内部PWMループ補償抵抗RCOMP_n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。LTM4664 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、4:1 分圧器の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マブルなループ補償のサブセクションを参照してください。MFR_PWM_COMPのセクションを参照してください。

SYNC (M8) : 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。LTM4664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 (L9) : 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。LTM4664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、LTM4664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LTM4664での双方向オープンドレイン出力ピンになります。

SDA (L8) : 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 (J10) : 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 (L7) : Share_Clock、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LTM4664（とSHARE_CLKピンを備えたアナログ・デバイス）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。

TSNS_C0a, TSNS_C0b (それぞれL10およびT16) : 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。TSNS_C0aとTSNS_C0bを接続します。これにより、LTM4664はチャンネル0のパワー段の温度をモニタできます。

TSNS_C1a, TSNS_C1b (それぞれM10およびT1) : それぞれ、チャンネル1の温度励起／測定ピンとサーマル・センサー・ピン。ほとんどのアプリケーションでは、TSNS_C1aをTSNS_C1bに接続します。これにより、LTM4664はチャンネル1のパワー段の温度をモニタできます。アプリケーションのセクションを参照してください。

WP (K7) : 書込み保護ピン、アクティブ・ハイ。内部10μA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。

PWM_C0, PWM_C1 (M15, L4) : チャンネル0、チャンネル1のパワー段へのPWM駆動信号。デバッグまたはモニタリングの目的で利用されます。

GL_C0, GL_C1 (P16, P5) : チャンネル0のパワー段、チャンネル1のパワー段での下側MOSFETのゲート駆動ピン。デバッグまたはモニタリングの目的で利用されます。

PHFLT_C0, PHFLT_C1 (M16, L5) : チャンネル0およびチャンネル1の過熱警告。過熱保護閾値を超えると、PHFLT_C_nピンはローになります。パワー段はシャット・オフせず、温度モニタのみとなります。これらのピンは10kの抵抗を介して内部で3.3Vにプルアップされます。

4:1 分圧器のブロック図

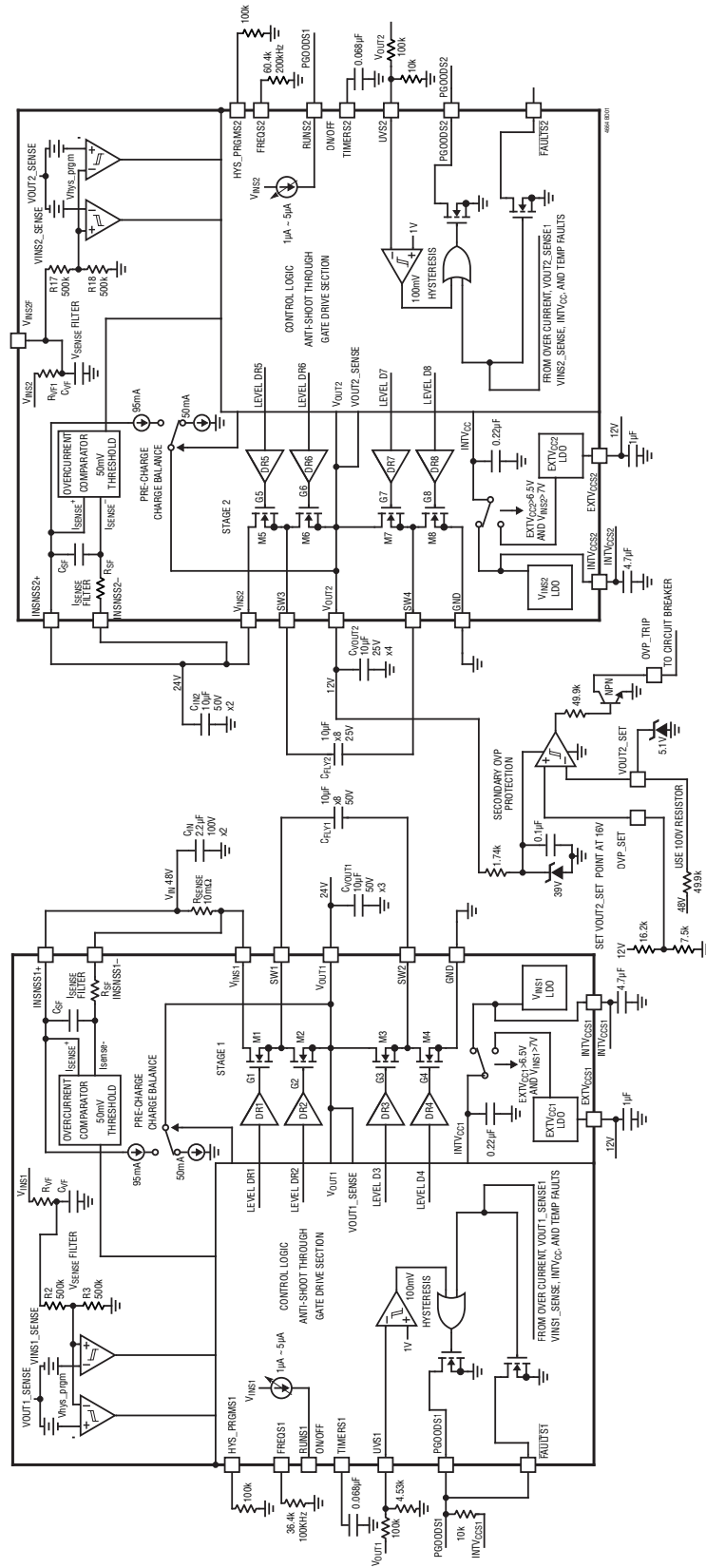


図 1. LTM4664 の 4:1 分圧器の簡略ブロック図

デュアル25Aパワー・システム・マネージメント (PSM) のブロック図

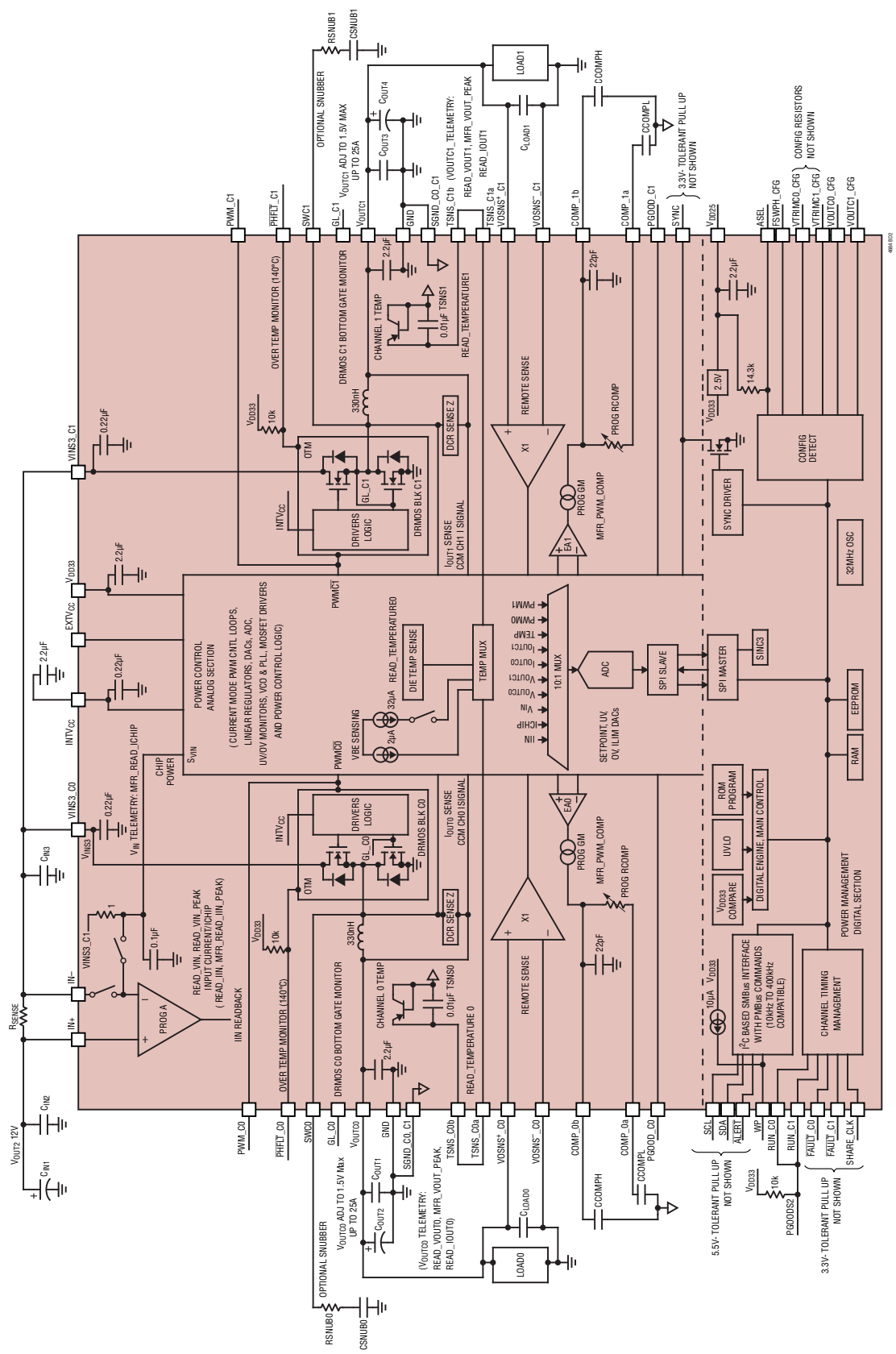


図 2. LTM4664 の PSM セクション、デュアル 25A PSM のブロック図

4:1 分圧器の動作

4:1 分圧器の概要

LTM4664は、30V～58Vの入力電圧範囲にわたって入力電圧を4分の1に分圧する高性能の4:1スイッチド・キャパシタ分圧器を内蔵しています。この4:1分圧器は、0.5V～1.5Vの範囲内で安定化できるPMBus準拠のデュアル25Aコア電源レールに電力を供給します。LTM4664は、この高い入力電圧範囲を低い出力電圧に直接変換します。

主制御

LTM4664内部の4:1分圧器は、2つの定周波数、オープン・ループ・スイッチド・キャパシタ段／チャージ・ポンプ段を高電圧の降圧に使用します。変換効率は非常に高く、第1段では約99%であり、第2段では約98.6%です。ブロック図については図1を参照してください。第1段の定常状態動作では、NチャンネルMOSFET M1およびM3が、同じ位相、約50%のデューティ・サイクル、事前に設定した100kHzのスイッチング周波数でオン／オフします。NチャンネルMOSFET M2およびM4は、MOSFET M1およびM3と相補的にオン／オフします。ゲート駆動波形を図3に示します。

位相1のときは、M1とM3がオンしており、フライング・コンデンサ C_{FLY1} は C_{OUT1} と直列になります。位相2のときは、M2とM4がオンしており、 C_{FLY1} は C_{OUT1} と並列になります。 V_{OUT1} の電圧は、常にMOSFET M1のドレインの最大電圧(GNDピン基準)の半分近くになっており、また定常状態

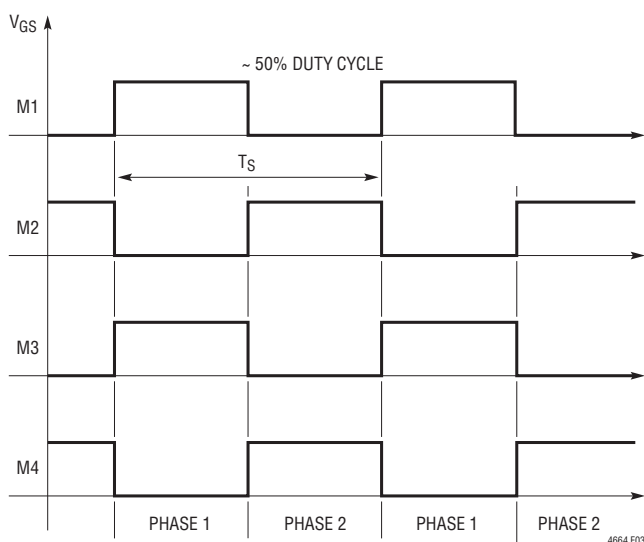


図3. 第1段のMOSFETのスイッチング波形

になっていて、出力でのインピーダンスが非常に低いために可変負荷の影響をあまり受けません。第2段もまったく同様に動作し、NチャンネルMOSFET M5およびM7が、同じ位相、約50%のデューティ・サイクル、事前に設定した300kHzのスイッチング周波数でオン／オフします。NチャンネルMOSFET M6およびM8は、MOSFET M5およびM7と相補的にオン／オフします。メインの入力電圧レールは V_{INS1} に接続され、 V_{OUT1} は V_{INS2} に直接接続されます。LTM4664のフロント・エンド分圧器段は、クローズドループ帰還系によって出力電圧を安定化しません。ただし、 V_{OUT} ピンの過電圧または低電圧、過電流イベント、または過熱保護イベントなどの障害状態が発生すると、スイッチングを停止します。

V_{OUT2} ($V_{INS1}/4$)は、デュアル25A PMBusチャンネルの入力である V_{INS3_Cn} に接続されます。これについては、デュアル25A PSMの動作のセクションで詳細に説明します。 V_{OUT2} をモニタして過電圧の有無を調べるために使用できる2次の障害保護コンパレータ回路があります。これについては、アプリケーション情報のセクションで詳細に説明します。LTM4664は、定常状態に到達後、数ミリ秒より短い時間での急激な電圧変動がある30V～58Vの入力電圧範囲で動作できます。ウィンドウ・コンパレータのセクションを参照してください。

INTV_{CCS1,2}/EXTV_{CCS1,2} 電源

4つのNチャンネルMOSFETドライバと他の大部分の内部回路の電源は、INTV_{CCSn}ピンから供給されます。通常は、図1に示すように、内部の5.5Vリニア電圧レギュレータがINTV_{CCS1,2}の電力を V_{INS1} または V_{INS2} から供給します。これらの入力電源は両方とも入力電圧が高く、LDOの電圧降下による電力損失が増加します。EXTV_{CCS1,2}ピンのオプションの外部電圧源が2番目の5.5Vリニア電圧レギュレータをイネーブルして、INTV_{CCS1,2}の電源をEXTV_{CCS1,2}ピンから供給します。このより効率の高い2番目のレギュレータをイネーブルするには、 $V_{INS1,2}$ を7Vより高くして、EXTV_{CCS1,2}ピンの電圧を6.5Vより高くする必要があります。EXTV_{CCSn}ピンの電圧が40Vを超えないようにしてください。起動後にLDOでの電力損失を低減するためにEXTV_{CCS1}とEXTV_{CCS2}の両方に接続されている V_{OUT2} 電源(12V)を図1に示します。これらの各電源は150mAのピーク電流を供給できます。どのような種類のバルク・コンデンサを使用する場合でも、0.1μFのセラミック・コンデンサをINTV_{CCSn}ピンとGNDピンのすぐ近くに追加することを強く推奨します。MOSFETゲート・ドライ

4:1 分圧器の動作

バが必要とする大きな過渡電流を供給するには、十分なバイパスが必要です。これらの高い入力電圧と、パワー MOSFET の高周波での駆動を組み合わせると、LTM4664 の最大ジャンクション温度定格を超える恐れがあります。INTV_{CCSn} の電流は、ゲート充電電流が中心となるので、V_{INSn} による 5.5V リニア電圧レギュレータと EXTV_{CCSn} によるリニア電圧レギュレータのいずれから供給してもかまいません。EXTV_{CCSn} ピンの電圧が 6.5V より低いと、V_{INSn} によるリニア電圧レギュレータがイネーブルされます。この場合、内部コントローラの消費電力は最大となり、V_{INSn} ・ I_{INTVCCSn} 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。こうした理由で、V_{OUT2} の電圧を使用して EXTV_{CCS1,2} ピンに電力を供給することを強く推奨します。

起動とシャットダウン

LTM4664 の分圧器段は、RUNS ピンの電圧が引き下げられて 1.1V より低くなると、シャットダウン・モードになります。このモードでは、INTV_{CCS1,2} レギュレータを含む大半の内部回路がオフになり、4:1 分圧器の 1 段当たりの消費電流は 200 μ A 未満です。シャットダウン時には全てのゲート駆動回路が能動的にローになり、外付けパワー MOSFET をオフします。RUNS_{1,2} ピンを解放すると、1 μ A の内部電流によってこれらのピンの電圧が上昇し、コントローラ段をイネーブルできます。RUNS_{1,2} ピンの電圧が 1.22V より高くなると、それぞれのピンから流れ出る電流が 5 μ A 増えます。あるいは、RUNS ピンを外部からプルアップするか、またはロジックで直接駆動することもできます。これらのピンの電圧が 6V の絶対最大定格を超えないようにしてください。RUNS_{1,2} ピンが解放されて INTV_{CCS1,2} の電圧が UVLO レベルを超えると、該当する特定の段が起動して、V_{INn} と V_{OUTn} の電圧を絶え間なくモニタします。LTM4664 の分圧器段がスイッチングを開始するのは、V_{OUTn} の電圧が V_{INSn} の電圧の半分に近づいた場合か、V_{OUTn} と V_{INSn} の両方の電圧が GND に近づいた場合だけです。分圧器アプリケーションでは、V_{OUT1,2} が事前に V_{INS1,2} の半分の電圧にバランス調整されており、LTM4664 の分圧器段は、様々な初期状態のコンデンサを接続した状況で起動することがあるため、必要に応じてバランス調整が行われます。

障害保護とサーマル・シャットダウン

LTM4664 の分圧器段はシステムの電圧、電流、および温度をモニタして、障害の有無を調べます。障害状態が発生すると、第 1 段と第 2 段はスイッチングを停止して、その FAULT ピンをローにします。電圧障害を解消するには、V_{OUTn} ピンの電圧が V_{INSn} の電圧の半分付近の事前設定範囲内に入るか、V_{INSn} および V_{OUTSn} の電圧が、それぞれ 1V および 0.5V より低くなる必要があります。電流障害を解消するには、INSNSn⁺ ピンから INSNSn⁻ ピンまでの電圧降下が 50mV より小さくなる必要があります。温度障害を解消するには、IC の温度が 165°C より低くなる必要があります。FAULT ピンは外付け抵抗によって最大 60V の電圧にプルアップできます。また、障害状態時に入力と出力を分離する遮断 FET を制御することもできます。図 1 のブロック図を参照してください。

ハイスайд電流検出

過電流保護の場合、LTM4664 は検出抵抗 R_{SENSE} を使用して電流をモニタします。検出抵抗は最上段 MOSFET M1 のドレインに接続する必要があります。例については、標準的応用例のセクションを参照してください。ほとんどのアプリケーションでは、検出抵抗を流れる電流がパルス電流であり、ピーク値は平均負荷電流よりはるかに高くなります。I_{SENSE}⁻ ピンの内部 RC フィルタ (スイッチング周波数より低い時定数) を使用して、高精度の平均電流保護を設定します。過電流保護が必要ない場合は、I_{SENSE}⁺ ピンと I_{SENSE}⁻ ピンを互いに短絡して、上側 MOSFET M1 のドレインに直接接続します。第 1 段では電流障害を既にモニタしているので、これは第 2 段が対象です。図 1 を参照してください。

周波数の選択

スイッチング周波数の選択は効率と部品サイズの間の兼ね合いによって決まります。低周波動作では、MOSFET のスイッチング損失を低減することによって効率が向上しますが、低出力リップル電圧と低出力インピーダンスを維持するには大容量が必要です。FREQSn ピンを使用すると、コントローラの動作周波数を 100kHz ~ 1MHz の範囲に設定できます。FREQSn ピンから 10 μ A の高精度電流が流れ出しているので、GND との間に接続した 1 本の抵抗を使用してコントローラのスイッチング周波数を設定できます。FREQSn ピン

4:1 分圧器の動作

の電圧は、抵抗値に $10\mu\text{A}$ の電流を乗じた値と等しくなります (例えば、 FREQSn ピンと GND の間に 100k の抵抗を接続すると、電圧は 1V です)。 FREQSn ピンの電圧とスイッチング周波数との関係を表す曲線を以下に示します。最適な効率を得るため、第1段は 100kHz で動作し、第2段は 200kHz で動作します。図4を参照してください。

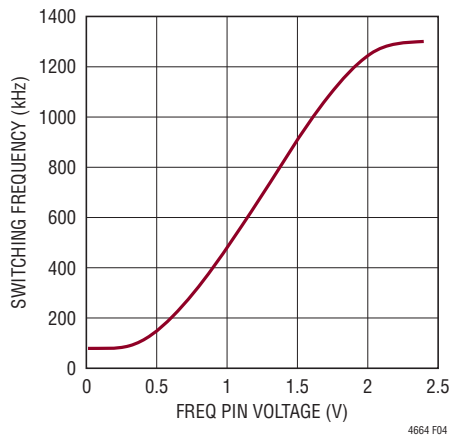


図4. スwitchング周波数とFREQピンの電圧の関係

$$f_{\text{sw}} (\text{kHz}) = R_{\text{FREQ}} (\text{k}\Omega) \cdot 8 - 317\text{kHz}$$

パワーグッドとUV (PGOODSn ピンと UVSn ピン)

UVSn ピンの電圧が 1V より低くなると、 PGOODSn ピンはローになります。また、 RUNSn ピンがローになった場合や、LTM4664の分圧器段が起動中の場合も、 PGOODSn ピンはローになります。 PGOODSn ピンが解放されるのは、LTM4664の分圧器段がスイッチングしていて、かつ UVSn ピンの電圧が 1V より高い場合だけです。 UVSn ピンがローになると、 PGOODSn ピンは直ちにパワーバッド・フラグを立てます。ただし、 UVSn の電圧が 1V を超えた場合、内部には $20\mu\text{s}$ のパワーグッド・マスクと 100mV のヒステリシスがあります。 PGOODSn ピンは、外付け抵抗によって INTV_{CC} にプルアップしています。 UVS1 ピンを使用して V_{OUT1} のレベルをモニタしてレギュレーションが適正かどうかを確認し、 PGOODS1 信号を使用して第2段の RUNS2 ピンのシーケンスを制御します。次に、 PGOODS2 を使用して下流のデュアル25Aレギュレータのシーケンスを制御します。 UV ピンを正しくセットアップして特定のレギュレーション点を設定すれば、出力電圧がその値に達したときに PGOODn ピンが解放されます。図1のブロック図を参照してください。

追加の過電圧保護

OVP_SET 、 VOUT2_SET 、 OVP_TRIP の各ピンを使用して V_{OUT2} の電圧をモニタし、過電圧障害の有無を確認します。これらのピンを図46の回路と組み合わせて使用することで、4:1分圧器の障害保護の範囲を超える2次的な過電圧保護を実現できます。この機能を使用すると、入力電力を遮断して、低電圧出力を更に保護できます。

4:1 分圧器のアプリケーション情報

図1のブロック図の代表的なアプリケーションに、4:1分圧器回路を示します。第1段の分圧器では、VINS1の入力電圧は最上段MOSFET M1のドレインの電圧であり、出力電圧はVOUT1ピンの電圧で、このピンはMOSFET M2のソースとMOSFET M3のドレインに接続されています。出力電圧は、定常状態での入力電圧の半分程度です。第2段の分圧器では、VINS2の入力電圧は最上段MOSFET M5のドレインの電圧であり、出力電圧はVOUT2ピンの電圧で、このピンはMOSFET M6のソースとMOSFET M7のドレインに接続されています。4:1分圧器はこれで全てです。

分圧器アプリケーションでは、起動前に負荷電流が加わったり、VOUT_nピンに重い抵抗性負荷が接続されたりすると、事前バランス調整回路の駆動電流が制限されているため、分圧器段が起動しない場合があります。

したがって、PGOODS1信号を使用して第2段のRUN2ピンのシーケンスを制御し、PGOODS2ピンを使用してデュアル25Aレギュレータのシーケンスを制御します。

スイッチング前の分圧器の事前バランス調整

分圧器アプリケーションでは、VOUT_nの電圧が、定常状態でのVINS_n/2に常に近い値になります。フライング・コンデンサ(C_{FLY_n})とVOUT_nのコンデンサの電圧は、全て互いに非常に近い値であり、入力電圧の半分に等しくなります。コンデンサ間の電圧差が小さいので、各スイッチング・サイクル中の充電突入電流は最小限で済みます。ただし、LTM4664コントローラの事前充電回路などの特殊な充電方法がない場合は、起動時、またはVOUT_nのGNDへの短絡などの障害状態時にコンデンサ間の電圧差が大きくなり、充電電流が、非常に大量のMOSFET電流を引き起こすのに十分な大きさになる可能性があります。第1段のスイッチM1およびM3がオンしているときは、第2段のM5およびM7がオンしています。理想的には、突入充電電流は次のようになります。

$$I = \frac{V_{INSn} - V_{CFLYn} - V_{OUTn}}{R_{ONMn} + R_{ONMn}}$$

第1段でスイッチM2およびM4がオンしているか、パワーMOSFETの飽和電流によって突入電流が制限されていて、第2段のM6およびM8がオンしている場合には、次のようになります。

$$I = \frac{V_{CFLYn} - V_{OUTn}}{R_{ONMn} + R_{ONMn}}$$

パワーMOSFETのR_{DS(ON)}が非常に小さいと、突入充電電流が容易に数百アンペアに達して、MOSFETの安全動作領域(SOA)より大きくなる可能性があります。

LTM4664は、独自の事前バランス調整方式により、分圧器アプリケーションでの突入充電電流を最小限に抑えます。LTM4664コントローラは、スイッチングの前にVOUT_nピンの電圧を検出して、その電圧をVINS_n/2と内部で比較します。VOUT_nピンの電圧がVINS_n/2より高い場合は、電流源はVOUT_nピンに95mAの電流を流し込んで、VOUT_nピンの電圧を引き上げます。VOUT_nピンの電圧がVINS_n/2より低い場合は、電流源はVOUT_nピンから50mAの電流を流し出して、VOUT_nピンの電圧を引き下げます。

VOUT_nピンの電圧がVINS_n/2に近づいて事前設定範囲内に入っている場合は、両方の電流源がディスエーブルされ、分圧器段はスイッチングを開始します。68回のスイッチング・サイクル後にVOUT_nピンの電圧がなお事前設定範囲内にある場合、FAULTS_nピンは解放されます。

起動時の事前バランス調整機能を備えた4:1分圧器の場合、LTM4664はVOUT_n(出力)に負荷電流が流れないか負荷電流が非常に少ない(50mA未満)とみなします。そうでない場合、VOUT_nはVINS_n/2に到達できず、LTM4664は起動しません。この無負荷状態を実現するには、PGOOD_nピンを後続の電氣的負荷のイネーブル・ピンに接続します。抵抗性負荷など、負荷電流をオフに制御できない場合は、標準的応用例に示すように、VOUT_nへの負荷を起動時に遮断する遮断FETが必要です。入力電源は30V~58Vの範囲で動作できますが、電源電圧変動をスイッチング周波数よりはるかに低速になるよう制限して、HYS_PRGMS_nピンで設定されているヒステリシスを超えないようにする必要があります。高速の大きい電圧変動が生じると、4:1分圧器は強制的に事前バランス調整段階になります。通常は、フロント・エンドの回路ブレーカが主入力電源の速度変化やスルー・レート

4:1 分圧器のアプリケーション情報

を制御して、この問題を解消します。入力電源電圧の変動が4:1分圧器の動作周波数よりはるかに低速である限り、レギュレータは事前バランス調整を必要とせずにバランスを調整できます。

過電流保護

LTM4664の4:1分圧器は、高電圧側に配置した検出抵抗によって過電流保護を実現します。高精度のレールtoレール・コンパレータが、検出抵抗にケルビン接続された $INSNSSn^+$ ピンと $INSNSSn^-$ ピンの間の差動電圧をモニタします。 $INSNSSn^+$ ピンの電圧が $INSNSSn^-$ ピンの電圧より50mV高い場合は常に過電流障害が検出され、 $FAULTSn$ ピンはグラウンド電位まで低下します。同時に分圧器段はスイッチングを停止して、タイマー・ピンのセットアップに基づいて再試行モードを開始します。 $TIMERSn$ ピンの電圧が4Vに達して、検出抵抗両端の電圧差が50mVより小さくなると、過電流障害は解消されます。

フライング・コンデンサの充電／放電時に検出抵抗を流れる電流はパルス電流であり、負荷が重くなると50mVの閾値より高い電圧が生じることがあります。突入電流によって過電流保護回路が誤作動しないように、 $INSNSSn^+$ ピンと $INSNSSn^-$ ピンにはRCフィルタが必要です。RCフィルタの時定数はスイッチング周期より大きくする必要があります。通常は、100 Ω と0.1 μ Fのフィルタがほとんどのアプリケーションに適しており、このフィルタはLTM4664の内部に既に組み込まれています。異なる検出抵抗値を選択すれば、電流制限値は選択できます。例えば、10m Ω の検出抵抗にすれば、理想的には $50\text{mV}/10\text{m}\Omega = 5\text{A}$ の電流制限値を設定できます。スイッチング・リップルのため、実際の電流制限値は理想の場合より常に小さくなります。実際の回路では、0.1 μ F/100 Ω のフィルタでスイッチング周波数が200kHzの場合、電流制限値は4.2A前後です。過電流保護を使用しない場合は、図1の第2段に示すように、 $INSNSSn^+$ ピンと $INSNSSn^-$ ピンを互いに短絡して、上側NチャンネルMOSFETのドレインに接続します。第2段の電流制限は通常は必要ありません。既に第1段に実装されているからです。また、デュアル25Aレギュレータは、データシートで後述する過電流保護回路も内蔵しています。

ウィンドウ・コンパレータの設定

通常動作時は、 V_{OUTn} の電圧は常に V_{INSn} の電圧の半分近くになります。フローティング・ウィンドウ・コンパレータは、 V_{OUTn} ピンの電圧をモニタして、 $V_{INSn}/2$ と比較します。ウィンドウのヒステリシス電圧を設定して、 HYS_PRGMSn ピンの電圧と等しくすることができます。 HYS_PRGMSn ピンからは10 μ Aの高精度電流が流れ出します。 HYS_PRGMSn ピンとGNDの間に1本の抵抗を接続すると、 HYS_PRGMSn ピンの電圧が設定され、その値は抵抗値と10 μ Aの電流との積に等しくなります(例えば、 HYS_PRGMSn ピンとGNDの間に100kの抵抗を接続した場合、電圧は1Vになります)。 HYS_PRGMSn ピンに100kの抵抗を接続した場合、 $V_{INSn}/2$ の電圧は、起動時と通常動作時には($V_{OUTn} \pm 1\text{V}$)のウィンドウ範囲内に入る必要があります。そうでない場合は、障害が発生して、LTM4664の分圧器段はスイッチングを停止します。

ウィンドウのヒステリシス電圧は、 $HYS_PRGMNSn$ ピンに様々な抵抗値を接続することで、0.3Vから2.4Vまで直線的に設定できます。 HYS_PRGMSn ピンを $INTV_{CC}$ に接続すると、デフォルトの0.8Vヒステリシス・ウィンドウが内部で適用されます。ウィンドウのヒステリシス電圧は十分に大きく設定して、最大負荷条件での V_{OUTn} ピンの電圧リップルおよび電圧降下を許容できるようにする必要があります。図5を参照してください。これら2つのピンには小さな内部RCフィルタを使用しているので、スイッチング周波数より高い周波数のノイズは除去されます。

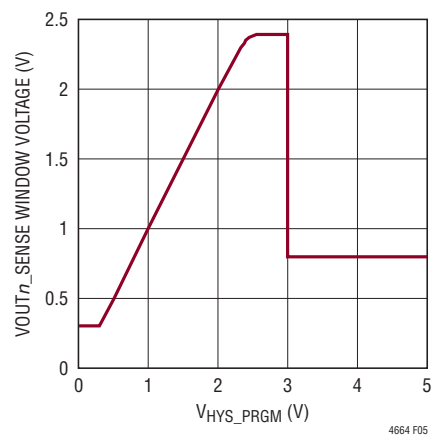


図5. HYS_PRGM ピンの電圧と V_{OUTn_SENSE} ウィンドウ・コンパレータ電圧の関係

4:1 分圧器のアプリケーション情報

実効オープンループ出力抵抗と 負荷レギュレーション

LTM4664の分圧器段は、クローズドループ帰還系を介して出力電圧を安定化しません。ただし、一定の品質のフライング・コンデンサを取り付けていて、高いスイッチング周波数で動作している場合には、出力抵抗が低いので、出力電圧は負荷状態にあまり影響を受けません。分圧器回路のテブナン等価回路を図6に示します。

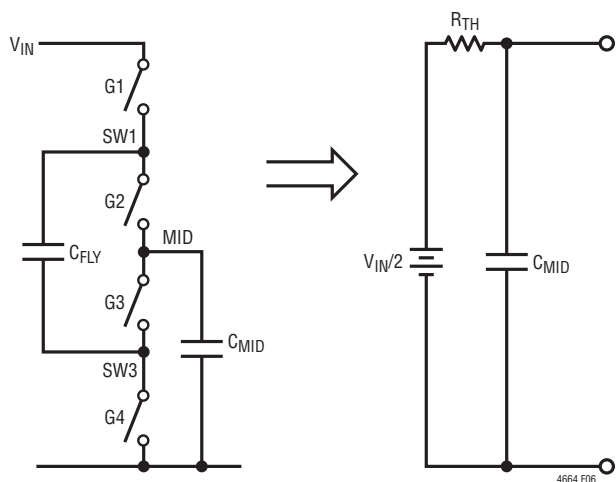


図6.

デューティ・サイクルが50%前後の場合は、次式が成立します。

$$R_{OUT} = \frac{1 + e^{-\frac{1}{4f_s R_{DS(ON)} C_{FLY}}}}{4f_s C_{FLY} \left(1 - e^{-\frac{1}{4f_s R_{DS(ON)} C_{FLY}}} \right)}$$

ここで、

f_s はスイッチング周波数、

C_{FLY} はフライング・コンデンサ、

$R_{DS(ON)}$ は1つのMOSFETのオン抵抗です。

スイッチング周波数が低いときは、 $R_{TH} = 1/(4f_s C_{FLY})$ です。周波数が高くなるにつれて、 R_{TH} は最終的に $2R_{DS(ON)}$ に近づきます。大電力アプリケーションでは、適切な負荷レギュレーションおよび効率を得るため、 $1/(16C_{FLY} R_{DS(ON)})$ 前後かそれより高いスイッチング周波数を選択することを推奨します。重負荷条件では、出力電圧が $V_{INSn}/2$ から $R_{TH} \cdot I_{LOAD}$ だけ降下します。多くのアプリケーションでは、フライ

ング・コンデンサとして積層セラミック・コンデンサ (MLCC) が選択されます。MLCCコンデンサの電圧係数は、コンデンサの種類とサイズに大きく依存します。通常は、サイズの大きいX7RのMLCCコンデンサの方が、電圧係数の点でX5Rより優れています。DCバイアス電圧が高いと、容量は更に20%~30%低下します。スイッチド・キャパシタ回路の出力抵抗を推定する場合には、容量のデレーティングを検討する必要があります。

低電圧ロックアウト

LTM4664の分圧器段は、 $INTV_{CCSn}$ の電圧を常時モニタして、適正なゲート駆動電圧が加わっていることを確認する高精度のUVLOコンパレータを内蔵しています。 $INTV_{CCSn}$ が4.9Vより低くなると、スイッチング動作をロックアウトします。 $INTV_{CCSn}$ に乱れが生じたときの発振を防ぐため、UVLOコンパレータには200mVの高精度ヒステリシスがあります。低電圧状態を検出する別の方法は、入力電源電圧をモニタすることです。RUNピンは1.22Vの高精度ターンオン・リファレンスを備えているため、 V_{INSn} への抵抗分圧器を使って、入力電圧が十分高くなったときに分圧器段をオンにすることができます。RUNSnピンの電圧が1.22Vを超えると、RUNピンから流れ出す電流が5μA増えます。抵抗分圧器の値を調節することにより、RUNSnコンパレータのヒステリシスを設定できます。

障害応答とタイマーの設定

LTM4664の分圧器段は、障害状態時にスイッチングを停止して、FAULTSnピンをローにします。TIMERSnピンとGNDの間に接続したコンデンサにより、障害状態が解消された場合に起動するまでの再試行時間を設定します。障害状態時のTIMERSnピンの代表的な波形を図7に示します。

FAULTSnピンがローになった後、3.5μAのプルアップ電流がTIMERピンから流れ出し、TIMERSnのコンデンサを充電し始めます。プルアップ電流は、TIMERSnピンの電圧が0.5Vより高くなると7μAまで増加し、TIMERSnピンの電圧が1.2Vより高くなると3.5μAに戻ります。障害状態が解消されるか、TIMERSnピンの電圧が4Vより高くなると、TIMERSnピンは必ず引き下げられます。TIMERSnピンの電圧が0.5V~1.2Vの範囲内にある場合、内部の事前バランス調整回路は V_{OUTn} ピンに対してソース電流またはシンク電流を供給し、 V_{OUTn} ピンの電圧を $V_{INSn}/2$ に安定化して、95mA/50mA前後の電流供給能力を発揮します。事前バランス調整時間は、TIMERSnピンのコンデンサ $C_{TIMERSn}$ に基づいて、以下のように計算されます。 $T_{PRE-BALANCE} = C_{TIMER} \cdot 0.7V/7\mu A$ で計算できるので、事前バランス調整時間は100ms/μF (例えば、 C_{TIMER} が0.1μFの場合、事前バランス調整時間は

4:1 分圧器のアプリケーション情報

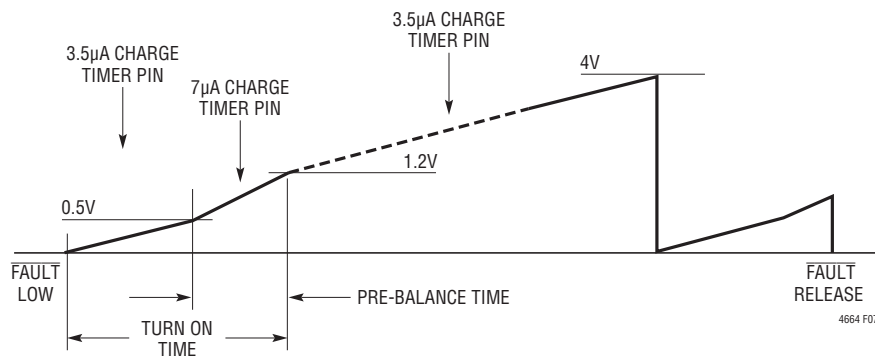


図7. 障害発生時または起動時のタイマー動作

10ms)になります。分圧器アプリケーションでは、フライング・コンデンサ C_{FLYn} と V_{OUTn} のコンデンサが非常に大容量で、入力電圧が高い場合、一定の C_{TIMER} で V_{OUTn} ピンの電圧を事前に $V_{INSn}/2$ に調整してバランスをとるのに、事前バランス調整時間が数周期かかる可能性があります。起動時間が長くなることが予想されます。初期条件がゼロであるとすると、コンデンサを充電する時間 τ_{charge} は、次式から概算できます。

$$\tau_{Charge} = (C_{OUT} + C_{FLY}) \cdot (V_{IN} / 2 / 93mA)$$

コンデンサの概算値は電圧バイアスと温度の両方で決まる値であり、この情報はコンデンサのデータシート曲線から得られることに留意してください。

入出力コンデンサとフライング・コンデンサの選択

大電力のスイッチド・キャパシタ・アプリケーションでは、フライング・コンデンサと入出力コンデンサに大量のAC電流が流れます。大電力のスイッチド・キャパシタ・アプリケーションでは、低ESRのセラミック・コンデンサを強く推奨します。

コンデンサの最大RMS電流が仕様の範囲内であることを確認してください。あるいは、より定格の大きなコンデンサが望まれます。多くの場合、コンデンサ・メーカーはリップル電流定格をわずか2000時間の寿命時間によって規定しています。このため、コンデンサを更にデレーティングすることを推奨します。

設計例

72Wの4:1分圧器にLTM4664の分圧器段を使用する設計例として、第1段では $V_{INS1} = 48V$ (公称)、 $V_{INS1} = 60V$ (最大)、 $V_{OUT1} = 24V$ (公称)、 $I_{OUT1} = 3A$ (最大)とします。大電力で高電圧のアプリケーションでは、常に低いスイッチング周波数(例: 100kHz)で起動して、スイッチング損失を最小限に抑えます。第1段のスイッチング周波数を100kHzに設定するため、36.5k(1%精度)の抵抗をFREQS1ピンとグラウンドの間に接続します。効率と電力密度の間の相反関係に対しては、 C_{FLY1} の電圧リップルを出力電圧の2%に設定するのが初期値として適しています。 C_{FLY1} は次式に基づいて計算できます。

$$I_{OUT1(MAX)} = 3A$$

$$C_{FLY} = \frac{I_{OUT1(MAX)}}{2 \cdot f_{SW} \cdot V_{CFLY1(RIPPLE)}}$$

$$\sim 31\mu F = \frac{3A}{2 \cdot 100kHz \cdot 0.48V}$$

DCバイアス電圧が24Vのときのセラミック・コンデンサ容量のデレーティングを考慮し、10µF/X7R/50Vのセラミック・コンデンサ8個をフライング・コンデンサとして並列に接続します。

72Wの4:1分圧器で、第2段では $V_{INS2} = 24V$ (公称)、 $V_{IN} = 30V$ (最大)、 $V_{OUT2} = 12V$ (公称)、 $I_{OUT2} = 6A$ (最大)とします。第2段では、200kHzのスイッチング周波数で起動して、スイッチング損失を最小限に抑えます。スイッチング周波数を200kHzに設定するため、60.4k(1%精度)の抵抗をFREQS2ピンとグラウンドの間に接続します。効率と電力密度の間の相反関係に対しては、 C_{FLY2} の電圧リップルを出力電圧の

4:1 分圧器のアプリケーション情報

2%に設定するのが初期値として適しています。 C_{FLY2} は次式に基づいて計算できます。

$$I_{OUT2(MAX)} = 6A$$

$$C_{FLY} = \frac{I_{OUT2(MAX)}}{2 \cdot f_{SW} \cdot V_{CFLY2(RIPPLE)}}$$

$$\sim 62\mu F = \frac{6A}{2 \cdot 200kHz \cdot 0.24V}$$

DCバイアス電圧が12Vのときのセラミック・コンデンサ容量のデレーティングを考慮し、10 μ F/X7R/50Vのセラミック・コンデンサ8個をフライング・コンデンサとして並列に接続します。

DCバイアス電圧が24Vと12Vのときのセラミック・コンデンサ容量のデレーティングを検討します。

最も厳しい条件のRMS電流は、最大出力電流より40%高くなる可能性があります。したがって、各コンデンサでの最も厳しい条件のRMS電流は、次式で概算できます。

$$I_{RMS1(MAX)} = \frac{I_{OUT1(MAX)} \cdot 140\%}{N},$$

Nは、第1段で並列接続した C_{FLY1} コンデンサの数

$$0.525A = \frac{3A \cdot 1.4}{8}$$

各コンデンサのRMS電流の定格は2Aなので、問題ありません。

$$I_{RMS2(MAX)} = \frac{I_{OUT2(MAX)} \cdot 140\%}{N},$$

Nは、第1段で並列接続した C_{FLY1} コンデンサの数

$$1.05A = \frac{6A \cdot 1.4}{8}$$

各コンデンサのRMS電流の定格は2Aなので、問題ありません。

出力コンデンサの選択は、フライング・コンデンサの選択と同様です。出力コンデンサの数を増やすほど、出力電圧リップルは小さくなります。出力コンデンサのRMS電流は C_{FLY} のRMS電流の1/3未満なので、出力コンデンサはフライング・コンデンサより大幅に少なくしてかまいません。いくつかの出力コンデンサを入力と出力の間に接続して、同時に入力コンデンサとして機能させることもできます。ただし、これらのコンデンサの電圧定格は、出力電圧ではなく入力電圧に基づいて選択する必要があります。

4:1 分圧器に使用するコンデンサ

コンデンサ・メーカー	値 (μF)	電圧 (V)	部品番号
Murata	10	50	GRM32ER71H106KA12
TDK	10	50	C3225X7R1H106M250AC
Murata	22	25	GRM32ER71G226KE15L
Taiyo Yuden	22	25	TMK325BJ226MMHT

デュアル25A PSMの動作

LTM4664 パワー・システム・マネージメント (PSM) デバイスは、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降圧電源を内蔵しており、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備えています。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_{OUTC0}、V_{OUTC1}: 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を参照してください。

PSM セクションの概要、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1.5V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18V
- 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
- チャンネルごとの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FAULT_C0、FAULT_C1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。

デュアル25A PSMの動作

ALERT、PGOOD_C0/PGOOD_C1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

LTM4664のPSMデュアル25Aレギュレータは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。読出し動作を $-40^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$ の温度範囲内で行えば、EEPROMは劣化しない。 85°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、高温で発生する場合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、LTM4664のPSMは全てのEEPROM書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。

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

ここで、

AF = 加速係数

E_a = 活性化エネルギー = 1.4eV

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

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。

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

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

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

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時間劣化したことになります。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、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、LTM4664のPSMもサポートしているEEPROMの効率的な

デュアル25A PSMの動作

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

LTM4664のPSM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350kHz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、LTM4664のPSMのNVMを設定します)。FSWPH_CFGのピンストラップ抵抗でLTM4664のPSM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LTM4664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、デュアル25A PSMの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_C0a、1aとSGNDの間にコンデンサを接続し、COMP_C0b、1bとSGNDの間にコンデンサを接続します。COMP_C0b、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_C0a、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。LTM4664デュアル25Aレギュレータ・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12に示します。ア

ナログ・デバイセズの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

LTM4664デュアル25Aレギュレータは、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。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_{INS3}が高いときに、回路の効率を向上して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、V_{INS3}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_Cn、FAULT_Cn、およびPGOOD_Cnはローに維持されます。LTM4664デュアル25Aレギュレータは表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、抵抗設定のセクションを参照してください。抵抗設定ピンが制御するのは、コントローラのプリセット値の一部です。残りの値は出荷時に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、LTM4664のPSM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、デュアル25A PSMのアプリケーション情報のセクションを参照してください。

デュアル25A PSMの動作

デバイスの初期化が完了すると、別のコンパレータが V_{INS3} 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70ms かかります。電圧と電流の読出しには、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。4:1 分圧器の第2段は、 UV_{S2} によって設定された設定値で規定されるレギュレーションに達すると、RUN_CO と RUN_C1 を解放し、FAULTn が解放されます。RUN_Cn ピンがLTM4664のPSMによって解放されるのは、デバイスが初期化され、 V_{INS3} 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LTM4664 PSM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_{INS3} 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_Cn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_{INS3} が印加された後、デバイスの初期化が完了するまで、SHARE_CLKピンはローに保持されます。SHARE_CLKがロー (MFR_CHAN_CONFIGのビット2を1に設定) の場合は、LTM4664のPSM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_Cnピンを互いに接続できない場合でも、多数のPSM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_Cn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_Cn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、LTM4664のPSMは25A出力のそれぞれで単調な初期ランプつまり「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) LTM4664 25Aレギュレータ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が無効にするには、TON_RISEの値を0.25msより小さい任意の値に設定します。LTM4664のPWM_Cn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、 I_{OUT_OC} は存在なくなります。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_Cn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_Cnピンを互いに接続します。何らかの理由でRUN_Cn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_Cnピンがローになると、LTM4664のPSM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。LTM4664のPSM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8に示すように、各出力のUV閾値を超えると、PGOOD_Cnピンがア

デュアル25A PSMの動作

サートされます。あるLTM4664 PSMチャンネルのPGOOD_Cnピンから、シーケンスの次のLTM4664 PSMチャンネルのRUN_Cnピンに、特に複数のLTM4664にまたがって電力を供給できます。PGOOD_Cn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_Cn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。

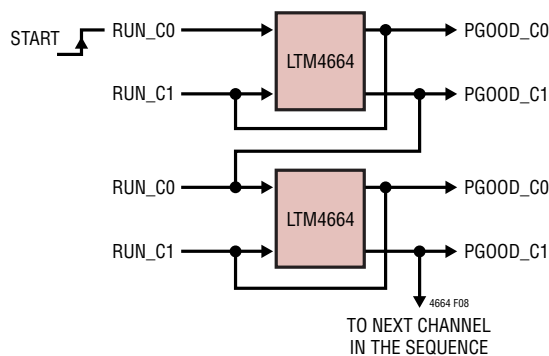


図8. イベント(電圧)ベースのシーケンス制御

シャットダウン

LTM4664のPSMレギュレータは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、以下の状況に応じて発生します。それは、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)、V_{IN}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_Cn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_Cn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

LTM4664のPSMレギュレータには、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行います(不連続導通モードは常に起動モードであり、強制連続モードはデフォルトの実行モードです)。

コントローラが不連続動作になるようにインエ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_Cn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

デュアル25A PSMの動作

ることができます。ただし、この障害はADCの読出しに基づいており、検出するのに最大で 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。

スイッチング周波数と位相

PWM_C1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、LTM4664 PSMデバイスは、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 $V_{\text{DD}33}$ 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。もう1つのLTM4664 PSMデバイスは、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をディセーブルします。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。

LTM4664 PSMデバイスは、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LTM4664のPSMに書き込むには、その前に両方のPSMチャンネルをオフに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LTM4664のPSMチャンネルを同期して、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

LTM4664のPSMの内部PWMループ補償抵抗 $R_{\text{COMP}na}$ 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。

LTM4664 PSMチャンネル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、デュアル25A PSMの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マブル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

LTM4664は両方のPSM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 $V_{\text{OSNS}^+_{Cn}}$ と $V_{\text{OSNS}^-_{Cn}}$ 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1.5Vですが、LTM4664の設計は1.8Vに制限されています。

INTV_{CC}/EXTV_{CC} 電源

内部MOSFETドライバおよび他の大部分の内部回路の電源は、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 $V_{\text{INS}3}$ から供給します。EXTV_{CC}が約4.7Vより高く、 $V_{\text{INS}3_C1}$ 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

デュアル25A PSMの動作

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_{INS3}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、LTM4664のPSM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V_{INS3_C1}ピンから電力が供給され、ICからの電力はV_{INS3_C1}・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、LTM4664のPSM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。

LTM4664のPSMのINTV_{CC}は外部電源に接続しないください。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。

出力電流の検出と1mΩ未満のDCRによる電流検出

LTM4664のPSMチャンネルは独自の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。ロー・レンジの設定MFR_PWM_MODE [7] = 0を使用してください(103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LTM4664 PSMの遠隔測定ADCによってデジタル化されます。LTM4664のPSMは、IOUT_

CAL_GAINコマンドに格納されたDCRの値とMFR_IOUT_CAL_GAIN_TCコマンドに格納された温度係数を使用してインダクタ電流を計算します。得られる電流値はREAD_IOUTコマンドによって返されます。

入力電流の検出

LTM4664の25Aの2つ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V_{INS3}の経路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、LTM4664のPSMの遠隔測定ADCによってデジタル化されます。入力電流検出アンプには3つのゲイン設定値(2倍、4倍、8倍)があり、MFR_PWM_CONFIGコマンドのビット[6:5]によって設定されます。3つのゲイン設定の最大入力検出電圧は、それぞれ50mV、20mV、5mVです。LTM4664のPSM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。

LTM4664は、1Ωの抵抗を使用して、LTM4664のPSMコントローラが消費するチップ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。チップ電流は、MFR_RVIN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、デュアル25A PSMの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LTM4664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48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、LTM4664のいずれか1つのPSMチャンネルだけSYNCピンをイネーブルします。それ以外のチャンネルについては、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。

デュアル25A PSMの動作

複数チャンネルでは、全ての $V_{OSNS}^+_{Cn}$ ピンを互いに接続し、全ての $V_{OSNS}^-_{Cn}$ ピンを互いに接続して、 $COMP_na$ ピンと $COMP_nb$ ピンも同様に互いに接続します。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 $SYNC$ 、 $SHARE_CLK$ 、 $\overline{FAULT_Cn}$ 、および $\overline{ALERT}$ ピンは共有する必要があります。 $SYNC$ 、 $\overline{FAULT_Cn}$ 、 $SHARE_CLK$ 、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) $TSNS_C0b$ ピンまたは (チャンネル1に対応する) $TSNS_C1b$ 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。 $TSNS_Cnb$ ピンは、対応する $TSNS_Cna$ ピンに接続し、これらの帰還路はLTM4664のPSMの $SGND_C0_C1$ 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)。

LTM4664のPSMチャンネルは 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。

RCONFIG(抵抗設定)ピン

1%精度の抵抗を使用する6つの入力ピンがあり、これらのピンで重要な動作パラメータを選択します。該当のピンは、 $ASEL$ 、 $FSWPH_CFG$ 、 $VOUTC0_CFG$ 、 $VOUTC1_CFG$ 、 $VTRIMC0_CFG$ 、 $VTRIMC1_CFG$ 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、抵抗入力は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。

$VOUTn_CFG$ 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、LTM4664の V_{OUTC0} および V_{OUTC1} 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 $VTRIMn_CFG$ 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。

$RCONFIG$ 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 $\overline{ALERT}$ を見たくない場合は、 PLL_FAULT の $\overline{ALERT}$ 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LTM4664のPSM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。

デュアル25A PSMの動作

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。

表1. LTM4664のPSMの出力電圧、粗い設定に対応するVOUTC_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 _{VOUTC_n_CFG} TOP (kΩ)	R _{VOUTC_n_CFG} * BOT (kΩ)	V _{OUTn} (V) 粗い設定	MFR_PWM MODE _n [1] ビット
14.3	Open	NVM	NVM
14.3	32.4	NVM	NVM
14.3	22.6	3.3	0
14.3	18.0	3.1	0
14.3	15.4	2.9	0
14.3	12.7	2.7	0
14.3	10.7	2.5	0, if V _{TRIMn} > 0mV 1, if V _{TRIMn} ≤ 0mV
14.3	9.09	2.3	1
14.3	7.68	2.1	1
14.3	6.34	1.9	1
14.3	5.23	1.7	1
14.3	4.22	1.5	1
14.3	3.24	1.3	1
14.3	2.43	1.1	1
14.3	1.65	0.9	1
14.3	0.787	0.7	1
14.3	0	0.5	1

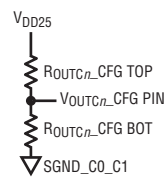
*R_{VOUTC_n_CFG}の表示値は公称です。抵抗値が表に示す値の3%以内に常に入るように、抵抗メーカーからR_{VOUTC_n_CFG}を選択してください。抵抗の初期許容誤差、T.C.R.と抵抗の動作温度、ハンダ処理熱/IRリフロー、および抵抗の寿命にわたる耐久性を考慮に入れてください。また、熱衝撃/温度サイクル、湿気(湿度)、および他の影響(特定のアプリケーションに依存)も時間が経過するにつれてR_{VOUTC_n_CFG}の値に影響します。SV_{IN}の電源を投入するたびに、あるいはMFR_RESETやRESTORE_USER_ALLを実行するたびに、抵抗ピン間のストラップ(配線)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2. LTM4664のPSMの出力電圧、微調整設定に対応するVTRIM_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 _{VTRIM_n_CFG} * BOT (kΩ)	有効な場合、V _{OUTn} の設定値に対するV _{TRIM} (mV)の微調整	R _{VTRIM_n_CFG} TOP (kΩ)
Open	0	14.3
32.4	99	14.3
22.6	86.625	14.3
18.0	74.25	14.3
15.4	61.875	14.3
12.7	49.5	14.3
10.7	37.125	14.3
9.09	24.75	14.3
7.68	12.375	14.3
6.34	-12.375	14.3
5.23	-24.75	14.3
4.22	-37.125	14.3
3.24	-49.5	14.3
2.43	-61.875	14.3
1.65	-74.25	14.3
0.787	-86.625	14.3
0	-99	14.3

*R_{VTRIM_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_{VTRIM_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_{VTRIM_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。

例:



デュアル25A PSMの動作

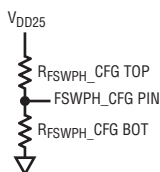
表 3. LTM4664 の PSM のスイッチング周波数とチャンネルの位相インターリーブ角を設定する
FSWPH_CFG のピンストラップ参照表 (MFR_CONFIG_ALL[6] = 1b の場合は該当しない)

R _{FSWPH_CFG} TOP (k Ω)	R _{FSWPH_CFG} * BOT (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]
14.3	Open	NVM; LTM4664 PSM Default = 500	NVM; LTM4664 Default = 0°	NVM; LTM4664 PSM Default = 180°	NVM; LTM4664 PSM Default = 000b	NVM; LTM4664 PSM Default = 0b
14.3	32.4	250	0°	180°	000b	0b
14.3	22.6	350	0°	180°	000b	0b
14.3	18.0	425	0°	180°	000b	0b
14.3	15.4	575	0°	180°	000b	0b
14.3	12.7	650	0°	180°	000b	0b
14.3	10.7	750	0°	180°	000b	0b
14.3	7.68	500	120°	240°	100b	0b
14.3	6.34	500	90°	270°	001b	0b
14.3	5.23	External**	0°	240°	010b	1b
14.3	4.22	External**	0°	120°	011b	1b
14.3	3.24	External**	60°	240°	101b	1b
14.3	2.43	External**	120°	300°	110b	1b
14.3	1.65	External**	90°	270°	001b	1b
14.3	0.787	External**	0°	180°	000b	1b
14.3	0	External**	120°	240°	100b	1b

*R_{FSWPH_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_{FSWPH_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_{FSWPH_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)。

例:



デュアル25A PSMの動作

表 4. LTM4664 の PSM のスレーブ・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)	スレーブ・アドレス
Open	100_1111_R/W
32.4	100_1111_R/W
22.6	100_1110_R/W
18.0	100_1101_R/W
15.4	100_1100_R/W
12.7	100_1011_R/W
10.7	100_1010_R/W
9.09	100_1001_R/W
7.68	100_1000_R/W
6.34	100_0111_R/W
5.23	100_0110_R/W
4.22	100_0101_R/W
3.24	100_0100_R/W
2.43	100_0011_R/W
1.65	100_0010_R/W
0.787	100_0001_R/W
0	100_0000_R/W

ここで、

R/W = 制御バイトでの読出し／書込みビット

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：LTM4664 の PSM は、NVM または ASEL の抵抗設定値に関係なく、スレーブ・アドレス 0x5A および 0x5B に常に応答します。

*R_{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。

例：

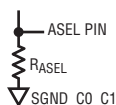


表 5. 7 ビットおよび 8 ビットのアドレス指定で表現した LTM4664 の PSM の MFR_ADDRESS コマンドの例

説明	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_C_n ピンを介した外部障害検出

更に、LTM4664 の PSM 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_C_n ピンに対応付けることができます。FAULT_C_n ピンは、外部クロージャ・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

デュアル25A PSMの動作

リングを開始する引き金となる割り込みとして使用するのが一般的です。あるいは、即時の応答が要求されるコントローラの下流で外部障害を検出する入力としてFAULT_Cn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_Cnピンをローにするかどうかを判別します。

出力と入力の障害イベント処理は、表3～17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の、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ALERTのマスキング

図9は、PMBus コマンドによってアクセス可能なLTM4664のPSM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 コマンドの概要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、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、ALERTはローのままです。

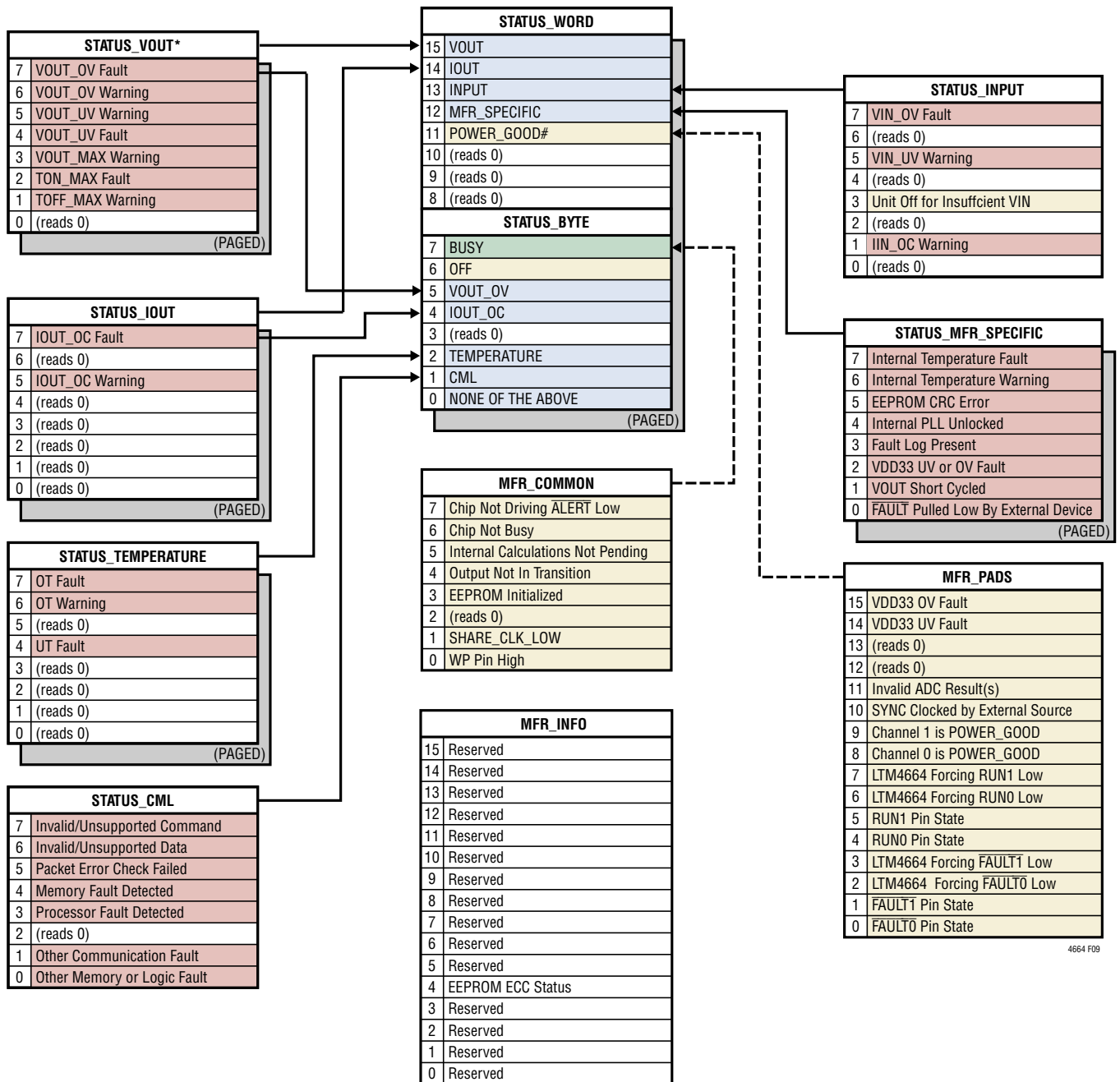
- CLEAR_FAULTS コマンドまたはMFR_RESET コマンドが発行される
- 関連のステータス・ビットに1が書き込まれる
- 障害発生チャンネルをオフにしてからオンに戻すコマンドが適切に実行される
- PMBusのARAの間にLTM4664のPSMがそのアドレスを正常に送信する
- バイアス電源を入れ直す

一部の例外を除き、SMBALERT_MASK コマンドを使用して、LTM4664のPSM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ALERTがマスクされると、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。4:1分圧器の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。

デュアル25A PSMの動作



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9. LTM4664のPSMステータス・レジスタの概要

デュアル25A PSMの動作

FAULTピンへの障害情報のマッピング

(複数のLTM4664のPSMのチャンネルを含む)チャンネル間の障害依存関係は、FAULT_Cn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FAULT_Cn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、FAULT_Cn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FAULT_Cn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、RUN_Cnピンがオフ/オンに切り替えられるか、デバイスがオフ/オンをコマンドで指定されるまで、FAULT_Cnピンはローにアサートされたままです。RUN_Cn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_Cn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。表18を参照してください。

パワーグッド・ピン

LTM4664のPSMのPGOOD_Cn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_Cn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_Cnピンはローに保持されます。また、PGOOD_Cnピンは、それぞれのRUN_Cnピンがローになったときもローになります。PGOOD_Cnピンの応答は、内部の100μs デジタル・フィルタによってグリッチが除去されます。PGOOD_CnピンとPGOODステータスは、最大10μs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、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の修復を試みるができます。

LTM4664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。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

LTM4664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または外付け抵抗分圧器のいずれかを使用して設定可能です。更に、LTM4664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) バイト書き込み、3) ワード書き込み、4) グループ、5) バイト読出し、6) ワード読出し、7) ブロック読出し、8) ブロック書き込み。PMBusマスタがPECを要求した場合、全ての読出し動作は有効なPECを返します。MFR_CONFIG_ALLコマンドのPEC_REQUIREDビットを設定した場合は、LTM4664が有効なPECを受け取るまでPMBus書き込み動作は実行されません。

通信保護

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

デバイスのアドレス指定

LTM4664のPSM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。

デュアル25A PSMの動作

グローバル・アドレス指定は、バス上の全てのLTM4664 PSM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。LTM4664 PSM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LTM4664 PSMデバイスのチャンネル固有のコマンドが可能です。アナログ・デバイセズの他のデバイス・タイプは、これらのグローバル・アドレスの一方または両方に応答できます。グローバル・アドレスからの読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LTM4664 PSM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LTM4664 PSM 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、 $\overline{\text{ALERT}}$ 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。

LTM4664のPSM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、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 刻みでグリッチを除去できます。表 14 を参照してください。

デュアル25A PSMの動作

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14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_Cn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_Cn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。LTM4664のPSMは外部の温度センサーを自動的にモニタし、COMP_Cn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103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15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、VOUT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。0を設定すると、出力電圧が上昇しない場合があり、何のフラグも設定されなくなります。表16を参照してください。

VINのOV障害に対する応答

VIN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16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14を参照してください。

デュアル25A PSMの動作

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 16 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
- 表 15 を参照してください。

外部障害に対する反応

いずれかの FAULT_Cn 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_Cn 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_Cn 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

LTM4664 の PSM 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。

LTM4664 の PSM 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、LTM4664 の PSM 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_Cn 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、LTM4664 の PSM はタイムアウト機能を実装しています。データ・パケット・タイマーはデバイス・アドレス書込みバイトの前の最初の START イベントによって起動されます。データ・パケット情報は 30ms 以内に完了する必要があります。この時間を超過すると、LTM4664 の PSM 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(読出し動作の場合)、デバイス・アドレスのバイト読出し(読出し動作の場合)、全てのデータ・バイト、および PEC バイト(該当する場合)が含まれます。

LTM4664 の PSM では、ブロック読出しデータ・パケットに対して PMBus タイムアウトを長くすることができます。このタイムアウトはブロック読出しの長さ按比例します。ブロック読出しの

デュアル25A PSMの動作

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。LTM4664のPSM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パケット・エラー・チェック(PEC)機能を備えているので、PMBus/SMBusプロトコルはシンプルな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。

LTM4664のPSM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

LTM4664のPSM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10)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。LTM4664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LTM4664と通信できます。

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

以下のPMBusプロトコルがサポートされています。

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

前述のPMBusプロトコルを図11～図28に示します。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11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。

デュアル25A PSMの動作

凡例については、図11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、デュアル25A PSMの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。

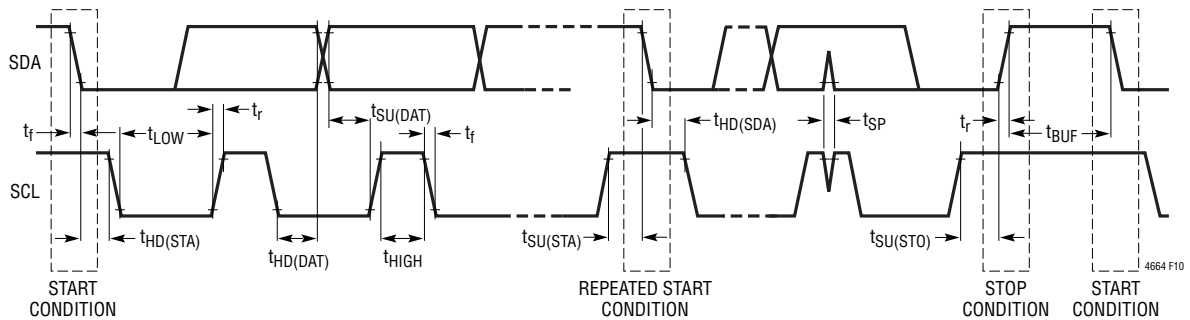


図10. PMBusのタイミング図

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]	LTC (0x4C5443)

デュアル25A PSMの動作

図11～図28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

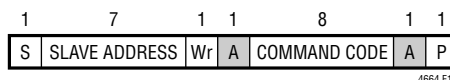
4664 F11

図11. PMBus パケット・プロトコル図の凡例



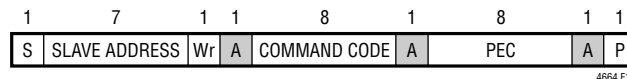
4664 F12

図12. クイック・コマンド・プロトコル



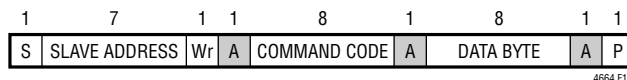
4664 F13

図13. バイト送信プロトコル



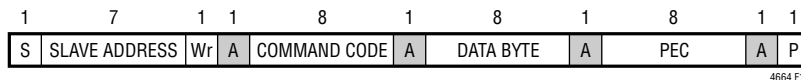
4664 F14

図14. PEC 付きバイト送信プロトコル



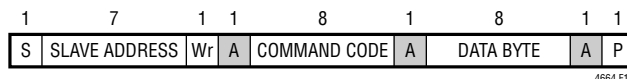
4664 F15

図15. バイト書込みプロトコル



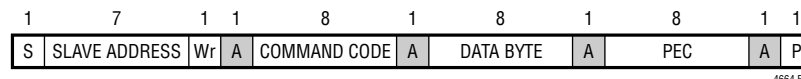
4664 F16

図16. PEC 付きバイト書込みプロトコル



4664 F17

図17. ワード書込みプロトコル



4664 F18

図18. PEC 付きワード書込みプロトコル

デュアル25A PSMの動作

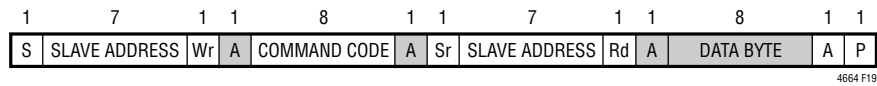


図 19. バイト読出しプロトコル

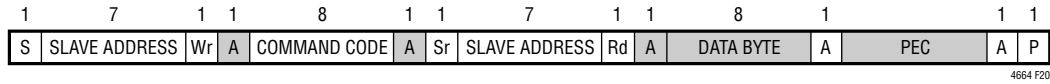


図 20. PEC 付きバイト読出しプロトコル

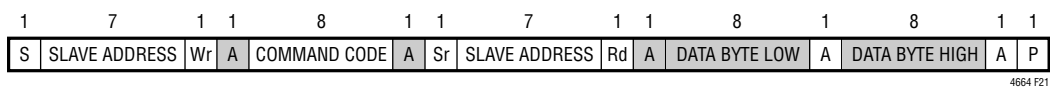


図 21. ワード読出しプロトコル

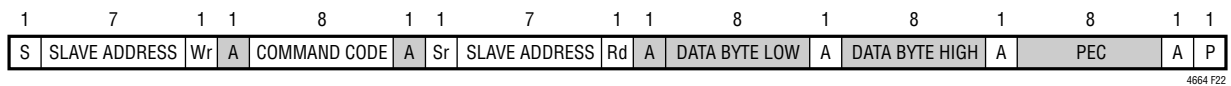


図 22. PEC 付きワード読出しプロトコル

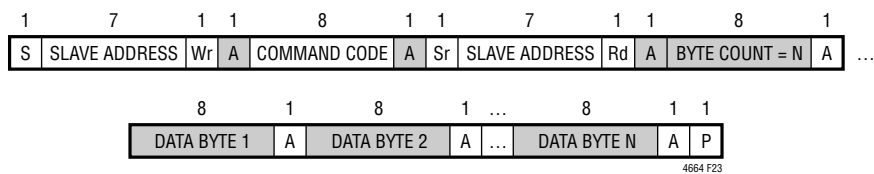


図 23. ブロック読出しプロトコル

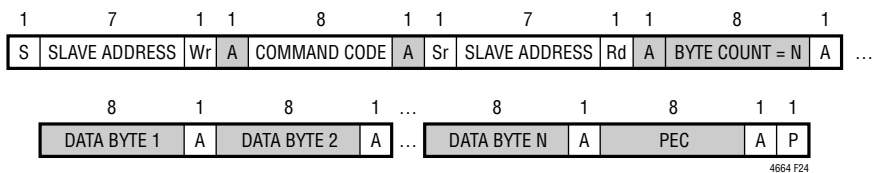


図 24. PEC 付きブロック読出しプロトコル

デュアル25A PSMの動作

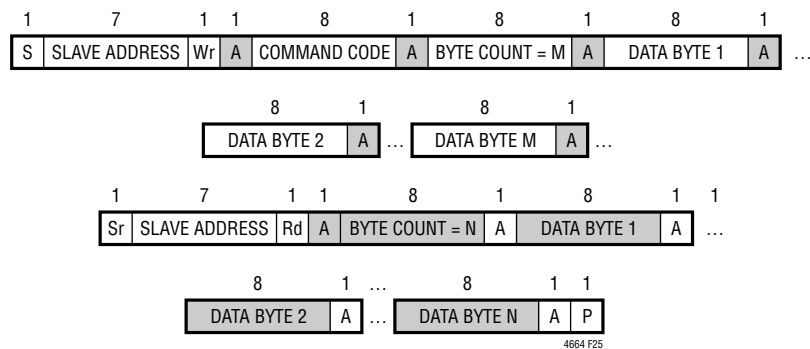


図 25. ブロック書き込み – ブロック読出しプロセス呼び出し

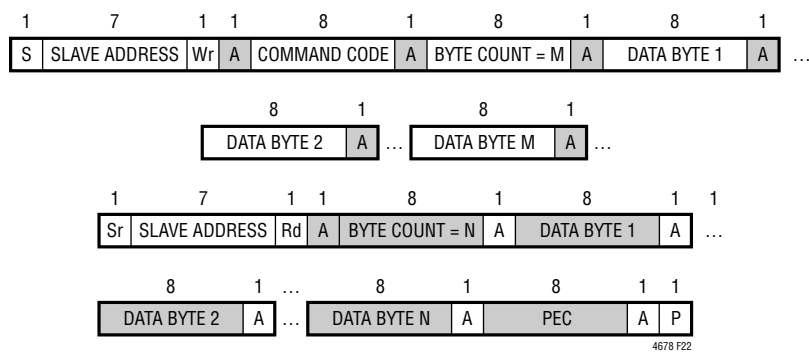


図 26. ブロック書き込み – PEC 付きブロック読出しプロセス呼び出し

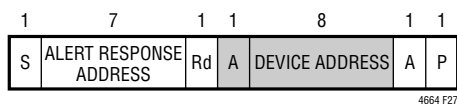


図 27. アラート応答アドレス・プロトコル

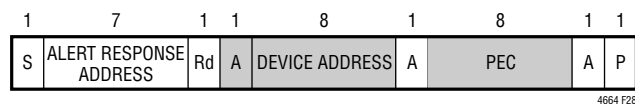


図 28. PEC 付きアラート応答アドレス・プロトコル

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。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、デュアル25A PSMのアプリケーション情報のセクションに記載されているPMBus 通信とコマンド処理のサブセクションを参照してください。

表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)

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値	ページ
PAGE	0x00	複数ページのPMBus デバイスとの統合を実現します。	R/W Byte	N	Reg			0x00	90
OPERATION	0x01	動作モードの制御。オン/オフ、マージン・ハイおよびマージン・ロー。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x80	94
ON_OFF_CONFIG	0x02	RUN ピンおよびPMBus バスのオン/オフ・コマンドの設定。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x1E	94
CLEAR_FAULTS	0x03	設定されている全ての障害ビットをクリアします。	Send Byte	N				NA	119
PAGE_PLUS_WRITE	0x05	指定されたページにコマンドを直接書き込みます。	W Block	N					90
PAGE_PLUS_READ	0x06	指定されたページからコマンドを直接読み出します。	Block R/W	N					90
WRITE_PROTECT	0x10	偶発的な変更に対してデバイスが提供する保護のレベル。	R/W Byte	N	Reg		Y	0x00	91
STORE_USER_ALL	0x15	動作メモリをEEPROMに格納します。	Send Byte	N				NA	130
RESTORE_USER_ALL	0x16	動作メモリをEEPROMから再生します。	Send Byte	N				NA	130
CAPABILITY	0x19	このデバイスによってサポートされているPMBus オプション通信プロトコルの要約。	R Byte	N	Reg			0xB0	118
SMBALERT_MASK	0x1B	ALERT の動作をマスクします。	Block R/W	Y	Reg		Y	コマンド参照。	119
VOUT_MODE	0x20	出力電圧のフォーマットおよび指数(2^{-12})。	R Byte	Y	Reg			2^{-12} 0x14	100
VOUT_COMMAND	0x21	公称の出力電圧設定値。	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.0 0x1000	101
VOUT_MAX	0x24	VOUT_MARGIN_HIを含む、コマンドで指定した出力電圧の上限。	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.8 0x1CCD	100

PMBus コマンドの概要

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値	ページ
VOUT_MARGIN_HIGH	0x25	マージン・ハイの出力電圧設定値。 VOUT_COMMAND より大きくする必要があります。	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.05 0x10CD	101
VOUT_MARGIN_LOW	0x26	マージン・ローの出力電圧設定値。 VOUT_COMMAND より小さくする必要があります。	R/W Word	Y	L16	V	Y	0.95 0x0F33	101
VOUT_TRANSITION_RATE	0x27	V _{OUT} に新しい値が指定されたときに 出力電圧が変化する速度。	R/W Word	Y	L11	V/ms	Y	0.25 0x8042	107
FREQUENCY_SWITCH	0x33	コントローラのスイッチング周波数。	R/W Word	N	L11	kHz	Y	350k 0xFABC	98
VIN_ON	0x35	デバイスが電力変換を開始する入力電圧。	R/W Word	N	L11	V	Y	4.75 0xCA60	99
VIN_OFF	0x36	デバイスが電力変換を停止する入力電圧。	R/W Word	N	L11	V	Y	4.5 0xCA40	99
VOUT_OV_FAULT_LIMIT	0x40	出力過電圧障害のリミット。	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.1 0x119A	100
VOUT_OV_FAULT_RESPONSE	0x41	出力過電圧障害が検出されたときの デバイスの動作。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xB8	109
VOUT_OV_WARN_LIMIT	0x42	出力過電圧警告のリミット。	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.075 0x1133	100
VOUT_UV_WARN_LIMIT	0x43	出力低電圧警告のリミット。	R/W Word	Y	L16	V	Y	0.925 0x0ECD	101
VOUT_UV_FAULT_LIMIT	0x44	出力低電圧障害のリミット。	R/W Word	Y	L16	V	Y	0.9 0x0E66	101
VOUT_UV_FAULT_RESPONSE	0x45	出力低電圧障害が検出されたときの デバイスの動作。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xB8	110
IOUT_OC_FAULT_LIMIT	0x46	出力過電流障害のリミット。	R/W Word	Y	L11	A	Y	40 0xE280	103
IOUT_OC_FAULT_RESPONSE	0x47	出力過電流障害が検出されたときの デバイスの動作。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x00	112
IOUT_OC_WARN_LIMIT	0x4A	出力過電流警告のリミット。	R/W Word	Y	L11	A	Y	30.0 0xDBC0	104
OT_FAULT_LIMIT	0x4F	外部過熱障害のリミット。	R/W Word	Y	L11	C	Y	128 0xF200	105
OT_FAULT_RESPONSE	0x50	外部過熱障害が検出されたときの デバイスの動作。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xB8	114
OT_WARN_LIMIT	0x51	外部過熱警告のリミット。	R/W Word	Y	L11	C	Y	125 0xEBE8	105
UT_FAULT_LIMIT	0x53	外部低温障害のリミット。	R/W Word	Y	L11	C	Y	-45 0xE530	106
UT_FAULT_RESPONSE	0x54	外部低温障害が検出されたときの デバイスの動作。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xB8	114
VIN_OV_FAULT_LIMIT	0x55	入力電源の過電圧障害のリミット。	R/W Word	N	L11	V	Y	15.5 0xD3E0	100
VIN_OV_FAULT_RESPONSE	0x56	入力過電圧障害が検出されたときの デバイスの動作。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x80	109
VIN_UV_WARN_LIMIT	0x58	入力電源の低電圧警告のリミット。	R/W Word	N	L11	V	Y	4.68 0xCA53	99
IIN_OC_WARN_LIMIT	0x5D	入力電源の過電流警告のリミット。	R/W Word	N	L11	A	Y	10.0 0xD280	104

PMBus コマンドの概要

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値	ページ
TON_DELAY	0x60	RUNまたはOPERATION(あるいはその両方)でのオンの指示から出力レールがオンするまでの時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	0.0 0x8000	106
TON_RISE	0x61	出力電圧が上昇し始めてからV _{OUT} のコマンド指定値に達するまでの時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	3 0xC300	106
TON_MAX_FAULT_LIMIT	0x62	TON_RISEの開始からV _{OUT} がV _{OUT_UV_FAULT_LIMIT} を超えるまでの最大時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	5 0xCA80	107
TON_MAX_FAULT_RESPONSE	0x63	TON_MAX_FAULT イベントが検出されたときのデバイスの動作。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xB8	112
TOFF_DELAY	0x64	RUNまたはOPERATIONのオフからTOFF_FALL ランプの開始までの時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	0.0 0x8000	107
TOFF_FALL	0x65	出力が低下し始めてから出力が0Vに達するまでの時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	3 0xC300	107
TOFF_MAX_WARN_LIMIT	0x66	TOFF_FALL 完了後、デバイスが12.5%未満に減衰するまでの最大許容時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	0 0x8000	108
STATUS_BYTE	0x78	デバイスの障害条件の1バイトの要約。	R/W Byte	Y	Reg			NA	120
STATUS_WORD	0x79	デバイスの障害条件の2バイトの要約。	R/W Word	Y	Reg			NA	121
STATUS_VOUT	0x7A	出力電圧の障害および警告のステータス。	R/W Byte	Y	Reg			NA	121
STATUS_IOUT	0x7B	出力電流の障害および警告のステータス。	R/W Byte	Y	Reg			NA	122
STATUS_INPUT	0x7C	入力電源の障害および警告のステータス。	R/W Byte	N	Reg			NA	122
STATUS_TEMPERATURE	0x7D	READ_TEMPERATURE_1の外部温度障害および警告のステータス。	R/W Byte	Y	Reg			NA	123
STATUS_CML	0x7E	通信およびメモリの障害および警告のステータス。	R/W Byte	N	Reg			NA	123
STATUS_MFR_SPECIFIC	0x80	メーカー固有の障害および状態の情報。	R/W Byte	Y	Reg			NA	124
READ_VIN	0x88	測定された入力電源電圧。	R Word	N	L11	V		NA	127
READ_IIN	0x89	測定された入力電源電流。	R Word	N	L11	A		NA	127
READ_VOUT	0x8B	測定された出力電圧。	R Word	Y	L16	V		NA	127
READ_IOUT	0x8C	測定された出力電流。	R Word	Y	L11	A		NA	127
READ_TEMPERATURE_1	0x8D	外部温度センサーの温度。 これは、IOUT_CAL_GAINを含む全ての温度関連処理に使用される値です。	R Word	Y	L11	C		NA	127
READ_TEMPERATURE_2	0x8E	内部ダイのジャンクション温度。 他のコマンドには影響しません。	R Word	N	L11	C		NA	127
READ_FREQUENCY	0x95	測定されたPWMスイッチング周波数。	R Word	Y	L11	Hz		NA	127
READ_POUT	0x96	測定された出力電力。	R Word	Y	L11	W		N/A	127
READ_PIN	0x97	計算による入力電力。	R Word	Y	L11	W		N/A	128
PMBus_REVISION	0x98	このデバイスがサポートするPMBusのリビジョン。現在のリビジョンは1.2です。	R Byte	N	Reg			0x22	118
MFR_ID	0x99	LTM4664のメーカーID(ASCII)。	R String	N	ASC			LTC	118

PMBus コマンドの概要

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値	ページ
MFR_MODEL	0x9A	メーカーの製品番号 (ASCII)	R String	N	ASC				118
MFR_VOUT_MAX	0xA5	許容最大出力電圧。VOUT_OV_FAULT_LIMIT を含みます。	R Word	Y	L16	V		1.8 0x1CCD	102
MFR_PIN_ACCURACY	0xAC	READ_PIN コマンドの精度を返します。	R Byte	N	%			5.0%	128
USER_DATA_00	0xB0	OEMの予備。通常は製品のシリアル番号付与に使用します。	R/W Word	N	Reg		Y	NA	118
USER_DATA_01	0xB1	メーカーによるLTpowerPlay®用の予備。	R/W Word	Y	Reg		Y	NA	118
USER_DATA_02	0xB2	OEMの予備。通常は製品のシリアル番号付与に使用します。	R/W Word	N	Reg		Y	NA	118
USER_DATA_03	0xB3	使用可能な NVM ワード。	R/W Word	Y	Reg		Y	0x0000	118
USER_DATA_04	0xB4	使用可能な NVM ワード。	R/W Word	N	Reg		Y	0x0000	118
MFR_EE_UNLOCK	0xBD	弊社にお問い合わせください。							135
MFR_EE_ERASE	0xBE	弊社にお問い合わせください。							135
MFR_EE_DATA	0xBF	弊社にお問い合わせください。							135
MFR_CHAN_CONFIG	0xD0	チャンネル固有の設定ビット。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x1D	92
MFR_CONFIG_ALL	0xD1	汎用の設定ビット。	R/W Byte	N	Reg		Y	0x21	93
MFR_FAULT_PROPAGATE	0xD2	どの障害を FAULT ピンに伝搬するかを決定する設定。	R/W Word	Y	Reg		Y	0x6993	115
MFR_PWM_COMP	0xD3	PWM ループ補償の設定。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x28	96
MFR_PWM_MODE	0xD4	PWM エンジン用の設定。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xC7	95
MFR_FAULT_RESPONSE	0xD5	FAULT ピンが外部からローにアサートされたときのデバイスの動作。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xC0	113
MFR_OT_FAULT_RESPONSE	0xD6	内部過熱障害が検出されたときのデバイスの動作。	R Byte	N	Reg			0xC0	113
MFR_IOUT_PEAK	0xD7	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での READ_IOUT の最大測定値を報告します。	R Word	Y	L11	A		NA	128
MFR_ADC_CONTROL	0xD8	高速の ADC 読出しを繰り返す場合に選択される ADC の遠隔測定パラメータ。	R/W Byte	N	Reg			0x00	129
MFR_RETRY_DELAY	0xDB	FAULT 再試行モード時の再試行間隔。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	250.0 0xF3E8	108
MFR_RESTART_DELAY	0xDC	LTM4664 が RUN ピンをローに保持する最小時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	150 0xF258	108
MFR_VOUT_PEAK	0xDD	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での READ_VOUT の最大測定値。	R Word	Y	L16	V		NA	128
MFR_VIN_PEAK	0xDE	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での READ_VIN の最大測定値。	R Word	N	L11	V		NA	128
MFR_TEMPERATURE_1_PEAK	0xDF	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での外部温度 (READ_TEMPERATURE_1) の最大測定値。	R Word	Y	L11	C		NA	128
MFR_READ_IIN_PEAK	0xE1	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での READ_IIN コマンドの最大測定値。	R Word	N	L11	A		NA	128
MFR_CLEAR_PEAKS	0xE3	全てのピーク値をクリアします。	Send Byte	N				NA	120
MFR_READ_ICHIP	0xE4	SV _{IN} ピンの電源電流測定値	R Word	N	L11	A		NA	128

PMBus コマンドの概要

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値	ページ
MFR_IOUT_CAL_GAIN	0xDA	電流検出ピンでの電圧と検出した電流との比。固定の電流検出抵抗を使用するデバイスの場合、それは抵抗値(mΩ)。出荷時には0xAA8Bが設定されている。	R Word	Y	L11			0.350mΩ	102
MFR_PADS	0xE5	I/Oパッドのデジタル・ステータス。	R Word	N	Reg		Y	NA	124
MFR_ADDRESS	0xE6	7ビットのI ² Cアドレス・バイトを設定します。	R/W Byte	N	Reg		Y	0x4F	92
MFR_SPECIAL_ID	0xE7	LTM4664とリビジョンを表すメーカー・コード。	R Word	N	Reg			0x4100	118
MFR_IIN_CAL_GAIN	0xE8	入力電流検出素子の抵抗値(mΩ)。	R/W Word	N	L11	mΩ	Y	2.0 0xC200	104
MFR_FAULT_LOG_STORE	0xEA	RAMからEEPROMへの障害ログの転送をコマンドで指定します。	Send Byte	N				NA	131
MFR_INFO	0x	弊社にお問い合わせください。							135
MFR_FAULT_LOG_CLEAR	0xEC	障害ログの予備として確保されたEEPROMブロックを初期化します。	Send Byte	N				NA	135
MFR_FAULT_LOG	0xEE	障害ログのデータ・バイト。	R Block	N	Reg		Y	NA	131
MFR_COMMON	0xEF	複数のアナログ・デバイセズ・チップに共通するメーカー・ステータス・ビット。	R Byte	N	Reg			NA	125
MFR_COMPARE_USER_ALL	0xF0	電流コマンドの内容をNVMと比較します。	Send Byte	N				NA	130
MFR_TEMPERATURE_2_PEAK	0xF4	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降での内部ダイ温度のピーク値。	R Word	N	L11	°C		NA	129
MFR_PWM_CONFIG	0xF5	位相制御など、DC/DCコントローラの多くのパラメータを設定します。	R/W Byte	N	Reg		Y	0x10	97
MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC	0xF6	電流検出素子の温度係数。	R/W Word	Y	CF	ppm/°C	Y	3900 0x0F3C	102
MFR_RVIN	0xF7	V _{IN} ピンのフィルタ素子の抵抗値(mΩ)。工場で設定済み	R/W Word	N	L11	mΩ	Y	1000 0x03E8	99
MFR_TEMP_1_GAIN	0xF8	外部温度センサーの勾配を設定します。	R/W Word	Y	CF		Y	0.9 0x3FAE	105
MFR_TEMP_1_OFFSET	0xF9	外部温度センサーのオフセットを-273.1°Cを基準にして設定します。	R/W Word	Y	L11	°C	Y	0.0 0x8000	105
MFR_RAIL_ADDRESS	0xFA	PolyPhase出力の共通パラメータを調整するための共通アドレス。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x80	92
MFR_REAL_TIME	0xFB	48ビットの共有クロック・カウンタの値。	R Block	N	CF			NA	xx
MFR_RESET	0xFD	電源の遮断が不要のコマンドによるリセット。	Send Byte	N				NA	94

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: LTM4664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は読み出し専用であり、書き込んだ場合はCMLビット6障害信号が生成される。

Note 5: 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えないこと。コマンドの機能の完全な定義については、必ずデバイスごとにメーカーのデータシートを参照すること。アナログ・デバイセズは、アナログ・デバイセズの全てのデバイス間でコマンドの機能に互換性をもたせるよう努めている。製品固有の条件に対応するため、違いが生じる場合がある。

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。

デュアル25A PSMの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。LTM4664のPSM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。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60ns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。LTM4664のフロント・エンド4:1分圧器は、範囲が7.5V~14.5VのV_{OUT2}を使用して2つの25A PSMチャンネルに電力を供給するので、最小オン時間の問題は発生しません。

入力コンデンサ

LTM4664のPSMチャンネルは低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22μF入力セラミック・コンデンサを使用してRMSリップル電流に対処します。入力バルク容量を増やすには、47μF~100μFの表面実装アルミ電解バルク・コンデンサを使うことができます。このバルク入力コンデンサは、長い誘導性のリードやトレースまたは電源の容量不足によって入力ソース・インピーダンスが損なわれる場合にだけ必要です。低インピーダンスの電源プレーンを使用している場合は、このバルク・コンデンサは不要です。

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

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

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

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

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

出力コンデンサ

LTM4664のPSMチャンネル出力は、出力電圧のリップル・ノイズを小さくして、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400μF~1000μF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。12.5Aから25Aへのステップ、12A/μs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12に示します。表12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12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10Ωの抵抗を直列に接続することにより、ボード線図アナライザが制御ループに信号を注入して、レギュレータの安定性を検証できます。LTM4664のPSM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

LTM4664のPSMチャンネルには、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)。

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

デュアル25A PSMのアプリケーション情報

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、COMP_Cna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、これをVIN3で検出して、障害の原因となるチャンネルをオフにすることができます。ただし、この障害はADCの読出しに基づいており、検出するのに公称では最大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

LTM4664のPSM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LTM4664のPSM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、LTM4664のPSM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、LTM4664のPSMは規定のクロック・レートの時、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)LTM4664 PSMデバイス・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LTM4664 PSMデバイスは1つに限定し、他のLTM4664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、LTM4664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、LTM4664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、VIN3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。

PolyPhaseル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_

デュアル25A PSMのアプリケーション情報

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)。

LTM4664のPSM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、LTM4664 PSM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LTM4664 PSM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)。

表9. V_{IN}-V_{OUT}間の様々な降圧シナリオに対する推奨のPSMスイッチング周波数

V	7.5V _{IN}	10V _{IN}	12V _{IN}	14.5V _{IN}
0.5	250kHz	250kHz	250kHz	250kHz
0.7				
0.8				
0.9				
1.0	350kHz	350kHz	350kHz	350kHz
1.2				
1.4				
1.5				

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値(= V_{ISENSE}/DCR)はCOMP_Cn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。LTM4664のPSM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。103 ページを参照してください。LTM4664のPSM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。LTM4664のPSM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。COMP_Cnの電圧が最大値に達すると、過電流障害が検出されます。LTM4664のPSM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、デュアル25A PSMの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_POUT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。

デュアル25A PSMの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、LTM4664のPSM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。

LTM4664の最小オン時間は60ns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

LTM4664のPSM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_Cnピンが解放されるのは、デバイスが初期化され、 V_{INS3} がVIN_ONの閾値より高くなった後であり、第2段のPGOODピンがRUN_Cnピンを解放します。アプリケーションに複数のLTM4664を使用する場合は、同じRUN_Cnピンを共用するようデバイスを設定します。全てのデバイスが初期化され、全てのデバイスについて V_{INS3} がVIN_ONの閾値を超えるまで、全てのデバイスがそれぞれのRUN_Cn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_Cn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_DELAYn)の間待機した後、出力電圧の上昇を開始します。複数のLTM4664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_Cn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。電圧ランプの立上がり時間をTON_RISEn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_RISEnの値を0.250msより小さい任意の値に設定します。LTM4664のPSM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。 $t_{ON(MIN)}$ の数(ランプのステップ数)はTON_RISE/0.1msと等しくなります。したがって、TON_RISEn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。

LTM4664 PSMのPWMは、TON_RISEn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(MBn)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。

LTM4664のPSM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_RISEnおよびTON_DELAYn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。RUNn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、LTM4664のPSM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0.6875mV)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}

デュアル25A PSMのアプリケーション情報

FAULT_LIMITを超えた後です。MFR_PWM_MODEのビット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29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。

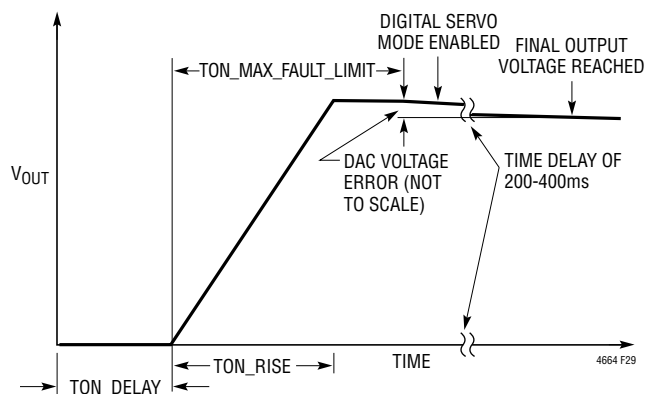


図29. タイミングが制御された V_{OUT} の立上がり

ソフトオフ(シーケンス制御によるオフ)

LTM4664のPSM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30に示します。TOFF_FALLが処理されるのは、RUNピンがローになるか、デバイスがオフするようコマンドで指定された場合です。デバイスに障害が発生してオフになるか、FAULT_Cnを外部からローにして、デバイスがこれにตอบสนอง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30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。

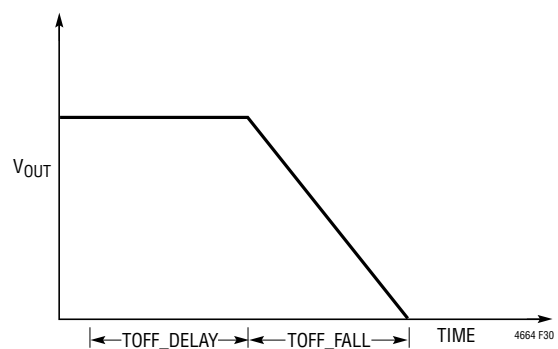


図30. TOFF_DELAYとTOFF_FALL

デュアル25A PSMのアプリケーション情報

低電圧ロックアウト

LTM4664のPSM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_{INS3} を約4Vにする必要があります、 $INTV_{CC}$ 、 V_{DD33} 、および V_{DD25} 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、 V_{DD33} は、 RUN_Cn ピンが解放される前に、目標値の約7%以内に入る必要があります。デバイスの初期化が完了すると、別のコンパレータが V_{INS3} をモニタします。電源のシーケンス制御を開始するには、その前に VIN_ON 閾値を超える必要があります。 V_{INS3} が VIN_OFF 閾値より低くなると、 $SHARE_CLK$ ピンはローになります。また、コントローラを再起動するには、その前に V_{INS3} を VIN_ON 閾値より高くしておく必要があります。通常の起動シーケンスが可能になるのは、 VIN_ON 閾値を超えた後です。 V_{INS3} が印加されたときに $FAULTB$ がローに保持されている場合は、 $FAULTB$ 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。LTM4664がリセット状態を離れる前に I^2C 通信が行われ、デバイスが認識するのがコマンドの一部だけになった場合、これはCML障害として解釈されることがあります。CML障害が検出されると、 $ALERT$ はローにアサートされます。

V_{DD33} 電源を外部から直接 V_{DD33} まで駆動するか、 $EXTV_{CC}$ 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LTM4664のPSM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。LTM4664のPSMに V_{INS3} が印加されていなかった場合は、 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に対してのみ応答するようになります。デバイスを初期化するには、次の一連のコマンド(グローバル・アドレス0x5B、コマンド0xBD、データ0x2B、その後グローバル・アドレス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するようになります。必要に応じてデバイスを設定してから、 $STORE_USER_ALL$ を発行します。 V_{IN} を印加したら、 MFR_RESET コマンドを発行してPWMをイネーブルし、有効なA/D変換結果を読み出すことができるようにする必要があります。

障害の検出と処理

LTM4664の $FAULT_Cn$ 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、 $FAULT_Cn$ 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、 TGn はローになり、 BGn がアサートされます。

LTM4664のPSM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。

LTM4664のPSM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

LTM4664のPSMは以下のオープンドレイン・ピンを備えています。

3.3Vのピン

1. $\overline{FAULT_Cn}$
2. SYNC
3. SHARE_CLK
4. PGOOD_ Cn

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_ Cn
2. $\overline{ALERT}$
3. SCL
4. SDA

デュアル25A PSMのアプリケーション情報

上記の全てのピンは、0.4Vのとき3mAのシンク電流を流すことができるプルダウン・トランジスタを内蔵しています。これらのピンの低い方の閾値は0.8Vなので、3mAの電流で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ェ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。

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

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。

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

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

LTM4664のPSMは、内部の電圧制御発振器(VCO)と位相検出器で構成されるフェーズ・ロック・ループ(PLL)を内蔵しています。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ロックすることがありません。

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

デュアル25A PSMのアプリケーション情報

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LTM4664 PSMセクションが必要です。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プションです。複数のLTM4664 PSMセクションの間でSYNCピンを共用する場合、周波数出力を使用してプログラムできるLTM4664 PSMセクションは1つだけです。それ以外のLTM4664 PSMセクションは、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。図51のアプリケーション回路図を参照してください。

入力電流検出アンプ

LTM4664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_{INS3_Cn} 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。

V_{INS3} コントローラ・ピンに流れ込む電流により、電源と V_{INS3} コントローラ・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。LTM4664のPSM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 V_{INS3} コントローラ・ピンの測定電圧に加算します。したがって、 $READ_VIN = VIN_CNTLPIN + (MFR_READ_ICHIP \cdot 1\Omega)$ 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

LTM4664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1.0m Ω ～5.73m Ω の範囲で変化し、補償抵抗 R_{COMP} はコントローラ内部では0k Ω ～62k Ω 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(COMP_naおよびCOMP_nb)が必要であり、COMP_naとCOMP_nbの代表的な比は10です。図2のブロック図と図31も参照してください。

g_m と R_{COMP} だけを調整することにより、LTM4664のPSM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32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33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_{COMP} の適切な値を決定することを推奨します。

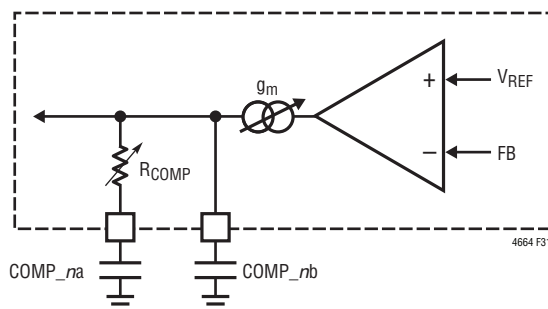
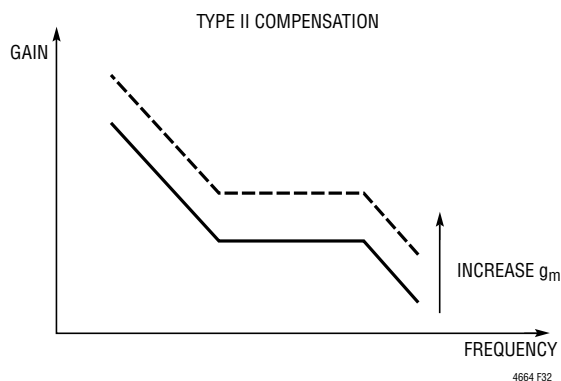


図31. プログラム可能なループ補償

図32. エラーアンプの g_m 調整

デュアル25A PSMのアプリケーション情報

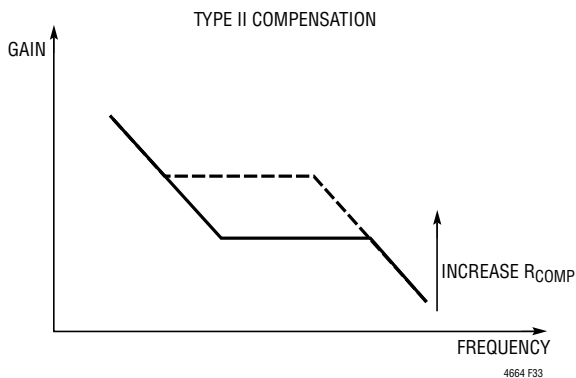


図33. RCOMPの調整

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ー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、クローズドループ応答を正確に反映します。2次特性が支配的なシステムを想定すれば、位相余裕やダンピング・ファクタは、このピンに現れるオーバーシュートのパーセンテージを使用して概算できます。このピンの立上がり時間を調べることで、帯域幅も概算できます。代表的なアプリケーションの回路に示すCOMP_Cna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_Cnaの内部直列 R_{COMP} と外部 C_{COMP_Cna} 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_{COMP} 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_{COMP_bn} 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_{COMP} 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_{COMP_Cna} を小さくすると広がります。 C_{COMP} 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ーズドループ・システムの安定性に関係し、電源全体の実際の性能を表します。次に、大容量の($>1\mu F$)電源バイパス・コンデンサが接続されている負荷で切替えが行われると、更に大きなトランジェントが発生します。放電したバイパス・コンデンサが実質的に C_{OUT} と並列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

デュアル25A PSMのアプリケーション情報

約25・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、10μFのコンデンサでは250μsの立ち上がり時間が必要になり、充電電流は約200mAに制限されるようになります。

PolyPhase® 構成

複数のLTM4664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_{na}、COMP_{nb}、SHARE_CLK、FAULT_{Cn}、およびALERTピンを共用する必要があります。FAULT_{Cn}、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つを目的のスウィ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 V_{OSNS}^{+} ピンを互いに接続する必要があります。全ての V_{OSNS}^{-} 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 50 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LTM4664への接続

アナログ・デバイスズの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LTM4664のPSM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、LTM4664 PSM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・デバイスズのI²C/SMBus/PMBusアダプタを介して、1つ以上のLTM4664 PSM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34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LTM4664のPSM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、LTM4664のPSMは内部のEEPROMと通信し、図34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ますようになります。コントローラの接続を更新できます。更新後のプロジェクト・ファイルをNVMに書き込むため、STORE USER ALLコマンド

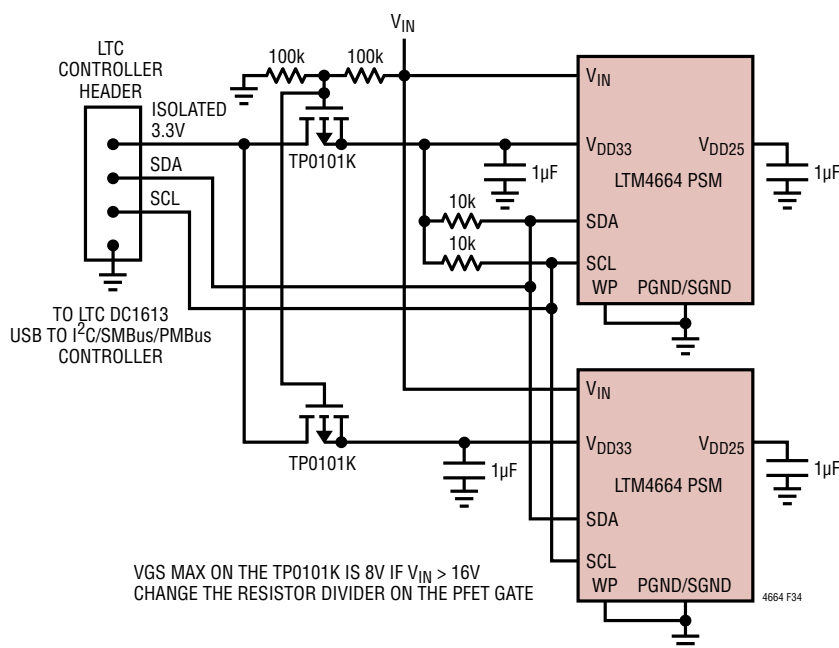


図 34. コントローラの接続

デュアル25A PSMのアプリケーション情報

を発行します。 V_{IN} を印加したら、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、OR接続された3.3V電源から電力を供給するのは、LTM4664のPSM、付随するプルアップ抵抗、および I^2C のプルアップ抵抗に限定してください。更に、 I^2C バス接続をLTM4664のPSM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_{INS3} を印加した場合、DC1613Aは基板上のLTM4664のPSMに電力を供給しなくなります。RUN_Cn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。

LTM4664のPSM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LTM4664の V_{DD33} ピンは、各LTM4664で別々のPFETを使用して駆動する必要があります。 V_{INS3} とEXTVCC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INTVCC/EXTVCC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35)はWindowsベースの強力な開発環境で、LTM4664のPSMセクションを含むアナログ・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- I^2C /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。

[ltpowerplay](#)

PMBus 通信とコマンド処理

LTM4664のPSMは、図36「書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ことがあります。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37に示します。ポーリング・ループは、コマンドが確実に順序どおり処理されるようにする一方で、エラー処理ルーチンを簡略化します。

デュアル25A PSMのアプリケーション情報

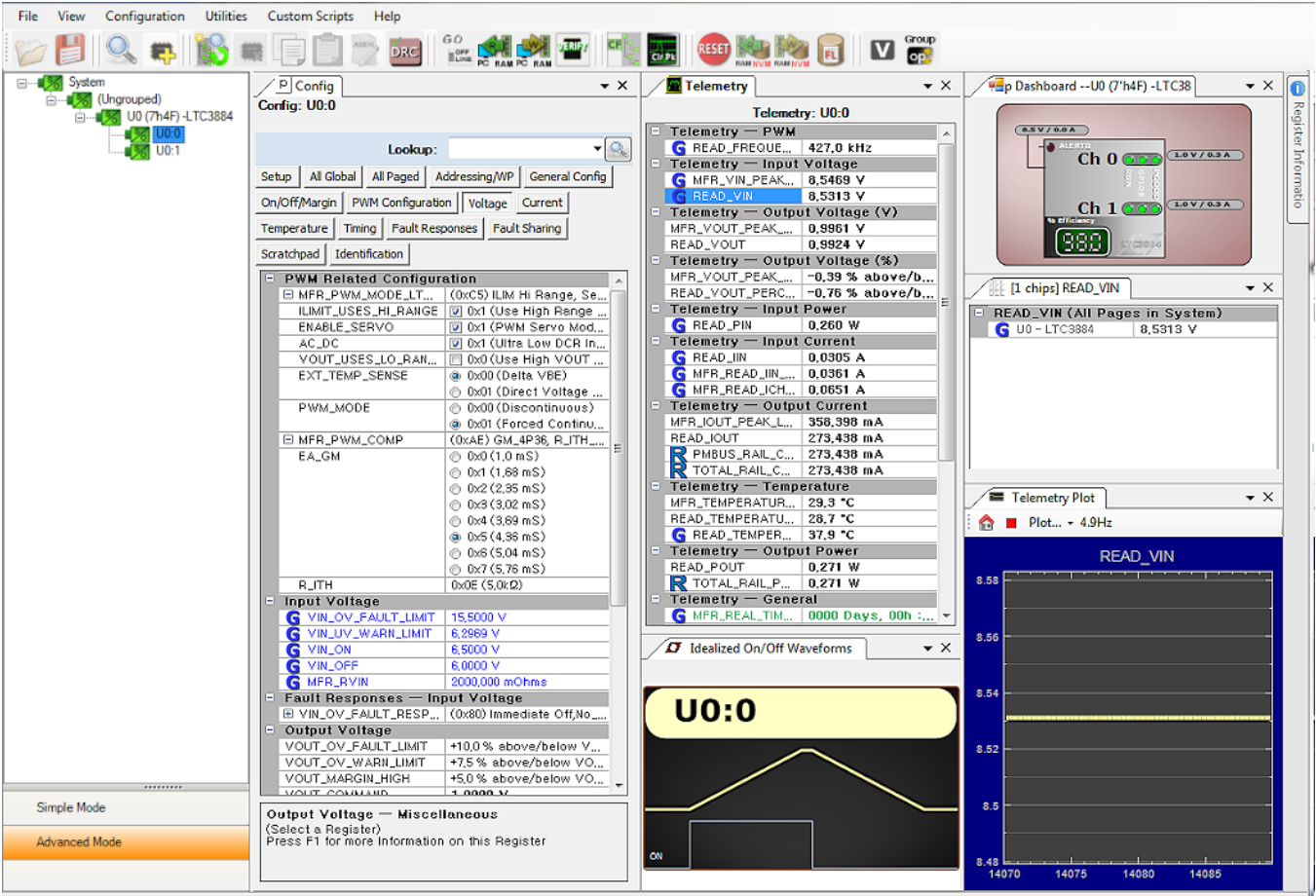


図 35. LTpowerPlay のスクリーン・ショット

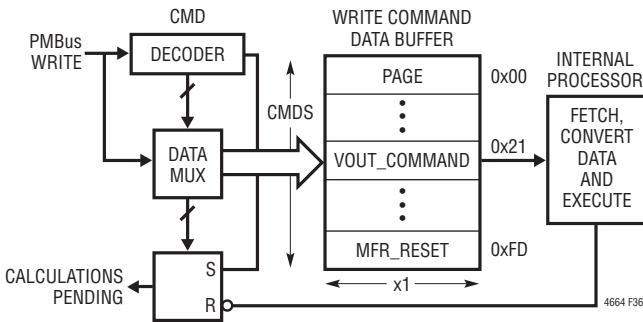


図 36. 書き込みコマンドのデータ処理

デュアル25A PSMの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 37. 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す。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、アナログ・デバイセズのアプリケーション・ノートを参照してください。

100kHz以下のバス速度で通信する場合、ここに示すポーリング・メカニズムは、クロック・ストレッチングなしで堅牢な通信を可能にする簡素な解決策を提供します。バス速度が100kHzを超える場合は、クロック・ストレッチングが有効になるようにデバイスを設定することを強く推奨します。このためには、クロック・ストレッチングをサポートするPMBusマスタが必要です。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。LTM4664のPSM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、関連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。

多くの設計者は、様々な電気的および環境的動作条件での実際のアプリケーションにおけるμModuleレギュレータの熱性能を予測するのに、実験室の装置やテスト手段(デモ用基板など)の使用を選択して、FEAの作業を補足することができます。FEAソフトウェアを使用しない場合、ピン配置のセクションに記載されている熱抵抗は、それだけでは熱性

デュアル25A PSMのアプリケーション情報

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ーティング曲線を各アプリケーション／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、デレーティング曲線を適合させて熱性能を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. $\theta_{JCbottom}$ (接合部から製品のケースの底面までの熱抵抗)は、パッケージの底面を通して流れ出す部品の全消費電力によって決まります。標準的な 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、部品のほぼ全消費電力がパッケージの上面を通して流れ出す状態で決定されます。標準的な μ Moduleレギュレータの電氣的接続はパッケージの底面なので、接合部からデバイスの上面に熱の大半が流れるようにアプリケーションが動作することは稀です。 $\theta_{JCbottom}$ の場合のように、この値はパッケージの比較には役立ちますが、このテスト条件は一般に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通して基板に流れ出すときの接合部から基板までの熱抵抗であり、実際には、 $\theta_{JCbottom}$ と、デバイスの底面からハンダ接合部を通り、基板の一部までの熱抵抗の和です。基板の温度は、両面の2層基板を使って、パッケージからの規定された距離で測定されます。この基板はJESD51-9に記述されています。

前述の熱抵抗を図式化したものが図38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。

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

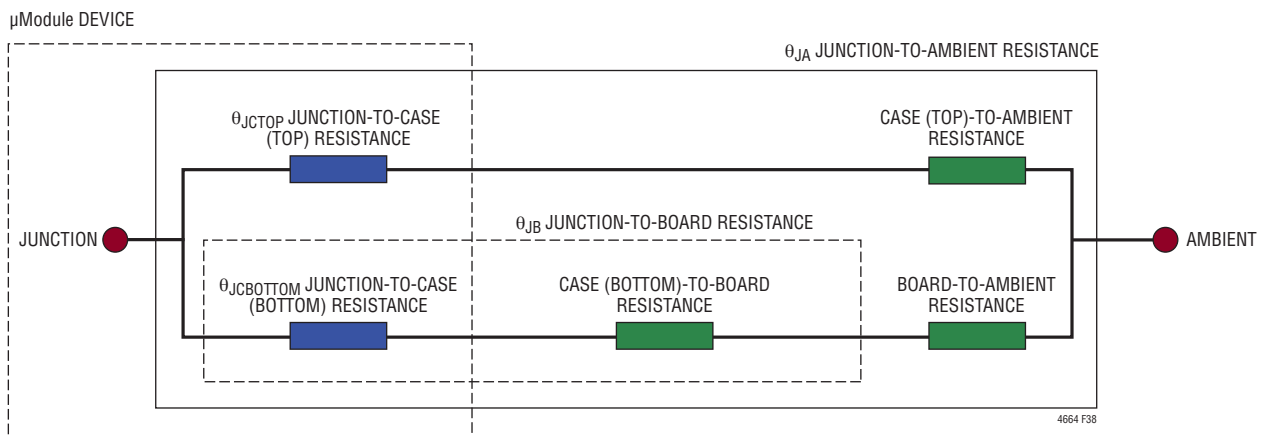


図38. JESD51-12の熱係数の図解

デュアル25A PSMのアプリケーション情報

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。

LTM4664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、LTM4664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LTM4664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39と図40にそれぞれ示す1.0Vと1.5Vの電力損失曲線を図41～図44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、放熱と空気流の様々な条件でLTM4664の熱抵抗 θ_{JA} を概算できます。これらの熱抵抗は、ハードウェア上でのLTM4664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×145mm×1.6mmで、全ての層に2オンスの銅箔を使用している8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50°Cで当初最大50Aを供給するLTM4664の並列接続出力を使用してプロットします。出力電圧は1.0Vおよび1.5V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120°Cのジャンクション温度から周囲動作温度を差し引いた値は、どれだけのモジュール温度の上昇を許容できるかを規定します。図41の例で示すように、周囲温度が約97°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30Aにディレーティングされ、室温(25°C)での電力損失は、入力48V、出力1.0V(30A)という条件では約3.2Wになります。入力48V、出力1.0V(30A)の電力損失曲線(図41)から得られる室温での損失約3.2Wに倍率1.35を掛けることにより、4.32Wの損失が算出されます。120°Cのジャンクション温度から97°Cの周囲温度を差し引き、その差の23°Cを4.32Wで割ると、5.3°C/Wという熱抵抗 θ_{JA} が得られます。この値は表11とよく一致しています。空気流の有無を条件とした1.0V出力および1.5V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

デュアル25A PSMのアプリケーション情報

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および表 11: 出力電流のディレーティング (デモ・ボードに基づく)

表 10. 1.0V 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)
Figure 41, 42	48, 54	Figure 39, 40	0	None	5.3
Figure 41, 42	48, 54	Figure 39, 40	200	None	4.5
Figure 41, 42	48, 54	Figure 39, 40	400	None	4.0

表 11. 1.5V 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)
Figure 43, 44	48, 54	Figure 39, 40	0	None	5.3
Figure 43, 44	48, 54	Figure 39, 40	200	None	4.5
Figure 43, 44	48, 54	Figure 39, 40	400	None	4.0

デュアル25A PSMのアプリケーション情報

表 12. LTM4664 デュアル 25A PSM の出力コンデンサ一覧
 以下の全パラメータは代表値であり、基板レイアウトにより異なる

Murata	220 μ F 6.3V	GRM32ER60J227ME05	PANASONIC SP-CAP	470 μ F 2.5V	EEFSX0E471E4
Taiyo Yuden	220 μ F 4V	AMK325ABJ227MMHT	PANASONIC POSCAP	470 μ F 2.5V	ETPF470M5H
Murata	100 μ F 6.3V	GRM32ER60J107M	PANASONIC POSCAP	1000 μ F 2.5V	
Murata	100 μ F 4V	GRM21BR60G107ME15	PANASONIC POSCAP	1000 μ F 2.5V	ETCF1000M5H
Taiyo Yuden	100 μ F 4V	AMK325AD7MMHP			

シングル25A出力						設定値									
V_{OUT} (V)	C_{OUT1} (セラミック) (μ F)	C_{OUT2} (パルック) (μ F)	$COMP_{7a}$ (pF)	$COMP_{7b}$ (pF)	EA-GM (mS)	R_{COMP} (k Ω)	I_{LIM} ハイレンジ	V_{OUT} ローレンジ	V_{INS1} (V)	V_{INS3} C1, C2	電圧 低下量 (mV)	ピークto ピーク変動 (mV)	回復時間 (μ s) LTpowerCAD /測定	負荷 ステップ (A/ μ s)	周波数 (kHz)
0.9	5 $\times$ 100	2 $\times$ 470	2200	100	3.69	5	Yes	Yes	48	($V_{INS1/4}$) or 12V	42.5	85	36	12.5	250
0.9	5 $\times$ 100	1 $\times$ 1000	3300	220	3.02	5	Yes	Yes	48	($V_{INS1/4}$) or 12V	55.5	111	40	12.5	250
0.9	6 $\times$ 220	None	4700	100	3.69	4	Yes	Yes	48	($V_{INS1/4}$) or 12V	75	150	50	12.5	250
1	5 $\times$ 100	2 $\times$ 470	2200	100	3.69	5	Yes	Yes	48	($V_{INS1/4}$) or 12V	42.5	85	36	12.5	250
1	5 $\times$ 100	1 $\times$ 1000	3300	220	3.02	5	Yes	Yes	48	($V_{INS1/4}$) or 12V	56	112	40	12.5	250
1	6 $\times$ 220	None	4700	100	3.69	4	Yes	Yes	48	($V_{INS1/4}$) or 12V	75	150	50	12.5	250
1.2	3 $\times$ 100	1 $\times$ 470	2200	220	3.69	3	Yes	Yes	48	($V_{INS1/4}$) or 12V	67.5	135	27	12.5	350
1.2	3 $\times$ 100	1 $\times$ 470	2200	220	3.69	4	Yes	Yes	48	($V_{INS1/4}$) or 12V	60	120	27	12.5	350
1.2	3 $\times$ 220	None	2200	220	1.68	5	Yes	Yes	48	($V_{INS1/4}$) or 12V	85	170	20	12.5	350
1.2	1 $\times$ 100	1 $\times$ 470	2200	220	3.02	6	Yes	Yes	48	($V_{INS1/4}$) or 12V	68	136	33	12.5	350
1.5	3 $\times$ 220	None	2200	220	1.68	5	Yes	Yes	48	($V_{INS1/4}$) or 12V	115	230	30	12.5	350
1.5	1 $\times$ 100	1 $\times$ 470	2200	220	3.02	6	Yes	Yes	48	($V_{INS1/4}$) or 12V	70	140	27	12.5	350

デュアル 25A PSM のアプリケーション情報

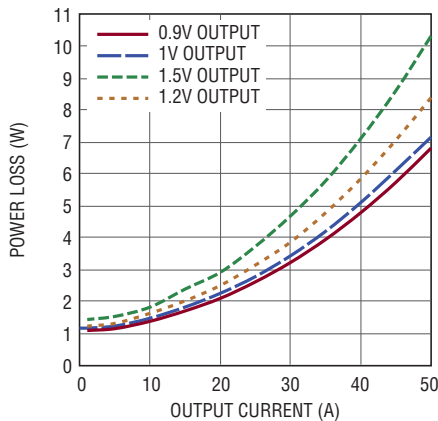
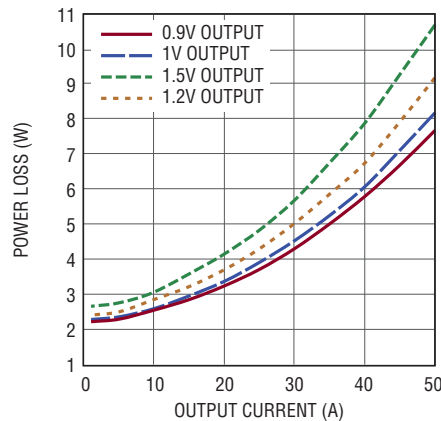
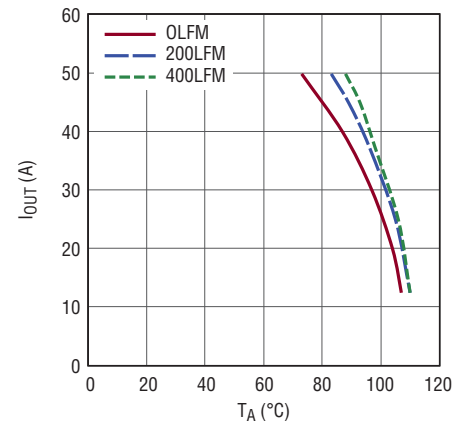
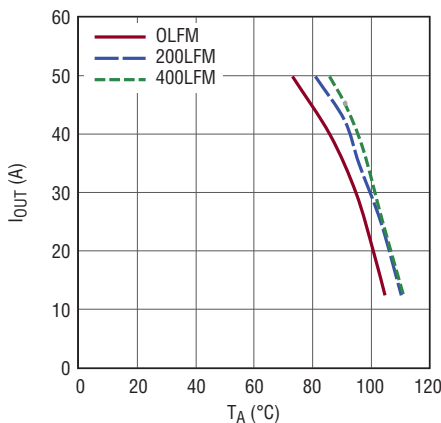
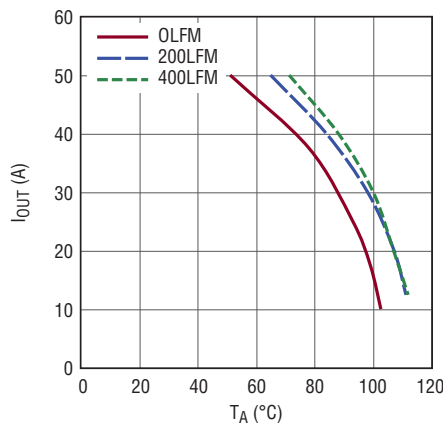
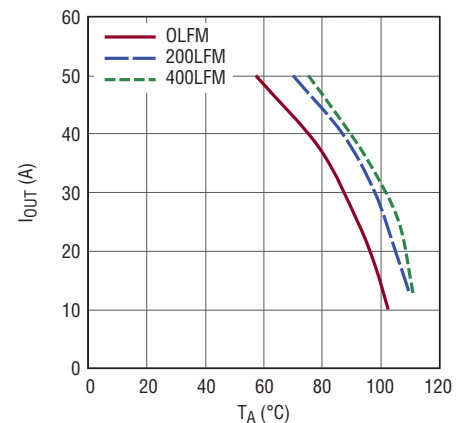
表 13. LTM4664 デュアル 25A PSM の出力コンデンサ一覧以下の全パラメータは代表値であり、基板レイアウトにより異なる

Murata	220 μ F 6.3V	GRM32ER60J227ME05	PANASONIC SP-CAP	470 μ F 2.5V EEFSX0E471E4
Taiyo Yuden	220 μ F 4V	AMK325ABJ227MMHT	PANASONIC POSCAP	470 μ F 2.5V ETPF470M5H
Murata	100 μ F 6.3V	GRM32ER60J107M	PANASONIC POSCAP	1000 μ F 2.5V ETPF1000M5H
Murata	100 μ F 4V	GRM21BR60G107ME15	PANASONIC POSCAP	1000 μ F 2.5V ETCF1000M5H
Taiyo Yuden	100 μ F 4V	AMK325AD7MMHP		

デュアル・フェーズ、シングル 50A 出力

V _{OUT} (V)	C _{OUT1} (セラミック) (μ F)	C _{OUT2} (バルク) (μ F)	COMP _{7a} (pF)	COMP _{7b} (pF)	EA-GM (mS)	R _{COMP} (k Ω)	I _{LIM} ハイレンジ	V _{OUT} ローレンジ	V _{INS1} (V)	V _{INS3} C1、C2	電圧 低下量 (mV)	ピークto ピーク変動 (mV)	回復時間 (μ s) LTpowerCAD /測定	負荷 ステップ (A/ μ s)	周波数 (kHz)
0.9	8 $\times$ 100	4 $\times$ 470	3300	220	3.69	8	No	Yes	48	(V _{INS1/4}) or 12V	47.5	62/95	30	25	250
1	8 $\times$ 100	4 $\times$ 470	3300	220	3.69	8	No	Yes	48	(V _{INS1/4}) or 12V	47.5	62/95	30	25	250
1.2	8 $\times$ 330	None	5600	100	3.02	5	No	Yes	48	(V _{INS1/4}) or 12V	35	64	35	25	250
1.2	4 $\times$ 100	2 $\times$ 470	3300	220	3.02	6	No	Yes	48	(V _{INS1/4}) or 12V	70	100/140	35	25	350
1.2	4 $\times$ 220	None	7500	220	3.02	5	No	Yes	48	(V _{INS1/4}) or 12V	63	126/-	25	25	350
1.5	4 $\times$ 220	None	7500	220	3.02	2.5	No	Yes	48	(V _{INS1/4}) or 12V	130	260	30	25	350
1.5	6 $\times$ 220	None	7500	220	3.69	3	No	Yes	48	(V _{INS1/4}) or 12V	100	200	30	25	350
1.5	4 $\times$ 100	2 $\times$ 470	3300	220	3.02	6	No	Yes	48	(V _{INS1/4}) or 12V	70	140	30	25	350
1.5	4 $\times$ 220	None	7500	220	3.02	5	No	Yes	48	(V _{INS1/4}) or 12V	63	126	25	25	350

デュアル25A PSMのアプリケーション情報-ディレーティング曲線

図39. 48V入力の電力損失、
2相50A出力図40. 54V入力の電力損失、
2相50A出力図41. 48V入力、1V出力での
LTM4664のディレーティング曲線
ヒートシンクなし図42. 54V入力、1V出力での
LTM4664のディレーティング曲線
ヒートシンクなし図43. 48V入力、1.5V出力、350kHzでの
LTM4664のディレーティング曲線
ヒートシンクなし図44. 54V入力、1.5V出力、350kHzで
のLTM4664のディレーティング曲線
ヒートシンクなし

デュアル25A PSMのアプリケーション情報

EMI性能

SW_Cnピンは、LTM4664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_Cn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。

$$C_{SW} = \frac{P_{SNUB}}{V_{IN3n(MAX)}^2 \cdot f_{SW}}$$

ここで、V_{IN3n(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

LTM4664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とイネーブルされた内部下側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。

デュアル25A PSMのアプリケーション情報

レイアウトのチェックリスト/例

LTM4664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_{OUTSn} 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_{INSn} 、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。
- 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LTM4664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_{OUTCn} 、 $V_{OSNS}^+_{Cn}/V_{OSNS}^-_{Cn}$ の電圧検出差動ペア線、 RUN_n 、 $COMP_{Cna}$ 、 $COMP_{Cnb}$ 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ALERTピンは共有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。
- 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45に示します。DC2672A デモ・マニュアルを参照してください。

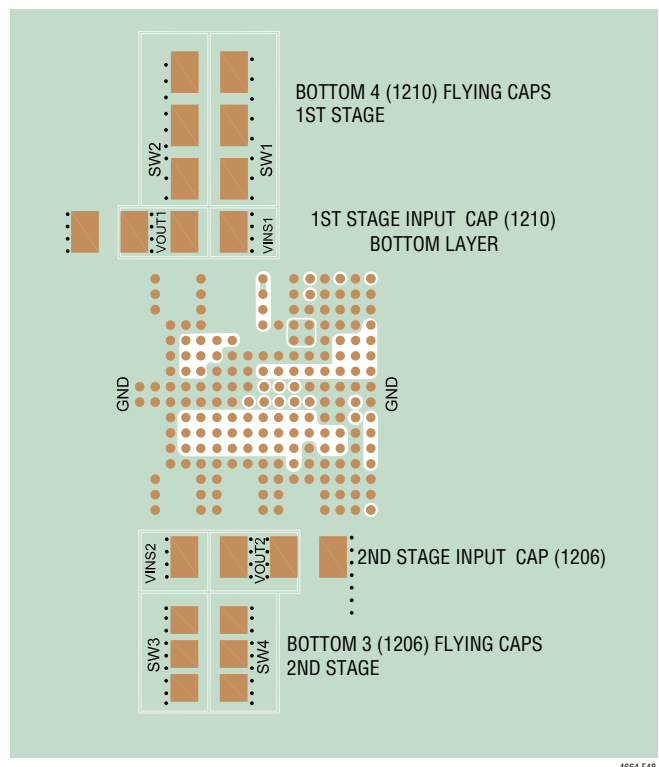
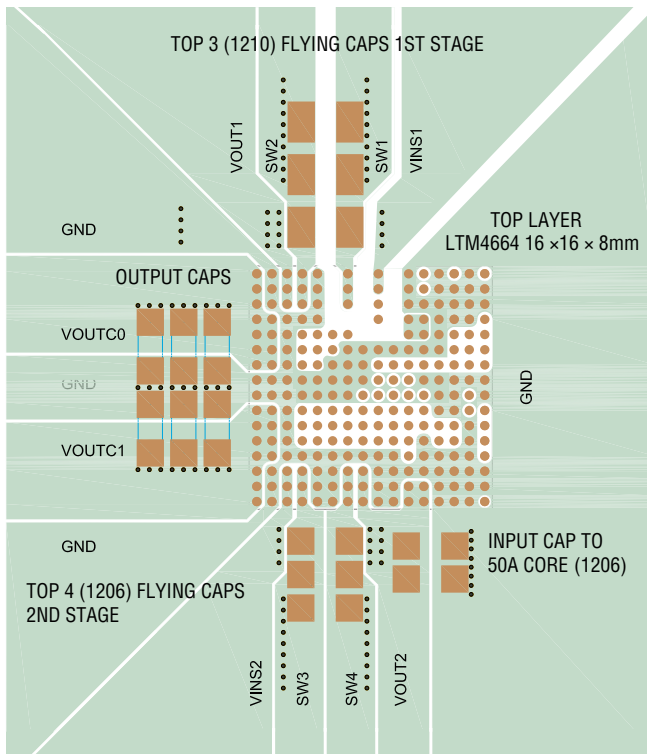


図 45. 推奨のPCBレイアウト、パッケージの上面図と底面図

標準的応用例

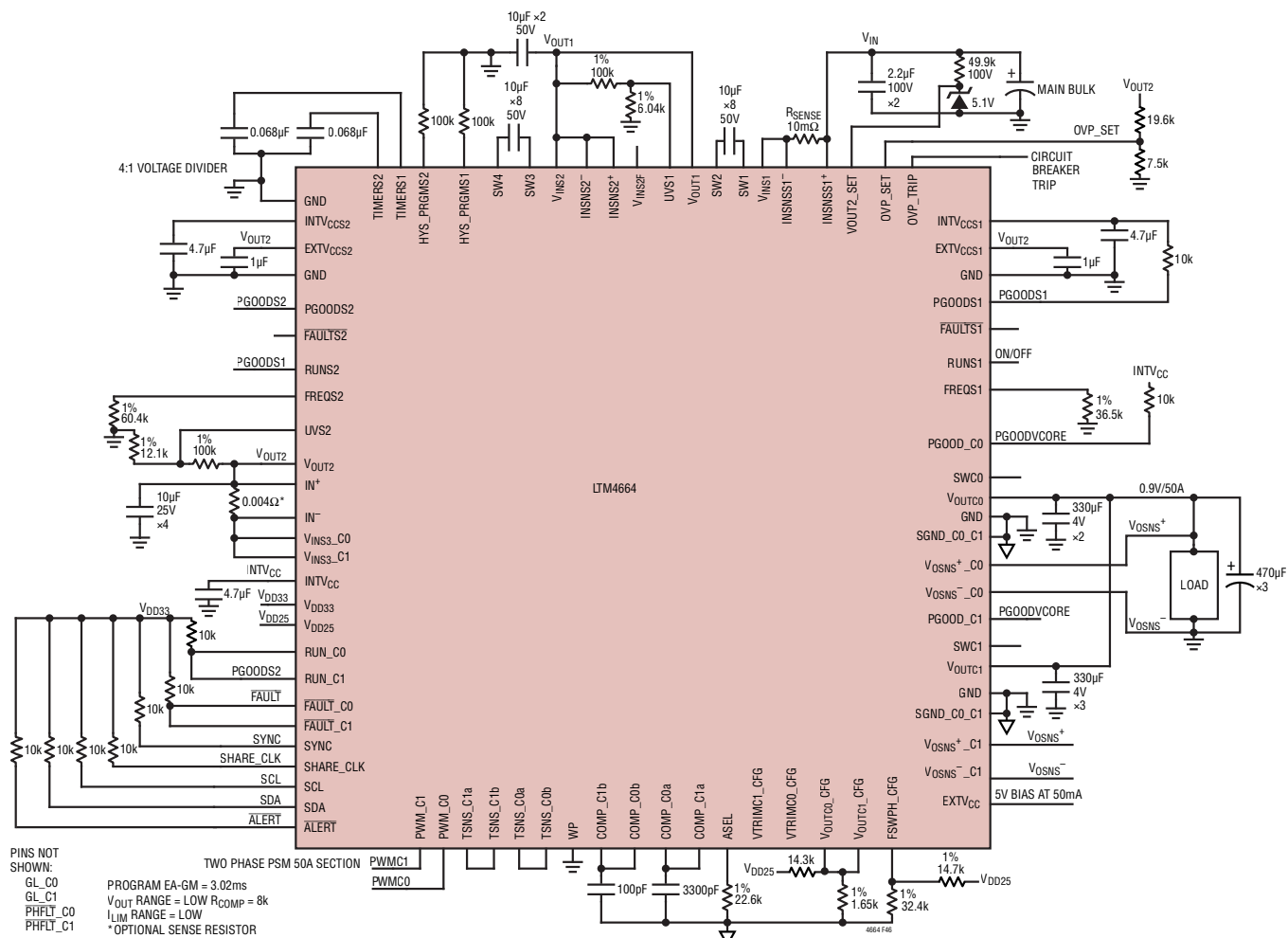


図 46. I²C/SMBus/PMBus シリアル・インターフェースを備えた 0.9V/50A 出力 DC/DC μ Module レギュレータ (ホット・スワップ・フロント・エンドと V_{OUT2} の過電圧保護を含む)

標準的応用例

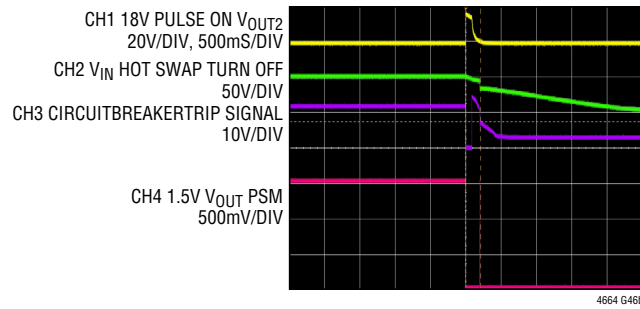
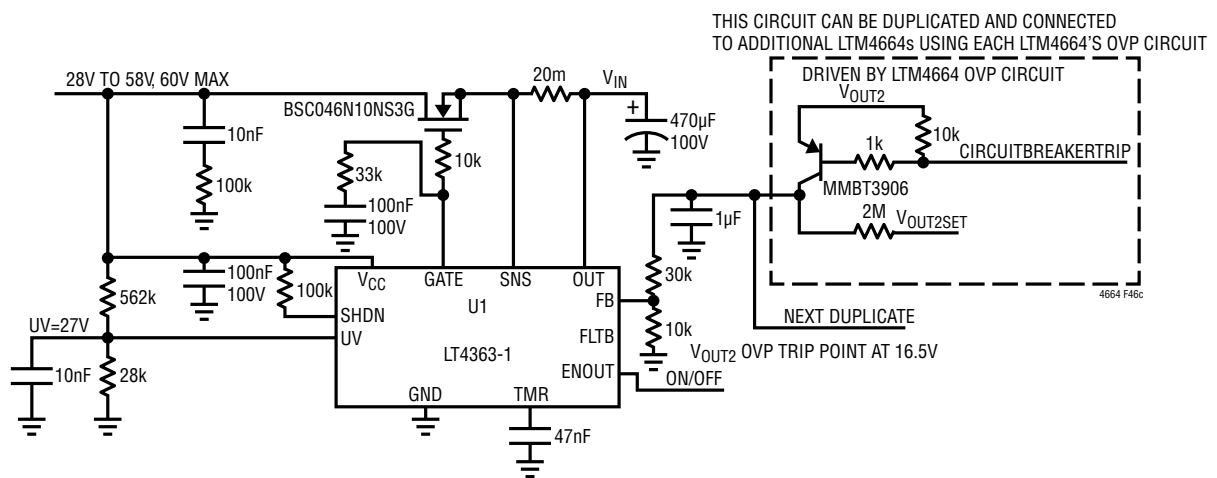
図 46b. V_{OUT2} の過電圧保護

図 46c. ホット・スワップ回路ブレーカのフロント・エンド

標準的応用例

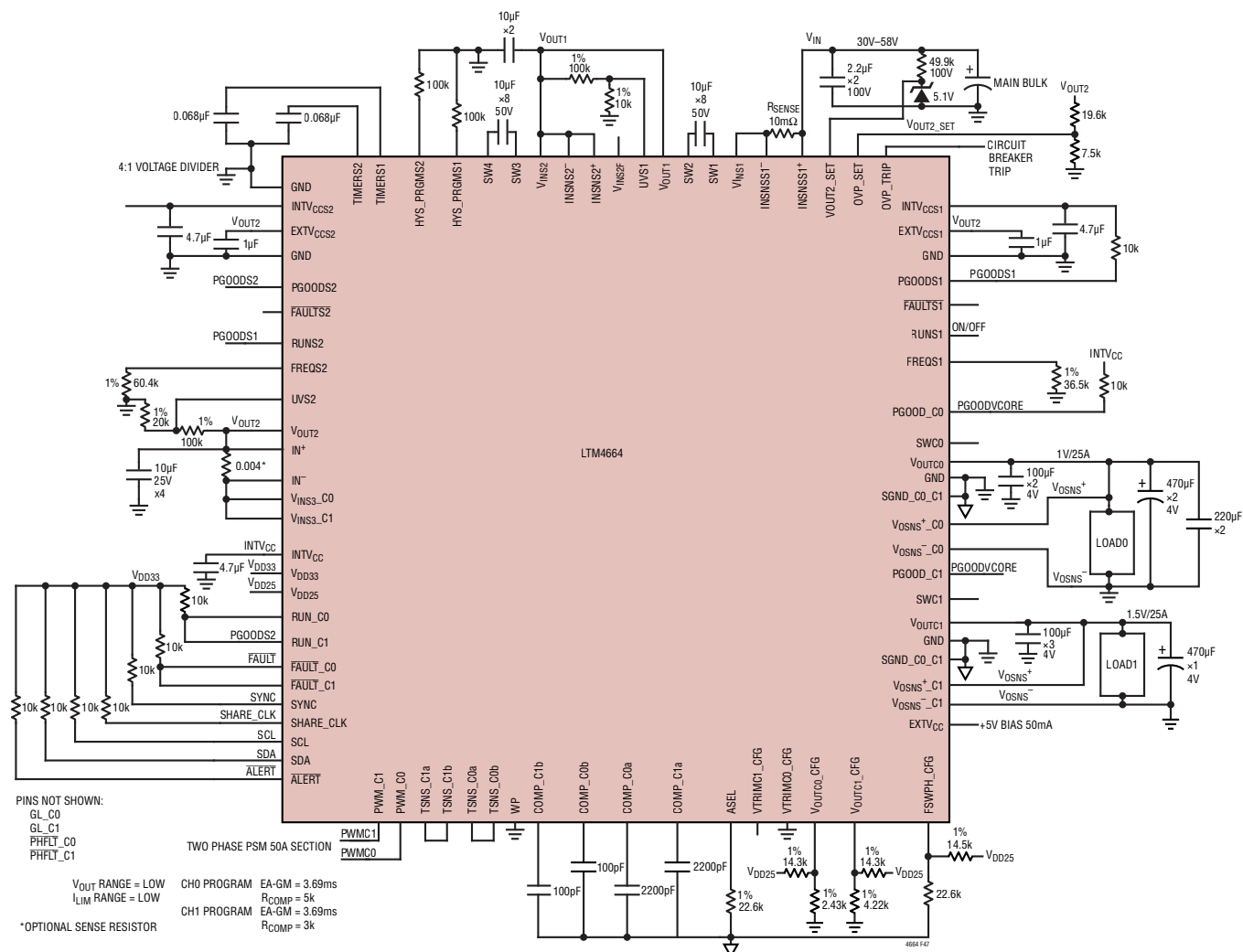


図 47. I²C/SMBus/PMBus シリアル・インターフェースを備えた 54V 入力、1.0V 出力および 1.5V 出力 (25A)

標準の応用例

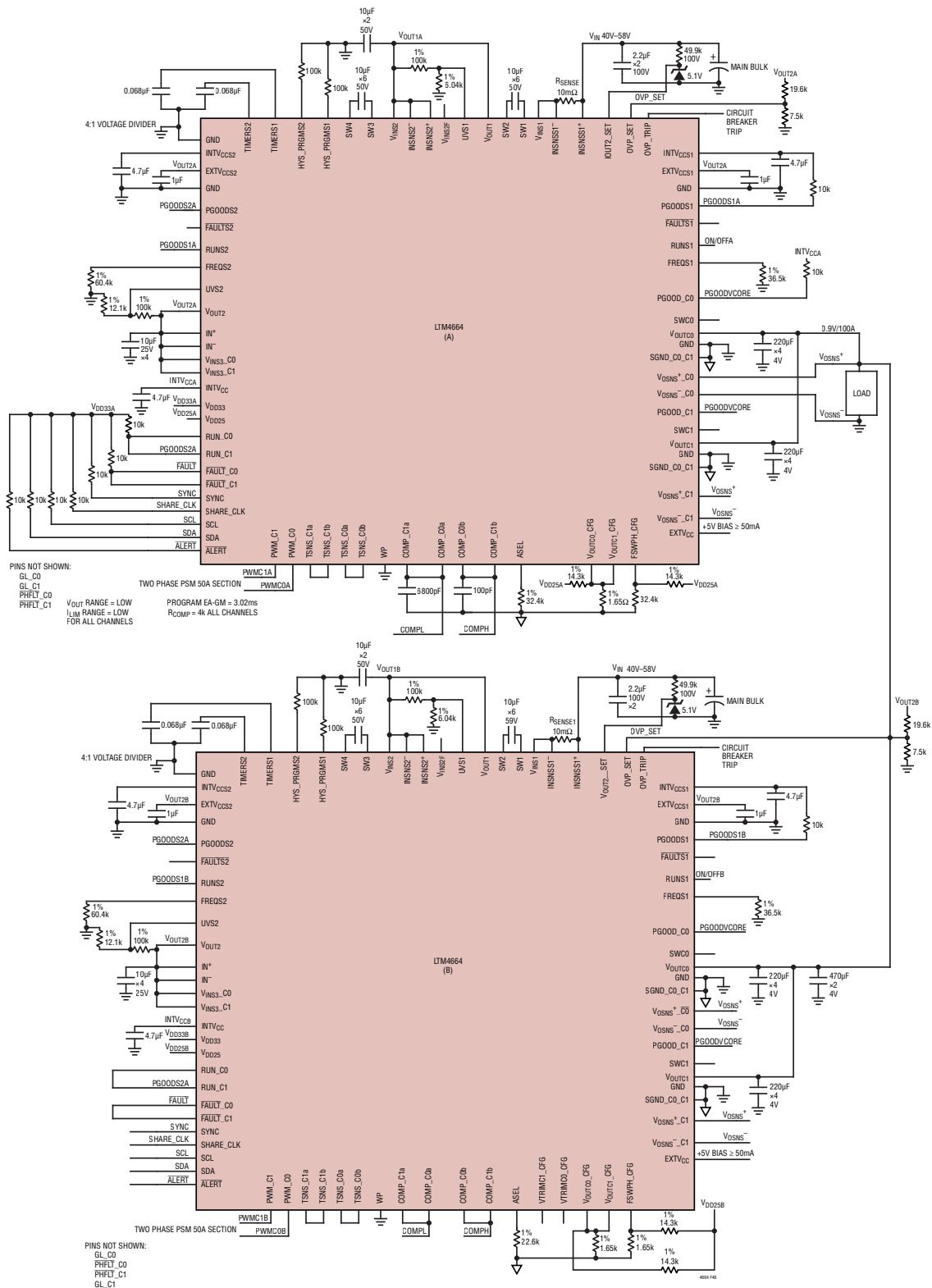


図 48. 54V 入力から 0.9V/100A を出力する 2 つの並列接続した LTM4664 線 I²C/SMBus/PMBus シリアル・インターフェースを介してアクセス可能なパワー・システム・マネージメント機能を搭載

標準的応用例

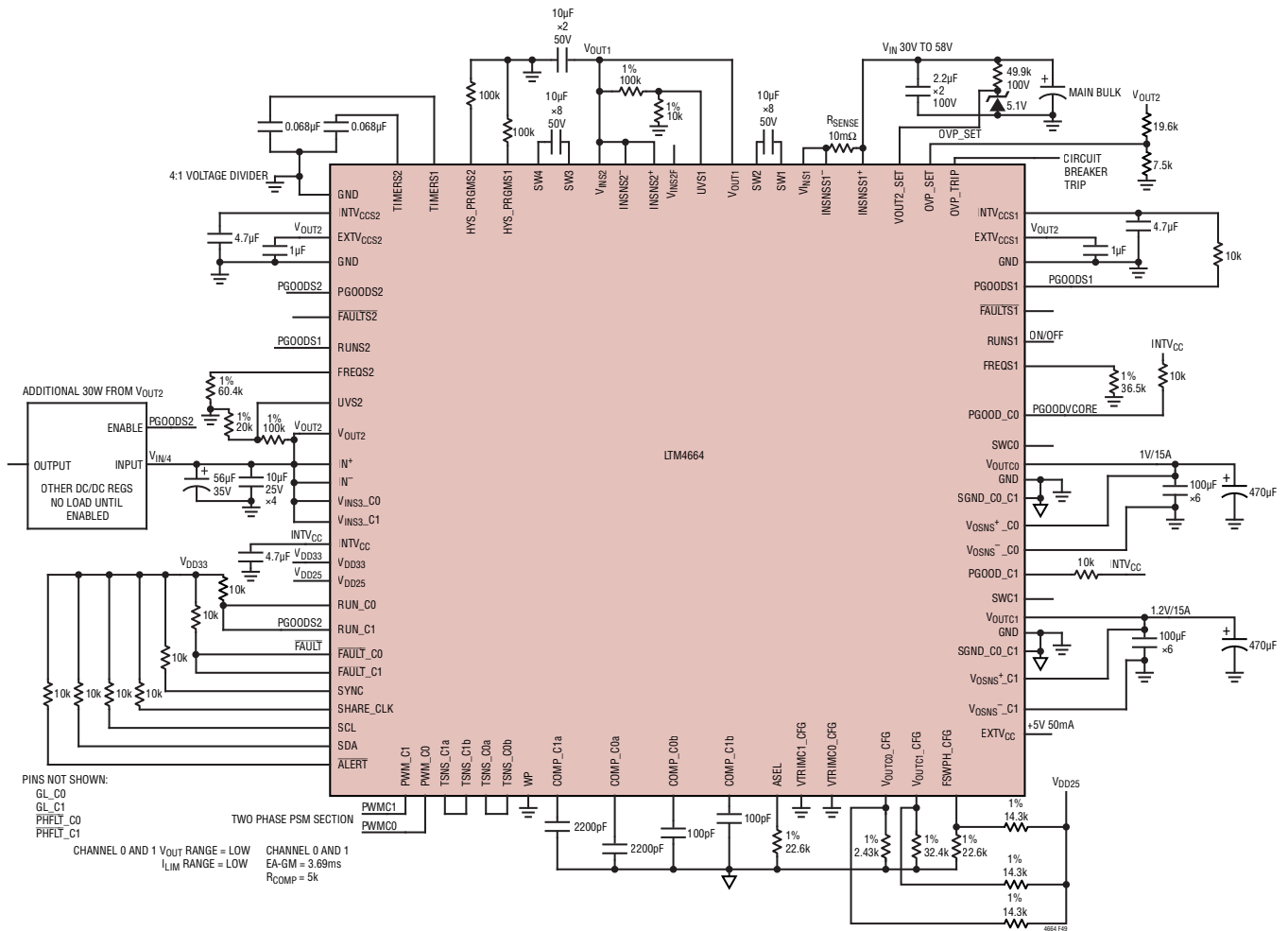


図 49. 30V~58V 入力、1V および 1.2V 出力 (15A)、V_{OUT2} から補助の 30W を供給。2 線 I²C/SMBus/PMBus シリアル・インターフェースを介してアクセス可能なパワー・システム・マネージメント機能を搭載。評価と詳細については、デモ・ボード DC2143 を参照

標準的応用例

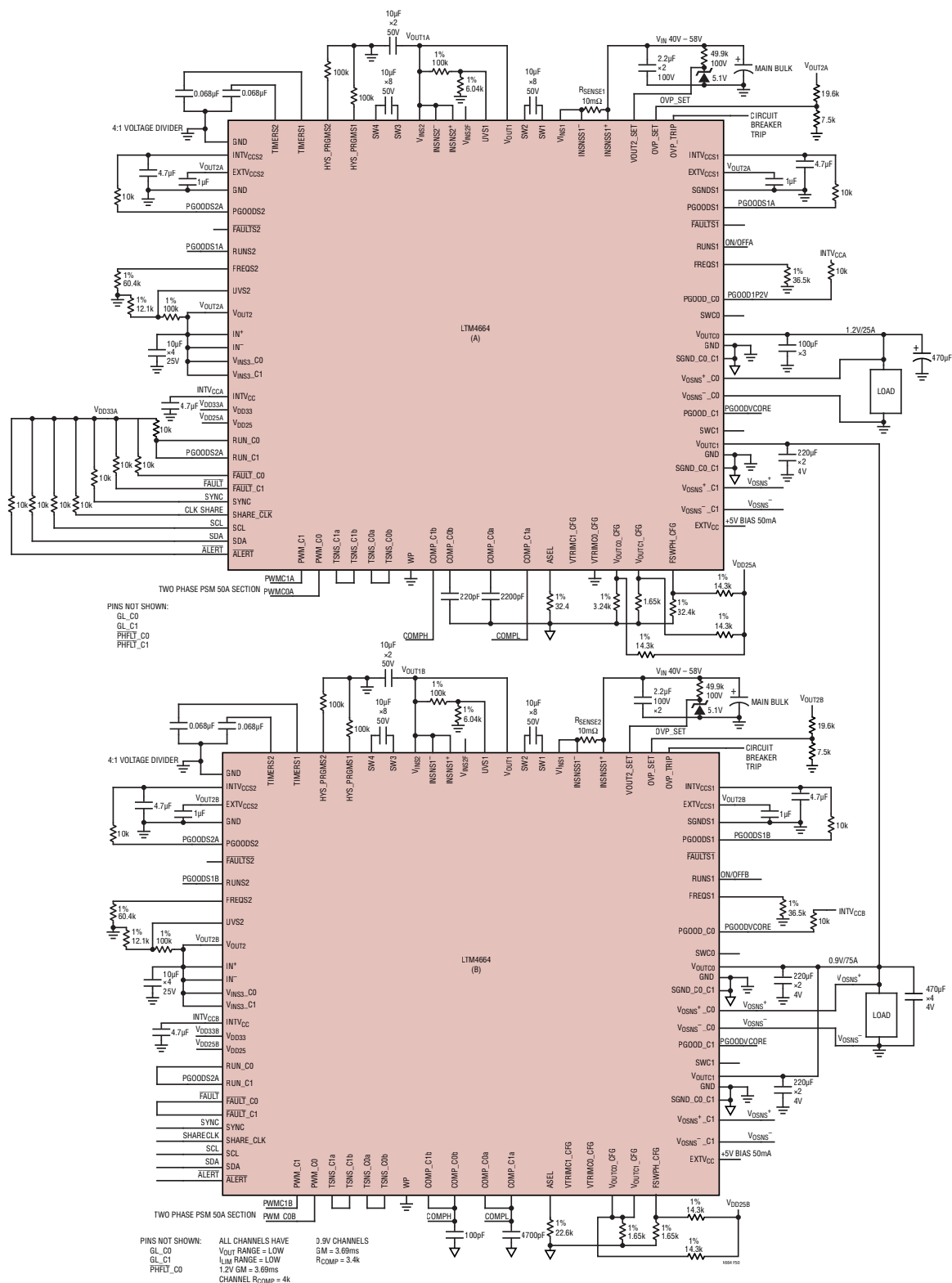


図 50. 48V~58V 入力、1.2V/25A および 0.9V/75A 出力に変換。LTM4664 の 2 線 I²C/SMBus/PMBus シリアル・インターフェースを介してアクセス可能なパワー・システム・マネージメント機能。

PMBus コマンドの詳細

アドレス指定と書き込み保護

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
PAGE	0x00	複数ページのPMBusデバイスとの統合を実現します。	R/W Byte	N	Reg			0x00
PAGE_PLUS_WRITE	0x05	サポートされているコマンドをPWMチャンネルに直接書き込みます。	W Block	N				
PAGE_PLUS_READ	0x06	サポートされているコマンドをPWMチャンネルから直接読み出します。	Block R/W	N				
WRITE_PROTECT	0x10	偶発的な変更に対してデバイスが提供する保護のレベル。	R/W Byte	N	Reg		Y	0x00
MFR_ADDRESS	0xE6	7ビットのI ² Cアドレス・バイトを設定します。	R/W Byte	N	Reg		Y	0x4F
MFR_RAIL_ADDRESS	0xFA	PolyPhase出力の共通パラメータを調整するための共通アドレス。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x80

PAGE

PAGE コマンドは、MFR_ADDRESS または GLOBAL デバイス・アドレスのいずれか一方の物理アドレスだけで両方の PWM チャンネルの設定、制御、およびモニタを実行できます。各 PAGE には、一方の PWM チャンネルの動作コマンドが含まれます。ページ 0x00 および 0x01 は、それぞれこのデバイスのチャンネル 0 およびチャンネル 1 に相当します。

PAGE を 0xFF に設定すると、以下の全てのページ化コマンドが両方の出力に適用されます。PAGE を 0xFF に設定すると、LTM4664 は、PAGE が 0x00 (チャンネル 0 の結果) に設定されたかのように読出しコマンドに応答します。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

PAGE_PLUS_WRITE

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

PAGE コマンドで格納された値は、PAGE_PLUS_WRITE による影響を受けません。PAGE_PLUS_WRITE を使用してページ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 51 に示します。

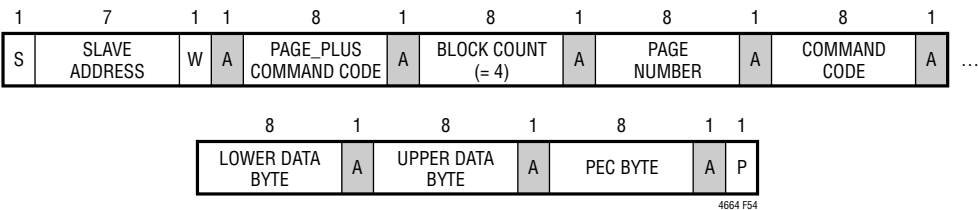


図 51. PAGE_PLUS_WRITE の例

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52に示します。

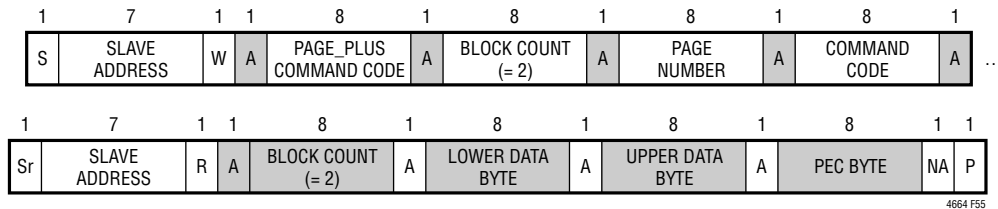


図 52. PAGE_PLUS_READ の例

注記：PAGE_PLUS コマンドをネストすることはできません。PAGE_PLUS コマンドは、別の PAGE_PLUS コマンドの読出しまたは書込みに使用することはできません。これを試行すると、LTM4664 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、LTM4664 デバイスへの書込みを制御するために使用します。このコマンドは、MFR_COMMON コマンドで規定される WP ピンの状態は表示しません。WP ピンはこのコマンドの値より優先されます。

バイト	意味
0x80	WRITE_PROTECT、PAGE、MFR_EE_UNLOCK、STORE_USER_ALL コマンドに対する書込みを除く、全ての書込みを無効化します。
0x40	WRITE_PROTECT、PAGE、MFR_EE_UNLOCK、MFR_CLEAR_PEAKS、STORE_USER_ALL、OPERATION、CLEAR_FAULTS コマンドに対する書込みを除く、全ての書込みを無効化します。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。
0x20	WRITE_PROTECT、OPERATION、MFR_EE_UNLOCK、MFR_CLEAR_PEAKS、CLEAR_FAULTS、PAGE、ON_OFF_CONFIG、VOUT_COMMAND、STORE_USER_ALL に対する書込みを除く、全ての書込みを無効化します。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。
0x10	予備、0 にする必要があります
0x08	予備、0 にする必要があります
0x04	予備、0 にする必要があります
0x02	予備、0 にする必要があります
0x01	予備、0 にする必要があります

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

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、ASEL0ピンとASEL1ピンを引き続き使用して、チャンネル・アドレスのLSBとMSBをそれぞれ決定します。ASEL0ピンとASEL1ピンを両方共オープンにした場合、LTM4664はNVMに格納されたアドレスを使用します。ASEL0ピンをオープンにした場合、LTM4664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。ASEL1ピンをオープンにした場合、LTM4664はNVMに格納されたMFR_ADDRESS値の上位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、LTM4664はバス競合を検出して、CML通信障害を設定します。

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

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

汎用設定コマンド

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
MFR_CHAN_CONFIG	0xD0	チャンネル固有の設定ビット。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x10
MFR_CONFIG_ALL	0xD1	汎用の設定ビット。	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。

ビット	意味
7	予備
6	予備
5	予備
4	RUNのロー状態を無効にします。このビットがアサートされると、オフが指定された場合、RUNピンにローのパルスが出力されません。
3	このビットを1に設定すると、短周期の認識が有効になります。
2	SHARE_CLOCK制御。SHARE_CLOCKをローに保持すると、出力はディスエーブルされます。
1	FAULT_ALERTなし。FAULTを外部からローにした場合、_ALERTはローになりません。POWER_GOODまたはVOUT_UVUFのいずれかがFAULTに伝搬された場合は、このビットをアサートします。
0	MFR_RETRY_TIMEおよびt _{OFF(MIN)} 処理に関するV _{OUT} の減衰値条件を無効にします。このビットを0に設定すると、障害、OFF/ONコマンド、ハイからロー、更にハイへのRUNの切り替えなど、レールをオフにする動作に対しても、出力が事前設定値の12.5%より低い値に減衰する必要があります。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

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いません。

- 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.tOFF(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.tOFF(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いません。

- 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.tOFF(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.tOFF(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 (短周期) イベントが発生し、かつMFR_CHAN_CONFIGのShortCycle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、以前に指定したように実行します。

MFR_CONFIG_ALL

アナログ・デバイスズの複数の製品に共通の汎用設定コマンドです。

ビット	意味
7	障害ログを有効にします
6	抵抗設定ピンを無視します
5	『PMBus, Part II, Section 10.9.1』の規格外をマスクします
4	SYNC出力をディセーブルします
3	255msのPMBusタイムアウトを有効にします
2	PMBusの書込みが受け付けられるために必要な有効なPEC。このビットを設定しないと、デバイスは無効なPECが指定されたコマンドを受け付けます
1	PMBusクロック・ストレッチングの使用を可能にします
0	いずれかのRUNピンの立上がりエッジでCLEAR_FAULTSを実行します

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

オン／オフ／マージン

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
ON_OFF_CONFIG	0x02	RUNピンおよびPMBusバスのオン／オフ・コマンドの設定。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x1E
OPERATION	0x01	動作モードの制御。オン／オフ、マージン・ハイおよびマージン・ロー。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x80
MFR_RESET	0xFD	電源の遮断が不要のコマンドによるリセット。	Send Byte	N				NA

PMBus コマンドの詳細

ON_OFF_CONFIG

ON_OFF_CONFIG コマンドは、PWM チャンネルをオン／オフするために必要な RUN_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:

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

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

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

OPERATION

OPERATION コマンドは、デバイスをオン／オフするために、RUN_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:

値	意味
0xA8	マージン・ハイ。
0x98	マージン・ロー。
0x80	オン (ON_OFF_CONFIG のビット 3 が設定されていない場合でも V _{OUT} は公称値に戻る)。
0x40*	ソフト・オフ (シーケンス制御あり)。
0x00*	即時オフ (シーケンス制御なし)。

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

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、LTM4664 の PSM 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、LTM4664 の PSM 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

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
MFR_PWM_COMP	0xD3	PWM ループ補償の設定。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x28
MFR_PWM_MODE	0xD4	PWM エンジン用の設定。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xC7
MFR_PWM_CONFIG	0xF5	位相制御など、DC/DC コントローラの多くのパラメータを設定します。	R/W Byte	N	Reg		Y	0x10
FREQUENCY_SWITCH	0x33	コントローラのスイッチング周波数。	R/W Word	N	L11	kHz	Y	350kHz 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。

ビット	意味
7	ILIMIT の高範囲を使用します
0b	低電流範囲
1b	高電流範囲
6	サーボ・モードをイネーブルします
5	外部温度検出： 0: ΔV _{BE} 測定。 現在は予備、ΔV _{BE} のみがサポートされています
[4:3]	予備
2	予備、常に低 DCR の電流検出
1	V _{OUT} の範囲
1b	最大出力電圧は 2.75V
0b	最大出力電圧は 3.6V
ビット [0]	モード
0b	不連続
1b	強制連続

このコマンドのビット [7] は、デバイスが IOUT_OC_FAULT_LIMIT コマンドの高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]：LTM4664 の PSM 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。

LTM4664 の PSM 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。

ビット	意味
BIT [7:5]	エラーアンプの GM 調整 (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
ビット [4:0]	R_{COMP} (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

PMBus コマンドの詳細

01111b	5.5
10000b	6
10001b	7
10010b	8
10011b	9
10100b	11
10101b	13
10110b	15
10111b	17
11000b	20
11001b	24
11010b	28
11011b	32
11100b	38
11101b	46
11110b	54
11111b	62

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

MFR_PWM_CONFIG

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。

ビット	意味	
7	予備	
[6:5] 00b 01b 10b 11b	入力電流検出ゲイン。 2倍のゲイン。0mV～50mVレンジ。 4倍のゲイン。0mV～20mVレンジ。 8倍のゲイン。0mV～5mVレンジ。 予備	
4	共有クロックのイネーブル:このビットが1の場合、 VIN > VIN_ON になるまで SHARE_CLK ピンは解放されません。 VIN < VIN_OFF のとき、SHARE_CLK ピンはローになります。 このビットが0の場合は、VIN < VIN_OFF のときに SHARE_CLK ピンはローにならない。ただし、VIN の初期アプリケーション を除きます。	
ビット [2:0]	チャンネル0(度)	チャンネル1(度)
000b	0	180
001b	90	270
010b	0	240
011b	0	120
100b	120	240
101b	60	240
110b	120	300

PMBus コマンドの詳細

FREQUENCY_SWITCH

FREQUENCY_SWITCH コマンドは、LTM4664 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:

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

デバイスはこのコマンドを処理するためにオフ状態になっている必要があります。RUNピンをローにするか、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

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
VIN_OV_FAULT_LIMIT	0x55	入力電源の過電圧障害のリミット。	R/W Word	N	L11	V	Y	15.5 0xD3E0
VIN_UV_WARN_LIMIT	0x58	入力電源の低電圧警告のリミット。	R/W Word	N	L11	V	Y	4.65 0xCA53
VIN_ON	0x35	デバイスが電力変換を開始する入力電圧。	R/W Word	N	L11	V	Y	4.75 0xCA60
VIN_OFF	0x36	デバイスが電力変換を停止する入力電圧。	R/W Word	N	L11	V	Y	4.5 0xCA40
MFR_RVIN		V _{IN} ピンのフィルタ素子の抵抗値 (mΩ) 工場設定済み。				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、 $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートすることにより、ホストに通知する

VIN_ON

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

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

VIN_OFF

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

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

MFR_RVIN

MFR_RVIN コマンドは使用できません。MFR_RVIN は工場での組み立て時に 1 Ω に設定されています。

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

出力電圧とリミット

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
VOUT_MODE	0x20	出力電圧のフォーマットおよび指数 (2^{-12})。	R Byte	Y	Reg			2^{-12} 0x14
VOUT_MAX	0x24	他のコマンドに関係なくデバイスが指定できる出力電圧の上限。	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.8 0x2CCD
VOUT_OV_FAULT_LIMIT	0x40	出力過電圧障害のリミット。	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.1 0x119A
VOUT_OV_WARN_LIMIT	0x42	出力過電圧警告のリミット。	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.075 0x1133
VOUT_MARGIN_HIGH	0x25	マージン・ハイの出力電圧設定値。 VOUT_COMMAND より大きくする必要があります。	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.05 0x10CD
VOUT_COMMAND	0x21	公称の出力電圧設定値。	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.0 0x1000
VOUT_MARGIN_LOW	0x26	マージン・ローの出力電圧設定値。 VOUT_COMMAND より小さくする必要があります。	R/W Word	Y	L16	V	Y	0.95 0x0F33
VOUT_UV_WARN_LIMIT	0x43	出力低電圧警告のリミット。	R/W Word	Y	L16	V	Y	0.925 0x0ECD
VOUT_UV_FAULT_LIMIT	0x44	出力低電圧障害のリミット。	R/W Word	Y	L16	V	Y	0.9 0x0E66
MFR_VOUT_MAX	0xA5	許容最大出力電圧。	R Word	Y	L16	V		7.8 0x1CCD

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

この読出し専用コマンドは1バイトのデータを伴います。

VOUT_MAX

VOUT_MAX コマンドは、他のコマンドまたはコマンドの組み合わせと関係なく、デバイスが指定できる電圧の上限(VOUT_MARGIN_HIGHを含む)を設定します。このコマンドの最大許容値は3.6Vです。LTM4664のPSMが発生できる最大出力電圧は、VOUT_MARGIN_HIGHを含めて1.8V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、 $\overline{\text{FAULT}}$ ピンはアサートされません。LTM4664のPSM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 3.6V です。

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

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

VOUT_COMMAND

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

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

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

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ようになります。

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

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

VOUT_UV_FAULT_LIMIT

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

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

PMBus コマンドの詳細

MFR_VOUT_MAX

MFR_VOUT_MAX コマンドは、各チャンネルの最大出力電圧(単位:V、VOUT_OV_FAULT_LIMITを含む)です。出力電圧を高範囲に設定(MFR_PWM_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。設定する最大値は1.8Vであり、最大動作電圧は1.5V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_16u フォーマットが設定されています。

出力電流とリミット

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
MFR_IOUT_CAL_GAIN	0xDA	電流検出ピンでの電圧と検出した電流との比。固定の電流検出抵抗を使用するデバイスの場合、それは抵抗値(mΩ)。	R Word	Y	L11	mΩ	Y	0.375 0xD018
MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC	0xF6	電流検出素子の温度係数。	R/W Word	Y	CF		Y	3900 0x0F3C
IOUT_OC_FAULT_LIMIT	0x46	出力過電流障害のリミット。	R/W Word	Y	L11	A	Y	45.0 0xE2D0
IOUT_OC_WARN_LIMIT	0x4A	出力過電流警告のリミット。	R/W Word	Y	L11	A	Y	34.0 0xE230

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、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。

MFR_PWM_MODE[7] = 1b、 高電流範囲 (mV)	ILPEAK (A)	IOUT (A)	MFR_PWM_MODE[7] = 0b、 ILIM の低電流範囲を使用、 低電流範囲 (mV)	ILPEAK (A)	IOUT (A)
18.86	不要	不要	10.48	29.9	23.9
20.42	不要	不要	11.34	32.4	26.4
21.14	不要	不要	*11.74	33.54	27.54
22.27	不要	不要	12.37	35.3	29.3
23.41	不要	不要	13.01	37.1	31.1
24.55	不要	不要	13.64	38.9	32.9
25.68	不要	不要	14.27	40.8	34.8
26.82	不要	不要	14.90	42.6	36.6

* = 25A の電流制限に一定のヘッドルームを加える場合に推奨

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。

$$\text{ピーク電流制限値} = MFR_IOUT_CAL_GAIN \cdot (1 + MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC \cdot (READ_TEMPERATURE_1 - 27.0))$$

LTM4664 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、 $\overline{ALERT}$ 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。

**MFR_PWM_MODE[7]=1 は超低 DCR 検出の高電流範囲。これらの電流閾値は LTM4664 には大きすぎるので、この範囲を使用する。

*25A の電流制限より 35% 高い値を推奨

PMBus コマンドの詳細

IOUT_OC_WARN_LIMIT

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

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

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

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

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

入力電流とリミット

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
MFR_IIN_CAL_GAIN	0xE8	入力電流検出素子の抵抗値(mΩ)。	R/W Word	L11	mΩ	Y	2 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(mΩ)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。

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
IIN_OC_WARN_LIMIT	0x5D	入力過電流警告のリミット。	R/W Word	N	L11	A	Y	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を超えた場合にに応じて、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS_BYTEの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

外部温度キャリブレーション

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
MFR_TEMP_1_GAIN	0xF8	外部温度センサーの勾配を設定します。	R/W Word	Y	CF		Y	0.995 0x3FAE
MFR_TEMP_1_OFFSET	0xF9	外部温度センサーのオフセットを設定します。	R/W Word	Y	L11	C	Y	0.0 0x8000

MFR_TEMP_1_GAIN

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

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

MFR_TEMP_1_OFFSET

MFR_TEMP_1_OFFSET コマンドは、外部温度センサーのオフセットを変更して、素子の非理想特性とインダクタの温度のリモート検出に伴う誤差を考慮に入れます。

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

外部温度リミット

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

OT_FAULT_LIMIT

OT_FAULT_LIMIT コマンドは、ADCによって測定される、過熱障害を引き起こす外部検出温度(°C)の値を設定します。このリミットを超えたかどうかを判別するのにREAD_TEMPERATURE_1の値が使用されます。

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

OT_WARN_LIMIT

OT_WARN_LIMIT コマンドは、ADCによって測定される、過熱警告を引き起こす外部検出温度(°C)の値を設定します。このリミットを超えたかどうかを判別するのにREAD_TEMPERATURE_1の値が使用されます。

PMBus コマンドの詳細

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

- STATUS_BYTE の 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検出温度(°C)の値を設定します。このリミットを超えたかどうかを判別するのに READ_TEMPERATURE_1 の値が使用されます。

注記: 温度センサーを取り付けていない場合は、UT_FAULT_LIMIT を -275°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。

タイミング

タイミングーオン・シーケンス/ランプ

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
TON_DELAY	0x60	RUN または OPERATION (あるいはその両方) でのオンの指示から出力レールがオンするまでの時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	0.0 0x8000
TON_RISE	0x61	出力電圧が上昇し始めてから VOUT のコマンド指定値に達するまでの時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	3 0xC300
TON_MAX_FAULT_LIMIT	0x62	TON_RISE の開始から VOUT が VOUT_UV_FAULT_LIMIT を超えるまでの最大時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	5 0xCA80
VOUT_TRANSITION_RATE	0x27	VOUT に新しい値が指定されたときに出力電圧が変化する速度。	R/W Word	Y	L11	V/ms	Y	0.001 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 270μs になり、TON_DELAY の全ての値に対して ±50μs の不確か実性があります。

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、LTM4664 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、その不確か実性は ±0.1ms 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

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
TOFF_DELAY	0x64	RUN または OPERATION のオフから TOFF_FALL ランプの開始までの時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	0.0 0x8000
TOFF_FALL	0x65	出力が低下し始めてから出力が 0V に達するまでの時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	3 0xC300
TOFF_MAX_WARN_LIMIT	0x66	TOFF_FALL 完了後、デバイスが 12.5% 未満に減衰するまでの最大許容時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	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 270μs になり、TOFF_DELAY の全ての値に対して ±50μs 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 ±0.1ms です。

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

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

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

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
MFR_RESTART_DELAY	0xDC	LTM4664 が RUN ピンをローに保持する最小時間。	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

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
MFR_RETRY_DELAY	0xDB	FAULT 再試行モード時の再試行間隔。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	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 (10μs 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

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

VIN_OV_FAULT_RESPONSE

VIN_OV_FAULT_RESPONSE コマンドは、入力過電圧障害に対してどう動作するべきかをデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットは、表 17 に示したものです。

また、デバイスの動作は以下ようになります。

- STATUS_BYTE の NONE_OF_THE_ABOVE ビットを設定する
- 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

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

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 13 に示したものです。

また、デバイスの動作は以下ようになります。

- 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

ビット	説明	値	意味
7:6	応答 ビット [7:6] の全ての値に対して、LTM4664 は以下のように動作します。 - STATUS コマンドの対応する障害ビットを設定する - 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 (いったん設定すると)障害ビットがクリアされるのは、以下の状況のいずれかまたは複数が発生した場合に限られる。 - デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受け取る。 - 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する。 - LTM4664 からバイアス電源がいったん取り外され、その後再印加される。	00	デバイスはOVプルダウンのみまたはOV_PULLDOWNを実行します(すなわち、 V_{OUT} が VOUT_OV_FAULT よりも高いときは上側 MOSFET をオフして下側 MOSFET をオンします)。
		01	PMBus デバイスは、ビット [2:0] によって指定された遅延時間と、特定の障害に対して指定された遅延時間の単位にわたって動作を継続します。遅延時間の終了時に障害状態が残っている場合、デバイスは再試行設定(ビット [5:3])でのプログラム内容に従って応答します。
		10	デバイスは直ちにシャットダウン(出力をディスエーブル)し、ビット [5:3] での再試行設定に従って応答します。
		11	サポートされていません。この値を書き込むと、CML 障害が発生します。
5:3	再試行設定	000	デバイスは再起動しようとしません。障害状態が解消されるか、デバイスをオフするよう指示するか、バイアス電源を取り外すまで、出力はディスエーブルされたままになります。
		111	PMBus デバイスは、(RUNピンまたはOPERATION コマンド、あるいはその両方によって)オフするよう指示されるか、バイアス電源が取り外されるか、または別の障害状態が原因でデバイスが再試行せずにシャットダウンするまで、制限なく再起動し続けようとしています。注記: 再試行間隔は MFR_RETRY_DELAY コマンドによって設定されます。
2:0	遅延時間	000~111	10 μs 刻みでの遅延時間。この遅延時間は、障害が検出された後、コントローラがどれくらいの時間動作し続けるのかを決定します。グリッチの除去されたオフ状態の場合にのみ有効。

VOUT_UV_FAULT_RESPONSE

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

また、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS_BYTE の NONE_OF_THE_ABOVE ビットを設定する
- STATUS_WORD の VOUT ビットを設定する
- STATUS_VOUT コマンドの VOUT 低電圧障害ビットを設定する
- マスクされていない限り、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

ビット	説明	値	意味
7:6	応答 ビット [7:6] の全ての値に対して、LTM4664 は以下のように動作します。 - STATUS コマンドの対応する障害ビットを設定する - 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 (いったん設定すると) 障害ビットがクリアされるのは、以下の状況のいずれかまたは複数が発生した場合に限られる。 - デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受け取る。 - 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する。 - デバイスが RESTORE_USER_ALL コマンドを受け取る。 - デバイスが MFR_RESET コマンドを受け取る。 - デバイス電源が入れ直される。	00	PMBus デバイスは中断せずに動作を続けます。(障害を機能的に無視する)
		01	PMBus デバイスは、ビット [2:0] によって指定された遅延時間と、特定の障害に対して指定された遅延時間の単位にわたって動作を継続します。遅延時間の終了時に障害状態が残っている場合、デバイスは再試行設定 (ビット [5:3]) でのプログラム内容に従って応答します。
		10	デバイスはシャットダウン (出力をディスエーブル) し、ビット [5:3] での再試行設定に従って応答します。
		11	サポートされていません。この値を書き込むと、CML 障害が発生します。
5:3	再試行設定	000	デバイスは再起動しようとしません。障害状態が解消されるか、デバイスをオフするよう指示するか、バイアス電源を取り外すまで、出力はディスエーブルされたままになります。
		111	PMBus デバイスは、(RUN ピンまたは OPERATION コマンド、あるいはその両方によって) オフするよう指示されるか、バイアス電源が取り外されるか、または別の障害状態が原因でデバイスが再試行せずにシャットダウンするまで、制限なく再起動し続けようとします。注記: 再試行間隔は MFR_RETRY_DELAY コマンドによって設定されます。
2:0	遅延時間	000~111	10 μ s 刻みでの遅延時間。この遅延時間は、障害が検出された後、コントローラがどれくらいの時間動作し続けるのかを決定します。グリッチの除去されたオフ状態の場合にのみ有効。

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

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

IOUT_OC_FAULT_RESPONSE

IOUT_OC_FAULT_RESPONSE コマンドは、出力過電流障害に対してどう動作するべきかをデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットは、表 9 に示したものです。

また、デバイスの動作は以下ようになります。

- STATUS_BYTE の NONE_OF_THE_ABOVE ビットを設定する
- 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. IOUT_OC_FAULT_RESPONSE のデータ・バイトの内容

ビット	説明	値	意味
7:6	応答 ビット [7:6] の全ての値に対して、LTM4664 は以下のように動作します。 - STATUS コマンドの対応する障害ビットを設定する - 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 (いったん設定すると) 障害ビットがクリアされるのは、以下の状況のいずれかまたは複数が発生した場合に限られる。 - デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受け取る。 - 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する。 - デバイスが RESTORE_USER_ALL コマンドを受け取る。 - デバイスが MFR_RESET コマンドを受け取る。 - デバイス電源が入れ直される。	00	LTM4664 の PSM は、出力電圧に関係なく、IOUT_OC_FAULT_LIMIT にによって設定された値に出力電流を維持しつつ、無期限に動作を継続します (定電流制限または垂下型制限として知られます)。
		01	サポートされていません。
		10	LTM4664 の PSM は動作を継続し、出力電圧に関係なく、ビット [2:0] で指定された遅延時間にわたって、IOUT_OC_FAULT_LIMIT にによって設定された値に出力電流を維持します。遅延時間の終了時にデバイスがまだ電流制限状態で動作している場合、デバイスはビット [5:3] での再試行設定でプログラムしたとおりに応答します。
		11	LTM4664 の PSM は直ちにシャットダウンし、ビット [5:3] での再試行設定でプログラムしたとおりに応答します。
5:3	再試行設定	000	デバイスは再起動しようとしません。RUN ピンのロー/ハイを切り替えるか、バイアス電源を取り外すことによって障害状態を解消するまで、出力はディスエーブルされたままになります。
		111	デバイスは、(RUN ピンまたは OPERATION コマンド、あるいはその両方によって) オフするよう指示されるか、バイアス電源が取り外されるか、または別の障害状態が原因でデバイスがシャットダウンするまで、制限なく再起動し続けようとしています。 注記: 再試行間隔は MFR_RETRY_DELAY コマンドによって設定されます。
2:0	遅延時間	000~111	16ms 刻みでの遅延時間単位の数。この遅延時間を使用して、障害検出後、デバイスがシャットダウンするまで動作を継続する時間を求めます。グリッチの除去されたオフ応答の場合にのみ有効。

IC 温度に対する障害応答

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

MFR_OT_FAULT_RESPONSE

MFR_OT_FAULT_RESPONSE コマンド・バイトは、内部過熱障害に対してどう動作するべきかをデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットは、表 12 に示したものです。

また、LTM4664 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

ビット	説明	値	意味
7:6	応答 ビット [7:6] の全ての値に対して、LTM4664 は以下のように動作します。 • STATUS コマンドの対応する障害ビットを設定する • 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 (いったん設定すると) 障害ビットがクリアされるのは、以下の状況のいずれかまたは複数が発生した場合に限られる。 • デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受け取る。 • 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する。 • LTM4664 からバイアス電源がいったん取り外され、その後再印加される。	00	サポートされていません。この値を書き込むと、CML 障害が発生します。
		01	サポートされていません。この値を書き込むと、CML 障害が発生します。
		10	デバイスは直ちにシャットダウン (出力をディスエーブル) し、ビット [5:3] での再試行設定に従って応答します。
		11	デバイスの出力はディスエーブルされるが、障害は残ります。障害状態が解消されると、動作が再開され、出力がイネーブルされます。
5:3	再試行設定	000	デバイスは再起動しようとしません。障害ビットがクリアされるまで、出力はディスエーブルされたままになります。
		001~111	サポートされていません。この値を書き込むと、CML 障害が発生します。
2:0	遅延時間	XXX	サポートされていません。値は無視されます。

外部温度に対する障害応答

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

OT_FAULT_RESPONSE

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

ビット	説明	値	意味
7:6	応答 ビット [7:6] の全ての値に対して、LTM4664 は以下のように動作します。 - STATUS コマンドの対応する障害ビットを設定する - 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 (いったん設定すると) 障害ビットがクリアされるのは、以下の状況のいずれかまたは複数が発生した場合に限られる。 - デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受け取る。 - 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する。 - デバイスが RESTORE_USER_ALL コマンドを受け取る。 - デバイスが MFR_RESET コマンドを受け取る。 - デバイス電源が入れ直される。	00	PMBus デバイスは中断せずに動作を続けます。
		01	サポートされていません。この値を書き込むと、CML 障害が発生します。
		10	デバイスは直ちにシャットダウン (出力をディスエーブル) し、ビット [5:3] での再試行設定に従って応答します。
		11	サポートされていません。この値を書き込むと、CML 障害が発生します。
5:3	再試行設定	000	デバイスは再起動しようとしません。障害状態が解消されるか、デバイスをオフするよう指示するか、バイアス電源を取り外すまで、出力はディスエーブルされたままになります。
		111	PMBus デバイスは、(RUN ピンまたは OPERATION コマンド、あるいはその両方によって) オフするよう指示されるか、バイアス電源が取り外されるか、または別の障害状態が原因でデバイスが再試行せずにシャットダウンするまで、制限なく再起動し続けようとします。注記: 再試行間隔は MFR_RETRY_DELAY コマンドによって設定されます。
2:0	遅延時間	XXX	サポートされていません。値は無視されます。

障害信号の共有

障害信号の共有と伝搬

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

MFR_FAULT_PROPAGATE

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 15 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、障害信号が障害に応答するようプログラムされている場合に限りです。

このコマンドは2バイトのデータを伴います。

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

ビット	記号	動作
B[15]	VOUT はディスエーブルされるが減衰しません。	MFR_CHAN_CONFIG_LTM4664 のビット 0 が 0 のとき、これは PolyPhase 構成で使用されます。RUN ピンを切り替えるかデバイスがオフするよう指示することによってチャンネルをオフし、その後 RUN を再アサートするか、出力が減衰する前にデバイスをオンに戻すと、12.5% の減衰が受け付けられるまで VOUT は再起動しません。ビット 15 がアサートされる場合は、この状態の間に FAULT ピンをアサートします。
B[14]	Mfr_fault_propagate_short_CMD_cycle	0: 動作なし 1: 出力がシーケンス制御でオフになる前に、オフしてからオンするよう指示すると、ローにアサートされます。シーケンス・オフしてから t _{OFF} (MIN) 経過後にハイを再アサートします。
b[13]	Mfr_fault_propagate_ton_max_fault	0: TON_MAX_FAULT 障害信号がアサートされた場合、動作なし 1: TON_MAX_FAULT 障害信号がアサートされた場合、対応する出力がローにアサートされます FAULT ₀ はページ 0 の TON_MAX_FAULT 障害に対応付けられます FAULT ₁ はページ 1 の TON_MAX_FAULT 障害に対応付けられます
b[12]	予備	
b[11]	Mfr_fault0_propagate_int_ot Mfr_fault1_propagate_int_ot	0: MFR_OT_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、動作なし 1: MFR_OT_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、対応する出力がローにアサートされます
b[10]	予備	
b[9]	予備	
b[8]	Mfr_fault0_propagate_ut Mfr_fault1_propagate_ut	0: UT_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、動作なし 1: UT_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、対応する出力がローにアサートされます FAULT ₀ はページ 0 の UT 障害に対応付けられます FAULT ₁ はページ 1 の UT 障害に対応付けられます
b[7]	Mfr_fault0_propagate_ot Mfr_fault1_propagate_ot	0: OT_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、動作なし 1: OT_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、対応する出力がローにアサートされます FAULT ₀ はページ 0 の OT 障害に対応付けられます FAULT ₁ はページ 1 の OT 障害に対応付けられます
b[6]	予備	
b[5]	予備	
b[4]	Mfr_fault0_propagate_input_ov Mfr_fault1_propagate_input_ov	0: VIN_OV_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、動作なし 1: VIN_OV_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、対応する出力がローにアサートされます
b[3]	予備	
b[2]	Mfr_fault0_propagate_iout_oc Mfr_fault1_propagate_iout_oc	0: IOUT_OC_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、動作なし 1: IOUT_OC_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、対応する出力がローにアサートされます FAULT ₀ はページ 0 の OC 障害に対応付けられます FAULT ₁ はページ 1 の OC 障害に対応付けられます
b[1]	Mfr_fault0_propagate_vout_uv Mfr_fault1_propagate_vout_uv	0: VOUT_UV_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、動作なし 1: VOUT_UV_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、対応する出力がローにアサートされます FAULT ₀ はページ 0 の UV 障害に対応付けられます FAULT ₁ はページ 1 の UV 障害に対応付けられます
b[0]	Mfr_fault0_propagate_vout_ov Mfr_fault1_propagate_vout_ov	0: VOUT_OV_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、動作なし 1: VOUT_OV_FAULT_LIMIT 障害信号がアサートされた場合、対応する出力がローにアサートされます FAULT ₀ はページ 0 の OV 障害に対応付けられます FAULT ₁ はページ 1 の OV 障害に対応付けられます

PMBus コマンドの詳細

障害共有信号の応答

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
MFR_FAULT_RESPONSE	0xD5	FAULTピンがローにアサートされたときのデバイスの動作。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xC0

MFR_FAULT_RESPONSE

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

サポート対象値:

値	意味
0xC0	FAULT_INHIBIT: LTM4664 は、 $\overline{\text{FAULT}}$ ピンがローになった場合に出力をスリーステートにします。
0x00	FAULT_IGNORE: LTM4664 は中断せずに動作を続けます。

また、デバイスの動作は以下のようになります。

- STATUS_WORD の MFR 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

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

PMBus コマンドの詳細

USER_DATA_00からUSER_DATA_04まで

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

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

識別情報

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
PMBus_REVISION	0x98	このデバイスがサポートするPMBusのリビジョン。現在のリビジョンは1.2です。	R Byte	N	Reg		FS	0x22
CAPABILITY	0x19	このデバイスによってサポートされているPMBusオプション通信プロトコルの要約。	R Byte	N	Reg			0xB0
MFR_ID	0x99	LTM4664 のメーカー ID (ASCII)。	R String	N	ASC			LTC
MFR_MODEL	0x9A	メーカーの製品番号 (ASCII)	R String	N	ASC			LTM4664
MFR_SPECIAL_ID	0xE7	LTM4664 を表すメーカー・コード	R Word	N	Reg			0x020X

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。LTM4664 は、PMBus バージョン 1.2 の Part I および Part II の両方に準拠しています。

この読出し専用コマンドは1バイトのデータを伴います。

CAPABILITY

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

LTM4664 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、LTM4664 のメーカー ID を ASCII 文字を使用して表示します。

この読出し専用コマンドにはブロック・フォーマットが設定されています。

MFR_MODEL

MFR_MODEL コマンドは、LTM4664 のメーカー製品番号を ASCII 文字を使用して表示します。

この読出し専用コマンドにはブロック・フォーマットが設定されています。

MFR_SPECIAL_ID

デバイスの名称とリビジョンを表す、16ビットのワードです。0x4C はデバイスが LTM4664 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

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
CLEAR_FAULTS	0x03	設定されている全ての障害ビットをクリアします。	Send Byte	N				NA
SMBALERT_MASK	0x1B	マスク動作。	Block R/W	Y	Reg		Y	詳細については、コマンドを参照してください。
MFR_CLEAR_PEAKS	0xE3	全てのピーク値をクリアします。	Send Byte	Y				NA
STATUS_BYTE	0x78	デバイスの障害条件の1バイトの要約。	R/W Byte	Y	Reg			NA
STATUS_WORD	0x79	デバイスの障害条件の2バイトの要約。	R/W Word	Y	Reg			NA
STATUS_VOUT	0x7A	出力電圧の障害および警告のステータス。	R/W Byte	Y	Reg			NA
STATUS_IOUT	0x7B	出力電流の障害および警告のステータス。	R/W Byte	Y	Reg			NA
STATUS_INPUT	0x7C	入力電源の障害および警告のステータス。	R/W Byte	N	Reg			NA
STATUS_TEMPERATURE	0x7D	READ_TEMPERATURE_1の外部温度障害および警告のステータス。	R/W Byte	Y	Reg			NA
STATUS_CML	0x7E	通信およびメモリの障害および警告のステータス。	R/W Byte	N	Reg			NA
STATUS_MFR_SPECIFIC	0x80	メーカー固有の障害および状態の情報。	R/W Byte	Y	Reg			NA
MFR_PADS	0xE5	I/Oパッドのデジタル・ステータス。	R Word	N	Reg			NA
MFR_COMMON	0xEF	複数のアナログ・デバイス・チップに共通するメーカー・ステータス・ビット。	R Byte	N	Reg			NA

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 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンの信号をアサートしている場合、デバイスはその $\overline{\text{ALERT}}$ 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 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをローにアサートすることによって通知されます。CLEAR_FAULTS は処理するのに最大 10 μ s かかります。その時間枠内に障害が発生すると、ステータス・レジスタが設定される前にクリアされる場合があります。

この書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 $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートしないようにすることができます。

図 33 に、 $\overline{\text{ALERT}}$ マスクを（この場合は PEC なしで）設定するときを使用されるワード書込みフォーマットの例を示します。マスク・バイト内のビットは、指定のステータス・レジスタ内のビットと一致します。例えば、STATUS_TEMPERATURE コマンドのコードが最初のデータ・バイトで送られ、マスク・バイトに 0x40 が含まれる場合、後続の外部過熱警告は引き続き STATUS_

PMBus コマンドの詳細

TEMPERATURE のビット 6 を設定しますが、 $\overline{\text{ALERT}}$ はアサートしません。設定した場合、サポートされているそれ以外の全 STATUS_TEMPERATURE ビットは、 $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートし続けます。

図 50 に「ブロック書込み–ブロック読出しプロセス呼び出し」プロトコルの例を示します。これは、サポートされている任意のステータス・レジスタの現在の状態を (やはり PEC なしで) 読み出すときに使用します。

SMBALERT_MASK は、STATUS_BYTE、STATUS_WORD、MFR_COMMON、MFR_PADS_LTM4664 のいずれにも適用できません。適用できるステータス・レジスタの出荷時のデフォルトのマスキング設定を以下に示します。サポートされていないコマンド・コードを SMBALERT_MASK に設定すると、無効なデータ／サポートされていないデータに対して CML が生成されます。

SMBALERT_MASK のデフォルト設定: (図 2 も参照)

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

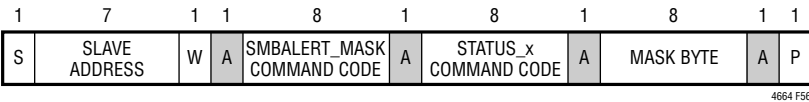


図 53. SMBALERT_MASK 書込みの例

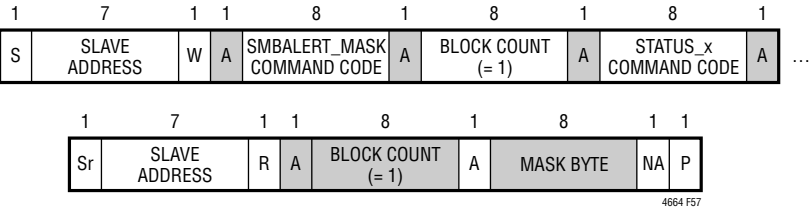


図 54. SMBALERT_MASK 読出しの例

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:

ビット	ステータス・ビット名	意味
7*	BUSY	LTM4664 が応答できないので、障害が宣言されました。
6	OFF	このビットは、単純にイネーブルされない場合も含めて、チャンネルがその出力に電力を供給していない場合、理由に関係なく設定されます。
5	VOUT_OV	出力過電圧障害が発生しました。
4	IOUT_OC	出力過電流障害が発生しました。
3	VIN_UV	サポートされていません (LTM4664 は 0 を返します)。
2	TEMPERATURE	温度障害または警告が発生しました。
1	CML	通信、メモリ、またはロジック障害が発生しました。
0*	上記のいずれでもありません。	ビット [7:1] に記載されていない障害が発生しました。

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

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

STATUS_WORD

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

STATUS_WORD の上位バイトのメッセージの内容:

ビット	ステータス・ビット名	意味
15	VOUT	出力電圧障害または警告が発生しました。
14	IOUT	出力電流障害または警告が発生しました。
13	INPUT	入力電圧障害または警告が発生しました。
12	MFR_SPECIFIC	LTM4664 に固有の障害または警告が発生しました。
11	POWER_GOOD#	このビットが設定されている場合、 <code>POWER_GOOD</code> 状態は正しくありません。
10	FANS	サポートされていません (LTM4664 は 0 を返します)。
9	OTHER	サポートされていません (LTM4664 は 0 を返します)。
8	UNKNOWN	サポートされていません (LTM4664 は 0 を返します)。

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

このコマンドは 2 バイトのデータを伴います。

STATUS_VOUT

`STATUS_VOUT` コマンドは、1 バイトの `VOUT` ステータス情報を返します。

STATUS_VOUT のメッセージの内容:

ビット	意味
7	<code>VOUT</code> の過電圧障害。
6	<code>VOUT</code> の過電圧警告。
5	<code>VOUT</code> の低電圧警告。
4	<code>VOUT</code> の低電圧障害。
3	<code>VOUT</code> の最大値警告。
2	<code>TON</code> の最大値障害。
1	<code>TOFF</code> の最大値障害。
0	サポートされていません (LTM4664 は 0 を返します)。

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IOUTステータス情報を返します。

STATUS_IOUT のメッセージの内容:

ビット	意味
7	IOUTの過電流障害。
6	サポートされていません (LTM4664 は0を返します)。
5	IOUTの過電流警告。
4:0	サポートされていません (LTM4664 は0を返します)。

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

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

STATUS_INPUT

STATUS_INPUT コマンドは、1バイトのVIN(VINS3_C1)ステータス情報を返します。

STATUS_INPUT のメッセージの内容:

ビット	意味
7	VINの過電圧障害。
6	サポートされていません (LTM4664 は0を返します)。
5	VINの低電圧警告。
4	サポートされていません (LTM4664 は0を返します)。
3	VINが不十分なためデバイスはオフになります。
2	サポートされていません (LTM4664 は0を返します)。
1	INの過電流警告。
0	サポートされていません (LTM4664 は0を返します)。

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

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

ビット	意味
7	外部過熱障害。
6	外部過熱警告。
5	サポートされていません (LTM4664 は 0 を返します)。
4	外部低温障害。
3:0	サポートされていません (LTM4664 は 0 を返します)。

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

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

STATUS_CML

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

STATUS_CML のメッセージの内容:

ビット	意味
7	無効なコマンドまたはサポートされていないコマンドを受け取りました。
6	無効なデータまたはサポートされていないデータを受け取りました。
5	パケット・エラー・チェックの障害が発生しました。
4	メモリ障害が検出されました。
3	プロセッサ障害が検出されました。
2	予備 (LTM4664 は 0 を返します)。
1	その他の通信障害。
0	その他のメモリ障害またはロジック障害。

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

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

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

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

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。

ビット	意味
7	内部温度障害リミットを超過しました。
6	内部温度警告リミットを超過しました。
5	出荷時調整領域の NVM CRC 障害。
4	PLL の同期が外れました。
3	障害ログが存在します。
2	V _{DD33} の UV 障害または OV 障害。
1	ShortCycle イベントが検出されました。
0	FAULT ピンが外部デバイスによってローにアサートされました。

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

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

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

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

MFR_PADS

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

ビット	割り当てられるデジタル・ピン
15	V _{DD33} の OV 障害
14	V _{DD33} の UV 障害
13	予備
12	予備
11	ADC の値が無効。起動時に発生通常動作時に電流測定チャンネルで一時的に発生する場合があります
10	SYNC は外部デバイスによってクロックと同期 (SYNC ピンを駆動するよう LTM4664 が設定されている場合)
9	チャンネル1のパワーグッド
8	チャンネル0のパワーグッド
7	LTM4664 は RUN1 をローに駆動
6	LTM4664 は RUN0 をローに駆動
5	RUN1 ピンの状態
4	RUN0 ピンの状態
3	LTM4664 は FAULT1 をローに駆動
2	LTM4664 は FAULT0 をローに駆動
1	FAULT1 ピンの状態
0	FAULT0 ピンの状態

1 は条件が真であることを示します。

この読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。

ビット	意味
7	チップはALERTをローに駆動していません
6	LTM4664 はビジーではありません
5	計算は保留されていません
4	LTM4664 の出力は遷移中ではありません
3	NVM は初期化済みです
2	予備
1	SHARE_CLK のタイムアウト
0	WP ピンのステータス

この読出し専用コマンドは1バイトのデータを伴います。

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

ビット	意味
15:5	予備
4	EEPROM の ECC ステータス。 0: EEPROM のユーザ領域で訂正が行われます。 1: EEPROM のユーザ領域で訂正が行われません。
3:0	予備

RESTORE_USER_ALL コマンド、RESET コマンド、パワーオン・リセット、または EEPROM バルク読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

遠隔測定

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
READ_VIN	0x88	測定された入力電源電圧。	R Word	N	L11	V		NA
READ_IIN	0x89	測定された入力電源電流。	R Word	N	L11	A		NA
READ_VOUT	0x8B	測定された出力電圧。	R Word	Y	L16	V		NA
READ_IOUT	0x8C	測定された出力電流。	R Word	Y	L11	A		NA
READ_TEMPERATURE_1	0x8D	パワー段ダイオードのジャンクション温度。これは、MFR_IOUT_CAL_GAINを含む全ての温度関連処理に使用される値です。	R Word	Y	L11	C		NA
READ_TEMPERATURE_2	0x8E	パワー段のジャンクション温度。他のコマンドには影響しません。	R Word	N	L11	C		NA
READ_FREQUENCY	0x95	測定されたPWMスイッチング周波数。	R Word	Y	L11	Hz		NA
READ_POUT	0x96	計算による出力電力。	R Word	Y	L11	W		NA
READ_PIN	0x97	計算による入力電力。	R Word	N	L11	W		NA
MFR_PIN_ACCURACY	0xAC	READ_PIN コマンドの精度を返します。	R Byte	N		%		5.0%
MFR_IOUT_PEAK	0xD7	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降でのREAD_IOUTの最大測定値を報告します。	R Word	Y	L11	A		NA
MFR_VOUT_PEAK	0xDD	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降でのREAD_VOUTの最大測定値。	R Word	Y	L16	V		NA
MFR_VIN_PEAK	0xDE	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降でのREAD_VINの最大測定値。	R Word	N	L11	V		NA
MFR_TEMPERATURE_1_PEAK	0xDF	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降での外部温度(READ_TEMPERATURE_1)の最大測定値。	R Word	Y	L11	C		NA
MFR_READ_IIN_PEAK	0xE1	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降でのREAD_IINコマンドの最大測定値。	R Word	N	L11	A		NA
MFR_READ_ICHIP	0xE4	LTM4664が使用する測定電流。	R Word	N	L11	A		NA
MFR_TEMPERATURE_2_PEAK	0xF4	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降での内部ダイ温度のピーク値。	R Word	N	L11	C		NA
MFR_ADC_CONTROL	0xD8	高速のADC読出しを繰り返す場合に選択されるADCの遠隔測定パラメータ。	R/W Byte	N	N	Reg		NA

PMBus コマンドの詳細

READ_VIN

READ_VIN コマンドは V_{IN} ピンの測定電圧に $READ_ICHP \cdot MFR_RVIN$ を加算した値 (V) を返します。これにより、LTM4664 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。

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

READ_IIN

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

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

READ_IOUT

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

- a) I_{SENSE} ピンの両端で測定された差動電圧
- b) MFR_IOUT_CAL_GAIN の値
- c) MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC の値
- d) READ_TEMPERATURE_1 の値
- e) MFR_TEMP_1_GAIN および MFR_TEMP_1_OFFSET の値

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

READ_TEMPERATURE_1

READ_TEMPERATURE_1 コマンドは、パワー段検出素子の温度 ($^{\circ}\text{C}$) を返します。

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

READ_TEMPERATURE_2

READ_TEMPERATURE_2 コマンドは、内部検出素子が検出した LTM4664 のダイ温度 ($^{\circ}\text{C}$) を返します。

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

READ_FREQUENCY

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

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

READ_POUT

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

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

PMBus コマンドの詳細

READ_PIN

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

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

MFR_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、 $\pm 0.0\%$ ～ $\pm 25.5\%$ の範囲が得られます。

この読出し専用コマンドは1バイトのデータを伴い、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。

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

MFR_VIN_PEAK

MFR_VIN_PEAK コマンドは、READ_VIN 測定の最大電圧 (V) を報告します。

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

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

MFR_TEMPERATURE_1_PEAK

MFR_TEMPERATURE_1_PEAK コマンドは、READ_TEMPERATURE_1 測定の最大温度 (°C) を報告します。

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

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

MFR_READ_IIN_PEAK

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

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

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

MFR_READ_ICHIP

MFR_READ_ICHIP コマンドは、LTM4664 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。

PMBus コマンドの詳細

MFR_TEMPERATURE_2_PEAK

MFR_TEMPERATURE_2_PEAK コマンドは、READ_TEMPERATURE_2 測定 of 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。0 以外の値を指定して、8ms の概算更新レートで1つのパラメータをモニタできます。このコマンドの遅延は、最大2回の A/D 変換によるもので、約 16ms です (外部温度変換の遅延は最大3回の A/D 変換によるもので、約 24ms になる可能性があります)。1つのパラメータを ADC で高速に更新することが必要な特殊な場合を除いて、デバイスは標準の遠隔測定モードのままにすることを推奨します。目的のパラメータを限られた時間 (1 秒未満) だけモニタするようデバイスにコマンドを出し、その後、標準の順繰り方式に戻るようコマンドを設定します。このコマンドを標準の順繰り遠隔測定 (0) 以外の任意の値に設定した場合、選択したパラメータ以外の遠隔測定に関連した全ての警告および障害は、事実上無効になり、電圧のサーボ制御はディスエーブルされます。順繰り方式が再アサートされると、全ての警告と障害信号およびサーボ・モードは再度有効化されます。

コマンド指定値	遠隔測定コマンド名	説明
0x0F		予備
0x0E		予備
0x0D		予備
0x0C	READ_TEMPERATURE_1	チャンネル1の外部温度
0x0B		予備
0x0A	READ_IOUT	チャンネル1が出力電流を測定
0x09	READ_VOUT	チャンネル1が出力電圧を測定
0x08	READ_TEMPERATURE_1	チャンネル0の外部温度
0x07		予備
0x06	READ_IOUT	チャンネル0が出力電流を測定
0x05	READ_VOUT	チャンネル0が出力電圧を測定
0x04	READ_TEMPERATURE_2	内部ジャンクション温度
0x03	READ_IIN	測定された入力電源電流
0x02	MFR_READ_ICHIP	LTM4664 の電源電流測定値
0x01	READ_VIN	測定された入力電源電圧
0x00		標準のADC順繰り遠隔測定

予備のコマンド値を入力すると、遠隔測定はデフォルトで内部 IC 温度になり、CML 障害信号を出力します。有効なコマンド値を入力するまで、LTM4664 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。

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

PMBus コマンドの詳細

NVM メモリ・コマンド

STORE/RESTORE

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

STORE_USER_ALL

STORE_USER_ALL コマンドは、動作メモリの不揮発性の内容を、不揮発性のNVMメモリ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。

LTM4664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、LTM4664が正常に通信して、プロジェクト・ファイルを更新することができます。更新後のプロジェクト・ファイルを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LTM4664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。LTM4664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

障害ログ

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

MFR_FAULT_LOG

MFR_FAULT_LOG コマンドを使用すると、MFR_FAULT_LOG_CLEAR コマンドが最後に書き込まれて以降、初めて障害が発生した後に FAULT_LOG の内容を読み出すことができます。このコマンドの内容は不揮発性メモリに格納され、MFR_FAULT_LOG_CLEAR コマンドによってクリアされます。このコマンドの長さとは内容は表 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。

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。

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトはありません。

PMBus コマンドの詳細

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。

データ・フォーマットの定義				LIN 11 = PMBus = Rev 1.2, Part 2, section 7.1
				LIN 16 = PMBus Rev 1.2, Part 2, section 8. 仮数部のみ
				BYTE = このコマンドの定義に従って解釈された 8 ビット
データ	ビット	データ・フォーマット	バイト番号	ブロック読出しコマンド
Block Length		BYTE	147	MFR_FAULT_LOG コマンドは 147 バイトの固定長。 データ・ログ・イベントが取り込まれていない場合、 ブロック長は 0 になります。
ヘッダ情報				
Fault Log Preface	[7:0]	ASC	0	部分的または完全な障害ログが存在する場合、バイト 0 で始まる LTxx を返します。ワード xx はデバイスごとに変更できる工場識別マーク。
	[7:0]		1	
	[15:8]	Reg	2	
	[7:0]		3	
Fault Source	[7:0]	Reg	4	表 16 参照。
MFR_REAL_TIME	[7:0]	Reg	5	障害発生時の 48 ビット共有クロック・カウンタの値 (分解能 200µs)。
	[15:8]		6	
	[23:16]		7	
	[31:24]		8	
	[39:32]		9	
	[47:40]		10	
MFR_VOUT_PEAK (PAGE 0)	[15:8]	L16	11	最後の電源投入後または CLEAR_PEAKS コマンド以降でのチャンネル 0 の READ_VOUT のピーク値。
	[7:0]		12	
MFR_VOUT_PEAK (PAGE 1)	[15:8]	L16	13	最後の電源投入後または CLEAR_PEAKS コマンド以降でのチャンネル 1 の READ_VOUT のピーク値。
	[7:0]		14	
MFR_IOUT_PEAK (PAGE 0)	[15:8]	L11	15	最後の電源投入後または CLEAR_PEAKS コマンド以降でのチャンネル 0 の READ_IOUT のピーク値。
	[7:0]		16	
MFR_IOUT_PEAK (PAGE 1)	[15:8]	L11	17	最後の電源投入後または CLEAR_PEAKS コマンド以降でのチャンネル 1 の READ_IOUT のピーク値。
	[7:0]		18	
MFR_VIN_PEAK	[15:8]	L11	19	最後の電源投入後または CLEAR_PEAKS コマンド以降での READ_VIN のピーク値。
	[7:0]		20	
READ_TEMPERATURE1 (PAGE 0)	[15:8]	L11	21	最後のイベント発生時の外部温度センサー 0。
	[7:0]		22	
READ_TEMPERATURE1 (PAGE 1)	[15:8]	L11	23	最後のイベント発生時の外部温度センサー 1。
	[7:0]		24	
READ_TEMPERATURE2	[15:8]	L11	25	最後のイベント発生時の LTM4664 のダイ温度センサー。
	[7:0]		26	

PMBus コマンドの詳細

周期的データ

イベント n (障害発生時のデータ、最新のデータ)				イベント「n」は、障害の発生時に MUX を介して ADC が読み出す完全な 1 サイクルを示します。例: ADC がステップ 15 を処理しているときに障害が発生した場合、読出しをステップ 25 まで続けてから、ヘッダと全 6 ページのイベント・ページを EEPROM に格納します。
READ_VOUT (PAGE 0)	[15:8]	LIN 16	27	
	[7:0]	LIN 16	28	
READ_VOUT (PAGE 1)	[15:8]	LIN 16	29	
	[7:0]	LIN 16	30	
READ_IOUT (PAGE 0)	[15:8]	LIN 11	31	
	[7:0]	LIN 11	32	
READ_IOUT (PAGE 1)	[15:8]	LIN 11	33	
	[7:0]	LIN 11	34	
READ_VIN	[15:8]	LIN 11	35	
	[7:0]	LIN 11	36	
READ_IIN	[15:8]	LIN 11	37	
	[7:0]	LIN 11	38	
STATUS_VOUT (PAGE 0)		BYTE	39	
STATUS_VOUT (PAGE 1)		BYTE	40	
STATUS_WORD (PAGE 0)	[15:8]	WORD	41	
	[7:0]	WORD	42	
STATUS_WORD (PAGE 1)	[15:8]	WORD	43	
	[7:0]	WORD	44	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 0)		BYTE	45	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 1)		BYTE	46	
イベント n-1 (障害が検出される前に測定されたデータ)				
READ_VOUT (PAGE 0)	[15:8]	LIN 16	47	
	[7:0]	LIN 16	48	
READ_VOUT (PAGE 1)	[15:8]	LIN 16	49	
	[7:0]	LIN 16	50	
READ_IOUT (PAGE 0)	[15:8]	LIN 11	51	
	[7:0]	LIN 11	52	
READ_IOUT (PAGE 1)	[15:8]	LIN 11	53	
	[7:0]	LIN 11	54	
READ_VIN	[15:8]	LIN 11	55	
	[7:0]	LIN 11	56	
READ_IIN	[15:8]	LIN 11	57	
	[7:0]	LIN 11	58	
STATUS_VOUT (PAGE 0)		BYTE	59	
STATUS_VOUT (PAGE 1)		BYTE	60	
STATUS_WORD (PAGE 0)	[15:8]	WORD	61	
	[7:0]	WORD	62	
STATUS_WORD (PAGE 1)	[15:8]	WORD	63	
	[7:0]	WORD	64	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 0)		BYTE	65	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 1)		BYTE	66	

PMBus コマンドの詳細

イベント n-5 (最も古い記録データ)				
READ_VOUT (PAGE 0)	[15:8]	LIN 16	127	
	[7:0]	LIN 16	128	
READ_VOUT (PAGE 1)	[15:8]	LIN 16	129	
	[7:0]	LIN 16	130	
READ_IOUT (PAGE 0)	[15:8]	LIN 11	131	
	[7:0]	LIN 11	132	
READ_IOUT (PAGE 1)	[15:8]	LIN 11	133	
	[7:0]	LIN 11	134	
READ_VIN	[15:8]	LIN 11	135	
	[7:0]	LIN 11	136	
READ_IIN	[15:8]	LIN 11	137	
	[7:0]	LIN 11	138	
STATUS_VOUT (PAGE 0)		BYTE	139	
STATUS_VOUT (PAGE 1)		BYTE	140	
STATUS_WORD (PAGE 0)	[15:8]	WORD	141	
	[7:0]	WORD	142	
STATUS_WORD (PAGE 1)	[15:8]	WORD	143	
	[7:0]	WORD	144	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 0)		BYTE	145	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 1)		BYTE	146	

表 21. Position_Fault の値の説明

POSITION_FAULT の値	障害ログの発生源
0xFF	MFR_FAULT_LOG_STORE
0x00	TON_MAX_FAULT
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

PMBus コマンドの詳細

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。

MFR_FAULT_LOG_CLEAR

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

この書込み専用コマンドはバイト送信コマンドです。

ブロック・メモリの書込み／読出し

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
MFR_EE_UNLOCK	0xBD	MFR_EE_ERASE コマンドおよび MFR_EE_DATA コマンドでアクセスするため、EEPROM のロックを解除します。	R/W Byte	N	Reg			NA
MFR_EE_ERASE	0xBE	MFR_EE_DATA による一括プログラミングのため、EEPROM を初期化します。	R/W Byte	N	Reg			NA
MFR_EE_DATA	0xBF	PMBus ワードの順次読出しまたは書込みを使用して EEPROM との間で転送されるデータ。一括プログラミングをサポートします。	R/W Word	N	Reg			NA

ダイ温度が 130°C を超えると、全ての 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、LTM4664 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。

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

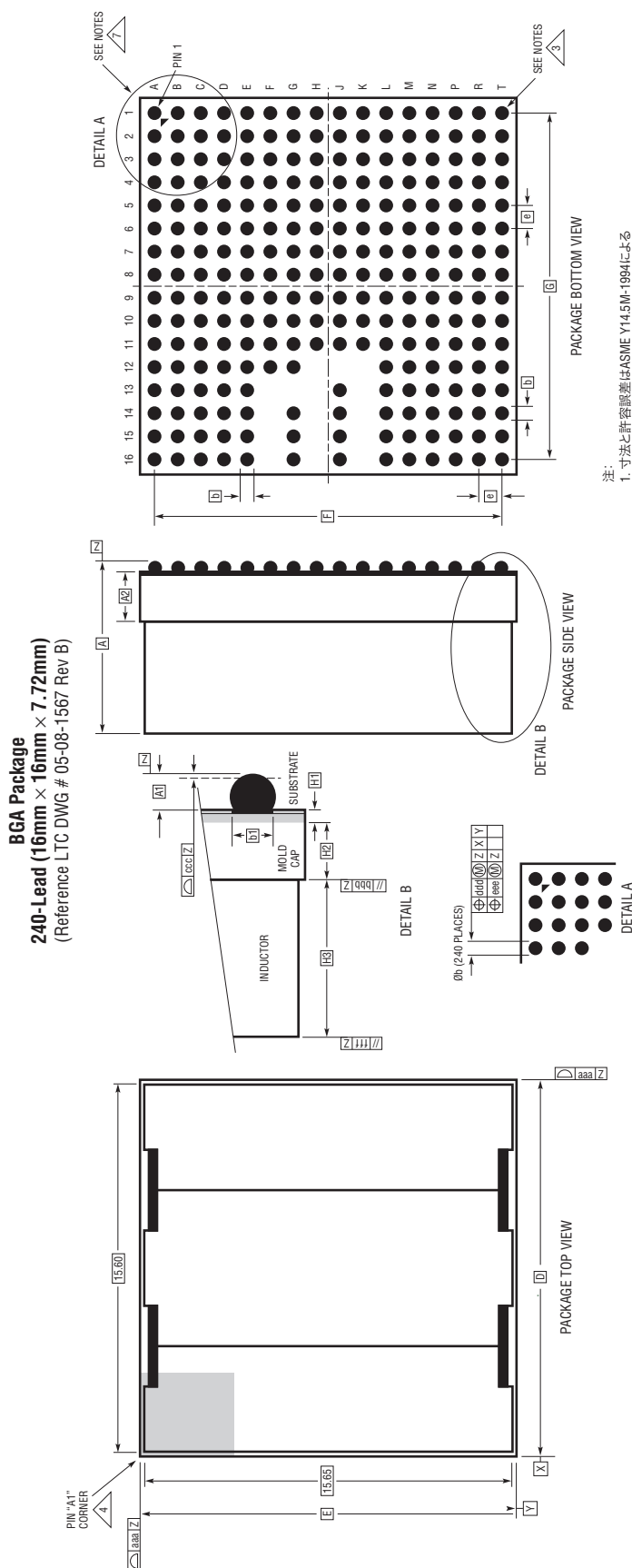


表 22. LTM4664 の BGA ピン配列

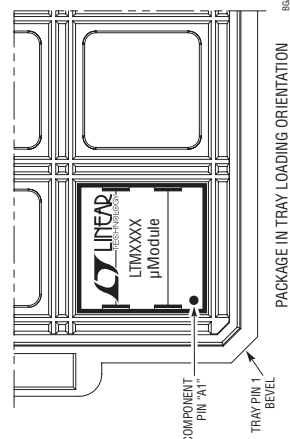
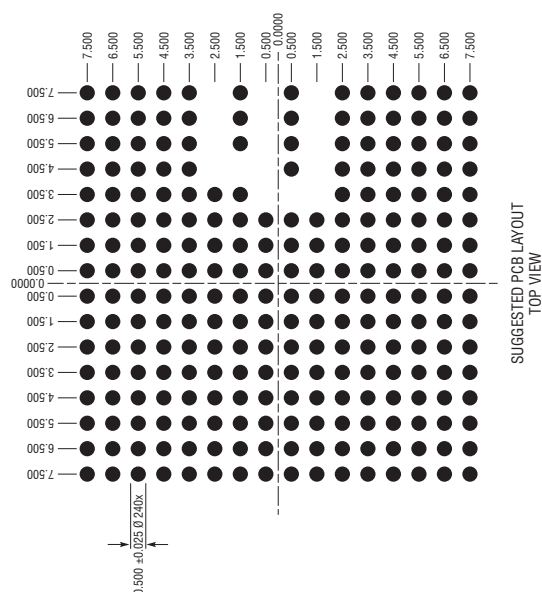
ピンID	機能	ピンID	機能	ピンID	機能	ピンID	機能	ピンID	機能	ピンID	機能	ピンID	機能	ピンID	機能
A1	V _{OUTC1}	B1	GND	C1	V _{INS2}	D1	SW3	E1	GND	F1	GND	G1	SW4	H1	V _{OUT2}
A2	V _{OUTC1}	B2	GND	C2	V _{INS2}	D2	SW3	E2	GND	F2	GND	G2	SW4	H2	V _{OUT2}
A3	V _{OUTC1}	B3	GND	C3	V _{INS2}	D3	SW3	E3	GND	F3	GND	G3	SW4	H3	V _{OUT2}
A4	V _{OUTC1}	B4	V _{OUTC1}	C4	GND	D4	GND	E4	GND	F4	GND	G4	GND	H4	GND
A5	V _{OUTC1}	B5	V _{OUTC1}	C5	GND	D5	V _{INS2F}	E5	HYS_PRGMS2	F5	TIMERS2	G5	FREQS2	H5	PGOODS2
A6	V _{OUTC1}	B6	V _{OUTC1}	C6	GND	D6	INSNS2 ⁻	E6	OV _P _SET	F6	VOUT2_SET	G6	RUNS2	H6	FAULTS2
A7	V _{OUTC1}	B7	V _{OUTC1}	C7	GND	D7	INSNS2 ⁺	E7	OV _P _TRIP	F7	EXTV _{CCS2}	G7	INTV _{CCS2}	H7	UNS2
A8	GND	B8	GND	C8	GND	D8	GND	E8	GND	F8	GND	G8	GND	H8	FSWPH_CFG
A9	GND	B9	GND	C9	GND	D9	GND	E9	GND	F9	GND	G9	GND	H9	GND
A10	V _{OUTC0}	B10	V _{OUTC0}	C10	GND	D10	INTV _{CCS1}	E10	UNS1	F10	GND	G10	GND	H10	GND
A11	V _{OUTC0}	B11	V _{OUTC0}	C11	GND	D11	EXTV _{CCS1}	E11	FAULTST	F11	RUNS1	G11	GND	H11	GND
A12	V _{OUTC0}	B12	V _{OUTC0}	C12	GND	D12	PGOODS1	E12	FREQS1	F12	TIMERS1	G12	HYS_PRGMS1	H12	
A13	V _{OUTC0}	B13	V _{OUTC0}	C13	GND	D13	GND	E13	GND	F13		G13		H13	
A14	V _{OUTC0}	B14	GND	C14	V _{OUT1}	D14	SW2	E14	GND	F14		G14	SW1	H14	
A15	V _{OUTC0}	B15	GND	C15	V _{OUT1}	D15	SW2	E15	GND	F15		G15	SW1	H15	
A16	V _{OUTC0}	B16	GND	C16	V _{OUT1}	D16	SW2	E16	GND	F16		G16	SW1	H16	

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	ピンID	機能	ピンID	機能
J1	GND	K1	GND	L1	V _{INS3_C1}	M1	V _{INS3_C1}	N1	GND	P1	GND	R1	GND	T1	TSNS_C1b
J2	GND	K2	GND	L2	V _{INS3_C1}	M2	V _{INS3_C1}	N2	GND	P2	GND	R2	GND	T2	GND
J3	GND	K3	GND	L3	GND	M3	GND	N3	GND	P3	GND	R3	GND	T3	GND
J4	GND	K4	GND	L4	PWM_C1	M4	GND	N4	GND	P4	GND	R4	GND	T4	SWC1
J5	VTRIMC1_CFG	K5	VTRIMC0_CFG	L5	PHFLT_C1	M5	GND	N5	PGOOD_C1	P5	GL_C1	R5	GND	T5	SWC1
J6	VOUTC0_CFG	K6	V _{DD25}	L6	V _{DD33}	M6	COMP_1a	N6	V _{OSNS_C1}	P6	V _{OSNS_C1}	R6	GND	T6	SWC1
J7	VOUTC1_CFG	K7	WP	L7	SHARE_CLK	M7	COMP_1b	N7	GND	P7	GND	R7	INTV _{CC}	T7	SWC1
J8	ASEL	K8	RUN_C1	L8	SDA	M8	SYNC	N8	SGND_C0_C1	P8	GND	R8	EXTV _{CC}	T8	GND
J9	RUN_C0	K9	FAULT_C1	L9	SCL	M9	SGND_C0_C1	N9	SGND_C0_C1	P9	GND	R9	GND	T9	GND
J10	ALERT	K10	FAULT_C0	L10	TSNS_C0a	M10	TSNS_C1a	N10	COMP_0b	P10	IN ⁺	R10	IN ⁺	T10	SWC0
J11	GND	K11	GND	L11	GND	M11	GND	N11	GND	P11	COMP_0a	R11	PGOOD_C0	T11	SWC0
J12		K12		L12	V _{INS3_C0}	M12	V _{INS3_C0}	N12	GND	P12	V _{OSNS_C0}	R12	V _{OSNS_C0}	T12	SWC0
J13	INSNS1 ⁻	K13		L13	V _{INS3_C0}	M13	V _{INS3_C0}	N13	GND	P13	GND	R13	GND	T13	SWC0
J14	INSNS1 ⁺	K14		L14	GND	M14	GND	N14	GND	P14	GND	R14	GND	T14	GND
J15	V _{INS1}	K15	GND	L15	GND	M15	PWM_C0	N15	GND	P15	GND	R15	GND	T15	GND
J16	V _{INS1}	K16	GND	L16	GND	M16	PHFLT_C0	N16	GND	P16	GL_C0	R16	GND	T16	TSNS_C0b

パッケージ

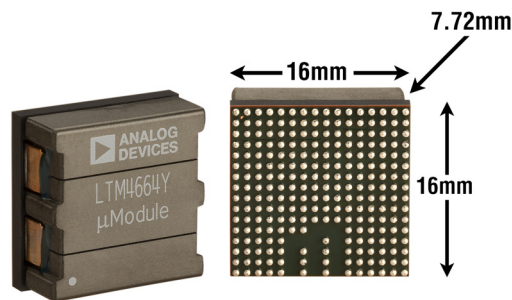


DIMENSIONS				
SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTES
A	7.41	7.72	8.03	
A1	0.45	0.50	0.55	BALL HT
A2	1.73	1.82	1.91	
b	0.50	0.60	0.70	BALL DIMENSION
b1	0.47	0.50	0.53	PAD DIMENSION
D		16.00		
E		16.00		
e		1.00		
F		15.00		
G		15.00		
H1	0.28	0.32	0.36	SUBSTRATE THK
H2	1.45	1.50	1.55	MOLD CAP HT
H3	5.28	5.40	5.52	INDUCTOR HT
aaa			0.15	
bbb			0.10	
ccc			0.20	
ddd			0.25	
eee			0.10	
fff			0.35	
TOTAL NUMBER OF BALLS: 240				



GA 240 0617 REV B

標準的応用例



デザイン・リソース

主題	説明	
μModule の設計 / 製造リソース	設計: - 選択ガイド - デモ・ボードおよびガーバー・ファイル - 無料シミュレーション・ツール	製造: - 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	1. 製品の表をパラメータによって並べ替え、結果をスプレッドシートとしてダウンロードする 2. Quick Power Search パラメトリック・テーブルを使って検索を実行する	
	Quick Power Search INPUT OUTPUT FEATURES $V_{in}(\text{Min})$ V $V_{in}(\text{Max})$ V V_{out} V I_{out} A ☐ Low EMI ☐ Ultrathin ☐ Internal Heat Sink Multiple Outputs Search	
デジタル・パワー・システム・マネージメント	アナログ・デバイス製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、設定と障害ログを格納する EEPROM を搭載しています。	

関連製品

製品番号	説明	注釈
LTM4622	超薄型、デュアル 2.5A 降圧 μModule レギュレータ	$3.6\text{V} \leq V_{IN} \leq 20\text{V}$, $0.6\text{V} \leq V_{OUT} \leq 5.5\text{V}$, $6.25\text{mm} \times 6.25\text{mm} \times 1.82\text{mm}$ LGA、 2.42mm BGA
LTM4622A	高出力電圧、超薄型、デュアル 2.5A 降圧 μModule レギュレータ	$3.6\text{V} \leq V_{IN} \leq 20\text{V}$, $1.5\text{V} \leq V_{OUT} \leq 12\text{V}$, $6.25\text{mm} \times 6.25\text{mm} \times 1.82\text{mm}$ LGA、 2.42mm BGA
LTM4623	超薄型、シングル 3A μModule レギュレータ	$4\text{V} \leq V_{IN} \leq 20\text{V}$, $0.6\text{V} \leq V_{OUT} \leq 5.5\text{V}$, $6.25\text{mm} \times 6.25\text{mm} \times 1.82\text{mm}$ LGA、 2.42mm BGA
LTM4624	シングル 4A μModule レギュレータ	$4\text{V} \leq V_{IN} \leq 14\text{V}$, $0.6\text{V} \leq V_{OUT} \leq 5.5\text{V}$, $6.25\text{mm} \times 6.25\text{mm} \times 5.01\text{mm}$ BGA
LTM4625	シングル 5A μModule レギュレータ	$4\text{V} \leq V_{IN} \leq 20\text{V}$, $0.6\text{V} \leq V_{OUT} \leq 5.5\text{V}$, $6.25\text{mm} \times 6.25\text{mm} \times 5.01\text{mm}$ BGA
LTM4626	シングル 12A μModule レギュレータ	$3.1\text{V} \leq V_{IN} \leq 20\text{V}$, $0.6\text{V} \leq V_{OUT} \leq 5.5\text{V}$, $6.25\text{mm} \times 6.25\text{mm} \times 3.87\text{mm}$ BGA
LTM4638	シングル 15A μModule レギュレータ	$3.1\text{V} \leq V_{IN} \leq 20\text{V}$, $0.6\text{V} \leq V_{OUT} \leq 5.5\text{V}$, $6.25\text{mm} \times 6.25\text{mm} \times 5.02\text{mm}$ BGA
LTM4643	超薄型、クワッド 3A、降圧 μModule レギュレータ、LTM4644 とピン互換	$4\text{V} \leq V_{IN} \leq 20\text{V}$, $0.6\text{V} \leq V_{OUT} \leq 3.3\text{V}$, $9\text{mm} \times 15\text{mm} \times 1.82\text{mm}$ LGA、 2.42mm BGA
LTM4646	デュアル 10A μModule レギュレータ	$4.5\text{V} \leq V_{IN} \leq 20\text{V}$, $0.6\text{V} \leq V_{OUT} \leq 5.5\text{V}$, $11.25\text{mm} \times 15\text{mm} \times 5.01\text{mm}$ BGA
LTC®2977	EEPROM を内蔵したオクタル、デジタル電源マネージャ	I ² C/PMBus インターフェース、設定 EEPROM、障害ログ、総合未調整誤差が $\pm 0.25\%$ の 16 ビット ADC、 $3.3\text{V} \sim 15\text{V}$ で動作
LTC2974	EEPROM を内蔵したクワッド、デジタル電源マネージャ	I ² C/PMBus インターフェース、設定 EEPROM、障害ログ、電圧、電流、温度のチャンネルごとの測定