

この製品のデータシートに間違いがありましたので、お詫びして訂正いたします。  
この正誤表は、2022 年 2 月 24 日現在、アナログ・デバイセズ株式会社で確認した誤りを記したものです。  
なお、英語のデータシート改版時に、これらの誤りが訂正される場合があります。

正誤表作成年月日： 2022 年 2 月 24 日

製品名： **LTM4664A**

対象となるデータシートのリビジョン(Rev)： Rev.0

訂正箇所： 7 ページ、電気定特性の表、**VOUT2 Output Load** の欄、**Parameter** の項目

**【誤】**

VOUT1 Max Load Current

**【正】**

VOUT2 Max Load Current

この製品のデータシートに間違いがありましたので、お詫びして訂正いたします。  
この正誤表は、2022 年 2 月 24 日現在、アナログ・デバイセズ株式会社で確認した誤りを記したものです。  
なお、英語のデータシート改版時に、これらの誤りが訂正される場合があります。

正誤表作成年月日： 2022 年 2 月 24 日

製品名： **LTM4664A**

対象となるデータシートのリビジョン(Rev)： Rev.0

訂正箇所： 8 ページの表、**Output Specification** の項目、2 項目 (**Line Regulation** の説明)  
**Condition** の欄

**【誤】**

Digital Servo Engaged (MFR\_PWM\_MODEn[6] = 0b)

**【正】**

Digital Servo Engaged (MFR\_PWM\_MODEn[6] = 1b)

この製品のデータシートに間違いがありましたので、お詫びして訂正いたします。  
この正誤表は、2022 年 2 月 24 日現在、アナログ・デバイセス株式会社で確認した誤りを記したものです。  
なお、英語のデータシート改版時に、これらの誤りが訂正される場合があります。

正誤表作成年月日： 2022 年 2 月 24 日

製品名： **LTM4664A**

対象となるデータシートのリビジョン(Rev)： Rev.0

訂正箇所： 10 ページの表、Channels 0 and 1 Output Current (READ\_IOUTn)の項、NIO-RB の説明、Condition の欄内

**【誤】**

Using the OUT\_OC\_FAULT\_LIMIT of 34A

**【正】**

Using the IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT of 34A

この製品のデータシートに間違いがありましたので、お詫びして訂正いたします。  
この正誤表は、2022 年 2 月 24 日現在、アナログ・デバイセズ株式会社で確認した誤りを記したものです。  
なお、英語のデータシート改版時に、これらの誤りが訂正される場合があります。

正誤表作成年月日： 2022 年 2 月 24 日

製品名： **LTM4664A**

対象となるデータシートのリビジョン(Rev)： Rev.0

訂正箇所： 20 ページの表、右の段、「NIO-RB」の説明内 3 行目

**【誤】**

・・・VIN2 から電源が供給される内部 LDO をバイパスして、・・・

**【正】**

・・・VINS2 から電源が供給される内部 LDO をバイパスして、・・・



この製品のデータシートに間違いがありましたので、お詫びして訂正いたします。  
この正誤表は、2022 年 2 月 24 日現在、アナログ・デバイセズ株式会社で確認した誤りを記したものです。  
なお、英語のデータシート改版時に、これらの誤りが訂正される場合があります。

正誤表作成年月日： 2022 年 2 月 24 日

製品名： **LTM4664A**

対象となるデータシートのリビジョン(Rev)： Rev.0

訂正箇所： 93 ページの表、上から 9 行目（箇条書きの 3 項目）

**【誤】**

・ ・ STATUS\_MFR\_SPEFIFIC のビット#1 ・ ・

**【正】**

・ ・ STATUS\_MFR\_SPECIFIC のビット#1 ・ ・

# デジタル・パワー・システム・マネージメント機能を備えた 30V～58V 入力、デュアル30A、シングル60AのμModuleレギュレータ

## 特長

- フル機能 48V 入力の低電圧デュアル30A 電源で 300A までスケール・アップ可能、非絶縁型
- 補償、制御、モニタリング用のデジタル・インターフェースを備えたデュアル・アナログ・ループ
- 入力電圧範囲: 30V～58V
- 出力電圧範囲: 0.5V～1.2V (チャンネルあたり 30A)
- 出力電流リードバック精度:  $\pm 3\%$  ( $-20^{\circ}\text{C}$ ～ $125^{\circ}\text{C}$ )
- 48V 入力 1V 出力時の効率: 87% (60A)、90% (40A)
- 全温度範囲での出力電圧精度:  $\pm 0.5\%$
- 400kHz、PMBus 準拠の I<sup>2</sup>C シリアル・インターフェース
- 16mm × 16mm × 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

🔗 クリックして関連する TechClip ビデオを見る。

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り保護されています。米国特許 7000125、および世界のその他の関連特許に基づいてライセンスされています。

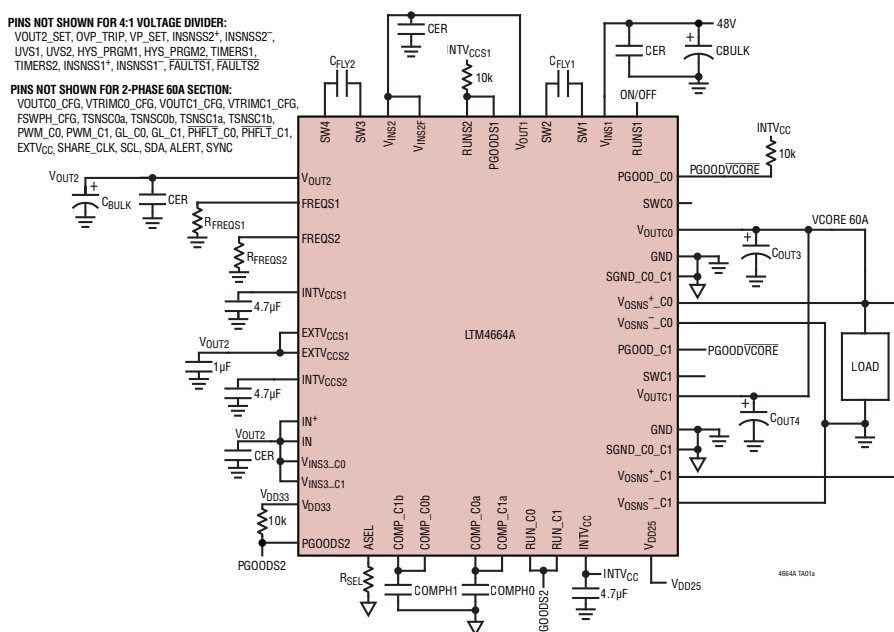
## 概要

LTM<sup>®</sup>4664A は、デュアル30A 出力のフル機能非絶縁型 48V 入力高効率降圧 μModule<sup>®</sup> レギュレータです。スイッチング・コントローラ、パワー MOSFET、インダクタ、およびサポート部品が含まれています。設計を完了するのに必要なのは外付けコンデンサのみです。LTM4664A は、30V～58V の入力電圧範囲で動作し、最大 75W で 0.5V～1.5V の出力電圧に対応します。25%・V<sub>IN</sub> での中間出力も使用可能です。LTM4664A の製品ビデオは、Web サイトで視聴できます。📺

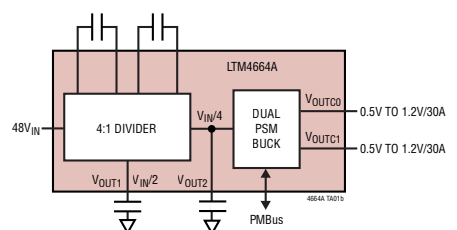
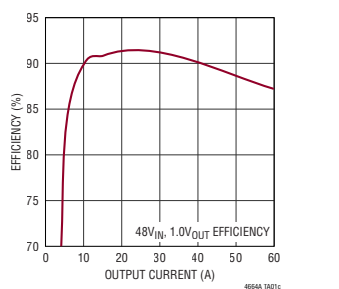
LTM4664A デュアル30A レギュレータは、デジタル的にプログラム可能なアナログ制御ループ、高精度データ・アキュジション回路、ECC 機能付き EEPROM を使用します。LTM4664A は 2 線式シリアル・インターフェースを備えており、30A 出力のマーゼニング、チューニング、ランプ・アップおよびランプ・ダウンを行うことができます。ランピングのスルー・レートはプログラム可能で、遅延時間のシーケンシングも可能です。差動入力の+側電流検出、出力電流および電圧、入出力電力、温度、動作時間、ピーク値はすべて、デュアル30A パワー・システム・マネージメント (PSM) チャンネルで読み出すことができます。

## 標準的応用例

48V 入力 V<sub>CORE</sub> 電圧出力 (60A)



48V 入力 1V 出力 (60A まで)



## 目次

特長	1	INTV <sub>CC</sub> /EXTV <sub>CC</sub> 電源	40
アプリケーション	1	出力電流検出と 1M $\Omega$ 未満の DCR による電流検出	41
標準的応用例	1	入力電流の検出	41
概要	1	PolyPhase 負荷分担	41
絶対最大定格	4	外部/内部温度の検出	42
ピン配置	4	RCONFIG (抵抗設定) ピン	42
発注情報	5	フォルトの検出と処理	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 ピンへのフォルトのマッピング	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/30A パワー・システム・マネージメントの ブロック図	26	CRC 保護	48
4:1 分圧器動作	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
メイン制御	27	デバイスのアドレス指定	48
INTV <sub>CCS1,2</sub> /EXTV <sub>CCS1,2</sub> の電力	27	V <sub>OUT</sub> および I <sub>IN</sub> /I <sub>OUT</sub> のフォルトに対する応答	49
起動およびシャットダウン	28	出力過電圧フォルト応答	49
フォルト保護とサーマル・シャットダウン	28	出力低電圧応答	50
ハイ・サイド電流検出	28	ピーク出力過電流フォルト応答	50
周波数の選択	28	タイミング・フォルトに対する応答	50
パワー・グッドおよび UV (PGOODSn ピンおよび UVSn ピン)	29	V <sub>IN</sub> OV フォルトに対する応答	50
追加過電圧保護	29	OT/UT フォルトに対する応答	50
4:1 分圧器のアプリケーション情報	30	内部過熱フォルト応答	50
スイッチング前の分圧器プリバランス	30	外部過熱フォルト応答および低温フォルト応答	51
過電流保護	31	入力過電流フォルトおよび出力低電流フォルトに 対する応答	51
ウィンドウ・コンパレータのプログラミング	31	外部フォルトに対する応答	51
有効オープン・ループ出力抵抗と 負荷レギュレーション	32	フォルト・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
フォルト応答とタイミングのプログラミング	32	PMBus、SMBus、I <sup>2</sup> C 2 線式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/30A PSM の動作	35	図 11～図 28: PMBus のプロトコル	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 機能付き EEPROM	36	PMBus コマンド	57
パワーアップと初期化	37	デュアル 25A/30A PSM のアプリケーション情報	63
ソフトスタート	38	V <sub>IN</sub> から V <sub>OUT</sub> への降圧比	63
時間基準のシーケンシング	38	入力コンデンサ	63
電圧基準のシーケンシング	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	出力電流リミットのプログラミング	65
PWM ループ補償	40		
出力電圧の検出	40		

## 目次

最小オン時間に関する考慮事項 .....	66	PWMの構成 .....	95
可変遅延時間、ソフトスタート、出力電圧ランプ .....	66	電圧 .....	98
デジタル・サーボ・モード .....	66	入力電圧とリミット .....	98
ソフトオフ(シーケンシングによるオフ) .....	67	出力電圧とリミット .....	99
低電圧ロックアウト .....	68	出力電流とリミット .....	102
フォルトの検出と処理 .....	68	入力電流とリミット .....	104
オープンドレイン・ピン .....	68	温度 .....	105
フェーズ・ロック・ループと周波数同期 .....	69	外部温度キャリブレーション .....	105
入力電流検出アンプ .....	70	タイミング .....	106
プログラマブル・ループ補償 .....	70	タイミング - オン・シーケンス/ランプ .....	106
過渡応答のチェック .....	71	タイミング - オフ・シーケンス/ランプ .....	107
PolyPhase® 構成 .....	72	再起動の前提条件 .....	108
USB-I <sup>2</sup> C/SMBUS/PMBus コントローラとシステム内の		フォルト応答 .....	108
LTM4664A の接続 .....	72	すべてのフォルトに対するフォルト応答 .....	108
LTpowerPlay: デジタル電源用のインタラクティブ GUI ...	73	入力電圧フォルト応答 .....	109
PMBus 通信とコマンド処理 .....	73	出力電圧フォルト応答 .....	109
熱に関する考慮事項と出力電流のディレーティング ..	75	出力電流フォルト応答 .....	112
表 10 および表 11: 出力電流のディレーティング		デバイス温度フォルト応答 .....	113
(デモ・ボードに基づく) .....	78	外部温度フォルト応答 .....	114
<b>デュアル 25A/30A PSM のアプリケーション情報 -</b>		フォルトの共有 .....	115
<b>ディレーティング曲線 .....</b>	<b>81</b>	フォルト共有の伝搬 .....	115
EMI 性能 .....	82	フォルト共有の応答 .....	117
安全性に関する考慮事項 .....	82	スクラッチパッド .....	117
レイアウトのチェックリスト/例 .....	83	識別情報 .....	118
<b>標準的応用例 .....</b>	<b>84</b>	フォルト、警告、およびステータス .....	119
<b>PMBus コマンドの詳細 .....</b>	<b>90</b>	遠隔測定 .....	126
アドレス指定と書き込み保護 .....	90	NVM メモリ・コマンド .....	130
汎用設定コマンド .....	92	格納/復元 .....	130
オン/オフ/マージン .....	93	フォルト・ログ .....	131
		ブロック・メモリの書き込み/読出し .....	135
		<b>パッケージの説明 .....</b>	<b>136</b>
		<b>標準的応用例 .....</b>	<b>138</b>
		<b>関連製品 .....</b>	<b>138</b>

## 絶対最大定格

(Note 1)

### 4:1分圧器

$V_{INS1}$ , SW1, SW2,  $INSNSS1^+$ ,  $INSNSS1^-$ ,  
 $FAULTS1$ ,  $FAULTS2$  ..... -0.3V~6V  
 $V_{INS2}$ ,  $V_{INS2F}$ ,  $INSNSS2^+$ ,  $INSNSS2^-$ , PGOODS1,  
 PGOODS2,  $EXTV_{CCS1}$ ,  $EXTV_{CCS2}$ , 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, 6V 定格  
 RUNS1, RUNS2 ..... -0.3V~6V  
 UVS1, UVS2, HYS\_PRGMS1, HYS\_PRGMS2,  
 TIMERS1, TIMERS2, FREQS1,  
 FREQS2 ..... -0.3V~ $INTV_{CCS1}$ , -0.3V~ $INTV_{CCS2}$

### デュアル25A/30A 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, -5V~18V のトランジエント

$EXTV_{CC}$  ..... -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,  $V_{OUTCn\_CFG}$ ,  $V_{TRIMCn\_CFG}$ , ASEL,  
 COMP\_1a, COMP\_1b, COMP\_0a, COMP\_0b ..... -0.3V~2.75V  
 $FAULT\_Cn$ , SYNC, SHARE\_CLK, WP, PGOOD\_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  $I_{MAX}$  シンク ..... <5mA  
 $INTV_{CC}$   $V_{DD33}$ ,  $V_{DD25}$ ,  $GL\_Cn$  は出力です。

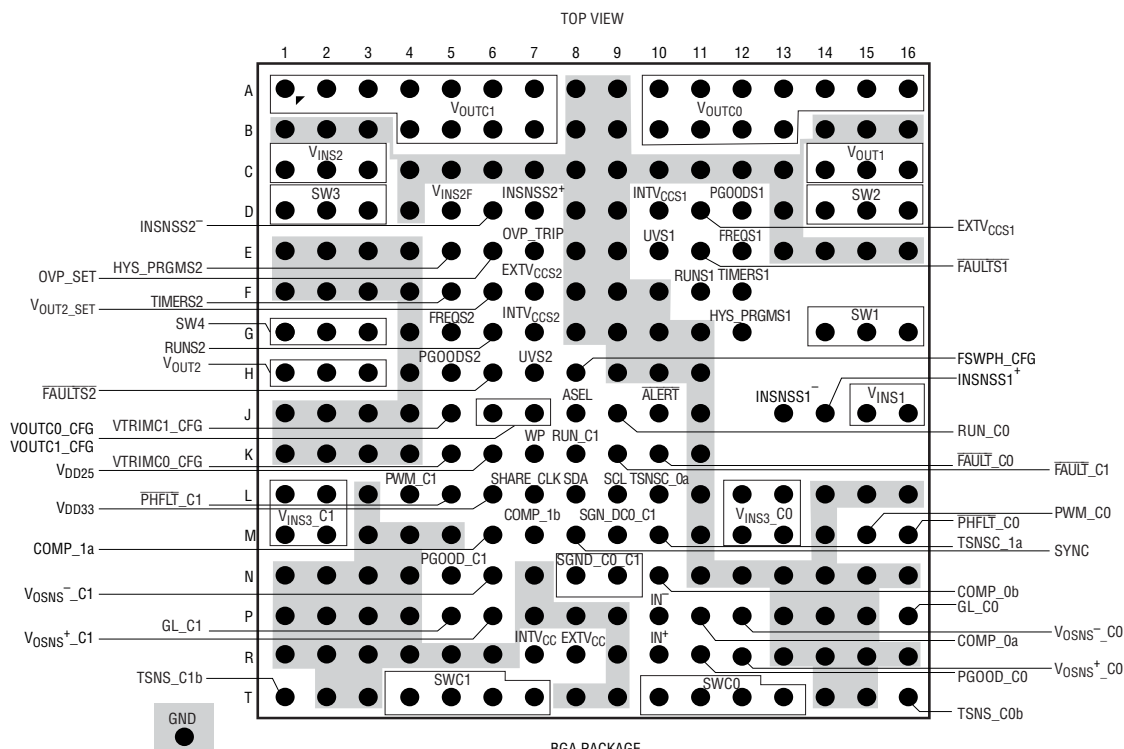
内部動作温度

範囲 (Note 2, 14, 15) ..... -40°C~125°C

保管温度範囲 ..... -55°C~125°C

ピーク・ハンダ・リフロー (パッケージ・ボディ) 温度 .... 245°C

## ピン配置



BGA PACKAGE  
 240-PIN (16mm × 16mm × 7.72mm)  
 $T_{JMAX} = 125^\circ\text{C}$ ,  $\theta_{JC(TOP)} = 5.47^\circ\text{C/W}$ ,  $\theta_{JC(BOTTOM)} = 2.15^\circ\text{C/W}$ ,  $\theta_{JA} = 5.3^\circ\text{C/W}$   
 $\theta_{JC}$  VALUES ARE DETERMINED BY SIMULATION PER JEDEC51 CONDITIONS.  
 $\theta_{JA}$  VALUE IS OBTAINED FROM MEASUREMENTS WITH DEMO BOARD. WEIGHT = 7.26 GRAMS.  
 REFER TO PAGE 78 FOR LAB MEASUREMENT AND DERATING INFORMATION.  
 NOTE: NOT RECOMMENDED FOR BACK-SIDE REFLOW SOLDERING. SEE WEBSITE FOR MORE INFORMATION.

## 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 レーティング	温度範囲 (Note 2)
		デバイス	仕上げコード			
LTM4664AIY#PBF	SAC305 (RoHS)	LTM4664AY	e1	BGA	3	-40°C~125°C

- より幅広い動作温度範囲が仕様規定された部品については製造元までお問い合わせください。  
\*パッドまたはボール仕上げのコードはIPC/JEDEC J-STD-609によります。

- 推奨されるBGA PCBのアセンブリおよび製造手順
- BGAのパッケージ図面とトレイ図面

## 電気的特性

●は、内部動作ジャンクション温度範囲にわたって適用される仕様であることを示します。特に指定のない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{INS}1} = 48\text{V}$ 、 $\text{RUN}n = 5\text{V}$  ( $n$ はステージ番号)。セットアップについては図46を参照してください。(Note 3)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>4:1 Divider Section</b>						
$V_{\text{INS}1}$	Input DC Voltage Stage 1	Note 4	30	58		V
$V_{\text{INS}2}$	Input DC Voltage Stage 2	Note 4	15	29		V
$V_{\text{OUT}1}$ Range	$V_{\text{OUT}1}$ Output Range	Note 4	15	29		V
$V_{\text{OUT}2}$ Range	$V_{\text{OUT}2}$ Output Range	Note 4	7.5V	14.5		V
Maximum Power	Maximum Output Power	All Conditions, Note 4		75		W
$V_{\text{OUT}1(\text{DC})}$	$V_{\text{OUT}1}$ OUTPUT	Note 4, Based on Figure 49 $V_{\text{INS}1} = 48\text{V}$ , $\text{RUN} = 5\text{V}$ , $I_{V_{\text{OUT}1}} = 0\text{A}$	● 23.5	24	24.5	V
$V_{\text{OUT}2(\text{DC})}$	$V_{\text{OUT}2}$ OUTPUT	Note 4, Based on Figure 49 $V_{\text{INS}2} = 24\text{V}$ , $\text{RUN} = 5\text{V}$ , $I_{V_{\text{OUT}2}} = 0\text{A}$	● 11.5	12	12.5	V
$V_{\text{UVLO}}$	Undervoltage Lockout	$\text{INTV}_{\text{CC}}$ Falling $\text{INTV}_{\text{CC}}$ Rising		4.85 5.05		V V
$I_Q V_{\text{INS}n}$	$V_{\text{INS}1}$ , $V_{\text{INS}2}$ Quiescent Current Each Stage	$\text{RUN}n = 0\text{V}$ $\text{RUN}n = 5\text{V}$ , No Switching $\text{RUN}n = 5\text{V}$ , Switching		150 1.6 44		$\mu\text{A}$ mA mA
<b>Overcurrent Protection Section</b>						
$\text{INSNSS}1^+$	Stage 1 Current Sense <sup>+</sup>	$\text{INSNSS}1^+ = \text{INSNSS}1^- = 60\text{V}$ $V_{\text{OUT}1} = 30\text{V}$ , $\text{RUNS}1 = 5\text{V}$		220	350	$\mu\text{A}$
$\text{INSNSS}2^+$	Stage 2 Current Sense <sup>+</sup>	$\text{INSNSS}2^+ = \text{INSNSS}2^- = 30\text{V}$ $V_{\text{OUT}2} = 15\text{V}$ , $\text{RUNS}2 = 5\text{V}$		220	350	$\mu\text{A}$
$\text{INSNSS}1^-$	Stage 1 Current Sense <sup>-</sup>	$\text{INSNSS}1^+ = \text{INSNSS}1^- = 60\text{V}$ , $\text{RUNS}1 = 0\text{V}$	● -5	1	5	$\mu\text{A}$
$\text{INSNSS}2^-$	Stage 2 Current Sense <sup>-</sup>	$\text{INSNSS}2^+ = \text{INSNSS}2^- = 30\text{V}$ , $\text{RUNS}2 = 0\text{V}$	● -5	1	5	$\mu\text{A}$
$\text{INSNSS}1$ , $\text{INSNSS}2$ Threshold	Current Limit Threshold for Each Stage		● 45	50	55	mV
<b>Pre Charge Balance</b>						
$R_{V_{\text{INS}2F}}$	$V_{\text{INS}2}$ Resistance to GND	See Block Diagram (Note 10)		1		M $\Omega$
$R_{V_F2}$	Resistance Between Pins $V_{\text{INS}2}$ to $V_{\text{INS}2F}$	See Block Diagram Part of a RC Filter Stage 2		1		k $\Omega$
$\text{INSNSS}1^+$ Balance Current	Stage 1 Current Sense + Source	Pre-Balance Phase $V_{\text{INS}1} = 60\text{V}$ $\text{INSNSS}1^+ = \text{INSNSS}1^- = 60\text{V}$ , $V_{\text{OUT}1} = 15\text{V}$ , Timer = 1V		95		mA
$\text{INSNSS}2^+$ Balance Current	Stage 2 Current Sense + Source	Pre-Balance Phase $V_{\text{INS}2} = 30\text{V}$ $\text{INSNSS}2^+ = \text{INSNSS}2^- = 30\text{V}$ , $V_{\text{OUT}2} = 10\text{V}$ , Timer = 1V		95		mA
$I_{\text{SOURCE } V_{\text{OUT}n}}$	$I_{\text{SOURCE}}$ Current to Pre-Start Up Balance $V_{\text{OUT}n}$ and $C_{\text{FLY}n}$ , $n = \text{Stage \#}$	$\text{INSNSS}n = V_{\text{INS}n} = 24\text{V}$ $V_{\text{OUT}n} = 10\text{V}$ , Timer = 0.8V See Block Diagram		95		mA

## 電気的特性

●は、内部動作ジャンクション温度範囲にわたって適用される仕様であることを示します。特に指定のない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{INS}1} = 48\text{V}$ 、 $\text{RUN}n = 5\text{V}$  ( $n$ はステージ番号)。セットアップについては図46を参照してください。(Note 3)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$I_{\text{SINK}} V_{\text{OUT}n}$	$I_{\text{SINK}}$ Current to Pre-Start Up Balance $V_{\text{OUT}n}$ and $C_{\text{FLY}n}$ , $n = \text{Stage \#}$	$\text{INSNSS}n = V_{\text{INS}n} = 24\text{V}$ $V_{\text{OUT}n} = 11\text{V}$ , Timer = 0.8V See Block Diagram		50		mA
<b>RUNn Pins</b>						
$V_{\text{TH\_RUN}n}$	Run PIN Threshold $n = \text{Stage \#}$	$V_{\text{RUN}}$ Rising	●	1.1	1.22	1.4 V
$V_{\text{RUN}n} \text{ HYS}$	Run Pin Hysteresis $n = \text{Stage \#}$			90		mV
<b>OVP Comparator</b>						
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 25V		30		mA
$V_{\text{OS}}$	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		$\mu\text{s}$
OVP_Trip Sink	OVP_Trip Sink	$I_{\text{SINK}} = 5\text{mA}$ (Note 10)		0.35		V
<b>INTV<sub>CC</sub> Regulators</b>						
$V_{\text{INTVCCS}n}$	Internal (LDO) Low Drop Out Regulator, $n = \text{Stage \#}$	$30\text{V} < V_{\text{INS}1} < 58\text{V}$ , $V_{\text{EXTVCCS}1} = 0\text{V}$ , Stage 1 $15\text{V} < V_{\text{INS}2} < 19\text{V}$ , $V_{\text{EXTVCCS}2} = 0\text{V}$ , Stage 2		5.4	5.6	5.9 V
$V_{\text{INTVCCS}n} \text{ Load}$	LDO Load Regulation	$I_{\text{CC}} = 50\text{mA}$ , $V_{\text{EXTVCCS}n} = 0\text{V}$		0.5	2	%
$\text{INTVCCS}n \text{ I}_{\text{Peak}}$	INTV <sub>CC</sub> Stage Peak Output Current			150		mA
$V_{\text{INTVCCS}n} \text{ with EXT}_{\text{VCC}}$	LDO Output Range with EXT <sub>VCC</sub> , $n = \text{Stage \#}$	$12\text{V} < V_{\text{EXTVCC}n} < 24\text{V}$ , $V_{\text{INS}n} = 12\text{V}$		5.4	5.6	5.9 V
$V_{\text{INTVCCS}n} \text{ Load EXT}$	LDO Load Regulation with EXT <sub>VCC</sub>	$I_{\text{CC}} = 50\text{mA}$ , $V_{\text{EXTVCC}n} = 6.5\text{V}$		1	2	%
$V_{\text{EXTVCC}n} \text{ Threshold}$	EXT <sub>VCC</sub> Switch Over	$V_{\text{EXTVCC}n}$ Ramping Positive		6.3	6.5	6.65 V
$V_{\text{EXTVCC}n} \text{ HYS}$	EXT <sub>VCC</sub> Hysteresis			400		mV
<b>Switching Oscillator</b>						
Frequency Range $n$	Frequency Range	$n = \text{Stage \#}$		100	1000	kHz
$f_{\text{NOM}}$ Stage 1	Optimized Efficiency Freq. Stage 1	FREQS1. Pin Resistor = 36.5k		100		kHz
$f_{\text{NOM}}$ Stage 2	Optimized Efficiency Freq. Stage 2	FREQS2. Pin Resistor = 60.4k		200		kHz
<b>Output Specifications</b>						
$\Delta V_{\text{OUT}}/V_{\text{OUT}}$ 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 $\Omega$



## 電気的特性

●は、内部動作ジャンクション温度範囲にわたって適用される仕様であることを示します。特に指定のない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{INS}1} = 48\text{V}$ 、 $\text{RUN}n = 5\text{V}$  ( $n$ はステージ番号)。セットアップについては図46を参照してください。(Note 3)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$\Delta V_{\text{OUT}}/V_{\text{OUT}}$ Stage 2	Stage 2 Load Regulation Accuracy	$V_{\text{OUT}2} = 12\text{V}$ , 0A to 6.3A Maximum = 75W $V_{\text{INS}2} = 24\text{V}$ , $\text{FREQS}2 = 200\text{kHz}$ $C_{\text{IN}2} = 33\mu\text{F}$ (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	$V_{\text{OUT}1}$ Max Load Current (Note 4)	$V_{\text{OUT}2} = 12\text{V}$ , 0A to 6.3A Maximum = 75W $V_{\text{INS}2} = 24\text{V}$ , $\text{FREQS}2 = 200\text{kHz}$ $C_{\text{IN}2} = 33\mu\text{F}$ (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
M5-M8 RDS-ON	Stage 2 MOSFET On Resistance	$V_{\text{GS}} = 5\text{V}$ (Note 16)		10		m $\Omega$
$V_{\text{OUT}1}$ , (AC)	Output Ripple Voltage	$V_{\text{OUT}1} = 24\text{V}$ , 0A to 3A $V_{\text{INS}1} = 48\text{V}$ , $\text{FREQS}1 = 100\text{kHz}$ $C_{\text{IN}1} = 33\mu\text{F}$ (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		mV <sub>pk-pk</sub>
$V_{\text{OUT}2}$ , (AC)	Output Ripple Voltage	$V_{\text{OUT}2} = 12\text{V}$ , 0A to 6A $V_{\text{INS}2} = 12\text{V}$ , $\text{FREQS}2 = 200\text{kHz}$ $C_{\text{IN}2} = 33\mu\text{F}$ (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		mV <sub>pk-pk</sub>
$t_{\text{START}}$ Stage 1	Turn-on Time From RUN 1	$V_{\text{OUT}1} = 0\text{V}$ at Start Up to 24V, 0A, $V_{\text{INS}1} = 48\text{V}$ , $\text{FREQS}1 = 100\text{kHz}$ $C_{\text{IN}1} = 33\mu\text{F}$ (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
$t_{\text{START}}$ Stage 2	Turn-on Time Stage 2 From RUN 2	$V_{\text{OUT}2} = 0\text{V}$ at Start Up to 12V, 0A, $V_{\text{INS}2} = 24\text{V}$ , $\text{FREQS}2 = 200\text{kHz}$ $C_{\text{IN}2} = 33\mu\text{F}$ (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 and FAULTSn

$V_{\text{FAULTSn}}$	FAULT Voltage Low	$I_{\text{FAULT}} = 2\text{mA}$		0.2	0.5	V
$I_{\text{FAULT\_LEAKSn}}$	FAULT Leakage Current	$V_{\text{FAULT}} = 5\text{V}$			$\pm 1$	$\mu\text{A}$
$I_{\text{HYS\_PRGMSn}}$	HYS_PRGM Setting Current		●	9	10	11 $\mu\text{A}$
$V_{\text{FAULTSn}}$	$V_{\text{OUTSn}}$ Fault Trip Level	$V_{\text{INSn}} = 24\text{V}$ , $V_{\text{OUTn}}$ , HYS_PRGMSn = 0V, $V_{\text{OUTSn}}$ Ramp Up $V_{\text{OUTSn}}$ Ramp Down	● ●	12.2 11.6	12.3 11.7	12.45 11.8 V
$V_{\text{FAULTSn}}$	$V_{\text{OUTSn}}$ Fault Trip Level	$V_{\text{INSn}} = 24\text{V}$ , $V_{\text{OUTn}}$ , HYS_PRGMSn = 5V, $V_{\text{OUTSn}}$ Ramp Up $V_{\text{OUTSn}}$ Ramp Down	● ●	12.7 11.1	12.8 11.2	12.9 11.4 V
$V_{\text{FAULTSn}}$	$V_{\text{OUTSn}}$ Fault Trip Level	$V_{\text{INSn}} = 24\text{V}$ , $V_{\text{OUTn}}$ , HYS_PRGMSn = 2.4V, $V_{\text{OUTSn}}$ Ramp Up $V_{\text{OUTSn}}$ Ramp Down	● ●	14.15 9.5	14.3 9.65	14.45 9.8 V

## UV\_COMPARATORn and PGOODn

$V_{\text{UVTHSSn}}$	Undervoltage Threshold	UV Pin Voltage Rising		0.99	1.01	1.03 V
$V_{\text{HYS\_PRGMSn}}$	Undervoltage Hysteresis			120		mV
$V_{\text{PGOODSn}}$	PGOOD Voltage Low	$I_{\text{PGOOD}} = 2\text{mA}$		0.35	0.5	V
$I_{\text{PGOODSn\_LEAK}}$	PGOOD Leakage Current	$V_{\text{PGOOD}} = 5\text{V}$			$\pm 1$	$\mu\text{A}$

## TimerSn

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



## 電氣的特性

●は、仕様規定された内部動作温度範囲に適用される仕様を示します (Note 1, 2, 3)。仕様値は $n$ で指定された各出力チャンネルに対するものです (Note 3)。特に指定のない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{INS}3} = 12\text{V}$ 、 $\text{RUN\_Cn} = 3.3\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{\text{CC}} = 0\text{V}$ 、 $\text{FREQUENCY\_SWITCH} = 350\text{kHz}$ で、 $V_{\text{OUTCn}}$ は  $1.000\text{V}$  に指定。特に指定のない限りデフォルトの EEPROM 設定値を使用して設定。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
DUAL 25A/30A PSM OUTPUT							
V <sub>INS3</sub>	Input DC Voltage Operating		●	7		16	V
V <sub>OUTC<sub>n</sub></sub>	Range of Output Voltage Regulation	V <sub>OUTC<sub>n</sub></sub> Diff Sensed on V <sub>OSNS<sup>+</sup><sub>C<sub>n</sub></sub></sub> /V <sub>OSNS<sup>-</sup><sub>C<sub>n</sub></sub></sub> -Pin-Pair; Commanded by Serial Bus or with Resistors Present at Start-Up on V <sub>OUTC<sub>n</sub></sub> _CFG, Differential Remote Sense Path Voltage (Notes 4, 6)	●	0.5		1.5	V
V <sub>OUTC<sub>n</sub></sub> (DC)	Output Voltage, Total Variation with Line and Load	Digital Servo Engaged (MFR_PWM_MODE <sub>n</sub> [6] = 1b) Digital Servo Disengaged (MFR_PWM_MODE <sub>n</sub> [6] = 0b) V <sub>OUTC<sub>n</sub></sub> _CFG Commanded to 1.000V, V <sub>OUTC<sub>n</sub></sub> Low Range (MFR_PWM_MODE <sub>n</sub> [1] = 1b) (Note 6)	● ●	0.995 0.985	1.000 1.000	1.005 1.015	V V
V <sub>INS3</sub> UVLO	Undervoltage Lockout Threshold	V <sub>INTV<sub>CC</sub></sub> Falling V <sub>INTV<sub>CC</sub></sub> Rising			3.55 3.9		V V
I <sub>INRUSH</sub> (V <sub>INS3</sub> )	Input Inrush Current at Start-Up	V <sub>OUTC<sub>n</sub></sub> = 1V, V <sub>INS3</sub> = 12V; No Load Besides Capacitors; TON_RISE <sub>n</sub> = 3ms			400		mA
I <sub>S</sub> (V <sub>INS3</sub> ,DCM)	Input Supply Current in Discontinuous Mode Operation	Discontinuous Mode, MFR_PWM_MODE <sub>n</sub> [0] = 0b, I <sub>OUTC<sub>n</sub></sub> = 100mA			60		mA
I <sub>S</sub> (V <sub>INS3</sub> ,FCM)	Input Supply Current in Forced-Continuous Mode Operation	Forced Continuous Mode, MFR_PWM_MODE <sub>n</sub> [0] = 1b I <sub>OUT<sub>n</sub></sub> = 100mA I <sub>OUT<sub>n</sub></sub> = 30A V <sub>INS3</sub> = 12V, V <sub>OUT<sub>n</sub></sub> = 1V			80 3.0		mA A
I <sub>S</sub> (V <sub>INS3</sub> ,SHUTDOWN)	Input Supply Current in Shutdown	Shutdown, RUN_C <sub>n</sub> = 0V			25		mA
Output Specifications							
I <sub>OUTC<sub>n</sub></sub>	Output Continuous Current Range	Utilizing MFR_PWM_MODE[7] = 0 , and Using ~I <sub>OUT</sub> = 34A , Page8, (Note 4)		0		30	A
$\frac{\Delta V_{OUTn(LINE)}}{V_{OUTn}}$	Line Regulation Accuracy	Digital Servo Engaged (MFR_PWM_MODE <sub>n</sub> [6] = 0b) Digital Servo Disengaged (MFR_PWM_MODE <sub>n</sub> [6] = 0b) Open Circuit; I <sub>OUTC<sub>n</sub></sub> = 0A, 7V ≤ V <sub>IN</sub> ≤ 16V, V <sub>OUT</sub> Low Range (MFR_PWM_MODE <sub>n</sub> [1] = 1b), FREQUENCY_SWITCH = 350kHz (Note 6)			0.03 0.03	±0.2	%/V %/V
$\frac{\Delta V_{OUTn(LOAD)}}{V_{OUTn}}$	Load Regulation Accuracy	Digital Servo Engaged (MFR_PWM_MODE <sub>n</sub> [6] = 1b) Digital Servo Disengaged (MFR_PWM_MODE <sub>n</sub> [6] = 0b) 0A ≤ I <sub>OUT<sub>n</sub></sub> ≤ 30A, V <sub>OUT</sub> Low Range, (MFR_PWM_MODE <sub>n</sub> [1] = 1b) (Note 6)	●		0.03 0.2	0.5	% %
V <sub>OUT<sub>n</sub></sub> (AC)	Output Voltage Ripple				10		mV
f <sub>S</sub> (Each Channel)	V <sub>OUTC<sub>n</sub></sub> Ripple Frequency	FREQUENCY_SWITCH Set to 350kHz (0xFABC)	●	320	350	380	kHz
ΔV <sub>OUTC<sub>n</sub></sub> (START)	Turn-On Overshoot	TON_RISE <sub>n</sub> = 3ms (Note 7)			8		mV
t <sub>START</sub>	Turn-On Start-Up Time	Time from V <sub>IN</sub> Toggling from 0V to 12V to Rising Edge PGOOD_C <sub>n</sub> , TON_DELAY <sub>n</sub> = 0ms, TON_RISE <sub>n</sub> = 3ms			30		ms
t <sub>DELAY</sub> (0ms)	Turn-On Delay Time	Time from First Rising Edge of RUN_C <sub>n</sub> to Rising Edge of PGOOD_C <sub>n</sub> . TON_DELAY <sub>n</sub> = 0ms, TON_RISE <sub>n</sub> = 3ms, V <sub>INS3</sub> Having Been Established for at Least 70ms	●	2.9	3.3	3.7	ms
ΔV <sub>OUT<sub>n</sub></sub> (LS)	Peak Output Voltage Deviation for Dynamic Load Step	Load: 0A to 12.5A and 12.5A to 0A at 12.5A/μs, V <sub>OUT<sub>n</sub></sub> = 1V, V <sub>INS3</sub> = 12V (Note 7) See Load Transient Graph			40		mV
t <sub>SETTLE</sub>	Settling Time for Dynamic Load Step	Load: 0A to 12.5A and 12.5A to 0A at 12.5A/μs, V <sub>OUT<sub>n</sub></sub> = 1V, V <sub>INS3</sub> = 12V (Note 7) See Load Transient Graph			30		μs

## 電氣的特性

●は、仕様規定された内部動作温度範囲に適用される仕様を示します (Note 1, 2, 3)。仕様値は $n$ で指定された各出力チャンネルに対するものです (Note 3)。特に指定のない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{INS3}} = 12\text{V}$ 、 $\text{RUN\_Cn} = 3.3\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{\text{CC}} = 0\text{V}$ 、 $\text{FREQUENCY\_SWITCH} = 350\text{kHz}$ で、 $\text{VOUT}_{\text{Cn}}$ は  $1.000\text{V}$  に指定。特に指定のない限りデフォルトのEEPROM設定値を使用して設定。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$\text{IOUT}_{\text{n(OC\_AVg)}}$	Output Current Limit, Time Averaged	Time-Averaged Output Inductor Current Limit Inception Threshold, Commanded by $\text{IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT}_{\text{n}}$ (Note 7) Utilizing $\text{MFR\_PWM\_MODE}[7] = 0\text{b}$ , and Using $\sim\text{IOUT} = 34\text{A}$ , Page9		34		A
<b>Control Section</b>						
$\text{V}_{\text{FB}_{\text{Cn}}}$	Feedback Input Common Mode Range	$\text{VOSNS}^-_{\text{Cn}}$ Valid Input Range (Referred to SGND) $\text{VOSNS}^+_{\text{Cn}}$ Valid Input Range (Referred to SGND)	● ●	−0.1 0.3	0.3 3.6	V V
$\text{VOUT}_{\text{n-RNGL}}$	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 $\text{MFR\_PWM\_MODE}_{\text{n}}[1] = 1\text{b}$ , $\text{VOUT}_{\text{n}}$ Commanded to 2.75V (Notes 8, 10)		−0.5 2.75 12 0.688	0.5	V % Bits mV
$\text{VOUT}_{\text{n-RNGH}}$	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 $\text{MFR\_PWM\_MODE}_{\text{n}}[1] = 0\text{b}$ , $\text{VOUT}_{\text{n}}$ Commanded to 3.60V (Notes 8, 10)		−0.5 3.60 12 1.375	0.5	V % Bits mV
$\text{RV}_{\text{SENSE}_{\text{n}}}^+$	$\text{VOSNS}^+_{\text{Cn}}$ Impedance to SGND	$0.05\text{V} \leq \text{VOSNS}^+_{\text{Cn}} - \text{VSGND} \leq 3.3\text{V}$		50		k $\Omega$
$\text{t}_{\text{ON(MIN)}}$	Minimum On-Time	(Note 10)		60		nsec
$\text{g}_{\text{m0,1}}$	Resolution Error Amplifier $\text{g}_{\text{m(max)}}$ Error Amplifier $\text{g}_{\text{m(min)}}$ LSB Step Size	$\text{COMP0,1} = 1.35\text{V}$ , $\text{MFR\_PWM\_CONFIG}[7:5] = 0$ to 7 $\text{MFR\_PWW\_CONFIG}$ Section (Note 10)		3 5.76 1 0.68		Bits mmho mmho mmho
$\text{RCOMP0,1}$	Resolution Compensation Resistor $\text{RCOMP(MAX)}$ Compensation Resistor $\text{RCOMP(MIN)}$	$\text{MFR\_PWM\_CONFIG}[4:0] = 0$ to 31 (See Figure 1, Note 10)		5 62 0.5		Bits k $\Omega$ k $\Omega$
<b>Analog OV/UV Ch 0,1(Overvoltage/Undervoltage) Output Voltage Supervisor Comparators (<math>\text{VOUT\_OV/UV\_FAULT\_LIMIT}</math> and <math>\text{VOUT\_OV/UV\_WARN\_LIMIT}</math> Monitors)</b>						
$\text{NOV/UV\_COMP}$	Resolution, Output Voltage Supervisors	(Notes 9, 10)		9		Bits
$\text{VOV-RNG}$	Output OV Comparator Threshold Detection Range	(Notes 9, 10) Limit Design to 1.5V Operating for Module Low Range Scale, $\text{MFR\_PWM\_MODE}_{\text{n}}[1] = 1\text{b}$ High Range Scale, $\text{MFR\_PWM\_MODE}_{\text{n}}[1] = 0\text{b}$		0.5 1	2.7 3.6	V V
$\text{VOUSTP}$	Output OV and UV Comparator Threshold Programming LSB Step Size	(Notes 9, 10) Low Range Scale, $\text{MFR\_PWM\_MODE}_{\text{n}}[1] = 1\text{b}$ High Range Scale, $\text{MFR\_PWM\_MODE}_{\text{n}}[1] = 0\text{b}$		5.6 11.2		mV mV
$\text{VOV-ACC-Cn}$	Output OV Threshold Accuracy Range Low  Range High	(Notes 9, 10) $0.5\text{V} \leq \text{VOSNS}^+_{\text{Cn}} - \text{VOSNS}^-_{\text{Cn}} \leq 2.7\text{V}$ , $\text{MFR\_PWM\_MODE}_{\text{n}}[1] = 1\text{b}$ $1\text{V} \leq \text{VOSNS}^+_{\text{Cn}} - \text{VOSNS}^-_{\text{Cn}} \leq 3.6\text{V}$ , $\text{MFR\_PWM\_MODE}_{\text{n}}[1] = 0\text{b}$	●		$\pm 40$ $\pm 1.5$	mV %

## 電氣的特性

●は、仕様規定された内部動作温度範囲に適用される仕様を示します (Note 1, 2, 3)。仕様値は $n$ で指定された各出力チャンネルに対するものです (Note 3)。特に指定のない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{INS}3} = 12\text{V}$ 、 $\text{RUN\_Cn} = 3.3\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{\text{CC}} = 0\text{V}$ 、 $\text{FREQUENCY\_SWITCH} = 350\text{kHz}$ で、 $\text{V}_{\text{OUTCn}}$ は  $1.000\text{V}$  に指定。特に指定のない限りデフォルトの EEPROM 設定値を使用して設定。

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) $0.5\text{V} \leq V_{\text{VOSNS}^+_{\text{Cn}} - V_{\text{VOSNS}^-_{\text{Cn}}} \leq 2.7\text{V}$ , $\text{MFR\_PWM\_MODEn}[1] = 1\text{b}$ $1\text{V} \leq V_{\text{VOSNS}^+_{\text{Cn}} - V_{\text{VOSNS}^-_{\text{Cn}}} \leq 3.6\text{V}$ , $\text{MFR\_PWM\_MODEn}[1] = 0\text{b}$	●		$\pm 40$ $\pm 1.5$	mV %
$t_{\text{PROP-OV}}$	Output OV Comparator Response Times	Overdrive to 10% Above Programmed Threshold			100	$\mu\text{s}$
$t_{\text{PROP-UV}}$	Output UV Comparator Response Times	Underdrive to 10% Below Programmed Threshold			100	$\mu\text{s}$

**Analog OV/UV  $V_{\text{INS}3}$  Input Voltage Supervisor Comparators (Threshold Detectors for  $\text{VIN\_ON}$  and  $\text{VIN\_OFF}$ )**

$N_{\text{VINS3-OV/UV-COMP}}$	$V_{\text{INS}3}$ OV/UV Comparator Threshold-Programming Resolution	(Notes 9, 10)		9		Bits
$V_{\text{INS3-OU-RANGE}}$	$V_{\text{INS}3}$ OV/UV Comparator Threshold-Programming Range	ABS MAX = 18V for Module Design	●	4.5	16	V
$V_{\text{INS3-OU-STP}}$	$V_{\text{INS}3}$ OV/UV Comparator Threshold-Programming LSB Step Size	(Note 10)		76		mV
$V_{\text{INS3-OU-ACC}}$	$V_{\text{INS}3}$ OV/UV Comparator Threshold Accuracy	$4.5\text{V} < V_{\text{INS}3} \leq 16\text{V}$ , Operating Range, 16V Max for Module	●		$\pm 350$	mV
$t_{\text{PROP-VINS3-LOW-VIN}}$	$V_{\text{INS}3}$ OV/UV Comparator Response Time, High $V_{\text{IN}}$ Operating Configuration	Test Circuit 1, and: $\text{VIN\_ON} = 9\text{V}$ ; $V_{\text{INS}3}$ Driven from 8.775V to 9.225V $\text{VIN\_OFF} = 9\text{V}$ ; $V_{\text{INS}3}$ Driven from 9.225V to 8.775V			100 100	$\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$
$t_{\text{PROP-VINS3-LOW-VIN}}$	$V_{\text{INS}3}$ OV/UV Comparator Response Time, Low $V_{\text{IN}}$ Operating Configuration	Test Circuit 2, and: $\text{VIN\_ON} = 4.5\text{V}$ ; $V_{\text{INS}3}$ Driven from 4.225V to 4.725V $\text{VIN\_OFF} = 4.5\text{V}$ ; $V_{\text{INS}3}$ Driven from 4.725V to 4.225V			100 100	$\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$

**Input Voltage ( $V_{\text{INS}3}$ ) Readback ( $\text{READ\_VIN}$ )**

$N_{\text{VINS3-RB}}$	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	$\text{READ\_VIN}$ , $4.5\text{V} \leq V_{\text{INS}3} \leq 16\text{V}$ , ( $V_{\text{IN}} = V_{\text{INS}3}$ )	●		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

**Channels 0 and 1 Output Voltage Readback ( $\text{READ\_VOUTn}$ )**

$N_{\text{VO-RB}}$	Output Voltage Readback Resolution and LSB Step Size	(Note 10)		16 244		Bits $\mu\text{V}$
$V_{\text{O-F/S}}$	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	$0.5\text{V} \leq V_{\text{VOSNS}^+_{\text{Cn}} - V_{\text{VOSNS}^-_{\text{Cn}}} \leq 1.0\text{V}$ $1\text{V} \leq V_{\text{VOSNS}^+_{\text{Cn}} - V_{\text{VOSNS}^-_{\text{Cn}}} \leq 3.6\text{V}$	●		Within $\pm 5\text{mV}$ , Reading Within $\pm 0.5\%$ , Reading	

**Channels 0 and 1 Output Current ( $\text{READ\_IOUTn}$ )**

$N_{\text{IO-RB}}$	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

## 電氣的特性

●は、仕様規定された内部動作温度範囲に適用される仕様を示します (Note 1, 2, 3)。仕様値は $n$ で指定された各出力チャンネルに対するものです (Note 3)。特に指定のない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{INS}3} = 12\text{V}$ 、 $\text{RUN\_Cn} = 3.3\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{\text{CC}} = 0\text{V}$ 、 $\text{FREQUENCY\_SWITCH} = 350\text{kHz}$ で、 $\text{V}_{\text{OUTCn}}$ は  $1.000\text{V}$  に指定。特に指定のない限りデフォルトのEEPROM設定値を使用して設定。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$\text{I}_{\text{O-RB-ACC}}$	Output Current, Readback Accuracy	$\text{READ\_IOUTn}$ , Channels 0 and 1, $0 \leq \text{I}_{\text{OUTn}} \leq 25\text{A}$ , Forced-Continuous Mode, $\text{MFR\_PWM\_MODEn}[0] = 1\text{b}$ With Offset Adjustment ( $-20^\circ\text{C}$ to $125^\circ\text{C}$ ) (Note 7) See Histograms in Typical Performance Characteristics Section	●		5 3.5	% %
$\text{I}_{\text{O-RB(25A)}}$	Full Load Output Current Readback	$\text{I}_{\text{OUTn}} = 30\text{A}$ Max by Module Design Up to $1.2\text{V}$ (Note 7)		25	30	A
$\text{t}_{\text{CONVERT-I O-RB}}$	Output Current Readback Update Rate	$\text{MFR\_ADC\_CONTROL} = 0 \times 00$ (Notes 10, 12) $\text{MFR\_ADC\_CONTROL} = 0 \times 06$ ( $\text{CH0 I}_{\text{OUT}}$ ) or $0 \times 0\text{A}$ ( $\text{CH1 I}_{\text{OUT}}$ ) (Notes 9, 17) See $\text{MFR\_ADC\_CONTROL}$ Section		90 8		ms ms

## Input Current Readback

N	Resolution	(Notes 5, 10)		10		Bits
$\text{V}_{\text{INSTP}}$	LSB Step Size Full-Scale Range = $16\text{mV}$ LSB Step Size Full-Scale Range = $32\text{mV}$ LSB Step Size Full-Scale Range = $64\text{mV}$	Gain = 8, $0\text{V} \leq  \text{V}_{\text{IN}}^+ - \text{V}_{\text{IN}}^-  \leq 5\text{mV}$ Gain = 4, $0\text{V} \leq  \text{V}_{\text{IN}}^+ - \text{V}_{\text{IN}}^-  \leq 20\text{mV}$ Gain = 2, $0\text{V} \leq  \text{V}_{\text{IN}}^+ - \text{V}_{\text{IN}}^-  \leq 50\text{mV}$		15.26 30.52 61		$\mu\text{V}$ $\mu\text{V}$ $\mu\text{V}$
$\text{I}_{\text{IN\_TUE}}$	Total Unadjusted Error	Gain = 8, $2.5\text{mV} \leq  \text{V}_{\text{IN}}^+ - \text{V}_{\text{IN}}^- $ (Note 13) Gain = 4, $4\text{mV} \leq  \text{V}_{\text{IN}}^+ - \text{V}_{\text{IN}}^- $ (Note 13) Gain = 2, $6\text{mV} \leq  \text{V}_{\text{IN}}^+ - \text{V}_{\text{IN}}^- $ (Note 13)	● ● ●		3.5 2.5 1.8	% % %
$\text{V}_{\text{OS}}$	Zero-Code Offset Voltage	(Note 10)			$\pm 50$	$\mu\text{V}$
$\text{t}_{\text{CONVERT}}$	Update Rate	(Note 12)		90		ms

Internal Controller Supply Current Readback  $\text{V}_{\text{INS}3}$ 

N	Resolution	(Notes 5, 12) See $\text{MFR\_ADC\_CONTROL}$ Section for Faster Update Rates		10		Bits
$\text{V}_{\text{ICONTROL STP}}$	LSB Step Size Full-Scale Range = $256\text{mV}$			244		$\mu\text{V}$
$\text{I}_{\text{CONTROL TUE}}$	Total Unadjusted Error	$20\text{mV} \leq  \text{V}_{\text{INS}3\_C1} - \text{SV}_{\text{IN}}  \leq 150\text{mV}$ See Block Diagram (Note 10)			$\pm 3$	%
$\text{t}_{\text{CONVERT}}$	Update Rate	(Note 12)		90		ms

Temperature Readback ( $\text{TSNS\_C0}$ ,  $\text{TSNS\_C1}$ )

$\text{T}_{\text{RES\_T}}$	Resolution			0.25		$^\circ\text{C}$
$\text{T0\_TUE}$	External Temperature Total Unadjusted Readback Error	Supporting Only Delta $\text{V}_{\text{BE}}$ Sensing (Note 13)		3		$^\circ\text{C}$
$\text{T1\_TUE}$	Internal $\text{TSNS TUE}$	$\text{V}_{\text{RUN\_C0,C1}} = 0.0$ , $\text{f}_{\text{SYNC}} = 0\text{kHz}$ (Note 8)		3		$^\circ\text{C}$
$\text{t}_{\text{CONVERT}}$	Update Rate	$\text{MFR\_ADC\_CONTROL} = 0 \times 04$ or $0 \times 0\text{C}$ (Notes 9, 12, 15)		90 8		ms ms

INTV<sub>CC</sub> Regulator/EXTV<sub>CC</sub>

$\text{V}_{\text{INTVCC}}$	Internal $\text{V}_{\text{CC}}$ Voltage No Load	$6\text{V} \leq \text{V}_{\text{IN}} \leq 16\text{V}$		5.25	5.5	5.75	V
$\text{V}_{\text{LDO\_INT}}$	INTV <sub>CC</sub> Load Regulation	$\text{I}_{\text{CC}} = 0\text{mA}$ to $20\text{mA}$ , $6\text{V} \leq \text{V}_{\text{IN}} \leq 16\text{V}$		0.5	$\pm 2$		%
$\text{V}_{\text{EXTVCC}}$	EXTV <sub>CC</sub> Switchover Voltage	$\text{V}_{\text{INS}3\_C1} \geq 7\text{V}$ , EXTV <sub>CC</sub> Rising		4.5	4.7	4.9	V
$\text{V}_{\text{LDO\_HYS}}$	EXTV <sub>CC</sub> Hysteresis			340			mV
$\text{V}_{\text{LDO\_EXT}}$	EXTV <sub>CC</sub> Voltage Drop	$\text{I}_{\text{CC}} = 20\text{mA}$ , $\text{V}_{\text{EXTVCC}} = 5.5\text{V}$		60	120		mV
$\text{V}_{\text{IN\_THR}}$	$\text{V}_{\text{IN}}$ Threshold to Enable EXTV <sub>CC</sub> Switchover	$\text{V}_{\text{IN}}$ Rising		7.1			V
$\text{V}_{\text{IN\_THF\_HYS}}$	$\text{V}_{\text{IN}}$ Hysteresis to Disable EXTV <sub>CC</sub> Switchover	$\text{V}_{\text{IN}}$ Falling		600			mV

## 電氣的特性

●は、仕様規定された内部動作温度範囲に適用される仕様を示します (Note 1, 2, 3)。仕様値は $n$ で指定された各出力チャンネルに対するものです (Note 3)。特に指定のない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{INS}3} = 12\text{V}$ 、 $\text{RUN\_C}_n = 3.3\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{\text{CC}} = 0\text{V}$ 、 $\text{FREQUENCY\_SWITCH} = 350\text{kHz}$ で、 $\text{V}_{\text{OUTC}_n}$ は  $1.000\text{V}$  に指定。特に指定のない限りデフォルトの EEPROM 設定値を使用して設定。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>V<sub>DD33</sub> Regulator</b>						
V <sub>DD33</sub>	Internal V <sub>DD33</sub> Voltage	$4.5\text{V} < V_{\text{INTVCC}}$ or $4.8\text{V} < V_{\text{EXTVCC}}$	3.2	3.3	3.4	V
I <sub>LIM</sub>	V <sub>DD33</sub> Current Limit	$V_{\text{DD33}} = \text{GND}$ , $V_{\text{IN}} = \text{INTVCC} = 4.5\text{V}$		100		mA
V <sub>DD33_OV</sub>	V <sub>DD33</sub> Overvoltage Threshold	(Note 10)		3.5		V
V <sub>DD33_UV</sub>	V <sub>DD33</sub> Undervoltage Threshold	(Note 10)		3.1		V
<b>V<sub>DD25</sub> Regulator</b>						
V <sub>DD25</sub>	Internal V <sub>DD25</sub> Voltage			2.5		V
L <sub>IM</sub>	V <sub>DD25</sub> Current Limit	$V_{\text{DD25}} = \text{GND}$ , $V_{\text{IN}} = \text{INTVCC} = 4.5\text{V}$		80		mA
<b>Oscillator and Phase-Locked Loop</b>						
f <sub>RANGE</sub>	PLL SYNC Range	Synchronized with Falling Edge of SYNC	●	250	1000	kHz
f <sub>OSC</sub>	Oscillator Frequency Accuracy	Frequency Switch = 250.0kHz to 1000.0kHz (Note 10)	●		±7.5	%
V <sub>TH(SYNC)</sub>	SYNC Input Threshold	V <sub>SYNC</sub> Falling V <sub>SYNC</sub> Rising		1 1.5		V V
V <sub>OL(SYNC)</sub>	SYNC Low Output Voltage	I <sub>LOAD</sub> = 3mA		0.2	0.4	V
I <sub>LEAK(SYNC)</sub>	SYNC Leakage Current in Slave Mode	$0\text{V} \leq V_{\text{PIN}} \leq 3.6\text{V}$			±5	μA
θ <sub>SYNC-θ0</sub>	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 <sub>SYNC-θ1</sub>	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
<b>EEPROM Characteristics</b>						
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
<b>Input Leakage Current SDA, SCL, ALERT, RUN</b>						
I <sub>OL</sub>	Input Leakage Current	$0\text{V} \leq V_{\text{PIN}} \leq 5.5\text{V}$	●		±5	μA
<b>Leakage Current FAULT<sub>n</sub>, PGOOD<sub>C<sub>n</sub></sub></b>						
I <sub>LEAK</sub>	Input Leakage Current	$0\text{V} \leq V_{\text{PIN}} \leq 3.6\text{V}$	●		±2	μA
<b>Digital Inputs SCL, SDA, RUN<sub>C<sub>n</sub></sub>, FAULT<sub>C<sub>n</sub></sub> (Note 10)</b>						
V <sub>IH</sub>	Input High Threshold Voltage		●		1.35	V
V <sub>IL</sub>	Input Low Threshold Voltage		●	0.8		V
V <sub>HYST</sub>	Input Hysteresis	SCL, SDA		0.08		V
C <sub>PIN</sub>	Input Capacitance				10	pF
<b>Digital Input WP (Note 10)</b>						
I <sub>PUWP</sub>	Input Pull-Up Current	WP		10		μA
<b>Open-Drain Outputs SCL, SDA, FAULT<sub>C<sub>n</sub></sub>, ALERT, RUN<sub>C<sub>n</sub></sub>, SHARE_CLK, PGOOD<sub>C<sub>n</sub></sub></b>						
V <sub>OL</sub>	Output Low Voltage	I <sub>SINK</sub> = 3mA			0.4	V

## 電気的特性

●は、仕様規定された内部動作温度範囲に適用される仕様を示します (Note 1, 2, 3)。仕様値は $n$ で指定された各出力チャンネルに対するものです (Note 3)。特に指定のない限り、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 、 $V_{\text{INS}3} = 12\text{V}$ 、 $\text{RUN\_Cn} = 3.3\text{V}$ 、 $\text{EXTV}_{\text{CC}} = 0\text{V}$ 、 $\text{FREQUENCY\_SWITCH} = 350\text{kHz}$ で、 $\text{V}_{\text{OUTCn}}$ は  $1.000\text{V}$  に指定。特に指定のない限りデフォルトの EEPROM 設定値を使用して設定。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>Digital Inputs SHARE_CLK, WP (Note 10)</b>						
$V_{\text{IH}}$	Input High Threshold Voltage	$I_{\text{SINK}} = 3\text{mA}$	●	1.5	1.8	V
$V_{\text{IL}}$	Input Low Threshold Voltage		●	0.6	1	V
<b>Digital Filtering of FAULTCn (Note 10)</b>						
$T_{\text{FLTf}}$	Input Digital Filtering FAULT $_n$			3		$\mu\text{s}$
<b>Digital Filtering of PGOOD_Cn (Note 10)</b>						
$T_{\text{PGF}}$	Output Digital Filtering PGOOD_Cn			60		$\mu\text{s}$
<b>Digital Filtering of RUN_Cn (Note 10)</b>						
$T_{\text{RUNf}}$	Input Digital Filtering RUN_Cn			10		$\mu\text{s}$
<b>PMBus Interface Timing Characteristics (Note 10)</b>						
$f_{\text{SCL}}$	Serial Bus Operating Frequency		●	10	400	kHz
$t_{\text{BUF}}$	Bus Free Time Between Stop and Start		●	1.3		$\mu\text{s}$
$t_{\text{HD(STA)}}$	Hold Time After Repeated Start Condition After This Period, the First Clock is Generated		●	0.6		$\mu\text{s}$
$t_{\text{SU(STA)}}$	Repeated Start Condition Setup Time		●	0.6	10000	$\mu\text{s}$
$t_{\text{SU(STO)}}$	Stop Condition Setup Time		●	0.6		$\mu\text{s}$
$t_{\text{HD(DAT)}}$	Date Hold Time Receiving Data Transmitting Data		● ●	0 0.3	0.9	$\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$
$t_{\text{SU(DAT)}}$	Data Setup Time Receiving Data			0.1		$\mu\text{s}$
$t_{\text{TIMEOUT\_SMB}}$	Stuck PMBus Timer Non-Block Reads Stuck PMBus Timer Block Reads	Measured from the Last PMBus Start Event		3 255		ms ms
$t_{\text{LOW}}$	Serial Clock Low Period		●	1.3	10000	$\mu\text{s}$
$t_{\text{HIGH}}$	Serial Clock High Period		●	0.6		$\mu\text{s}$
<b>Channel 0 and Channel 1 Power Stages (Note 10)</b>						
PWM_Cn LOW	PWM Drive Low Level, C0, C1				0.6	V
PWM_Cn HIGH	PWM Drive High Level, C0, C1			2.6		V
PHFLT_Cn T	Warning Temperature			140		°C
PHFLT_Cn ACC	Thermal Warning Accuracy			-10	10	Kelvin
PHFLT_Cn HYS	Hysteresis			10		Kelvin
PHFLT_Cn Res	On Resistance	Sink = 8mA		37.5	80	$\Omega$
PHFLT_Cn Leak				0.1	5	$\mu\text{A}$
PHFLT_Cn Pull-Up	Pull-Up Resistor	Tied to $V_{\text{DD}33}$		10		k $\Omega$



## 電気的特性

**Note 1:** 上記の**絶対最大定格**を超えるストレスを加えるとデバイスに恒久的な損傷を与えることがあります。デバイスを長時間絶対最大定格状態に置くと、デバイスの信頼性と寿命に影響を与えることがあります。特に指定のない限り、すべての電圧はGNDを基準としています。

**Note 2:** LTM4664Aは $T_J \approx T_A$ となるようなパルス負荷条件下でテストされています。ここに示す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値、およびその他の環境条件などと組み合わさった具体的な動作条件によって決まります。

**Note 3:** デバイス・ピンへの電流はすべて正です。また、デバイス・ピンからの電流はすべて負です。PSMの各チャンネルは製造時に個別にテストされています。このデータシートでは、これらのパラメータを「 $V_{INS3\_Cn}$ 」および「 $V_{OUTCn}$ 」( $n$ には0~1の値が入る)という略号で表記しています。この斜体の「 $n$ 」を使った表記方法は、これら以外の同様のピンの名前、他、チャンネル固有のデータ(ページ指定データ)を格納するレジスタの名前にも使われています。例えば、 $V_{OUT\_COMMANDn}$ はページ0とページ1に置かれた $V_{OUT\_COMMAND}$ コマンド・コードのデータを表しており、更にそれらのページはチャンネル0( $V_{OUTC0}$ )とチャンネル1( $V_{OUTC1}$ )に対応しています。ページ指定されていないデータ、すなわちモジュールの「グローバル」なデータ(そのモジュールの両方のチャンネルに適用されるデータ)が格納されるレジスタには、斜体の「 $n$ 」は付きません(例: FREQUENCY\_SWITCH)。

**Note 4:** 他の $V_{IN}$ 、 $V_{OUT}$ 、負荷電流および $T_A$ については**デュアル25A/30A PSMのアプリケーション情報**のセクションの出力電流ディレーティング曲線を参照してください。1.2V以下の出力電圧に対しては、デュアルの30A負荷が定格です。

**Note 5:** PMBus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)です。そのため、内蔵ADCは16ビットで計算には32ビット・ワードが使用されていますが、出力分解能は10ビットに制限されます。

**Note 6:**  $V_{OUTCn}$ (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、デジタル・サーボが作動しない状態(MFR\_PWM\_MODE $n$ [6] = 0b)で $V_{OUTCn}$ に低電圧レンジを選択(MFR\_PWM\_MODE $n$ [1] = 1b)して、製造時に行われています。デジタル・サーボ制御ループの動作確認も製造時に行われていますが(MFR\_PWM\_MODE $n$ [6] = 1bに設定)、出力電圧の最終的セトリング値への収束は必ずしも最終テストにおいて確認されているわけではありません(関係する時定数が大きい可能性があるため)。その代わりに、これは出力電圧のリードバック精度の仕様によって確保されています。また、性能はアプリケーションでの評価によって実証されています。**代表的な性能特性**のセクションを参照してください。

**Note 7:** これらの標準パラメータはベンチ測定に基づくもので、出荷時にはテストされていません。

**Note 8:**  $V_{OUTC0}$ および $V_{OUTC1}$ は3.6Vの絶対最大定格に合わせて仕様規定されていますが、出力チャンネル0および1をレギュレーションするために推奨する最大コマンド電圧は1.5Vで、 $V_{OUT}$ レンジ設定ビットをMFR\_PWM\_MODE $n$ [1]を使用して設定します。

**Note 9:** MFR\_PWM\_MODE $n$ [1] = 1bとした場合のチャンネル $n$ のOV/UVコンパレータ閾値精度は、 $V_{VOSNS}^+_{Cn} - V_{VOSNS}^-_{Cn} = 0.5V$ および2.7Vで、ATEによりテストされています。MFR\_PWM\_MODE $n$ [1] = 1bは低電圧レンジです。

**Note 10:** ICレベルのATEでテストしています。

**Note 11:**  $V_{INS3}$ ピンの絶対最大定格は18Vです。入力電圧の遠隔測定値(READ\_VIN)は、 $V_{INS3}$ ピンからスケール・ダウンした電圧をデジタル化することによって得られます。

**Note 12:** データの変換は、デフォルトではラウンド・ロビン方式で行われます。すべての入力信号は、90ms(代表値)の遅延で連続的に変換されます。MFR\_ADC\_CTRLの値を0~12に設定すると、LTM4664Aはわずか8ms~10msで高速データ変換を行うことができます。詳細については、**PMBus コマンド**のセクションを参照してください。

**Note 13:** このデバイスのテストは、PWMをディスエーブルした状態で行っています。また、性能はアプリケーションでの評価によって実証されています。TUE (%) = ADC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:** EEPROMの書換え回数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保されています。最小データ保持期間は、EEPROMの書換え回数が規定の最小書換え回数より少なく、そのEEPROMのデータが $0^\circ C \leq T_J \leq 85^\circ C$ で書き込まれたデバイスに適用されます。RESTORE\_USER\_ALLまたはMFR\_RESETは全動作温度範囲で有効であり、EEPROMの特性には影響しません。

**Note 15:**  $T_J = 85^\circ C$ を超える温度または $0^\circ C$ 未満の温度でも書込みは可能ですが、電気的特性は確保されずEEPROMも劣化します。 $125^\circ C$ 未満の温度での読み出し動作であればEEPROMは劣化しません。 $85^\circ C$ を超える温度でEEPROMへの書込みを行うとデータ保持特性が低下します。

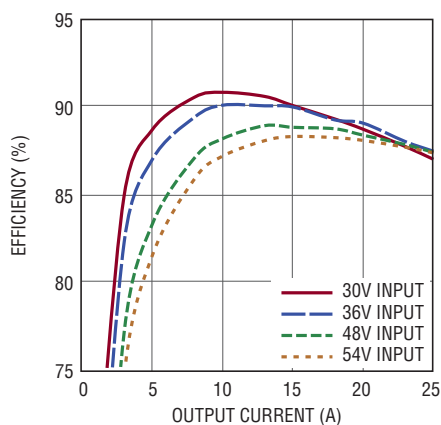
**Note 16:** M1~M8のパワー MOSFETの最終テストは、μModuleに組み込む前に個別に行われています。

**Note 17:** MFR\_PWM\_MODE[2] = 1の場合はデバイスは低DCRモードとなり、MFR\_PWM\_MODE[2] = 0の場合は通常DCRモードとなります。MFR\_PWM\_MODE[7]=1の場合はデバイスは高出力電流レンジとなり、MFR\_PWM\_MODE[7]=0の場合は低出力電流レンジとなります。詳細は動作のセクションの「出力電流検出と1mΩ未満のDCRによる電流検出」を参照してください。DCR検出でサポートされる $V_{ILIMIT}$ コードは2~8のみです。

## 代表的な性能特性

## 0.9Vの個別シングル出力

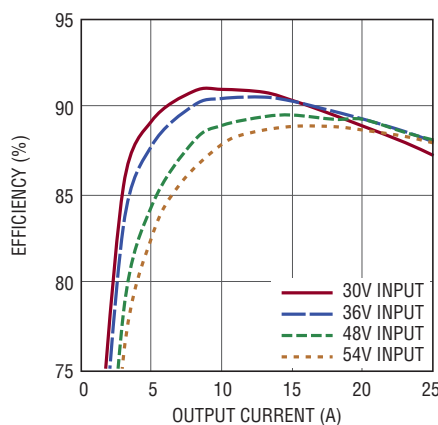
ステージ1 = 100kHz、  
ステージ2 = 200kHz、  
最終25A/30A ステージ = 250kHz、  
EXTV<sub>CC</sub> = 5V



4664A G01

## 1Vの個別シングル出力

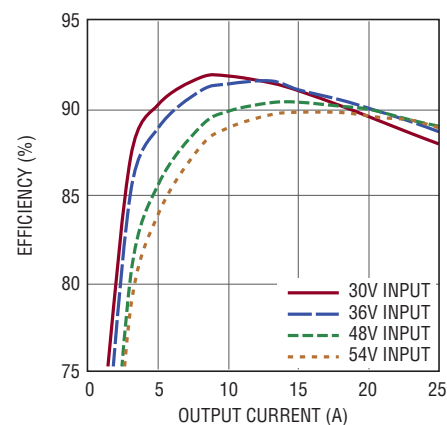
ステージ1 = 100kHz、  
ステージ2 = 200kHz、  
最終25A/30A ステージ = 250kHz、  
EXTV<sub>CC</sub> = 5V



4664A G02

## 1.2Vの個別シングル出力

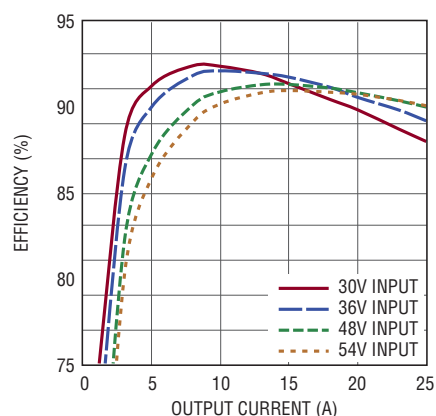
ステージ1 = 100kHz、  
ステージ2 = 200kHz、  
最終25A/30A ステージ = 250kHz、  
EXTV<sub>CC</sub> = 5V



4664A G03

## 1.5Vの個別シングル出力

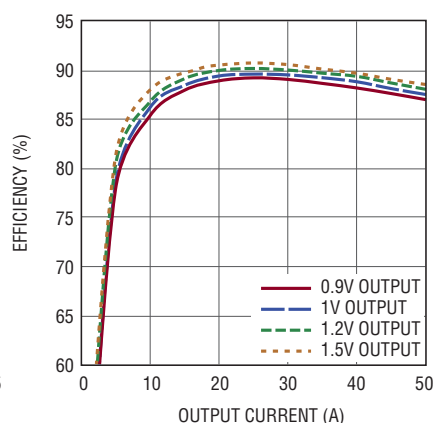
ステージ1 = 100kHz、  
ステージ2 = 200kHz、  
最終25A/30A ステージ = 350kHz、  
EXTV<sub>CC</sub> = 5V



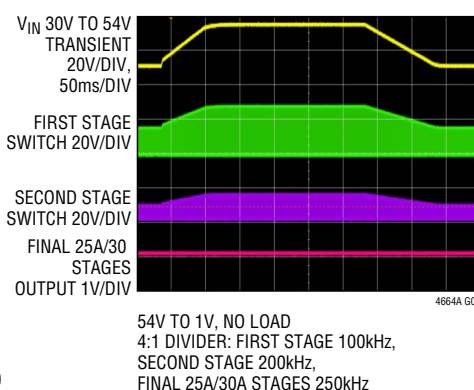
4664A G04

## 54V入力、2相50Aシングル出力

ステージ1 = 100kHz、  
ステージ2 = 200kHz、  
最終25A/30A ステージ = 350kHz、  
EXTV<sub>CC</sub> = 5V

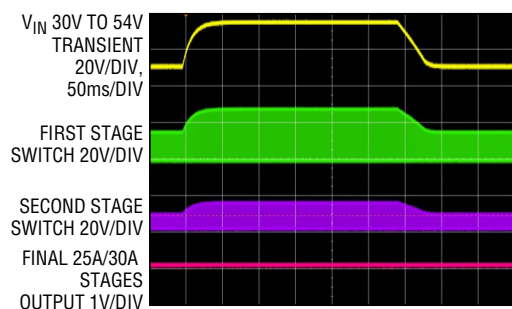


4664A G05

54V入力電圧変化  
無負荷

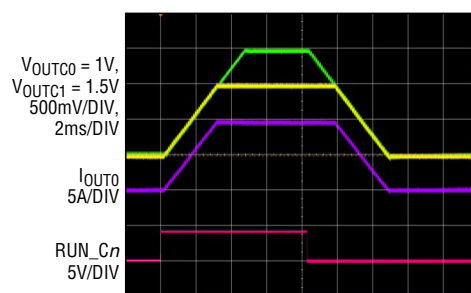
4664A G06

54V TO 1V, NO LOAD  
4:1 DIVIDER: FIRST STAGE 100kHz,  
SECOND STAGE 200kHz,  
FINAL 25A/30A STAGES 250kHz

54V入力電圧の変化、  
各25Aの負荷

4664A G07

54V TO 1V, 25A LOAD EACH  
4:1 DIVIDER: FIRST STAGE 100kHz,  
SECOND STAGE 200kHz,  
FINAL 25A/30A STAGES 250kHz

デュアル出力トラッキング  
起動/シャットダウン

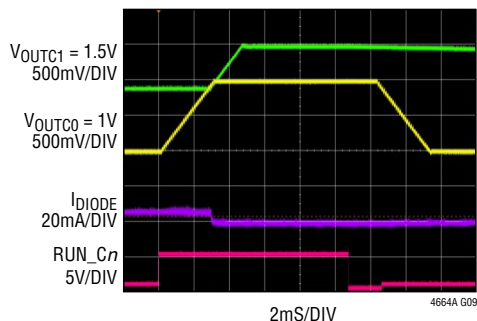
4664A G08

48VIN, 10A LOAD ON VOUT0, NO LOAD ON VOUT1,  
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



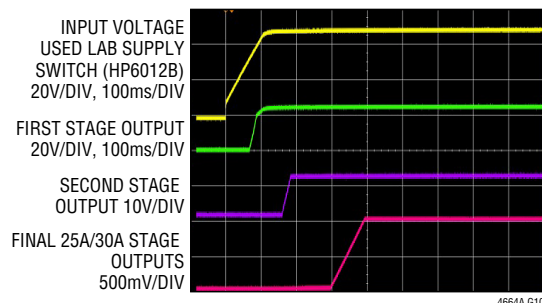
## 代表的な性能特性

### プリバイアス負荷時のデュアル出力起動/シャットダウン



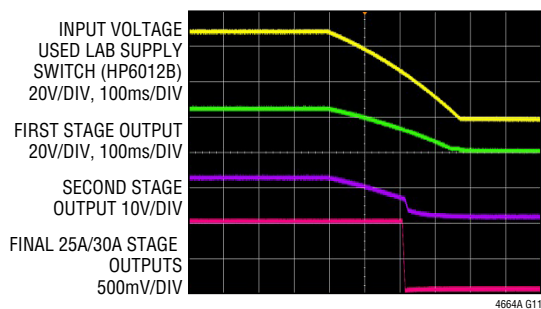
48VIN, 10A LOAD ON VOUTC0, 7.5mA LOAD ON VOUT1, VOUT1 PREBIASED THROUGH A DIODE  
TON\_RISE 0 = 3ms, TON\_RISE 1 = 4.5ms,  
TOFF\_DELAY 1 = 0ms, TOFF\_DELAY 0 = 1.5ms  
TOFF\_FALL 1 = 4.5ms, TOFF\_FALL 0 = 3ms,  
ON\_OFF\_CONFIGn = 0x1E

### 起動



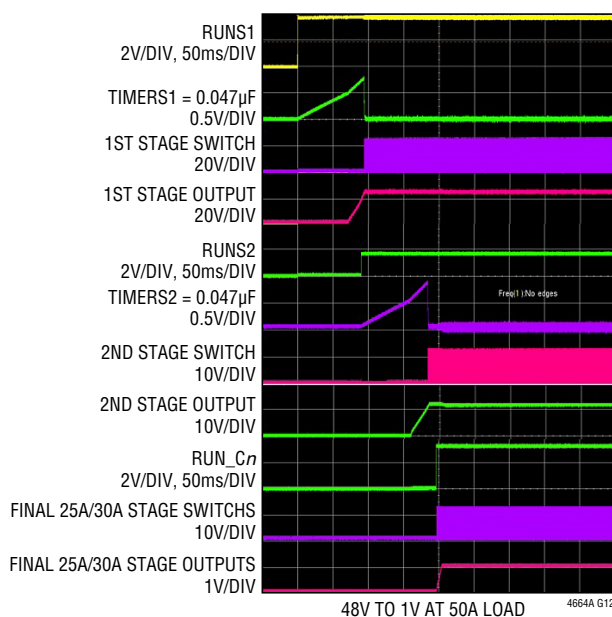
48V TO 1V AT 0A LOAD, EACH 25A/30A STAGE  
FINAL STAGE TON DELAY AND TON RISE SET  
TO 100ms

### シャットダウン



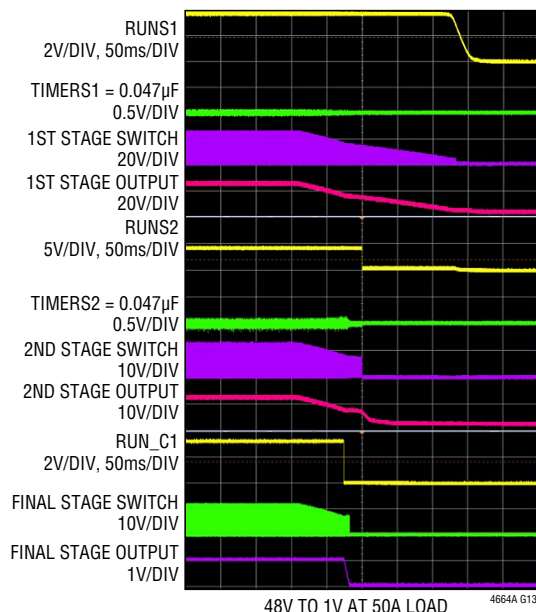
48V TO 1V AT 0A LOAD, EACH 25A/30A STAGE  
FINAL STAGE TON DELAY AND TON RISE SET  
TO 100ms

### ターンオンのフル・シーケンス



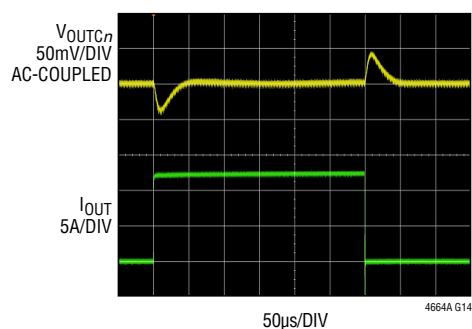
48V TO 1V AT 50A LOAD

### ターンオフのフル・シーケンス

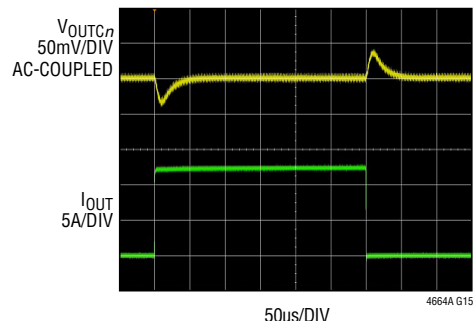


48V TO 1V AT 50A LOAD

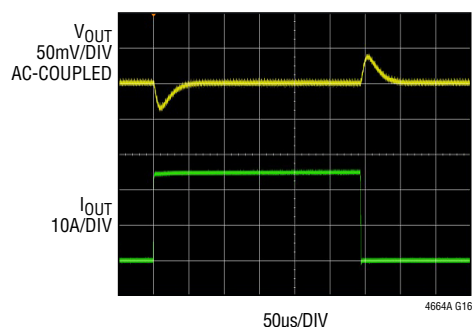
## 代表的な性能特性

V<sub>OUTCn</sub>(1V)の負荷過渡応答

48V TO 1V SINGLE CHANNEL,  
0A TO 12.5A/μs LOAD STEP  
C<sub>OUT</sub> = 470μF × 2 POSCAP, 100μF × 5 CER,  
COMP\_Cna = 2200pF, COMP\_Cnb = 100pF,  
EA-GM = 3.69ms, RCOMP = 5k,  
PSM FREQ = 250kHz, I<sub>LIMIT</sub> RANGE = LOW  
V<sub>OUT</sub> RANGE = LOW

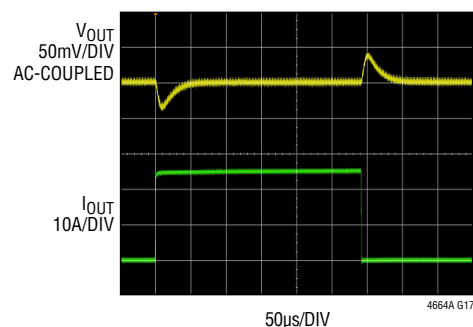
V<sub>OUTCn</sub>(1.5V)の負荷過渡応答

48V TO 1.5V SINGLE CHANNEL, 0A TO 12.5A/μs  
LOAD STEP  
C<sub>OUT</sub> = 470μF × 1 POSCAP, 330μF × 2 CER,  
COMP\_Cna = 2200pF, COMP\_Cnb = 220pF,  
EA-GM = 3.02ms, RCOMP = 6k,  
PSM FREQ = 350kHz

2相(50A/0.9V)  
負荷過渡応答

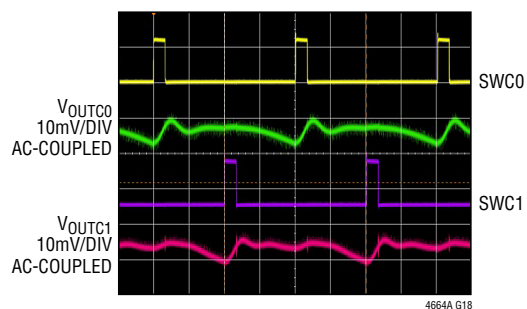
48V TO 0.9V DUAL PHASE SINGLE OUTPUT, 0A  
TO 25A/μs LOAD STEP  
C<sub>OUT</sub> = 470μF × 2 POSCAP, 330μF × 5 CER,  
COMP\_CO\_1 = 1500pF, COMP\_CO1b = 100pF,  
EA-GM = 4.36ms, RCOMP = 13k,  
PSM FREQ = 250kHz, I<sub>LIMIT</sub> RANGE = LOW  
V<sub>OUT</sub> RANGE = LOW

2相(50A/1V)負荷過渡応答



48V TO 1V DUAL PHASE SINGLE OUTPUT, 0A TO  
25A/μs LOAD STEP  
C<sub>OUT</sub> = 470μF × 2 POSCAP, 5 × 330μF CER,  
COMP\_CO\_1 = 1500pF, COMP\_CO1b = 100pF,  
EA-GM = 4.36ms, RCOMP = 13k,  
PSM FREQ = 350kHz, I<sub>LIMIT</sub> RANGE = LOW  
V<sub>OUT</sub> RANGE = LOW

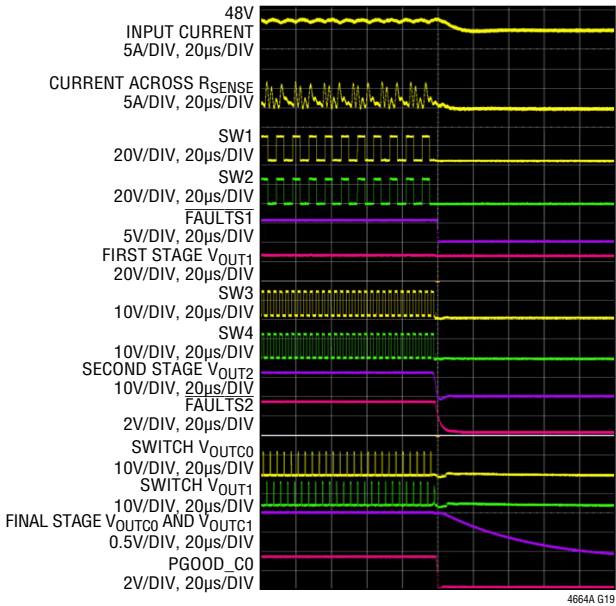
25AのACリップル・ノイズ



48V TO V<sub>OUTC0</sub> = 1V, AND V<sub>OUTC1</sub> = 1V

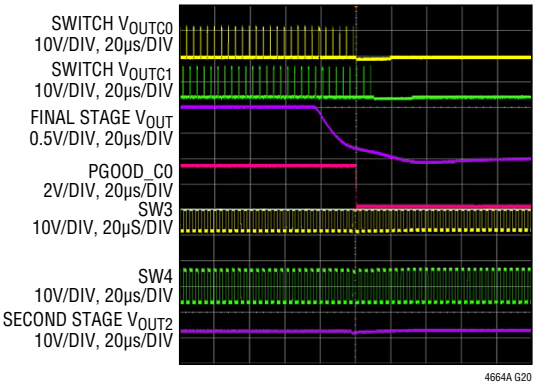
代表的な性能特性

48V 入力 1V 出力、ステージ 2 (12V) を短絡



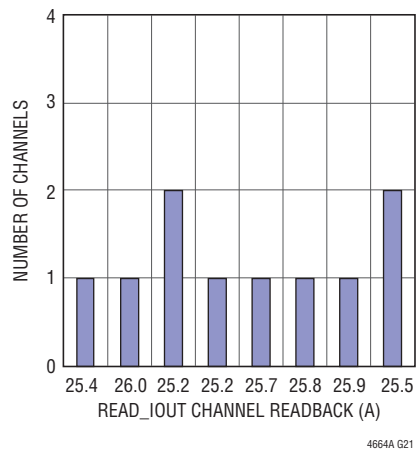
48V TO 1V AT 50A VOUT2 STAGE 12V  
OUTPUT SHORTED

48V 入力 1V 50A 出力、短絡

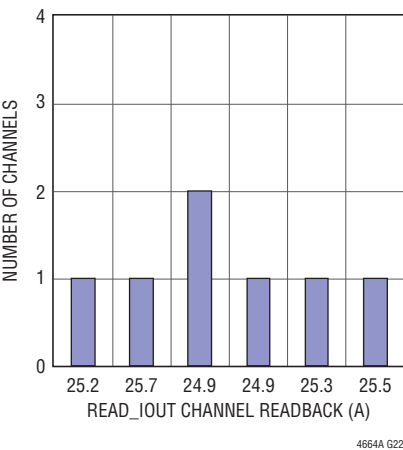


48V TO 1V AT 50A SHORTED LAST STAGE 1V  
OUTPUT VOUTC0 AND VOUTC1 IN PARALLEL

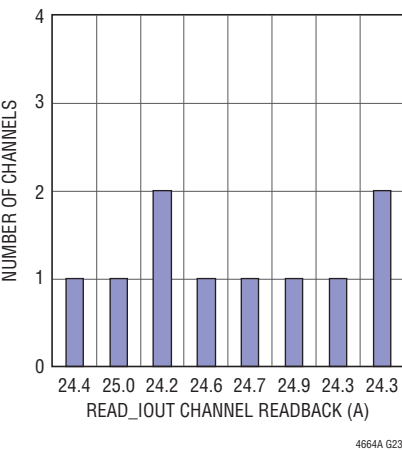
LTM4664A の 16 チャンネルの  
READ\_IOUT、12VIN、1VOUT、TJ = -40°C、  
IOUTn = 25A、システムは熱安定状態  
に到達、空気流なし



LTM4664A の 16 チャンネルの  
READ\_IOUT、12VIN、1VOUT、TJ = 25°C、  
IOUTn = 25A、システムは熱安定状態  
に到達、空気流なし



LTM4664A の 16 チャンネルの  
READ\_IOUT、12VIN、1VOUT、TJ = 125°C、  
IOUTn = 25A、システムは熱安定状態  
に到達、空気流なし



## ピン機能

### 4:1分圧器セクション(ステージ1)

**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, R13-16, T2-T3, T8-T9, T14-T15)** すべてのグラウンド・リターン用のメイン・グラウンド・ピン。これらのピンには入出力コンデンサを接続します。図45の推奨レイアウトを参照してください。

**V<sub>OUT1</sub> : (C14-C16)** ステージ1の2分割出力ピン。これらのピンはステージ2のV<sub>INS2</sub>ピンに接続します。これらのピンとGNDピンの間には、デカップリング・コンデンサを直接接続することを推奨します。

**INTV<sub>CCS1</sub> : (D10)** 5.5V内部リニア低ドロップアウト・レギュレータの出力。ドライバ回路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・コンデンサまたはその他の低ESRコンデンサを使用して、電力グラウンドにバイパスする必要があります。INTV<sub>CCS1</sub>ピンは他のICには使用しないでください。

**EXTV<sub>CCS1</sub> : (D11)** INTV<sub>CCS1</sub>に接続された内部LDOへの外部電源入力。このLDOは、EXTV<sub>CCS1</sub>が6.5Vより高くV<sub>INS1</sub>が7Vより高い場合は常に、V<sub>INS1</sub>から電源が供給される内部LDOをバイパスして、INTV<sub>CCS1</sub>電源に電力を供給します。このピンは30Vを超えないようにしてください。このピンは、V<sub>INS1</sub>の入力電圧がより高い場合、LDOの電力損失を抑えるためにV<sub>OUT2</sub>出力で駆動できます。アプリケーションのセクションを参照してください。

**PGOODS1 : (D12)** このピンはオープンドレインの出力ピンです。何らかのフォルトが発生した場合やUVS1ピンの電圧が1V未満の場合、PGOODS1はグラウンドまで低下します。ステージ2でRUNS2のシーケンスを行うには、PGOODS1またはFAULTS1を使用します。

**UVS1 : (E10)** 低電圧コンパレータ。UVS1ピンの電圧が1V未満の場合、PGOODS1ピンがプルダウンされます。UVピンの電圧が1Vより高くフォルトがない場合、PGOODS1ピンはリリースされます。使用しない場合は、INTV<sub>CCS1</sub>に接続します。このピンは出力レギュレーションが適切であることを検証するために使用します。

**FAULTS1 : (E11)** このピンはオープンドレインの出力ピンです。V<sub>OUT1</sub>の電圧が(V<sub>INS1</sub>)/2のウィンドウ閾値外の場合、またはINSNSS1<sup>+</sup>とINSNSS1<sup>-</sup>の間の電圧が50mVより高い場合、FAULTS1はグラウンドまで低下します。FAULTS1ピン

は、INTV<sub>CCS1</sub>が立上がりUVLOを超えるとリリースされます。ステージ2でRUNS2のシーケンスを行うには、FAULTS1またはPGOODS1を使用します。

**FREQS1 : (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ます。グラウンドとの間に抵抗を接続すると周波数を設定する電圧が発生します。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。

**RUNS1 : (F11)** ステージ1の動作制御入力。RUNS1を1.2V未満にするとコントローラがシャットダウンされます。RUNS1が1.2Vを超えると内部回路が起動します。RUNS1ピンの電圧が1.2V未満の場合RUNS1ピンから1μAのプルアップ電流が流れ、RUNS1ピンの電圧が1.2Vを超えるとRUNS1ピンから更に5μAの電流が流れます。

**TIMERS1 : (F12)** チャージ・バランスおよびフォルト・タイマーの制御入力。このピンとグラウンドの間のコンデンサによってV<sub>OUT1</sub>を(V<sub>INS1</sub>)/2にチャージするための時間が設定されます。また、短絡再試行時間も設定されます。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。

**HYS\_PRGMS1 : (G12)** このピンとグラウンドの間に接続された抵抗により、(V<sub>INS1</sub>)/2とV<sub>OUT1</sub>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。

**SW1, SW2 : (G14-G16), (D14-D16)** ステージ1のフライング・コンデンサC<sub>FLY</sub>のスイッチング・ノード。ブロック図を参照してください。

**INSNSS1<sup>-</sup> : (J13)** 電流検出コンパレータの負側入力。電流検出抵抗の負側ノードに接続します。使用しない場合はINSNSS1<sup>+</sup>に短絡します。

**INSNSS1<sup>+</sup> : (J14)** 電流検出コンパレータの正側入力。外付け電流検出抵抗の正側ノードに接続します。電流検出抵抗は最上部MOSFETのドレインに配置する必要があります。INSNSS1<sup>+</sup>ピンとINSNSS1<sup>-</sup>ピンの間の電圧が50mVより高い場合、ステージ1のコントローラは、FAULTS1ピンをプルダウンすることで過電流フォルトを通知します。また、INSNSS1<sup>+</sup>ピンは、分圧器アプリケーションにおいて、プリバランス時間に95mAの電流をV<sub>OUT1</sub>ピンに供給します。使用しない場合は、最上部のMOSFETのドレインに直接接続します。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。



## ピン機能

**VINS1 : (J15-J16)** 最初の2分割ステージへの電源入力ピン。これらのピンとGNDの間に入力容量を配置します。

### 4:1分圧器セクション(ステージ2)

**VINS2 : (C1-C3)** 2番目の2分割ステージへの電源入力ピン。これらのピンとGNDの間に入力容量を配置します。

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

**VINS2F : (D5)** フィルタリング機能を備えた入力電圧検出このピンと  $V_{INS2}$  の間には直列に  $1k\Omega$  の抵抗が配置され、GNDとの間に  $4700pF$  のコンデンサが接続されています。また、このピンにはGNDとの間に  $1M\Omega$  の抵抗があります。ブロック図を参照してください。

**INSNSS2<sup>-</sup> : (D6)** 電流検出コンパレータの負側入力。電流検出抵抗の負側ノードに接続します。使用しない場合は  $INSNSS2^{+}$  に短絡します。

**INSNSS2<sup>+</sup> : (D7)** 電流検出コンパレータの正側入力。外付け電流検出抵抗の正側ノードに接続します。電流検出抵抗は最上部MOSFETのドレインに配置する必要があります。 $INSNSS2^{+}$  ピンと  $INSNSS2^{-}$  ピンの間の電圧が  $50mV$  より高い場合、コントローラは  $FAULTS2$  ピンをプルダウンすることで過電流フォルトを通知します。また、 $INSNSS2^{+}$  ピンは、分圧器アプリケーションにおいて、プリバランス時間に  $95mA$  の電流を  $V_{OUT2}$  ピンに供給します。使用しない場合は、最上部のMOSFETのドレインに直接接続します。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。

**HYS\_PRGMS2 : (E5)** このピンとグラウンドの間に接続された抵抗により、 $(V_{INS2})/2$  と  $V_{OUT2}$  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  $10\mu A$  の電流が流れます。アプリケーションのセクションを参照してください。

**OVP\_SET : (E6)**  $V_{OUT2}$  の作動レベルを設定するための正側外部入力。OVP\_SETピンには、 $V_{OUT2}$  の電圧をモニタしOVP\_SETピンの分圧器中間点が  $V_{OUT2\_SET}$  ピンのリファレンス作動レベルを超えた場合に差動するよう設定するための、分圧器が設けられます。例えば、OVP\_SET作動点を  $V_{TRIP}$  に設定する場合、 $RTOP = ((V_{TRIP}/5.1V) - 1) \cdot 7.5K$  となります。ここで、 $RTOP$  は分圧器の抵抗の上側部分、 $RBOT$  は分圧器の抵抗の下側部分です。 $RBOT$  は  $7.5k$  に設定されます。使用しない場合、このピンは  $INTV_{CCS2}$  に接続します。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。

**OVP\_TRIP : (E7)**  $V_{OUT2}$  の過電圧フォルトの間、入力電力をオフにしてエネルギーを保持するために使用されるオープン・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。

**TIMERS2 : (F5)** チャージ・バランスおよびフォルト・タイマーの制御入力。このピンとグラウンドの間のコンデンサによって  $V_{OUT2}$  を  $(V_{INS2})/2$  にチャージするための時間が設定されます。また、短絡再試行時間も設定されます。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負側コンパレータ外部入力。この設定は、 $V_{IN}$  との間に抵抗と  $5.1V$  のツェナーを接続することで行うことができます。この2次フォルト保護は、ステージ1およびステージ2のフォルト保護内およびそれ以上のものです。全体の入力電圧は4分割され、 $V_{OUT2}$  は  $V_{IN}$  の  $1/4$  となります。OVP\_SETピンには、 $V_{OUT2}$  の電圧をモニタしOVP\_SETピンの分圧器中間点がリファレンス作動レベルを超えた場合に差動するよう設定するための、分圧器が設けられます。使用しない場合、このピンはグラウンドに接続します。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。

**EXTV<sub>CCS2</sub> : (F7)**  $INTV_{CCS2}$  に接続された内部LDOへの外部電源入力。このLDOは、EXTV<sub>CCS2</sub> が  $6.5V$  より高く  $V_{INS2}$  が  $7V$  より高い場合は常に、 $V_{IN2}$  から電源が供給される内部LDOをバイパスして、 $INTV_{CCS2}$  電源に電力を供給します。このピンは  $30V$  を超えないようにしてください。このピンは、 $V_{INS2}$  の入力電圧がより高い場合、LDOの電力損失を抑えるために  $V_{OUT2}$  出力で駆動できます。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。

**FREQS2 : (G5)** 周波数設定ピン。このピンからは  $10\mu A$  の高精度電流が流れます。グラウンドとの間に抵抗を接続すると周波数を設定する電圧が発生します。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。

**RUNS2 : (G6)** ステージ2の動作制御入力。RUNS2を  $1.2V$  未満にするとコントローラがシャットダウンされます。RUNS2が  $1.2V$  を超えると内部回路が起動します。RUNS2ピンの電圧が  $1.2V$  未満の場合RUNS2ピンから  $1\mu A$  のプルアップ電流が流れ、RUNS2ピンの電圧が  $1.2V$  を超えるとRUNS2ピンから更に  $5\mu A$  の電流が流れます。ステージ2をイネーブルするには、ステージ1のPGOODS1およびFAULTS1を使用します。

## ピン機能

**INTV<sub>CCS2</sub>: (G7)** 5.5V内部リニア低ドロップアウト・レギュレータの出力。ドライバ回路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・コンデンサまたはその他の低ESRコンデンサを使用して、電力グラウンドにバイパスする必要があります。INTV<sub>CCS2</sub>は他のICには使用しないでください。

**V<sub>OUT2</sub>: (H1-H3)** ステージ2の2分割出力ピン。これらのピンは、デュアル25A/30A PMBus コンバータのV<sub>INS3</sub>入力に接続します。これらのピンとGNDピンの間には、デカップリング・コンデンサを直接接続することを推奨します。

**PGOODS2: (H5)** このピンはオープンドレインの出力ピンです。何らかのフォルトが発生した場合やUVS2ピンの電圧が1V未満の場合、PGOODS2はグラウンドまで低下します。デュアル25A/30A ステージでRUN\_C0およびRUN\_C1のシーケンスを行うには、PGOOD2またはFAULTS2を使用します。

**FAULTS2: (H6)** このピンはオープンドレインの出力ピンです。V<sub>OUT2</sub>の電圧が(V<sub>INS2</sub>)/2のウィンドウ閾値外の場合、またはINSNSS2<sup>+</sup>とINSNSS2<sup>-</sup>の間の電圧が50mVより高い場合、FAULTS2はグラウンドまで低下します。FAULTS2ピンは、INTV<sub>CCS2</sub>が立上がりUVLOを超えるとリリースされます。デュアル25A/30A PSMステージでRUN\_C0およびRUN\_C1のシーケンスを行うには、FAULTS2またはPGOOD2を使用します。

**UVS2: (H7)** 低電圧コンパレータ。UVS2ピンの電圧が1V未満の場合、PGOODS2ピンがプルダウンされます。UVピンの電圧が1Vより高くフォルトがない場合、PGOODS2ピンはリリースされます。使用しない場合は、INTV<sub>CCS2</sub>に接続します。このピンは出力レギュレーションが適切であることを検証するために使用します。

### PMBus デュアル25A/30A セクション

**V<sub>OUTC1</sub>: (A1-A7, B4-B7):** チャンネル1の出力電圧。こことGNDの間に推奨される出力コンデンサを接続します。図45の推奨レイアウトを参照してください。

**V<sub>OUTC0</sub>: (A10-A16, B10-B13):** チャンネル0の出力電圧。こことGNDの間に推奨される出力コンデンサを接続します。図45の推奨レイアウトを参照してください。

**FSWPH\_CFG (H8):** SYNC設定ピンに対するスイッチング周波数、チャンネル位相インターリーブ角、および位相関係。このピンをオープンのままにするか、またはピンストラップ抵抗(RCONFIG)を無視するようにデュアル25A/30Aを設定すると(つまりMFR\_CONFIG\_ALL[6] = 1b)、LTM4664Aのスイッチング周波数(FREQUENCY\_SWITCH)とチャンネル位相の関係(SYNCクロック基準 – MFR\_PWM\_

CONFIG[2:0])は、SV<sub>IN</sub>パワーアップ時にLTM4664AのNVMの内容によって決まります。出荷時のデフォルト値は、350kHz動作時でチャンネル0が0°、チャンネル1が180°です(このデータシートでは、位相角が0°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に合わせて立ち上がることを意味します)。V<sub>DD25</sub>とSGND\_C0\_C1の間に抵抗分圧器を接続(4ページを参照、なおかつMFR\_CONFIG\_ALL[6] = 0bの出荷時デフォルトNVM設定を使用)すると、モジュール内外の並列チャンネルの動作スイッチング周波数と位相インターリーブ角の設定値が異なる場合でも、同じNVMの内容を使って複数のLTM4664Aを容易に設定することができます。設定時にGUIによる操作を行ったり、モジュールのNVMの内容を「カスタム・プリプログラム」する必要はありません。(デュアル25A/30A 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)。ピンの状態を正確に検出できるように、容量は最小限に抑えてください(特に、ピンをオープンのままにする場合)。

**VTRIMC1\_CFG (J5):** V<sub>OUTC1</sub>の出力電圧選択ピン(精密設定)。V<sub>OUTC1\_CFG</sub>との組み合わせで機能し、SV<sub>IN</sub>パワーアップ時のチャンネル1のV<sub>OUT\_COMMAND</sub>(ならびに、対応する出力電圧モニタリングおよび保護/フォルト検出閾値)に影響を与えます。(V<sub>OUTC1\_CFG</sub>とデュアル25A/30A PSMのアプリケーション情報のセクションを参照)。ピンの状態を正確に検出できるように、容量は最小限に抑えてください(特に、ピンをオープンのままにする場合)。V<sub>OUTC1\_CFG</sub>/VTRIMC1\_CFGにRCONFIGを使用すると、V<sub>OUTC1</sub>レンジ設定(MFR\_PWM\_MODE1[1])とループ・ゲインに影響する可能性があります。V<sub>DD25</sub>とSGND\_C0\_C1の間の抵抗分圧器によって作動点を設定できます。43ページを参照してください。

**VOUTC0\_CFG (J6):** V<sub>OUTC0</sub>の出力電圧選択ピン(粗設定)。V<sub>OUTC0\_CFG</sub>ピンとVTRIMC0\_CFGピンが共にオープンのままの場合、またはLTM4664Aがピンストラップ抵抗(RCONFIG)を無視するように設定されている場合(つまりMFR\_CONFIG\_ALL[6] = 1bの場合)、LTM4664Aの目標V<sub>OUTC0</sub>出力電圧設定値(V<sub>OUT\_COMMAND0</sub>)とそれに対応するパワー・グッド閾値とOV/UV警告およびフォルト閾値は、SV<sub>IN</sub>のパワーアップ時にLTM4664AのNVMの内容によって決まります。このピンからSGNDに抵抗を接続し、これをVTRIMC0\_CFGの抵抗ピン設定、および出荷時のデフォルトNVM設定値のMFR\_CONFIG\_ALL[6] = 0bと組み合わせて使用すると、LTM4664Aのチャンネル0のパワーアップ時出力がNVMの内容とは異なるV<sub>OUT\_COMMAND</sub>値(ならびに、それに対応する出力電圧モニタリングおよび保護/フォルト検出閾値)になるように設定できます。(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)。ピンの状態を正確に検出できるように、

## ピン機能

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ください。VOUTC0\_CFG/VTRIMC0\_CFGにRCONFIGを使用すると、VOUTC0レンジ設定(MFR\_PWM\_MODE0[1])とループ・ゲインに影響する可能性があります。

**VOUTC1\_CFG (J7) :** VOUTC1の出力電圧選択ピン(粗設定)。VOUTC1\_CFGピンとVTRIMC1\_CFGピンが共にオープンの場合、またはLTM4664Aがピンストラップ抵抗(RCONFIG)を無視するように設定されている場合(つまりMFR\_CONFIG\_ALL[6] = 1bの場合)、LTM4664Aの目標VOUTC1出力電圧設定値(VOUT\_COMMAND1)とそれに対応するOV/UV警告およびフォルト閾値は、VOUTC1\_CFGピンがVOUT1の設定値、VTRIMC1\_CFGピンがチャンネル1の設定に影響するのと同様に、SVINのパワーアップ時にLTM4664AのNVMの内容によって決まります。(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)。ピンの状態を正確に検出できるように、容量は最小限に抑えてください(特に、ピンをオープンのままにする場合)。VOUTC1\_CFG/VTRIMC1\_CFGにRCONFIGを使用すると、VOUTC1レンジ設定(MFR\_PWM\_MODE1[1])とループ・ゲインに影響する可能性があります。VDD25とSGND\_C0\_C1の間に抵抗分圧器を接続します。43 ページを参照してください。

**ASEL (J8) :** シリアル・バスのアドレス設定ピン。どのI<sup>2</sup>C/SMBusシリアル・バス・セグメントでも、すべてのデバイスに独自のスレーブ・アドレスが必要です。このピンがオープンの場合、LTM4664AはMFR\_ADDRESS[6:0]で設定されたスレーブ・アドレスにパワーアップします(表4参照)。工場出荷時のデフォルト設定は0x4F(16進数)つまり、1001111bです(このデータシートでは業界標準の慣行である7ビット・スレーブ・アドレス指定を採用しています)。LTM4664Aのスレーブ・アドレスの下位4ビットは、このピンとSGNDの間に抵抗を接続することによって、NVMの設定値から変更できます。ピンの状態を正確に検出できるように、容量は最小限に抑えてください(特に、ピンをオープンのままにする場合)。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。

**RUN\_C0 (J9)、RUN\_C1 (K8) :** RUN0はチャンネル0、RUN1はチャンネル1の起動/動作をイネーブルする入力。オープンドレイン入出力です。これらのピンをロジック・ハイにすると、LTM4664Aの対応する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、LTM4664Aがリセット解除状態になるか、VIN\_ONを超えるVIN3\_C1が検出される

までローに保持されます。アプリケーション内では3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。LTM4664Aは、ラッチ・オフしてレギュレーションを停止するようにフォルト応答が設定されているグローバル・フォルトやチャンネル固有のフォルトが生じると、必要に応じてRUN\_C0またはRUN\_C1、もしくはその両方をローにします。この場合はI<sup>2</sup>Cを介してCLEAR\_FAULTSコマンドを発行するか、SVINの電源を一度切った後で入れ直し、モジュールを再起動する必要があります。低インピーダンス源を使うときはRUNをロジック・ハイにしないでください。デュアル25A/30AステージでRUN\_C0およびRUN\_C1のシーケンスを行うには、PGOODS2およびFAULTS2を使用します。

**ALERT (J10) :** オープンドレイン・デジタル出力。アプリケーションでは、そのSMBusシステムがSMBALERT割込み検出を実装している場合のみ、3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。

**VTRIMC0\_CFG (K5) :** VOUTC0の出力電圧選択ピン(精密設定)。VOUTC0\_CFGとの組み合わせで機能し、SVINパワーアップ時のチャンネル0のVOUT\_COMMAND(ならびに、対応する出力電圧モニタリングおよび保護/フォルト検出閾値)に影響を与えます(VOUTC0\_CFGとデュアル25A/30A PSMのアプリケーション情報のセクションを参照)。ピンの状態を正確に検出できるように、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ください。VOUTC0\_CFG/VTRIMC0\_CFGにRCONFIGを使用すると、VOUTC0レンジ設定(MFR\_PWM\_MODE0[1])とループ・ゲインに影響する可能性があります。

**VDD25 (K6) :** 内部生成2.5V電源出力ピン。このピンには外部電流による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と、構成設定ピンに接続された内部プルアップ抵抗に電流を供給するためにのみ使用します。外付けのデカップリングは必要ありません。

**WP (K7) :** アクティブ・ハイの書き込み保護ピン。10μAの内部電流源がこのピンをVDD33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I<sup>2</sup>C書き込みだけがサポートされます。更に、個々のフォルトは、「STATUS」で始まるレジスタの対象ビットに1bを書き込むことによってクリアできます。WPがローの場合、I<sup>2</sup>C書き込みに制限はありません。



## ピン機能

**FAULT\_C0/FAULT\_C1 (K10/K9) :** デジタル・プログラマブル FAULT 入出力。オープンドレイン出力です。アプリケーション内では3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。

**VINS3\_C1、VINS3\_C0 : (L1-L2、M1-M2)、(L12-L13、M12-M13) :** チャンネル0とチャンネル1の電力段へのメインの電源入力。多層セラミック・コンデンサ(MLCC)と低ESRの電界コンデンサ(または同等品)を使い、降圧スイッチング段からの反射入力電流リップルに対処できるだけの十分なデカップリング容量を確保してください。MLCCは物理的にできるだけVINS3に近付けて接続します。VINS3\_C1入力は、INTV<sub>CC</sub> LDOレギュレータの入力電力となります。デュアル25A/30A PSMのアプリケーション情報のセクションの推奨レイアウトを参照してください。

**VDD33 (L6) :** 内部生成3.3V電源出力ピン。このピンは、FAULT\_Cn、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\_Cn、SDA、SCL、ALERT、PGOOD\_Cnの各プルアップ抵抗に外部電流を供給するために使用することもできます。外付けのデカップリングは必要ありません。

**SHARE\_CLK (L7) :** Share\_Clock、双方向オープンドレイン・クロック共有ピン。公称100kHz。複数のLTM4664A(およびSHARE\_CLKピンを持つその他のアナログ・デバイス製品)間のタイム・ベースを同期させるために使用し、適切に定義されたレールのシーケンシングとトラッキングを実現します。これらデバイスのSHARE\_CLKピンは、すべてまとめて接続してください。SHARE\_CLKピンを持つすべてのデバイスは、最も高速のクロックに同期します。3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。

**SDA (L8) :** シリアル・バス・データのオープンドレイン入出力。アプリケーション内では3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。

**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・ストレッチングをイネーブルした場合は、入出力が可能)。このクロックを形式上駆動しているSMBusマスタへのデジタル通信用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。LTM4664Aでは、SCLの通信速度が100kHzを超えない限り、クロック・ストレッチングを必要とするような状況になることはありません。また、そのような状況となった場合でも、LTM4664Aでクロック・ストレッチングを行うには、MFR\_CONFIG\_ALL[1] = 1bに設定してクロック・ストレッチングをイネーブルする必要があります。出荷時のデフォルトNVM設定はMFR\_CONFIG\_ALL[1] = 0bです。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通信を行う必要がある場合は、確実なシリアル・バス通信を確保するために、ユーザのSMBusマスタがクロック・ストレッチングのサポートを実施していなければなりません。また、その場合はMFR\_CONFIG\_ALL[1]を1bに設定する必要があります。クロック・ストレッチングをイネーブルした場合、SCLはLTM4664Aの双方向オープンドレイン出力ピンになります。

**TSNS\_C0a(L10)、TSNS\_C0b(T16) :** チャンネル0の温度励起/計測ピンとサーマル・センサー・ピン。TSNS\_C0aとTSNS\_C0bを接続します。これにより、LTM4664Aはチャンネル0の電力段の温度をモニタできます。

**SYNC (M8) :** 外部クロック同期入力およびオープンドレイン出力ピン。このピンに外部クロックを入力すると、スイッチング周波数はその外部クロックに同期されます。クロック・マスタ・モードをイネーブルすると、このピンはパルス幅500nsのスイッチング周波数でロー(グラウンド)になります。LTM4664Aがマスタの場合、アプリケーションでは抵抗を使って3.3Vにプルアップする必要があります。

**SGND\_C0\_C1 (M9、N8-N9) :** SGND\_C0\_C1は、デュアル25A/30Aコントロールの信号グラウンド・リターン・パスです。SGND\_C0\_C1は内部でGNDに接続されていません。SGND\_C0\_C1はA9、B9、C9の各ピンでGNDに接続します。その場合、出力コンデンサのグラウンド接続の近くで行ってください。推奨レイアウトを参照してください。

**TSNS\_C1a (M10)、TSNS\_C1b (T1) :** チャンネル1の温度励起/計測ピンとサーマル・センサー・ピン。ほとんどのアプリケーションでは、TSNS\_C1aとTSNS\_C1bを接続します。これにより、LTM4664Aはチャンネル1の電力段の温度をモニタできるようになります。アプリケーションのセクションを参照してください。

**PWM\_C0、PWM\_C1 (M15、L4) :** チャンネル0とチャンネル1の電力段へのPWM駆動信号。デバッグやモニタリングのために使用します。

**PHFLT\_C0、PHFLT\_C1 (M16、L5) :** チャンネル0およびチャンネル1の温度警告。熱保護閾値に達するとPHFLT\_Cnピンはローに引き下げられます。電力段は停止せずに、熱モニタとしてのみ機能します。これらのピンは内部で10kの抵抗を介して3.3Vにプルアップされます。

**COMP\_0b/COMP\_1b (N10/M7) :** 電流制御閾値およびエラー・アンプ補償ノード。それぞれに対応するチャンネルの電流コンパレータの作動閾値は、そのCOMP電圧と共に増加します。各チャンネルとSGNDとの間には22pFのコンデンサが取り付けられています。



## ピン機能

**V<sub>OSNS</sub><sup>-</sup>\_C1 (N6) :** チャンネル1の負側差動電圧検出入力。  
V<sub>OSNS</sub><sup>+</sup>\_C1を参照してください。

**V<sub>OSNS</sub><sup>+</sup>\_C1 (P6) :** チャンネル1の正側差動電圧検出入力。  
V<sub>OSNS</sub><sup>+</sup>\_C1は、V<sub>OSNS</sub><sup>-</sup>\_C1と共に使用することで、V<sub>OUTC1</sub>のPOL (Point of Load)におけるV<sub>OUTC1</sub>出力電圧をケルビン検出して、チャンネル1の帰還ループに差動帰還信号を直接提供します。V<sub>OUTC1</sub>の目標レギュレーション電圧は、シリアル・バスによって指定します。V<sub>INS3</sub> パワーアップ時におけるその初期値は、NVM (不揮発性メモリ)の内容によって決定されます(出荷時のデフォルト値: 1.000V)。あるいは、設定抵抗によって指定することも選択できます。V<sub>OUTC1</sub>\_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。

**IN<sup>-</sup> (P10) :** 電流検出アンプの負側入力。入力電流検出アンプを使用しない場合、このピンはIN<sup>+</sup>ピンとV<sub>INS3</sub>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。

**COMP\_0a/COMP\_1a (P11/M6) :** ループ補償ノード。LTM4664Aの内部PWMループ補償抵抗R<sub>COMPn</sub>は、MFR\_PWM\_COMPコマンドのビット[4:0]を使って調整できます。LTM4664AのPWMエラー・アンプのトランスコンダクタンスは、MFR\_PWM\_COMPコマンドのビット[7:5]を使って調整できます。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](#)にあるプログラマブル・ループ補償の説明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。

**V<sub>OSNS</sub><sup>-</sup>\_C0 : (P12) :** チャンネル0の負側差動電圧検出入力。  
V<sub>OSNS</sub><sup>+</sup>\_C0を参照してください。

**GL\_C0, GL\_C1 (P16, P5) :** チャンネル0の電力段およびチャンネル1の電力段の下側MOSFETゲート駆動。デバッグやモニタリングのために使用します。

**INTV<sub>CC</sub> (R7) :** 内部レギュレータ、5.5V出力。7V ≤ V<sub>INS3</sub> ≤ 16Vの範囲でV<sub>INS3</sub>を動作させる場合、LDOはV<sub>INS3</sub>\_C1からINTV<sub>CC</sub>を生成して、デュアル25A/30A電源の内部制御回路とMOSFETドライバにバイアスをかけます。2.2μFのセラミック・デカップリング・コンデンサを外付けする必要があります。INTV<sub>CC</sub>は、RUN\_Cnピンの状態に関係なくレギュレーションされます。

**EXTV<sub>CC</sub> (R8) :** INTV<sub>CC</sub>に接続された内部スイッチへの外部電源入力。EXTV<sub>CC</sub>が4.7Vより高くV<sub>IN</sub>が7Vより高い場合は常に、このスイッチにより内部レギュレータがバイパスされIC電力のオン/オフが行われます。また、EXTV<sub>CC</sub>が4.7Vより高くINTV<sub>CC</sub>が3.8Vより低い場合は、EXTV<sub>CC</sub>がV<sub>DD33</sub>のパワーアップを行います。このピンは6Vを超えないようにしてください。4.7μF以上の低ESRタンタルまたはセラミック・コンデンサを使用して、このピンをPGNDとデカップリングします。INTV<sub>CC</sub>の電源としてEXTV<sub>CC</sub>ピンを使用しない場合、EXTV<sub>CC</sub>ピンはGNDに接続します。電力損失を低減するためにバイアスを使用できる場合は、このピンを使用することを推奨します。

**IN<sup>+</sup> (R10) :** 電流検出アンプの正側入力。入力電流検出アンプを使用しない場合、このピンはIN<sup>-</sup>ピンとV<sub>INS3</sub>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。

**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・ロジック出力。出力がUVおよびOVレギュレーション・ウィンドウを外れると、グラウンドに引き下げられます。出力は、100μsの内部フィルタによってデグリッチされます。アプリケーション内では3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。

**V<sub>OSNS</sub><sup>+</sup>\_C0 : (R12) :** チャンネル0の正側差動電圧検出入力。  
V<sub>OSNS</sub><sup>+</sup>\_C0は、V<sub>OSNS</sub><sup>-</sup>\_C0と共に使用することで、V<sub>OUTC0</sub>のPOL (Point of Load)におけるV<sub>OUTC0</sub>出力電圧をケルビン検出して、チャンネル0の帰還ループに差動帰還信号を直接提供します。V<sub>OUTC0</sub>の目標レギュレーション電圧は、シリアル・バスによって指定します。V<sub>INS3</sub> パワーアップ時におけるその初期値は、NVM (不揮発性メモリ)の内容によって決定されます(出荷時のデフォルト値: 1.000V)。あるいは、設定抵抗によって指定することも選択できます。V<sub>OUTC0</sub>\_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。

**SWC0, SWC1 (T10-T13), (T4-T7) :** チャンネル0およびチャンネル1のスイッチング・ノード。テストまたはEMI吸収のために使用します。

## 4:1 分圧器のブロック図

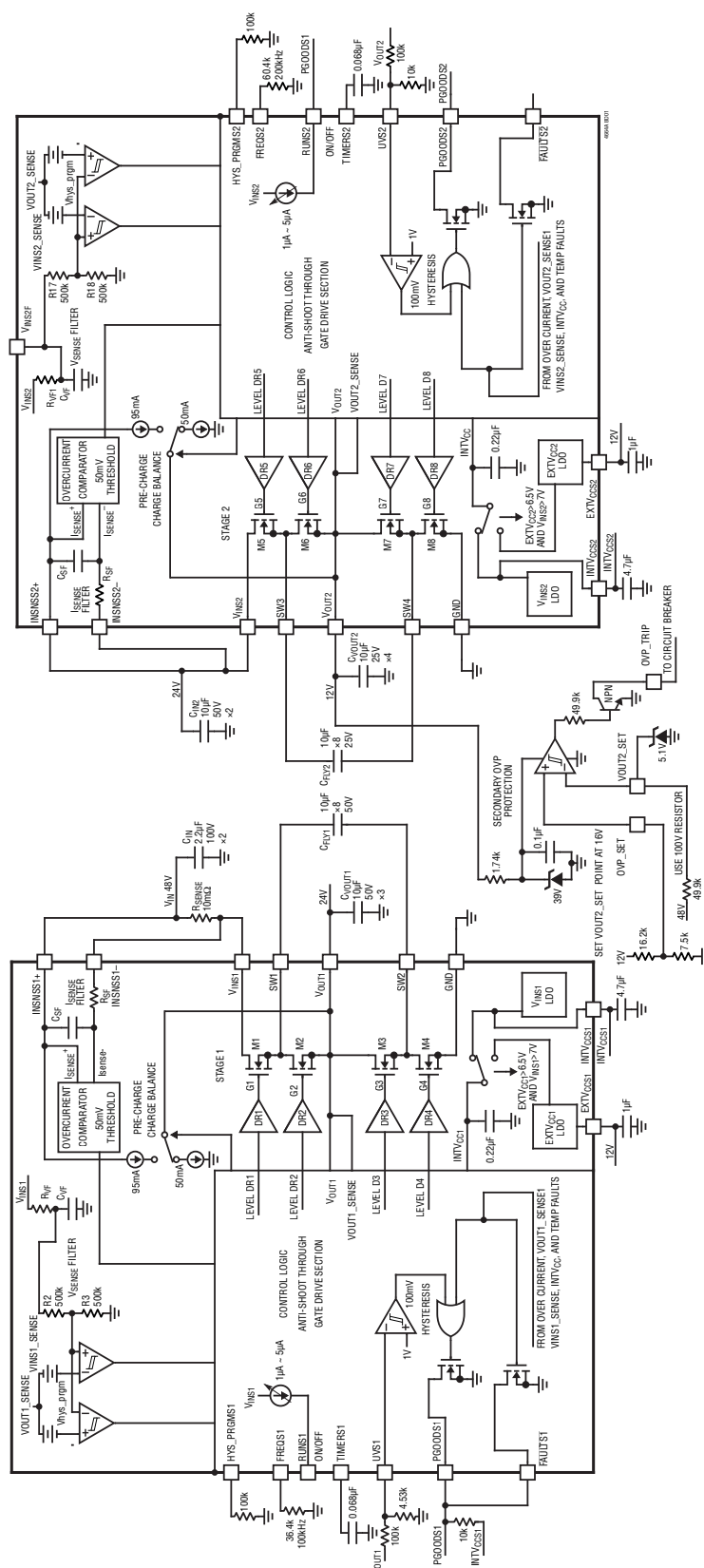


図 1. LTM4664A 4:1 分圧器の簡略化したブロック図

## デュアル25A/30Aパワー・システム・マネージメントのブロック図

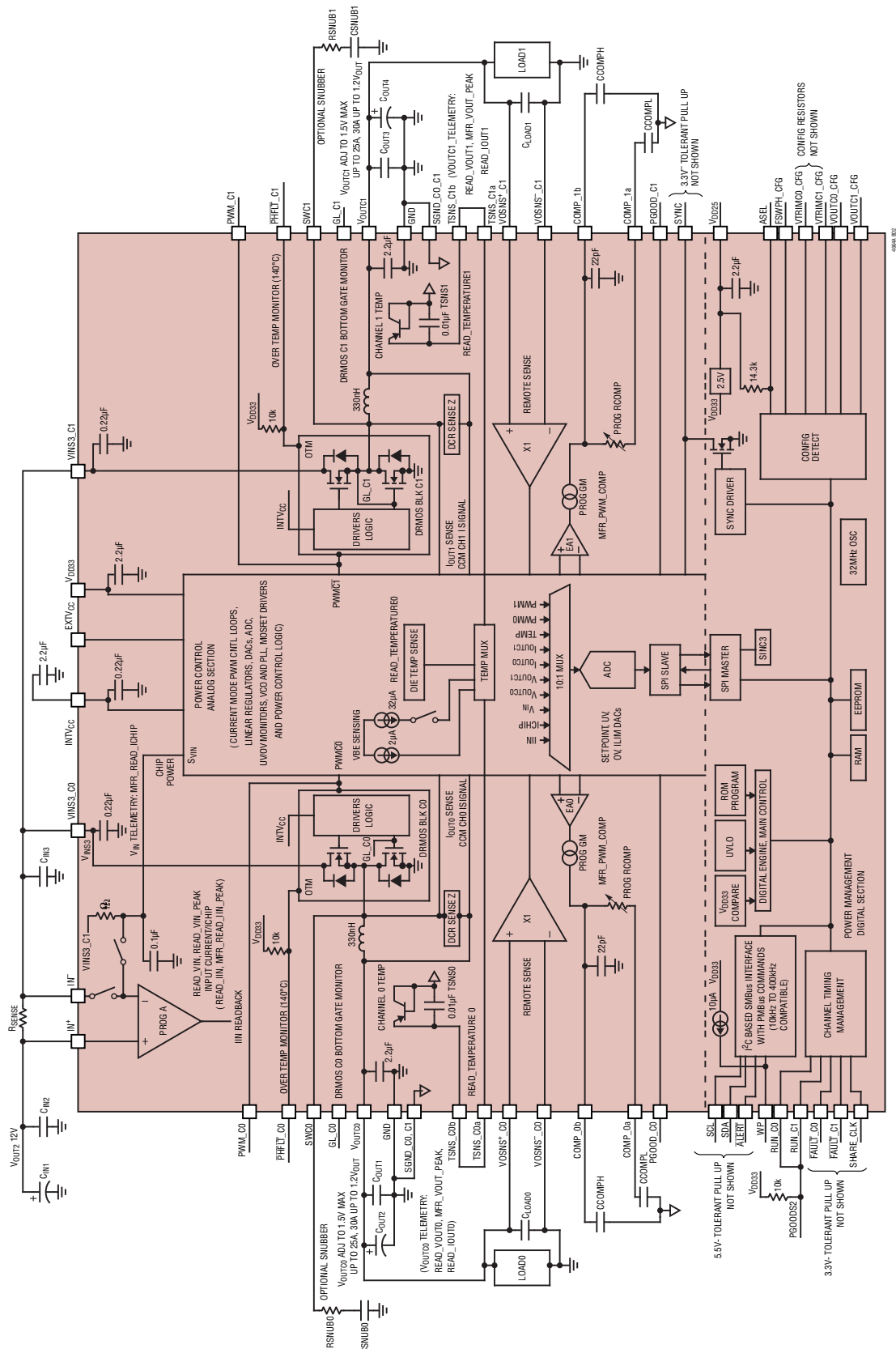


図2. LTM4664A PSM セクションのデュアル・チャンネル25A/30A PSM のブロック図

## 4:1 分圧器動作

### 4:1 分圧器の概要

LTM4664A は高性能の4:1 スイッチド・キャパシタ分圧器を内蔵しています。この分圧器は30V～58Vの範囲にわたる入力電圧を4分の1にします。その後この4:1分圧器は、デュアル25A/30A PMBusに対応したコア電源レールに電力を供給します。このレールによりチャンネルあたり、0.5V～1.5V (最大25A) および0.5V～1.2V (最大30A) にレギュレーションされます。LTM4664A 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。

### メイン制御

LTM4664A に内蔵の4:1 分圧器は、高電圧の降圧を行うために、2種類の一定周波数とオープンループ・スイッチド・キャパシタ/チャージ・ポンプ段を使用します。変換効率はステージ1で約99%、ステージ2で約98.6%と非常に高い値となっています。ブロック図については図1を参照してください。ステージ1の定常状態動作では、NチャンネルMOSFETのM1およびM3が同位相でオン/オフします。この場合、デューティ・サイクルは50%、スイッチング周波数は事前にプログラムされた100kHzです。NチャンネルMOSFETの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・ドライブの波形は図3に示すとおりです。

位相1ではM1およびM3がオンになり、フライング・コンデンサC<sub>FLY1</sub>はC<sub>OUT1</sub>と直列に配置されます。位相2ではM2およびM4がオンになり、C<sub>FLY1</sub>はC<sub>OUT1</sub>と並列に配置されます。V<sub>OUT1</sub>の電圧は、常にMOSFET M1のドレインの最高電圧の半分に近く(GNDピン基準)、定常状態にあります。また、出力のインピーダンスが非常に低いため、負荷変動の影響は受けません。ステージ2はまったく同じように動作しま

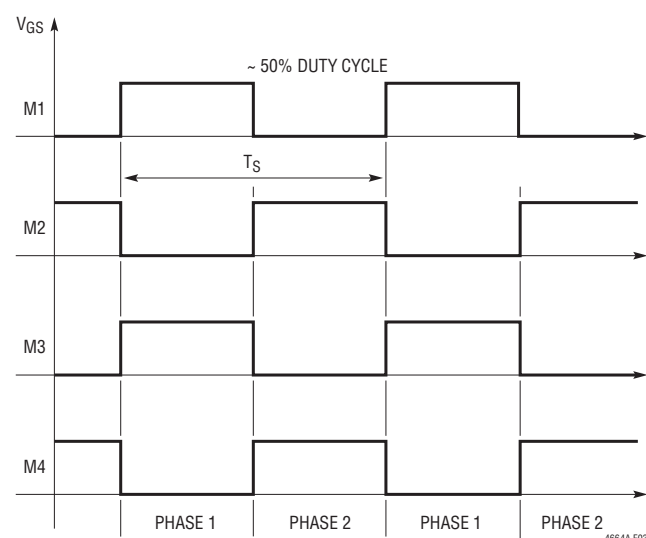


図3. ステージ1のMOSFETのスイッチング波形

す。NチャンネルMOSFETのM5およびM7が同位相でオン/オフし、デューティ・サイクルは50%、スイッチング周波数は事前にプログラムされた300kHzです。NチャンネルMOSFETの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<sub>INS1</sub>に接続され、V<sub>OUT1</sub>はV<sub>INS2</sub>に直接接続されます。LTM4664Aのフロント・エンド分圧器段は、クローズドループ帰還システムを使用して出力電圧をレギュレーションするわけではありません。しかし、V<sub>OUT</sub>ピンの過電圧や低電圧、過電流イベント、過熱保護イベントなどのフォルト状態が発生した場合には、スイッチングを停止します。

V<sub>OUT2</sub> (V<sub>INS1</sub>/4)はV<sub>INS3</sub>\_C<sub>n</sub>に接続され、これがデュアル25A/30A PMBusチャンネルの入力となります。これについては、[デュアル25A/30Aの動作](#)のセクションで詳しく説明します。二次的なフォルト保護コンパレータが備わっており、過電圧に対応できるようV<sub>OUT2</sub>をモニタするために使用できます。これについては、[アプリケーション](#)のセクションで詳しく説明します。LTM4664Aは、定常状態に達した後数ミリ秒以内に变化するような急激な入力電圧変動のある30V～58Vの入力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<sub>CCS1,2</sub>/EXTV<sub>CCS1,2</sub>の電力

クワッドNチャンネルMOSFETドライバやその他の大半の内部回路の電力は、INTV<sub>CCSn</sub>ピンから供給されます。通常、図1に示すように、5.5Vの内蔵リニア電圧レギュレータが、V<sub>INS1</sub>またはV<sub>INS2</sub>からINTV<sub>CCS1, 2</sub>の電力を供給しています。これらのどちらの入力電源も入力電圧が高く、LDOの電圧降下により電力損失が増加します。EXTV<sub>CCS1,2</sub>ピンに電源を外付けすることで5.5Vリニア電圧レギュレータを追加して、EXTV<sub>CCS1,2</sub>ピンからINTV<sub>CCS1,2</sub>の電力を供給することもできます。このより効率的な二次レギュレータを使用するには、V<sub>INS1,2</sub>が7Vより高くEXTV<sub>CCS1,2</sub>ピンの電圧が6.5Vより高いことが必要です。EXTV<sub>CCSn</sub>ピンは40Vを超えることのないようにしてください。図1では、起動後のLDOの電力損失を下げるために、EXTV<sub>CCS1</sub>とEXTV<sub>CCS2</sub>の両方にV<sub>OUT2</sub>による電源(12V)が接続されています。これらはそれぞれ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<sub>CCSn</sub>ピンとGNDピンのすぐ近くに追加することを強く推奨します。MOSFETゲート・ドライバに必要な高過渡電流を供給するには、良好なバイパスが必要です。



## 4:1 分圧器動作

高い周波数で駆動されるパワーMOSFETと共にこれらの高入力電圧を使用すると、LTM4664Aの最大ジャンクション温度定格を超えてしまう可能性があります。ゲートの充電電流によって決まるINTV<sub>CCSn</sub>電流は、V<sub>INSn</sub>からの5.5Vリニア電圧レギュレータまたはEXTV<sub>CCSn</sub>からのリニア電圧レギュレータによって供給できます。EXTV<sub>CCSn</sub>ピンの電圧が6.5V未満の場合は、V<sub>INSn</sub>からのリニア電圧レギュレータが作動します。この場合の内部コントローラの消費電力が最大で、V<sub>INSn</sub>・IINTV<sub>CCSn</sub>になります。ゲート充電電流は動作周波数によって異なります。そのため、EXTV<sub>CCS1,2</sub>ピンに電力を供給するにはV<sub>OUT2</sub>の電圧を使用することを強く推奨します。

### 起動およびシャットダウン

LTM4664Aの各分圧器ステージは、そのRUNSピンが1.1V未満にプルダウンされている場合はシャットダウン・モードになります。このモードでは、INTV<sub>CCS1,2</sub>レギュレータを含むほとんどの内部回路がオフになり、4:1分圧器の消費電流はステージあたり200μA未満です。シャットダウン時にはすべてのゲート・ドライバは動的にローに引き下げられ、外部パワーMOSFETをオフにします。RUNS1、2をリリースすると、1μAの内部電流によってRUNSピンがプルアップされ、コントローラ段がイネーブルされます。RUNS1ピンとRUNS2ピンが1.22Vを超えると、更に5μAが各ピンから流れます。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。このピンの電圧は6Vの絶対最大定格を超えないようにしてください。RUNS1ピンおよびRUNS2ピンがリリースされINTV<sub>CCS1,2</sub>の電圧がUVLOを上回ると、該当のステージが起動しV<sub>INn</sub>およびV<sub>OUTn</sub>の電圧を連続的にモニタします。LTM4664A分圧器段がスイッチングを開始するのは、V<sub>OUTn</sub>の電圧がV<sub>INSn</sub>の電圧の半分に近くなったか、V<sub>OUTn</sub>とV<sub>INSn</sub>の両方の電圧がGNDに近くなった場合に限ります。分圧器アプリケーションでは、V<sub>OUT1,2</sub>はV<sub>INS1,2</sub>の電圧の半分にプリバランスされています。LTM4664A分圧器段はコンデンサを使用して様々な初期状態で起動でき、必要に応じてバランス化が実施されます。

### フォルト保護とサーマル・シャットダウン

LTM4664A分圧器段はシステムの電圧、電流、温度をモニタしフォルトを発生します。フォルト状態が発生するとステージ1またはステージ2はスイッチングを停止し、 $\overline{\text{FAULT}}$ ピンをプルダウンします。電圧フォルトを解除するには、V<sub>OUTn</sub>ピンの電圧がV<sub>INSn</sub>の電圧の約半分に設定されたウィンドウの範囲内になるか、V<sub>INSn</sub>の電圧が1Vより低くかつV<sub>OUTSn</sub>の電圧が0.5Vより低くなる必要があります。電流フォルトを解除するには、INSNSn<sup>+</sup>ピンからINSNSn<sup>-</sup>ピンへの電圧低下が50mV未満になる必要があります。温度フォルトを解除するには、ICの温度が165°C未満になる必要があります。 $\overline{\text{FAULT}}$ ピンは外付け抵抗により最大60Vまで引き上げることができます。このピンを使用して、フォルト状態の間に入力と出力を分離する切断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・サイド電流検出

過電流保護のために、LTM4664Aでは検出抵抗R<sub>SENSE</sub>を使用して電流をモニタしています。検出抵抗は最上部MOSFET M1のドレインに配置する必要があります。具体的な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はパルス電流で、そのピーク値は平均の負荷電流よりはるかに大きいものとなります。I<sub>SENSE</sub><sup>-</sup>ピンに内蔵された、時定数がスイッチング周波数よりも低いRCフィルタを使用すると、高精度の平均電流保護を設定できます。過電流保護が不要な場合は、I<sub>SENSE</sub><sup>+</sup>ピンとI<sub>SENSE</sub><sup>-</sup>ピンを短絡し、それらを上側MOSFET M1のドレインに直結します。ステージ1では既に電流フォルトをモニタしているため、これはステージ2で行います。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。低周波数動作ではMOSFETのスイッチング損失が低下するため効率は増加しますが、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ために、より大きな容量が必要になります。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ピンから高精度の10μAの電流が流れているため、GNDとの間に1個の抵抗を接続してコ

## 4:1 分圧器動作

ントローラのスイッチング周波数を設定できます。FREQSn ピンの電圧は抵抗に 10μA の電流を乗じた値です (例えば、FREQSn ピンと GND の間に 100k の抵抗がある場合の電圧は 1V です)。FREQSn ピンの電圧とスイッチング周波数の関係を示すグラフを以下に示します。最適な効率の場合、ステージ 1 は 100kHz、ステージ 2 は 200kHz で動作します。図 4 を参照してください。

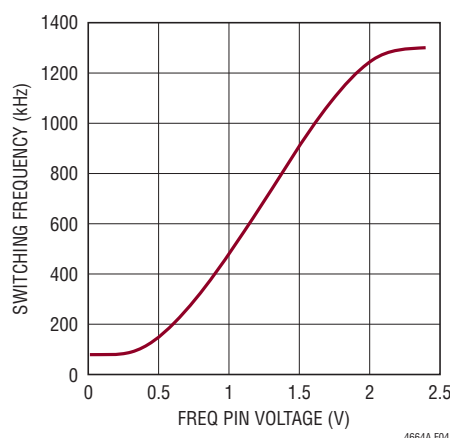


図 4. スwitchング周波数と FREQ ピンの電圧の関係

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

## パワー・グッドおよび UV (PGOODSn ピンおよび UVSn ピン)

UVSn ピンの電圧が 1V 未満の場合、PGOODSn ピンはローに引き下げられます。また、RUNSn ピンがロー、または LTM4664A 分圧器段が起動中の場合にも、PGOODSn はローになります。LTM4664A の分圧器段がスイッチング中で UVSn ピンが 1V を超えている場合にのみ、PGOODSn ピンはリリースされます。UVSn ピンがローになると直ちに PGOODSn ピンはパワー・バッドをフラグします。ただし、UVSn が 1V を超えている場合は、20μs の内部パワー・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り、INTVCC に引き上げられます。UVS1 ピンを使用すると適切なレギュレーションを行うために VOUT1 のレベルをモニタできます。また、PGOODS1 信号を使用するとステージ 2 の RUNS2 ピンのシーケンスを行うことができます。PGOODS2 を使用するとその下段にあるデュアル 25A/30A レギュレータのシーケンスを行うことができます。UV ピンを適切に構成して特定のレギュレーション・ポイントを設定すると、出力電圧がその値になった場合に PGOODn がリリースされます。図 1 のブロック図を参照してください。

## 追加過電圧保護

OVP\_SET、VOUT2\_SET、OVP\_TRIP の各ピンを使用すると、VOUT2 の電圧をモニタして過電圧フォルトを発することができます。これらのピンは図 46 の回路と組み合わせて使用し、4:1 分圧器のフォルト保護内およびそれを上回る二次 OVP 保護を提供できます。この機能は、入力パワーをオフにして低電圧の出力を更に保護するために使用できます。

## 4:1 分圧器のアプリケーション情報

図1のブロック図に示した代表的なアプリケーションは4:1分圧器回路です。最初のステージの分圧器では、VINS1の入力電圧は最上部のMOSFET M1のドレインに印加され、出力電圧はMOSFET M2のソースおよびMOSFET M3のドレインに接続されたVOUT1ピンに印加されます。出力電圧は、定常状態の場合、入力電圧のおよそ半分になります。2番目のステージの分圧器では、VINS2の入力電圧は最上部のMOSFET M5のドレインに印加され、出力電圧はMOSFET M6のソースおよびMOSFET M7のドレインに接続されたVOUT2ピンに印加されます。これにより4:1分圧器が完成します。

分圧器アプリケーションでは、負荷電流が起動より前に印加された場合、または、重い抵抗性負荷がVOUT<sub>n</sub>ピンに接続されている場合、プリバランス回路の駆動電流が制限されるために分圧器段が起動できない場合があります。

そのため、ステージ2のRUN2ピンのシーケンスを行うためにPGOODS1信号を使用し、デュアル25A/30Aレギュレータを動作させるためにPGOODS2ピンを使用することができます。

### スイッチング前の分圧器プリバランス

分圧器アプリケーションでは、VOUT<sub>n</sub>の電圧は定常状態において常に概ねVINS<sub>n</sub>/2になる必要があります。フライング・コンデンサ(CFLY<sub>n</sub>)とVOUT<sub>n</sub>のコンデンサの電圧値は互いに非常に近く、かつ、入力電圧の半分です。充電の突入電流は各スイッチング・サイクルの間、最小限に抑えられます。コンデンサ間の電圧差が小さいためです。しかし、起動時やVOUT<sub>n</sub>のGNDへの短絡などのフォルト状態時には、LTM4664Aコントローラのプリチャージング回路のような特別な充電方法を使用しないと、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きくなり、MOSFETに極めて大きな電流が流れる原因となる可能性があります。M1スイッチとM3スイッチが最初のステージでオンになり、M5とM7が2番目のステージでオンになっている場合、理想的には突入充電電流は次式で表されます。

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

最初のステージで、M2スイッチとM4スイッチがオンになっているかパワー MOSFETの飽和電流で制限されており、2番目のステージでM6とM8がオンになっている場合は、次式のようになります。

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

パワー MOSFETのR<sub>DS(ON)</sub>が非常に低い場合、突入充電電流は容易に数百アンペアに達し、MOSFETの安全動作領域(SOA)を超えてしまう場合があります。

LTM4664Aは独自のプリバランス方法を備えており、分圧器アプリケーションでの突入電流を最小限に抑えることができます。LTM4664Aのコントローラはスイッチング前にVOUT<sub>n</sub>ピンの電圧を検出して、その値を内部でVINS<sub>n</sub>/2と比較します。VOUT<sub>n</sub>ピンの電圧がVINS<sub>n</sub>/2より大幅に低い場合は、電流源からVOUT<sub>n</sub>ピンに95mAの電流が流れVOUT<sub>n</sub>ピンをプルアップします。VOUT<sub>n</sub>ピンの電圧がVINS<sub>n</sub>/2を大幅に上回る場合は、別の電流源がVOUT<sub>n</sub>ピンから50mAをシンクし、VOUT<sub>n</sub>ピンをプルダウンします。

VOUT<sub>n</sub>ピンが概ねVINS<sub>n</sub>/2で事前にプログラムされたウィンドウ内にある場合、どちらの電流源もディスエーブルされ、分圧器ステージはスイッチングを開始します。68のスイッチング・サイクルが経過し、VOUT<sub>n</sub>ピンが依然としてウィンドウ内にあれば、FAULTS<sub>n</sub>ピンがリリースされます。

プリバランス起動機能を備えた4:1分圧器のために、LTM4664Aでは、VOUT<sub>n</sub>(出力)では無負荷電流あるいは負荷の非常に小さい電流(50mA未満)を前提としています。それ以外の場合、VOUT<sub>n</sub>がVINS<sub>n</sub>/2に達することができず、LTM4664Aが起動することはありません。この無負荷状態は、PGOOD<sub>n</sub>ピンを後段の電氣的負荷のイネーブル・ピンに接続することで実現できます。抵抗性負荷のように負荷がオフに制御できない場合、標準的応用例に示すように、起動時に負荷をVOUT<sub>n</sub>から切り離すための切断されたFETが必要です。入力電源は30V~58Vの範囲にわたり動作できますが、電源の変動はスイッチング周波数よりはるかに緩やかにする必要があります。また、HYS\_PRGMS<sub>n</sub>ピンで設定されたヒステリシスを超えてはなりません。電圧変動が大きくて高速の場合、4:1分圧器はプリバランス・フェーズになります。通常、フロント・エンドの回路ブレーカがメイン入力電力



## 4:1 分圧器のアプリケーション情報

のレート変化とスルー・レートを制御し、この問題を回避します。入力電源の変化が4:1分圧器の動作周波数よりはるかに緩やかである限り、レギュレータはプリバランスを必要とせずバランスを実現することができます。

### 過電流保護

LTM4664Aの4:1分圧器には、高電圧側に配置された検出抵抗を使用する過電流保護機能があります。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INSNSS<sup>+</sup>ピンとINSNSS<sup>-</sup>ピンの電圧差をモニタします。INSNSS<sup>+</sup>ピンの電圧がINSNSS<sup>-</sup>ピンの電圧よりも50mV高い場合、過電流フォルトがトリガされ、FAULTS<sub>n</sub>ピンがグラウンドにプルダウンされます。同時に、分圧器段はスイッチングを停止し、タイマーのピン設定に基づき再試行モードを開始します。TIMERS<sub>n</sub>ピンの電圧が4Vに達し、検出抵抗の両端の電圧が50mV未満になると、過電流フォルトはクリアされます。

フライング・コンデンサの充放電の間、検出抵抗を流れる電流はパルス電流です。そのため、負荷が重い場合は電圧が50mVの閾値を超える場合があります。突入電流によって過電流保護が誤ってトリガされることのないようにするためには、INSNSS<sup>+</sup>ピンとINSNSS<sup>-</sup>ピンにRCフィルタが必要です。このRCフィルタの時定数はスイッチング周期より長くする必要があります。ほとんどのアプリケーションでは通常、100Ωと0.1μFのフィルタが適しており、このフィルタがLTM4664Aに内蔵されています。電流制限値は、異なる検出抵抗値を選択することで変えることができます。例えば、10mΩの検出抵抗を用いると、電流制限値は理論上50mV/10mΩ = 5Aとなります。スイッチング・リップルがあるため、実際の電流制限値は計算値よりも必ず小さくなります。実際の回路では、0.1μF/100Ωのフィルタと200kHzのスイッチング周波数を用いた場合、電流制限値は約4.2Aです。過電流保護を使用しない場合は、INSNSS<sup>+</sup>ピンとINSNSS<sup>-</sup>ピンを互いに短絡し、それらを図1のステージ2に示すように、上側MOSFETのドレインに接続します。ステージ1で電流制限が既に行われているため、通常ステージ2では電流制限は不要です。また、デュアル25A/30Aレギュレータにも過電流保護があり、本データシートで後述します。

### ウィンドウ・コンパレータのプログラミング

通常動作時は、V<sub>OUT<sub>n</sub></sub>の電圧は常にV<sub>INS<sub>n</sub></sub>の電圧のおよそ半分であることが必要です。フローティング・ウィンドウ・コンパレータはV<sub>OUT<sub>n</sub></sub>ピンの電圧をモニタし、それをV<sub>INS<sub>n</sub></sub>/2と比較します。ウィンドウのヒステリシス電圧はプログラム可能で、これはHYS\_PRGMS<sub>n</sub>ピンの電圧と等しくなります。HYS\_PRGMS<sub>n</sub>ピンからは10μAの高精度電流が流れます。HYS\_PRGMS<sub>n</sub>ピンとGNDの間に1個の抵抗を接続することでHYS\_PRGMS<sub>n</sub>ピンの電圧が設定されます。この電圧値は抵抗値に10μAの電流値を乗じた値に等しくなります（例えば、HYS\_PRGMS<sub>n</sub>ピンとGNDの間の抵抗が100kの場合、電圧は1V）。HYS\_PRGMS<sub>n</sub>ピンに100kの抵抗を接続した場合、V<sub>INS<sub>n</sub></sub>/2の電圧は起動時および通常動作時は(V<sub>OUT<sub>n</sub></sub> ± 1V)のウィンドウ内に収まる必要があります。そうでない場合、フォルトがトリガされ、LTM4664A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\_PRGMS<sub>n</sub>ピンの抵抗値を変えることで、0.3V～2.4Vの範囲で直線的にプログラミングできます。HYS\_PRGMS<sub>n</sub>ピンをINTV<sub>CC</sub>に接続すると、デフォルトの0.8Vのヒステリシス・ウィンドウが内部で適用されます。ヒステリシス・ウィンドウの電圧は、V<sub>OUT<sub>n</sub></sub>ピンの電圧リップルと最大負荷状態での電圧低下に耐えられるだけの大きさにプログラムする必要があります。図5を参照してください。小さな内蔵RCフィルタをこれらの2つのピンに使用すると、スイッチング周波数より高い周波数のノイズを除去できます。

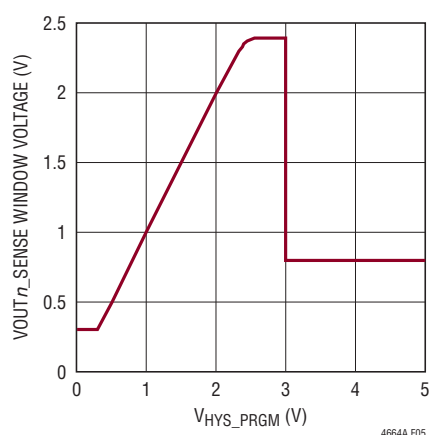


図5. HYS\_PRGMピンの電圧と  
V<sub>OUT<sub>n</sub></sub>\_SENSEウィンドウ・コンパレータの電圧の関係



## 4:1 分圧器のアプリケーション情報

### 有効オープン・ループ出力抵抗と負荷レギュレーション

LTM4664A の分圧器段は、クローズドループ帰還システムを使用して出力電圧をレギュレーションするわけではありません。しかし、一定量のフライング・コンデンサと高スイッチング周波数で動作する場合、出力抵抗が小さいため、出力電圧は負荷条件の影響を受けません。分圧器回路のテブナン等価回路を図6に示します。

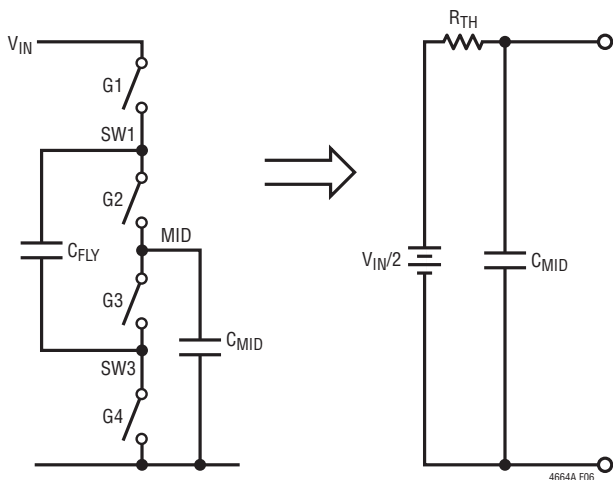


図6.

デューティ・サイクルが約50%の場合、次式が成り立ちます。

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

ここで、

$f_s$  はスイッチング周波数、

$C_{FLY}$  はフライング・コンデンサの容量、

$R_{DS(ON)}$  は MOSFET1 個のオン抵抗です。

スイッチング周波数が低い場合、 $R_{TH} = 1/(4f_s C_{FLY})$  となります。周波数が増加するにつれ、 $R_{TH}$  は最終的に  $2R_{DS(ON)}$  に近づきます。高出力のアプリケーションでは、一定水準の負荷レギュレーションと効率を維持するため、スイッチング周波数を概ね  $1/(16C_{FLY} R_{DS(ON)})$  以上に設定することが推奨されます。重負荷条件では、出力電圧は  $V_{INSn}/2$  よりも  $R_{TH} \cdot$

$I_{LOAD}$  だけ低下します。多くのアプリケーションでは、多層セラミックコンデンサ (MLCC) がフライング・コンデンサとして選択されます。MLCC コンデンサの電圧係数は、コンデンサの種類やサイズによって異なります。通常、サイズの大きな X7R 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。それでも、DC バイアス電圧が高い場合、容量は 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見積もる際には、容量のデレーティングを考慮する必要があります。

### 低電圧ロックアウト

LTM4664A の分圧器段には高精度の UVLO コンパレータがあり、 $INTV_{CCSn}$  の電圧を継続的にモニタして、ゲート駆動電圧が適切であることを確認します。 $INTV_{CCSn}$  が 4.9V 未満になるとスイッチング動作は停止します。 $INTV_{CCSn}$  に擾乱がある場合の振動を抑えるため、UVLO コンパレータには 200mV の高精度のヒステリシスがあります。低電圧状態を検知するもう 1 つの方法は、入力電源をモニタすることです。 $RUN$  ピンには 1.22V の高精度ターンオン・リファレンスがあるため、この  $V_{INSn}$  に接続した抵抗分圧器を使って、入力電圧の電圧が十分に高くなったときにステージをオンにできます。 $RUNSn$  ピンの電圧が 1.22V を超えると、更に 5μA の電流が  $RUN$  ピンから流れます。 $RUNSn$  コンパレータのヒステリシスは、抵抗分圧器の値を調整することでプログラムできます。

### フォルト応答とタイミングのプログラミング

フォルト状態の間、LTM4664A の分圧器段はスイッチングを停止し、 $\overline{FAULTSn}$  ピンをローにプルダウンします。 $TIMERSn$  ピンと GND の間に接続された容量によって、フォルト状態が解消された場合に起動するための再試行時間が設定されます。フォルト状態時の  $TIMERSn$  ピンの代表的な波形を図7に示します。

$\overline{FAULTSn}$  ピンがローに引き下げられると、3.5μA のプルアップ電流が  $TIMER$  ピンから流れ、 $TIMERSn$  のコンデンサの充電を開始します。 $TIMERSn$  ピンの電圧が 0.5V を超えるとプルアップ電流は 7μA に増加し、 $TIMERSn$  ピンの電圧が 1.2V を超えると 3.5μA に戻ります。フォルト状態が解消された場合、または、 $TIMERSn$  ピンの電圧が 4V を超えた場合は常に、 $TIMERSn$  ピンが強力にプルダウンされます。 $TIMERSn$  ピンの電圧が 0.5V~1.2V の場合、内蔵のプリバ

## 4:1 分圧器のアプリケーション情報

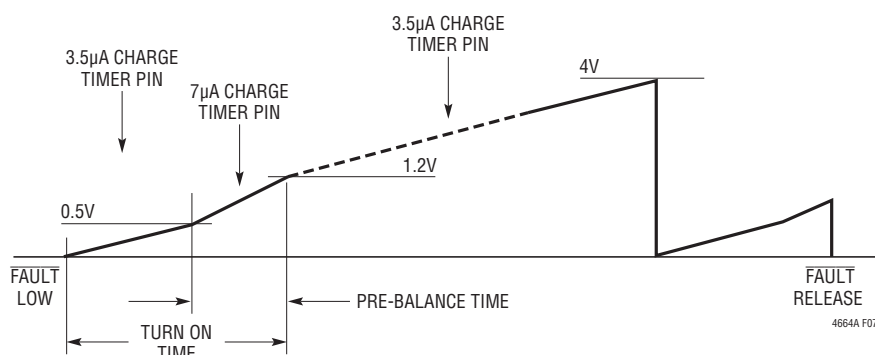


図7. フォルトまたは起動時のタイマーの動作

ランス回路が  $V_{OUTn}$  ピンとの間で電流をソースまたはシンクし、95mA/50mA の能力で  $V_{OUTn}$  ピンを  $V_{INSn}/2$  にレギュレーションします。プリバランス時間は、 $TIMERSn$  ピンのコンデンサ  $C_{TIMERSn}$  によって、 $T_{PRE-BALANCE} = C_{TIMER} \cdot 0.7V/7\mu A$  と計算できます。したがって、プリバランス時間は  $100ms/\mu F$  となります (例えば  $C_{TIMER}$  が  $0.1\mu F$  の場合、プリバランス時間は  $10ms$ )。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きく、かつ入力電圧が高い場合、一定の  $C_{TIMER}$  で  $V_{OUTn}$  ピンを  $V_{INSn}/2$  にプリバランスさせるには数倍のプリバランス時間を要する場合があります。起動時間は長くなることが予想されます。初期状態がゼロの場合、コンデンサの充電時間  $\tau_{charge}$  は次式から概算できます。

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

コンデンサのおおよその値は電圧バイアスと温度で決まる値であることを念頭に置くと、この情報はコンデンサのデータシートのグラフから得ることができます。

## 入出力コンデンサとフライング・コンデンサの選択

高出力スイッチド・キャパシタ・アプリケーションでは、大きなAC電流がフライング・コンデンサと入出力コンデンサを流れます。高出力スイッチド・キャパシタ・アプリケーションには低ESRのセラミック・コンデンサを使用することを強く推奨します。

最大RMSコンデンサ電流が仕様範囲内にあることを確認してください。あるいは、これより定格の高いコンデンサを使用することが望まれます。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。そのため、コンデンサを更にデレーティングすることが賢明です。

## 設計例

LTM4664A分圧器段を使用した72Wの4:1分圧器の設計例として、ステージ1に、 $V_{INS1} = 48V$  (公称値)、 $V_{INS1} = 60V$  (最大値)、 $V_{OUT1} = 24V$  (公称値)、 $I_{OUT1} = 3A$  (最大値) を仮定します。高出力高電圧アプリケーションでは、スイッチング損失を抑えるため、常に低スイッチング周波数 (例えば  $100kHz$ ) から開始します。ステージ1のスイッチング周波数を  $100kHz$  に設定するには、 $36.5k$  の1%抵抗を  $FREQS1$  ピンとグラウンドの間に接続します。効率と電力密度のトレードオフを考慮して、 $C_{FLY1}$  の電圧リップルを出力電圧の2%となるように設定することが良い開始点となります。 $C_{FLY1}$  は次式に基づいて計算できます。

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

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

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

バイアス電圧が24VDCの場合のセラミック・コンデンサのデレーティングを考慮し、8個の  $10\mu F/X7R/50V$  セラミック・コンデンサをフライング・コンデンサとして並列に配置します。

72Wの4:1分圧器の設計例として、ステージ2には、 $V_{INS2} = 24V$  (公称値)、 $V_{IN} = 30V$  (最大値)、 $V_{OUT2} = 12V$  (公称値)、 $I_{OUT2} = 6A$  (最大値) を仮定します。ステージ2では、スイッチング損失を抑えるために  $200kHz$  のスイッチング周波数から開始します。スイッチング周波数を  $200kHz$  に設定するには、 $60.4k$  の1%抵抗を  $FREQS2$  ピンとグラウンドの間に接続します。効率と電力密度のトレードオフを考慮して、 $C_{FLY2}$

## 4:1 分圧器のアプリケーション情報

の電圧リップルを出力電圧の2%となるように設定することが良い開始点となります。C<sub>FLY2</sub>は次式に基づいて計算できます。

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

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

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

バイアス電圧が12VDCの場合のセラミック・コンデンサのデレーティングを考慮し、8個の10μF/X7R/50Vセラミック・コンデンサをフライング・コンデンサとして並列に配置します。

24Vおよび12V DCのバイアス電圧でのセラミック・コンデンサのデレーティングを考慮してください。

最も厳しいケースでは、RMS電流が最大出力電流より40%大きくなる場合があります。そのため、各コンデンサの最も厳しいケースのRMSは次式から推定できます。

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

N = # of C<sub>FLY1</sub> capacitor s in parallel in stage1

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

Each capacitor is rated for 2A IRMS, no issue

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

N = # of C<sub>FLY1</sub> capacitor s in parallel in stage1

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

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。コンデンサの出力が大きいと出力電圧リップルは小さくなります。出力コンデンサの電流はCFLY RMS電流の1/3未満であるため、出力コンデンサはフライング・コンデンサよりかなり小さくできます。出力コンデンサの一部は入力と出力の間に接続することで、入力コンデンサとしても機能させることができます。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

CAPACITOR VENDOR	VALUE (μF)	VOLTAGE (V)	PART NUMBER
Murata	10	50	GRM32ER71H106KA12
TDK	10	50	C3225X7R1H106M250AC
Murata	22	25	GRM32ER71G226KE15L
Taiyo Yuden	22	25	TMK325BJ226MMHT

## デュアル25A/30A PSMの動作

LTM4664Aのパワー・システム・マネージメント(PSM)には、設定自由度が高いデュアル25A/30A出力のスタンドアロン非絶縁型スイッチング・モード降圧DC/DC電源が内蔵されています。この電源には、ECC機能を備えたEEPROM NVM(不揮発性メモリ)と、400kHzのSCLバス速度に対応できるI<sup>2</sup>CベースのPMBus/SMBus 2線式シリアル通信インターフェースが備わっています。いくつかの入力コンデンサと出力コンデンサ、およびブルアップ抵抗を外付けすることによって、2つの出力電圧(V<sub>OUTC0</sub>とV<sub>OUTC1</sub>、合わせてV<sub>OUTn</sub>と表記)をレギュレーションできます。入出力電圧と入出力電流のリードバック遠隔測定データおよびモジュール温度が、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。多くのフォルト閾値とフォルト応答はカスタマイズ可能です。フォルト発生時にデータを自動的にEEPROMに保存することができるので、得られたフォルト・ログを後にI<sup>2</sup>C経由で読み出し、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

主な機能を以下に示します。

- 専用のパワー・グッド・インジケータ
- 入力電流とチップ電流の直接検出
- プログラマブルなループ補償パラメータ
- T<sub>INIT</sub> 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つのパラメータの高速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)
- 両チャンネル(V<sub>OUT0</sub>/V<sub>OUT1</sub>)の完全差動出力検出、どちらも1.5Vまでプログラム可能
- EXT<sub>VCC</sub>によるEEPROMの起動とプログラム
- 最大入力電圧: 18V
- ΔV<sub>BE</sub>による温度検出
- SYNC競合回路(詳細については周波数と位相のセクションを参照)
- フォルト・ログ
- プログラマブルな出力電圧

- プログラマブルな入力電圧オン／オフ閾値電圧
- プログラマブルな電流制限(チャンネルごと)
- プログラマブルなスイッチング周波数
- プログラマブルなOV／UV閾値電圧
- プログラマブルなON／OFF遅延時間
- プログラマブルな出力立上がり／立下がり時間
- 同期PolyPhase動作フェーズ・ロック・ループ(2、3、4、または6フェーズ)
- ECC付き不揮発性設定メモリ
- 重要な動作パラメータのための外付け設定抵抗(オプション)
- 複数のコントローラを同期するためのタイム・ベース・インターコネクト(オプション)
- 内部設定保護用のWPピン
- ユーザ設定後はスタンドアロンで動作
- PMBus、バージョン1.2、400kHz対応のインターフェース

PMBusインターフェースを介し、システム動作中に以下を含む重要なパワー・マネージメント・データへアクセスできます。

- 内部コントローラの温度
- 内部パワー・チャンネルの温度の平均出力電流
- 平均出力電圧
- 平均入力電圧
- 平均入力電流
- V<sub>IN</sub>からの平均チップ入力電流
- ラッチ状態および非ラッチ状態の個々のフォルトおよび警告のステータスを設定可能

個々のチャンネルへのアクセスは、PAGEコマンド(つまりPAGE 0またはPAGE 1)を使いPMBusを介して行います。

フォルト・レポート動作とシャットダウン動作は自由に設定できます。2つのFAULT<sub>C0</sub>とFAULT<sub>C1</sub>が個別に出力され、どちらも個別にマスクできます。



## デュアル25A/30A PSMの動作

ALERTおよびPGOOD\_C0/PGOOD\_C1の各機能用に3つの専用ピンが備わっています。また、シャットダウン動作でもすべてのフォルトを個別にマスクすることができ、非ラッチ・モード(ヒカップ・モード)またはラッチ・モードのどちらでも動作させることができます。

個々のステータス・コマンドを使用すれば、シリアル・バスを介したフォルト・レポートによって具体的なフォルト・イベントを確認できます。フォルトまたは警告の検出には以下が含まれます。

- 出力低電圧／過電圧
- 入力低電圧／過電圧
- 入力および出力過電流
- 内部過熱
- 通信、メモリ、またはロジック(CML)フォルト

## ECC機能付きEEPROM

LTM4664A PSMデュアル25A/30AレギュレータにはECC(誤り訂正符号)機能付きEEPROMが内蔵され、ユーザ構成の設定値やフォルト・ログ情報を保管できます。EEPROMの書換え回数、データ保持期間、一括書込み動作時間は、[電気的特性](#)のセクションと[絶対最大定格](#)のセクションで仕様規定されています。T<sub>J</sub> = 85°Cを超える温度でも書込みは可能ですが、電気的特性は確保されずEEPROMも劣化します。読出し動作については、-40°C～125°Cの温度範囲内であればEEPROMが劣化することはありませんが、85°Cを超える温度でEEPROMへの書込みを行うとデータ保持特性が低下します。フォルト・ログ機能は、高温時に発生するシステムの問題をデバッグする際に有用ですが、書込み先はEEPROMのフォルト・ログ位置に限られます。これらのレジスタへの書込みを85°Cを超える温度で行った場合でも、その頻度がそれほど高くなければ、フォルト・ログのデータ保持特性の劣化はわずかで、この機能の有用性が失われることはありません。

ダイ温度が85°Cを超えた場合は、EEPROMへの書込みを行わないことを推奨します。ダイ温度が130°Cを超えると、LTM4664AのPSM(以下LTM4664A PSMと表記)はEEPROMへの書込み動作をディスエーブルします。ダイ温度が125°C未満に低下すると、すべてのEEPROM書込み動作が再びイネーブルされます(ダイ温度が内部過熱フォルト・リミットの160°Cを超えた場合、コントローラは10°Cのヒステリシスを設けた上ですべてのスイッチングもディスエーブルします)。

125°Cを超える温度でのEEPROM保持期間の劣化の程度は、次式を使って無次元の加速係数を計算することにより、推定できます。

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

ここで、

AF = 加速係数

E<sub>a</sub> = 活性化エネルギー = 1.4eV

K = 8.617 • 10<sup>-5</sup> eV/°K

T<sub>USE</sub> = 125°C(仕様に規定されたジャンクション温度)

T<sub>STRESS</sub> = 実際のジャンクション温度(°C)

例:例えば、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は、次のように計算できます。

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

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

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

125°Cでの等価動作時間は16.6時間になります。

したがって、130°Cのジャンクション温度で10時間動作させた場合、EEPROMの総データ保持期間は16.6時間短くなります。125°Cの最大ジャンクション温度におけるEEPROMの総データ保持期間の定格値は87,600時間で、それと比較すると、この過負荷状態による影響はごくわずかです。

内蔵EEPROM全体の完全性は、パワーオン・リセット後やRESTORE\_USER\_ALLコマンドの実行後など、メモリのデータを読み込むごとにCRCを計算することによってチェックされます。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ビットがセットされ、更にSTATUS\_MFR\_SPECIFICコマンドのEEPROM CRC Errorビットがセットされて、ALERTピンとRUNピンがローになります(PWMチャンネルはオフ)。この時点でデバイスは特別なアドレス0x7Cだけで応答しますが、このアドレスは無効なCRCが検出されたときだけアクティブになります。デバイスは、グローバル・アドレス0x5Aと0x5Bでも応答しますが、CRCに関する問題からの回復時にこれらのアドレスを使用することは推奨できません。無効なCRCをレポートしているデバイスのいずれかのPWMチャンネルに関連する電源レールはすべて、その問題が解決されるまでディスエーブルのままにしておく必要があります。LTM4664A PSMもサポートしているEEPROMの一括プログラミングを含め、効率的なシステム内EEPROMのプログラミングの詳細については、[ア](#)



## デュアル25A/30A PSMの動作

[アプリケーション情報](#)のセクションを参照するか、アナログ・デバイスへお問い合わせください。

LTM4664A PSMはデュアル固定周波数電流モード制御降圧レギュレータ(チャンネル0およびチャンネル1)、その内蔵パワー MOSFETは高速スイッチングが可能です。NVMの出荷時デフォルト・スイッチング周波数はSYNCに350kHzのクロックを使用しており、レギュレータのスイッチング周波数は、この周波数と同期します。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がSYNCクロックの周波数(スイッチング周波数)を設定し、更にSYNC信号の立下がりエッジを基準にしてチャンネル間の互いのチャンネル位相関係を設定します(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、抵抗によるピンのプログラミングで決定できます。[表3](#)を参照してください。抵抗とピンの接続(ストラップ)では行えない設定は、LTM4664A PSMのNVMを設定することによって行います)。FSWPH\_CFGのピンストラップ抵抗でLTM4664A PSMのチャンネルの位相関係を設定した場合、そのモジュールがSYNCクロックを駆動することはありません。この場合、SYNCは完全な高インピーダンス入力になり、チャンネルのスイッチング周波数は外部で生成されたクロックによって供給されるSYNCか、V<sub>DD33</sub>にプルアップ抵抗が接続された他のLTM4664Aによって供給されるSYNCに同期されます。スイッチング周波数と位相関係はI<sup>2</sup>C インターフェースを介して変更できますが、変更できるの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のレギュレーションも行っていないときに限られます。詳細については[デュアル25A/30A 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からチャンネル1までのアナログ帰還ループ補償はプログラム可能ですが、実際にこれを行うには、COMP\_C0a、1aとSGNDの間、および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、範囲をプログラムできるg<sub>m</sub>アンプ出力です。また、COMP\_C0a、1aピンは抵抗の範囲がプログラム可能である他に、SGNDとの間にコンデンサを置くことで周波数補償を設定することができます。[プログラマブル・ループ補償](#)のセクションを参照してください。LTM4664A デュアル25A/30Aレギュレータのモジュールは、オールセラミックMLCCを含む様々な出力コンデンサを使用することで、十分にマージンを持たせた安定性と良好なトランジェント性能を実現します。多くの一般的動作条件に推奨される入力および出力コンデンサと、プログラマブルな補償設定に関するガイダンスを[表12](#)に示します。アナログ・デバイスサイズのLTpowerCADツールは、トランジェント

解析や安定性解析に利用できます。また、経験豊富なユーザであれば、このツールでモジュールの帰還ループ補償パラメータを調整することも可能です。

### パワーアップと初期化

LTM4664Aのデュアル25A/30Aレギュレータは、スタンドアロンの電源シーケンシングと、制御されたターンオンおよびターンオフ動作を行えるように設計されています。4.5V~16Vの範囲のシングル入力電源によって動作し、3つの内蔵リニア電圧レギュレータが2.5V、3.3V、5.5Vの内部電圧を生成します。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。この場合、V<sub>IN</sub>を約4Vにする必要があります。5.5V、3.3V、2.5Vのリニアレギュレータはレギュレーション電圧値の約20%以内でなくてはなりません。電源の他に、PMBusのRESTORE\_USER\_ALLコマンドまたはMFR\_RESETコマンドでもデバイスを初期化できます。

EXTV<sub>CC</sub>ピンは外部レギュレータで駆動され、V<sub>INS3</sub>が高い場合に回路の効率を向上し、電力損失を抑えることができます。EXTV<sub>CC</sub>ピンによってINTV<sub>CC</sub> LDOを作動させるには、予めEXTV<sub>CC</sub>ピンが約4.7Vを超え、なおかつV<sub>INS3</sub>が約7Vを超えていなければなりません。アプリケーションの消費電力を抑えるために、EXTV<sub>CC</sub>ピンにスイッチング・レギュレータで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はローに保持されます。LTM4664Aのデュアル25A/30Aレギュレータは[表1](#)から[表5](#)までの内容を使い、抵抗によって定義されるパラメータを決定します。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。これらの抵抗設定ピンが制御するのは、コントローラの一部のプリセット値だけです。残りの値は出荷時にNVMにプログラムされているか、ユーザがNVMにプログラムします。

設定抵抗が挿入されていない場合、またはRCONFIG無視ビット(MFR\_CONFIG\_ALL設定コマンドのビット6)がアサートされている場合、LTM4664A PSMはNVMの内容だけを使ってDC/DC特性を決定します。ピンがオープン状態の場合を除き、パワーアップ時またはリセット時に読み出されたASEL値の値は常に有効です。ASELは下位4ビットを設定し、上位ビットはNVMによって設定されます。詳細は、[デュアル25A/30A 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/30A PSMの動作

デバイスの初期化が完了すると、もう1つのコンパレータが  $V_{INS3}$  をモニタします。出力電源のシーケンシングを開始するには、 $V_{IN\_ON}$  の閾値を超えている必要があります。 $V_{IN}$  が初めて印加されてからデバイスが  $TON\_DELAY$  タイマーを初期化して始動させるまでに通常は70ms かかり、電圧と電流のリードバックには更に0ms~90msかかることがあります。

### ソフトスタート

以下に示す起動シーケンシングの方式は時間基準です。デバイスは、ソフトスタート前に動作状態になっている必要があります。4:1 分圧器のステージ2は、 $UV_{S2}$  で設定されたプログラム値が定義するレギュレーション値に達し、 $\overline{FAULTn}$  がリリースされると、 $RUN\_C0$  と  $RUN\_C1$  をリリースします。 $RUN\_Cn$  ピンが LTM4664A PSM によってリリースされるのは、デバイスが初期化され  $V_{INS3}$  が  $V_{IN\_ON}$  閾値を超えた後です。アプリケーションで複数の LTM4664A PSM が使われている場合は、すべてのデバイスが初期化され、その  $V_{INS3}$  が  $V_{IN\_ON}$  の閾値を超えるまで、各デバイスはその  $RUN\_Cn$  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すべてのデバイスが確実に同じタイム・ベースを使用するようにします。 $SHARE\_CLK$  ピンは、 $V_{INS3}$  が印加されてからデバイスの初期化が完了するまでローに保持されます。 $SHARE\_CLK$  がローの場合は、LTM4664A PSM をターンオフに設定する(またはオフのままにする)ことができます(MFR\_CHAN\_CONFIG のビット2を1に設定)。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デバイスを同期させることができます。一般に、チップ間の同期に注意を払う必要がある場合は、すべての  $RUN\_Cn$  ピンを互いに接続するだけでなく、 $SHARE\_CLK$  ピンもすべて互いに接続し、10k の抵抗で  $V_{DD33}$  にプルアップするのが最善の方法です。これにより、すべてのデバイスがシーケンシングを同時に開始し、なおかつ同じタイム・ベースを使うことができます。

$RUN\_Cn$  ピンのリリース後、一定の出力電圧レギュレーション状態に入る前に、LTM4664A のPSMは各25A/30Aの各出力に対し単調な初期ランプ、つまりソフトスタートを実行します。ソフトスタートでは、負荷電圧を能動的にレギュレーションしながら、デジタル処理によって対象電圧を0Vから指定電圧設定値まで増加させます。(パワーアップと初期化の完了後に) LTM4664A のデュアル25A/30Aレギュレータを起動するよう指定されると、コントローラはユーザ指定のターンオン遅延( $TON\_DELAY$ )だけ待機してから、この出力電圧ランプを開始します。この電圧ランプの立上がり時間は  $TON\_RISE$  コマンドを使ってプログラムでき、起動時の電

圧ランプに伴う突入電流を最小限に抑えることができます。ソフトスタート機能は、 $TON\_RISE$  の値を0.25ms未満に設定することでディスエーブルできます。LTM4664A の  $PWM\_Cn$  は、 $TON\_RISE$  動作時には常に不連続モードを使用します。不連続モードでは、インダクタに逆電流が流れていることが検出されると直ちに下側 MOSFET がオフになります。これにより、プリバイアスされた負荷でレギュレータを起動することができます。 $TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT$  の時間が経過すると、デバイスは連続モードに遷移します(そのようにプログラムされている場合)。 $TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT$  をゼロに設定すると時間制限は存在なくなり、デバイスは、 $TON\_RISE$  が終了して  $V_{OUT}$  が  $V_{OUT\_UV\_FAULT\_LIMIT}$  を超え、更に  $I_{OUT\_OC}$  が存在しなくなると、指定された導通モードに遷移します。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。

### 時間基準のシーケンシング

出力のオンとオフのシーケンシングを行うデフォルトのモードは、時間基準です。各出力がイネーブルされるのは、 $RUN\_Cn$  ピンがハイになる、PMBus コマンドによってターンオンされる、または  $V_{IN}$  が事前にプログラムされた電圧を超える、のいずれかのイベントに続いて、 $TON\_DELAY$  の時間が経過した後になります。オフ・シーケンシングも同様の方法で処理されます。適切なシーケンシングを行うために、すべてのICの  $SHARE\_CLK$  ピンと  $RUN\_Cn$  ピンを互いに接続してください。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\_CONFIG のビット2を1にセットします。このビットをセットした場合、電源出力を開始する前に  $SHARE\_CLK$  ピンにクロックを入力する必要があります。 $RUN\_Cn$  ピンをローにすると、LTM4664A PSM は  $MFR\_RESTART\_DELAY$  が経過するまでこのピンをローに保持します。 $MFR\_RESTART\_DELAY$  の最小値は  $TOFF\_DELAY + TOFF\_FALL + 136ms$  です。この遅延によって、すべてのレールが正しくシーケンシングされます。この遅延は LTM4664A PSM 内部で計算され、これより短い遅延では処理は行われません。ただし、デバイスではこれより長い値に指定された  $MFR\_RESTART\_DELAY$  を使用することができます。最大許容値は65.52秒です。

### 電圧基準のシーケンシング

シーケンスは電圧基準で行うこともできます。図8に示すように、各出力が  $UV$  閾値を超えると  $PGOOD\_Cn$  ピンがアサートされます。1つの LTM4664A PSM チャンネルの  $PGOOD\_Cn$  ピンから、シーケンス内の次の LTM4664A PSM チャンネルの  $RUN\_Cn$  ピンへと順次電力を供給することができ、複



## デュアル25A/30A PSMの動作

数のLTM4664A間でも可能です。PGOOD\_Cnには60 $\mu$ sのフィルタが内蔵されています。V<sub>OUT</sub>の電圧がUV閾値の前で長時間増減を繰り返すと、PGOOD\_Cnの出力が何度も切り替わることがあります。この問題を最小限に抑えるには、TON\_RISE時間を100ms未満に設定します。

一連のレールにフォルトが検出されると、フォルトが発生したレールと下流側のレールだけがオフになります。フォルトが発生したレールの上流側にある一連のデバイスのレールは、コマンドによってオフにしない限り、オンのままになります。

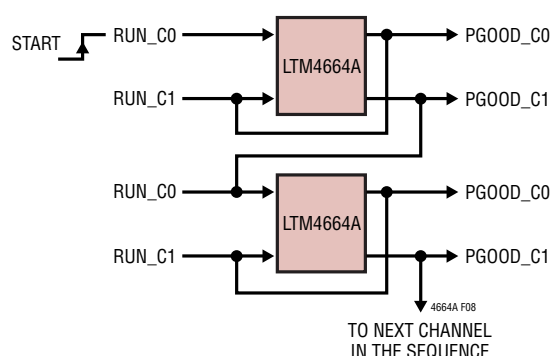


図8. イベント(電圧)基準のシーケンシング

### シャットダウン

LTM4664A PSMレギュレータは2つのシャットダウン・モードをサポートしています。1つめのモードはクローズドループ・シャットダウン応答で、ユーザが定義するターンオフ遅延(TOFF\_DELAY)とランプ・ダウン・レート(TOFF\_FALL)を使用します。コントローラは、TOFF\_FALLの間この動作モードを維持します。もう1つ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の電流を流さず、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。

シャットダウンは以下の状態に応答する形で行われます。すなわち、フォルト状態またはSHARE\_CLKが失われた状態(MFR\_CHAN\_CONFIGのビット2が1に設定されている場合)、またはV<sub>IN</sub>がVIN\_OFF閾値未満に低下した状態またはFAULTが外部的にローにされた状態(MFR\_FAULT\_RESPONSEが禁止に設定されている場合)です。これらの状態では、負荷へのエネルギー供給をできるだけ早く停止するために電力段がディスエーブルされます。シャットダウン状態へは、ソフトスタート状態またはアクティブ・レギュレーション状態から入ったり、手動操作で入ったりすることもできます。

フォルトに応答する方法には、再試行モードとラッチ・オフ・モードの2つがあります。再試行モードでは、コントローラが、プログラム可能な遅延時間(MFR\_RETRY\_DELAY)内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ってフォルトに応答します。出力をディスエーブルすればシャットダウンの原因となったフォルトが解消される場合は、この遅延が自動再試行に関連するデューティ・サイクルを最小限に抑えます。再試行遅延時間は、MFR\_RETRY\_DELAYコマンドにより指定された時間、またはレギュレーションされた出力がプログラム値の12.5%未満に減衰するのに必要な時間のうち、どちらか長い方によって決まります。同じFAULT\_Cnピンを使って複数の出力を制御する場合は、フォルトが発生した出力の減衰時間が再試行遅延を決定します。出力の自然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ってMFR\_RETRY\_DELAYコマンドの電圧条件をなくすことができます。また、ラッチ・オフ・モードはフォルト発生後にコントローラがラッチ・オフ状態のままになることを意味します。これを解除するには、RUN\_Cnを切り替えたりデバイスを一度オフにしてからオンにするよう指示したりといった、手動による操作が必要です。

### 軽負荷電流動作

LTM4664A PSMレギュレータには、高効率の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コマンドを使って行います(起動時のモードは常に不連続導通モードで、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でイネーブルされている場合、インダクタ電流を反転させることはできません。インダクタ電流がゼロになる直前に逆電流コンパレータの出力が下側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、軽負荷時または大きなトランジェント状態時にはインダクタ電流を反転させることができます。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、軽負荷時の効率が不連続モード動作の場合より低下します。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も少なくなります。ただし、インダクタ電流が反転して入力電源の電圧を上昇させることがあります。VIN\_OV\_FAULT\_LIMITはこれを検出して、フォルトの原因となるチャンネルをオフにすることができます。しかし、このフォルトはADCの読出しに基づいており、検出までに最大でt<sub>CONVERT</sub>の時間を要することがあります。入力電

## デュアル25A/30A PSMの動作

源の電圧上昇が懸念される場合は、デバイスを不連続導通モードに維持してください。

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のに合わせて、コントローラが不連続モードから連続モードへ自動的に動作を変更します。

### 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付けのタイム・ベースを使って設定できます。内部フェーズ・ロック・ループ(PLL)は、内部クロックを使用するか外部クロックを使用するかに関わらず、適切な位相関係を維持しながら、PWM制御をこのタイミング・リファレンスに同期させます。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を通じて他のデバイスにマスタ・クロックを供給するようデバイスを設定することもできます。

クロック・マスタとして指定されたLTM4664A PSMデバイスは、選択されたレートと500nsのパルス幅でそのオープンドレインSYNCピンを駆動します。この場合は、SYNCとV<sub>DD33</sub>の間に外付けのプルアップ抵抗が必要です。SYNCに接続されている1つのデバイスだけがピンを駆動するように指定してください。その他のLTM4664A PSMデバイスは、プログラムされたSYNC周波数の80%よりも外部SYNC周波数の方が高い限り、自動的に外部SYNC入力に戻り、デバイス自体のSYNCをディスエーブルします。外部SYNC入力のデューティ・サイクルは20%~80%としてください。

その後外部クロック信号が失われても、LTM4664A PSMデバイスは、SYNCを駆動するよう設定されているかどうかに関わらず、デバイス自体の内部発振器を使って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、常に外部発振器を使ってPWM動作を行うようにプログラムすることも可能です。SYNCドライバ回路のステータスは、MFR\_PADSのビット10によって示されます。

MFR\_PWM\_CONFIGコマンドを使用すれば、各チャンネルの位相を設定できます。表3に概要を示すように、EEPROMまたは外部設定抵抗から必要な位相を設定することも可能です。指定される位相は、SYNCの立下がりエッジと、PWMラッチを設定して上側パワー・スイッチをオンにする内部クロック・エッジとの関係です。PWM制御ピンには新たに小さい伝播遅延も生じます。FREQUENCY\_SWITCHコマンドと

MFR\_PWM\_CONFIGコマンドをLTM4664A PSMに書き込むには、両方のPSMチャンネルを事前にオフにしておく必要があります。

位相関係と周波数を変更することによって、様々なアプリケーション・オプションが可能です。また、複数のLTM4664A PSMチャンネルを同期させてPolyPhase配列を実現することができます。この場合は位相を360/*n*度で区切る必要があります。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

LTM4664A PSMの内部PWMループ補償抵抗R<sub>COMPna</sub>は、MFR\_PWM\_COMPコマンドのビット[4:0]を使って調整できます。

LTM4664A PSMチャンネルにあるPWMエラー・アンプのトランスコンダクタンス(g<sub>m</sub>)は、MFR\_PWM\_COMPコマンドのビット[7:5]を使って調整できます。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/30A PSMのアプリケーション情報](#)のセクションにあるプログラマブル・ループ補償の説明を参照してください。

### 出力電圧の検出

LTM4664AはどちらのPSMチャンネルにも差動アンプを内蔵しており、V<sup>+</sup>ピンとV<sup>-</sup>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も完全差動で、両方のチャンネルのV<sub>OSNS<sup>+</sup>\_Cn</sub>とV<sub>OSNS<sup>-</sup>\_Cn</sub>間の電圧を、それぞれV<sup>+</sup>ピンとV<sup>-</sup>ピンで測定します。最大許容電圧は1.5Vですが、LTM4664Aの設計は1.8Vに制限されています。

### INTV<sub>CC</sub> / EXTV<sub>CC</sub> 電源

内蔵MOSFETのドライバ、およびその他ほとんどの内部回路の電力は、INTV<sub>CC</sub>ピンから供給されます。EXTV<sub>CC</sub>ピンがGNDに短絡されているか4.7V未満の電圧に接続されている場合、内蔵の5.5Vリニア電圧レギュレータがV<sub>INS3</sub>からINTV<sub>CC</sub>に電力を供給します。EXTV<sub>CC</sub>の出力が約4.7Vを超え、V<sub>INS3\_C1</sub>が7.0Vより高い場合は、5.5Vレギュレータがオフになって内部スイッチがオンになり、EXTV<sub>CC</sub>がINTV<sub>CC</sub>に接続されます。EXTV<sub>CC</sub>を使うと、スイッチング・レギュレータの出力などの高効率外部電源からINTV<sub>CC</sub>の電力を得ることができます。EXTV<sub>CC</sub>は、V<sub>INS3</sub>がない場合でも内蔵の3.3Vリニア電圧レギュレータに電力を供給できま

## デュアル25A/30A PSMの動作

す。このため、メイン電源からの供給がなくてもLTM4664A PSMを初期化してプログラムすることができます。

INTV<sub>CC</sub>レギュレータへの電力はV<sub>INS3\_C1</sub>ピンから供給され、ICで消費される電力はV<sub>INS3\_C1</sub>・I<sub>INTV<sub>CC</sub></sub>に等しくなります。ゲート充電電流は動作周波数によって異なります。INTV<sub>CC</sub>レギュレータは最大100mAを供給でき、LTM4664A PSMのINTV<sub>CC</sub>電流の代表値は約50mAです。12Vの入力電圧は内部コントローラの両端で7Vの電圧降下に相当し、50mAを乗じると350mWの電力損失になります。この損失は、5Vのバイアスを外部からEXTV<sub>CC</sub>ピンに供給することでなくすことができます。

LTM4664A PSMのINTV<sub>CC</sub>は外部電源に接続しないください。接続すると、INTV<sub>CC</sub>が外部電源の電圧を上げようとして電流リミットに達し、ダイ温度が大幅に上昇するおそれがあります。

### 出力電流検出と1mΩ未満のDCRによる電流検出

LTM4664A PSMは抵抗が1mΩ未満のインダクタを使用する独自の電流検出技術を採用しており、優れたS/N比を実現しながら、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に使用して、高い変換効率を実現することができます。また、MFR\_PWM\_MODE[7]を使用して、高電流レンジおよび低電流レンジの電流制限閾値を正確に設定できます。低電流レンジ設定MFR\_PWM\_MODE[7] = 0を使用してください(41 ページ参照)。

内部DCR検出回路とその電流リミットの計算は、室温におけるインダクタのDCRに基づいて行います。インダクタのDCRの温度係数は大きく、約3900ppm/°Cです。このインダクタ温度係数は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、温度に影響されることのない、基本的に一定の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、LTM4664A PSMの遠隔測定ADCによってデジタル化されます。このADCは入力電圧範囲が±128mV、ノイズ・フロアが7μV<sub>RMS</sub>、ピークtoピーク・ノイズが約46.5μVです。LTM4664A PSMは、IOUT\_CAL\_GAIN コマンドに格納されたDCR値と、MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TC コマンド

に格納された温度係数を使っ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

LTM4664Aの25A/30Aの2つの電力段が消費する合計入力電流を検出するために、電源電圧とV<sub>INS3</sub>パスの間に検出抵抗が配置されています。この検出抵抗にはI<sub>IN</sub><sup>+</sup>ピンとI<sub>IN</sub><sup>-</sup>ピンが接続されています。フィルタ処理された電圧は内部のハイ・サイド電流検出アンプによって増幅され、LTM4664AのPSM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×、4×、8×)があり、これはMFR\_PWM\_CONFIG コマンドのビット[6:5]によって設定します。これら3つのゲイン設定値に対応する最大入力検出電圧は、それぞれ50mV、20mV、5mVです。LTM4664A PSMは、IIN\_CAL\_GAIN コマンドに格納された内部R<sub>SENSE</sub>の値を使用して入力電流を計算します。これにより得られる電力段の測定電流は、READ\_IIN コマンドによって返されます。

LTM4664Aは、1Ωの抵抗を使用して、LTM4664A PSMコントローラが消費するチップ電源電流を測定します。この値はMFR\_READ\_ICHIP コマンドによって返されます。デバイスの電流は、MFR\_RVIN コマンドに格納された値(1Ω)を使って計算します。詳細は、[デュアル25A/30A PSMのアプリケーション情報の](#)のセクションにある入力電流検出アンプのサブセクション参照してください。

### PolyPhase 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LTM4664Aを並べてバランスの取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相設計の分担接続を示します。

外部発振器を接続しない場合は、いずれか1つのLTM4664AのPSMチャンネルのSYNCピンだけをイネーブします。他については、MFR\_CONFIG\_ALLのビット4を使って、SYNCをディスエーブルするようプログラムします。外部発振器が接続されている場合は、SYNCピンをイネーブ



## デュアル25A/30A PSMの動作

ルにしたチップが外部クロックの存在を検出して、その出力をデイスエーブルします。

複数チャンネルの場合、すべての $V_{OSNS}^{+}_{Cn}$ ピンを互いに接続する必要があります。 $V_{OSNS}^{-}_{Cn}$ ピン、 $COMP_{na}$ ピン、 $COMP_{nb}$ ピンも同様です。PolyPhaseアプリケーションの場合を除き、 $MFR\_CONFIG\_ALL$ のビット[4]はアサートしないでください。

これらのデバイスでは、 $SYNC$ 、 $SHARE\_CLK$ 、 $\overline{FAULT\_Cn}$ 、 $\overline{ALERT}$ の各ピンを共有する必要があります。 $SYNC$ 、 $\overline{FAULT\_Cn}$ 、 $SHARE\_CLK$ 、 $\overline{ALERT}$ ではプルアップ抵抗を必ず使用してください。

### 外部/内部温度の検出

温度は、チャンネル0では $TSNS\_C0b$ ピン、チャンネル1では $TSNS\_C1b$ ピンの内部でダイオード接続されたPNPトランジスタを使って測定されます。各 $TSNS\_Cnb$ ピンはそれぞれの $TSNS\_Cna$ ピンに接続する必要があります。これらのリターンはLTM4664A PSMの $SGND\_C0\_C1$ ピンに直接接続されます。ダイオードには2種類の異なる電流が流れ(公称 $2\mu A$ と $32\mu A$ )、温度は、16ビットの内部モニタADCによって測定される $\Delta V_{BE}$ の値から計算されます(図2のブロック図を参照)。

LTM4664A PSMチャンネルは $\Delta V_{BE}$ による温度検出だけを行うので、 $MFR\_PWM\_MODE$ のビット[5]は指定済みです。

### RCONFIG(抵抗設定)ピン

入力ピンは6個あり、これらのピン間に1%抵抗を使用することで重要な動作パラメータを選択します。ピンは、 $ASEL$ 、 $FSWPH\_CFG$ 、 $VOUTC0\_CFG$ 、 $VOUTC1\_CFG$ 、 $VTRIMC0\_CFG$ 、 $VTRIMC1\_CFG$ です。これらのピンがフロート状態になっている場合は、対応するNVMコマンドに格納された値が使われます。 $MFR\_CONFIG\_ALL$ 設定コマンドのビット6がNVMでアサートされた場合、パワーアップ時には抵抗入力が無視されます。ただし $ASEL$ は例外で、これは常に有効なものとして扱われます。抵抗設定ピンの測定が行われるのは、パワーアップ・リセット時か、 $MFR\_RESET$ コマンドまたは $RESTORE\_USER\_ALL$ コマンドの実行後に限られます。

$VOUTn\_CFG$ ピンの設定については表1を参照してください。これらのピンは、LTM4664Aの $VOUTC0$ と $VOUTC1$ の出力電圧の粗設定を行います。これらのピンがオープン状態の場合は、NVMから $VOUT\_COMMAND$ コマンドがロードされます。電圧設定ピンが接続されている場合を除き、デ

フォルト設定ではスイッチャがオフになります。出力電圧の微調整には表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って、複数の異なる出力電圧が得られます。

RCONFIGピンを使っ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を参照してください。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 $SYNC$ ピンの位相関係は表3に示されています。外部クロックと同期するには、デバイスを外部クロック・モードにする必要があります( $SYNC$ 出力はデイスエーブルされますが、周波数は公称値に設定されます)。外部クロックが入力されていない場合、デバイスはプログラムされた周波数のクロックを使用します。マルチフェーズ・アプリケーションでチップ間の $SYNC$ 信号が失われた場合は、それらのデバイスが同じ周波数にプログラムされて調整されていたとしても、設計どおりの位相では動作しません。

これにより出力のリップル電圧が増加することがあり、場合によっては望ましくない動作が生じる可能性があります。外部 $SYNC$ 信号が内部で生成されて、外部 $SYNC$ 選択されていない場合は、 $MFR\_PADS$ のビット10がアサートされます。周波数が選択されておらず、外部 $SYNC$ 周波数が存在しない場合は、 $PLL\_FAULT$ が発生します。パワーアップ時に有効な同期信号がない場合でも、 $PLL\_FAULT$ による $\overline{ALERT}$ を発生させたくない場合は、 $PLL\_FAULT$ の $\overline{ALERT}$ マスクを書き込む必要があります。詳細には、 $SMBALERT\_MASK$ の説明を参照してください。複数デバイス間で $SYNC$ ピンを接続する場合は、 $MFR\_CONFIG\_ALL$ [4] = 1を使っていずれか1つのデバイスの $SYNC$ ピンだけをイネーブルし、それ以外のすべてのデバイスでは $MFR\_CONFIG\_ALL$ [4] = 0を使って $SYNC$ ピンをデイスエーブルに設定します。

$ASEL$ ピンの設定については表4を参照してください。 $ASEL$ はLTM4664A PSMのスレープ・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/30A PSMの動作

注：PMBusの仕様に従い、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でオーバーライドできます。ただしASELは例外で、これは常に有効なものとして扱われます。0x5Aまたは0x5Bはグローバル・アドレスです。これらのアドレスにはすべてのデバイスが応答するので、デバイス・アドレスには使用しないでください。

表1. LTM4664AのPSM出力電圧のVOUTC<sub>n</sub>\_CFGピンストラップ参照表。粗設定(MFR\_CONFIG\_ALL[6] = 1bの場合は非対応)

R <sub>VOUTC<sub>n</sub>_CFG TOP</sub> (kΩ)	R <sub>VOUTC<sub>n</sub>_CFG BOT</sub> (kΩ)	V <sub>OUTn</sub> (V) SETTING COARSE	MFR_PWM MODE <sub>n</sub> [1] BIT
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 <sub>TRIMn</sub> > 0mV 1, if V <sub>TRIMn</sub> ≤ 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

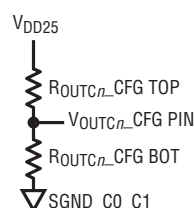
\*表示されているR<sub>VOUTC<sub>n</sub>\_CFG</sub>の値は公称値です。R<sub>VOUTC<sub>n</sub>\_CFG</sub>には、その抵抗値が常に表の値の3%以内となるようなものを市販の抵抗から選択してください。抵抗の初期許容誤差、T.C.R.と抵抗の動作温度、ハンダ処理熱/IRリフロー、および抵抗の寿命期間全般にわたる耐久性を考慮してください。また、熱衝撃/サイクル、湿気(湿度)、その他の要因(具体的なアプリケーションにより異なります)も、時間の経過と共にR<sub>VOUTC<sub>n</sub>\_CFG</sub>の値に影響する可能性があります。抵抗とピンの接続(ストラップ)による設定が、SV<sub>IN</sub>のパワーアップごと、あるいはMFR\_RESETやRESTORE\_USER\_ALLの実行ごとに予想どおりの結果をもたらすようにするには、製品の全寿命期間にわたってこれらすべての影響を考慮する必要があります。

表2. LTM4664AのPSM出力電圧のVTRIM<sub>n</sub>\_CFGピンストラップ参照表。微調整設定(MFR\_CONFIG\_ALL[6] = 1bの場合は非対応)

R <sub>VTRIM<sub>n</sub>_CFG BOT</sub> (kΩ)	V <sub>TRIM</sub> (mV) FINE ADJUSTMENT TO V <sub>OUTn</sub> SETTING WHEN RESPECTIVE	R <sub>VTRIM<sub>n</sub>_CFG TOP</sub> (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

\*表示されているR<sub>VTRIMC<sub>n</sub>\_CFG</sub>の値は公称値です。R<sub>VTRIMC<sub>n</sub>\_CFG</sub>には、その抵抗値が常に表の値の3%以内となるようなものを市販の抵抗から選択してください。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、および抵抗の寿命期間全般にわたる耐久性を考慮してください。また、熱衝撃/サイクル、湿気(湿度)、その他の要因(具体的なアプリケーションにより異なります)も、時間の経過と共にR<sub>VTRIMC<sub>n</sub>\_CFG</sub>の値に影響する可能性があります。抵抗とピンの接続(ストラップ)による設定が、SV<sub>IN</sub>のパワーアップごと、あるいはMFR\_RESETやRESTORE\_USER\_ALLの実行ごとに予想どおりの結果をもたらすようにするには、製品の全寿命期間にわたってこれらすべての影響を考慮する必要があります。

例:



## デュアル 25A/30A PSM の動作

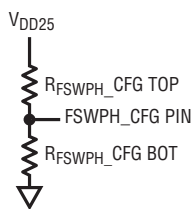
表3. LTM4664AのPSMスイッチング周波数およびチャンネル位相インターリーブ角を設定するためのFSWPH\_CFGピンストラップ参照表(MFR\_CONFIG\_ALL[6] = 1bの場合は非対応)

R <sub>FSWPH_CFG</sub> TOP (k $\Omega$ )	R <sub>FSWPH_CFG</sub> * BOT (k $\Omega$ )	SWITCHING FREQUENCY (kHz)	$\theta$ SYNC TO $\theta$ 0	$\theta$ SYNC TO $\theta$ 1	bits [2:0] of MFR_PWM_CONFIG	bit [4] of MFR_CONFIG_ALL
14.3	Open	NVM; LTM4664A PSM Default = 500	NVM; LTM4664A Default = 0°	NVM; LTM4664A PSM Default = 180°	NVM; LTM4664A PSM Default = 000b	NVM; LTM4664A 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

\*表示されているR<sub>FSWPH\_CFG</sub>の値は公称値です。R<sub>FSWPH\_CFG</sub>には、その抵抗値が常に表の値の3%以内となるものを市販の抵抗から選択してください。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、および抵抗の寿命期間全般にわたる耐久性を考慮してください。また、熱衝撃/サイクル、湿気(湿度)、その他の要因(具体的なアプリケーションにより異なります)も、時間の経過と共にR<sub>FSWPH\_CFG</sub>の値に影響する可能性があります。抵抗とピンの接続(ストラップ)による設定が、SV<sub>IN</sub>のパワーアップごと、あるいはMFR\_RESETやRESTORE\_USER\_ALLの実行ごとに予想どおりの結果をもたらすようにするには、製品の全寿命期間にわたってこれらすべての影響を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に設定することに相当します。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に同期させます(MFR\_CONFIG\_ALL[4] = 1bの場合)。

例:



## デュアル 25A/30A PSM の動作

表 4. LTM4664A の PSM スレーブ・アドレス設定のための ASEL ピンストラップ参照表 (MFR\_CONFIG\_ALL[6] の設定に関わらず使用可能)

R <sub>ASEL</sub> * (kΩ)	SLAVE ADDRESS
Open	MFR_ADDRESS[6:0]_R/W
32.4	MFR_ADDRESS[6:4]_1111_R/W
22.6	MFR_ADDRESS[6:4]_1110_R/W
18.0	MFR_ADDRESS[6:4]_1101_R/W
15.4	MFR_ADDRESS[6:4]_1100_R/W
12.7	MFR_ADDRESS[6:4]_1011_R/W
10.7	MFR_ADDRESS[6:4]_1010_R/W
9.09	MFR_ADDRESS[6:4]_1001_R/W
7.68	MFR_ADDRESS[6:4]_1000_R/W
6.34	MFR_ADDRESS[6:4]_0111_R/W
5.23	MFR_ADDRESS[6:4]_0110_R/W
4.22	MFR_ADDRESS[6:4]_0101_R/W
3.24	MFR_ADDRESS[6:4]_0100_R/W
2.43	MFR_ADDRESS[6:4]_0011_R/W
1.65	MFR_ADDRESS[6:4]_0010_R/W
0.787	MFR_ADDRESS[6:4]_0001_R/W
0	MFR_ADDRESS[6:4]_0000_R/W

ここで、  
R/W = 制御バイトの読み出し／書き込みビット

特に指定のない限り、仕様に記載されているすべての PMBus デバイス・アドレスは 7 ビット幅です。

注：LTM4664A PSM は、NVM または ASEL の抵抗設定値に関わらずスレーブ・アドレス 0x5A と 0x5B には常に応答します。

\*ここに示す R<sub>CFG</sub> 値は公称値です。R<sub>CFG</sub> には、その抵抗値が常に表の値の 3% 以内となるようなものを市販の抵抗から選択してください。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、および抵抗の寿命期間全般にわたる耐久性を考慮してください。また、熱衝撃サイクル、湿気(湿度)、その他の要因(具体的なアプリケーションにより異なります)も、時間の経過と共に R<sub>CFG</sub> の値に影響する可能性があります。抵抗とピンの接続(ストラップ)による設定が、SV<sub>N</sub> のパワーアップごと、あるいは MFR\_RESET や RESTORE\_USER\_ALL の実行ごとに予想どおりの結果をもたらすようにするには、製品の全寿命期間にわたってこれらすべての影響を考慮する必要があります。

例：

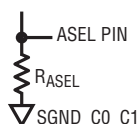


表 5. 7 ビットおよび 8 ビット・アドレス指定で表した LTM4664A PSM の MFR\_ADDRESS コマンドの例

DESCRIPTION	HEX DEVICE ADDRESS		BIT									
	7-BIT	8-BIT	7	6	5	4	3	2	1	0	R/W	
Rail <sup>4</sup>	0x5A	0xB4	0	1	0	1	1	0	1	0	0	
Global <sup>4</sup>	0x5B	0xB6	0	1	0	1	1	0	1	1	0	
Default	0x4F	0x9E	0	1	0	0	1	1	1	1	0	
Example 1	0x40	0x80	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
Example 2	0x41	0x82	0	1	0	0	0	0	0	1	0	
Disabled <sup>2,3</sup>			1	0	0	0	0	0	0	0	0	

注1. この表は MFR\_RAIL\_ADDRESS<sub>n</sub> コマンドには使用できますが、MFR\_ADDRESS コマンドには使用できません。

注2. あるコマンドに無効な値があってもそのデバイスはディスエーブルされず、グローバル・アドレスがディスエーブルされることはありません。

注3. あるコマンドに無効な値があっても、それによってその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응答できなくなることはありません。

注4. 値 0x00、0x0C (7 ビット)、0x5A (7 ビット)、0x5B (7 ビット)、または 0x7C (7 ビット) を MFR\_CHANNEL\_ADDRESS<sub>n</sub> コマンドまたは MFR\_RAIL\_ADDRESS<sub>n</sub> コマンドに書き込むことは推奨しません。

## フォルトの検出と処理

フォルトおよび警告のレポートと処理のための様々なメカニズムを利用できます。フォルト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
- 平均入力 OC 警告
- 出力 OV/UV フォルトに対する保護および警告による保護
- 出力 OC フォルトに対する保護および警告による保護
- 内部制御ダイと内部モジュールの過熱フォルトに対する保護および警告による保護
- 内部低温フォルトに対する保護および警告による保護
- CML フォルト (通信、メモリまたはロジック)
- 双方向 FAULT\_Cn ピンを介した外部フォルト検出

以上に加えて、LTM4664A PSM は、FAULT<sub>n</sub> 応答伝搬コマンドの MFR\_FAULT\_PROPAGATE を使って、フォルト・インジケータの任意の組み合わせを、それぞれの FAULT\_Cn ピンに対応付けることができます。FAULT\_Cn ピンは、外部クロバ・デバイスのドライバ、過熱アラート、過電圧アラートとして使用するか、マイクロコントローラにフォルト・コマンドへのポーリングを開始させるための割込みに使用するのが一般的です。その他にも、FAULT\_Cn ピンは、直ちに応答す



## デュアル25A/30A PSMの動作

ることが要求されるコントローラの下流側で、外部フォルトを検出するための入力として使用することもできます。

フォルト・イベントや警告イベントが発生すると、それらのイベントがSMBALERT\_MASKによってマスクされない限り、必ずALERTピンがローにアサートされます。このピンは、以下のいずれかの動作が実行されるまでローにアサートされたままになります。すなわち、CLEAR\_FAULTS コマンドを発行する、フォルト・ビットに1を書き込む、バイアス電源を一度オフにして再度オンにする、MFR\_RESET コマンドを発行する、RUNピンのオフ／オンを切り替える、PMBusを介してデバイスのオフ／オンを指定する、またはARAコマンド動作を実行する、のいずれかです。MFR\_FAULT\_PROPAGATE コマンドは、フォルト検出時にFAULT\_Cnピンをローにするかどうかを決定します。

出力および入力フォルト・イベントの処理は、表3～表17に規定されているように、対応するフォルト応答バイトによって制御されます。これらのタイプのフォルトによるシャットダウンからの回復は、自律型またはラッチ型のどちらかとすることができます。自律型の回復ではフォルトがラッチされないの、再試行間隔経過後にフォルトが解消されている場合は、新しいソフトスタートが試みられます。

フォルトが解消されていない場合、コントローラは再試行を繰り返します。再試行間隔はMFR\_RETRY\_DELAY コマンドによって指定され、フォルト状態自体が破壊的な影響を及ぼすものでない場合に、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が損傷してしまうのを防止します。MFR\_RETRY\_DELAYは120msより長くなければなりません。83.88秒を超える値にす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

PMBus コマンドによってアクセス可能なLTM4664A PSMの内部ステータス・レジスタの概要を図9に示します。これらには、様々なフォルト、警告、その他の重要な動作状態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・レジスタのおおまかな内容も示します。特定の情報についてはPMBus コマンドの概要のセクションを参照してください。

このSTATUS\_BYTEのNONE OF THE ABOVEビットは、STATUS\_WORDの最上位ニブルのビットも1つ以上設定されていることを示します。

一般に、STATUS\_xレジスタのいずれかのビットがアサートされると、ALERTピンもローになります。ALERTは、一度セットされると、次のいずれかの状態になるまでローのままになります。

- CLEAR\_FAULTSまたはMFR\_RESETコマンドを発行する
- 関連するステータス・ビットに1を書き込む
- フォルト発生チャンネルを一度オフにして再びオンにするコマンドが正常に実行される
- LTM4664A PSMがPMBusのARAのときにそのアドレスを正常に送信する
- バイアス電源を一度オフにして再度オンにする

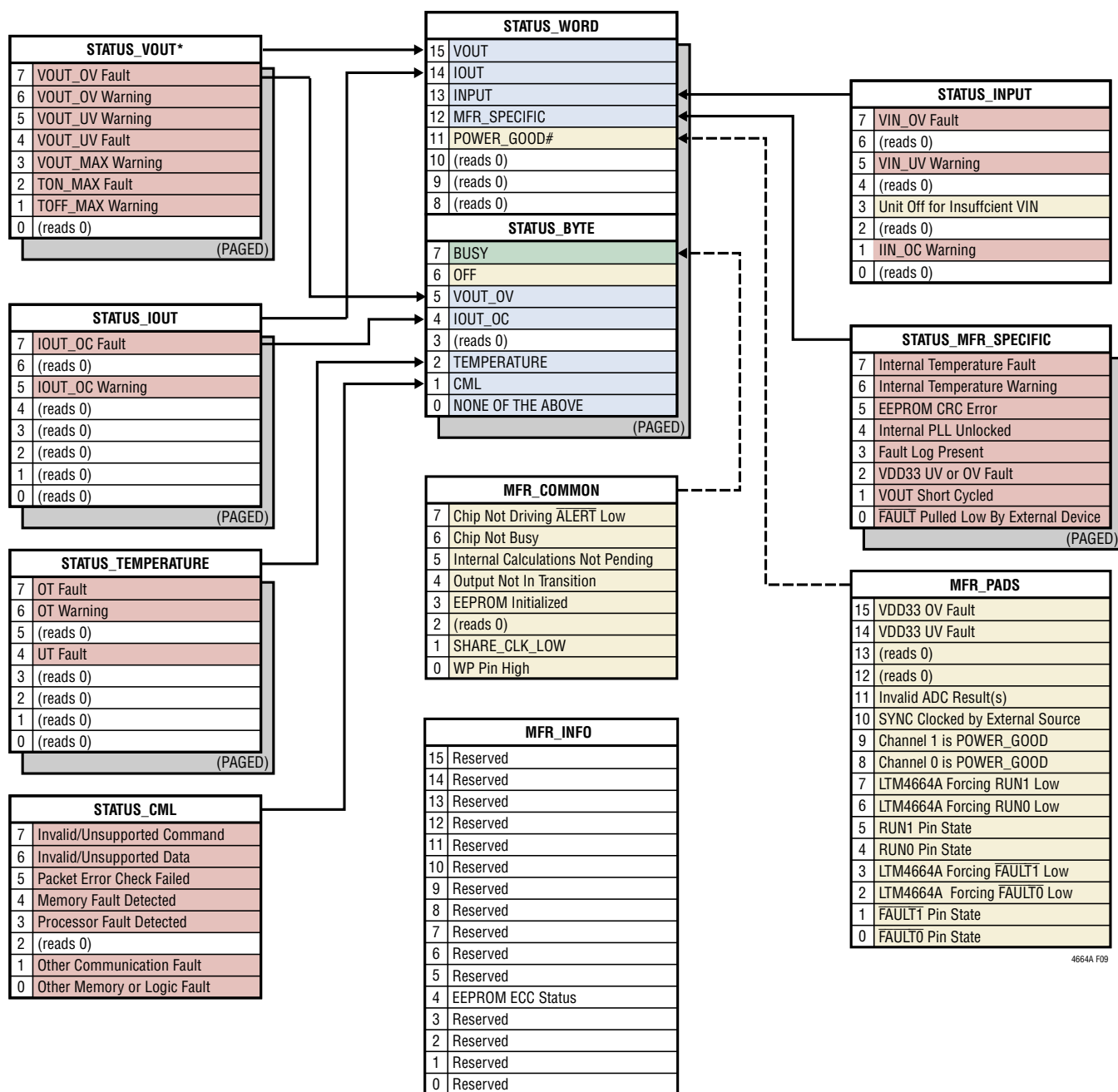
いくつかの例外を除き、SMBALERT\_MASK コマンドを使用すれば、LTM4664A PSMがこれらのレジスタ内のビットに対してビット単位でALERTをアサートしないようにすることができます。これらのマスク設定は、ステータス・ビット自体と同じ方法でSTATUS\_WORDとSTATUS\_BYTEにも適用されます。例えば、チャンネル0のSTATUS\_VOUT内のすべてのビットについてALERTがマスクされる場合は、ページ0のSTATUS\_WORD内のVOUTビットについてもALERTがマスクされます。STATUS\_BYTEにBUSYビットがある場合もALERTがローにアサートされます。これはマスクできません。このビットは、PMBus通信との様々な内部的相互作用の結果としてセットされることがあります。このフォルトが発生するのは、1つまたは両方のチャンネルがイネーブルされた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のセクションで説明するように、BUSYフォルトは、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によって回避できます。

マスクされたフォルトがパワーアップ直後に発生した場合は、プログラムされたすべてのマスク情報をEEPROMから読み出すだけの時間がなかったために、ALERTがローのままになることがあります。

図に示すように、MFR\_COMMONとMFR\_PADSに格納されているステータス情報を使ってSTATUS\_BYTEまたはSTATUS\_WORDの内容をデバッグしたり明確にしたり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せず、通常はSTATUS\_BYTEやSTATUS\_WORD内のビットに直接影響しません。



## デュアル 25A/30A PSM の動作



4664A F09

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. LTM4664A PSM のステータス・レジスタの概要

## デュアル 25A/30A PSM の動作

### FAULT ピンへのフォルトのマッピング

FAULT\_Cn ピンを互いに接続すれば、チャンネル間(複数の LTM4664A PSM のチャンネルを含む)でフォルトの依存関係を作り出すことができます。内部フォルトが発生した場合は、1 つ以上のチャンネルが、バスに接続された FAULT\_Cn ピンをローにするように設定されます。更に他のチャンネルは、FAULT\_Cn ピンがローになるとシャットダウンされるように設定されます。自律的なグループ再試行の場合で、当初のフォルトが解消されている場合、フォルト発生チャンネルは、再試行間隔経過後に FAULT\_Cn ピンをリリースするように設定されます。その後、グループ内のすべ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。フォルト応答が LATCH\_OFF の場合は、RUN\_Cn ピンのオフ/オンが切り替えられるかデバイスのオフ/オンが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になります。RUN\_Cn ピンの切替えをピンまたは OFF/ON コマンドによって行うと、そのチャンネルに関連するフォルトが解消されます。RUN\_Cn ピンを切り替えたときにすべてのフォルトが解消されていることが望ましい場合は、MFR\_CONFIG\_ALL のビット 0 を 1 に設定します。

すべてのフォルトおよび警告のステータスの概要は、STATUS\_WORD コマンドと STATUS\_BYTE コマンドで示されます。

その他のフォルトの検出機能と処理機能については、表 18 を参照してください。

### パワー・グッド・ピン

LTM4664A 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そのチャンネルの UV および OV 電圧閾値範囲内に入っていない場合は、MOSFET がオンになって PGOOD\_Cn ピンをローにします。TON\_DELAY と TON\_RISE のシーケンシング時には、PGOOD\_Cn ピンがローに保持されます。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 100μs デジタル・フィルタによってデグリッチされます。PGOOD\_Cn ピンと PGOOD のステータスは、最大 10μs の通信遅延が原因で異なることがあります。

### 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 エラーがある場合は、コントローラが非アクティブ状態のままになります。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 ビットがセットされ、更に STATUS\_MFR\_SPECIFIC コマンドの該当

ビットがセットされて、ALERT ピンがローになります。コントローラに必要な設定を書き込んで、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によって、NVM の修復を試みることができます。

LTM4664A の NVM のマニファクチャリング・セクションはミラーリングされます。両方のコピーが壊れてしまった場合は、STATUS\_MFR\_SPECIFIC コマンドの「NVM CRC フォルト」ビットがセットされます。CLEAR\_FAULTS を発行するか、このビットに 1 を書き込むことによってクリアした後も、このビットがセットされたままの場合は、回復不能な内部フォルトが発生しています。この場合は、その特定デバイスに関連する両方の出力電源レールをディセーブルするよう警告が生成されます。マニファクチャリング・セクションで発生した NVM フォルトを現場で修復する方法はありません。

### シリアル・インターフェース

LTM4664A 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 から 400kHz までの任意の周波数で動作させることができます。アドレスは NVM または外付けの抵抗分圧器を使って設定できます。更に、LTM4664A 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) に対して常に応答します。

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ています。すなわち、1) コマンド送信、2) バイト書込み、3) ワード書込み、4) グループ、5) バイト読出し、6) ワード読出し、7) ブロック読出し、8) ブロック書込みです。PMBus マスタが要求した場合、すべ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 ビットをセットした場合は、LTM4664A が有効な PEC を受け取るまで PMBus 書込み動作は実行されません。

### 通信保護

PEC 書込みエラー (PEC\_REQUIRED がアクティブな場合)、サポートされていないコマンドへのアクセス、またはサポートされているコマンドへの無効なデータの書込みは、CML フォルトを発生させます。この場合は STATUS\_BYTE コマンドと STATUS\_WORD コマンドの CML ビットがセットされ、更に STATUS\_CML コマンドの該当ビットがセットされて、ALERT ピンがローになります。

### デバイスのアドレス指定

PMBus インターフェースを介した LTM4664A PSM のアドレス指定には次の 4 種類があります。1) グローバル、2) デバイス、3) レール・アドレス指定、4) アラート応答アドレス (ARA) です。

## デュアル25A/30A PSMの動作

グローバル・アドレス指定は、PMBus マスタがバス上のすべての LTM4664A PSM デバイスのアドレスを指定する手段を提供します。LTM4664A PSM のグローバル・アドレスは、0x5A (7ビット) または 0xB4 (8ビット) に固定されており、ディスエーブルできません。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働きをします。送信されたコマンドは両方のチャンネルに同時に書き込まれます。グローバル・コマンド 0x5B (7ビット) または 0xB6 (8ビット) はページ指定され、バス上にあるすべての LTM4664A PSM デバイスについてチャンネルごとにコマンドを実行することができます。アナログ・デバイセズのその他のタイプのデバイスは、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行わないことを強く推奨します。

デバイスのアドレス指定は、PMBus マスタが LTM4664A PSM の単一インスタンスと通信する場合の標準的な手段を提供します。デバイス・アドレスの値は、ASEL の設定ピンと 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する場合は、PAGE コマンドが対象のチャンネルを決定します。デバイスのアドレス指定は、MFR\_ADDRESS に 0x80 を書き込むことによってディスエーブルできます。

レール・アドレス指定は、バス・マスタが、単一出力電圧 (PolyPhase) を生成するために相互接続されたすべてのチャンネルと同時に通信する方法を提供します。これはグローバル・アドレス指定と似ていますが、ページ指定された MFR\_RAIL\_ADDRESS コマンドをレール・アドレスに動的に割り当てることができるので、信頼できるシステム制御の実装に必要なことがあるチャンネルの論理的なグループ分けが可能になります。レール・アドレスからの読出しも、行わないことを強く推奨します。

以上4つの PMBus アドレス指定方法は、アドレスの競合を防ぐために、しっかりと計画に基づいて適用する必要があります。グローバル・アドレスおよびレール・アドレスでの LTM4664A PSM デバイスとの通信は、コマンド書き込み動作だけに限定してください。

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

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

- 抵抗設定ピンを使用する場合は V<sub>OUT</sub> のパーセント値として設定
- 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
- PMBus コマンドで設定

I<sub>IN</sub> と I<sub>OUT</sub> の過電流モニタは ADC 値の読出しと計算によって行います。したがって、これらの値は平均電流に基づくものであり、最大で t<sub>CONVERT</sub> の遅延が生じることがあります。I<sub>OUT</sub> の計算時には、DCR とその温度係数を考慮します。入力電流は、R<sub>SENSE</sub> 抵抗にかかる電圧の測定値を、MFR\_IIN\_CAL\_GAIN 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 I<sub>IN\_OC\_WARN\_LIMIT</sub> を超えると、ALERT ピンがローになって、STATUS\_INPUT コマンドの I<sub>IN\_OC\_WARN</sub> ビットがアサートされます。

LTM4664A PSM にあるデジタル・プロセッサは、フォルトを無視する機能、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を行う機能 (ヒカップ機能) を備えています。再試行間隔は MFR\_RETRY\_DELAY で設定され、120ms から 83.88 秒まで 1ms 刻みで設定できます。OV / UV および OC 時に行うシャットダウンは、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可能です。

### 出力過電圧フォルト応答

プログラマブル出力過電圧コンパレータ (OV) は、出力の過渡的なオーバーシュートや長期的な過電圧からデバイスを保護します。このような場合は上側 MOSFET がオフになり、下側 MOSFET がオンになります。ただし、デバイスが OV フォルト状態のときは逆方向出力電流がモニタされます。この電流がリミットに達すると、上側 MOSFET と下側 MOSFET の両方がオフになります。上側および下側 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、その状態を保持します。このハードウェア・レベルのフォルト応答遅延時間は、過電圧状態になってから BG がハイにアサートされるまでの 2μs (代表値) 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 を無視できない)
- 直ちにシャットダウン (スイッチング停止) – ラッチ・オフ
- 直ちにシャットダウン – MFR\_RETRY\_DELAY で指定した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フォルト応答でも、(0~7)・10μs 刻みでデグリッチできます。表 14 を参照してください。

## デュアル 25A/30A PSM の動作

### 出力低電圧応答

低電圧コンパレータ出力に対する応答は、以下のいずれかとすることができます。

- 無視
- 直ちにシャットダウン – ラッチ・オフ
- 直ちにシャットダウン – MFR\_RETRY\_DELAY で指定した間隔で無期限に再試行。

UV 応答はデグリッチできます。表 14 を参照してください。

### ピーク出力過電流フォルト応答

電流モード制御アルゴリズムにより、インダクタを流れる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に仕様規定されています。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 検出方式を使用しているため、COMP\_Cn の最大電圧には温度依存性があり、インダクタの DCR の TC に正比例します。LTM4664A PSM は外部温度センサーを自動的にモニタし、COMP\_Cn の最大許容値を変更してこの項を補償します。I<sub>OUT</sub> を制限するためのデータ点を、IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT のセクションに示します (50 ページ)。

過電流フォルト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
- 直ちにシャットダウン – ラッチ・オフ
- 直ちにシャットダウン – MFR\_RETRY\_DELAY で指定した間隔で無期限に再試行。

過電流応答は、(0~7)・16ms 刻みでデグリッチできます。表 15 を参照してください。

### タイミング・フォルトに対する応答

TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT は、起動時に V<sub>OUT</sub> が立ち上がって安定するまでに許容される時間です。TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT の条件は、出力の SOFT\_START シーケンス時に VOUT\_UV\_FAULT\_LIMIT が検出されることを前提にしています。TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT の計測は、TON\_DELAY が経過して SOFT\_START シーケンスが始まった後に開始されます。TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT の分解能は

10μs です。TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT で指定される時間以内に VOUT\_UV\_FAULT\_LIMIT に達しない場合、このフォルトの応答は 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とすることができます。

- 無視
- 直ちにシャットダウン (スイッチング停止) – ラッチ・オフ
- 直ちにシャットダウン – MFR\_RETRY\_DELAY で指定した間隔で無期限に再試行。

このフォルト応答はデグリッチされません。TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT の値を 0 にするということは、フォルトを無視することを意味します。TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT は TON\_RISE より長い時間に設定する必要があります。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。そうしないと出力電圧が上昇せず、何のフラグもセットされなくなることがあります。表 16 を参照してください。

### V<sub>IN</sub> OV フォルトに対する応答

V<sub>IN</sub> の過電圧は ADC で測定します。この応答は、ADC の応答時間 (代表値 100ms) によって自然にデグリッチされます。フォルト応答は以下のとおりです。

- 無視
- 直ちにシャットダウン – ラッチ・オフ
- 直ちにシャットダウン – MFR\_RETRY\_DELAY で指定した間隔で無期限に再試行。表 16 を参照してください。

### OT / UT フォルトに対する応答

#### 内部過熱フォルト応答

内部温度センサーが NVM を損傷から保護します。85°C を超える温度での NVM への書込みは推奨しません。130°C より高い温度は内部過熱警告閾値を超えているので、デバイスは NVM をディスエーブルして、温度が 125°C に低下するまでイネーブルしません。ダイ温度が 160°C を超えると内部温度フォルト応答が有効になり、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。内部温度フォルトを無視することはできません。また、



## デュアル25A/30A PSMの動作

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。

### 外部過熱フォルト応答および低温フォルト応答

各チャンネルのインダクタやパワー MOSFET などの重要回路素子の温度検出には、2個の内部温度センサーが使われます。また、過熱状態に対する応答の決定にはOT\_FAULT\_RESPONSE コマンドを、低温状態に対する応答の決定にはUT\_FAULT\_RESPONSE コマンドを使用します。外付けの検出素子を使用しない場合は(非推奨)、UT\_FAULT\_RESPONSE を無視に設定してUT\_FAULT\_LIMITを275°Cに設定します。フォルト応答は以下のとおりです。

- 無視
- 直ちにシャットダウン – ラッチ・オフ
- 直ちにシャットダウン – MFR\_RETRY\_DELAY で指定した間隔で無期限に再試行。表16を参照してください。

### 入力過電流フォルトおよび出力低電流フォルトに対する応答

入力過電流と出力低電流はADCで測定します。フォルト応答は以下のとおりです。

- 無視
- 直ちにシャットダウン – ラッチ・オフ
- 直ちにシャットダウン – MFR\_RETRY\_DELAY で指定した間隔で無期限に再試行。表15を参照してください。

### 外部フォルトに対する応答

いずれかのFAULT\_Cnピンがローになると、STATUS\_WORD コマンドのOTHERビットとSTATUS\_MFR\_SPECIFIC コマンドの該当ビットがセットされて、ALERTピンがローになります。応答はデグリッチされません。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ピンがローになった場合の応答として、これを無視するか、あるいはシャットダウンしてから再試行を行う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。

### フォルト・ログ

LTM4664A PSMはフォルト・ログ機能を備えています。データは表19に示す順でメモリに記録され、RAM内の常時更新されるバッファに格納されます。フォルト・イベントが発生すると、フォルト・ログ・バッファがRAMのバッファからNVMにコピーされます。フォルト・ログへの記録は85°Cを超える温度でも可能ですが、10年間のデータ保持期間は確保されません。ダイ温度が130°Cを超えると、フォルト・ログはダイ温度が125°C未満に低下するまで遅延されます。フォルト・ログ・データは、MFR\_FAULT\_LOG\_CLEAR コマンドが発行されるまでNVM内に残ります。このコマンドを発行すると、フォルト・ログ機能が再度イネーブルされます。フォルト・ログを再度イネーブルする前に、フォルトが存在しないこと、およびCLEAR\_FAULTS コマンドが発行済みであることを確認してください。

LTM4664A PSMは、起動時またはリセット終了時にNVMをチェックして、有効なフォルト・ログの有無を確認します。NVM内に有効なフォルト・ログが存在する場合は、STATUS\_MFR\_SPECIFIC コマンドの「Valid Fault Log」(有効なフォルト・ログ)ビットがセットされて、ALERT イベントが生成されます。また、フォルト・ログはLTM4664A PSMがMFR\_FAULT\_LOG\_CLEAR コマンドを受け取るまで遮断され、その後に再度有効になります。

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フォルトが発生した場合は、EEPROMに情報が格納されます。FAULT\_Cnを外部からローにした場合、フォルト・ログ・イベントはトリガされません。

### バスのタイムアウト保護

シリアル・インターフェースのフォルトが解消されない状況を防ぐために、LTM4664A PSMにはタイムアウト機能が備わっています。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前の最初のSTART イベントから開始されます。データ・パケット情報は30ms以内に完了させる必要があります。この時間を超えると、LTM4664A 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。時間を延長する必要がある場合は、MFR\_CONFIG\_ALLのビット3をアサートして、バス・タイムアウト値を255ms(代表値)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)、すべてのデータ・バイト、およびPECバイト(該当する場合)が含まれます。

LTM4664A PSMでは、ブロック読出しデータ・パケットに対するPMBusタイムアウトを延長できます。このタイムアウトはブロック読出しの長さに比例します。ブロック読出しの追加



## デュアル25A/30A PSMの動作

のタイムアウトは、主にMFR\_FAULT\_LOGコマンドに適用されます。タイムアウト時間のデフォルト値は32msです。

シリアル・バス・インターフェースを共有するすべてのデバイス間でデータ・パケット伝送を効率的に行うために、クロック・レートはできるだけ速い値を使用することを推奨します。LTM4664A PSMは、PMBus周波数範囲である10kHz～400kHzの全域をサポートしています。

### PMBus、SMBus、I<sup>2</sup>C 2線式インターフェースの類似点

PMBus 2線式インターフェースはSMBusの拡張版です。SMBusはI2Cを基本に構築されたもので、タイミング、DCパラメータ、プロトコルが少し異なっています。PMBus／SMBus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プロトコルは単純なI<sup>2</sup>Cバイト・コマンドより信頼性が向上しています。一般に、I<sup>2</sup>C通信用に設定が可能なマスタ・デバイスは、ハードウェアやファームウェアにごくわずかな変更を加えるだけでPMBus通信にも使用することができ、場合によってはまったく変更が不要なこともあります。I<sup>2</sup>Cコントローラの中には反復スタート(リスタート)をサポートしていないものもありますが、反復スタートはSMBus／PMBusの読出しには必要です。汎用I<sup>2</sup>Cコントローラを使用する場合は、反復スタートをサポートしていることを確認してください。

LTM4664A PSMはSMBusクロックの最高速度である100kHzに対応でき、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た場合は、より高速のPMBus仕様(100kHz～400kHz)にも対応できます。信頼性の高い通信と動作については、PMBusコマンド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って有効になります。

PMBusに適用されるSMBusの軽微な拡張と例外の説明については、PMBus Specification Part 1 Revision 1.2: Paragraph 5: Transportを参照してください。

また、SMBusとI<sup>2</sup>Cの相違については、System Management Bus (SMBus) Specification Version 2.0: Appendix B – Differences Between SMBus and I<sup>2</sup>Cを参照してください。

### PMBusシリアル・デジタル・インターフェース

LTM4664A PSMは、標準のPMBusシリアル・バス・インターフェースを使ってホスト(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。LTM4664A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LTM4664A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

図11～図28に上記PMBusプロトコルを示します。すべ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、フォルト・ログの読出し時にはPMBusのタイムアウトを延長できます。

このセクションに示すプロトコル図の重要点を図11に示します。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、そのフィールドに必須の値です。

PMBusが実装しているデータ・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。この場合、伝送方向は変わりません。
- 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・トランスミッタがマスタ・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。マスタは、伝送中の方向転換時に開始条件とスレーブ・アドレスの両方を繰り返しますが、その際にR/Wビットを反転させます。この場合、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を生成することによって伝送を終了します。

## デュアル 25A/30A PSM の動作

凡例については、[図 11](#) を参照してください。

信頼性の高いシステム通信を実現するために、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/30A PSM のアプリケーション情報](#)のセクションに示す 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。

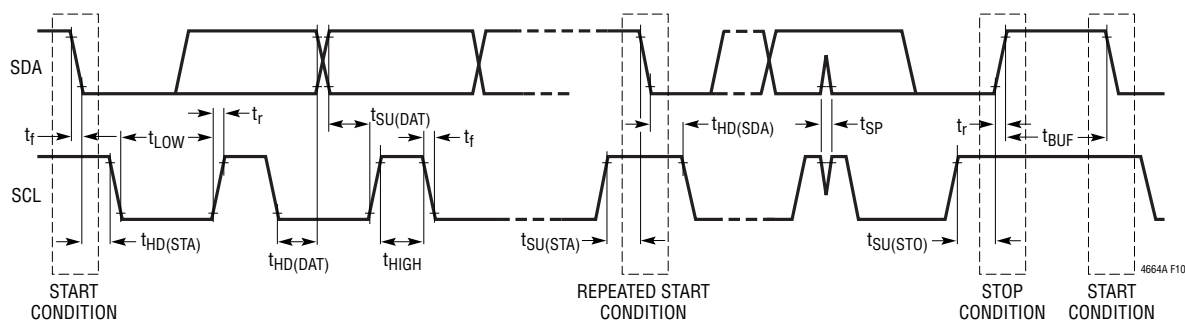


図 10. PMBus タイミング図

表 6. サポートしているデータ・フォーマットを表す略号

	PMBus		アナログ・デバイセズの用語	定義	例
	用語	仕様の参照先			
L11	Linear	Part II ¶7.1	Linear_5s_11s	浮動小数点形式の 16 ビット・データ: 値 = $Y \cdot 2^N$ 、ここで $N = b[15:11]$ および $Y = b[10:0]$ 、どちらも 2 の補数形式の 2 進整数	$b[15:0] = 0x9807 = 10011\_000\_0000\_0111$ value = $7 \cdot 2^{-13} = 854E-6$
L16	Linear VOUT_MODE	Part II ¶8.2	Linear_16u	浮動小数点形式の 16 ビット・データ: 値 = $Y \cdot 2^{-12}$ 、ここで $Y = b[15:0]$ 、符号なし整数	$b[15:0] = 0x4C00 = 0100\_1100\_0000\_0000$ value = $19456 \cdot 2^{-12} = 4.75$
CF	DIRECT	Part II ¶7.2	Varies	PMBus コマンドの詳細説明に定義されたカスタム形式の 16 ビット・データ	多くの場合は符号なし整数または 2 の補数形式の整数
Reg	Register Bits	Part II ¶10.3	Reg	PMBus コマンドの詳細説明にビットごとの意味が定義されています。	PMBus STATUS_BYTE command
ASC	Text Characters	Part II ¶22.2.1	ASCII	ISO/IEC 8859-1 [A05]	LTC (0x4C5443)

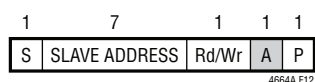
## デュアル 25A/30A PSM の動作

## 図 11～図 28: PMBus のプロトコル

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

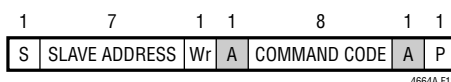
4664A F11

図 11. PMBus パケット・プロトコル図の凡例



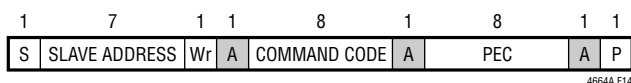
4664A F12

図 12. クイック・コマンド・プロトコル



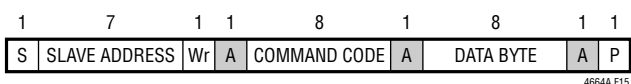
4664A F13

図 13. バイト送信プロトコル



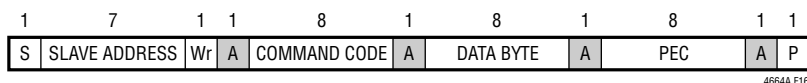
4664A F14

図 14. PEC 付きバイト送信プロトコル



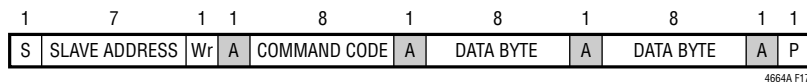
4664A F15

図 15. バイト書き込みプロトコル



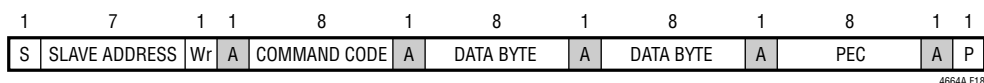
4664A F16

図 16. PEC 付きバイト書き込みプロトコル



4664A F17

図 17. ワード書き込みプロトコル



4664A F18

図 18. PEC 付きワード書き込みプロトコル

## デュアル 25A/30A PSM の動作

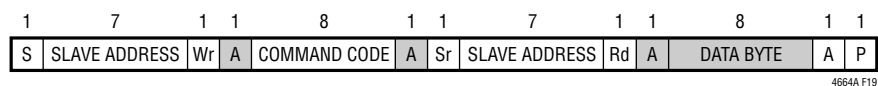


図 19. バイト読出しプロトコル

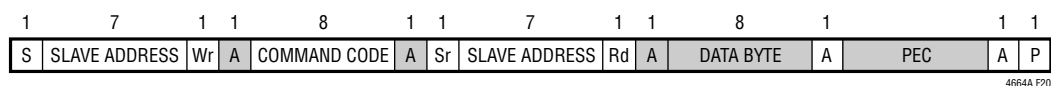


図 20. PEC 付きバイト読出しプロトコル

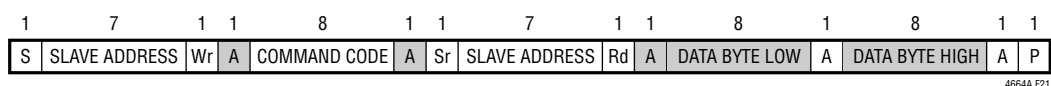


図 21. ワード読出しプロトコル

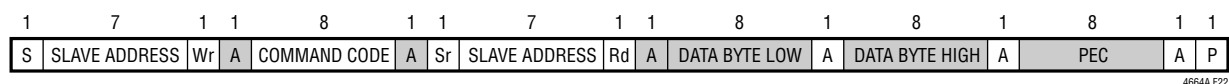


図 22. PEC 付きワード読出しプロトコル

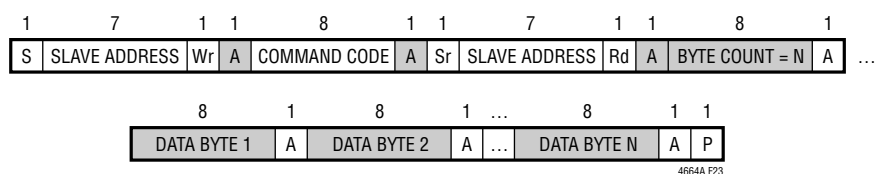


図 23. ブロック読出しプロトコル

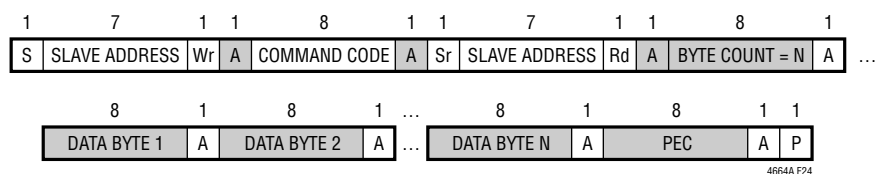


図 24. PEC 付きブロック読出しプロトコル

## デュアル 25A/30A PSM の動作

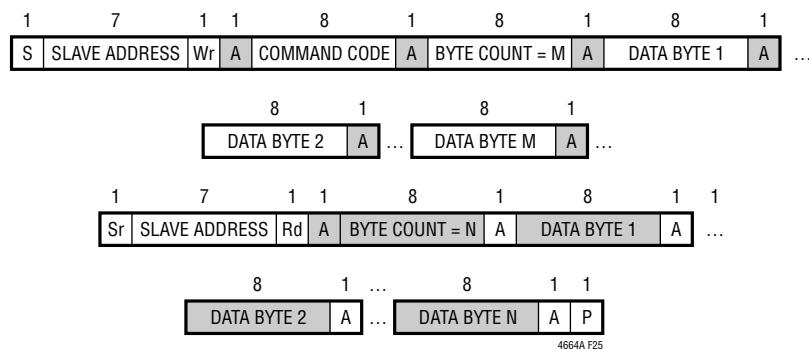


図 25. ブロック書き込み – ブロック読出しプロセス呼び出し

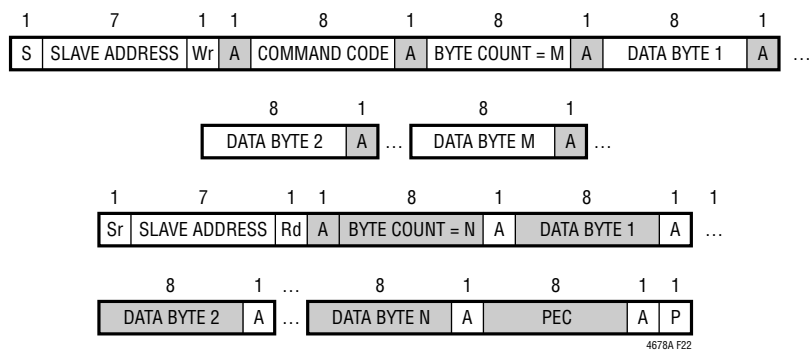


図 26. ブロック書き込み – PEC 付きブロック読出しプロセス呼び出し

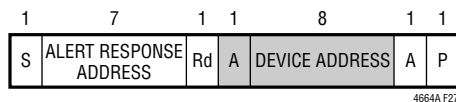


図 27. アラート応答アドレス・プロトコル

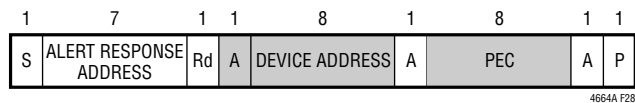


図 28. PEC 付きアラート応答アドレス・プロトコル



## PMBus コマンドの概要

### PMBus コマンド

サポートされている PMBus コマンドとメーカー固有コマンドの一覧を表7に示します。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。できるだけこの仕様を参照してください。例外やメーカー固有の実装を表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値は、16ビット符号付きリニア・フォーマット(前述PMBus文献のセクション8.3.1)または Linear\_5s\_11s フォーマット(同セクション7.1)のうち、そのコマンドの該当する方が使われます。0xD0から0xFFまでのコマンドで表7に記載されていないものがある場合、それらはメーカーが指定済みとして扱っていることを暗黙に示しています。これらのコマンドの範囲内では、デバイスの望ましくない動作を回避するためにブラインド書き込みを行わないようにする必要があります。0x00から0xCFまでのコマンドで表7に記載されていないものがある場合、それらはメーカーによってサポートされていないこと

を暗黙に示しています。サポート対象外のコマンドや指定済みのコマンドにアクセスしようとすると、CML コマンド・フォルトとなる可能性があります。出力電圧のすべての設定値と測定値は、VOUT\_MODE = 0x14の設定に基づいています。これは、指数で言うと $2^{-12}$ に相当します。

PMBus コマンドの受信に処理が追いつかなくなると、デバイスがビジー状態となって新たなコマンドを処理できなくなることがあります。この場合、デバイスは、PMBus Specification v1.2, Part II, Section 10.8.7に規定されたプロトコルに従って、ビジー状態であることを伝えます。このデバイスは、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、信頼性の高い通信とシステム動作を確保するための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/30A PSMのアプリケーション情報のセクション](#)に示す PMBus 通信とコマンド処理に関する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:データ・フォーマットを表す略号の詳細は表8に記載)

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 デバイスとの統合化を実現します。	R/W Byte	N	Reg			0x00	<a href="#">90</a>
OPERATION	0x01	動作モードを制御します。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	<a href="#">94</a>
ON_OFF_CONFIG	0x02	RUNピンおよびPMBusバスのオン/オフ・コマンドを設定します。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x1E	<a href="#">94</a>
CLEAR_FAULTS	0x03	セットされたすべてのフォルト・ビットをクリアします。	Send Byte	N				NA	<a href="#">119</a>
PAGE_PLUS_WRITE	0x05	指定されたページにコマンドを直接書き込みます。	W Block	N					<a href="#">90</a>
PAGE_PLUS_READ	0x06	指定されたページからコマンドを直接読み出します。	Block R/W	N					<a href="#">90</a>
WRITE_PROTECT	0x10	意図せぬ変更に対してデバイスが提供する保護のレベル。	R/W Byte	N	Reg		Y	0x00	<a href="#">91</a>
STORE_USER_ALL	0x15	ユーザの動作メモリの内容をEEPROMに格納します。	Send Byte	N				NA	<a href="#">130</a>
RESTORE_USER_ALL	0x16	ユーザの動作メモリの内容をEEPROMから復元します。	Send Byte	N				NA	<a href="#">130</a>
CAPABILITY	0x19	このデバイスがサポートするPMBusオプション通信プロトコルの概要。	R Byte	N	Reg			0xB0	<a href="#">118</a>
SMBALERT_MASK	0x1B	ALERT動作をマスクします。	Block R/W	Y	Reg		Y	See CMD	<a href="#">119</a>
VOUT_MODE	0x20	出力電圧のフォーマットと指数( $2^{-12}$ )。	R Byte	Y	Reg			$2^{-12}$ 0x14	<a href="#">100</a>
VOUT_COMMAND	0x21	公称出力電圧設定値。	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.0 0x1000	<a href="#">101</a>
VOUT_MAX	0x24	VOUT_MARGIN_HIを含む、コマンドで指定した出力電圧の上限値。	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.8 0x1CCD	<a href="#">100</a>

## PMBus コマンドの概要

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値	ページ
VOUT_MARGIN_HIGH	0x25	マージン・ハイ出力電圧設定値。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 <sub>OUT</sub> の新しい値が指定されたときの出力変化率。	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	ユニット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	ユニット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	出力過電圧フォルト・リミット。	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.1 0x119A	100
VOUT_OV_FAULT_RESPONSE	0x41	出力過電圧フォルト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	出力低電圧フォルト・リミット。	R/W Word	Y	L16	V	Y	0.9 0x0E66	101
VOUT_UV_FAULT_RESPONSE	0x45	出力低電圧フォルト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	出力過電流フォルト・リミット	R/W Word	Y	L11	A	Y	40 0xE280	103
IOUT_OC_FAULT_RESPONSE	0x47	出力過電流フォルト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	出力過電流警告リミット。	R/W Word	Y	L11	A	Y	30.0 0xDBC0	104
OT_FAULT_LIMIT	0x4F	外部過熱フォルト・リミット。	R/W Word	Y	L11	C	Y	128 0xF200	105
OT_FAULT_RESPONSE	0x50	外部過熱フォルトが検出されたときのデバイスの動作。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xB8	106
OT_WARN_LIMIT	0x51	外部過熱警告リミット。	R/W Word	Y	L11	C	Y	125 0xEBE8	114
UT_FAULT_LIMIT	0x53	外部低温フォルト・リミット。	R/W Word	Y	L11	C	Y	-45 0xE530	105
UT_FAULT_RESPONSE	0x54	外部低温フォルト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	入力電源過電圧フォルト・リミット	R/W Word	N	L11	V	Y	15.5 0xD3E0	100
VIN_OV_FAULT_RESPONSE	0x56	入力過電圧フォルト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	入力電源低電圧警告リミット。	R/W Word	N	L11	V	Y	4.68 0xCA53	99
IIN_OC_WARN_LIMIT	0x5D	入力電源過電流警告リミット。	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 オン(もしくはその両方)から出力レールがオンになるまでの時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	0.0 0x8000	<a href="#">106</a>
TON_RISE	0x61	出力電圧が上昇し始めてからV <sub>OUT</sub> 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	<a href="#">106</a>
TON_MAX_FAULT_LIMIT	0x62	TON_RISEの開始からV <sub>OUT</sub> がV <sub>OUT_UV_FAULT_LIMIT</sub> を超えるまでの最大時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	5 0xCA80	<a href="#">107</a>
TON_MAX_FAULT_RESPONSE	0x63	TON_MAX_FAULT イベントが検出されたときのデバイスの動作。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xB8	<a href="#">112</a>
TOFF_DELAY	0x64	RUNまたはOPERATION オフ(もしくはその両方)からTOFF_FALL ランプ開始までの時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	0.0 0x8000	<a href="#">107</a>
TOFF_FALL	0x65	出力が低下し始めてから0Vに達するまでの時間。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	3 0xC300	<a href="#">107</a>
TOFF_MAX_WARN_LIMIT	0x66	TOFF_FALL 完了後にユニットが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	<a href="#">108</a>
STATUS_BYTE	0x78	ユニットのフォルト状態を1バイトに要約したもの。	R/W Byte	Y	Reg			NA	<a href="#">120</a>
STATUS_WORD	0x79	ユニットのフォルト状態を2バイトに要約したもの。	R/W Word	Y	Reg			NA	<a href="#">121</a>
STATUS_VOUT	0x7A	出力電圧のフォルトおよび警告のステータス。	R/W Byte	Y	Reg			NA	<a href="#">121</a>
STATUS_IOUT	0x7B	出力電流のフォルトおよび警告のステータス。	R/W Byte	Y	Reg			NA	<a href="#">122</a>
STATUS_INPUT	0x7C	入力電源のフォルトおよび警告のステータス。	R/W Byte	N	Reg			NA	<a href="#">122</a>
STATUS_TEMPERATURE	0x7D	READ_TEMPERATURE_1の外部温度フォルトおよび警告のステータス。	R/W Byte	Y	Reg			NA	<a href="#">123</a>
STATUS_CML	0x7E	通信とメモリのフォルトおよび警告のステータス。	R/W Byte	N	Reg			NA	<a href="#">123</a>
STATUS_MFR_SPECIFIC	0x80	メーカー固有のフォルトおよび状態の情報。	R/W Byte	Y	Reg			NA	<a href="#">124</a>
READ_VIN	0x88	測定された入力電源電圧。	R Word	N	L11	V		NA	<a href="#">127</a>
READ_IIN	0x89	測定された入力電源電流。	R Word	N	L11	A		NA	<a href="#">127</a>
READ_VOUT	0x8B	測定された出力電圧。	R Word	Y	L16	V		NA	<a href="#">127</a>
READ_IOUT	0x8C	測定された出力電流。	R Word	Y	L11	A		NA	<a href="#">127</a>
READ_TEMPERATURE_1	0x8D	外部温度センサーの温度。この値は、IOUT_CAL_GAINを含むすべての温度関連処理に使われます。	R Word	Y	L11	C		NA	<a href="#">127</a>
READ_TEMPERATURE_2	0x8E	内部ダイのジャンクション温度。他のコマンドには影響しません。	R Word	N	L11	C		NA	<a href="#">127</a>
READ_FREQUENCY	0x95	測定されたPWMスイッチング周波数。	R Word	Y	L11	Hz		NA	<a href="#">127</a>
READ_POUT	0x96	測定された出力電力。	R Word	Y	L11	W		N/A	<a href="#">127</a>
READ_PIN	0x97	入力電力の計算値。	R Word	Y	L11	W		N/A	<a href="#">128</a>
PMBus_REVISION	0x98	このデバイスがサポートするPMBusのバージョン。現在のバージョンは1.2。	R Byte	N	Reg			0x22	<a href="#">118</a>
MFR_ID	0x99	LTM4664AのメーカーID(ASCII)。	R String	N	ASC			LTC	<a href="#">118</a>

## PMBus コマンドの概要

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値	ページ
MFR_MODEL	0x9A	メーカー製品番号 (ASCII)。	R String	N	ASC			LTM4664	<a href="#">118</a>
MFR_VOUT_MAX	0xA5	VOUT_OV_FAULT_LIMITを含む最大許容出力電圧。	R Word	Y	L16	V		1.8 0x1CCD	<a href="#">102</a>
MFR_PIN_ACCURACY	0xAC	READ_PIN コマンドの精度を返します。	R Byte	N	%			5.0%	<a href="#">128</a>
USER_DATA_00	0xB0	OEM 指定済み。通常は製品のシリアル番号付与に使用します。	R/W Word	N	Reg		Y	NA	<a href="#">118</a>
USER_DATA_01	0xB1	LTpowerPlay <sup>®</sup> 用にメーカー指定済み。	R/W Word	Y	Reg		Y	NA	<a href="#">118</a>
USER_DATA_02	0xB2	OEM 指定済み。通常は製品のシリアル番号付与に使用します。	R/W Word	N	Reg		Y	NA	<a href="#">118</a>
USER_DATA_03	0xB3	ユーザが使用できる NVM ワード。	R/W Word	Y	Reg		Y	0x0000	<a href="#">118</a>
USER_DATA_04	0xB4	ユーザが使用できる NVM ワード。	R/W Word	N	Reg		Y	0x0000	<a href="#">118</a>
MFR_EE_UNLOCK	0xBD	弊社にお問い合わせください。							<a href="#">135</a>
MFR_EE_ERASE	0xBE	弊社にお問い合わせください。							<a href="#">135</a>
MFR_EE_DATA	0xBF	弊社にお問い合わせください。							<a href="#">135</a>
MFR_CHAN_CONFIG	0xD0	チャンネル固有の設定ビット。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x1D	<a href="#">92</a>
MFR_CONFIG_ALL	0xD1	汎用設定ビット。	R/W Byte	N	Reg		Y	0x21	<a href="#">93</a>
MFR_FAULT_PROPAGATE	0xD2	どのフォルトをFAULTピンに伝搬させるかを決定する設定。	R/W Word	Y	Reg		Y	0x6993	<a href="#">115</a>
MFR_PWM_COMP	0xD3	PWM ループ補償設定。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x28	<a href="#">96</a>
MFR_PWM_MODE	0xD4	PWM エンジンの設定。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xC7	<a href="#">95</a>
MFR_FAULT_RESPONSE	0xD5	FAULTピンが外部からローにアサートされたときのデバイスの動作。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xC0	<a href="#">113</a>
MFR_OT_FAULT_RESPONSE	0xD6	内部過熱フォルトが検出されたときのデバイスの動作。	R Byte	N	Reg			0xC0	<a href="#">113</a>
MFR_IOUT_PEAK	0xD7	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での READ_IOUT の最大測定値をレポートします。	R Word	Y	L11	A		NA	<a href="#">128</a>
MFR_ADC_CONTROL	0xD8	高速で ADC リードバックを繰り返す場合に選択される ADC 遠隔測定パラメータ。	R/W Byte	N	Reg			0x00	<a href="#">129</a>
MFR_RETRY_DELAY	0xDB	FAULT 再試行モード時の再試行間隔。	R/W Word	Y	L11	ms	Y	250.0 0xF3E8	<a href="#">108</a>
MFR_RESTART_DELAY	0xDC	LTM4664A 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	<a href="#">108</a>
MFR_VOUT_PEAK	0xDD	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での READ_VOUT の最大測定値。	R Word	Y	L16	V		NA	<a href="#">128</a>
MFR_VIN_PEAK	0xDE	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での READ_VIN の最大測定値。	R Word	N	L11	V		NA	<a href="#">128</a>
MFR_TEMPERATURE_1_PEAK	0xDF	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での最大外部温度測定値 (READ_TEMPERATURE_1)。	R Word	Y	L11	C		NA	<a href="#">128</a>
MFR_READ_IIN_PEAK	0xE1	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降での READ_IIN コマンドの最大測定値。	R Word	N	L11	A		NA	<a href="#">128</a>
MFR_CLEAR_PEAKS	0xE3	すべてのピーク値をクリアします。	Send Byte	N				NA	<a href="#">120</a>
MFR_READ_ICHIP	0xE4	SVIN ピンの測定電源電流値。	R Word	N	L11	A		NA	<a href="#">128</a>



## PMBus コマンドの概要

コマンド名	コマンド・コード	説明	タイプ	ページ指定	データ・フォーマット	単位	NVM	デフォルト値	ページ
MFR_IOUT_CAL_GAIN	0xDA	電流検出ピンの電圧と検出した電流の比。固定電流検出抵抗を使用するデバイス用。mΩ 単位の抵抗値。出荷時に 0xAA8B に設定	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 <sup>2</sup> 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	LTM4664Aとその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へのフォルト・ログ転送を指示します。	Send Byte	N				NA	131
MFR_INFO	0xB6	弊社にお問い合わせください。							135
MFR_FAULT_LOG_CLEAR	0xEC	フォルト・ログ用として指定済みのEEPROMブロックを初期化します。	Send Byte	N				NA	135
MFR_FAULT_LOG	0xEE	フォルト・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	125
MFR_COMPARE_USER_ALL	0xF0	現在のコマンドの内容をNVMと比較します。	Send Byte	N				NA	130
MFR_TEMPERATURE_2_PEAK	0xF4	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降での最大内部ダイ温度。	R Word	N	L11	C		NA	129
MFR_PWM_CONFIG	0xF5	位相制御を含め、DC/DCコントローラ用の様々な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 <sub>IN</sub> ピン用フィルタ素子の抵抗値 (mΩ)。出荷時に設定	R Word	N	L11	mΩ	N	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	-273.1°Cを基準として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	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ビット共有クロック・カウンタの値。	R Block	N	CF			NA	xx
MFR_RESET	0xFD	電源遮断が不要なコマンドによるリセット。	Send Byte	N				NA	94

**Note 1.** NVM列に「Y」と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復元されることを示します。

**Note 2.** デフォルト値がNAのコマンドは「該当しない」ことを示し、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」していることを示します。

**Note 3.** LTM4664Aには表7に記載されていない追加コマンドも含まれています。これらのコマンドを読み出してもICの動作に悪影響はありませんが、その内容と意味は予告なく変更されることがあります。

**Note 4.** 一部の未公開コマンドは読み出し専用で、書き込みを行うとCMLビット6のフォルトが発生します。

**Note 5.** 表7で公開されていないコマンドへ書き込みを行うことはできません。

**Note 6.** コマンド名に基づいて異なるデバイスとのコマンドの互換性を判断しないようにしてください。コマンド機能の詳細な定義については、必ず、メーカーが提供する各デバイスのデータシートを参照してください。アナログ・デバイスはすべてのデバイス間でコマンドの機能に互換性を持たせるよう努めていますが、製品の具体的な条件によって違いが生じる場合があります。

## 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 の補数形式の整数で、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 にハードワイヤード接続 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	Register	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 コマンドの詳細説明に定義されています。
L16	Integer Word	PMBus のデータ・フィールド b[15:0] 値 = Y ここで、Y = b[15:0] は 16 ビットの符号なし整数 例： b[15:0] = 0x9807 = 'b1001_1000_0000_0111 の場合、 値 = 38919 (10 進数)
CF	Custom Format	値は PMBus コマンドの詳細説明に定義されています。 多くの場合は、MFR 固有の定数を乗じた符号なし整数または 2 の補数形式の整数です。
ASC	ASCII Format	ISO/IEC 8859-1 規格準拠のテキスト文字で構成される可変長文字列です。

## デュアル 25A/30A PSM のアプリケーション情報

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

V<sub>IN</sub> から V<sub>OUT</sub> への最大降圧比については、与えられた入力電圧に応じて実現可能な値が制約されます。LTM4664A PSM の各出力は 500kHz 時に 95% のデューティ・サイクルを実現できますが、V<sub>IN</sub> から V<sub>OUT</sub> へ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・サイクルに関係する出力電流の供給能力が制限されます。

最小オン時間 t<sub>ON(MIN)</sub> は、デバイスを特定の周波数で動作させながら指定されたデューティ・サイクルを維持させる必要がある場合に考慮しなければならない、もう 1 つの事項です。これは、t<sub>ON(MIN)</sub> < D/f<sub>SW</sub> (ここで D はデューティ・サイクル、f<sub>SW</sub> はスイッチング周波数) という事実によります。t<sub>ON(MIN)</sub> は、電気的パラメータで 60ns に規定されています。出力電流のガイドラインについては、[電気的特性](#)のセクションの注 6 を参照してください。LTM4664A のフロント・エンドの 4:1 分圧器は 7.5V ~ 14.5V の範囲の V<sub>OUT2</sub> を 2 つの 25A/30A PSM チャンネルに供給するため、オン時間に関する最小値はありません。

## 入力コンデンサ

LTM4664A PSM チャンネルは、低 AC インピーダンスの DC 電源に接続する必要があります。レギュレータ入力については、4 個の 22μF 入力セラミック・コンデンサを使って 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・コンデンサを使用できます。このバルク入力コンデンサが必要になるのは、長い誘導性のリードやパターン、または電源の容量 (キャパシタンス) 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限られます。低インピーダンスの電源プレーンを使用する場合、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は、次式によってスイッチングのデューティ・サイクルを見積もることができます。

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

各出力のインダクタ電流リップルを考えなければ、入力コンデンサの RMS 電流は次式で概算できます。

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

上の式で、η% は電源モジュールの推定効率です。バルク・コンデンサには、スイッチャに使用できる定格値を備えたアルミ電解コンデンサやポリマー・コンデンサを使用できます。

## 出力コンデンサ

LTM4664A PSM のチャンネル出力は出力電圧リップル・ノイズを小さくし、優れた過渡応答が得られるように設計されています。C<sub>OUT</sub> として定義され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に関する条件を満たすために、等価直列抵抗 (ESR) が十分に小さいものを選択します。C<sub>OUT</sub> には、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・コンデンサを使用できます。各出力の標準的な出力容量範囲は 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しなければならないことがあります。表 12 に、各チャンネルで 12.5A から 25A へのステップで 12A/μs のトランジェントが発生した場合に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組み合わせを示します。表 12 では、最適なトランジェント性能を得るために、合計等価 ESR と合計バルク容量が最適化されています。表 12 に示す一覧では、安定性に関する基準が考慮されています。安定性解析は、LTpowerCAD 設計ツールを使って行うことができます。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。アプリケーション・ノート 77 では、このノイズ低減と出力リップル電流相殺の関係について解説していますが、出力容量については、安定性や過渡応答との関係を慎重に検討する必要があります。LTpowerCAD 設計ツールを使用すると、実装位相数を N 倍に増加させたときの出力リップルの減少を計算できます。V<sub>OUTn</sub> ピンと V<sub>OSNS0</sub><sup>+</sup> ピンの間に 10Ω という小さい値の抵抗を直列に接続することで、ボーデ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することができるようになります。LTM4664A PSM の安定性補償は、2 つの外付けコンデンサと MFR\_PWM\_COMP コマンドを使って調整できます。

## 軽負荷電流動作

LTM4664A PSM のチャンネルには、高効率の、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。この動作モードは、MFR\_PWM\_MODE<sub>n</sub> コマンドのビット 0 を使って設定します (起動時のモードは常に不連続導通モードで、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インエーブルされている場合、インダクタ電流を反転させることはできません。インダクタ電流がゼロになる直前に逆電流コンパレータ (I<sub>REV</sub>) が

## デュアル25A/30A PSMのアプリケーション情報

下側MOSFET (MB<sub>n</sub>)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。したがって、コントローラは不連続(パルススキッピング)モードで動作できます。強制連続動作の場合、軽負荷時または大きなトランジェント状態時にはインダクタ電流を反転させることができます。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、軽負荷時の効率が不連続モード動作の場合より低下します。ただし、連続モードは出力リップルが小さく、オーディオ回路と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ことがあります。VIN\_OV\_FAULT\_LIMITはこれをVIN3で検出して、フォルトの原因となるチャンネルをオフにできます。ただし、このフォルトはADCの読出しに基づいており、検出までに最大100ms(公称値)を要することがあります。入力電源の電圧上昇が懸念される場合は、デバイスを不連続導通動作に維持してください。

## スイッチング周波数と位相

LTM4664A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アナログ・フェーズ・ロック・ループ(PLL)を同期することによって決定されます。SYNCピンのクロック波形はLTM4664A PSMの内部回路で生成できますが、外付けのプルアップ抵抗が3.3V(例えばV<sub>DD33</sub>)に接続されていて、なおかつLTM4664A PSM制御ICのFREQUENCY\_SWITCHコマンドが、250kHz、350kHz、425kHz、500kHz、575kHz、650kHz、750kHzのいずれかのサポート値に設定されている必要があります。この設定のモジュールを「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は双方向オープンドレイン・ピンになり、LTM4664A PSMは規定のクロック・レートにおいて1回につき500ns(公称値)ずつSYNCをロジック・ローにします。SYNC信号は、システム内の複数のモジュールのスイッチング周波数を同期させるために、他のLTM4664A PSMデバイス・モジュール(「同期スレーブ」に設定されたもの)にバスで接続することができます。ただし、「同期マスタ」として設定するのは1つのLTM4664A PSMデバイスだけとし、他のLTM4664Aは「同期スレーブ」として設定する必要があります。

最も単純な方法は、そのFREQUENCY\_SWITCHコマンドを0x0000に、MFR\_CONFIG\_ALL[4]を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により、容易に実施できます(表3参照)。MFR\_

CONFIG\_ALL[4] = 1bを使用すると、LTM4664AのSYNCピンは高インピーダンス入力のみになります。つまり、SYNCがローになることはありません。モジュールは、その周波数を、SYNCピンに入力されるクロックの周波数に同期させます。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フォルト性が要求される場合は、「同期スレーブ」のFREQUENCY\_SWITCHコマンドを、0x0000ではなくアプリケーションの公称目標スイッチング周波数のままにすることができます。ただし、その場合でもMFR\_CONFIG\_ALL[4] = 1bに設定する必要があります。この設定の組み合わせにより、LTM4664A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対応します。SYNCクロックが復旧すると、モジュールは通常どおり自動的にSYNCクロックと位相同期します。この方法の唯一の欠点は、前述のガイダンスに従ってEEPROMを設定する必要があります。FSWPH\_CFGピンの抵抗ピンストラップ・オプションだけでは、SYNCクロックが失われた場合の耐フォルト性を確保できません。

FREQUENCY\_SWITCHレジスタはI<sup>2</sup>Cコマンドを介して変更できますが、こ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)に限られます。FREQUENCY\_SWITCHコマンドは、VIN3のパワーアップ時にNVMに格納されている値を取りますが、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従っ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レールのすべてのアクティブ・チャンネルの相対位相は、すべて最適な値に設定する必要があります。各レールの相対位相設定は360°/nで、nはレール内での位相数です。MFR\_PWM\_CONFIG[2:0]は、SYNCピンを基準にチャンネルの相対位相を設定します。位相関係値は、上側MOSFET MT<sub>n</sub>のターンオンに一致するSYNCの立下がりエッジに対応して0°と表示されます。



## デュアル25A/30A PSMのアプリケーション情報

MFR\_PWM\_CONFIG コマンドは I<sup>2</sup>C コマンドを介して変更できますが、こ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)に限られます。MFR\_PWM\_CONFIG コマンドは、SV<sub>IN</sub>のパワーアップ時にNVMに格納されている値を取りますが、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従っ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] の組み合わせの中には、FSWPH\_CFG ピンの抵抗ピンストラップでは実現できないものもあります。FREQUENCY\_SWITCH と MFR\_PWM\_CONFIG[2:0] でサポートされている値のすべての組み合わせは、NVM のプログラミング、すなわち I<sup>2</sup>C トランザクションによって設定できます。ただし、スイッチング動作が停止している(つまりモジュールの出力がオフになっている)ことが前提です。

SYNC の容量を最小限に抑えてプルアップ抵抗とコンデンサ負荷の時定数が十分小さくなるようにし、アプリケーションが「クリーンな」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)。

LTM4664A PSM を同期スレーブとして設定した場合は、プルアップ抵抗を使用するのではなく、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。NVM の内容が RAM にダウンロードされるまでは、SYNC 出力が低インピーダンスになる可能性があるため、SV<sub>IN</sub> のパワーアップ時には、どの外部回路も任意に選択した低インピーダンスでハイに駆動してはなりません。

一般的な V<sub>IN</sub>-V<sub>OUT</sub> 間電圧を使用する多くのアプリケーションでの動作において、LTM4664A PSM に推奨されるスイッチング周波数を以下に示します。LTM4664A PSM の2つのチャンネルが入力電圧から出力電圧への降圧を行っていて、以下の表に示す推奨スイッチング周波数の値が大幅に異なる場合は、高い方の推奨スイッチング周波数での動作が望ましい選択ですが、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考慮事項のセクションを参照)。

表9. V<sub>IN</sub>-V<sub>OUT</sub> 間の様々な降圧シナリオにおける推奨 PSM スwitching 周波数

V	7.5V <sub>IN</sub>	10V <sub>IN</sub>	12V <sub>IN</sub>	14.5V <sub>IN</sub>
0.5	250kHz	250kHz	250kHz	250kHz
0.7				
0.8				
0.9				
1.0	350kHz	350kHz	350kHz	350kHz
1.2				
1.5				

### 出力電流リミットのプログラミング

サイクルごとの電流リミット(= V<sub>ISENSE</sub>/DCR)は COMP\_Cn に比例し、COMP\_Cn の値は PMBus コマンド IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT を使って 1.45V ~ 2.2V にプログラムできます。LTM4664A PSM は、1mΩ 未満の検出抵抗だけを使って電流レベルを検出します。65 ページを参照してください。LTM4664A PSM では2種類の範囲の電流リミットをプログラムできます。MFR\_PWM\_MODE[2] の値は指定済みであり、MFR\_PWM\_MODE[7] と IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT は電流リミット・レベルの設定に使われます。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、通常動作時には IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT の値より小さいピーク電流で出力電圧をレギュレーションできます。出力電流がこの電流リミットを超えた場合は、OC フォルトが生成されます。それぞれの IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT の範囲はループ・ゲインに影響し、更にはループ安定性にも影響するので、電流リミットの範囲設定はループ設計の一部になります。

電流リミットを調整する場合は、LTpowerCAD 設計ツールを使ってループ安定性の変化を調べることができます。LTM4664A 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行われますが、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大きすぎる場合は警告を発することができます。過電流フォルトは、COMP\_Cn 電圧が最大値に達した時点で検出されます。LTM4664A PSM にあるデジタル・プロセッサは、フォルトを無視する機能、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を行う機能(ヒカップ機能)のいずれかを備えています。詳細については、デュアル25A/30A 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 は、出力電力計算値のリードバックに使用できます。

## デュアル25A/30A PSMのアプリケーション情報

## 最小オン時間に関する考慮事項

最小オン時間  $t_{ON(MIN)}$  は、LTM4664A 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近づく可能性があるため、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できる値を下回ると、コントローラはサイクルのスキップを開始します。出力電圧のレギュレーションは引き続き行われますが、リップル電圧とリップル電流が増加します。

LTM4664Aの最小オン時間は60nsです。

## 可変遅延時間、ソフトスタート、出力電圧ランプ

LTM4664A PSMは、ソフトスタート前に動作状態になっている必要があります。RUN\_Cnピンはデバイスの初期化が行われ、 $V_{INS3}$ がVIN\_ON閾値より大きくなってからリリースされます。ステージ2のPGoodピンがRUN\_Cnピンをリリースします。1つのアプリケーションに複数のLTM4664A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する必要があります。これらのデバイスは、すべてのデバイスが初期化されてその $V_{INS3}$ がVIN\_ON閾値を超えるまで、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すべてのデバイスが確実に同じタイム・ベースを使用するようにします。

RUN\_Cnピンがリリースされると、コントローラはユーザ指定のターンオン遅延(TON\_DELAYn)だけ待機した後、出力電圧のランプ・アップを開始します。複数のLTM4664Aと他のアナログ・デバイス製デバイスを異なる遅延時間で起動するように設定することもできます。正常に動作させるには、すべてのデバイスが同じタイミング・クロック(SHARE\_CLK)を使用した上に、すべてのデバイスがRUN\_Cnピンを共有する必要があります。

これにより、すべてのデバイスの相対遅延を同期させることが可能です。遅延時間の実際の変動は、SHARE\_CLKピンに接続されたデバイスの中の最も速いクロック・レートによって決まります(アナログ・デバイセズのすべてのICは、最も速いSHARE\_CLK信号ですべ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信号の周波数には±10%の幅があるので、実際の遅延時間にはある程度の差が生じます。

ソフトスタートでは、負荷電圧を能動的にレギュレーションしながら、デジタル処理によって対象電圧を0Vから指定電圧設定値まで増加させます。この電圧ランプの立上がり時間はTON\_RISEnコマンドを使ってプログラムでき、起動時の電圧ランプに伴う突入電流を最小限に抑えることができます。ソフトスタート機能は、TON\_RISEnの値を0.250ms未満に設定することでデイスレーブルできます。LTM4664A PSMは、電圧ランプを目的の勾配に制御するために必要な計算を内部で行います。しかし、電圧勾配を、パワー段の $V_{OUTn}$ の基本的なリミットより大きくすることはできません。ton(MIN)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の時間設定が短いほど、ソフトスタート・ランプに生じるステップは離散的になります。

LTM4664A PSMのPWMは、TON\_RISEn動作時には常に不連続モードで動作します。不連続モードでは、インダクタの逆電流が検出されると直ちに下側MOSFET(MBn)がオフになります。これにより、プリバイアスされた負荷でレギュレータを起動することができます。

LTM4664A PSMにはアナログ・トラッキング機能がありませんが、2つの出力には同じTON\_RISEn時間とTON\_DELAYn時間を設定できるので、レシオメトリックなレール・トラッキングを実現することができます。RUNnピンは同時にリリースされ、どちらのユニットも同じタイム・ベース(SHARE\_CLK)を使用するので、出力トラッキングは非常に近いものになります。回路がPolyPhase構成になっている場合は、すべてのタイミング・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

最大限のレギュレーション出力電圧精度を得るには、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・モードのLTM4664A PSMは、ADCの電圧指示値に基づいてレギュレーション出力電圧を調整します。デジタル・サーボ・ループは、出力がADCの正しい指示値になるまで、90msごとにDACのLSB(電圧範囲ビットに応じて1.375mVまたは0.6875mV(いずれも公称値))ずつ値を調整します。パワーアップ時は、リミットが0(無制限)に設定されていない限り、TON\_MAX\_FAULT\_LIMITの経過後にこのモードに

## デュアル 25A/30A PSM のアプリケーション情報

なります。TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT が 0 (無制限) に設定されている場合は、TON\_RISE が完了して  $V_{OUT}$  が  $V_{OUT\_UV\_FAULT\_LIMIT}$  を超えた後にサーボ制御が開始されます。MFR\_PWM\_MODE のビット 0 の設定に従い、出力はこれと同じ時点で不連続モードから設定されたモードに切り替わります。時間基準のシーケンシングにおける  $V_{OUT}$  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 が 0 より大きい値に設定され、更に TON\_MAX\_FAULT\_RESPONSE が「無視」(0x00) に設定されている場合、サーボ制御は以下の条件で開始されます。

1. TON\_RISE シーケンスの完了後
2. TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT 時間の経過後
3.  $V_{OUT\_UV\_FAULT\_LIMIT}$  を超えた後、または  $I_{OUT\_OC\_FAULT\_LIMIT}$  が非アクティブになった後

TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT が 0 より大きい値に設定され、TON\_MAX\_FAULT\_RESPONSE が「無視」(0x00) に設定されていない場合、サーボ制御は以下の条件で開始されます。

1. TON\_RISE シーケンスの完了後
2. TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT 時間が経過して、 $V_{OUT\_UV\_FAULT}$  と  $I_{OUT\_OC\_FAULT}$  がどちらも存在しない場合

最大立上がり時間は 1.3 秒に制限されます。

PolyPhase 構成では、デジタル・サーボ・モードをイネーブルする制御ループを 1 つだけにすることを推奨します。これにより、リファレンス回路のわずかな違いが原因で、個々のループが互いに相反する動作をしないようにすることができます。

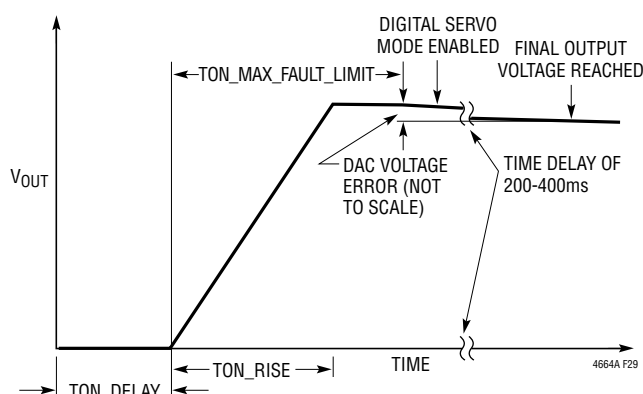


図 29. タイミング制御による  $V_{OUT}$  の立上がり

## ソフトオフ(シーケンシングによるオフ)

LTM4664A PSM は制御された形での起動に加えて、制御されたターンオフもサポートしています。TOFF\_DELAY と TOFF\_FALL の機能を図 30 に示します。RUN ピンがローになったときや、デバイスがオフするようにコマンドで指定された場合は、TOFF\_FALL が処理されます。デバイスにフォルトが発生してオフになった場合、または  $\overline{FAULT\_Cn}$  を外部からローにしたときにデバイスがこれに応答するようプログラムされている場合、出力は制御されたランピングを行わずにスリーステートになります。出力は負荷の関数として減衰していきます。デバイスが強制連続モードで、TOFF\_FALL の時間が十分に長くパワー段が必要な勾配を実現できる場合、出力電圧は図 30 に示すように動作します。この TOFF\_FALL 時間の条件を満たすことができるのは、パワー段とコントローラが、立下がり時間終了までに出力電圧を 0V にできるだけの十分な電流をシンクできる場合に限られます。TOFF\_FALL が負荷容量を放電するのに必要な時間より短い値に設定されている場合、出力は必要な 0V 状態に達しません。TOFF\_FALL が終了するとコントローラは電流のシンクを停止し、 $V_{OUT}$  は負荷インピーダンスによって決まる速度で自然に低下していきます。コントローラが不連続モードの場合、コントローラに負電流は流れ込まず、出力はパワー段ではなく負荷によってローになります。最大立下がり時間は 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 ランプに生じる個々のステップは大きくなります。ランプのステップ数は  $TOFF\_FALL/0.1ms$  に等しくなります。

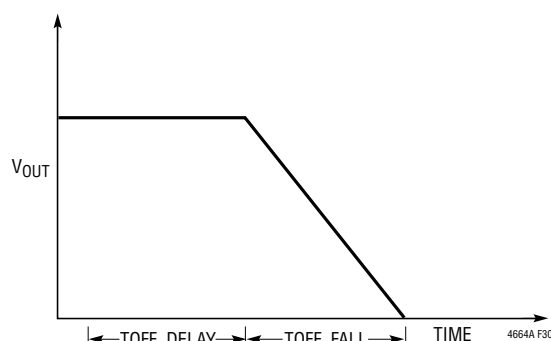


図 30. TOFF\_DELAY と TOFF\_FALL



## デュアル25A/30A PSMのアプリケーション情報

## 低電圧ロックアウト

LTM4664A PSMは内部閾値ベースのUVLOによって初期化されますが、ここでは $V_{INS3}$ を約4Vにする必要があります、 $INTV_{CC}$ 、 $V_{DD33}$ 、 $V_{DD25}$ はそれぞれのレギュレーション値の約20%以内にする必要があります。更に、 $V_{DD33}$ は、 $RUN\_Cn$ ピンがリリースされる前に目標値の約7%以内である必要があります。デバイスの初期化が完了すると、もう1つのコンパレータが $V_{INS3}$ をモニタします。電源シーケンシングを開始するには、その前に $VIN\_ON$ の閾値を超えていなければなりません。 $V_{INS3}$ が $VIN\_OFF$ 閾値を下回ると、 $SHARE\_CLK$ ピンがローになります。また、コントローラを再起動するには、その前に $V_{INS3}$ が $VIN\_ON$ 閾値を超えている必要があります。通常の起動シーケンスを行うことができるのは、 $VIN\_ON$ 閾値を超えた後になります。 $V_{INS3}$ 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 $\overline{ALERT}$ 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ても、 $\overline{ALERT}$ はローにアサートされます。LTM4664Aがリセット状態から復帰する前に $I^2C$ 通信が行われて、デバイスがコマンドの一部しか認識できなかった場合は、CMLフォルトとみなされることがあります。CMLフォルトが検出されると、 $\overline{ALERT}$ がローにアサートされます。

外部から $V_{DD33}$ 電源を直接 $V_{DD33}$ へ駆動するか、または $EXTV_{CC}$ 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LTM4664A PSMのデジタル部分がアクティブになりますが、高電圧セクションはイネーブルされません。この電源構成ではPMBus通信が有効です。LTM4664A PSMに $V_{INS3}$ が印加されていない場合は、 $MFR\_COMMON$ のビット3 (NVMが初期化されていない) がローにアサートされます。この状態が検出された場合、デバイスはアドレス5Aと5Bに対してのみ応答します。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を実行し、その後グローバル・アドレス0x5B、コマンド0xBD、データ0xC4を実行します。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の設定を行ってから、 $STORE\_USER\_ALL$ を発行してください。 $V_{IN}$ 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変換結果を読み出せるようにする必要があります。

## フォルトの検出と処理

LTM4664Aの $\overline{FAULT\_Cn}$ ピンは、OV、UV、OC、OT、タイミング・フォルト、ピーク過電流フォルトを含む様々なフォルトを通知するよう設定されています。更に、外部信号源によって $\overline{FAULT\_Cn}$ ピンをローにして、システムの他の部分での

フォルトを示すことができます。フォルト応答は設定構成可能で、以下のオプションを選ぶことができます。

- 無視
- 直ちにシャットダウン – ラッチ・オフ
- 直ちにシャットダウン –  $MFR\_RETRY\_DELAY$ で指定した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のセクションとPMBus仕様を参照してください。

OV応答は自動です。OV状態が検出されると $TGn$ がローになり、 $BGn$ がアサートされます。

LTM4664A PSMにはフォルト・ログ機能があります。フォルト・ログは、ユニットをオフにするようなフォルトの発生時にデータを自動的に格納するように設定できます。フォルト・ログの表のヘッダ部分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。このデータはフォルトのトラブルシューティング時に役立ちます。

LTM4664A PSMの内部温度が85°Cを超えた場合、NVMへの書込みは(フォルト・ログ以外)推奨できません。3.3V電源がUVLO閾値に達しない限り、データは引き続きRAM内に保持されます。ダイ温度が130°Cを超えると、NVMの通信はダイ温度が120°C未満に低下するまでディスエーブルされます。

## オープンドレイン・ピン

LTM4664A PSMには以下のオープンドレイン・ピンがあります。

## 3.3Vピン

1.  $\overline{FAULT\_Cn}$
2. SYNC
3.  $SHARE\_CLK$
4.  $PGOOD\_Cn$

5Vピン(5Vピンは3.3Vに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/30A PSMのアプリケーション情報

上記のすべてのピンは、0.4Vで3mAをシンクできる内蔵プルダウン・トランジスタに接続されています。これらのピンの低い方の閾値は0.8Vなので、電流3mAのデジタル信号には十分な余裕があります。3.3Vピンの場合、1.1kΩの抵抗を使用すれば電流は3mAになります。プルアップ抵抗とグラウンドまでの寄生容量のRC時定数に伴うトランジエント速度の問題が存在しない限り、一般的には10kΩ以上の抵抗が推奨されます。

SDA、SCL、SYNCのような高速信号では、これより小さい値の抵抗が必要になることがあります。タイミングの問題を避けるために、RC時定数は必要な立上がり時間の1/3～1/5に設定してください。負荷が100pFでPMBusの通信速度が400kHzの場合は、立上がり時間を300ns未満に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とピンと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%精度抵抗の値は1kです。通信上の問題を回避するために、SDAピンとSCLピンの寄生容量はできるだけ小さくするように注意してください。負荷容量を見積もるには、対象信号をモニタして、その信号が出力値の約63%に達するのにどれくらいの時間がかかるかを測定します。これが時定数の1単位になります。SYNCピンには内蔵プルダウン・トランジスタが接続されており、出力は500ns（公称値）の間ローに保持されます。内部発振器が500kHzに設定され、負荷が100pFで3倍の時定数が必要な場合、抵抗の計算は次のようになります。

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

最も近い1%抵抗の値は4.99kです。

タイミング誤差が発生する場合や、SYNCの周波数が要求速度に満たない場合は、波形をモニタして、RC時定数がそのアプリケーションにとって長すぎないかどうかを判断します。可能であれば寄生容量を減らしてください。あるいは、正常なタイミングを確保できるようになるまでプルアップ抵抗の値を減らします。SHARE\_CLKプルアップ抵抗の式も同様ですが、周期が10μsでプルダウン時間が1μsです。RC時定数は約3μs以下としてください。

## フェーズ・ロック・ループと周波数同期

LTM4664A 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。このPLLは、SYNCピンの立下がりエッジにロックされます。PWMコントローラとSYNCの立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、すべての位相の間隔を等しくすることを推奨します。したがって、2相システムでは信号の位相を180°ずらし、4相システムでは位相間隔を90°とします。

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間の位相シフトを検出します。このタイプの位相検出器は、外部クロックの高調波に誤って同期するおそれがありません。

位相検出器の出力は、内部フィルタ・ネットワークの充放電を行う1対の相補型電流源です。PLL同期が確保されている範囲は200kHz～1MHzです。公称デバイスの同期範囲は通常この範囲を超えていますが、この範囲を超えた部分での動作は確認されていません。

PLLには同期検出回路があります。動作中にPLLのロックが失われた場合は、STATUS\_MFR\_SPECIFICコマンドのビット4がアサートされて、ALERTピンがローになります。このフォルトは、同じビットに1を書き込むことでクリアできます。PLL\_FAULT発生時にALERTピンがアサートされないようにする場合は、SMBALERT\_MASKコマンドを使ってアラートの生成を防止することができます。

SYNC信号がアプリケーションのクロックとして使われていない場合は、公称設定周波数が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もその信号がクロックに使われていない場合、それらのデバイスは同期されず、出力に過剰な電圧リップルが生じることがあります。この状態になると、MFR\_PADSのビット10が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分な遷移があると、PLLは目的の信号ではなくノイズに同期しようとしています。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てSYNC信号へのクロストークを最小限に抑えます。PolyPhase構成では、複数のLTM4664Aの



## デュアル25A/30A PSMのアプリケーション情報

PSMセクションが1つのSYNCピンを共有する必要があります。他の構成の場合は、複数のSYNCピンを接続して単一のSYNC信号を生成するという方法もあります。複数のLTM4664AのPSMセクション間でSYNCピンを共有する場合、周波数出力を使用してセクションをプログラムできるLTM4664Aは1つだけです。それ以外のすべてのLTM4664Aのセクションは、SYNC出力をディスエーブルするようにプログラムする必要があります。ただし、その周波数は公称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

LTM4664A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、 $V_{\text{INS3\_Cn}}$ の電力段ピンに流れ込む電源電流を検出できます。 $R_{\text{SENSE}}$ の値は、MFR\_IIN\_CAL\_GAINコマンドを使ってプログラムできます。誤差をなくすために、 $R_{\text{SENSE}}$ 抵抗の両端でケルビン検出を行うことを推奨します。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によって測定される入力電流値に対し、入力過電流警告を発生させる入力電流値(A)を設定します。このリミットを超えたかどうかの判定にはREAD\_IINの値が使われます。READ\_IINコマンドは、入力電流検出抵抗を流れる入力電流の測定値(A)を返します。

$V_{\text{INS3}}$ コントローラ・ピンに流れ込む電流により、電源と $V_{\text{INS3}}$ 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、自動的に図2のブロック図に示す $1\Omega$ の内部検出抵抗に設定されます。LTM4664A PSMはMFR\_READ\_ICHIPの測定値にこの $1\Omega$ 抵抗を乗じて、得られた電圧を $V_{\text{INS3}}$ コントローラ・ピンの測定電圧に加算します。したがって、 $\text{READ\_VIN} = V_{\text{IN\_CNTLPIN}} + (\text{MFR\_READ\_ICHIP} \cdot 1\Omega)$ となります。MFR\_READ\_ICHIPコマンドは内部コントローラの電流の測定に使用します。また、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。

## プログラマブル・ループ補償

LTM4664Aは、ハードウェアを変更することなく過渡応答を最適化するプログラマブル・ループ補償機能を備えています。エラー・アンプのゲイン $g_m$ は $1.0\text{mV}$ ～ $5.73\text{mV}$ の範囲で変化し、補償抵抗 $R_{\text{COMP}}$ はコントローラ内部で $0\text{k}\Omega$ から $62\text{k}\Omega$ まで変化します。この設計では2つの補償コンデンサCOMP\_naとCOMP\_nbが必要で、COMP\_naとCOMP\_nbの代表的な比率は10です。図2のブロック図と図31を参照してください。

LTM4664A PSMは、 $g_m$ と $R_{\text{COMP}}$ だけを調整することによって柔軟なタイプII補償ネットワークを提供し、様々な出力コンデンサに対してループを最適化することができます。 $g_m$ を調整すると、図32に示すように、ポールとゼロの位置を変えことなく周波数範囲全体にわたって補償ゲインを変化させることができます。

$R_{\text{COMP}}$ を調整すると、図33に示すようにポールとゼロの位置が変化します。LTpowerCADツールを使って、 $g_m$ と $R_{\text{COMP}}$ の適切な値を決定することを推奨します。

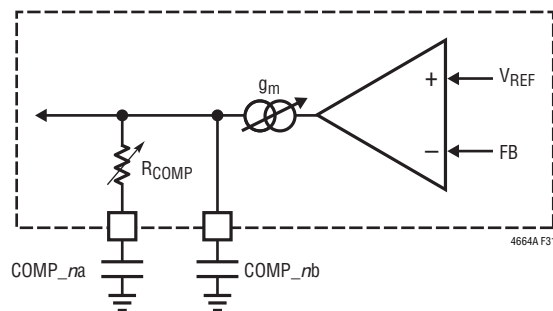
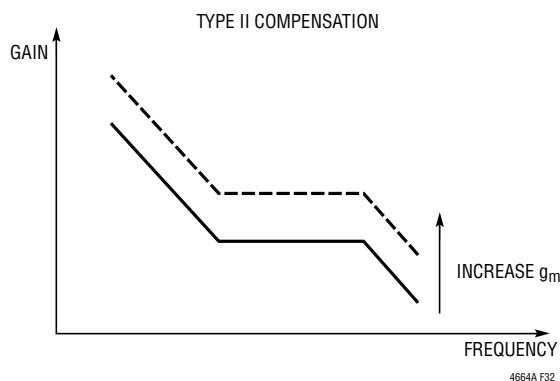
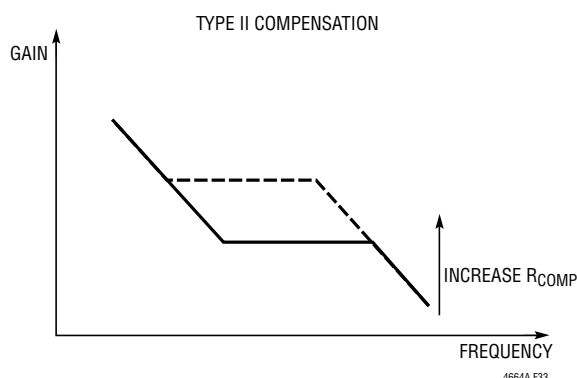


図31. プログラマブル・ループ補償

図32. エラー・アンプの $g_m$ 調整

## デュアル25A/30A PSMのアプリケーション情報

図33. R<sub>COMP</sub>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チェックできます。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への応答に数サイクルを要します。負荷ステップが発生すると、V<sub>OUT</sub>は $\Delta I_{LOAD}(ESR)$ に等しい大きさだけシフトします。ここで、ESRはC<sub>OUT</sub>の等価直列抵抗です。更に、 $\Delta I_{LOAD}$ によってC<sub>OUT</sub>の充電または放電が開始されます。これによって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<sub>OUT</sub>を定常値に回復させます。この回復期間にV<sub>OUT</sub>をモニタして、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ギングが発生しないかどうかをチェックすることができます。COMPピンを使用すれば、制御ループの動作を最適化できるだけでなく、DC結合されたACフィルタ付きクロズドループ応答テスト・ポイントを利用することもできます。このテスト・ポイントにおけるDCステップ、立上がり時間、およびセトリングは、クロズドループ応答を正確に反映します。2次特性が支配的なシステムの場合は、このピンに見られるオーバーシュートのパーセンテージを使って位相マージンや減衰係数を予想できます。ピンの立上がり時間を調べることによって、帯域幅を見積もることも可能です。標準的応用例の回路に示す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できます。ループ・ゲインに影響するプログラマブルなパラメータは、電圧レンジ(MFR\_PWM\_CONFIGコマンドのビット[1])、電流レンジ(MFR\_PWM\_MODEコマンドのビット[7])、チャンネル・アンプのg<sub>m</sub>(MFR\_PWM\_COMPのビット[7:5])、および内部R<sub>COMP</sub>補償抵抗(MFR\_PWM\_COMPのビット[4:0])です。補償計算を行う前に必ずこれらの設定を行ってください。

COMP\_Cnaの内部直列R<sub>COMP</sub>と外部C<sub>COMP\_Cna</sub>からなるフィルタは、主要なポールゼロ・ループ補償を設定します。内部R<sub>COMP</sub>の値は、MFR\_PWM\_COMPコマンドのビット[4:0]を使って変更できます(0Ω~62kΩ)。最終的なPCBレイアウトが完了して、C<sub>COMP\_bn</sub>フィルタ・コンデンサと出力コンデンサの種類および値を具体的に決めたら、R<sub>COMP</sub>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種類と値によって決まるので、適切な出力コンデンサを選択する必要があります。立上がり時間を1μs~10μsとした、全負荷電流の20%~80%の出力電流パルスを通すと、帰還ループを壊すことなく出力電圧とCOMPピンの波形が得られ、ループ全体の安定性を判断できます。グラウンドとの間に抵抗を取り付けたパワー・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、負荷ステップを生成する実用的な方法です。MOSFET + R<sub>SERIES</sub>により、V<sub>OUT</sub>/R<sub>SERIES</sub>にほぼ等しい出力電流が発生します。電流リミットの設定とプログラムされた出力電圧によって異なりますが、R<sub>SERIES</sub>の値は0.1Ω~2Ω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、この信号を使って位相マージンを決定することはできません。COMPピンの信号を調べる方が確実なのはこのためです。この信号は帰還ループ内にあり、フィルタを通した補償済みの制御ループ応答です。R<sub>COMP</sub>を大きくするとループのゲインが大きくなり、C<sub>COMP\_Cna</sub>を小さくするとループの帯域幅が広がります。C<sub>COMP</sub>を小さくすると同じ比率でR<sub>COMP</sub>を大きくすると、ゼロ周波数は変化せず、その結果、帰還ループの最も重要な周波数範囲での位相シフトも同じ値に保たれます。ループのゲインは、MFR\_PWM\_COMPコマンドのビット[7:5]を使って設定するエラー・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挙動はクロズドループ・システムの安定性に関係しており、実際の全体的電源性能を表します。大容量の(>1μF)電源バイパス・コンデンサが接続された負荷の切替えを行うと、更に大きなトランジェントがもう1つ発生します。放電したバイパス・コンデンサが実質的にC<sub>OUT</sub>と並列の状態になるため、V<sub>OUT</sub>は急激に低下します。抵抗の小さい負荷スイッチを短時間で駆動した場合は、どんなレギュレータでも、この出力電圧の突然のステップ変化を防げるような速度で電流の供給を変更することはできません。C<sub>LOAD</sub>とC<sub>OUT</sub>の比率が1:50より大きい場合は、スイッチの立上がり時間を制御して、負荷の立上がり時間を約25・

## デュアル 25A/30A PSM のアプリケーション情報

$C_{LOAD}$  に制限する必要があります。したがって、 $10\mu\text{F}$  のコンデンサの場合、 $250\mu\text{s}$  の立上がり時間が必要となり、充電電流は約  $200\text{mA}$  に制限されます。

## PolyPhase® 構成

複数の LTM4664A 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、ALERT ピンを共用する必要があります。FAULT\_Cn、SHARE\_CLK、ALERT には必ずプルアップ抵抗を使用してください。いずれかのデバイスの SYNC ピンを目的のスイッチング周波数に設定し、それ以外のすべての 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、すべてのデバイスについて FREQUENCY\_SWITCH コマンドを外部クロックに設定してください。すべてのチャンネルの相対位相は等間隔にします。また、すべてのデバイスの MFR\_RAIL\_ADDRESS を同じ値に設定する必要があります。

複数チャンネルのすべての  $V_{OSNS}^+$  ピンを互いに接続し、更にすべての  $V_{OSNS}^-$  ピンも互いに接続する必要があります。また、COMP\_na ピンと COMP\_nb ピンについても同様です。PolyPhase アプリケーションの場合を除き、MFR\_CONFIG\_ALL のビット [4] は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-I<sup>2</sup>C / SMBus / PMBus コントローラとシステム内の LTM4664A の接続

アナログ・デバイセズの USB-I<sup>2</sup>C / SMBus / PMBus アダプタ (DC1613A または同等品) は、基板上的の LTM4664A PSM とインターフェースを取って、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を可能にします。このアダプタは、LTpowerPlay と併用することで、電源システム全体をデバッグできる強力な手段を提供します。遠隔測定、フォルト・ステータス・コマンド、およびフォルト・ログを使って高速のフォルト診断が可能であり、短時間で最終的な構成を完了して、LTM4664A PSM の PSM EEPROM に格納することができます。図 34 に、システム電源の有無に関係なく、アナログ・デバイセズの I<sup>2</sup>C / SMBus / PMBus アダプタを使用して 1 つ以上の LTM4664A の 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示します。システム電源がない場合は、ドングルが  $V_{DD33}$  電源ピンを介して LTM4664A 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  $0x2B$  を使用し、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 LTM4664A PSM とやり取りができるようになり、プロジェクト・ファイルを更新できます。更新されたプロジェクト・ファイルを NVM に書き込むには STORE\_USER\_ALL コマンドを発行します。 $V_{IN}$  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 ADC を読み出せるようにする必要があります。

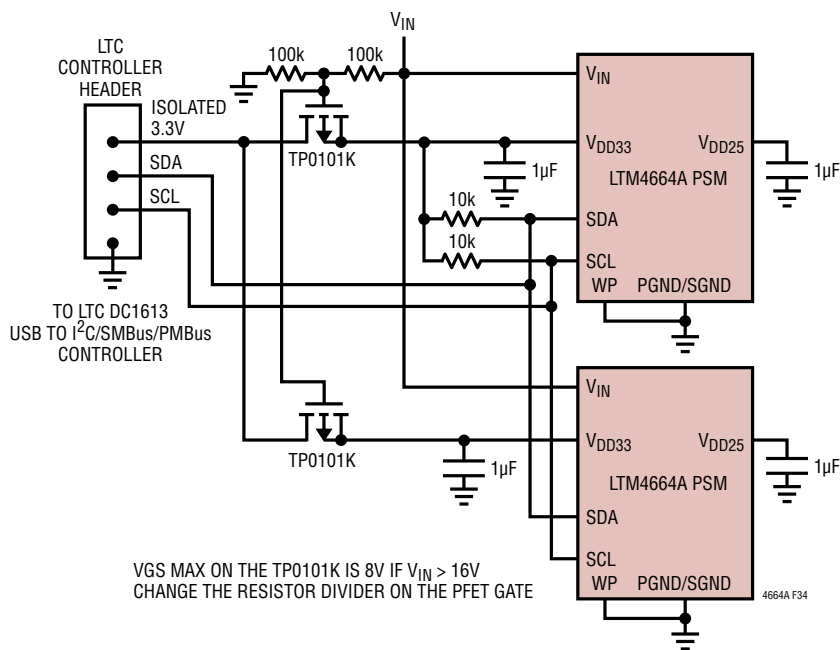


図 34. コントローラの接続



## デュアル25A/30A PSMのアプリケーション情報

アダプタの電流供給能力は限られているので、OR接続の3.3V電源から電力を供給するのは、LTM4664A PSM、それに付随するプルアップ抵抗、およびI<sup>2</sup>Cのプルアップ抵抗だけにしてください。更に、I<sup>2</sup>Cバス接続をLTM4664A PSMと共有しているデバイスでは、SDA / SCLピンとそのV<sub>DD</sub>ノードの間にボディ・ダイオードが形成されないようにする必要があります。ボディ・ダイオードが形成されると、システム電源が存在しない場合にバス通信に干渉するためです。V<sub>INS3</sub>を印加すると、DC1613Aは基板上のLTM4664A PSMに電力を供給しなくなります。デバイスが完全に設定されるまで負荷に電力を供給できないようにするために、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ことを推奨します。

LTM4664A 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ます。アダプタからの3.3VとLTM4664AのV<sub>DD33</sub>ピンは、それぞれのLTM4664Aに対し、別々のPFETを使用して駆動する必要があります。V<sub>INS3</sub>とEXTV<sub>CC</sub>の両方がオンになっているのであれば、内蔵LDOがオフなので、V<sub>DD33</sub>ピンを並列にすることができます。コントローラの3.3Vの電流制限値は100mAですが、V<sub>DD33</sub>の電流の代表値は15mA以下です。V<sub>DD33</sub>はINTV<sub>CC</sub>/EXTV<sub>CC</sub>ピンを逆駆動します。V<sub>IN</sub>がオープンの場合、通常このことは問題となりません。

### 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、LTM4664AのPSMセクションを含むアナログ・デバイスズのデジタル・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。LTpowerPlayは、デモ・ボードまたはユーザ・アプリケーションに接続することにより、アナログ・デバイス製ICの評価に使用できます。また、LTpowerPlayは、複数のデバイス構成ファイルを作成するために、(ハードウェアを接続しない)オフライン・モードで使用することも可能です。これらのファイルは、保存して後でロードし直すことができます。LTpowerPlayは従来にない診断機能とデバッグ機能を備えており、基板の機能確認時に電源システムのプログラムや調整を行ったり、レールの機能確認時にパワーに関する問題を診断したりする場合に、貴重な診断ツールとなります。LTpowerPlayは、アナログ・デバイスズのUSB-I<sup>2</sup>C / SMBus / PMBus アダプタを利用して、DC2165A デモ・ボードおよびDC2298A プログラミング・ボードやユーザ・ターゲット・シス

テムを含む様々なターゲットの1つと通信を行います。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を備えた最新リビジョンの状態を常に維持します。

また、LTpowerPlayについて、いくつかのチュートリアル・デモを含む充実したコンテキスト・ヘルプを備えています。詳細については以下のサイトを参照してください。

### LTpowerPlay

#### PMBus 通信とコマンド処理

LTM4664A PSMは、図36 (書込みコマンドのデータ処理)に示すように、処理前にサポート対象コマンドに書き込まれた最後のデータを保持するためのディープ・バッファを内蔵しています。デバイスは、新しいコマンドをバスから受信すると、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、コマンドを実行できるように内部フォーマットに変換します。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、コマンドに最後に書き込まれたデータが失われないようにします。コマンド・データ・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、将来の処理に備えてこれらのコマンドにマークを付けることによって、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で動作し、処理対象としてマークされたコマンドの取り出し、変換、実行といった低速になることのあるタスクを処理します。一部の計算集約型コマンドでは(例: タイミング・パラメータ、温度、電圧と電流)、内部プロセッサの処理時間がPMBusのタイミングより長くなることがあります。デバイスのコマンド処理がビジー状態になっているとき新しいコマンドが届くと、実行が遅れたり、受信の順番とは異なる順番で実行されたりすることがあります。内部計算が進行中の場合、デバイスは、MFR\_COMMONのビット5(計算は保留中ではない)でこれを示します。デバイスが計算でビジー状態の場合、ビット5はクリアされます。このビットがセットされると、デバイスは別のコマンドを実行できるようになります。図37にポーリング・ループの例を示します。ポーリング・ループは、コマンドが順番に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/30A PSM のアプリケーション情報

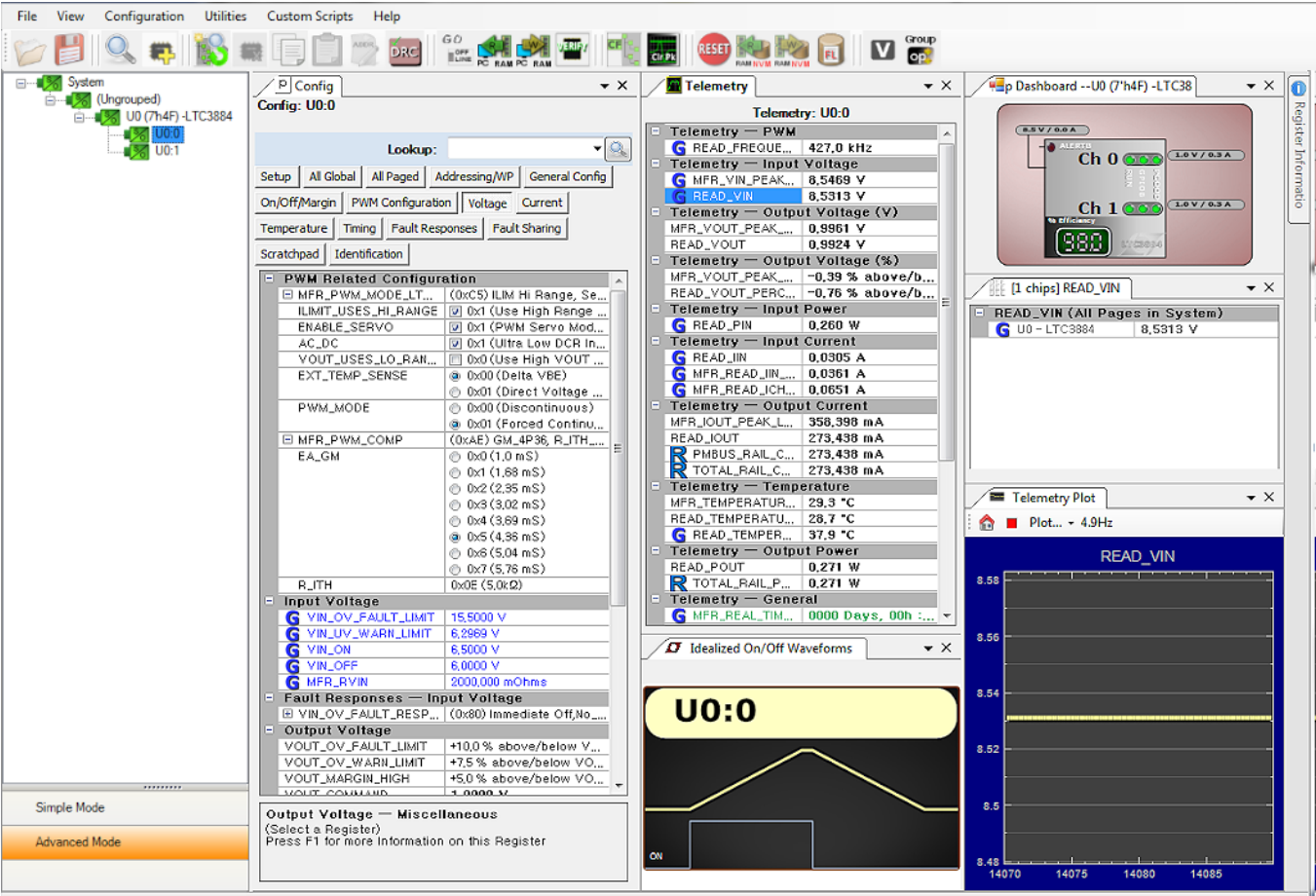


図 35. LTpowerPlay のスクリーン・ショット

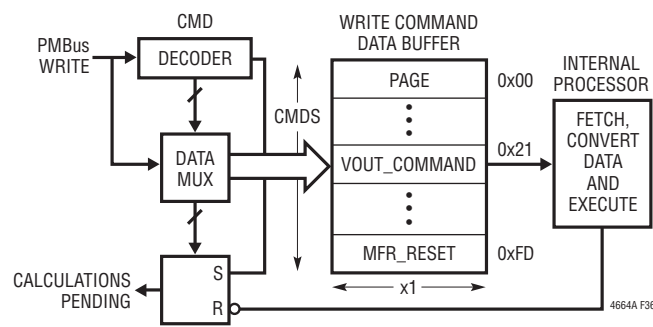


図 36. 書き込みコマンドのデータ処理

## デュアル25A/30A PSMのアプリケーション情報

デバイスは、ビジー状態のときに新しいコマンドを受信すると、標準PMBusプロトコルを使ってその状態を伝達します。デバイスはその設定に応じ、コマンドに対してNACKを返すか、すべて1(0xFF)を返すことによって読出しに備えます。また、BUSYフォルトとALERT通知を生成したり、SCLクロックのロー時間を延長したりすることもあります。詳細については、PMBus Specification v1.1, Part II, Section 10.8.7と、SMBus v2.0 section 4.3.3を参照してください。クロック・ストレッチングは、MFR\_CONFIG\_ALLのビット1をアサートすることによってイネーブルできます。クロック・ストレッチが行われるのは、この機能がイネーブルされ、なおかつバス通信速度が100kHzを超えている場合に限りです。

```
// 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のコマンド書込み例

PMBusのビジー・プロトコルは広く受け入れられた規格ですが、書込みのシステム・レベル・ソフトウェアの記述が少し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・ビットがあり、これによって複雑さが緩和され、同時に信頼性の高いシステム・レベルの通信が可能になります。

これら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、内部処理の実行でビジー状態の場合、MFR\_COMMONのビット6(「チップはビジーではない」)をクリアします。特に、VOUTが遷移状態(マージン・ハイ/ロー、電源オフ/オン、新しい出力電圧設定値への移行など)にあるためにデバイスがビジー状態になっている場合、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場合、デバイスはMFR\_COMMONのビット5(「計算は保留されていない」)をクリアします。これら3つのステータス・ビットは、3つのビットすべてがセットされるまで、MFR\_COMMONレジスタのPMBus読出しバイトによってポーリングできます。これらのすべてのステータス・ビットがセットされた直後のコマンドは、NACK応答が返されたりBUSYフォルトまたはALERT通知が生成されたりすることな

く、受け付けられます。ただし、PMBus仕様値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、デバイスがコマンドにNACK応答を返すことがあります。VOUT\_COMMANDレジスタへの信頼性の高い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複雑化するのを避けるために、すべてのコマンド書込み(バイト書込み、ワード書込みなど)の前にはポーリング・ループを入れることを推奨します。これを実現する簡単な方法は、SAFE\_WRITE\_BYTE()サブルーチンと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ながら、デバイスとの信頼性の高い通信を実現することができます。これらのトピックや、その他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信頼性の高い通信を実現するシンプルなソリューションを提供します。バス速度が100kHzを超える場合は、クロック・ストレッチングをイネーブルできるようにデバイスを設定することを強く推奨します。そのためには、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。通信には、PMBus Specification V1.1, Part II Section 10.8.7に記載された方法で標準のPMBus NACK/BUSYフォルトを検出し、正常に回復できるシステム・ソフトウェアが必要です。LTM4664A PSMは、バス速度が400kHzを超えるアプリケーションには推奨できません。

### 熱に関する考慮事項と出力電流のディレーティング

このデータシートのピン配置のセクションに記載されている熱抵抗は、JESD51-12に定義されたパラメータと一致しています。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。これらのモデリング・ツールは、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、熱的モデリング、シミュレーション、およびハードウェア評価との相関付けから得られた結果を利用します。これらの熱係数を提供する理由は、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、デモ・ボードなどの実験装置やテスト車両を使用して、アプリケーションに使用するμModuleレギュレータの熱性能を様々な電気的および環境的動作条件で予測し、それによってFEA作業を補足するという方法を選択します。FEAソフトウェアを使用しない場合、ピン配置のセ

## デュアル 25A/30A PSM のアプリケーション情報

クションに示す熱抵抗はそれ自体では熱性能のガイドとなりませんが、その代わりにこのデータシートで後に示すデレーティング曲線をアプリケーションの利用に関する考察やガイドとして使用でき、また熱性能とアプリケーションとの関係を把握するために応用できます。

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 つの熱係数が示されており、これらは以下のように説明されます。

1.  $\theta_{JA}$  (ジャンクションから周囲への熱抵抗) は、1 立方フィートの密閉筐体内で測定した自然対流状態でのジャンクションから周囲の空気への熱抵抗です。この環境では自然対流によって空気が移動しますが、「静止空気」状態と呼ばれることがあります。この値は JESD51-9 に定義されたテスト・ボードに実装したデバイスを使って決定されますが、このテスト・ボードは実際のアプリケーションや実現可能な動作条件を反映するものではありません。
2.  $\theta_{JCbottom}$  (ジャンクションから製品ケース底面への熱抵抗) は、パッケージ底面から熱として放出される部品の全消費電力によって決まります。標準的な  $\mu$ Module レギュレータでは熱の大半がパッケージの底面から放出されますが、周囲環境への熱の放出も必ず発生します。したがって、この熱抵抗値はパッケージの比較に役立ちますが、そのテスト条件は一般にユーザ・アプリケーションに合致するものではありません。

3.  $\theta_{JCTop}$  (ジャンクションから製品ケース上面への熱抵抗) は、部品のほぼすべての消費電力が熱としてパッケージ上面から放出される状態で決定されます。標準的な  $\mu$ Module レギュレータの電気的接続はパッケージの底面で行われるので、熱の大半がジャンクションからデバイス上面へ流れるような形でアプリケーションが動作することは稀です。 $\theta_{JCbottom}$  の場合と同じで、この値はパッケージの比較に役立ちますが、そのテスト条件は一般にユーザ・アプリケーションに合致するものではありません。
4.  $\theta_{JB}$  (ジャンクションからプリント回路基板への熱抵抗) は、熱の大部分が  $\mu$ Module レギュレータの底面を通して基板に放出されるときジャンクションから基板への熱抵抗で、実際には、 $\theta_{JCbottom}$  と、デバイス底面からハンダ接合部と基板の一部を通して放出される場合の熱抵抗の和です。基板の温度は両面、二層の基板を使い、パッケージから一定の距離において測定されます。この基板は JESD51-9 に記載されています。

前述の熱抵抗を視覚的に表したものが図 38 です。青色の部分が  $\mu$ Module レギュレータ内部の熱抵抗で、緑色の部分は  $\mu$ Module パッケージ外部の熱抵抗です。

実践的な注意点として、JESD51-12 に定義されている、あるいはピン配置のセクションに示す 4 種類の熱抵抗パラメータのいずれも、あるいはそれらのサブグループも、 $\mu$ Module レギュレータの通常の動作条件を反映したものではないこ

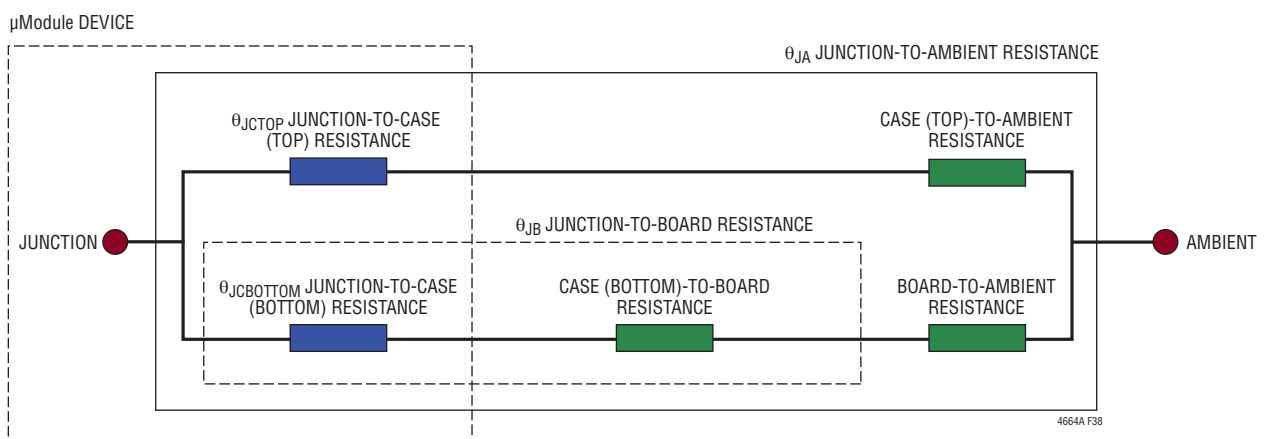


図 38. JESD51-12 の熱係数の図解



## デュアル25A/30A PSMのアプリケーション情報

とに留意してください。例えば、通常の基板実装アプリケーションでは、JESD51-12が $\theta_{JCtop}$ と $\theta_{JCbottom}$ についてそれぞれ定義しているように、デバイスの全電力損失(熱)が100%すべて $\mu$ Moduleパッケージの上面だけから放出されたり、この底面だけから放出されたりすることはありません。実際には電力損失はパッケージから両方の方向に熱として放散され、ヒート・シンクと空気流がない場合は熱の大半は基板へと流れます。

LTM4664A 内部には熱を生じる電力デバイスとコンポーネントが複数存在し、したがってコンポーネントやダイの様々な接合部での熱抵抗はパッケージ全体の電力損失とは完全には正比例しないことに留意してください。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(なおかつ現実的な実用性を無視することなく)解決するために、このデータシートに記載されている熱抵抗値は、実験室での恒温槽を使ったテストとFEAソフトウェア・モデリングを併用する方法を採用して合理的に定義し、関連付けを行っています。(1)最初に、FEAソフトウェアを使用し、正しい材料係数と高精度の電力損失源定義に基づいて、LTM4664Aと指定PCBの正確な機械的形状モデルを作成します。(2)このモデルを使い、JESD51-9およびJESD51-12に適合するソフトウェア定義のJEDEC環境をシミュレーションして、様々な接合面における電力損失による熱の流れと温度値を予測します。これで、JEDEC定義の熱抵抗値を計算することができます。(3)このモデルと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LTM4664A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。具体的には恒温槽を使い、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。このプロセスの結果を適切に評価することで、このデータシートの後のセクションで示す一連のディレーティング曲線と、[ピン配置](#)のセクションに示す十分に関連付けられたJESD51-12定義の $\theta$ 値が得られます。

[図39](#)と[図40](#)に示す1.0Vおよび1.5Vの電力損失曲線と、[図41](#)～[図44](#)の負荷電流ディレーティング曲線を組み合わせることで使用することにより、様々なヒート・シンク条件および空気流条件下におけるLTM4664Aの熱抵抗 $\theta_{JA}$ の概算値を求めることができます。これらの熱抵抗は、ハードウェア(寸法が99mm×145mm×1.6mmで、すべての層に2オンスの銅箔を使用した8層FR4 PCB)上で実証されたLTM4664Aの性能を表しています。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に達した場合は係数1.35を乗じています。ディレーティング曲線は、周囲温度50°Cで最大50Aの初期電流を供給するLTM4664Aの並列出力を使ってプロットしています。出力電圧は1.0Vと1.5Vです。これらは熱抵抗との相関を検証するため、出力電圧のより低い範囲とより高い範囲を含めるよう選択されています。熱モデルは温度制御チャンバー内での複数回の温度測定と、熱モデリングによる分析から得られています。ジャンクション温度は、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、周囲温度の変化に伴う電力損失の増加が加味されます。ジャンクション温度は、出力電流または電力を下降させ、同時に周囲温度を上昇させながら125°Cに維持されます。この出力電流の低下により、周囲温度が増加すると共にモジュール内部の損失が低下します。モニタされているジャンクション温度120°Cから周囲動作温度を差し引いた値により、モジュール温度上昇の上限が規定されます。[図41](#)の例に示すように、周囲温度約97°Cで空気流もヒート・シンクもなしの条件では、負荷電流が約30Aにディレーティングされ、室温(25°C)での電力損失は、 $V_{IN} = 48V$ 、 $V_{OUT} = 1.0V$ 、 $I_{OUT} = 30A$ の条件で約3.2Wになります。 $V_{IN} = 48V$ 、 $V_{OUT} = 1.0V$ の電力損失曲線([図41](#))の30A時の値から得られる室温での損失約3.2Wに倍率1.35を乗じると、4.32Wの損失が得られます。周囲温度97°Cをジャンクション温度の120°Cから差し引き、その差23°Cを4.32Wで除算して得られた熱抵抗 $\theta_{JA}$ の値5.3°C/Wは、表11に一致します。表10および表11は、空気流がある場合とない場合の出力1.0V、および1.5Vでの等価熱抵抗を示しています。



デュアル 25A/30A PSM のアプリケーション情報

表 10 および表 11 に示す様々な条件下で得られた熱抵抗値に周囲温度から計算された電力損失値を乗算すれば周囲温度からの温度上昇幅が得られ、それに基づいて最大ジャンクション温度が得られます。室温での電力損失は**代表的な性能特性**のセクションに示す効率曲線から求めることができ、更に前述の周囲温度の倍率で調整することができます。

最大 60A の出力時 ( $V_{OUT}$  が最大 1.2V) の熱性能の予測値は、このセクションの図を類似の出力電力条件で調べること、適切な近似値を求めることができます。例えば、60A で 1.2V<sub>OUT</sub> の場合、72W の出力になります。熱性能を見積もるためには、この動作点を 48A で 1.5V<sub>OUT</sub> の場合 (同様に出力電力は 72W) で近似できます。したがって、このセクションの 1.5V<sub>OUT</sub> のグラフを使用して、1 チャンネルあたり 25A を超える電流の熱性能を推定することができます (最大 1.2V<sub>OUT</sub> の出力電圧の場合)。

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

DERATING CURVE	V <sub>IN</sub> (V)	POWER LOSS CURVE	AIRFLOW (LFM)	HEAT SINK	θ <sub>JA</sub> (°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

DERATING CURVE	V <sub>IN</sub> (V)	POWER LOSS CURVE	AIRFLOW (LFM)	HEAT SINK	θ <sub>JA</sub> (°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/30A PSM のアプリケーション情報

表 12. LTM4664A デュアル 25A/30A 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、ボード・レイアウトによって異なります

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

Single 25A/30A Output						Programmed Values									
V <sub>OUT</sub> (V)	C <sub>OUT1</sub> (CERAMIC) (µF)	C <sub>OUT2</sub> (BULK) (µF)	COMP <sub>Na</sub> (pF)	COMP <sub>Nb</sub> (pF)	EA-GM (ms)	R <sub>COMP</sub> (kΩ)	I <sub>LIM</sub> HI-RANGE	V <sub>OUT</sub> LOW- RANGE	V <sub>INS1</sub> (V)	V <sub>INS3</sub> C1, C2	DROOP (mV)	PEAK- TO-PEAK DEVIATION (mV)	RECOVERY TIME(µs) LTpowerCAD/ MEASURE	LOAD STEP (A/µs)	FREQ. (kHz)
0.9	5 × 100	2 × 470	2200	100	3.69	5	Yes	Yes	48	(V <sub>INS1/4</sub> ) or 12V	42.5	85	36	12.5	250
0.9	5 × 100	1 × 1000	3300	220	3.02	5	Yes	Yes	48	(V <sub>INS1/4</sub> ) or 12V	55.5	111	40	12.5	250
0.9	6 × 220	None	4700	100	3.69	4	Yes	Yes	48	(V <sub>INS1/4</sub> ) or 12V	75	150	50	12.5	250
1	5 × 100	2 × 470	2200	100	3.69	5	Yes	Yes	48	(V <sub>INS1/4</sub> ) or 12V	42.5	85	36	12.5	250
1	5 × 100	1 × 1000	3300	220	3.02	5	Yes	Yes	48	(V <sub>INS1/4</sub> ) or 12V	56	112	40	12.5	250
1	6 × 220	None	4700	100	3.69	4	Yes	Yes	48	(V <sub>INS1/4</sub> ) or 12V	75	150	50	12.5	250
1.2	3 × 100	1 × 470	2200	220	3.69	3	Yes	Yes	48	(V <sub>INS1/4</sub> ) or 12V	67.5	135	27	12.5	350
1.2	3 × 100	1 × 470	2200	220	3.69	4	Yes	Yes	48	(V <sub>INS1/4</sub> ) or 12V	60	120	27	12.5	350
1.2	3 × 220	None	2200	220	1.68	5	Yes	Yes	48	(V <sub>INS1/4</sub> ) or 12V	85	170	20	12.5	350
1.2	1 × 100	1 × 470	2200	220	3.02	6	Yes	Yes	48	(V <sub>INS1/4</sub> ) or 12V	68	136	33	12.5	350
1.5	3 × 220	None	2200	220	1.68	5	Yes	Yes	48	(V <sub>INS1/4</sub> ) or 12V	115	230	30	12.5	350
1.5	1 × 100	1 × 470	2200	220	3.02	6	Yes	Yes	48	(V <sub>INS1/4</sub> ) or 12V	70	140	27	12.5	350

## デュアル 25A/30A PSM のアプリケーション情報

表 13. LTM4664A デュアル 25A/30A PSM 出力コンデンサー一覧

以下の全パラメータは代表値であり、ボード・レイアウトによって異なります

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

## Dual Phase Single 50A/60A Output

V <sub>OUT</sub> (V)	C <sub>OUT1</sub> (CERAMIC) ( $\mu$ F)	C <sub>OUT2</sub> (BULK) ( $\mu$ F)	COMP <sub>na</sub> (pF)	COMP <sub>nb</sub> (pF)	EA-GM (ms)	R <sub>COMP</sub> (k $\Omega$ )	I <sub>LIM</sub> HI-RANGE	V <sub>OUT</sub> LOW- RANGE	V <sub>INS1</sub> (V)	V <sub>INS3</sub> C1, C2	DROOP (mV)	PEAK- TO-PEAK DEVIATION (mV)	RECOVERY TIME( $\mu$ s) LTpowerCAD/ MEASURE	LOAD STEP (A/ $\mu$ s)	FREQ. (kHz)
0.9	8 $\times$ 100	4 $\times$ 470	3300	220	3.69	8	No	Yes	48	(V <sub>INS1/4</sub> ) 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 <sub>INS1/4</sub> ) or 12V	47.5	62/95	30	25	250
1.2	8 $\times$ 330	None	5600	100	3.02	5	No	Yes	48	(V <sub>INS1/4</sub> ) or 12V	35	64	35	25	250
1.2	4 $\times$ 100	2 $\times$ 470	3300	220	3.02	6	No	Yes	48	(V <sub>INS1/4</sub> ) or 12V	70	100/140	35	25	350
1.2	4 $\times$ 220	None	7500	220	3.02	5	No	Yes	48	(V <sub>INS1/4</sub> ) or 12V	63	126/-	25	25	350
1.5	4 $\times$ 220	None	7500	220	3.02	2.5	No	Yes	48	(V <sub>INS1/4</sub> ) or 12V	130	260	30	25	350
1.5	6 $\times$ 220	None	7500	220	3.69	3	No	Yes	48	(V <sub>INS1/4</sub> ) or 12V	100	200	30	25	350
1.5	4 $\times$ 100	2 $\times$ 470	3300	220	3.02	6	No	Yes	48	(V <sub>INS1/4</sub> ) or 12V	70	140	30	25	350
1.5	4 $\times$ 220	None	7500	220	3.02	5	No	Yes	48	(V <sub>INS1/4</sub> ) or 12V	63	126	25	25	350

## デュアル 25A/30A PSM のアプリケーション情報 – ディレーティング曲線

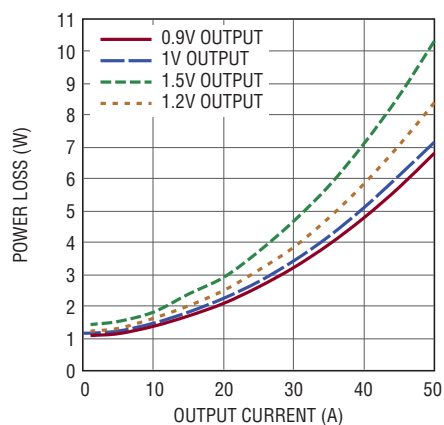


図 39. 48V 入力時の電力損失  
2 相 50A 出力

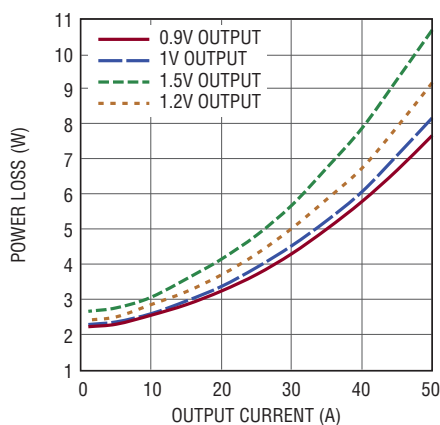


図 40. 54V 入力時の電力損失  
2 相 50A 出力

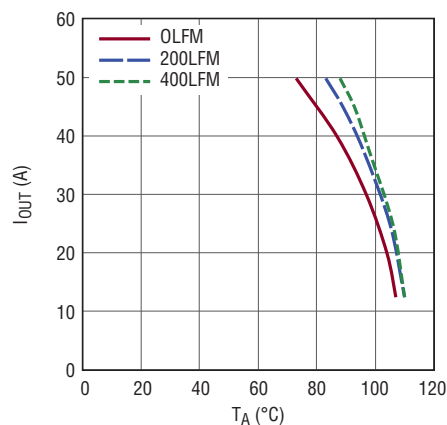


図 41. LTM4664A 48V<sub>IN</sub> 1V<sub>OUT</sub> の  
ディレーティング曲線  
ヒート・シンクなし

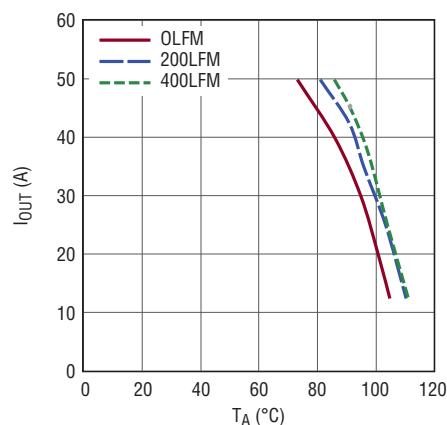


図 42. LTM4664A 54V<sub>IN</sub> 1V<sub>OUT</sub> の  
ディレーティング曲線  
ヒート・シンクなし

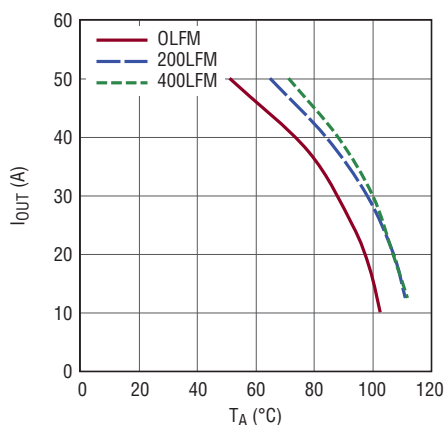


図 43. LTM4664A 48V<sub>IN</sub> 1.5V<sub>OUT</sub>  
350kHz のディレーティング曲線  
ヒート・シンクなし

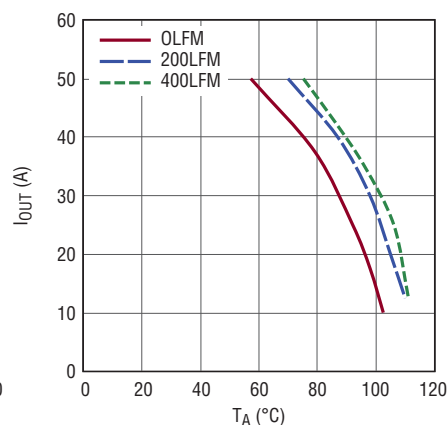


図 44. LTM4664A 54V<sub>IN</sub> 1.5V<sub>OUT</sub>  
350kHz のディレーティング曲線  
ヒート・シンクなし



## デュアル 25A/30A PSM のアプリケーション情報

## EMI 性能

SW\_Cnピンは、LTM4664Aの電力段にあるパワーMOSFETの中間点に接続されています。

SW\_CnとGNDの間にオプションで直列RCネットワークを接続すると、切替え電流経路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させる(抑制する)のでスナバ(抑制)回路と呼ばれますが、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の面積を決定します。例えば、低インダクタンスの0.5W抵抗を使用できるスペースがPCB上にある場合、スナバ回路のコンデンサ(C<sub>SW</sub>)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<sub>IN3n(MAX)</sub>はそのアプリケーションにおける電力段への入力電圧(V<sub>INn</sub>)の最大値、f<sub>SW</sub>はDC/DCコンバータ動作時のスイッチング周波数です。C<sub>SW</sub>は、NPO、C0G、またはX7Rタイプ(もしくはそれ以上のもの)とする必要があります。

スナバ抵抗(R<sub>SW</sub>)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妥当です。様々なRC直列スナバ部品を選択する際には、無負荷時の入力自己消費電流をモニタすれば、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関係を知ることができます。

## 安全性に関する考慮事項

LTM4664AモジュールのV<sub>IN</sub>とV<sub>OUT</sub>は、電氣的に絶縁されていません。また、内部ヒューズ也没有ありません。必要に応じて、最大入力電流の2倍の定格値を持つ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のフォルトによって過電圧状態が生じた場合にレギュレータへの電流を制限できる、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にフォルトが発生した場合、これをオフするだけでは過電圧は解消されません。したがって、内部下側MOSFETがオンのままになって負荷を保護しようとします。このようなフォルト状態では、フォルトが発生した内部上側MOSFETとイネーブルされた内部下側MOSFETを通り、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。この電流は、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、過度の熱を発生させたり基板に損傷を与えたりするおそれがあります。ヒューズまたは回路ブレーカは、このような状況に対する2次的なフォルト保護策として使用できます。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/30A PSM のアプリケーション情報

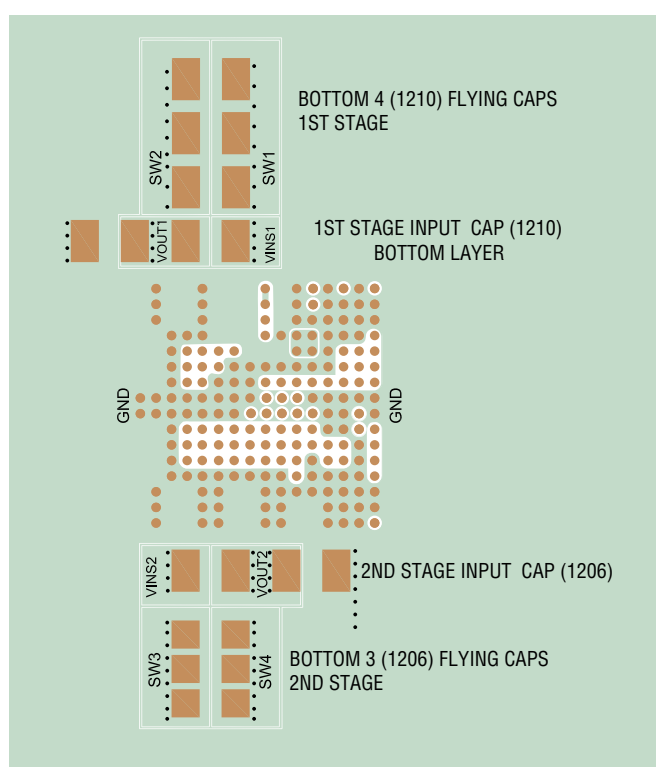
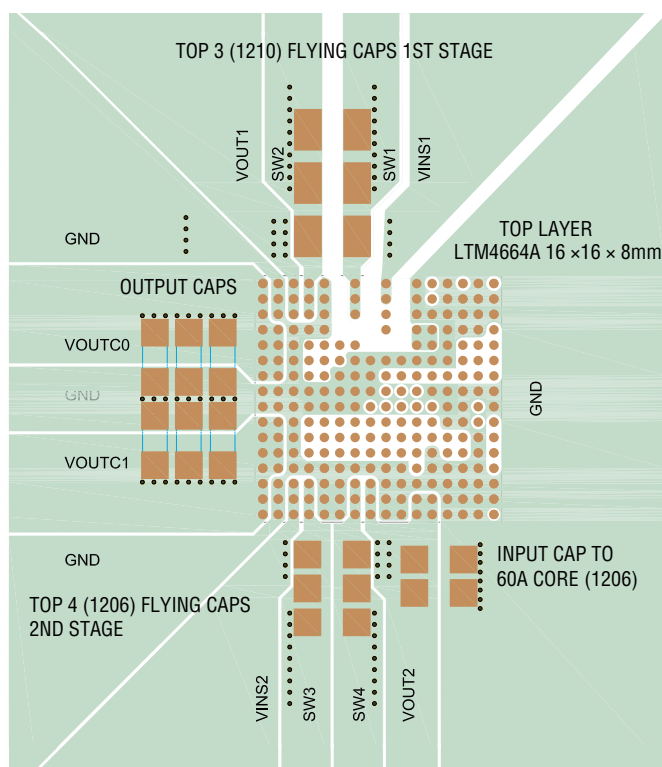
## レイアウトのチェックリスト/例

LTM4664A は高度に集積化されているので、PCB 基板のレイアウトが極めて容易です。ただし、電気的性能と熱的性能を最適化するには、やはりレイアウト上の配慮がいくつか必要になります。

- $V_{INn}$ 、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。これは、PCB の導通損失と熱ストレスを最小限に抑える助けとなります。
- 高周波ノイズを最小限に抑えるために、高周波の入力および出力セラミック・コンデンサを  $V_{INSn}$  ピン、GND ピン、および  $V_{OUTn}$  ピンに隣接させて配置します。
- 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て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間の相互接続には複数のビアを使用します。

- 充填ビアやメッキビアでない限り、パッド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、他とは別の SGND 銅箔プレーンを使用します。SGND は LTM4664A の近くにある GND に接続してください。
- 入力電流のモニタリングを使用する場合は、入力  $R_{SENSE}$  抵抗の両端にケルビン検出回路を接続します。
- 並列モジュールの場合、 $V_{OUTCn}$ 、 $V_{OSNS}^+_{Cn}/V_{OSNS}^-_{Cn}$  電圧検出差動ペア線、 $RUN_n$ 、 $COMP_{Cna}$ 、 $COMP_{nb}$  ピンを互いに接続します。これらのデバイスでは、 $SYNC$ 、 $SHARE\_CLK$ 、 $\overline{FAULT}$ 、 $\overline{ALERT}$  の各ピンを共用する必要があります。 $\overline{FAULT}$ 、 $SHARE\_CLK$ 、および  $\overline{ALERT}$  には必ずプルアップ抵抗を使用してください。
- モニタリング用に、信号ピンからテスト・ポイントを引き出します。

推奨レイアウトの例を図 45 に示します。DC2672A のデモ・マニュアルを参照してください。



4664A F48

図 45. 推奨される PCB レイアウトパッケージの上面図と下面図

## 標準的応用例

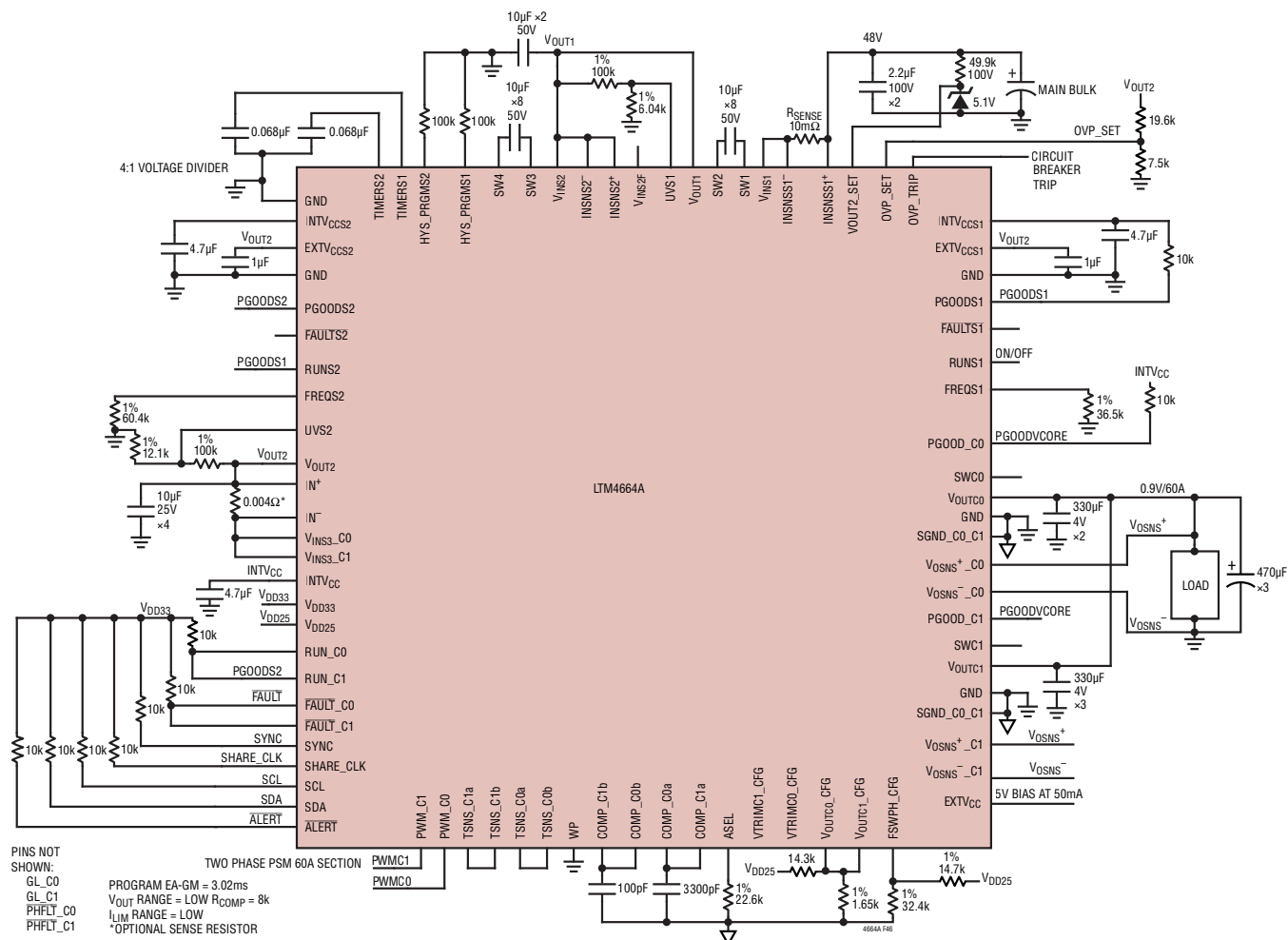


図 46. V<sub>OUT2</sub> OVP 保護機能を備えたホット・スワップ・フロント・エンドを内蔵した I<sup>2</sup>C/SMBus/PMBus シリアル・インターフェース付き 0.9V 60A 出力 DC/DC  $\mu$ Module レギュレータ

## 標準的応用例

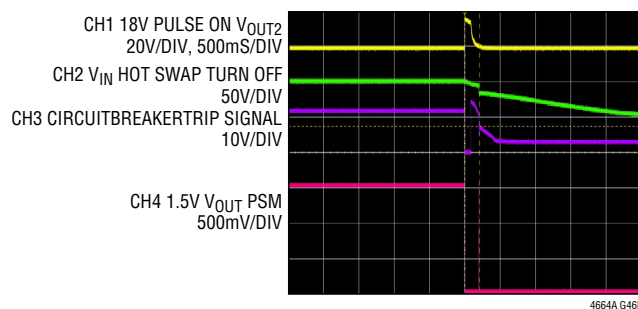
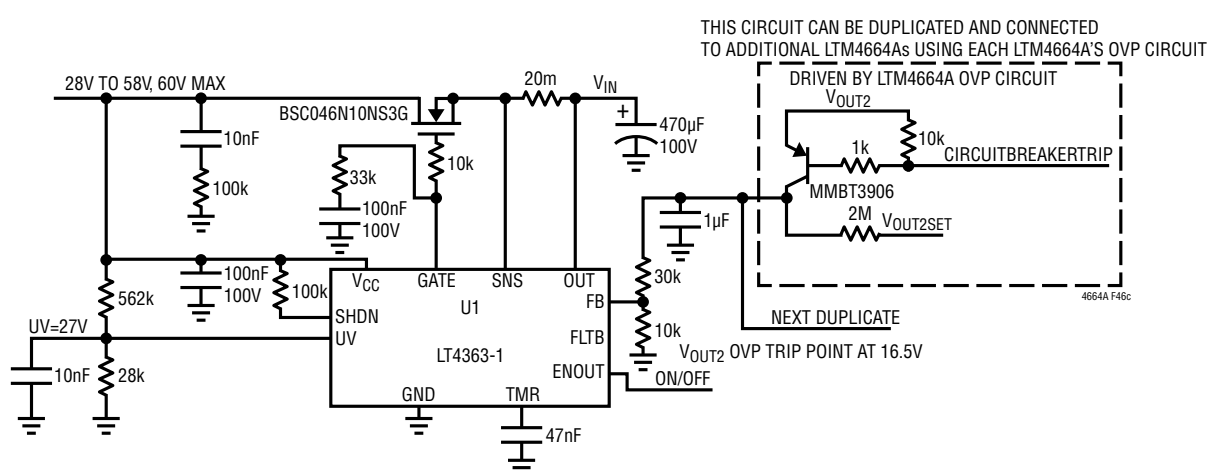
図 46b.  $V_{OUT2}$  過電圧保護

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

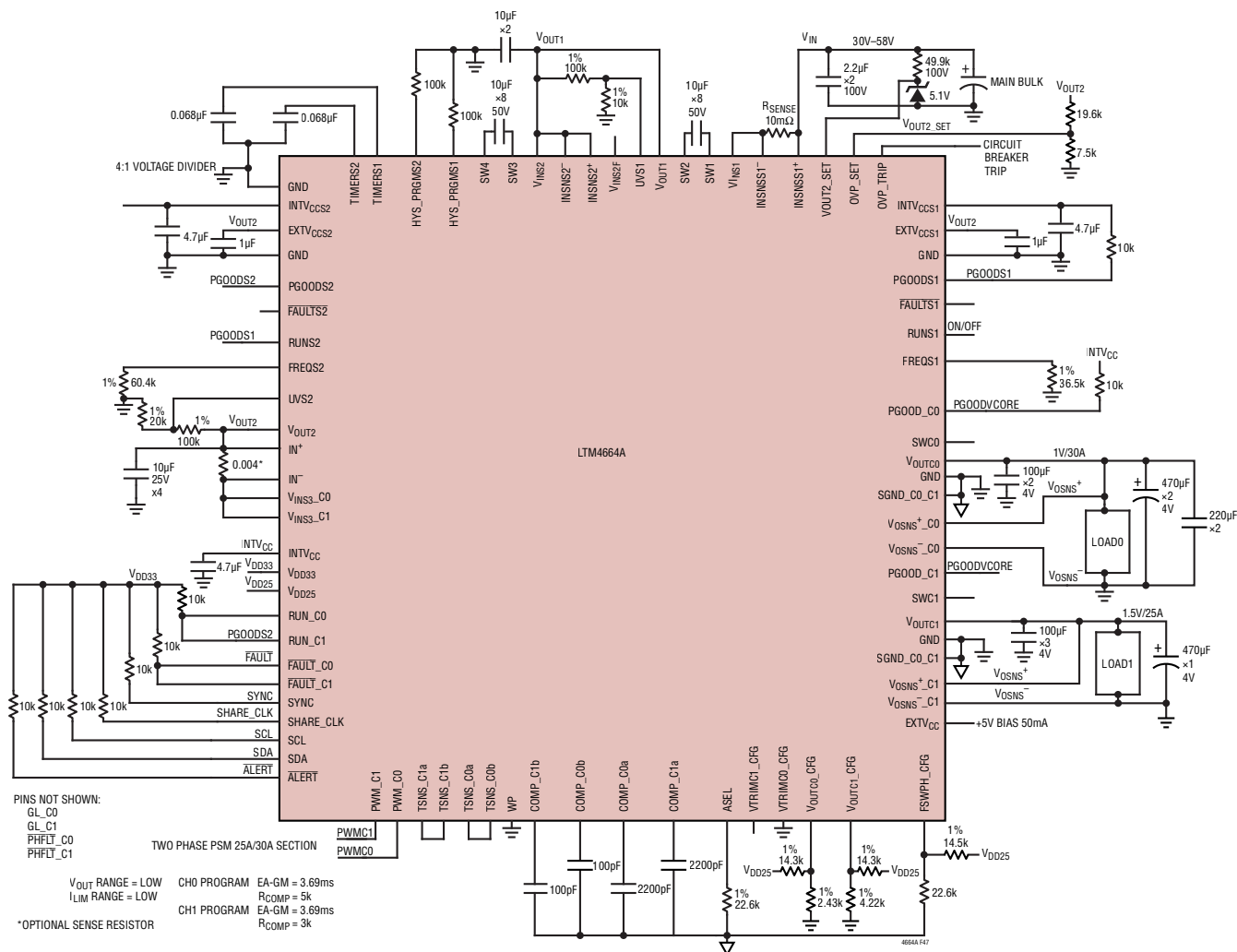
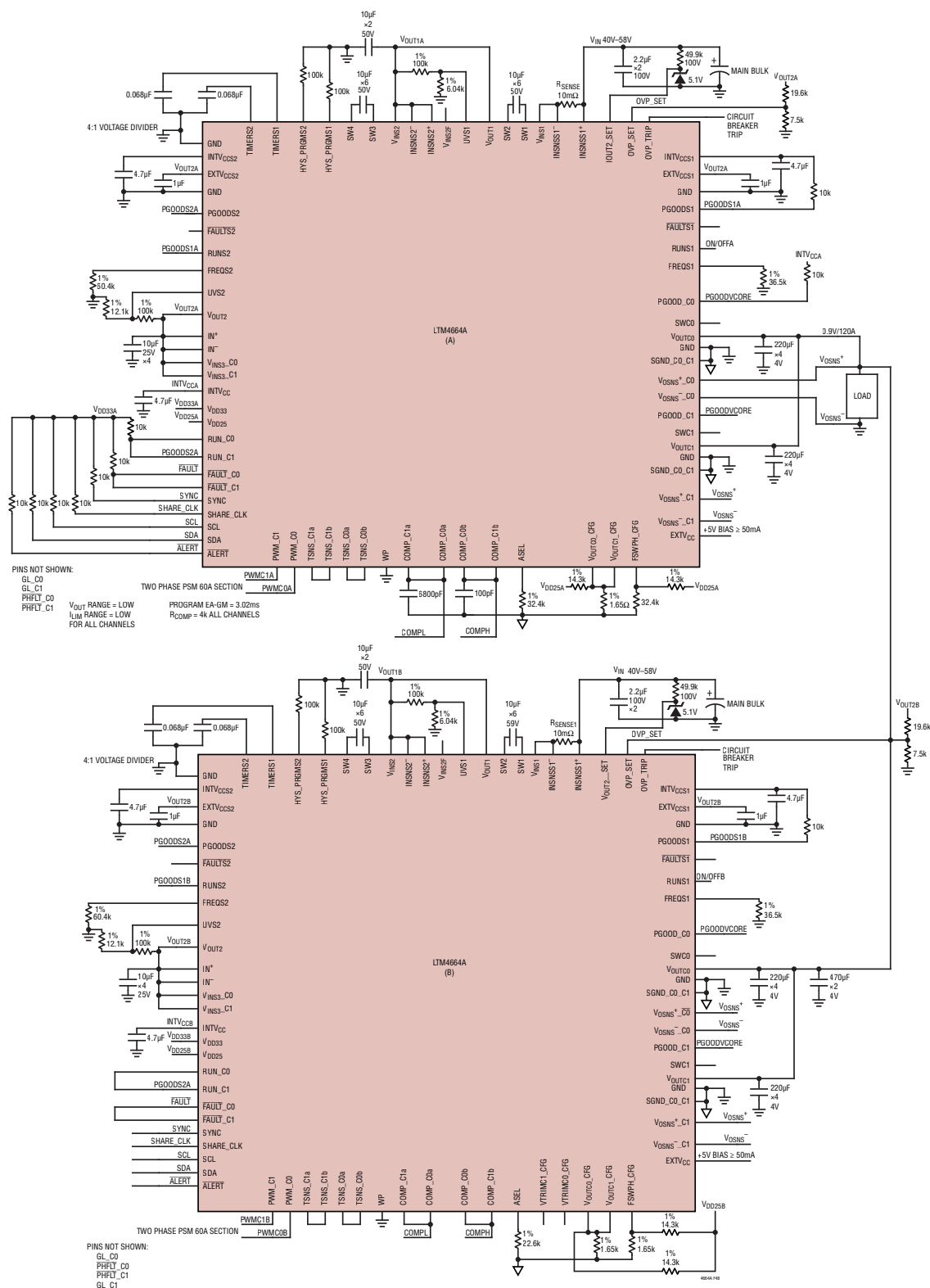


図 47. I<sup>2</sup>C/SMBus/PMBus シリアル・インターフェース機能を備えた  
54V 入力 1.0V 30A 出力および 1.5V 25A 出力構成

## 標準の応用例



## 標準的応用例

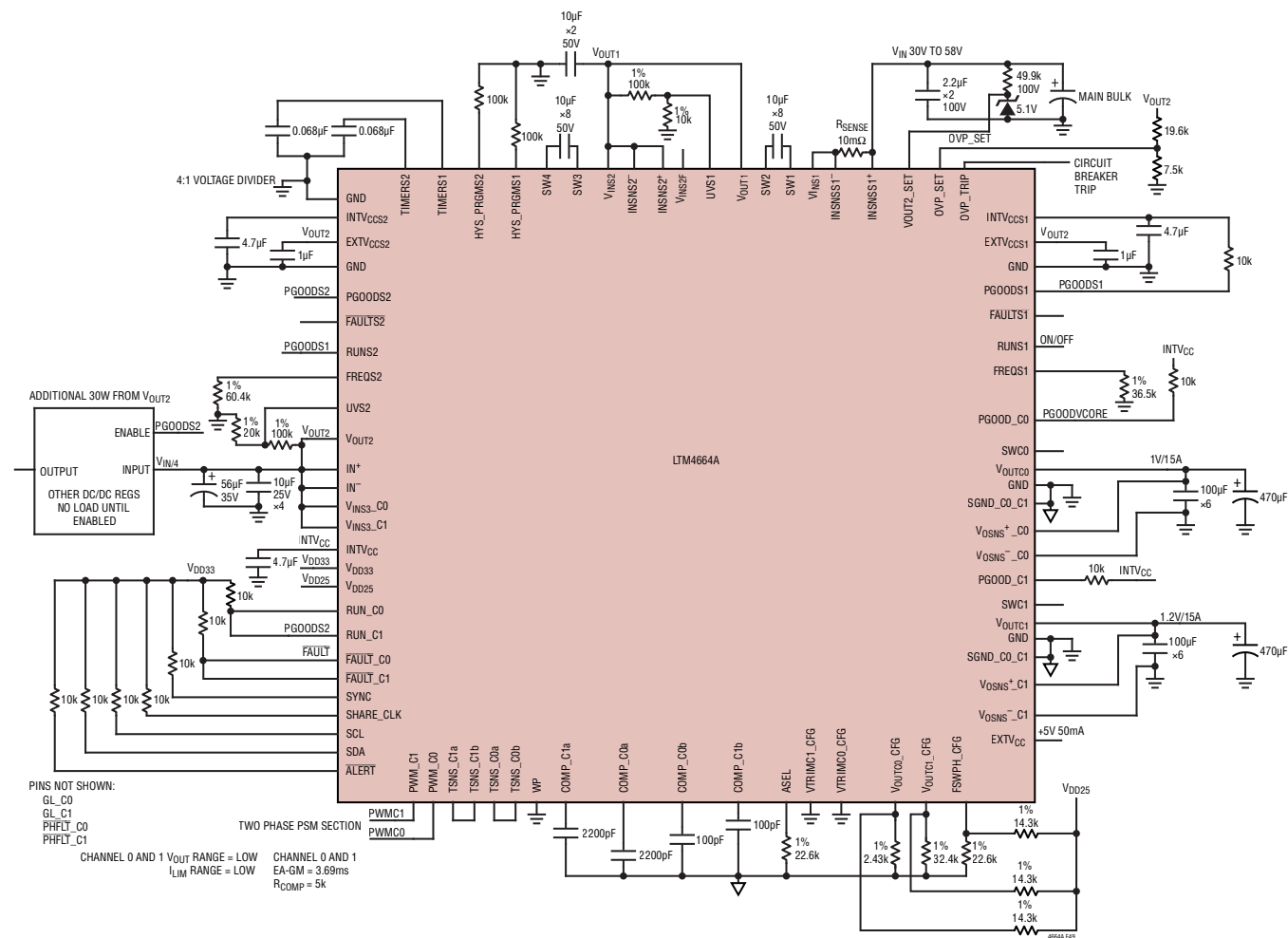


図 49. 30V～58V 入力 1V および 1.2V 出力 (15A)、更に  $V_{OUT2}$  から 30W を出力。  
2 線式 I<sup>2</sup>C/SMBus/PMBus シリアル・インターフェースを介して使用可能な  
パワー・システム・マネージメント機能を内蔵。  
評価および詳細については、デモ・ボード DC2143 を参照してください。

## 標準の応用例

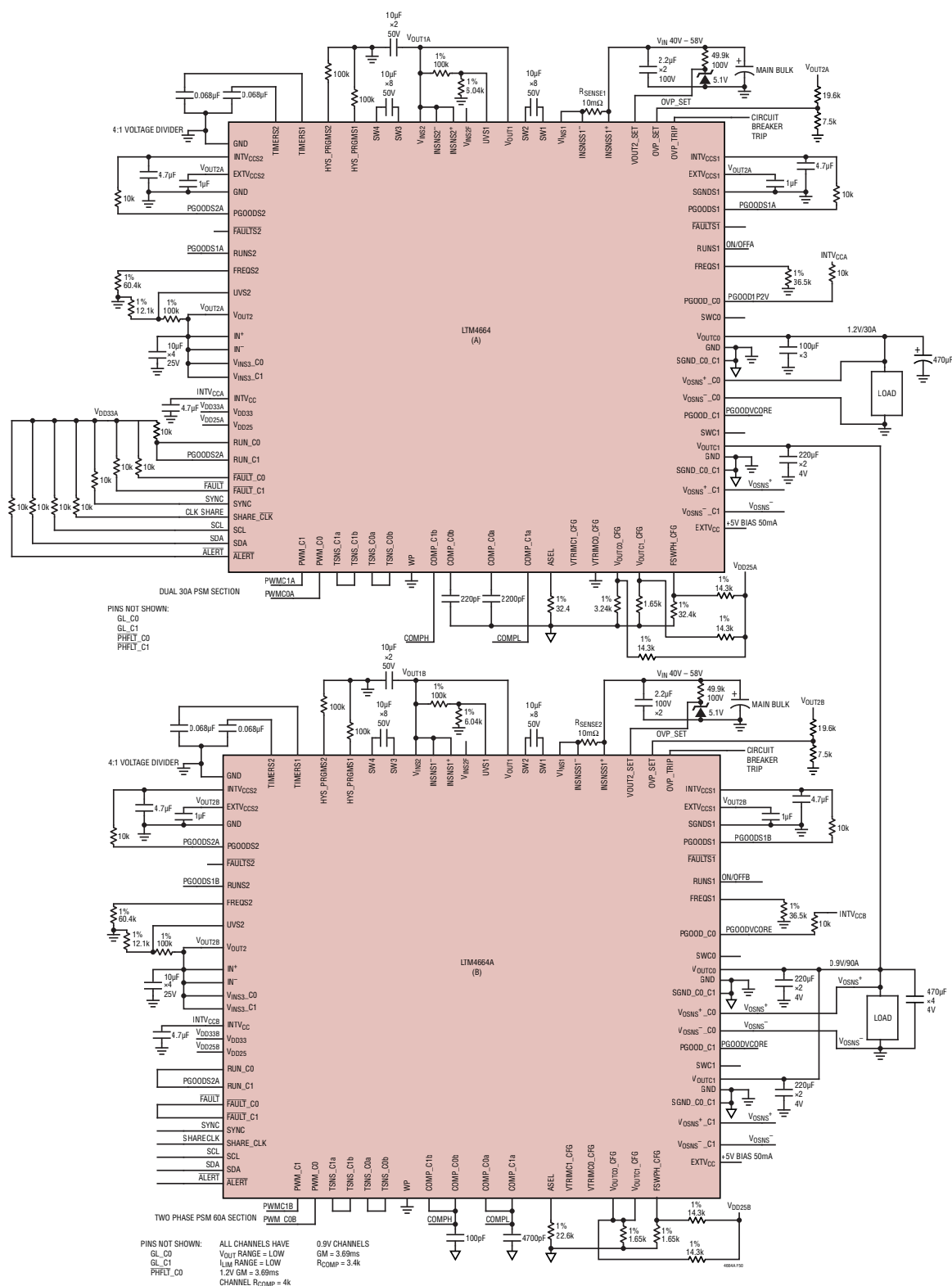


図 50. 48V~58V 入力、1.2V 30A および 0.9V 90A に変換。  
LTM4664A の 2 線式 I<sup>2</sup>C/SMBus/PMBus シリアル・インターフェースを介して使用可能な  
パワー・システム・マネージメント機能を搭載。



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PMBus デバイスとの統合化を行います。	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	意図せぬ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 <sup>2</sup> Cアドレス・バイトを設定します。	R/W Byte	N	Reg		Y	0x4F
MFR_RAIL_ADDRESS	0xFA	PolyPhase 出力の共通パラメータを調整するための共通アドレス。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x80

PAGE

PAGE コマンドは、MFR\_ADDRESS またはグローバル・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、およびモニタを行います。各 PAGE には、1 つの PWM チャンネルの動作コマンドが格納されます。

ページ 0x00 はチャンネル 0 に、ページ 0x01 はチャンネル 1 に対応しています。

PAGE を 0xFF に設定すると、以下のいずれのページ指定されたコマンドも両方の出力に適用されます。PAGE を 0xFF に設定すると、LTM4664A は、PAGE を 0x00 (チャンネル 0 の結果) に設定した場合と同じ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、デバイス内のページ指定、コマンドの送信、そのコマンドのデータの送信を、すべて 1 つの通信パケットで実行します。現在の書き込み保護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 コマンドで保存された値は、PAGE\_PLUS\_WRITE の影響を受けません。PAGE\_PLUS\_WRITE を使用してページ指定されていないコマンドを送信した場合、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。

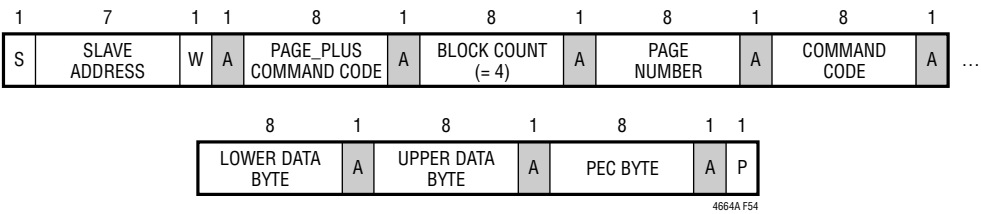


図 51. PAGE\_PLUS\_WRITE の例

PAGE\_PLUS\_READ

PAGE\_PLUS\_READ コマンドは、デバイス内のページ指定、コマンドの送信、そのコマンドによって返されたデータの読出しを、すべて 1 つの通信パケットで実行します。

## PMBus コマンドの詳細

PAGE コマンドで保存された値は、PAGE\_PLUS\_READ の影響を受けません。PAGE\_PLUS\_READ を使用してページ指定されていないコマンドにアクセスした場合、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 PAGE\_PLUS\_READ コマンドの例を図 52 に示します。

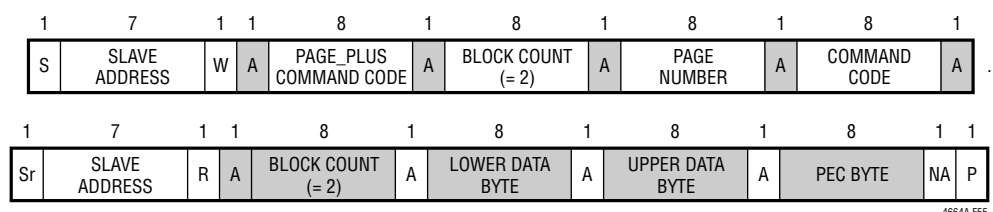


図 52. PAGE\_PLUS\_READ の例

注: PAGE\_PLUS コマンドをネストすることはできません。PAGE\_PLUS コマンドを使って、別の PAGE\_PLUS コマンドの読出しや書込みを行うことはできません。このような処理を行おうとすると、LTM4664A は PAGE\_PLUS パケット全体に対して 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する CML フォルトを生成します。

### WRITE\_PROTECT

WRITE\_PROTECT コマンドは、LTM4664A 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 コマンドで定義される 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、および STORE_USER_ALL コマンドを除くすべての書込みをディスエーブルします。
0x40	WRITE_PROTECT、PAGE、MFR_EE_UNLOCK、MFR_CLEAR_PEAKS、STORE_USER_ALL、OPERATION、および CLEAR_FAULTS コマンドを除くすべての書込みをディスエーブルします。個々のフォルト・ビットは、STATUS コマンドの該当ビットに 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、および STORE_USER_ALL を除くすべての書込みをディスエーブルします。個々のフォルト・ビットは、STATUS コマンドの該当ビットに 1 を書き込むことによってクリアできます。
0x10	指定済み、0 にする必要があります
0x08	指定済み、0 にする必要があります
0x04	指定済み、0 にする必要があります
0x02	指定済み、0 にする必要があります
0x01	指定済み、0 にする必要があります

WRITE\_PROTECT を 0x00 に設定すると、すべてのコマンドへの書込みがイネーブルされます。

WP ピンがハイの場合は、PAGE、OPERATION、MFR\_CLEAR\_PEAKS、MFR\_EE\_UNLOCK、WRITE\_PROTECT、および CLEAR\_FAULTS コマンドを使用できます。個々のフォルト・ビットは、STATUS コマンドの該当ビットに 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、このデバイスの PMBus スレーブ・アドレスを構成する 7 個のビットを設定します。

このコマンドの値を 0x80 に設定すると、デバイスのアドレス指定がディスエーブルされます。グローバル・デバイス・アドレスの 0x5A と 0x5B を非アクティブにすることはできません。RCONFIG を無視するように設定した場合でも、引き続き ASEL ピンを使ってチャンネル・アドレスの LSB が決定されます。ASEL ピンがオープンの場合、LTM4664A は NVM に保存された MFR\_ADDRESS 値を使って、デバイスの有効なアドレスを設定します。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

MFR\_RAIL\_ADDRESS

MFR\_RAIL\_ADDRESS コマンドを使用すると、デバイス・アドレスを使い、PAGE コマンドでアクティブにしたチャンネルへ直接アクセスすることができます。このコマンドの値は、1 つの電源レールに接続されたすべてデバイスで共通にする必要があります。

このアドレスにはコマンド書込みだけを実行してください。このアドレスから読出しを行うと、レール接続デバイスが完全に同じ値で応答しない限り、LTM4664A はバス競合を検出して CML 通信フォルトを生成します。

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

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

汎用設定コマンド

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	汎用設定ビット。	R/W Byte	N	Reg		Y	0x21

MFR\_CHAN\_CONFIG

複数のアナログ・デバイス製品に共通の汎用設定コマンド。

ビット	意味
7	予備
6	予備
5	予備
4	RUNローをディスエーブルします。このビットがアサートされると、オフを指定しても 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、短サイクルの認識がイネーブルされます。
2	SHARE_CLOCK 制御。SHARE_CLOCK をローに保持すると、出力が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ても ALERT はローになりません。FAULT 時に POWER_GOOD または VOUT_UVUF のいずれかが伝搬された場合は、このビットをアサートします。
0	MFR_RETRY_TIME と tOFF(MIN) の処理に関する VOUT の減衰値条件をディスエーブルします。このビットを 0 に設定すると、障害、OFF/ON コマンド、RUN のハイ〜ロー〜ハイの切り替えを含め、レールをオフにするあらゆる動作に対して、出力が事前設定値の 12.5% 未満まで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・オフ指定後にPWMチャンネルをオンに戻す(つまり再びアクティブにする)ことを指定すると、デバイスがTOFF\_DELAY 状態またはTOFF\_FALL 状態を処理している場合は、必ず短サイクル・イベントが発生します。PWMチャンネルは、RUNピンまたはPMBusのOPERATIONコマンド、あるいはその両方を使ってオン／オフすることができます。

TOFF\_DELAYの間にPWMチャンネルが再びアクティブになると、デバイスは以下のように動作します。

1. PWMチャンネル出力を直ちにスリーステートにします。
2.  $t_{OFF(MIN)}$  で指定された再試行遅延タイマーを始動します。
3.  $t_{OFF(MIN)}$  で指定された時間が経過するとPWMチャンネルがTON\_DELAY 状態へ移行し、STATUS\_MFR\_SPECIFIC のビット#1がアサートされます。

TOFF\_FALLの間にPWMチャンネルが再びアクティブになると、デバイスは以下のように動作します。

1. PWMチャンネル出力のランプ・ダウンを停止します。
2. PWMチャンネル出力を直ちにスリーステートにします。
3.  $t_{OFF(MIN)}$  で指定された再試行遅延タイマーを始動します。
4.  $t_{OFF(MIN)}$  で指定された時間が経過するとPWMチャンネルがTON\_DELAY 状態へ移行し、STATUS\_MFR\_SPECIFIC のビット#1がアサートされます。

短サイクル・イベントが発生して、MFR\_CHAN\_CONFIGの短サイクルに関連するビットがセットされていない場合、PWMチャンネルのステート・マシンは、それ以前にユーザが指定した内容に従って、そのTOFF\_DELAYとTOFF\_FALLの動作を完了させます。

## MFR\_CONFIG\_ALL

複数のアナログ・デバイス製品に共通の汎用設定コマンド。

ビット	意味
7	フォルト・ログをイネーブルします。
6	抵抗設定ピンを無視します。
5	PMBus, Part II, Section 10.9.1への違反をマスクします。
4	SYNC出力をディスエーブルします。
3	255msのPMBusタイムアウトをイネーブルします。
2	PMBus書き込みの受入れに必要となる有効なPEC。このビットをセットしないと、デバイスは無効なPECが指定されたコマンドも受け入れます。
1	PMBusクロック・ストレッチングの使用をイネーブルします。
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・コマンドを設定します。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x1E
OPERATION	0x01	動作モードを制御します。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	電源遮断が不要なコマンドによるリセット。	Send Byte	N				NA

## PMBus コマンドの詳細

### ON\_OFF\_CONFIG

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

#### サポートされている値:

値	意味
0x1F	OPERATION の値と RUN <sub>n</sub> ピンの両方が、デバイスに起動／実行を指示する必要があります。オフが指示されるとデバイスは直ちにオフになります。
0x1E	OPERATION の値と RUN <sub>n</sub> ピンの両方が、デバイスに起動／実行を指示する必要があります。オフが指示されると、デバイスは TOFF_ コマンド値を使用します。
0x17	RUN <sub>n</sub> ピンによる制御。オフが指示されるとデバイスは直ちにオフになります。OPERATION によるオン／オフ制御は無視されます。
0x16	オフが指示されると、デバイスは TOFF_ コマンドの値を使用して RUN <sub>n</sub> ピンによる制御を行います。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 値を設定すると CML フォルトが生成され、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、ユニットをオン／オフするために RUN<sub>n</sub> ピンからの入力と組み合わせて使用します。また、ユニット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。ユニットは、新たな OPERATION コマンドや RUN<sub>n</sub> ピン状態の変化によってデバイスが別のモードに変化するよう指示されるまで、指定された動作モードを維持します。デバイスが MARGIN\_LOW/HIGH 状態で保存された場合は、次の RESET または POWER\_ON サイクル時にその状態までランピングします。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・プログラミング状態でデバイスに V<sub>IN</sub> を印加した場合は、VOUT\_CONFIG 抵抗設定ピンを配線しないと、出力オフが指定されます。

デフォルトでは、デバイスはシーケンス・オフ状態になります。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

#### サポートされている値:

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 がセットされていない場合でも、V <sub>OUT</sub> は公称値に戻ります)。
0x40*	ソフトオフ (シーケンシングあり)
0x00*	即時オフ (シーケンシングなし)

\* ON\_OFF\_CONFIG のビット 3 がセットされていない場合、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 値を設定すると CML フォルトが生成され、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、シリアル・バスから LTM4664A PSM をリセットします。これにより、LTM4664A PSM は両方の PWM チャンネルをオフにして、内部 EEPROM から動作メモリをロードします。更にすべてのフォルトをクリアし、PWM チャンネルがイネーブルされている場合はその両方をソフトスタートします。

この書込み専用コマンドにデータ・バイトはありません。



## PMBus コマンドの詳細

### PWM の構成

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 ループ補償設定。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x28
MFR_PWM_MODE	0xD4	PWM エンジンの設定。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0xC7
MFR_PWM_CONFIG	0xF5	位相制御を含め、DC/DC コントローラ用の様々な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・スキッピング・モード）と強制連続導通モードのどちらを使用するかをプログラムできます。

ビット	意味
7	I <sub>LIMIT</sub> の高電流レンジの使用。
0b	低電流レンジ
1b	高電流レンジ
6	サーボ・モードをイネーブルします。
5	外部温度検出： 0: ΔV <sub>BE</sub> の測定。 現在は指定済み、ΔV <sub>BE</sub> のみをサポート。
[4:3]	予備
2	指定済み、常に低 DCR 電流検出
1	V <sub>OUT</sub> レンジ
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 コマンドの高電流レンジと低電流レンジのどちらで動作するかを決定します。このビットの値を変更すると、PWM ループのゲインと補償が変化します。このビット値は、チャンネル出力がアクティブなときには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込みを行うと、CML フォルトとなります。

ビット [6]: LTM4664A PSM は、デバイスがオフのとき、電源電圧のランピング・オン、またはランピング・オフのとき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がイネーブルされます。出力設定点 DAC は、READ\_VOUT\_ADC と VOUT\_COMMAND の差を最小限に抑えるように（つまりマージンが適切な値となるように）徐々に調整されます。

LTM4664A PSM は、次式を使い、ADC が TSNS<sub>n</sub> ピンで測定した ΔV<sub>BE</sub> から温度 (°C) を計算します。

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

PMBus コマンドの詳細

この式において、

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

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

ビット[2]は現在指定済みで、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、デバイスが高電圧レンジと低電圧レンジのどちらで動作するのかを決定します。このビットの値を変更すると、PWMループのゲインと補償が変化します。このビット値は、チャンネル出力がアクティブなときには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みを行うと、CMLフォルトとなります。

ビット[0]は、PWMの動作モードを不連続モード(パルス・スキッピング・モード)にするか強制連続導通モードにするかを決定します。チャンネルのランピング・オン中は、このビットの値に関係なくPWMは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
ビット[7:5]	エラー・アンプの $g_m$ 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]	$R_{COMP}$ (k $\Omega$ )
00000b	0
00001b	0.25
00010b	0.5
00011b	0.75
00100b	1
00101b	1.25
00110b	1.5
00111b	1.75
01000b	2
01001b	2.5
01010b	3
01011b	3.5
01100b	4
01101b	4.5
01110b	5

## 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、SYNC 信号の立下がりエッジを基準に、スイッチング周波数の位相オフセットを設定します。このコマンドを処理するには、デバイスが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、コマンドでチャンネルをオフにする必要があります。いずれかのチャンネルがRUN 状態のときにこのコマンドを書き込むと、コマンドにはNACK が返され、BUSY フォルト信号がアサートされます。

ビット	意味
7	予備
[6:5]	入力電流検出ゲイン。
00b	ゲイン = 2。0mV～50mV のレンジ。
01b	ゲイン = 4。0mV～20mV のレンジ。
10b	ゲイン = 8。0mV～5mV のレンジ。
11b	予備
4	共有クロックをイネーブル：このビットが1の場合は、 $V_{IN} > V_{IN\_ON}$ となるまで SHARE_CLK ピンはリリリースされません。 $V_{IN} < V_{IN\_OFF}$ になると SHARE_CLK ピンはローになります。このビットが0の場合、 $V_{IN} < V_{IN\_OFF}$ で SHARE_CLK がローになることはありません。ただし、最初に $V_{IN}$ を加えた場合を除きます。

ビット [2:0]	チャンネル0(°)	チャンネル1(°)
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 LTM4664A のスイッチング周波数 (kHz) を設定します。

サポートされている周波数:

値[15:0]	設定周波数(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

このコマンドを処理するには、デバイスが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、コマンドで両方のチャンネルをオフにしてください。デバイスが RUN 状態のときにこのコマンドを書き込むと NACK が返され、BUSY フォルトがアサートされます。デバイス・オフが指示されたときに周波数が変更されると、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 フォーマットに設定されています。

## 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	入力電源過電圧フォルト・リミット	R/W Word	N	L11	V	Y	15.5 0xD3E0
VIN_UV_WARN_LIMIT	0x58	入力電源低電圧警告リミット。	R/W Word	N	L11	V	Y	4.65 0xCA53
VIN_ON	0x35	ユニット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	ユニット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		出荷時に設定されている VIN ピンのフィルタ素子の抵抗値 (mΩ)。	R Word	N	L11	mΩ	N	1000 0x03E8

### VIN\_OV\_FAULT\_LIMIT

VIN\_OV\_FAULT\_LIMIT コマンドは、ADC が測定する入力電圧値に対し、入力過電圧障害を発生させる入力電圧値 (V) を設定します。

このコマンドのデータは 2 バイトです (Linear\_5s\_11s フォーマット)。

## PMBus コマンドの詳細

### VIN\_UV\_WARN\_LIMIT

VIN\_UV\_WARN\_LIMIT コマンドは、ADC が測定する入力電圧値に対し、入力低電圧警告を発生させる入力電圧値を設定します。この警告は、入力が VIN\_ON コマンドで設定された起動閾値を超え、ユニットがイネーブルされるまで、ディスエーブルされたままになります。V<sub>IN</sub> 電圧が VIN\_OV\_WARN\_LIMIT 未満に低下すると、デバイスは以下のように動作します。

- STATUS\_WORD の INPUT ビットをセット
- STATUS\_INPUT コマンドの V<sub>IN</sub> 低電圧警告ビットをセット
- マスクされている場合を除き、 $\overline{\text{ALERT}}$  をアサートすることによってホストに通知

### VIN\_ON

VIN\_ON コマンドは、ユニット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 フォーマットに設定されています。

### VIN\_OFF

VIN\_OFF コマンドは、ユニット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 フォーマットに設定されています。

### MFR\_RVIN

MFR\_RVIN コマンドは使用できません。MFR\_RVIN は工場でのアセンブリ時に 1Ω 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 フォーマットに設定されています。

## 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と指数 ( $2^{-12}$ )。	R Byte	Y	Reg			$2^{-12}$ 0x14
VOUT_MAX	0x24	ユニットが他のコマンドに関係なく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	出力過電圧フォルト・リミット。	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.1 0x119A
VOUT_OV_WARN_LIMIT	0x42	出力過電圧警告リミット。	R/W Word	Y	L16	V	Y	1.075 0x1133
VOUT_MARGIN_HIGH	0x25	マージン・ハイ出力電圧設定値。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	出力低電圧警告リミット。	R/W Word	Y	L16	V	Y	0.925 0x0ECD
VOUT_UV_FAULT_LIMIT	0x44	出力低電圧フォルト・リミット。	R/W Word	Y	L16	V	Y	0.9 0x0E66
MFR_VOUT_MAX	0xA5	最大許容出力電圧	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われ、3ビット・モードと5ビット・パラメータで構成されます。3ビット・モードはリニア・フォーマットのみをサポートしており、5ビット・パラメータは出力電圧の読出し／書込みコマンドで使われる指数を表します。

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は関係なく、そのユニットが指定できる電圧 (VOUT\_MARGIN\_HIGH を含む) の上限を設定します。このコマンドの最大許容値は3.6Vです。LTM4664A PSMが生成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フォーマットに設定されています。

### VOUT\_OV\_FAULT\_LIMIT

VOUT\_OV\_FAULT\_LIMIT コマンドは、OV 監視回路コンパレータが検出ピンで測定した出力電圧に対し、出力過電圧フォルトを発生させる出力電圧値 (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状態の場合は、コマンド変更後10msの時間をおいて新しい値が確実に認識されるようにします。デバイスが計算の実行でビジー状態になっている場合は、その旨が示されます。MFR\_COMMONのビット5と6をモニタしてください。デバイスがビジー状態の場合は、これらのどちらかのビットがローになります。この待ち時間を置かずにVOUT\_COMMANDを変更して元の過電圧リミットより高い値にした場合は、一時的にOV状態が検出されて望ましくない動作を招き、スイッチャが損傷するおそれもあります。

VOUT\_OV\_FAULT\_RESPONSEをOV\_PULLDOWNまたは0x00に設定すると、VOUT\_OV\_FAULTが伝搬されても $\overline{\text{FAULT}}$ ピンはアサートされません。LTM4664A 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フォーマットに設定されています。

### VOUT\_OV\_WARN\_LIMIT

VOUT\_OV\_WARN\_LIMIT コマンドは、ADCが検出ピンで測定した出力電圧に対し、出力過電圧警告を発生させる出力電圧値 (V) を設定します。このリミットを超えたかどうかの判定には、MFR\_VOUT\_PEAKの値を使用できます。

測定値がVOUT\_OV\_WARN\_LIMITを超えると、デバイスは以下のように動作します。

- STATUS\_BYTEのNONE\_OF\_THE\_ABOVEビットをセット
- STATUS\_WORDのVOUTビットをセット
- STATUS\_VOUTコマンドのVOUT過電圧警告ビットをセット
- マスクされている場合を除き、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートすることによってホストに通知

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 $t_{\text{CONVERT}}$ と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フォーマットに設定されています。

## 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」に設定されている場合、出力変更後の電圧 (V) をユニットにロードします。この値は VOUT\_COMMAND より大きくする必要があります。VOUT\_MARGIN\_HIGH の最大仕様値は 3.6V です。

このコマンドは、TON\_RISE および TOFF\_FALL の出力シーケンシング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 が使われます。

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

### 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われます。VOUT の最大仕様値は 3.6V です。

このコマンドは、TON\_RISE および TOFF\_FALL の出力シーケンシング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 が使われます。

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

### VOUT\_MARGIN\_LOW

VOUT\_MARGIN\_LOW コマンドは、OPERATION コマンドが「マージン・ロー」に設定されている場合、出力変更後の電圧 (V) をユニットにロードします。この値は VOUT\_COMMAND より小さくしなければなりません。

このコマンドは、TON\_RISE および TOFF\_FALL の出力シーケンシング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 が使われます。

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

### VOUT\_UV\_WARN\_LIMIT

VOUT\_UV\_WARN\_LIMIT コマンドは、ADC が検出ピンで測定した出力電圧に対し、出力低電圧警告を発生させる出力電圧値 (V) を示します。

測定値が VOUT\_UV\_WARN\_LIMIT を下回ると、デバイスは以下のように動作します。

- STATUS\_BYTE の NONE\_OF\_THE\_ABOVE ビットをセット
- STATUS\_WORD の VOUT ビットをセット
- STATUS\_VOUT コマンドの VOUT 低電圧警告ビットをセット
- マスクされている場合を除き、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンをアサートすることによってホストに通知

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

### VOUT\_UV\_FAULT\_LIMIT

VOUT\_UV\_FAULT\_LIMIT コマンドは、UV 監視回路コンパレータが検出ピンで測定した出力電圧に対し、出力低電圧フォルトを発生させる出力電圧値 (V) を示します。

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

PMBus コマンドの詳細

MFR\_VOUT\_MAX

MFR\_VOUT\_MAX コマンドは、VOUT\_OV\_FAULT\_LIMIT を含む各チャンネルの最大出力電圧 (V) です。出力電圧を高電圧レンジに設定 (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。出力電圧を低電圧レンジに設定 (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。VOUT\_COMMAND の値をこれより大きくすると CML フォルトが発生し、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 コマンドのビット 3 (VOUT\_MAX\_Warning) がセットされます。最大プログラム値は 1.8V で、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 フォーマットに設定されています。

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	電流検出ピンの電圧と検出した電流の比。固定電流検出抵抗を使用するデバイスの場合、これは抵抗値 (mΩ) です。	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	出力過電流フォルト・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) を設定するために使用します (MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TC も合わせて参照)。

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

MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TC

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

このコマンドは 2 バイトのデータを伴い、16 ビットの 2 の補数形式の整数 ppm でフォーマットが設定されています。N = -32768 ~ 32767 • 10<sup>-6</sup> です。公称温度は 27°C です。MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN には以下に示す項を乗じます。

$$[1.0 + \text{MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TC} \cdot (\text{READ\_TEMPERATURE\_1-27})]$$

DCR 検出の代表値は 3900 です。

MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN と MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TC は、READ\_IOUT、MFR\_IOUT\_PEAK、IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT、IOUT\_OC\_WARN\_LIMIT を含むすべ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、ピーク出力電流リミット(A)を設定します。コントローラが電流リミット状態になると、過電流検出器が過電流フォルト状態であることを示します。下の表に、 $I_{SENSE}^+$  と  $I_{SENSE}^-$  間のプログラム可能なピーク出力電流リミット値(mV)を示します。電流リミットの実際の値は、 $(I_{SENSE}^+ - I_{SENSE}^-)/MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN$  (A)です。

MFR_PWM_MODE[7] = 1b、 大電流レンジ(mV)	ILPEAK (A)	IOUT (A)	MFR_PWM_MODE[7] = 0b、 ILIM ロー・レンジ小電流 レンジを使用(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 の電流制限値にある程度のヘッドルームを加えた場合に推奨

\*\* = 30A の電流制限値にある程度のヘッドルーム (最大 1.2V 出力) を加えた場合に推奨

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

$$\text{ピーク電流リミット} = MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN \cdot (1 + MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TC \cdot (READ\_TEMPERATURE\_1 - 27.0))$$

LTM4664A 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 で設定されます。

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

測定値が IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT を超えると、デバイスは以下のように動作します。

- STATUS\_WORD の IOUT ビットをセット
- STATUS\_IOUT の IOUT 過電流フォルト・ビットをセット
- マスクされている場合を除き、 $\overline{ALERT}$  をアサートすることによってホストに通知

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

\*\*MFR\_PWM\_MODE[7]=1 は超低 DCR 検出の大電流レンジです。このレンジを使用するのは、これらの電流閾値が LTM4664A には大きすぎるためです。

\*25A の電流制限値を 35% 上回る場合に推奨。

## PMBus コマンドの詳細

### IOUT\_OC\_WARN\_LIMIT

このコマンドは、ADCによって測定される出力電流値に対し、出力過電流警告を発生させる出力電流測定値(A)を設定します。このリミットを超えたかどうかの判定にはREAD\_IOUTの値が使われます。

測定値がIOUT\_OC\_WARN\_LIMITを超えると、デバイスは以下のように動作します。

- STATUS\_BYTEのNONE\_OF\_THE\_ABOVEビットをセット
- STATUS\_WORDのIOUTビットをセット
- STATUS\_IOUT コマンドのIOUT過電流警告ビットをセット
- マスクされている場合を除き、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートすることによってホストに通知

TON\_RISEおよびTOFF\_FALLの間、IOUT\_OC\_FAULT\_LIMIT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フォーマットに設定されています。

### 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)を設定するために使用します(READ\_IIN も合わせて参照)。

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

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によって測定される入力電流値に対し、入力過電流警告を発生させる入力電流値(A)を設定します。このリミットを超えたかどうかの判定にはREAD\_IINの値が使われます。

測定値がIIN\_OC\_WARN\_LIMITを超えると、デバイスは以下のように動作します。

- STATUS\_BYTEのOTHERビットをセット
- STATUS\_WORDの上位バイトのINPUTビットをセット
- STATUS\_INPUT コマンドのIIN過電流警告ビット[1]をセット
- $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートすることによってホストに通知

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



## 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、素子の非理想特性とインダクタ温度のリモート検出に伴う誤差を考慮するために、外部温度センサーの勾配に変更を加えます。

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、公称値は1。

#### MFR\_TEMP\_1\_OFFSET

MFR\_TEMP\_1\_OFFSET コマンドは、素子の非理想特性とインダクタ温度のリモート検出に伴う誤差を考慮するために、外部温度センサーのオフセットに変更を加えます。

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

#### 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	パワー段の過熱フォルト・リミット。	R/W Word	Y	L11	C	Y	128 0xF200
OT_WARN_LIMIT	0x51	電力段の過熱警告リミット。	R/W Word	Y	L11	C	Y	125 0xEBE8
UT_FAULT_LIMIT	0x53	電力段の低温フォルト・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が測定する外部検出温度に対し、過熱フォルトを発生させる温度測定値(°C)を設定します。このリミットを超えたかどうかの判定にはREAD\_TEMPERATURE\_1の値が使われます。

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

#### OT\_WARN\_LIMIT

OT\_WARN\_LIMIT コマンドは、ADCが測定する外部検出温度に対し、過熱警告を発生させる温度測定値(°C)を設定します。このリミットを超えたかどうかの判定にはREAD\_TEMPERATURE\_1の値が使われます。

## PMBus コマンドの詳細

測定値がOT\_WARN\_LIMITを超えると、デバイスは以下のように動作します。

- STATUS\_BYTE の TEMPERATURE ビットをセット
- STATUS\_TEMPERATURE コマンドの過熱警告ビットをセット
- マスクされている場合を除き、ALERT ピンをアサートすることによってホストに通知

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

### UT\_FAULT\_LIMIT

UT\_FAULT\_LIMIT コマンドは、ADCが測定する電力段の検出温度に対し、低温フォルトを発生させる温度測定値(°C)を設定します。このリミットを超えたかどうかの判定にはREAD\_TEMPERATURE\_1の値が使われます。

注: 温度センサーを取り付けない場合は、UT\_FAULT\_LIMIT を-275°C に設定して UT\_FAULT\_LIMIT 応答を無視するように設定し、ALERT がアサートされないようにすることができます。

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

### タイミング

#### タイミング – オン・シーケンス/ランプ

コマンド名	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オン(もしくはその両方)から出力レールがオンになるまでの時間。	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の新しい値が指定されたときの出力変化率。	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上昇し始めるまでの時間をミリ秒単位で設定します。0ms～83秒までの範囲が有効な値です。最終的なターンオン遅延はTON\_DELAY = 0のときに代表値270μsとなり、TON\_DELAYのすべての値に対して±50μsの不確か性があります。

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

### TON\_RISE

TON\_RISE コマンドは、出力が上昇し始めて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秒までの範囲が有効な値です。TON\_RISE イベントの間、デバイスは不連続モードになります。TON\_RISEが0.25ms未満の場合、LTM4664Aのデジタル勾配はバイパスされて、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に等しく、その不確か性は±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 フォーマットに設定されています。

## PMBus コマンドの詳細

### TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT

TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT コマンドは、出力低電圧フォルト・リミットに達することなくユニットが出力のパワーアップを試みることのできる時間を、ミリ秒単位で設定します。

データ値が0msの場合はリミットがないことを意味し、ユニットは無期限に出力電圧の立ち上げを試みることができます。最大リミットは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フォーマットに設定されています。

### VOUT\_TRANSITION\_RATE

出力電圧を変化させるVOUT\_COMMANDまたはOPERATION(マージン・ハイ、マージン・ロー)をPMBus デバイスが受け取った場合、このコマンドは出力電圧の変化率(V/ms)を設定します。ユニットのオンまたはオフが指示された場合、このコマンドで指定した変化率は適用されません。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フォーマットに設定されています。

### タイミング – オフ・シーケンス/ランブ

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オフ(もしくはその両方)からTOFF_FALLランブ開始までの時間。	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完了後にユニットが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低下し始めるまでの時間をミリ秒単位で設定します。0～83秒までの範囲が有効な値です。最終的なターンオフ遅延はTOFF\_DELAY = 0のときに代表値270μsとなり、TOFF\_DELAYのすべての値に対して±50μsの不確か性があります。フォルト・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フォーマットに設定されています。

### TOFF\_FALL

TOFF\_FALL コマンドは、ターンオフ遅延時間が終了してから出力電圧を0にするようコマンドで指定するまでの時間を、ミリ秒単位で設定します。これはDACのV<sub>OUT</sub>のランブ時間です。DACのV<sub>OUT</sub>が0のときは、PWM出力が高インピーダンス状態に設定されます。

デバイスはプログラムされた動作モードを維持します。TOFF\_FALL時間が定義されている場合は、デバイスを連続導通モードに設定する必要があります。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ランブ・ダウンします。サポートされている最小立下がり時間は0.25msで、値を0.25ms未満にしても立下がり時間は0.25msになります。最大立下がり時間は1.3秒です。TOFF\_FALLのステップ数はTOFF\_FALL(ms)/0.1msに等しく、その不確か性は±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の電流を流さず、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フォーマットに設定されています。

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<sub>OUT</sub>の電圧値がVOUT\_COMMAND 設定値の12.5%未満になると、出力はオフとみなされます。計算はTOFF\_FALL の経過後に始まります。

0ms というデータ値は、制限がないこと、つまり出力電圧が設定電圧の12.5%を超えてからの時間が制限されていないことを意味します。0 以外で有効な値は120ms～524 秒です。

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

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	LTM4664A 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、この指定時間にわたって RUN ピンをローに保持します。最小推奨値は136ms です。

注：再起動遅延と再試行遅延は異なります。再起動遅延は指定された時間だけ RUN をローにして、その後に標準起動シーケンスを開始します。最小再起動遅延は、TOFF\_DELAY + TOFF\_FALL + 136ms と同じにする必要があります。有効な値は136ms～65.52 秒の範囲で16ms 刻みに設定できます。最小オフ時間を確保するために、MFR\_RESTART\_DELAY は必要時間より16ms 長く設定してください。MFR\_CHAN\_CONFIG の出力減衰ビット0 をイネーブルし、出力が設定値の12.5% 未満になるまでに時間がかかる場合は、RUN ピンがハイになった後、MFR\_RESTART\_DELAY より長く出力レールをオフにすることができます。

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

フォルト応答

すべてのフォルトに対するフォルト応答

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、フォルト応答がコントローラに指定の間隔で再試行を行わせることである場合に、その再試行の間隔をミリ秒単位で設定します。このコマンド値は、再試行を必要とするすべてのフォルト応答に使われます。再試行時間は、対象チャネルがフォルトを検出すると開始されます。有効な値は120ms～83.88 秒の範囲で10μs 刻みに設定できます。

注：再試行遅延時間は、MFR\_RETRY\_DELAY コマンドにより指定された時間、またはレギュレーションされた出力がプログラム値の12.5% 未満に減衰するのに必要な時間のうち、どちらか長い方によって決まります。出力の自然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って MFR\_RETRY\_DELAY コマンドの電圧条件をなくすことができます。

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

## PMBus コマンドの詳細

### 入力電圧フォルト応答

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	入力電源過電圧フォルト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、入力過電圧フォルトに対する応答動作をデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットを表 17 に示します。

デバイスは以下の動作も行います。

- ・ STATUS\_BYTE の NONE\_OF\_THE\_ABOVE ビットをセット
- ・ STATUS\_WORD の上位バイトの INPUT ビットをセット
- ・ STATUS\_INPUT コマンドの VIN 過電圧フォルト・ビットをセット
- ・ マスクされている場合を除き、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンをアサートすることによってホストに通知

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

### 出力電圧フォルト応答

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	出力過電圧フォル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_UV_FAULT_RESPONSE	0x45	出力低電圧フォルト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、出力過電圧フォルトに対する応答動作をデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットを表 13 に示します。

デバイスは以下の動作も行います。

- ・ STATUS\_BYTE の VOUT\_OV ビットをセット
- ・ STATUS\_WORD の VOUT ビットをセット
- ・ STATUS\_VOUT コマンドの VOUT 過電圧フォルト・ビットをセット
- ・ マスクされている場合を除き、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンをアサートすることによってホストに通知

このコマンドで認識される値は以下に限られます。

0x00 – デバイスは OV プルダウン (OV\_PULLDOWN) だけを実行します。

0x80 – デバイスはシャットダウン (出力をディスエーブル) し、ユニットは再試行を試みません。(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、バイアス電源が遮断されるか、あるいは別のフォルト状態が原因でユニットがシャットダウンするまで、無期限に再試行を継続します。

0x4n – デバイスはシャットダウンし、ユニットは再試行を行いません。出力は、以下のいずれかの操作が行われるまでディスエーブルのままになります。すなわち、デバイスを一度オフしてから再度オンするよう指示、RUN ピンを一度ローにアサートしてから再度ハイにアサート、コマンドによりリセットを実行、または VIN を遮断のいずれかです。OV フォルト状態は、 $n \cdot 10\mu\text{s}$  ( $n$  は 0~7) にわたってアクティブ状態になっている必要があります。

0x78+n – デバイスはシャットダウンし、ユニットは以下のいずれかの操作が行われるまで再試行を継続します。すなわち、フォルト状態をクリア、デバイスを一度オフしてから再度オンするよう指示、RUN ピンを一度ローにアサートしてから再度ハイにアサート、コマンドによりリセットを実行、または VIN を遮断のいずれかです。OV フォルト状態は、 $n \cdot 10\mu\text{s}$  ( $n$  は 0~7) にわたってアクティブ状態になっている必要があります。

上記以外の値にすると CML フォルトが発生して、書き込みは無視されます。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

表 14. VOUT\_OV\_FAULT\_RESPONSE のデータ・バイト内容

ビット	説明	値	意味
7:6	応答 ビット [7:6] のすべての値に対し、LTM4664A は次のように動作します ・ステータス・コマンドの該当フォルト・ビットをセット ・マスクされている場合を除き、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートすることによってホストに通知。 設定されたフォルト・ビットは、以下のイベントの 1 つまたは複数が発生するまでクリアされません。 ・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って、出力を一度オフしてから再度オンするよう指示する ・LTM4664A のバイアス電源を一度遮断してから再び印加する	00	デバイスは OV プルダウン (OV_PULLDOWN) だけを実行します (すなわち、 $V_{\text{OUT}} > V_{\text{OUT\_OV\_FAULT}}$ の場合は上側 MOSFET をオフして下側 MOSFET をオン)。
		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、その特定のフォルトに指定された遅延時間単位で動作を継続します。遅延時間終了時にフォルト状態が解消されていない場合、ユニットは再試行設定 (ビット [5:3]) 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し (出力をディスエーブル)、ビット [5:3] 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 フォルトが発生します。
5:3	再試行設定	000	ユニットは再起動を試みません。出力は、フォルトがクリアされるか、デバイスがオフになるよう指示されるか、バイアス電源が遮断されるまでディスエーブルのままになります。
		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) デバイスがオフされるか、バイアス電源が遮断されるか、もしくは別のフォルト状態が原因でユニットが再試行なしでシャットダウンされるまで、無期限に再試行を継続します。注：再試行間隔は MFR_RETRY_DELAY コマンドによって設定されます。
2:0	遅延時間	000~111	$10\mu\text{s}$ 刻みの遅延時間。この遅延時間は、フォルト検出後にコントローラが動作を継続する時間を決定します。デグリッチされたオフ状態にのみ有効です。

## VOUT\_UV\_FAULT\_RESPONSE

VOUT\_UV\_FAULT\_RESPONSE コマンドは、出力低電圧フォルトに対する応答動作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 に示します。

デバイスは以下の動作も行います。

- ・STATUS\_BYTE の NONE\_OF\_THE\_ABOVE ビットをセット
- ・STATUS\_WORD の VOUT ビットをセット
- ・STATUS\_VOUT コマンドの VOUT 低電圧フォルト・ビットをセット
- ・マスクされている場合を除き、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンをアサートすることによってホストに通知

## PMBus コマンドの詳細

UV フォルトおよび警告は、以下の基準を満たすまでマスクされます。

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

UV フォルトおよび警告は、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 フォルトおよび警告は、TON\_RISE および TOFF\_FALL シーケンシング中はマスクされます。

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・バイト内容

ビット	説明	値	意味
7:6	応答 ビット [7:6] のすべての値に対し、LTM4664A は次のように動作します ・ステータス・コマンドの該当フォルト・ビットをセット ・マスクされている場合を除き、ALERT ピンをアサートすることによってホストに通知。 設定されたフォルト・ビットは、以下のイベントの1つまたは複数が発生するまでクリアされません。 ・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って、出力を一度オフにしてから再度オンにするよう指示する ・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 ・デバイス電源を一度オフにして再びオンにする	00	PMBus デバイスは中断することなく動作を続けます。(フォルトを機能的に無視)
		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、その特定のフォルトに指定された遅延時間単位で動作を継続します。遅延時間終了時にフォルト状態が解消されていない場合、ユニットは再試行設定(ビット [5:3])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し(出力をディスエーブル)、ビット [5:3] 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 フォルトが発生します。
5:3	再試行設定	000	ユニットは再起動を試みません。出力は、フォルトがクリアされるか、デバイスがオフになるよう指示されるか、バイアス電源が遮断されるまでディスエーブルのままになります。
		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)デバイスがオフされるか、バイアス電源が遮断されるか、もしくは別のフォルト状態が原因でユニットが再試行なしでシャットダウンされるまで、無期限に再試行を継続します。 注: 再試行間隔は MFR_RETRY_DELAY コマンドによって設定されます。
2:0	遅延時間	000~111	10 $\mu$ s 刻みの遅延時間。この遅延時間は、フォルト検出後にコントローラが動作を継続する時間を決定します。デグリッチされたオフ状態にのみ有効です。

PMBus コマンドの詳細

TON\_MAX\_FAULT\_RESPONSE

TON\_MAX\_FAULT\_RESPONSE コマンドは、TON\_MAX フォルトに対する応答動作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 に示します。

デバイスは以下の動作も行います。

- STATUS\_BYTE の NONE\_OF\_THE\_ABOVE ビットをセット
- STATUS\_WORD の VOUT ビットをセット
- STATUS\_VOUT コマンドの TON\_MAX\_FAULT ビットをセット
- マスクされている場合を除き、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンをアサートすることによってホストに通知

値を 0 にすると、TON\_MAX\_FAULT\_RESPONSE がディスエーブルされます。0 の使用は推奨できません。

注：PWM チャンネルは、TON\_MAX\_FAULT\_LIMIT で指定された時間が経過す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。

出力電流フォルト応答

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	出力過電流フォルト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、出力過電流フォルトに対する応答動作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 に示します。

デバイスは以下の動作も行います。

- STATUS\_BYTE の NONE\_OF\_THE\_ABOVE ビットをセット
- STATUS\_BYTE の IOUT\_OC ビットをセット
- STATUS\_WORD の IOUT ビットをセット
- STATUS\_IOUT コマンドの IOUT 過電流フォルト・ビットをセット
- マスクされている場合を除き、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンをアサートすることによってホストに通知

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・バイト内容

ビット	説明	値	意味
7:6	応答 ビット [7:6] のすべての値に対し、LTM4664A は次のように動作します ・ステータス・コマンドの該当フォルト・ビットをセット ・マスクされている場合を除き、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートすることによってホストに通知。 設定されたフォルト・ビットは、以下のイベントの1つまたは複数が発生するまでクリアされません。 ・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って、出力を一度オフにしてから再度オンにするよう指示する ・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 ・デバイス電源を一度オフにして再びオンにする	00	LTM4664A PSM は、出力電圧に関係なく、IOUT_OC_FAULT_LIMIT によって設定された値に出力電流を維持しながら、無期限に動作を継続します (定電流リミット動作またはブリックウォール・リミット動作と呼ばれます)。
		01	サポートされていません。
		10	LTM4664A PSM は、出力電圧に関係なく、IOUT_OC_FAULT_LIMIT によって設定された値に出力電流を維持しながら、ビット [2:0] で指定された遅延時間にわたって動作を継続します。遅延時間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] による再試行設定に従って応答します。
		11	LTM4664A PSM は直ちにシャットダウンし、ビット [5:3] の再試行設定に従って応答します。
5:3	再試行設定	000	ユニットは再起動を試みません。RUN ピンを一度ローにしてから再度ハイにするか、バイアス電源を遮断することによってフォルト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) デバイスがオフされるか、バイアス電源が遮断されるか、あるいは別のフォルト状態が原因でユニットがシャットダウンされるまで、無期限に再試行を継続します。 注: 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 刻みの遅延時間単位数。この遅延時間は、フォルトが検出されてからシャットダウンまでのユニットの動作継続時間を決定するために使用します。デグリッチされたオフ応答にのみ有効です。

## デバイス温度フォルト応答

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	内部過熱フォルト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、内部過熱フォルトに対する応答動作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 に示します。

更に、LTM4664A は以下の動作も行います。

- ・STATUS\_BYTE の NONE\_OF\_THE\_ABOVE ビットをセット
- ・STATUS\_WORD の MFR ビットをセット
- ・STATUS\_MFR\_SPECIFIC コマンドの過熱フォルト・ビットをセット
- ・マスクされている場合を除き、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンをアサートすることによってホストに通知

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・バイト内容

ビット	説明	値	意味
7:6	応答 ビット [7:6] のすべての値に対し、LTM4664A は次のように動作します ・ステータス・コマンドの該当フォルト・ビットをセット ・マスクされている場合を除き、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートすることによってホストに通知。 設定されたフォルト・ビットは、以下のイベントの1つまたは複数が発生するまでクリアされません。 ・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って、出力を一度オフにしてから再度オンにするよう指示する ・LTM4664A のバイアス電源を一度遮断してから再び印加する	00	サポートされていません。この値を書き込むと CML フォルトが発生します。
		01	サポートされていません。この値を書き込むと CML フォルトが発生します。
		10	デバイスは直ちにシャットダウンし (出力をディスエーブル)、ビット [5:3] の再試行設定に従って応答します。
		11	デバイスの出力はディスエーブルされますが、フォルトは残ります。フォルト状態が解消されると、動作が再開されて出力がイネーブルされます。
5:3	再試行設定	000	ユニットは再起動を試みません。出力はフォルト状態が解消されるまでディスエーブルのままになります。
		001~111	サポートされていません。この値を書き込むと CML フォルトが発生します。
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。

## 外部温度フォルト応答

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	外部過熱フォルト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	外部低温フォルト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、外部温度センサーの過熱フォルトに対する応答動作をデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットを表 8 に示します。

デバイスは以下の動作も行います。

- ・STATUS\_BYTE の TEMPERATURE ビットをセット
- ・STATUS\_TEMPERATURE コマンドの過熱フォルト・ビットをセット
- ・マスクされている場合を除き、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンをアサートすることによってホストに通知

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、外部温度センサーの低温フォルトに対する応答動作をデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットを表 13 に示します。

デバイスは以下の動作も行います。

- ・STATUS\_BYTE の TEMPERATURE ビットをセット
- ・STATUS\_TEMPERATURE コマンドの低温フォルト・ビットをセット
- ・マスクされている場合を除き、 $\overline{\text{ALERT}}$  ピンをアサートすることによってホストに通知



## 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  $t_{\text{CONVERT}}$  と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] のすべての値に対し、LTM4664A は次のように動作します ・ステータス・コマンドの該当フォルト・ビットをセット ・マスクされている場合を除き、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートすることによってホストに通知。 設定されたフォルト・ビットは、以下のイベントの 1 つまたは複数が発生するまでクリアされません。 ・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って、出力を一度オフにしてから再度オンにするよう指示する ・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 ・デバイス電源を一度オフにして再びオンにする	00	PMBus デバイスは中断することなく動作を続けます。
		01	サポートされていません。この値を書き込むと CML フォルトが発生します。
		10	デバイスは直ちにシャットダウンし (出力をディスエーブル)、ビット [5:3] の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 フォルトが発生します。
5:3	再試行設定	000	ユニットは再起動を試みません。出力は、フォルトがクリアされるか、デバイスがオフになるよう指示されるか、バイアス電源が遮断されるまでディスエーブルのままになります。
		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) デバイスがオフされるか、バイアス電源が遮断されるか、もしくは別のフォルト状態が原因でユニットが再試行なしでシャットダウンされるまで、無期限に再試行を継続します。注: 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。

## フォルトの共有

### フォルト共有の伝搬

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	どのフォルトを FAULT ピンに伝搬させるかを決定する設定。	R/W Word	Y	Reg		Y	0x6993

### MFR\_FAULT\_PROPAGATE

MFR\_FAULT\_PROPAGATE コマンドは、 $\overline{\text{FAULT}}_n$  ピンをローにアサートすることのできるフォルトをイネーブルします。このコマンドは表 15 に示すようにフォーマットされます。フォルトを  $\overline{\text{FAULT}}_n$  ピンに伝搬することができるのは、それらのピンがフォルトに応答するように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<sub>n</sub>のフォルト伝搬設定

FAULT<sub>0</sub>ピンとFAULT<sub>1</sub>ピンは、選択されたイベントを電氣的に通知するように設計されています。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のもので、その他は出力チャンネルに固有のものです。また、複数のチャンネル間でフォルトを共有するために使用することもできます。

ビット	記号	動作
B[15]	VOUTはディスエーブルされますが、減衰はしません。	これは、MFR_CHAN_CONFIGのビット0がゼロの場合はPolyPhase構成で使われます。RUNピンを切り替えるかデバイスのオフを指示することによってチャンネルをオフにして、その後、出力が減衰する前にRUNを再アサートするかデバイスをオンに戻すと、12.5%の減衰が確認されるまでVOUTは再起動しません。ビット15がアサートされている場合、この状態の間はFAULTピンがアサートされます。
B[14]	Mfr_fault_propagate_short_CMD_cycle	0:動作なし。 1: 出力をシーケンス・オフする前に一度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、シーケンス・オフ後にt <sub>OFF(MIN)</sub> が経過した時点で再びハイにアサートされます。
b[13]	Mfr_fault_propagate_ton_max_fault	0:TON_MAX_FAULTフォルトがアサートされた場合は動作なし。 1:TON_MAX_FAULTフォルトがアサートされた場合は、対応する出力がローにアサートされます。 FAULT <sub>0</sub> は、ページ0のTON_MAX_FAULTフォルトに対応付けられます。 FAULT <sub>1</sub> は、ページ1のTON_MAX_FAULTフォルト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フォルトがアサートされた場合は動作なし。 1:MFR_OT_FAULT_LIMITフォルトがアサートされた場合は、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フォルトがアサートされた場合は動作なし。 1:UT_FAULT_LIMITフォルトがアサートされた場合は、対応する出力がローにアサートされます。 FAULT <sub>0</sub> は、ページ0のUTフォルトに対応付けられます。 FAULT <sub>1</sub> は、ページ1のUTフォルトに対応付けられます。
b[7]	Mfr_fault0_propagate_ot Mfr_fault1_propagate_ot	0:OT_FAULT_LIMITフォルトがアサートされた場合は動作なし。 1:OT_FAULT_LIMITフォルトがアサートされた場合は、対応する出力がローにアサートされます。 FAULT <sub>0</sub> は、ページ0のOTフォルトに対応付けられます。 FAULT <sub>1</sub> は、ページ1のOTフォルト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フォルトがアサートされた場合は動作なし。 1:VIN_OV_FAULT_LIMITフォルトがアサートされた場合は、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フォルトがアサートされた場合は動作なし。 1:IOUT_OC_FAULT_LIMITフォルトがアサートされた場合は、対応する出力がローにアサートされます。 FAULT <sub>0</sub> は、ページ0のOCフォルトに対応付けられます。 FAULT <sub>1</sub> は、ページ1のOCフォルト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フォルトがアサートされた場合は動作なし。 1:VOUT_UV_FAULT_LIMITフォルトがアサートされた場合は、対応する出力がローにアサートされます。 FAULT <sub>0</sub> は、ページ0のUVフォルトに対応付けられます。 FAULT <sub>1</sub> は、ページ1のUVフォルト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フォルトがアサートされた場合は動作なし。 1:VOUT_OV_FAULT_LIMITフォルトがアサートされた場合は、対応する出力がローにアサートされます。 FAULT <sub>0</sub> は、ページ0のOVフォルトに対応付けられます。 FAULT <sub>1</sub> は、ページ1のOVフォルトに対応付けられます。

## PMBus コマンドの詳細

### フォルト共有の応答

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された場合にデバイスが取るべきアクションをデバイスに指示します。

### サポートされている値:

値	意味
0xC0	FAULT_INHIBIT: $\overline{\text{FAULT}}$ ピンがローになった場合、LTM4664A は出力をスリーステートにします。
0x00	FAULT_IGNORE: LTM4664A は中断することなく動作を続けます。

デバイスは以下の動作も行います。

- STATUS\_WORD の MFR ビットをセット
- $\overline{\text{FAULT}}_n$  がローになっていることを示すために STATUS\_MFR\_SPECIFIC コマンドのビット 0 をセット
- マスクされている場合を除き、 $\overline{\text{ALERT}}$  をアサートすることによってホストに通知

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 指定済み。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	LTpowerPlay 用にメーカー指定済み。	R/W Word	Y	Reg		Y	NA
USER_DATA_02	0xB2	OEM 指定済み。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	ユーザが使用できる NVM ワード。	R/W Word	Y	Reg		Y	0x0000
USER_DATA_04	0xB4	ユーザが使用できる 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、ユーザ用ストレージの不揮発性メモリ位置です。USER\_DATA\_nn には任意の時点で任意の値を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ために使用します。指定済みの USER\_DATA\_nn コマンドを変更すると、在庫管理が不適切なものになったり、これらの製品との互換性が失われたりす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・フォーマットに設定されています。

### 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。	R Byte	N	Reg		FS	0x22
CAPABILITY	0x19	このデバイスがサポートする PMBus オプション通信プロトコルの概要。	R Byte	N	Reg			0xB0
MFR_ID	0x99	LTM4664A のメーカー ID (ASCII)。	R String	N	ASC			LTC
MFR_MODEL	0x9A	メーカー製品番号 (ASCII)。	R String	N	ASC			LTM4664
MFR_SPECIAL_ID	0xE7	LTM4664A 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。LTM4664A は、PMBus Version 1.2 の Part I と 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

このコマンドは、ホスト・システムが PMBus デバイスのいくつかの重要な機能を決定する方法を提供します。

LTM4664A は、パケット・エラー・チェック、400kHz のバス・スピード、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 ASCII 文字を使って LTM4664A のメーカー ID を示します。

この読出し専用コマンドはブロック・フォーマットです。

### MFR\_MODEL

MFR\_MODEL コマンドは、ASCII 文字を使って LTM4664A のメーカー製品番号を示します。

この読出し専用コマンドはブロック・フォーマットです。

### MFR\_SPECIAL\_ID

デバイスの名称とリビジョンを表す 16 ビットのワードです。0x4C はデバイスが LTM4664A であることを示し、XX はメーカーが調整できます。

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

### フォルト、警告、およびステータス

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	セットされたすべてのフォルト・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	コマンドの詳細を参照
MFR_CLEAR_PEAKS	0xE3	すべてのピーク値をクリアします。	Send Byte	Y				NA
STATUS_BYTE	0x78	ユニットのフォルト状態を1バイトに要約したもの。	R/W Byte	Y	Reg			NA
STATUS_WORD	0x79	ユニットのフォルト状態を2バイトに要約したもの。	R/W Word	Y	Reg			NA
STATUS_VOUT	0x7A	出力電圧のフォルトおよび警告のステータス。	R/W Byte	Y	Reg			NA
STATUS_IOUT	0x7B	出力電流のフォルトおよび警告のステータス。	R/W Byte	Y	Reg			NA
STATUS_INPUT	0x7C	入力電源のフォルトおよび警告のステータス。	R/W Byte	N	Reg			NA
STATUS_TEMPERATURE	0x7D	READ_TEMPERATURE_1の外部温度フォルトおよび警告のステータス。	R/W Byte	Y	Reg			NA
STATUS_CML	0x7E	通信とメモリのフォルトおよび警告のステータス。	R/W Byte	N	Reg			NA
STATUS_MFR_SPECIFIC	0x80	メーカー固有のフォルトおよび状態の情報。	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・デバイセス・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 コマンドは、セットされたフォルト・ビットをクリアするために使用します。このコマンドは、すべてのステータス・コマンドのすべてのビットを同時にクリアします。同時に、デバイスが **ALERT** ピン信号をアサートしている場合、デバイスはその **ALERT** ピンの信号出力を無効に(クリア、解放)します。ビットがクリアされたときにフォルトがまだ残っている場合はフォルト・ビットがセットされたままになり、**ALERT** ピンをローにアサートすることによってホストへ通知されます。CLEAR\_FAULTS の処理には最大で 10μs かかります。この時間枠内にフォルトが発生すると、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データ・バイトはありません。

CLEAR\_FAULTS が、フォルト状態によってラッチ・オフされたユニットを再起動することはありません。フォルト状態によってシャットダウンされたユニットは、以下の場合に再起動されます。

- ・ 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って、出力を一度オフにしてから再度オンにするよう指示する。
- ・ MFR\_RESET コマンドが発行される。
- ・ 集積回路のバイアス電源を一度遮断してから再び印加する。

### SMBALERT\_MASK

SMBALERT\_MASK コマンドを使用すると、特定のステータス・ビットが1つまたは複数アサートされたときに、それらのビットによって **ALERT** がアサートされないようにすることができます。

**ALERT** マスクを設定するために使用するワード書込みフォーマットの例を図 33 に示します。この場合は PEC なしです。マスク・バイト内のビットは、指定ステータス・レジスタ内のビットと一致します。例えば、STATUS\_TEMPERATURE コマンド・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 が含まれている場合、その後続く外部過熱警告は引き続き



PMBus コマンドの詳細

STATUS\_TEMPERATURE のビット6をセットしますが、ALERT はアサートしません。サポートされているその他の STATUS\_TEMPERATURE ビットがセットされている場合、それらすべてのビットによって引き続き ALERT がアサートされます。

「ブロック書込み – ブロック読出しプロセス呼び出し」プロトコルの例を図50に示します。この場合も PEC なしです。このプロトコルは、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リードバックするときに使用します。

SMBALERT\_MASK は、STATUS\_BYTE、STATUS\_WORD、MFR\_COMMON、MFR\_PADS には適用できません。該当レジスタの出荷時のデフォルト・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、無効なデータまたはサポートされていないデータに対する CML が生成されます。

SMBALERT\_MASK のデフォルト設定: (図2も合わせて参照)

ステータス・レジスタ	ALERT マスク値	マスクされるビット
STATUS_VOUT	0x00	なし
STATUS_IOUT	0x00	なし
STATUS_TEMPERATURE	0x00	なし
STATUS_CML	0x00	なし
STATUS_INPUT	0x00	なし
STATUS_MFR_SPECIFIC	0x11	ビット4(内部PLLは非同期)、ビット0(外部デバイスによりFAULTがローになる)

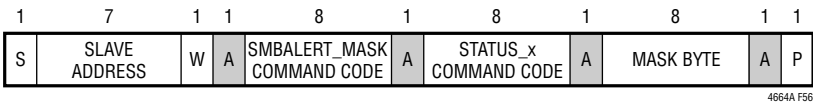


図 53. SMBALERT\_MASK の書込み例

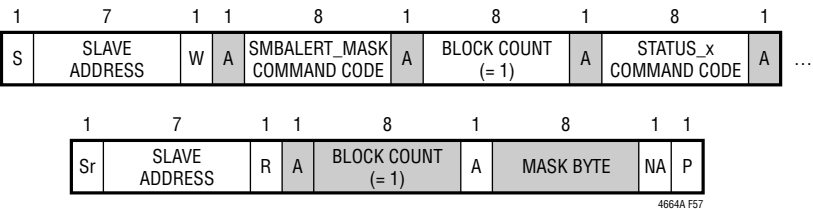


図 54. SMBALERT\_MASK の読出し例

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 コマンドも 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データ・バイトはありません。

STATUS\_BYTE

STATUS\_BYTE コマンドは、最も重要なフォルトの概要を1バイトの情報で返します。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 のメッセージ内容

ビット	ステータス・ビット名	意味
7*	BUSY	LTM4664A が応答できないのでフォルトが宣言されました。
6	OFF	このビットは、単にイネーブルされていない場合も含め、理由の如何に関わらずチャンネルが出力に電力を供給していない場合にセットされます。
5	VOUT_OV	出力過電圧フォルトが発生しました。
4	IOUT_OC	出力過電流フォルトが発生しました。
3	VIN_UV	サポートされていません (LTM4664A は 0 を返します)。
2	TEMPERATURE	温度フォルトまたは警告が発生しました。
1	CML	通信、メモリ、またはロジックのフォルトが発生しました。
0*	NONE OF THE ABOVE	ビット [7:1] に記載されていないフォルトが発生しました。

\*これらのビットのいずれかがセットされている場合は ALERT をアサートすることができます。これらのビットは、CLEAR\_FAULTS コマンドを使う代わりに、STATUS\_BYTE の該当ビット位置に 1 を書き込むことによってクリアできます。

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概要を 2 バイトの情報で返します。STATUS\_WORD コマンドの下位バイトは 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内容

ビット	ステータス・ビット名	意味
15	VOUT	出力電圧フォルトまたは警告が発生しました。
14	IOUT	出力電流フォルトまたは警告が発生しました。
13	INPUT	入力電圧フォルトまたは警告が発生しました。
12	MFR_SPECIFIC	LTM4664A に固有のフォルトまたは警告が発生しました。
11	POWER_GOOD#	このビットがセットされている場合、その POWER_GOOD 状態は誤りです。
10	FANS	サポートされていません (LTM4664A は 0 を返します)。
9	OTHER	サポートされていません (LTM4664A は 0 を返します)。
8	UNKNOWN	サポートされていません (LTM4664A は 0 を返します)。

上位バイトのいずれかのビットがセットされると、NONE\_OF\_THE\_ABOVE がアサートされます。

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 のメッセージ内容:

ビット	意味
7	VOUT 過電圧フォルト。
6	VOUT 過電圧警告。
5	VOUT 低電圧警告
4	VOUT 低電圧フォルト。
3	VOUT 最大値警告。
2	TON 最大値フォルト。
1	TOFF 最大値フォルト。
0	サポートされていません (LTM4664A 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を書き込むと、特定のフォルト・ビットをクリアすることができます。これにより、CLEAR\_FAULTS コマンドを使用せずにステータスをクリアすることができます。

このコマンドがサポートしているフォルト・ビットは $\overline{\text{ALERT}}$  イベントを起動します。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

### STATUS\_IOUT

STATUS\_IOUT コマンドは、1バイトのIOUTステータス情報を返します。

#### STATUS\_IOUT のメッセージ内容:

ビット	意味
7	IOUT過電流フォルト。
6	サポートされていません (LTM4664A は0を返します)。
5	IOUT過電流警告。
4:0	サポートされていません (LTM4664A は0を返します)。

このコマンドのいずれかのビットに1を書き込むと、特定のフォルト・ビットをクリアすることができます。これにより、CLEAR\_FAULTS コマンドを使用せずにステータスをクリアすることができます。

このコマンドがサポートしているフォルト・ビットは $\overline{\text{ALERT}}$  イベントを起動します。このコマンドは1バイトのデータを伴います。

### STATUS\_INPUT

STATUS\_INPUT コマンドは、1バイトのVIN(VINS3\_C1)ステータス情報を返します。

#### STATUS\_INPUT のメッセージ内容:

ビット	意味
7	VIN過電圧フォルト。
6	サポートされていません (LTM4664A は0を返します)。
5	VIN低電圧警告。
4	サポートされていません (LTM4664A は0を返します)。
3	VINが不十分なのでユニットはオフです。
2	サポートされていません (LTM4664A は0を返します)。
1	IN過電流警告。
0	サポートされていません (LTM4664A は0を返します)。

このコマンドのいずれかのビットに1を書き込むと、特定のフォルト・ビットをクリアすることができます。これにより、CLEAR\_FAULTS コマンドを使用せずにステータスをクリアすることができます。

このコマンドがサポートしているフォルト・ビットは $\overline{\text{ALERT}}$  イベントを起動します。このコマンドのビット3はラッチされず、セットされた場合も $\overline{\text{ALERT}}$ を発生させません。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。これはページ指定されたコマンドで、それぞれのREAD\_TEMPERATURE\_1の値に関係しています。

#### STATUS\_TEMPERATURE のメッセージ内容:

ビット	意味
7	外部過熱フォルト。
6	外部過熱警告。
5	サポートされていません (LTM4664A は0を返します)。
4	外部低温フォルト。
3:0	サポートされていません (LTM4664A は0を返します)。

このコマンドのいずれかのビットに1を書き込むと、特定のフォルト・ビットをクリアすることができます。これにより、CLEAR\_FAULTS コマンドを使用せずにステータスをクリア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。

### STATUS\_CML

STATUS\_CML コマンドは、受信したコマンド、内部メモリ、およびロジックに関する1バイトの情報を返します。

#### STATUS\_CML のメッセージ内容:

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信しました。
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信しました。
5	パケット・エラー・チェックに失敗しました。
4	メモリ・フォルトを検出しました。
3	プロセッサ・フォルトを検出しました。
2	予備 (LTM4664A は0を返します)。
1	その他の通信フォルト。
0	その他のメモリ・フォルトまたはロジック・フォルト。

このコマンドのビット3またはビット4がセットされている場合は、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セットされる場合、デバイスをそのまま使用し続けることは推奨できません。

このコマンドのいずれかのビットに1を書き込むと、特定のフォルト・ビットをクリアすることができます。これにより、CLEAR\_FAULTS コマンドを使用せずにステータスをクリアすることができます。

このコマンドがサポートしているフォルト・ビットは  $\overline{\text{ALERT}}$  イベントを起動します。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

## PMBus コマンドの詳細

### STATUS\_MFR\_SPECIFIC

STATUS\_MFR\_SPECIFIC コマンドは、メーカー固有ステータスに関する 1 バイトの情報を返します。

このバイトのフォーマットを以下に示します。

ビット	意味
7	内部温度フォルト・リミットを超えました。
6	内部温度警告リミットを超えました。
5	出荷時調整領域の NVM CRC フォルト。
4	PLL の同期が外れました。
3	フォルト・ログが存在します。
2	V <sub>DD33</sub> の UV または OV フォルト。
1	短サイクル・イベントを検出しました。
0	外部デバイスによって FAULT ピンがローにアサートされました。

これらいずれかのビットがセットされると、STATUS\_WORD の MFR ビットがセットされて  $\overline{\text{ALERT}}$  がアサートされます。

このコマンドのいずれかのビットに 1 を書き込むと、特定のフォルト・ビットをクリアすることができます。これにより、CLEAR\_FAULTS コマンドを使用せずにステータスをクリアすることができます。ただし、フォルト・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しか方法がありません。

このコマンドがサポートしているフォルト・ビットは  $\overline{\text{ALERT}}$  イベントを起動します。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

### MFR\_PADS

このコマンドを使用すると、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	割り当てられたデジタル・ピン
15	V <sub>DD33</sub> の OV フォルト
14	V <sub>DD33</sub> の UV フォルト
13	予備
12	予備
11	ADC の値が無効。起動時に発生します。通常動作時に電流測定チャンネルで一時的に発生することがあります。
10	外部デバイスから SYNC にクロックを入力 (SYNC ピンを駆動するように LTM4664A 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	LTM4664A が RUN1 をローに駆動
6	LTM4664A が RUN0 をローに駆動
5	RUN1 ピンの状態
4	RUN0 ピンの状態
3	LTM4664A が FAULT1 をローに駆動
2	LTM4664A が 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 (true) 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・デバイセズのすべ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 $\overline{\text{ALERT}}$ をローに駆動しません
6	LTM4664A 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	LTM4664A の出力は遷移中ではありません
3	NVM は初期化されています
2	予備
1	SHARE_CLK 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 コマンドには追加のステータス・ビットがあり、これらは、LTC3884 固有ですが、複数のアナログ・デバイセズ製 PSM 製品に共通である場合もあります。

#### MFR\_INFO のデータ内容:

ビット	意味
15:5	予備。
4	EEPROM ECC のステータス。 0:EEPROM のユーザ空間が修正されています。 1:EEPROM のユーザ空間は修正されていません。
3:0	予備

EEPROM ECC のステータスが更新されるのは、各 RESTORE\_USER\_ALL または RESET コマンド、パワーオン・リセット、または EEPROM 一括読出し動作の後です。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

## 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	電力段のダイオードのジャンクション温度。この値は、MFR_IOUT_CAL_GAINを含むすべての温度関連処理に使われます。	R Word	Y	L11	C		NA
READ_TEMPERATURE_2	0x8E	電力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	出力電力の計算値。	R Word	Y	L11	W		NA
READ_PIN	0x97	入力電力の計算値。	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の最大測定値をレポートします。	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以降での最大外部温度測定値(READ_TEMPERATURE_1)。	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	LTM4664Aが使用した測定電流。	R Word	N	L11	A		NA
MFR_TEMPERATURE_2_PEAK	0xF4	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降での最大内部ダイ温度。	R Word	N	L11	C		NA
MFR_ADC_CONTROL	0xD8	高速でADCリードバックを繰り返す場合に選択されるADC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、VIN ピンの測定電圧に  $\text{READ\_ICHIP} \cdot \text{MFR\_RVIN}$  を加算した値 (V) を返します。これは、LTM4664A の電源電流により生じる  $V_{\text{IN}}$  フィルタ素子で生じる IR 電圧降下を補償します。

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 フォーマットに設定されています。

### 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値を返します。

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

### 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の値 (A) を返します (MFR\_IIN\_CAL\_GAIN も合わせて参照)。

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 フォーマットに設定されています。

### 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)  $I_{\text{SENSE}}$  ピンにかかる差動電圧の測定値
- b) MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN の値
- c) MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN\_TC の値、および
- d) READ\_TEMPERATURE\_1 の値
- e) MFR\_TEMP\_1\_GAIN と MFR\_TEMP\_1\_OFFSET

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 フォーマットに設定されています。

### READ\_TEMPERATURE\_1

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

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

### READ\_TEMPERATURE\_2

READ\_TEMPERATURE\_2 コマンドは、内部検出素子が検出した LTM4664A のダイ温度 (°C) を返します。

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

### READ\_FREQUENCY

READ\_FREQUENCY コマンドは PWM スイッチング周波数の指示値 (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 フォーマットに設定されています。

### READ\_POUT

READ\_POUT コマンドは、DC/DC コンバータの出力電力指示値 (W) です。POUT は、最新の出力電圧指示値とそれに対応する出力電流指示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 フォーマットに設定されています。

## 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指示値(W)です。PIN は、最新の入力電圧指示値と入力電流指示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 フォーマットに設定されています。

### 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。

データは1バイトです。値は1ビットにつき0.1%で、範囲は $\pm 0.0\%$ ～ $\pm 25.5\%$ になります。

この読出し専用コマンドは1バイトのデータを伴い、符号なし整数フォーマットに設定されています。

### MFR\_IOUT\_PEAK

MFR\_IOUT\_PEAK コマンドは、READ\_IOUT 測定によってレポートされる電流の最大値(A)をレポートします。

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

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 フォーマットに設定されています。

### MFR\_VOUT\_PEAK

MFR\_VOUT\_PEAK コマンドは、READ\_VOUT 測定による電圧の最大値(V)をレポートします。

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

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 フォーマットに設定されています。

### MFR\_VIN\_PEAK

MFR\_VIN\_PEAK コマンドは、READ\_VIN 測定による電圧の最大値(V)をレポートします。

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

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 フォーマットに設定されています。

### MFR\_TEMPERATURE\_1\_PEAK

MFR\_TEMPERATURE\_1\_PEAK コマンドは、READ\_TEMPERATURE\_1 測定による温度の最大値( $^{\circ}\text{C}$ )をレポートします。

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

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 フォーマットに設定されています。

### MFR\_READ\_IIN\_PEAK

MFR\_READ\_IIN\_PEAK コマンドは、READ\_IIN 測定による電流の最大値(A)をレポートします。

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

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

### MFR\_READ\_ICHIP

MFR\_READ\_ICHIP コマンドは、LTM4664A が使用した入力電流の測定値(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 フォーマットに設定されています。

## PMBus コマンドの詳細

### MFR\_TEMPERATURE\_2\_PEAK

MFR\_TEMPERATURE\_2\_PEAK コマンドは、READ\_TEMPERATURE\_2 測定による温度の最大値(°C)をレポートします。

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

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 フォーマットに設定されています。

### MFR\_ADC\_CONTROL

MFR\_ADC\_CONTROL コマンドは、ADC リードバックの選択肢を決定します。このコマンドのデフォルト値は0で、この場合は標準の遠隔測定ループが実行されます。すべてのパラメータはラウンド・ロビン方式で更新され、代表遅延時間は $t_{\text{CONVERT}}$ です。0以外の値を指定し、約8msの更新レートで1つのパラメータをモニタすることも可能です。このコマンドの最大遅延はA/D変換2回分で、これは約16msに相当します(外部温度変換の最大遅延はA/D変換3回分で、これは約24msに相当します)。ADCを使い1つのパラメータを高速で更新する必要があるような特殊な場合を除き、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指示して、その後標準のラウンド・ロビン方式に戻るようコマンドを設定する必要があります。このコマンドを標準のラウンド・ロビン遠隔測定(0)以外の値に設定した場合は、選択したパラメータ以外の遠隔測定に関連するすべての警告とフォルトが実質的にディスエーブルされ、電圧のサーボ制御もディスエーブルされます。ラウンド・ロビン方式が再度アサートされると、すべての警告とフォルトおよびサーボ・モードが再度イネーブルされます。

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の測定出力電流
0x09	READ_VOUT	チャンネル1の測定出力電圧
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の測定出力電流
0x05	READ_VOUT	チャンネル0の測定出力電圧
0x04	READ_TEMPERATURE_2	内部ジャンクション温度
0x03	READ_IIN	測定入力電源電流
0x02	MFR_READ_ICHIP	LTM4664Aの測定電源電流
0x01	READ_VIN	測定入力電源電圧
0x00		標準のADCラウンド・ロビン遠隔測定

指定済み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フォルトが出力されます。LTM4664Aは、有効なコマンド値が入力されるまでCMLフォルトを出力し続けます。測定入力電源電圧の精度が確保されるのは、MFR\_ADC\_CONTROL コマンドが標準のラウンド・ロビン遠隔測定に設定されている場合に限りです。

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・フォーマットに設定されています。



## PMBus コマンドの詳細

### NVM メモリ・コマンド

#### 格納／復元

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

#### STORE\_USER\_ALL

STORE\_USER\_ALL コマンドは、保存しておきたい動作メモリ内容を不揮発性 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 0°C～85°C の範囲にない状態でこのコマンドを実行することは推奨できません。この場合、10 年間のデータ保持期間は確保できません。ダイ温度が 130°C を超えると、STORE\_USER\_ALL コマンドはディスエーブルされます。デバイス温度が 125°C 未満に低下すると、コマンドは再度イネーブルされます。

LTM4664A 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<sub>CC</sub> または VDD33 が供給されていて、VIN が印加されていない場合に限られます。この状態でデバイスをイネーブルするには、グローバル・アドレス 0x5B を使って 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 LTM4664A が正常な通信を開始し、プロジェクト・ファイルを更新できるようになります。更新したプロジェクト・ファイルを NVM に書き込むには、STORE\_USER\_ALL コマンドを発行します。VIN を印加したら、MFR\_RESET を発行して PWM をイネーブルし、有効な ADC を読み出せるようにする必要があります。

この書き込み専用コマンドにデータ・バイトはありません。

#### RESTORE\_USER\_ALL

RESTORE\_USER\_ALL コマンドは、不揮発性ユーザ・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 LTM4664A に指示します。動作メモリの値はユーザ・コマンドで取得した値によって上書きされます。LTM4664A は、両方のチャンネルがオフであることを確認して内部 EEPROM から動作メモリをロードし、すべてのフォルトをクリアして、抵抗設定ピンを読み取り、更に PWM チャンネルのソフトスタートが設定されている場合は両方のチャンネルについてそれを実行します。

STORE\_USER\_ALL、MFR\_COMPARE\_USER\_ALL、および RESTORE\_USER\_ALL コマンドはダイ温度が 130°C を超えるとディスエーブルされ、ダイ温度が 125°C 未満に下がるまでイネーブルされません。

この書き込み専用コマンドにデータ・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。この比較によって差が検出された場合は、CML ビット 0 フォルトが生成されます。

この書き込み専用コマンドにデータ・バイトはありません。

## PMBus コマンドの詳細

### フォルト・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	フォルト・ログのデータ・バイト。	R Block	N	CF		Y	NA
MFR_FAULT_LOG_STORE	0xEA	RAMからEEPROMへのフォルト・ログ転送を指示します。	Send Byte	N				NA
MFR_FAULT_LOG_CLEAR	0xEC	フォルト・ログ用として指定済みの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、初めてフォルトが発生した後に、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内容を表15に示します。MFR\_FAULT\_LOG コマンドにアクセスしてもフォルト・ログが存在しない場合、コマンドはデータ長0を返します。フォルト・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。電源オン後の最初の1秒以内にフォルトが発生した場合は、フォルト・ログの最初の方のページに有効なデータが格納されないことがあります。

注: このコマンドの転送時間は、400kHzクロックを使用した場合で約3.4msです。

この読出し専用コマンドはブロック・フォーマットです。

#### MFR\_FAULT\_LOG\_STORE

MFR\_FAULT\_LOG\_STORE コマンドは、フォルトが発生した場合と同じようにフォルト・ログ動作を強制的にNVMへ書き込みます。MFR\_CONFIG\_ALL コマンドのビット7「フォルト・ログを有効にする」がセットされている場合、このコマンドはSTATUS\_MFR\_SPECIFIC フォルトのビット3をセットします。

ダイ温度が130°Cを超えた場合は、125°C未満に低下するまでMFR\_FAULT\_LOG\_STORE コマンドはディスエーブルされません。

この書き込み専用コマンドにデータ・バイトはありません。

## PMBus コマンドの詳細

表 20. フォルト・ログ

この表は、MFR\_FAULT\_LOG コマンドの読出しブロック・データ・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る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
ブロック長		バイト	147	MFR_FAULT_LOG コマンドは 147 バイトの固定長です。 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				
フォルト・ログ見出し	[7:0]	ASC	0	部分的なフォルト・ログまたは完全なフォルト・ログが存在する場合に、バイト 0 で始まる LTxx を返します。xx は工場識別子で、デバイスごとに異なります。
	[7:0]		1	
	[15:8]	Reg	2	
	[7:0]		3	
フォルト発生源	[7:0]	Reg	4	表 16 を参照。
MFR_REAL_TIME	[7:0]	Reg	5	フォルト発生時の 48 ビット共有クロック・カウンタ値 (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	最後の電源投入以降または CLEAR_PEAKS コマンド以降におけるチャンネル 0 の最大 READ_VOUT。
	[7:0]		12	
MFR_VOUT_PEAK (PAGE 1)	[15:8]	L16	13	最後の電源投入以降または CLEAR_PEAKS コマンド以降におけるチャンネル 1 の最大 READ_VOUT。
	[7:0]		14	
MFR_IOUT_PEAK (PAGE 0)	[15:8]	L11	15	最後の電源投入または CLEAR_PEAKS コマンド以降におけるチャンネル 0 の最大 READ_IOUT。
	[7:0]		16	
MFR_IOUT_PEAK (PAGE 1)	[15:8]	L11	17	最後の電源投入または CLEAR_PEAKS コマンド以降におけるチャンネル 1 の最大 READ_IOUT。
	[7:0]		18	
MFR_VIN_PEAK	[15:8]	L11	19	最後の電源投入または CLEAR_PEAKS コマンド以降における最大 READ_VIN。
	[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 LTM4664A 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  
フォルト発生時のデータ、最新のデータ)

イベント「n」は、フォルト発生時に MUX を介して ADC が読み出す 1 つの完全な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フォルトが発生した場合、ADC は読出しをステップ 25 まで続けてから、ヘッダと 6 ページのイベント・ページすべてを 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)		バイト	39	
STATUS_VOUT (PAGE 1)		バイト	40	
STATUS_WORD (PAGE 0)	[15:8]	ワード	41	
	[7:0]	ワード	42	
STATUS_WORD (PAGE 1)	[15:8]	ワード	43	
	[7:0]	ワード	44	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 0)		バイト	45	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 1)		バイト	46	
イベント n-1 (フォルト検出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)		バイト	59	
STATUS_VOUT (PAGE 1)		バイト	60	
STATUS_WORD (PAGE 0)	[15:8]	ワード	61	
	[7:0]	ワード	62	
STATUS_WORD (PAGE 1)	[15:8]	ワード	63	
	[7:0]	ワード	64	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 0)		バイト	65	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 1)		バイト	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)		バイト	139	
STATUS_VOUT (PAGE 1)		バイト	140	
STATUS_WORD (PAGE 0)	[15:8]	ワード	141	
	[7:0]	ワード	142	
STATUS_WORD (PAGE 1)	[15:8]	ワード	143	
	[7:0]	ワード	144	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 0)		バイト	145	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 1)		バイト	146	

表 21. Position\_Fault 値の説明

POSITION_FAULT 値	フォルト・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、アナログ・デバイセスへお問い合わせください。

### MFR\_IOUT\_CAL\_GAIN

詳細については、アナログ・デバイセスへお問い合わせください。

### MFR\_FAULT\_LOG\_CLEAR

MFR\_FAULT\_LOG\_CLEAR コマンドは、フォルト・ログ・ファイルに格納された値を消去します。また、STATUS\_MFR\_SPECIFIC コマンドのビット3も消去します。クリアの実行後にステータスをクリアするまでに、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を行います。

### 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 コマンドによるアクセスのために、ユーザ 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に 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

すべての NVM コマンドはダイ温度が 130°C を超えるとディセーブルされ、ダイ温度が 125°C 未満に下がるまでイネーブルされません。

### MFR\_EE\_xxxx

MFR\_EE\_xxxx コマンドは、LTM4664A の内部 EEPROM の一括プログラミングを容易にします。詳細については、アナログ・デバイセスへお問い合わせください。

パッケージの説明

パッケージの行と列のラベル表示は、μModule 製品により異なる場合があります。それぞれのパッケージのレイアウトを慎重に確認してください。

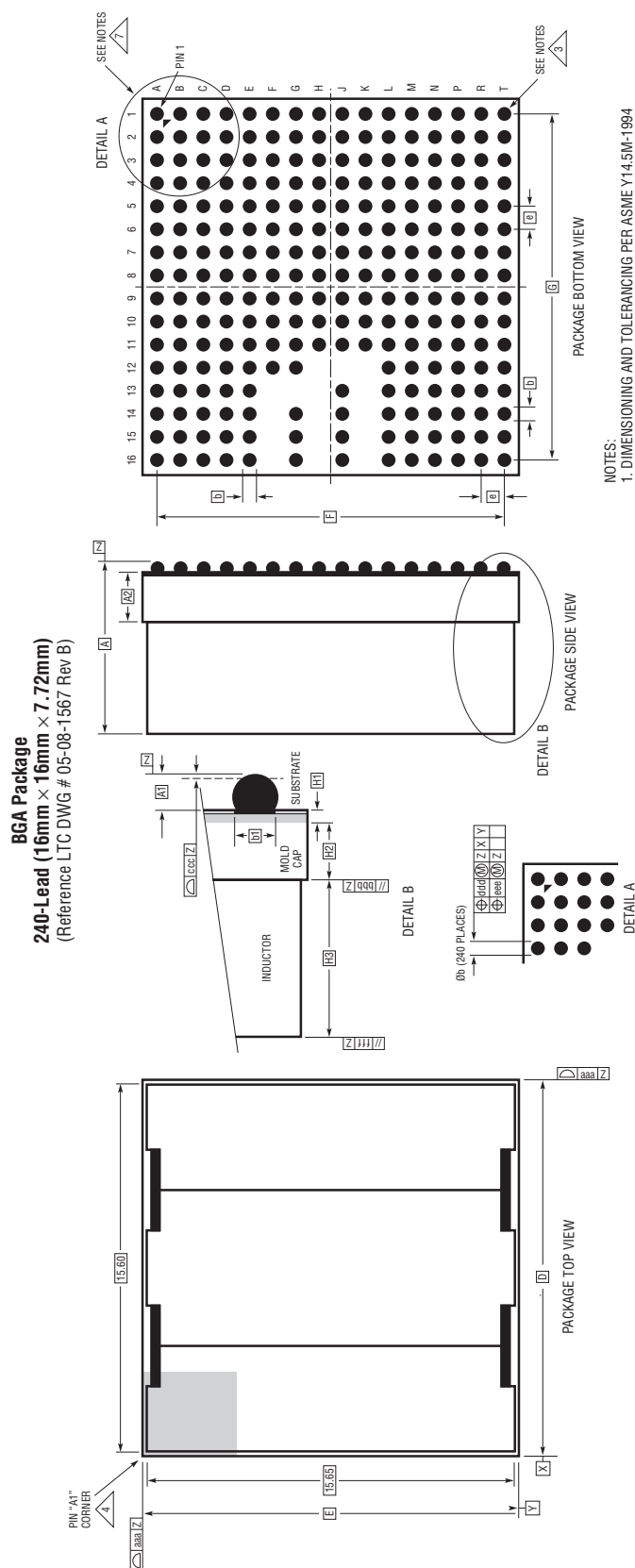


表 22. LTM4664AY ピン・アウト・アレイ BGA

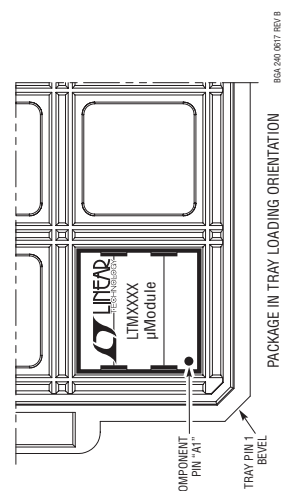
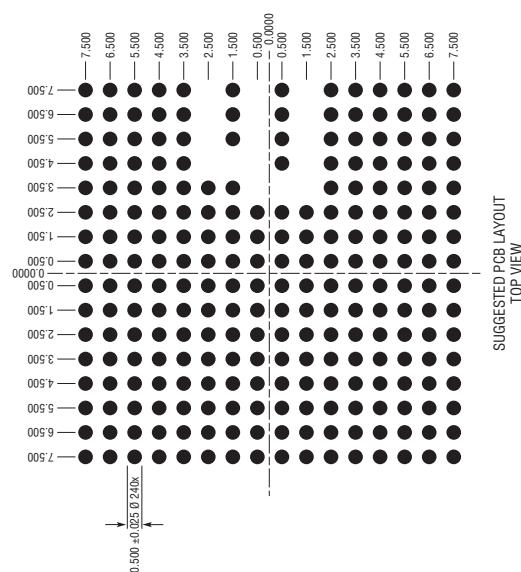
PIN ID	FUNCTION	PIN ID	FUNCTION	PIN ID	FUNCTION	PIN ID	FUNCTION	PIN ID	FUNCTION	PIN ID	FUNCTION	PIN ID	FUNCTION	PIN ID	FUNCTION
A1	V <sub>OUTC1</sub>	B1	GND	C1	V <sub>NS2</sub>	D1	SW3	E1	GND	F1	GND	G1	SW4	H1	V <sub>OUT2</sub>
A2	V <sub>OUTC1</sub>	B2	GND	C2	V <sub>NS2</sub>	D2	SW3	E2	GND	F2	GND	G2	SW4	H2	V <sub>OUT2</sub>
A3	V <sub>OUTC1</sub>	B3	GND	C3	V <sub>NS2</sub>	D3	SW3	E3	GND	F3	GND	G3	SW4	H3	V <sub>OUT2</sub>
A4	V <sub>OUTC1</sub>	B4	V <sub>OUTC1</sub>	C4	GND	D4	GND	E4	GND	F4	GND	G4	GND	H4	GND
A5	V <sub>OUTC1</sub>	B5	V <sub>OUTC1</sub>	C5	GND	D5	V <sub>NS2F</sub>	E5	HYS_PRGMS2	F5	TIMERS2	G5	FREQS2	H5	PGOODS2
A6	V <sub>OUTC1</sub>	B6	V <sub>OUTC1</sub>	C6	GND	D6	INSNS2 <sup>+</sup>	E6	OVP_SET	F6	VOUT2_SET	G6	RUNS2	H6	FAULTS2
A7	V <sub>OUTC1</sub>	B7	V <sub>OUTC1</sub>	C7	GND	D7	INSNS2 <sup>+</sup>	E7	OVP_TRIP	F7	EXTV <sub>CCS2</sub>	G7	INTV <sub>CCS2</sub>	H7	UVS2
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 <sub>OUTC0</sub>	B10	V <sub>OUTC0</sub>	C10	GND	D10	INTV <sub>CCS1</sub>	E10	UVS1	F10	GND	G10	GND	H10	GND
A11	V <sub>OUTC0</sub>	B11	V <sub>OUTC0</sub>	C11	GND	D11	EXTV <sub>CCS1</sub>	E11	FAULTS1	F11	RUNS1	G11	GND	H11	GND
A12	V <sub>OUTC0</sub>	B12	V <sub>OUTC0</sub>	C12	GND	D12	PGOODS1	E12	FREQS1	F12	TIMERS1	G12	HYS_PRGMS1	H12	
A13	V <sub>OUTC0</sub>	B13	V <sub>OUTC0</sub>	C13	GND	D13	GND	E13	GND	F13		G13		H13	
A14	V <sub>OUTC0</sub>	B14	GND	C14	V <sub>OUT1</sub>	D14	SW2	E14	GND	F14		G14	SW1	H14	
A15	V <sub>OUTC0</sub>	B15	GND	C15	V <sub>OUT1</sub>	D15	SW2	E15	GND	F15		G15	SW1	H15	
A16	V <sub>OUTC0</sub>	B16	GND	C16	V <sub>OUT1</sub>	D16	SW2	E16	GND	F16		G16	SW1	H16	

PIN ID	FUNCTION	PIN ID	FUNCTION	PIN ID	FUNCTION	PIN ID	FUNCTION	PIN ID	FUNCTION	PIN ID	FUNCTION	PIN ID	FUNCTION	PIN ID	FUNCTION
J1	GND	K1	GND	L1	V <sub>NS3_C1</sub>	M1	V <sub>NS3_C1</sub>	N1	GND	P1	GND	R1	GND	T1	TSNS_C1b
J2	GND	K2	GND	L2	V <sub>NS3_C1</sub>	M2	V <sub>NS3_C1</sub>	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 <sub>DD25</sub>	L6	V <sub>DD33</sub>	M6	COMP_1a	N6	V <sub>OSNS_C1</sub>	P6	V <sub>OSNS_C1</sub>	R6	GND	T6	SWC1
J7	VOUTC1_CFG	K7	WP	L7	SHARE_CLK	M7	COMP_1b	N7	GND	P7	GND	R7	INTV <sub>CC</sub>	T7	SWC1
J8	ASEL	K8	RUN_C1	L8	SDA	M8	SYNC	N8	SGND_C0_C1	P8	GND	R8	EXTV <sub>CC</sub>	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 <sup>+</sup>	R10	IN <sup>+</sup>	T10	SWC0
J11	GND	K11	GND	L11	GND	M11	GND	N11	GND	P11	COMP_0a	R11	PGOOD_C0	T11	SWC0
J12		K12		L12	V <sub>NS3_C0</sub>	M12	V <sub>NS3_C0</sub>	N12	GND	P12	V <sub>OSNS_C0</sub>	R12	V <sub>OSNS_C0</sub>	T12	SWC0
J13	INSNS1 <sup>+</sup>	K13		L13	V <sub>NS3_C0</sub>	M13	V <sub>NS3_C0</sub>	N13	GND	P13	GND	R13	GND	T13	SWC0
J14	INSNS1 <sup>+</sup>	K14		L14	GND	M14	GND	N14	GND	P14	GND	R14	GND	T14	GND
J15	V <sub>NS1</sub>	K15		L15	GND	M15	PWM_C0	N15	GND	P15	GND	R15	GND	T15	GND
J16	V <sub>NS1</sub>	K16		L16	GND	M16	PHFLT_C0	N16	GND	P16	GL_C0	R16	GND	T16	TSNS_C0b

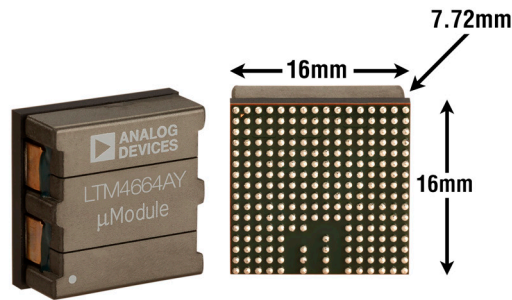
## パッケージの説明



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				



## 標準的応用例



## 設計リソース

SUBJECT	DESCRIPTION	
<a href="#">μModule Design and Manufacturing Resources</a>	Design: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Selector Guides</li> <li>• Demo Boards and Gerber Files</li> <li>• Free Simulation Tools</li> </ul>	Manufacturing: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quick Start Guide</li> <li>• PCB Design, Assembly and Manufacturing Guidelines</li> <li>• Package and Board Level Reliability</li> </ul>
<a href="#">μModule Regulator Products Search</a>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sort table of products by parameters and download the result as a spread sheet.</li> <li>2. Search using the Quick Power Search parametric table.</li> </ol> <div> <div>Quick Power Search</div> <div> <div>INPUT  </div> <div><math>V_{IN}(\text{Min})</math> <input type="text"/> V</div> <div><math>V_{IN}(\text{Max})</math> <input type="text"/> V</div> <div>OUTPUT  </div> <div><math>V_{OUT}</math> <input type="text"/> V</div> <div><math>I_{OUT}</math> <input type="text"/> A</div> <div>FEATURES  </div> <div> <input type="checkbox"/> Low EMI <input type="checkbox"/> Ultrathin <input type="checkbox"/> Internal Heat Sink </div> <div>Multiple Outputs</div> <div>Search</div> </div> </div>	
<a href="#">Digital Power System Management</a>	Analog Devices' family of digital power supply management ICs are highly integrated solutions that offer essential functions, including power supply monitoring, supervision, margining and sequencing, and feature EEPROM for storing user configurations and fault logging.	

## 関連製品

製品番号	概要	注釈
<a href="#">LTM4664</a>	PMBus インターフェースを備えた 54V <sub>IN</sub> デュアル 25A または シングル 50A の μModule レギュレータ	$30V \leq V_{IN} \leq 58V$ , $0.5V \leq V_{OUT} \leq 1.5V$ 。 16mm × 16mm × 7.72mm BGA
<a href="#">LTM4681</a>	PMBus インターフェースを備えた クワッド 31.25A または シングル 125A の μModule レギュレータ	PMBus インターフェースを備えた クワッド 31.25A または シングル 125A の μModule レギュレータ
<a href="#">LTM4700</a>	PMBus インターフェースを備えた デュアル 50A または シングル 100A の μModule レギュレータ	$4.5V \leq V_{IN} \leq 16V$ , $0.5V \leq V_{OUT} \leq 1.8V$ 。 15mm × 22mm × 7.82mm BGA
<a href="#">LTM4680</a>	PMBus インターフェースを備えた デュアル 30A または シングル 60A の μModule レギュレータ	$4.5V \leq V_{IN} \leq 16V$ , $0.5V \leq V_{OUT} \leq 3.3V$ 。 16mm × 16mm × 7.72mm BGA
<a href="#">LTM4678</a>	PMBus インターフェースを備えた デュアル 25A または シングル 50A の μModule レギュレータ	$4.5V \leq V_{IN} \leq 16V$ , $0.5V \leq V_{OUT} \leq 3.3V$ 。 16mm × 16mm × 5.86mm BGA
<a href="#">LTM4686</a>	PMBus インターフェースを備えた 超薄型パッケージの デュアル 10A または シングル 20A μModule レギュレータ	$4.5V \leq V_{IN} \leq 17V$ , $0.5V \leq V_{OUT} \leq 2.75V$ 。 11.9mm × 16mm × 1.82mm LGA
<a href="#">LTM4650</a>	デュアル 50A または シングル 100A の μModule レギュレータ	$4.5V \leq V_{IN} \leq 15V$ , $0.6V \leq V_{OUT} \leq 1.8V$ 。 16mm × 16mm × 5.01mm BGA
<a href="#">LTM4650A</a>	高 V <sub>OUT</sub> 範囲の デュアル 50A または シングル 100A の μModule レギュレータ	$4.5V \leq V_{IN} \leq 16V$ , $0.6V \leq V_{OUT} \leq 5.5V$ 。 16mm × 16mm × 5.01mm BGA。 16mm × 16mm × 4.41mm LGA。
<a href="#">LTC®2977</a>	EEPROM を備えた オクタル・デジタル電源マネージャ	I <sup>2</sup> C/PMBus インターフェース、設定 EEPROM、フォルト・ログ、TUE が ±0.25% の 16 ビット ADC、3.3V ~ 15V で動作
<a href="#">LTC2974</a>	EEPROM を備えた クワッド・デジタル電源マネージャ	I <sup>2</sup> C/PMBus インターフェース、設定 EEPROM、フォルト・ログ、チャンネルごとの電圧、電流、温度測定