

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、2021年6月3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：2021年6月3日

製品名：LTC3888-1

対象となるデータシートのリビジョン(Rev)：Rev.0

訂正箇所：101 ページ、表内の Bit[7:6]の説明欄

【誤】

「ビット [7:6] が xx の場合、これらのビットは常に 0 を返します」

【正】

「ビット [7:6] が 10 以外 の場合、これらのビットは常に 0 を返します」

デジタル・パワー・システム・マネージメントを搭載したデュアル・ループ8相降圧DC/DCコントローラ

特長

- PMBus/I²C 準拠のシリアル・インターフェース
 - 電圧、電流、温度、フォルトをモニタ
 - デジタル・プログラム式の V_{OUT}、マージン、UV、OV、電流制限、ソフトスタート/ストップ、シーケンシング
- 16相以上に拡張可能
- 外付け抵抗分圧器で出力電圧を設定
- 4.5V ≤ V_{IN} ≤ 26.5V、0.3V ≤ V_{OUT} ≤ 3.45V
- 出力電圧精度: ±0.5%
- プログラマブルPWMループ補償
- 高精度の PolyPhase[®] 電流分担
- ECC 機能とフォルト・ログ機能を備えた EEPROM を内蔵
- DrMOS 出力電流モニタ・インターフェース
- DrMOS 温度/フォルト・バス・インターフェース
- DrMOS ゲート駆動電源モニタ
- 負荷ステップ・エミュレーション
- 250kHz~1MHz の内部または外部 PWM クロック
- 52ピン (5mm × 8mm) QFN パッケージ
- オートモーティブ・アプリケーション向けの AEC-Q100 認証を取得

アプリケーション

- 大電流分散型電源システム
- サーバー、ネットワーク、およびストレージ装置

概要

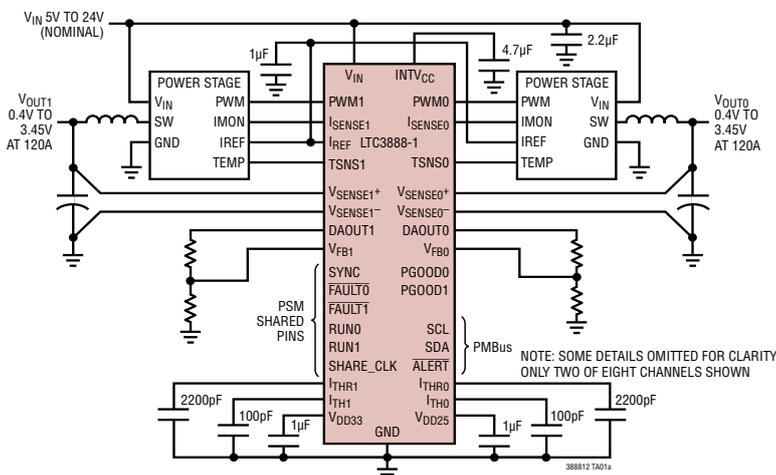
LTC[®]3888-1 は PMBus 準拠のデュアル・ループ DC/DC 同期整流式降圧スイッチング・レギュレータ・コントローラで、8つの拡張可能な相により幅広いマスタ/スレーブ構成をサポートします。このコントローラは固定周波数の電流モード・アーキテクチャを採用しており、優れた過渡応答特性と出力レギュレーション特性を備えています。各 PWM マスタは、出力電流モニタ機能を搭載した DrMOS デバイスを使用する複数位相構成により、0.3V~3.45V の出力電圧を生成できます。

出力電圧は外付けの分圧器を使用して設定します。PMBus の構成と監視は、LTpowerPlay™ ソフトウェアによって行うことができます。また、プログラマブル・ループ補償と組み込みの負荷ステップ・エミュレーション機能により、入力電圧と出力負荷容量に基づいて、容易に帯域幅を設定できます。更に、PMBus コマンドを使用することで、入力電圧、出力電圧/電流、動作状態のリード・バックが可能です。動作パラメータは、PMBus コマンドを介して設定するか、起動時に使用するために内部 EEPROM に保存できます。また、スイッチングの周波数、位相構成、出力電流制限値、およびデバイス・アドレスも、外付けのプログラミング抵抗を使用して設定可能です。

本紙記載の登録商標および商標は、すべて各社の所有に属します。7420359、8786265、8786268、8823352 を含む米国特許によって保護されています。米国特許 7000125、および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。

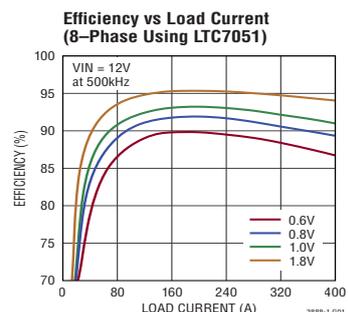
標準的応用例

デュアル4相 PSM レール



	SPI ADJUST OF V _{OUT}	V _{OUT} SET BY ANALOG V _{FB}	PMBus CONTROL OF V _{OUT}	OPTIONAL COMPENSATION ZERO
LTC3888
LTC3888-1
LTC3888-2

効率と負荷電流の関係 (8相、LTC7051使用)



目次

特長	1	IoUT フォルトに対するハードワイヤードPWM 応答	27
アプリケーション	1	内部温度フォルトに対するハードワイヤードPWM 応答	28
標準的応用例	1	外部温度フォルト	28
概要	1	タイミング・フォルト	28
絶対最大定格	5	外部フォルト	28
発注情報	5	より高レベルのフォルト処理	28
ピン配置	5	ステータス・レジスタとALERTのマスクング	29
電気的特性	6	FAULTピンのI/O	29
代表的な性能特性	10	フォルト・ログ動作	31
ピン機能	13	フォルト・ログの詳細	31
ブロック図	15	出荷時のデフォルト動作	34
テスト回路	16	シリアル・インターフェース	35
動作	18	シリアル・バスのアドレス指定	39
概要	18	シリアル・バスのタイムアウト	39
このデータシートについて	18	シリアル通信エラー	39
製品の主な機能	18	PMBus コマンドの概要	40
メイン制御ループ	19	PMBus コマンド	40
パワーアップと初期化	19	データ・フォーマット	40
出力電圧検出機能のテスト	21	アプリケーション情報	45
アナログ出力電圧制御	21	効率に関する検討事項	45
PMBus出力電圧制御	21	パワー段の選択とインターフェース	45
ソフトスタート	21	VDR モニタの使用	47
時間ベースの出力シーケンシング	22	未使用のTSNS 入力	47
出力ランピング制御	22	PWM 周波数とインダクタの選択	47
電圧ベースの出力シーケンシング	22	CIN の選択	48
出力のディスエーブル	22	CoUT の選択	49
最小出力ディスエーブル時間	23	プログラマブル・ループ補償	49
出力短絡サイクル	23	PCB レイアウト時の考慮事項	51
スイッチング周波数と位相	23	出力電圧の検出	52
PolyPhase 負荷分担	24	標準的なアナログ出力電圧制御	52
電圧制御ループ補償	24	PMBus出力電圧制御	53
負荷ステップ・エミュレーション	24	出力電圧サーボの使用	54
入力電源のモニタ	24	ソフトスタートとソフトストップ	54
出力電圧の検出とモニタ	25	時間ベースの出力シーケンシングとランピング	54
出力電流の検出とモニタ	25	電圧ベースの出力シーケンシング	56
温度検出	25	PWM 周波数の同期	56
抵抗設定ピン	25	PolyPhase 動作と負荷分担	57
CRC 機能付き内部EEPROM	26	抵抗設定ピン	60
フォルト検出	26	内部レギュレータ出力	61
入力電源フォルト	26	デバイスのジャンクション温度	61
パワー段フォルトに対するハードワイヤードPWM 応答	26	温度によるEEPROM データ保持期間のディレーティング	62
パワー段UVに対するハードワイヤードPWM 応答	27	オープンドレイン・ピンの設定	62
VoUT フォルトに対するハードワイヤードPWM 応答	27	PMBus 通信とコマンド処理	63
パワー・グッド表示	27		

目次

ステータスとフォルトのログの管理.....	64	IOUT_CAL_GAIN.....	85
LTpowerPlay – インタラクティブ・デジタル・パワー GUI.....	64	MFR_LOAD_EMULATION.....	85
DC1613とのインターフェース.....	65	MFR_LOAD_EMULATION.....	85
設計例.....	66	IOUT_OC_FAULT_LIMIT.....	86
PMBus コマンドの詳細.....	70	IOUT_OC_WARN_LIMIT.....	86
アドレス指定と書き込み保護.....	70	出力タイミング、遅延、およびランピング.....	87
PAGE.....	70	MFR_RESTART_DELAY.....	87
PAGE_PLUS_WRITE.....	70	TON_DELAY.....	87
PAGE_PLUS_READ.....	71	TON_MAX_FAULT_LIMIT.....	87
WRITE_PROTECT.....	71	VOUT_TRANSITION_RATE.....	88
MFR_ADDRESS.....	72	TOFF_DELAY.....	88
MFR_RAIL_ADDRESS.....	72	TOFF_MAX_WARN_LIMIT.....	88
一般的なデバイス設定.....	72	外部温度と制限値.....	89
PMBUS_REVISION.....	72	MFR_TEMP_1_GAIN.....	89
CAPABILITY.....	72	MFR_TEMP_1_OFFSET.....	89
MFR_CONFIG_ALL.....	73	OT_FAULT_LIMIT.....	89
オン、オフ、およびマージン制御.....	73	OT_WARN_LIMIT.....	89
ON_OFF_CONFIG.....	73	ステータスのレポート.....	90
OPERATION.....	74	STATUS_BYTE.....	90
MFR_RESET.....	74	STATUS_WORD.....	91
PWM 設定.....	75	STATUS_VOUT.....	91
FREQUENCY_SWITCH.....	75	STATUS_IOUT.....	92
MFR_CHAN_CONFIG.....	76	STATUS_INPUT.....	92
MFR_PWM_CONFIG_LTC3888-1.....	76	STATUS_TEMPERATURE.....	92
MFR_PWM_MODE_LTC3888-1.....	79	STATUS_CML.....	93
MFR_PWM_COMP.....	80	STATUS_MFR_SPECIFIC.....	93
入力電圧と制限値.....	81	MFR_PADS_LTC3888-1.....	94
VIN_ON.....	81	MFR_COMMON.....	94
VIN_OFF.....	81	MFR_INFO.....	95
VIN_OV_FAULT_LIMIT.....	81	CLEAR_FAULTS.....	95
VIN_UV_WARN_LIMIT.....	81	遠隔測定.....	96
出力電圧と制限値.....	82	READ_VIN.....	96
VOUT_MODE.....	82	MFR_VIN_PEAK.....	97
VOUT_COMMAND.....	82	READ_VOUT.....	97
VOUT_MAX.....	82	MFR_VOUT_PEAK.....	97
MFR_VOUT_MAX.....	83	READ_IOUT.....	97
VOUT_MARGIN_HIGH.....	83	MFR_IOUT_PEAK.....	97
VOUT_MARGIN_LOW.....	83	MFR_TOTAL_IOUT.....	97
VOUT_SCALE_LOOP.....	83	MFR_READ_ALL_IOUT.....	97
VOUT_OV_FAULT_LIMIT.....	83	READ_TEMPERATURE_1.....	98
VOUT_OV_WARN_LIMIT.....	83	MFR_TEMPERATURE_1_PEAK.....	98
VOUT_UV_WARN_LIMIT.....	84	READ_TEMPERATURE_2.....	98
VOUT_UV_FAULT_LIMIT.....	84	MFR_TEMPERATURE_2_PEAK.....	98
出力電流と制限値.....	85	READ_FREQUENCY.....	98

目次

MFR_CLEAR_PEAKS.....	98	EEROM へのユーザ・アクセス.....	106
フォルト応答と通信.....	99	STORE_USER_ALL.....	106
VIN_OV_FAULT_RESPONSE.....	99	RESTORE_USER_ALL.....	106
VOUT_OV_FAULT_RESPONSE.....	100	MFR_COMPARE_USER_ALL.....	107
VOUT_UV_FAULT_RESPONSE.....	100	MFR_FAULT_LOG_STORE.....	107
IOUT_OC_FAULT_RESPONSE.....	101	MFR_EE_xxxx.....	107
OT_FAULT_RESPONSE.....	102	USER_DATA_0x.....	107
MFR_OT_FAULT_RESPONSE.....	102	ユニット識別.....	107
TON_MAX_FAULT_RESPONSE.....	102	MFR_ID.....	107
MFR_RETRY_DELAY.....	103	IC_DEVICE_ID.....	107
SMBALERT_MASK.....	103	MFR_SPECIAL_ID.....	107
MFR_FAULT_PROPAGATE.....	104	パッケージ.....	108
MFR_FAULT_RESPONSE.....	105	標準的応用例.....	109
MFR_FAULT_LOG.....	105	関連製品.....	110
MFR_FAULT_LOG_CLEAR.....	105		

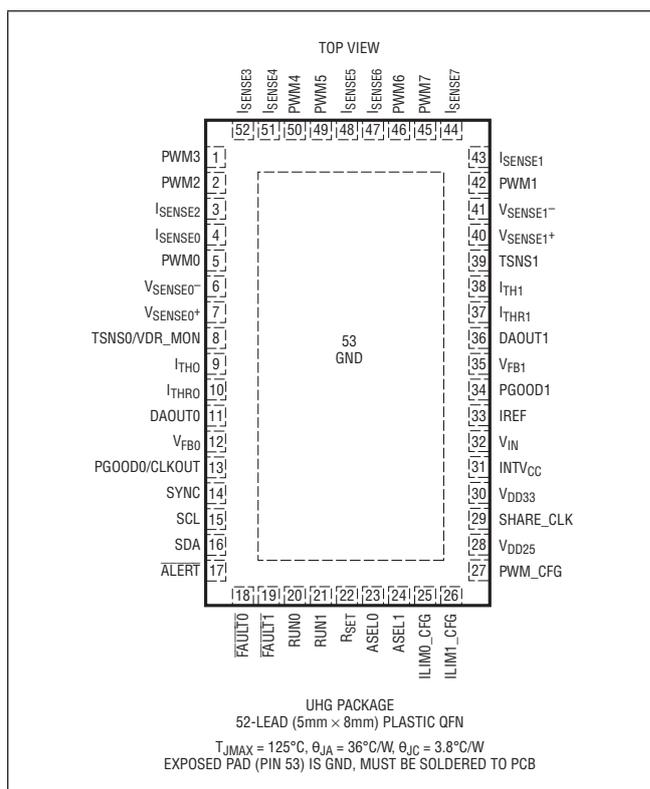
絶対最大定格

(Note 1)

V_{IN} 電源電圧	-0.3V~40V
$V_{SENSEn+}$, DAOUT n	-0.3V~4.2V
$V_{SENSEn-}$	-0.3V~0.3V
I_{SENSEn} , V_{FBn}	-0.3V~3.6V
TSNS n , VDR_MON	-0.3V~6.0V
SYNC, FAULT n , PGOOD n , CLKOUT,	
SHARE_CLK	-0.3V~3.6V
SCL, SDA, RUN n , ALERT	-0.3V~5.5V
INTV $_{CC}$	(Note 4)
V_{DD33}	(Note 5)
IREF, PWM n	(Note 6)
V_{DD25} , I $_{THn}$, I $_{THRn}$, RSET, ASEL n ,	
ILIM n _CFG, PWM_CFG	(Note 7)
動作ジャンクション温度範囲	
(Note 2, 3)	-40°C~125°C*
保管温度範囲	-65°C~150°C*

*125°Cを超えるジャンクション温度については、[アプリケーション情報](#)セクションの温度によるEEPROMデータ保持期間のディレーティングを参照してください。

ピン配置



発注情報

鉛フリー仕上げ	テープ&リール	部品マーキング*	パッケージ・タイプ	温度範囲
LTC3888EUHG-1#PBF	LTC3888EUHG-1#TRPBF	38881	52ピン(5mm × 8mm) プラスチック QFN	-40°C~125°C
LTC3888IUHG-1#PBF	LTC3888IUHG-1#TRPBF	38881	52ピン(5mm × 8mm) プラスチック QFN	-40°C~125°C
オートモーティブ製品**				
LTC3888IUHG-1#WPBF	LTC3888IUHG-1#WTRPBF	38881	52ピン(5mm × 8mm) プラスチック QFN	-40°C~125°C

さらに広い動作温度範囲で規定されるデバイスについては、弊社または弊社代理店にお問い合わせください。

*温度グレードは出荷容器のラベルに示されています。

テープ&リール仕様。一部のパッケージは、指定販売チャンネルを通じ500個入りのリールで購入できます。末尾に#TRMPBFという記号が付きま。

** このデバイスの各バージョンは、オートモーティブ・アプリケーションの品質と信頼性の条件に対応するよう管理された製造により提供されています。これらのモデルは「#W」というサフィックスで指定されます。オートモーティブ・アプリケーション向けには、上記のオートモーティブ・グレード製品のみを提供しています。特定製品のオーダー情報とこれらのモデルに特有のオートモーティブ信頼性レポートについては、最寄りのアナログ・デバイスまでお問い合わせください。

LTC3888-1

電気的特性

●は仕様規定されている動作ジャンクション温度範囲での規格値を意味する。それ以外の仕様は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値 (Note 2, 8)。特に指定のない限り、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{SENSEn+} = 1\text{V}$ 、 $V_{SENSEn-} = \text{GND} = 0\text{V}$ 、 $f_{\text{SYNC}} = 500\text{kHz}$ (外部駆動)。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
V_{IN} Supply						
V_{IN}	V_{IN} Operating Range		●	4.5	26.5	V
I_Q	IC Operating Current	RUN0,1 = 0V RUN0,1 = 3.3V, $C_{\text{PWMn}} = 0\text{pF}$		24 28		mA mA
INTV_{CC} Linear Regulator Supply						
INTV _{CC}	INTV _{CC} Output Voltage	$V_{IN} \geq 6\text{V}$ (Note 4)		5.2		V
EXTV _{CC}	INTV _{CC} Input Voltage Range	$V_{IN} = \text{INTV}_{\text{CC}}$ (Note 4)	●	4.5	5.5	V
$V_{5\text{UVLO}}$	PWM Undervoltage Lockout Threshold	V_{DD33} Rising Hysteresis	●	300	4.45	V mV
V_{DD33} Linear Regulator Supply						
V_{DD33}	V_{DD33} Output Voltage	$\text{INTV}_{\text{CC}} \geq 4.5\text{V}$ (Note 5)	●	3.15	3.3 3.45	V
$V_{3\text{UVLO}}$	PMBus Undervoltage Lockout Threshold	V_{DD33} Rising Hysteresis	●	275	3.10	V mV
V_{DD25} Linear Regulator						
V_{DD25}	V_{DD25} Output Voltage	(Note 7)		2.5		V
PWM Control Loops						
V_{FB}	Regulated Feedback Voltage	$V_{\text{OUT_SCALE_LOOP}}$ Not Programmed		400		mV
I_{FB}	V_{FB} Input Current	$V_{\text{FB}} = 0.4\text{V}$	●	-100	100	nA
V_{OUT}	Accuracy without Servo (Note 10) Accuracy with Servo (Notes 9, 10, See Test Circuit) Servo Resolution	$1\text{V} \leq V_{\text{OUT}} \leq 3.45\text{V}$ $0.3\text{V} \leq V_{\text{OUT}} \leq 3.45\text{V}$ $0.3\text{V} \leq V_{\text{OUT}} \leq 3.45\text{V}$	● ●	-1.5 -0.5	± 0.2 12	1.5 0.5 Bits
R_{VSENSE}	V_{SENSE} Input Resistance		●	30	43.3	k Ω
V_{LINEREG}	Line Regulation	$6\text{V} \leq V_{IN} \leq 24\text{V}$ (Note 10)		-0.02	0.02	%/V
V_{LOADREG}	Load Regulation	$\Delta I_{\text{THn}} = \pm 600\text{mV}$ (Note 10)		-0.1	0.1	%
g_m	Resolution Error Amplifier $g_{m(\text{MAX})}$ Error Amplifier $g_{m(\text{MIN})}$ LSB Step Size	$I_{\text{TH}} = 1.35\text{V}$		3 5.76 1 0.68		Bits mmho mmho mmho
R_{ITH}	Resolution (nonlinear) Compensation Resistance $R_{\text{TH}(\text{MAX})}$ Compensation Resistance $R_{\text{TH}(\text{MIN})}$			5 62 1		Bits k Ω k Ω
$I_{\text{SHARE_TOL}}$	Phase-to-Phase Output Current Sharing Accuracy	$I_{\text{SENSEn}} - I_{\text{REF}} \geq 150\text{mV}$	●	-6.5	± 3 6.5	% %
I_{SENSE}	I_{SENSEn} Input Current	$1.5\text{V} \leq I_{\text{SENSEn}} \leq 1.9\text{V}$	●	-1	3	μA
V_{IREF}	Current Monitor Reference Output Voltage	$I_{\text{REF}} = 3\text{mA}$ (Note 6)		1.52	1.68	V
I_{IREF}	I_{REF} Output Current	Source, $I_{\text{REF}} \geq 1.52\text{V}$ Sink, $I_{\text{REF}} \leq 1.68\text{V}$		10	-500	μA mA
f_{SYNC}	SYNC Output Frequency Accuracy		●	-7.5	7.5	%
$t_{\text{ON}(\text{MIN})}$	Minimum On-Time	MFR_PWM_MODE_LTC3888-1[3] = 1 MFR_PWM_MODE_LTC3888-1[3] = 0	●	30	60	ns ns

電気的特性

●は仕様規定されている動作ジャンクション温度範囲での規格値を意味する。それ以外の仕様は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値 (Note 2, 8)。特に指定のない限り、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{SENSEn+} = 1\text{V}$ 、 $V_{SENSEn-} = \text{GND} = 0\text{V}$ 、 $f_{\text{SYNC}} = 500\text{kHz}$ (外部駆動)。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Difference Amplifiers							
DA_Vos	Input Offset Voltage	Referred to V_{SENSE+}	●	-16		16	mV
DA_GE	Gain Error	Nominal Gain at DAOUT: 1.00 (Note 10)	●	-4		4	%
DA_BW	Unity-Gain Crossover Frequency	$R_L = 40\text{k}\Omega$ (Note 16)			25		MHz
DA_IOUT	Maximum Output Current	Sourced, DAOUT = 3.45V	●	325			μA
DA_VMAX	Maximum Output Voltage				3.45		V
Input Voltage Supervisor							
NVON	Input ON/OFF Resolution LSB Step Size				9 54.7		Bits mV
VON_FS	Full-Scale ON Threshold				28		V
VON_TOL	Input ON/OFF Threshold Accuracy	$V_{IN_ON} \geq 6.5\text{V}$	●	-2		2	%
Output Voltage Supervisors							
VUVOV_TOL	Accuracy (Note 10)	$0.5\text{V} \leq V_{OUT} < 1.0\text{V}$ (UV and OV)	●	-3		3	%
		$1.0\text{V} \leq V_{OUT} \leq 3.6\text{V}$ (UV and OV)	●	-2		2	%
Output Current Supervisors							
NLIMIT	I_{SENSE} Overcurrent Limit Resolution				7		Bits
VOC_FS	Full-Scale Threshold	$I_{\text{SENSEn}} - I_{\text{REF}}$			500		mV
VOC_TOL	Accuracy	$I_{\text{SENSEn}} - I_{\text{REF}} \geq 100\text{mV}$	●	-6.5		6.5	%
Gate Drive Voltage Supervisors							
IVDR_MON	VDR_MON Input Current	$V_{\text{DR_MON}} = 1.22\text{V}$	●	-1		1	μA
VDR_UV	UV Threshold		●	1.194		1.243	V
ADC Readback Telemetry (Note 11)							
NVIN	V_{IN} Readback Resolution	(Note 12)			10		Bits
VIN_TUE	V_{IN} Total Unadjusted Readback Error	$V_{IN} \geq 4.5\text{V}$	●			1	%
NVOUT	V_{OUT} Resolution LSB Step Size				16 130		Bits μV
VOUT_TUE	V_{OUT} Total Unadjusted Readback Error	Constant Load	●	-0.5	± 0.2	0.5	% %
VOUT_OS	V_{OUT} Readback Offset Voltage				± 300		μV
NISENSE	I_{OUT} Readback Resolution	(Note 12)			10		Bits
ISENSE_TUE	I_{OUT} Total Unadjusted Readback Error	$I_{\text{SENSEn}} - I_{\text{REF}} \geq 40\text{mV}$	●	-1		1	%
ISENSE_OS	I_{OUT} Readback Offset Voltage				± 125		μV
NTEMP	Temperature Resolution	(Note 12)			10		Bits
T_TUE	Temperature Total Unadjusted Readback Error	$0.24\text{V} \leq T_{\text{SNSn}} \leq 1.8\text{V}$ (Note 13)	●	-1.5		1.5	$^\circ\text{C}$
t_CONVERT	Update Rate (Note 14)	MFR_PWM_CONFIG_LTC3888-1[6] = 0 MFR_PWM_CONFIG_LTC3888-1[6] = 1			90 45		ms ms
Internal EEPROM (Note 15)							
Endurance	Number of Write Operations	$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 85^\circ\text{C}$ During All Write Operations	●	10,000			Cycles
Retention	Stored Data Retention	$T_J \leq 125^\circ\text{C}$	●	10			Years
Mass Write Time	STORE_USER_ALL Execution Duration	$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 85^\circ\text{C}$ During All Write Operations	●		0.2	2	s

LTC3888-1

電気的特性

●は仕様規定されている動作ジャンクション温度範囲での規格値を意味する。それ以外の仕様は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値 (Note 2, 8)。特に指定のない限り、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{SENSEn+} = 1\text{V}$ 、 $V_{SENSEn-} = \text{GND} = 0\text{V}$ 、 $f_{\text{SYNC}} = 500\text{kHz}$ (外部駆動)。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Digital Inputs (SCL, SDA, RUNn, FAULTn, SYNC, SHARE_CLOCK)						
V_{IH}	Input High Voltage	SCL, SDA, RUNn, FAULTn SYNC, SHARE_CLK	● ●	1.25 1.8		V V
V_{IL}	Input Low Voltage	SCL, SDA, RUNn, FAULTn SYNC, SHARE_CLK	● ●		0.8 0.6	V V
V_{HYST}	Input Hysteresis	SCL, SDA (Note 10)		65		mV
I_{IN}	Input Leakage Current	$0\text{V} \leq \text{SCL, SDA, RUN0, RUN1} \leq 5.5\text{V}$	●	-5	5	μA
C_{IN}	Input Capacitance	(Note 16)			10	pF
t_{FILT}	Input Digital Filter Delay	FAULTn RUNn		3 10		μs μs
Digital Outputs (SCL, SDA, RUNn, FAULTn, SYNC, SHARE_CLOCK, ALERT, PWMn, PGOODn, CLKOUT)						
V_{OL}	Output Low Voltage	$I_{\text{SINK}} = 3\text{mA}$: SDA, SCL, FAULTn, ALERT, SYNC, RUNn, SHARE_CLK $I_{\text{SINK}} = 2\text{mA}$: PWMn, PGOODn, CLKOUT	● ●		400 300	mV mV
V_{OH}	Output High Voltage	PWMn, $I_{\text{SOURCE}} = 2\text{mA}$	●	2.7		V
I_{LKG}	Output Leakage Current	$0\text{V} \leq \text{PWMn, PGOODn} \leq V_{DD33}$, $0\text{V} \leq \text{CLKOUT} \leq V_{DD33}$, $0\text{V} \leq \text{FAULTn, SYNC} \leq 3.6\text{V}$, $0\text{V} \leq \text{SHARE_CLOCK} \leq 3.6\text{V}$, $0\text{V} \leq \text{RUNn, SCL, SDA, ALERT} \leq 5.5\text{V}$	● ● ● ● ●	-2 -2 -2 -5 -5	2 2 2 5 5	μA μA μA μA μA
t_{RO}	PWMn Output Rise Time	$C_{\text{LOAD}} = 30\text{pF}$, 10% to 90%		5		ns
t_{FO}	PWMn Output Fall Time	$C_{\text{LOAD}} = 30\text{pF}$, 90% to 10%		4		ns
Serial Bus Timing						
f_{SMB}	Serial Bus Operating Frequency		●	10	400	kHz
t_{BUF}	Bus Free Time Between Stop and Start		●	1.3		μs
$t_{\text{HD,STA}}$	Hold Time After (Repeated) Start Condition. After this Period, the First Clock is Generated.		●	0.6		μs
$t_{\text{SU,STA}}$	Repeated Start Condition Setup Time		●	0.6		μs
$t_{\text{SU,STO}}$	Stop Condition Setup Time		●	0.6		μs
$t_{\text{HD,DAT}}$	Data Hold Time: Receiving Data Transmitting Data		● ●	0 0.3	0.9	ns μs
$t_{\text{SU,DAT}}$	Input Data Setup Time		●	100		ns
t_{TIMEOUT}	Clock Low Time-Out		●	25	35	ms
t_{LOW}	Serial Clock Low Period		●	1.3	10,000	μs
t_{HIGH}	Serial Clock High Period		●	0.6		μs
t_{F}	Clock or Data Fall Time	90% to 10%	●	20	300	ns
t_{R}	Clock or Data Rise Time	10% to 90%	●	20	300	ns

電気的特性

Note 1: 特に指定のない限り、絶対最大定格はGND基準で示されます。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。

Note 2: LTC3888-1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。ジャンクション温度 T_J は、周囲温度 T_A と消費電力 P_D から、次式を使って $^{\circ}\text{C}$ 単位で計算されます。 $T_J = T_A + (P_D \cdot \theta_{JA})$ 、ここで θ_{JA} はパッケージの熱抵抗です。ここに示す仕様に見合った最大周囲温度は、具体的な動作条件と、ボード・レイアウト、パッケージの熱インピーダンス定格値、およびその他の環境条件の組み合わせによって決まります。詳細については、[アプリケーション情報のセクション](#)を参照してください。

Note 3: このICは、一時的な過負荷状態からデバイスを保護することを目的とした過熱保護機能を備えています。この保護機能が動作するときは、ジャンクション温度が最大定格を超えています。仕様に規定された絶対最大動作ジャンクション温度を超える温度での連続動作は、デバイスの信頼性を損なったり、デバイスに恒久的な損傷を生じさせたりする可能性があります。

Note 4: V_{IN} への短絡接続をしないで INTV_{CC} に電圧源を接続することはしないでください。それ以外の場合は、LTC3888-1設定用の外付け受動部品のみを接続してください。適用される制限値については[電気的特性](#)を参照してください。この値を超えると恒久的な損傷を生じさせるおそれがあります。

Note 5: V_{DD33} に外部電圧源を直接接続できるのは、デバイスへの電源を V_{IN} または INTV_{CC} から供給していない場合に限られます。それ以外の場合は、LTC3888-1設定用の外付け受動部品のみを接続してください。適用される制限値については[電気的特性](#)を参照してください。この値を超えると恒久的な損傷を生じさせるおそれがあります。

Note 6: これらのピンには、電圧源を直接接続しないでください。適用される制限値については[電気的特性](#)を参照してください。この値を超えると恒久的な損傷を生じさせるおそれがあります。

Note 7: これらのピンには、電圧源や電流源を直接接続しないでください。LTC3888-1の設定時やアプリケーション作成時には、外付け受動部品以外のものは接続しないでください。接続すると、デバイスに恒久的な損傷を生じさせるおそれがあります。

Note 8: デバイスのピンに流れ込む電流はすべて正で、流れ出す電流はすべて負です。特に指定のない限り、すべての電圧はGND基準です。

Note 9: 仕様に規定された精度を実現するには、 $\text{MFR_PWM_MODE_LTC3888-1}$ コマンドのビット6を使ってサーボ・モードに設定する必要があります。 VOUT_COMMAND は未調整 V_{OUT} の $\pm 5.5\%$ 以内でなければなりません。

Note 10: LTC3888-1の出力電圧制御は、3.5の固定外部ゲインを使って I_{TH} を指定値にサーボ制御する帰還ループで調整され、測定されます。一般に、出力精度は、他のループでレギュレーションされた電圧(DAOUT、VFB)より良好です。サーボ・モードを使わない場合の出力精度は、アプリケーション内で外部ゲインが3.5から外れると低下します。

Note 11: ADCのテストはPWMをディスエーブルして行っています。インサーキット評価によって同等の能力が実証されています。総合未調整誤差には、すべてのゲイン誤差と直線性誤差、およびオフセットが含まれます。

Note 12: 16ビットADCを使用する内部32ビット計算の結果は、PMBusの線形11ビット・データ・フォーマットによって10ビットの仮数部分解能に制限されます。

Note 13: 制限値は、ADCのリード・バックを含め、テストにおけるTSNSの電圧および電流測定値によって確認されています。

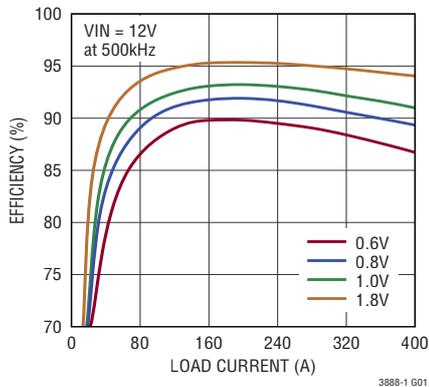
Note 14: データ変換はラウンド・ロビン方式で行われます。すべての入力信号をスキャンする場合は、連続的な順次変換によって90ms(代表値)の遅延が生じます。

Note 15: EEPROMの書換え回数、データ保持時間、大量書き込み時間は、設計、特性評価、および統計のプロセス制御との相関付けによって確認されています。最小データ保持時間は、サイクル回数が最小書換え回数仕様未満のデバイスだけに適用されます。EEPROM読み出しコマンド(例: RESTORE_USER_ALL)は、仕様規定された動作ジャンクション温度範囲全体を通じて有効です。

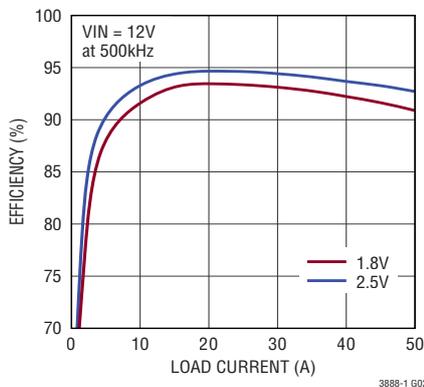
Note 16: 設計により性能を確保。

代表的な性能特性

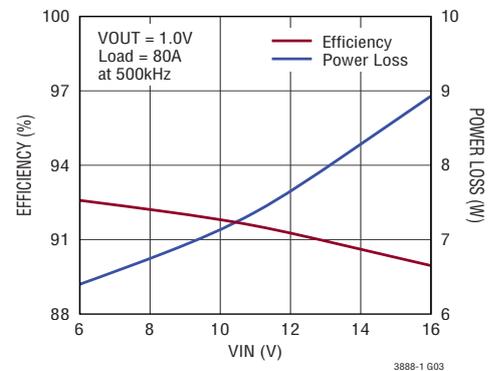
効率と負荷電流の関係
(8相、LTC7051使用)



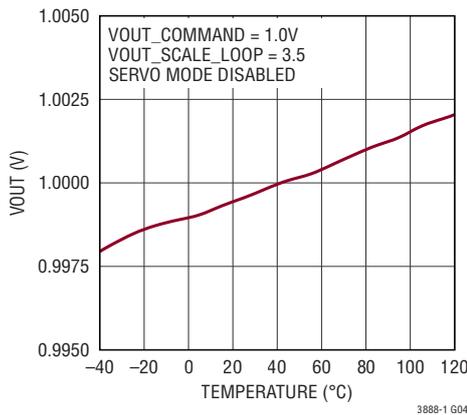
効率と負荷電流の関係
(1相、TDA21470使用)



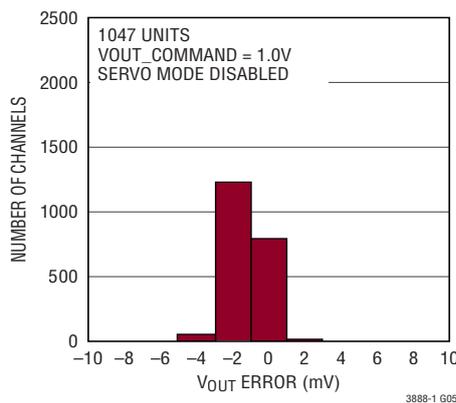
効率および電力損失と入力電圧の
関係 (4相、TDA21470使用)



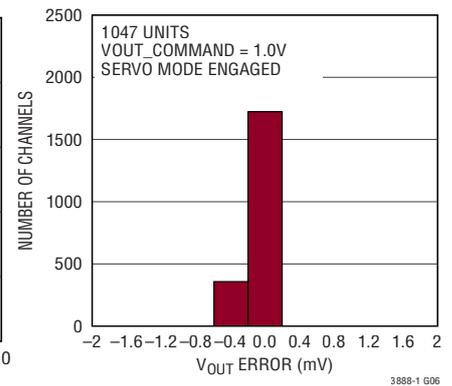
レギュレーション出力と温度の
関係



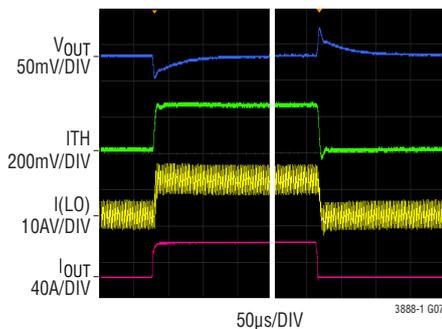
サーボ未使用時の25°Cにおける
代表的な出力電圧分布



サーボ使用時の25°Cにおける
代表的な出力電圧分布

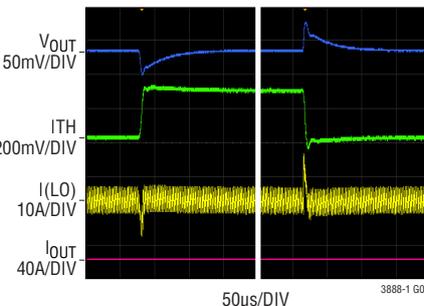


4相負荷ステップ応答
(TDA21470を使用)



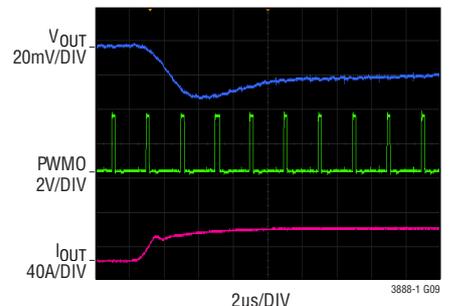
V_{IN} = 12V
V_{OUT} = 1.0V
10A TO 50A STEP

エミュレート時の4相負荷ステップ
応答 (TDA21470を使用)



V_{IN} = 12V
V_{OUT} = 1.0V
MFR_LOAD_EMULATION = 10A/PHASE

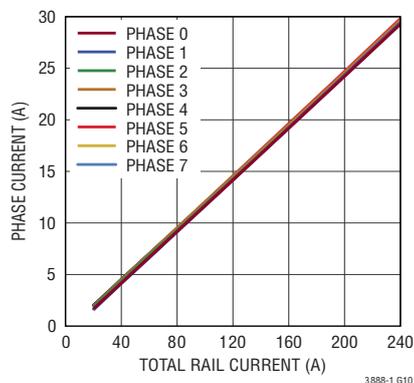
4相シングル・サイクル応答
(TDA21470を使用、C_{OUT} = 4mF)



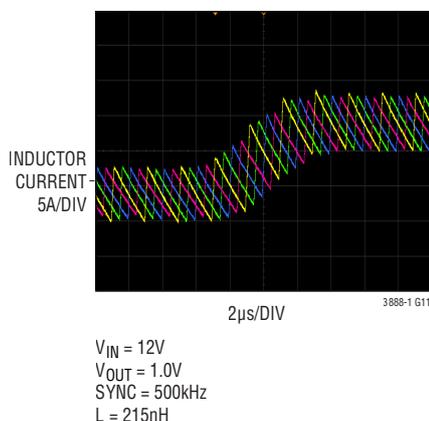
V_{IN} = 12V
V_{OUT} = 1.0V
SYNC = 500kHz
L = 215nH

代表的な性能特性

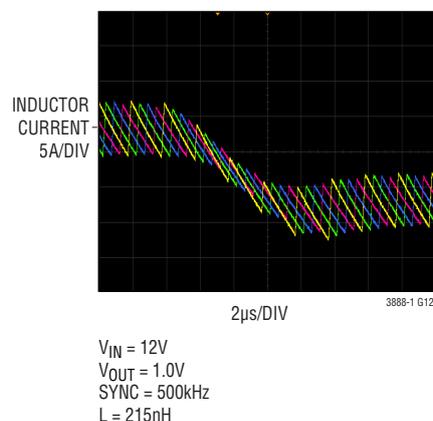
8相DC出力電流分担
(TDA21470を使用)



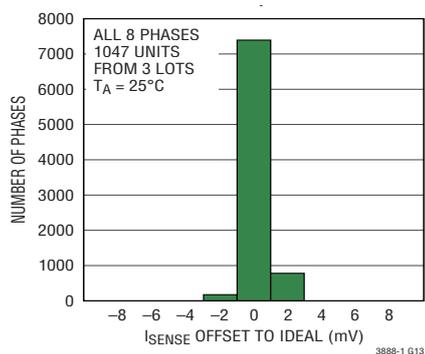
4相ダイナミック負荷分担



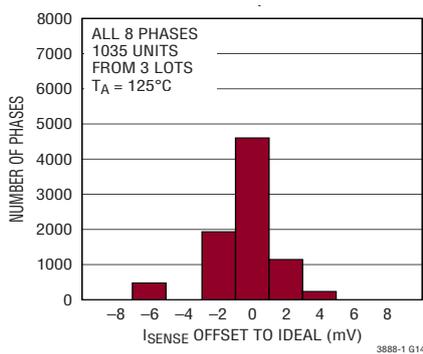
4相ダイナミック負荷分担



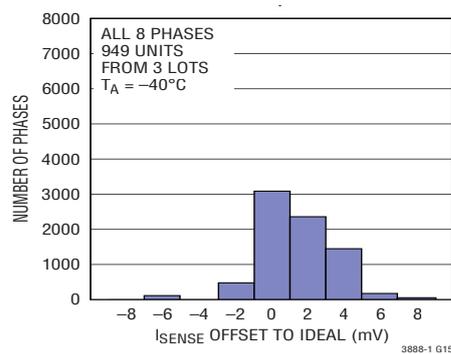
代表的なスレーブ I_{OUT} オフセット分布
(DrMOS ミスマッチを含まない)、
室温時



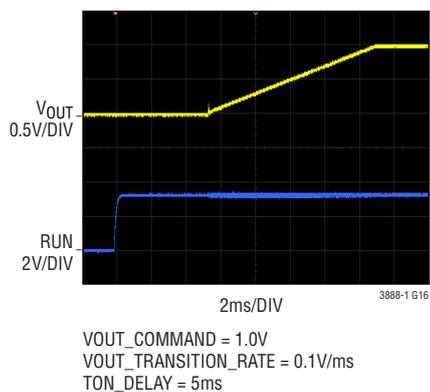
代表的なスレーブ I_{OUT} オフセット分布
(DrMOS ミスマッチを含まない)、
高温時



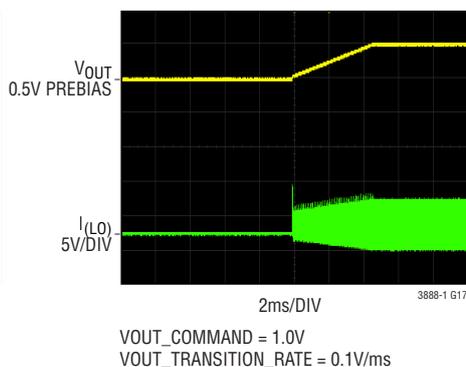
代表的なスレーブ I_{OUT} オフセット分布
(DrMOS ミスマッチを含まない)、
低温時



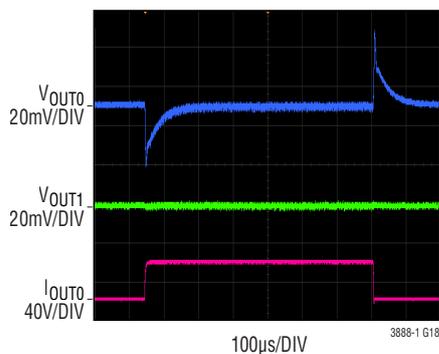
ソフトスタート・ランブ



負荷をプリバイアスした場合の
起動

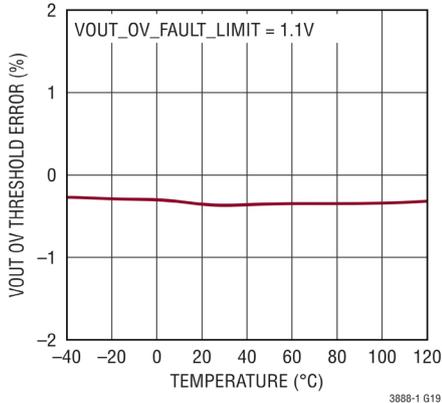


4+4チャンネル・クロストーク
(TDA21470を使用)

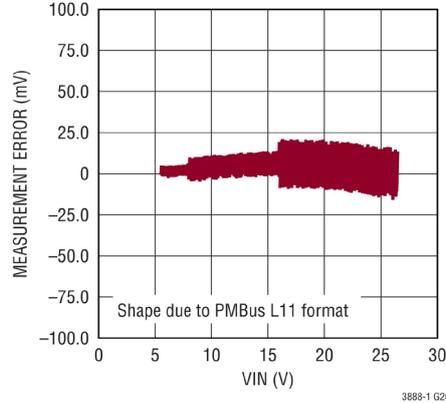


代表的な性能特性

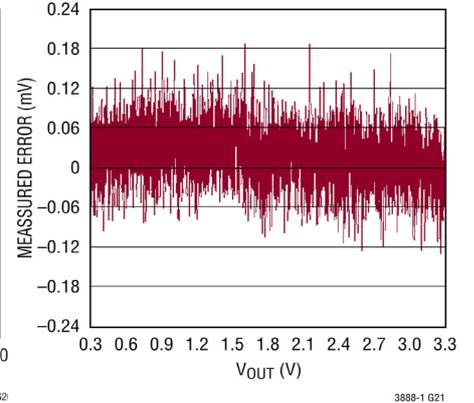
出力過電圧閾値誤差と温度の関係



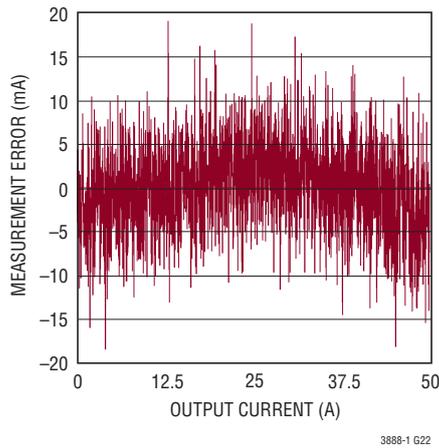
V_{IN} ADC TUE



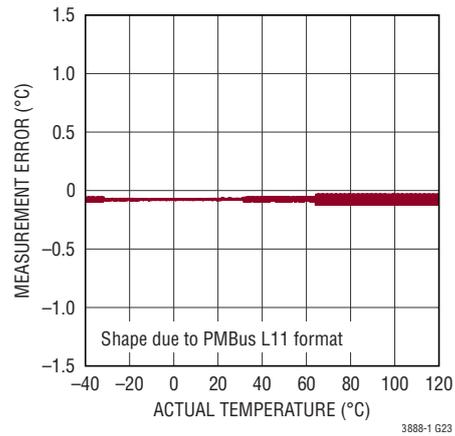
V_{OUT} ADC TUE



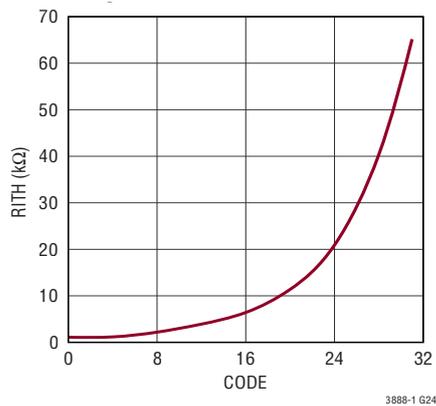
I_{OUT} ADC TUE



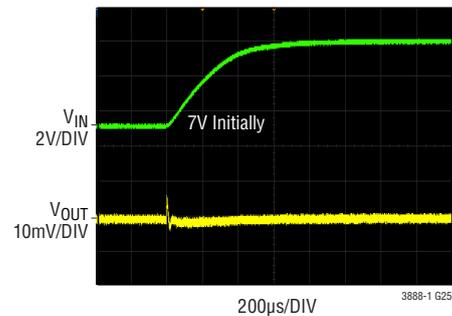
温度によるADC TUE
(DRMOS誤差を含まない)



プログラマブルR_{ITH}



4相ライン・ステップ・トランジェント
(TDA21470を使用)



ピン機能

PWMn (ピン 1、2、5、42、45、46、49、50) : PWM 制御出力。これら 8 本のピンは、各相の 3.3V スリーステート PWM スwitchング制御を行います。使用しない場合は未接続のままにしてください。

ISENSEn (ピン 3、4、43、44、47、48、51、52) : 電流検出入力。これら 8 本のピンは DrMOS デバイスのモニタ出力に接続します。使用しない場合は IREF に短絡してください。

VSENSE0-/VSENSE1- (ピン 6 / ピン 41) : 差動アンプと ADC の出力電圧検出負入力。使用しない場合は GND に短絡してください。

VSENSE0+/VSENSE1+ (ピン 7 / ピン 40) : 差動アンプと ADC の出力電圧検出正入力。使用しない場合は VSENSE- に短絡してください。

TSNS0/TSNS1 (ピン 8 / ピン 39) : 外部温度検出入力。これらのピンは、DrMOS デバイスの共通温度 / フォルト・バスに接続します。その他の詳細については [アプリケーション情報の](#) セクションを参照してください。

VDR_MON (ピン 8) : 外部ゲート駆動電圧検出入力。このピンは、システムが外部 DrMOS パワー段に供給するゲート駆動電圧をモニタするように設定できます。MFR_CHAN_CONFIG コマンドの詳細を参照してください。

ITH0/ITH1 (ピン 9 / ピン 38) : PWM 電流制御閾値およびループの補償用ノード。ピーク電流は ITH 電圧と共に増加します。適切なループ補償を行うため、これらのピンと GND の間には低 ESR のコンデンサを接続します。詳細については [アプリケーション情報の](#) セクションを参照してください。

ITHR0/ITHR1 (ピン 10 / ピン 37) : ループ補償ノード。適切なループ補償を行うため、これらのピンと GND の間には低 ESR のコンデンサを接続します。詳細については [アプリケーション情報の](#) セクションを参照してください。

DAOUT0/DAOUT1 (ピン 11 / ピン 36) : 差動アンプ出力。DAOUT0/1 は、そのチャンネルの VSENSE+ と VSENSE- の差に等しい電圧を、GND (パドル) 基準で出力します。使用しない場合は未接続のままにしてください。

VFB0/VFB1 (ピン 12 / ピン 35) : エラー・アンプ反転入力。出力レールがオンになっている場合は、PWM 制御ループがこの電圧をレギュレーションします。

PGOOD0/PGOOD1 (ピン 13 / ピン 34) : パワー・グッド・インジケータのオープンドレイン出力。これらの出力は、それぞれのチャンネル出力が、設定された UV フォルト制限値を下回るか OV フォルト制限値を上回ると、80 μ s フィルタを通じてローになります。使用する場合は、アプリケーション回路にプルアップ抵抗が必要です。

CLKOUT (ピン 13) : 拡張クロック出力。MFR_PWM_CONFIG LTC3888-1 のビット 3 がセットされている場合、この出力は 2 番目の LTC3888-1 に位相拡張クロックを提供します。使用する場合はプルアップ抵抗が必要です。ラインの時定数とそのアプリケーションにとって十分に速い値となるように、このラインの容量は最小限に抑えてください。

SYNC (ピン 14) : 外部クロック同期入力およびオープンドレイン出力。必要な場合は、外部クロックをこのピンに入力して内部 PWM チャンネルを同期させることができます。それ以外の場合、このピンは、パルス幅 500ns の選択 PWM スwitchング周波数でグラウンドにプルダウンできます。LTC3888-1 が SYNC を提供する場合は、3.3V へのプルアップ抵抗が必要です。ラインの時定数とそのアプリケーションにとって十分に速い値となるように、このラインの容量は最小限に抑えてください。

SCL (ピン 15) : シリアル・バス・クロック入力とオープンドレイン出力。クロック・ストレッチがイネーブルされている場合、SCL は出力としてのみ機能します。アプリケーション回路ではバス電源との間にプルアップ抵抗が必要です。

SDA (ピン 16) : シリアル・バス・データ入力とオープンドレイン出力。アプリケーション回路ではバス電源との間にプルアップ抵抗が必要です。

ALERT (ピン 17) : オープンドレイン・ステータス出力。このピンは、システム SMBALERT# ワイヤード AND 割込み信号に接続できます。アプリケーション回路ではバス電源との間にプルアップ抵抗が必要です。使用しない場合は未接続のままにしてください。

FAULT0/FAULT1 (ピン 18 / ピン 19) : フォルト分担用のプログラマブル・デジタル入力およびオープンドレイン出力。これらのピンは、チャンネル間でのフォルトの伝達や伝搬に使用します。アプリケーション内ではバス電源との間に 3.3V へのプルアップ抵抗が必要です。

ピン機能

RUN0/RUN1 (ピン20 / ピン21) : 実行制御入力およびオープンドレイン出力。それぞれのPWM マスタ・チャンネルをイネーブルするには、これらのピンに2Vを超える電圧を加える必要があります。LTC3888-1は、特定のリセット/再起動条件下では、PMBus コマンドの設定に関係なくこれらのピンをローにします。アプリケーション回路にはプルアップ抵抗が必要です。

RSET (ピン22) : 抵抗設定入力。バス・アドレス、出力電流制限値、その他のPWM 設定を行う設定抵抗の値を選択するには、このピンとGNDの間に1%、18.7k Ω の抵抗を接続します。詳細については[アプリケーション情報](#)のセクションを参照してください。

ASEL0/ASEL1 (ピン23 / ピン24) : シリアル・バス・アドレス選択入力。シリアル・バス・インターフェースのアドレスを選択するには、このピンとGNDの間にオプションの1%抵抗を接続します。詳細については[アプリケーション情報](#)のセクションを参照してください。

ILIM0_CFG/ILIM1_CFG (ピン25 / ピン26) : 出力電流制限値設定入力。各チャンネルの出力電流制限値を選択するには、このピンとGNDの間にオプションの1%抵抗を接続します。詳細については[アプリケーション情報](#)のセクションを参照してください。

PWM_CFG (ピン27) : PWM 設定入力。PWM スイッチング周波数とマスタ/スレーブ構成を設定するには、このピンとGNDの間にオプションの1%抵抗を接続します。詳細については[アプリケーション情報](#)のセクションを参照してください。

V_{DD25} (ピン28) : 内部2.5Vレギュレータ出力。このピンは、低ESRの1 μ Fコンデンサを使ってGNDにバイパスします。このピンには外部電流による負荷を加えないでください。

SHARE_CLK (ピン29) : 共有クロック入力とオープンドレイン出力。共有クロックの公称値は100kHzで、複数のアナログ・デバイス製PMBusコントローラを使う電源システム内で、複数レールのシーケンシングを行うために使用します。アプリケーション内ではバス電源との間に3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。ラインの時定数がこのアプリケーションにとって十分に速い値となるように、ラインの容量は最小限に抑えてください。

V_{DD33} (ピン30) : 内部3.3Vレギュレータ出力。このピンは、低ESRのコンデンサ(1 μ F~2.2 μ F)を使ってGNDにバイパスします。LTC3888-1に電源を供給する方法が他にない場合は、このピンに外部3.3V電源を接続し、プログラミング専用電源として使用することもできます。LTC3888-1の設定時やアプリケーション作成時には、外付け受動部品のみを接続してください。

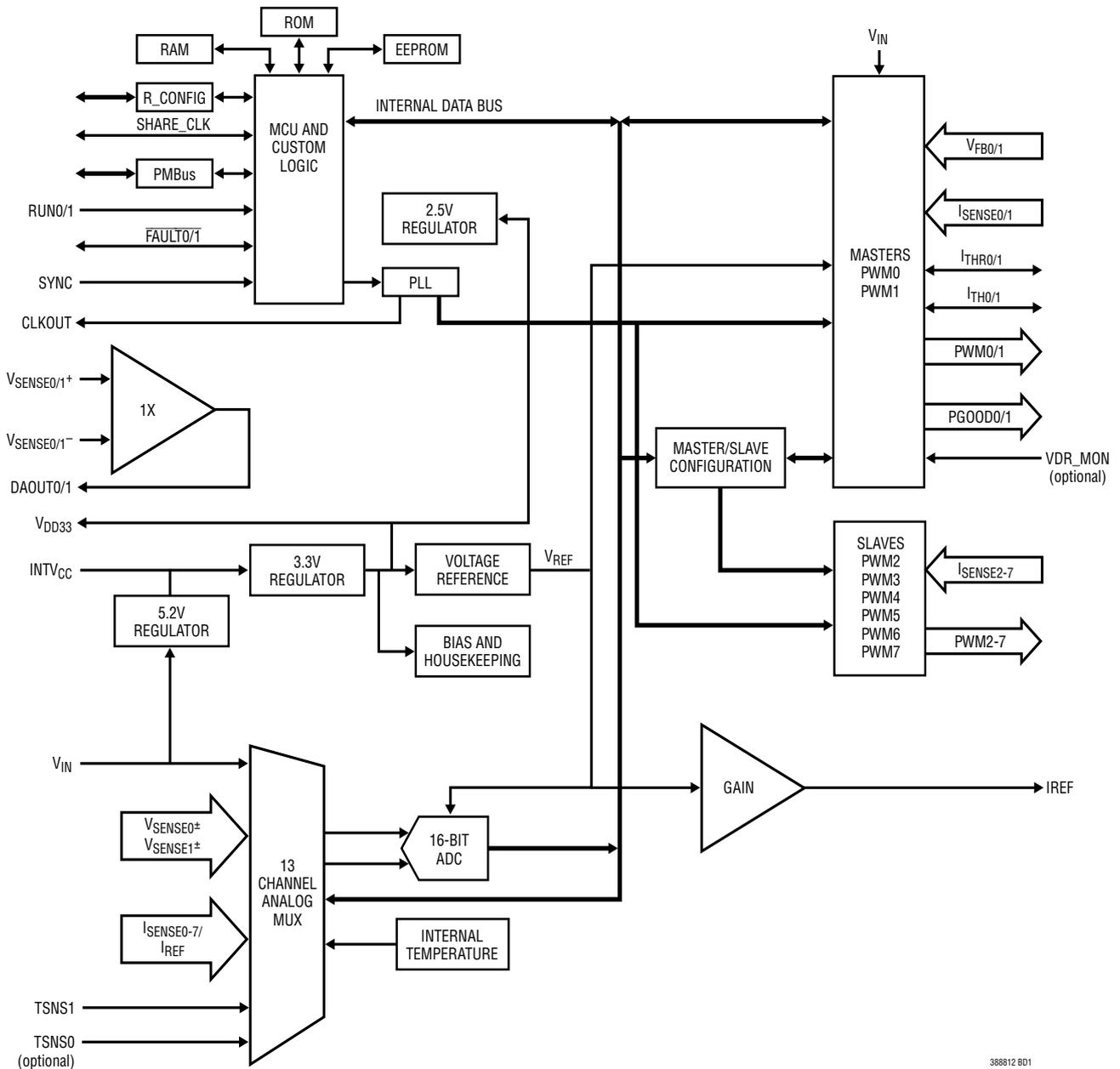
INTV_{CC} (ピン31) : 5.2Vレギュレータ出力。このピンは、低ESRの4.7 μ Fコンデンサを使ってGNDにバイパスします。LTC3888-1の設定時やアプリケーション作成時には、外付け受動部品のみを接続してください。

V_{IN} (ピン32) : メイン入力電源。このピンは、低ESRのコンデンサ(0.1 μ F~2.2 μ F)を使ってGNDにデカップリングします。V_{IN}が常時6V未満で動作するアプリケーションでは、このピンとINTV_{CC}を短絡してください。

IREF (ピン33) : DrMOSの電流検出リファレンス。この電圧出力は、DrMOSデバイスからフローティング電流モニタ用のリファレンス・バイアスを提供します。このピンは、100nF~1 μ Fの低ESRコンデンサを使って、LTC3888-1と各パワー段のGND(露出パッド)にデカップリングしてください。

GND (露出パッド・ピン53) : グラウンド。すべての小信号部品と補償部品は、このパッドに接続する必要があります。正しい電氣的動作と仕様に規定されたパッケージ熱抵抗を確保するために、露出パッドはPCBの適切な銅製グラウンド・プレーンにハンダ付けしてください。

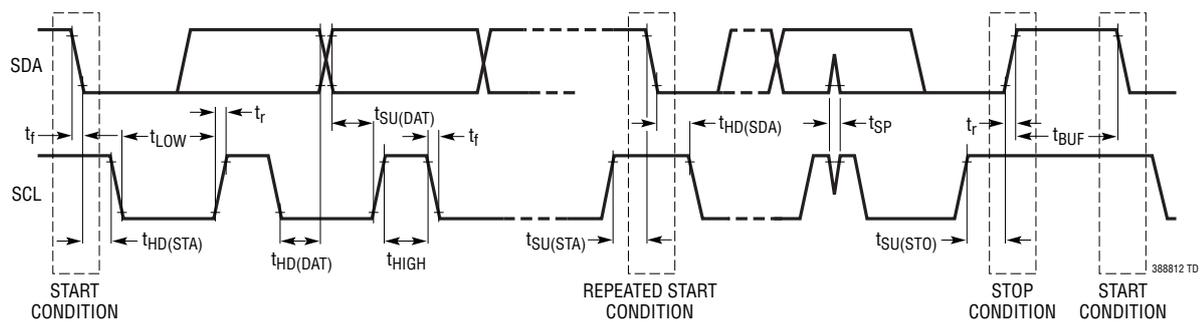
ブロック図



388812 BD1

LTC3888-1のブロック図

タイミング図



動作

概要

LTC3888-1は、DC/DC降圧スイッチモード・アプリケーション向けの固定周波数アナログ電流モード・コントローラです。このコントローラは最大2つの独立した電圧ループ(マスタ)を備えている他、追加のスレーブ・モジュレータを6個内蔵しており、事前に設定された様々なPolyPhase構成に使用することができます。

このデバイスは、電圧または電流の形で出力電流をモニタできる外部パワー段と共に使用するように設計されており、非絶縁型パワー・ブロックなどが高い集積度で組み込まれています。LTC3888-1は、この種のパワー段によく見られる共有の温度およびフォルト表示バスへのダイレクト・インターフェースと、オプションのDrMOSゲート駆動電圧スーパーバイザを備えています。

このデバイスは4.5V～28.5Vの V_{IN} 電源で動作します。出力電圧は、外付けの抵抗分圧器と出荷時のEEPROM設定を使用して、他のプログラミングを行うことなく0.4Vから3.45Vまでの任意の値に設定できます。

LTC3888-1は、パワー・システムの重要パラメータのモニタおよび設定用にPMBus準拠のデジタル・インターフェースも備えており、必要であれば外付け抵抗分圧器を使って直接出力を制御することができます。

このデータシートについて

PMBusのコマンド・ページ0はPWM0に関連付けられた電圧レギュレーション・ループを、コマンド・ページ1はPWM1に関連付けられた電圧レギュレーション・ループを制御します。このデータシートでは、これらを「マスタ」または「マスタ・チャンネル」と呼ぶことがあります。多くの場合、これらのマスタ・チャンネルには、それぞれ対応する固有のデバイス・ピンが存在します(例えば I_{TH0} と I_{TH1})。これらのマスタ・チャンネルの両方または一方に関する説明では、これらのピン名を添え字なしで使うことがあります。

PWM2～PWM7はPMBusの動作によって直接制御されるわけではなく、これらを制御するために割り当てられたマスタ・チャンネルによって管理されます。このデータシートでは、PWM2～PWM7に関連付けられた変調器を「スレーブ」または「スレーブ・チャンネル」と呼びます。また、場合によっては、「PWM」または「チャンネル」という語を使って8個のPWM変調器のいずれかを表すことがあります。ルールは、1

つの出力電圧を生成するために、マスタ・チャンネルとそのマスタが制御するスレーブのグループを指定します。これには、ワイヤードORによる I_{TH} 制御を使用する複数のマスタ・チャンネルが含まれます。

「動作メモリ」あるいは単に「RAM」と言った場合は、動作時にPMBusコマンドを保存する揮発性のオンボードRAMを表します。

このデータシートで使うPMBusコマンドはすべてホワイト・スペースなしの大文字で表記されますが、ハイフンまたはアンダースコアを使用することもあります。簡略化のため、この書体が使われている箇所ではほとんどの場合「PMBusコマンド」と言う語が省略されています。0x00から0xFFまでのPMBusコマンドで表7にリストされていないものがある場合は、LTC3888-1がそのコマンドをサポートしていないことを暗黙的に示しています。この表にリストされていないコマンドを書き込むと、CMLフォルトになるかデバイスが正常に動作しなくなります。

製品の主な機能

- アナログまたはデジタルでプログラム可能なUV/OVスーパーバイザ付き出力電圧
- デジタルでプログラム可能な出力電流制限値
- デジタルでプログラム可能な入力電圧スーパーバイザ
- デジタルでプログラム可能なスイッチング周波数
- デジタルでプログラム可能なオン/オフ遅延時間
- デジタルでプログラム可能なソフトスタート/ストップ
- デジタルでプログラム可能な負荷ステップ・エミュレーション
- 動作状態の遠隔測定
- 同期PolyPhase動作のフェーズ・ロック・ループ
- 不揮発性設定メモリ
- 重要動作パラメータ用の外付け設定抵抗(オプション)
- 複数コントローラ間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)
- フォルト・イベントのデータ・ロギング
- EEPROM設定を介してスタンドアロン動作が可能
- PMBusリビジョン1.2準拠のインターフェース(最大400kHz)

動作

PMBus インターフェースを使用すると、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。

- 平均入力電圧
- 平均出力電圧
- 平均出力電流
- PWM 動作周波数
- 内部デバイス温度
- 外部検出温度
- 警告およびフォルト・ステータス(入力と出力の低電圧と過電圧を含む)

LTC3888-1は、個々のPWM電圧ループに個別に、あるいはまとめてアクセスするために、4つのPMBusアドレス指定方式をサポートしています。

フォルトのレポート動作とシステム応答動作は自由に設定できます。ステータス出力は2つあり(FAULT0、FAULT1)、それぞれを個別に制御することができます。独立したALERTピンを使ってSMBALERT#をマスクすることも可能です。各チャンネルのフォルト応答は、フォルト・タイプに応じて個別にプログラムできます。PMBus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・イベントを確認することができます。

メイン制御ループ

LTC3888-1は、立下がりエッジ変調による固定周波数の電流モード制御を利用しています。各マスタ・チャンネルに使われるメイン制御ループを図1に示します。通常動作時は、マスタのクロック位相がRSラッチをセットすると、チョークL1を駆動する外部パワー段のトップMOSFET(パワー・スイッチ)のオンが命令されます。ただし、メインPWMコンパレータのICMPが、既に十分な電流がL1に流れていることを示している場合を除きます。既に十分な電流が流れている場合は、そのサイクル中にチョークへ追加的なエネルギーが供給されることはありません(PWM出力はローのままになり、サイクルはスキップされます)。それ以外の場合は、PWMコンパレータによってラッチがリセットされ、サイクル後半にパワー・スイッチ・オフが命令されます。検出された出力電流は、外部パワー段からISENSEピンに送られます。ICMPがRSラッチをリセットするPWMサイクル内のポイントは、エラー・

アンプEAの出力から得られる I_{TH} 電圧によって制御されます。これには、デューティ・サイクルに関わらず動作を安定させるための内部勾配補償が含まれます。定常状態では、 I_{TH} がPWMのデューティ・サイクルを調整して、 V_{FB} 電圧をEAの正端子電圧に合わせます。

EAの正端子は12ビットDACの出力に接続され、その値は0Vから約1.22Vまでの範囲です。DACの値は、内部EEPROMから読み出されるコマンド値によって決定されるか、必要な出力電圧を合成するためのPMBusコマンドの組み合わせによって決定されます。出荷時デフォルトのEEPROMは、このDAC出力値を400mVに設定します。その後EAは、外付け抵抗R1とR2の比率に基づいて出力電圧をレギュレーションします。

負荷電流が増加すると V_{SENSE+} が低下し、それによって V_{FB} も12ビットDAC出力に対してわずかに低下します。これにより、平均インダクタ電流が新しい負荷電流と同じになって必要な出力電圧が回復されるまで、 I_{TH} 電圧が増加します。 I_{TH} は、コンパレータILIMによるプログラマブル過電流保護を行うためにモニタされます。

PWM出力によってトップMOSFETのオフが命令されると、ボトムMOSFETのオンが命令されます。LTC3888-1は連続導通モード(CCM)で動作するので、PWMクロックが次にトップMOSFETをオンにするかレール・オフが命令されるまで、ボトムMOSFETはオンのままになります。

パワーアップと初期化

LTC3888-1は、制御されたターンオンおよびターンオフ機能によって独立した電源シーケンシングを行えるように設計されています。範囲が4.5V~26.5Vの V_{IN} 電源によって動作し、3つの内蔵リニア・レギュレータが2.5V、3.3V、5.2Vの内部電圧を生成します。 V_{IN} が6V未満の場合は V_{IN} ピンとINTV_{CC}ピンを互いに短絡して、その最大動作電圧を5.5Vに制限する必要があります。コントローラの設定は、内部UVLO閾値によってリセットされます。ここで、INTV_{CC}は4.45V以上、V_{DD33}は3.1V以上にする必要があります。内部2.5V電源はそのレギュレーション値の20%以内にする必要があります。LDO出力をこれらの電圧にするには、 V_{IN} を十分高い値にしなければなりません。その時点で、内蔵マイクロコントローラが初期化を開始します。RESTORE_USER_ALLまたはMFR_RESETコマンドを実行すると、これと同じ初期化が強制的に行われます。

LTC3888-1は、初期化時に動作する、内部RAM内蔵セルフ・テスト(BIST)機能を備えています。RAMのBISTの結果が不合格になると、以下の手順が実行されます。

動作

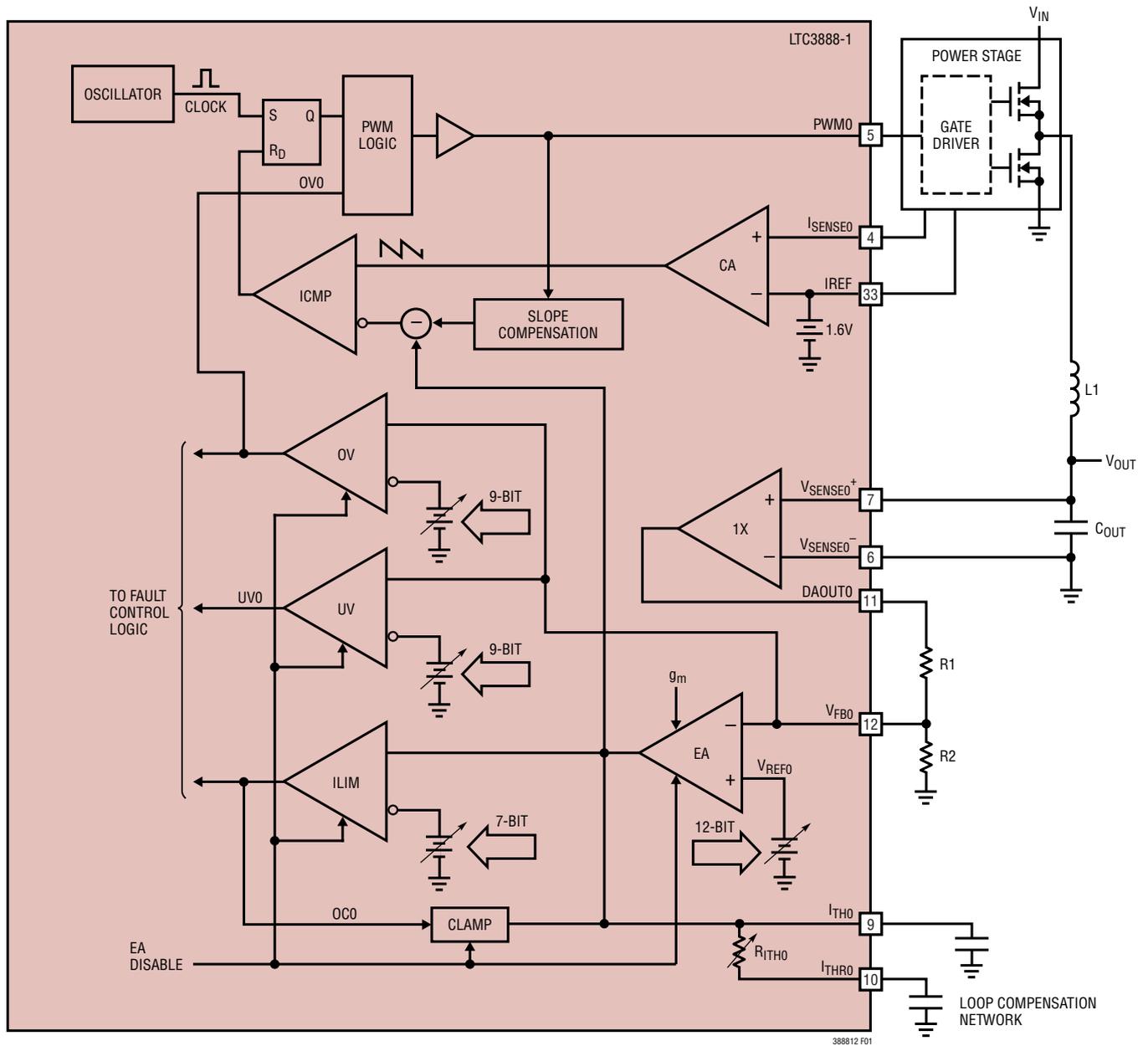


図1. LTC3888-1のマスター・チャンネル制御ループの回路図

動作

- デバイスは、デバイス・アドレス0x7Cとグローバル・アドレス0x5Aおよび0x5Bでのみ応答します
- STATUS_CMLコマンドによってメモリ・フォルト検出 (Memory Fault Detected) が示され、その状態が維持されます
- 内部EEPROMへのアクセスは行われません
- RUNピンとSHARE_CLKがローになり、その状態が続きます

その後、例えばアドレス0x7Cに発行された別のMFR_RESETコマンドの結果としてRAM BISTに合格した場合は、通常動作を回復できます。

初期化時はすべてのPWM出力がディスエーブルされます。RUNピンとSHARE_CLKピンはローに保持され、FAULTピンは高インピーダンスになります。その後、外付けの設定抵抗が確認されて、内蔵EEPROMの内容がコントローラのコマンドRAMに読み込まれます。LTC3888-1は、表10から表12までに従って、外付けの設定抵抗から重要な動作パラメータを決定することができます。詳細については、以下に示す抵抗設定ピン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決定するのは、コントローラの一部のプリセット値だけです。内蔵EEPROMから読み出される残りの値は、出荷時にプログラムされるか、PMBusコマンドを使ってプログラムされます。

設定抵抗ピンがすべて未接続の場合、LTC3888-1はEEPROMの内容だけを使ってすべての動作パラメータを決定します。抵抗設定ピンを無視するように設定されている場合(MFR_CONFIG_ALLのビット6)、LTC3888-1は、EEPROMの内容だけを使ってデバイス・アドレス以外のすべての動作パラメータを決定します。両方のASELピンが完全に未接続の場合を除き、LTC3888-1は、常に、これらのピンに接続された抵抗からそのデバイス・アドレスの一部を決定します。このセクションで後述するシリアル・バスのアドレス指定を参照してください。

出力電圧検出機能のテスト

初期化時、LTC3888-1は、イネーブルされたマスタ・チャンネル(MFR_PWM_MODE_LTC3888-1のビット4を参照)の出力電圧検出ライン(V_{SENSE+})の接続チェックも実行します。このテストで開放状態の回路が検出された場合はPMBusステータス・レジスタに異常が示され、MFR_RESET後あるいはデバイスの電源を入れ直した後のテストに合格するまで、デバイスのすべてのPWMがディスエーブルされます。

アナログ出力電圧制御

出荷時のデフォルトEEPROM設定では、図1に示す外付け抵抗R1とR2だけを使って出力電圧をプログラムできます。プログラム後は制御ループが従来の方法で必要出力を生成して、V_{FB}を400mVにレギュレーションします。外付けの設定抵抗を使ってプログラムできる出力電流制限値など、その他の重要パラメータを使用すれば、デバイスをデジタル・バスに接続しなくても、複雑なPolyPhaseレール・ソリューションを構成することができます。出荷時のデフォルトEEPROM設定でアナログ出力電圧制御を使用する詳しい方法については、[アプリケーション情報](#)のセクションを参照してください。

PMBus出力電圧制御

外付け設定抵抗R1とR2(図1)の選択後は、アナログ・デバイスサイズのほとんどのPSMコントローラに使われているデジタル設定出力電圧制御の全範囲を使用できます。これは、VOUT_SCALE_LOOPを使って外付け分圧器のゲインを指定することによって行います。前述のように、LTC3888-1の内蔵PMBusコマンドおよび機能を使用する出力電圧制御の詳細については、[アプリケーション情報](#)を参照してください。

ソフトスタート

通常、すべての内蔵電源がそのUVLO閾値を超えてから、内部マイクロコントローラが初期化を完了するまでには35msかかります。MCUの初期化後は内部コンパレータがV_{IN}をモニタしますが、出力電源シーケンシングを開始するには、この値がVIN_ON閾値を超えていなければなりません。デバイスの初期化が完了してV_{IN}がVIN_ON閾値を超えると、SHARE_CLKが解放されて実行可能な状態になり、RUNピンも外部制御用に解放されます。正確なリードバックの遠隔測定には、最初のラウンドロビンA/D変換に、更に90msが必要になることがあります。

動作

1つのアプリケーションに複数のLTC3888-1が使われている場合は、すべてのユニットが初期化されてすべてのデバイスについて V_{IN} が V_{IN_ON} 閾値を超えるまで、共有RUNピンがローに保持されます。他の設計条件のためにRUNピンを共有できない場合でも、SHARE_CLK信号を共通にすることで、最初の起動時にすべての接続デバイスで同じ時間基準が使われるようにすることもできます。電源シーケンシングのための条件が完全に満たされると、RUNピンの状態に関わらず、各デバイスはSHARE_CLKを解放します。

1つのチャンネルのRUNピンが2Vを超え、指定されたターンオン遅延(TON_DELAY)が経過すると、LTC3888-1は、突入電流を制御できるように、そのチャンネルで最初の単調増加性ソフトスタート・ランプを実行します。これは、0mVからコマンドで指定された値(出荷時デフォルト値は400mV)まで $V_{OUT_TRANSITION_RATE}$ で変化し、デジタル制御された内部EAリファレンス電圧のランプで実行されます。ソフトスタート機能は、 $V_{OUT_TRANSITION_RATE}$ の値を4V/msに設定することによってディスエーブルできます。LTC3888-1は、コマンド指定出力が実際のレール電圧を超え、 I_{TH} が増加して平均チョーク電流値が負にならないレベルに達するまで、PWM動作を開始しません。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。

時間ベースの出力シーケンシング

LTC3888-1は、共有時間基準(SHARE_CLK)を使用する時間ベースの出力オン/オフ・シーケンシングをサポートしています。ターンオンのための適切なコマンドが発せられると、プログラムされたTON_DELAYの経過後に各出力がイネーブルされます。この方法を使用すれば定められた順番で出力のシーケンシングを行うことができます。シーケンシングの順番は、必要に応じてハードウェアを変えることなく変更することができます。チャンネルのオフ・シーケンシングは、TOFF_DELAYコマンドを使い同様の方法で行います。

出力ランピング制御

LTC3888-1は、共有時間基準(SHARE_CLK)を使用する同期出力オン/オフ・ランピング制御をサポートしています。設定された遅延と $V_{OUT_TRANSITION_RATE}$ を使用することによって、従来のアナログ・トラッキング機能と同様の電源レールのオン/オフ関係を実現できます。LTC3888-1のデジタル制御では、必要に応じ、ハードウェアを変更することなくランピングを設定し直すことができます。

プログラム可能なフォルト応答とフォルト分担により、システムをパワーアップまたはパワーダウンするごとに、必要な時間ベースの出力シーケンシング制御とランピング制御が正常に実行されるようにすることができます。複数デバイス使用時に、時間ベースによるシーケンシングと出力ランピングの同期を完全にサポートするのに必要なLTC3888-1の各種ハードウェア設定とPMBusコマンド設定については、[アプリケーション情報のセクション](#)を参照してください。

電圧ベースの出力シーケンシング

連続的に発生する電圧イベントを使って出力シーケンシングを行うことも可能です。このために、1つのPWMチャンネルのPGOODステータス・ピンを使って、下流チャンネルのRUNピンを制御することができます。制御を行うPGOODピンは、 V_{OUT} が $V_{OUT_UV_FAULT_LIMIT}$ 未満の場合、またはパワー・グッド条件が満たされていない場合に、RUNをローに保持します。これにより、制御側チャンネルが許容し得る出力条件になるまで、下流チャンネルはオフに維持されます。LTC3888-1は、電圧ベースのオフ・シーケンシングをすぐに行えるようにはなっていません。電圧ベース・シーケンシングの詳細については[アプリケーション情報のセクション](#)を参照してください。

出力のディスエーブル

このデバイス上のすべてのPWMは、 V_{IN} が V_{IN_OFF} 閾値未満になると常にディスエーブルされます。パワー段は、負荷へのエネルギー伝送をできるだけ早く停止するために、直ちにシャットオフされます。

PWMチャンネルも、特定の内部フォルト条件、 \overline{FAULT} ピンを介して伝搬される外部フォルト、あるいはSHARE_CLKの喪失に対応するためにディスエーブルされることがあります。これらの場合、パワー段は、負荷へのエネルギー伝送をできるだけ早く停止するために、直ちにオフにするようコマンドが送られます。フォルト回復の詳細については、以下に示すフォルト検出とフォルト処理のセクションを参照してください。

各レールがON_OFF_CONFIGによってイネーブルされている場合は、いつでもOPERATIONコマンドを使ってディスエーブルできます。これにより、定められた遅延(TOFF_DELAY)とランプ・ダウン・レート($V_{OUT_TRANSITION_RATE}$)で制御されたターンオフ応答を強制できます。

動作

最後に、各レールは、対応するRUNピンをローにすることによってオフにできます。RUNピンをローにすると、ON_OFF_CONFIGの設定に応じて、マスタを制御された形でオフするか、すべてのレール・パワー段を直ちにディスエーブルすることができます。

最小出力ディスエーブル時間

OPERATIONを使ってLTC3888-1のレールをオフにする場合は、レールを再びオンにする命令をどんなに早く行ったとしても、120msの最小出力ディスエーブル時間が必要です。MFR_CHAN_CONFIGのビット4をクリアすると、チャンネルをオフにするPMBusコマンドはRUNピンをローにするパルスも出力します。RUNピンが内部的または外部的にローにされると、TOFF_DELAY + V_{OUT}/V_{OUT_TRANSITION_RATE} + 136msの最小出力ディスエーブル時間(LTC3888-1がRUNをローに強制)が適用されます。MFR_RESTART_DELAYがこの必須最小値より大きい場合は、より大きいMFR_RESTART_DELAYの値が使われます。これらの最小オフ時間により、一貫したモニタA/Dコンバータ値による安定したレール再起動が可能になり、LTC3888-1と他のアナログ・デバイス製PMBus デジタル・パワー・システム・マネージメント製品との互換性が高まります。

出力短絡サイクル

TOFF_DELAYおよびV_{OUT_TRANSITION_RATE}に基づく制御されたターンオフの完了を待っている間に、オンに戻るよう求めるコマンドがマスタ・チャンネルに送られると、出力短絡サイクル状態となります。この状態になると、LTC3888-1は常にSTATUS_MFR_SPECIFICの短絡サイクル・ビットをアサートします。この時点でのデバイスの応答は、MFR_CHAN_CONFIGおよびSMBALERT_MASK内のビットによって決まります。詳細については、これらのコマンドの詳しい説明を参照してください。一般に、LTC3888-1は、通常動作中に短絡サイクル状態が生じないように制御する必要があります。

スイッチング周波数と位相

LTC3888-1は、PWM動作周波数の設定に関して高い柔軟性を備えています。PWM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、適切な位相関係でPWM制御をこの時間基準に同期させます。デバイスは、PMBusコマンドまたはEEPROM設定を通じ、他のデバイスにマスタ・クロック(SYNC)を提供するように設定することもできます。LTC3888-1は、MFR_CONFIG_ALLのビット4をクリアすることによって、クロック・マスタとして指定されます。クロック・マスタとして指定されたLTC3888-1は、選択されたレートと500nsのパルス幅でそのオーブンドレインSYNCピンを駆動します。この場合は、SYNCとV_{DD33}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。SYNCを共有している複数のLTC3888-1をクロック・マスタとして設定すると、そのうちの1つだけが自動的に選択されてクロックを供給します。他のデバイスはSYNC出力をディスエーブルし、それをMFR_PADS_LTC3888-1のビット10で示します。

LTC3888-1は外部クロック周波数が設定内部発振器周波数の1/2より高い場合、必要に応じて内部SYNC駆動をディスエーブルして外部SYNC入力を自動的に受け入れます。その後外部クロック信号が失われると、LTC3888-1は、SYNCを駆動するよう設定されているかどうかに関係なく、デバイスの内部発振器を使い、選択された周波数(FREQUENCY_SWITCH)でPWM動作を継続します。

MFR_PWM_CONFIG_LTC3888-1コマンドを使用すれば、特定のマスタ/スレーブ構成を作成して、各チャンネルの位相を割り当てることができます。必要なマスタ/スレーブの組み合わせは、EEPROMから設定するか、表11に概要を示す外部設定レジスタから設定することも可能です。位相は、SYNCの立下がりエッジと、そのチャンネルのPWMラッチを設定する内部クロック・エッジ間の関係を指定します。PWM制御ピンには新たに小さい伝搬遅延が加わります。

動作

PWMの位相関係と周波数は互いに独立しており、様々なアプリケーション・オプションが得られます。また、複数のLTC3888-1を同期してPolyPhase配列を実現することができます。2つのLTC3888-1デバイスを組み合わせれば、360/n度の理想的な位相間隔を維持しながら位相数を増やすことができます。ここで、nは出力電圧レールを駆動する位相の数です。詳細については[アプリケーション情報](#)のセクションを参照してください。

PolyPhase 負荷分担

複数のLTC3888-1デバイスを組み合わせれば、必要なピン設定を行うことによって、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。この場合は、負荷を分担しているすべてのデバイスのSHARE_CLKピンとSYNCピンをまとめてバスに接続する必要があります。SYNCピンを接続すると、複数のPWMコントローラが互いに同期されます。SHARE_CLKピンをまとめてバスに接続すれば、位相を同期させて起動できます。前述のパワーアップと初期化のセクション参照してください。すべての起動条件が満たされていることを確認した最後のデバイスが、すべての位相の電源シーケンシングの開始を制御します。

大きなPolyPhaseアプリケーションでは、各チャンネルのV_{OUT}検出が共有されていれば、複数のLTC3888-1エラー・アンプの出力(I_{TH}ピン)をまとめて接続することができます。MFR_PWM_MODE_LTC3888-1のビット4を使って1つを除く他のマスタ位相をスレーブとして定義し直すことにより、マスタ位相が1つだけのエラー・アンプを電圧制御用に指定することも可能です。様々なPolyPhase設計を正しく構成するための詳細を、[アプリケーション情報](#)のセクションに示します。

電圧制御ループ補償

LTC3888-1は、そのエラー・アンプにオペレーショナル・トランスコンダクタンス・アンプ(OTA)アーキテクチャを使用しているため、電圧制御ループの安定化にはタイプII補償が最も一般的に使われます。LTC3888-1は、PWMの設計と動作に柔軟性を持たせて、ハードウェア変更を追加することなく広い出力容量範囲にわたって最適な過渡動作を備えたPWMを実現できるように、いくつかのプログラマブルな機能を備えています。

MFR_PWM_COMPのビット[4:0]は、1次補償容量に対して支配的なゼロを設定するために使用できる内部抵抗を調整します。この抵抗は、I_{TH}ピンとI_{THR}ピンの間に現れます。

エラー・アンプ自体のトランスコンダクタンスも、MFR_PWM_COMPのビット[7:5]を使って調整できます。

これらのパラメータは両方ともデバイスの動作中に変更でき、補償設定をリアルタイムで評価することを可能にします。ループ補償に関する詳細については、[アプリケーション情報](#)のセクションを参照してください。

負荷ステップ・エミュレーション

基本的なアセンブリの完全性、PWMレギュレータ・ループの応答、および受動部品の経年劣化や熱劣化は、負荷電流の過渡応答を分析することによって適切に評価することができます。LTC3888-1は柔軟な負荷ステップ・エミュレーション機能を備えており、レギュレータ出力に大きなレギュレーション負荷電流パルスを実際に生成して使用することなく、現場で過渡応答評価を行うことができます。これらの機能は、設計、デバッグ、プロトタイプング、予防メンテナンスなど、製品ライフ・サイクルの各段階で利用できます。

負荷ステップ・エミュレーションはMFR_LOAD_EMULATIONによって制御されます。各マスタ・チャンネルに関連付けられたすべての位相は、既知の振幅の負荷ステップをエミュレートするように設定できます(ビット[1:0])。このコマンドのビット2は、エミュレートされた負荷を連続的な増加として適用するか、100 μ sパルスとして適用するかを決定します。PMBusコマンドからのデータを内部で使用するのは非同期イベントなので、必要に応じ、コマンドのビット3によってPGOOD出力の目的を変更し、エミュレートされた負荷ステップが実際に開始された時点でトリガを行うようにすることができます。

入力電源のモニタ

LTC3888-1はV_{IN}ピンで入力電源電圧を検出します。V_{IN}の低電圧、過電圧、および有効なオン/オフ・レベルを設定することができます。入力電源閾値設定の詳細については、PMBusコマンドの詳細のセクションを参照してください。更に、遠隔測定ADCがGND基準でV_{IN}をモニタします。変換結果はREAD_VINによって返されます。

動作

出力電圧の検出とモニタ

どちらのオンチップ電圧制御ループでも、 $V_{SENSE\pm}$ ピンを使って負荷電圧の差動検出をリモートで行うことができます。DAOUT0/1出力は、検出されたこの差分をユニティ・ゲイン・バッファで処理してパッケージのGND基準で示します。これらの出力は、必要な出力電圧を設定する V_{FB} を得るために、GNDとの間に置いた抵抗分圧器を駆動するのに適しています。

V_{OUT} スーパーバイザのUVおよびOVフォルト制限値は、EEPROMまたはPMBusコマンドによって設定されます。出荷時のEEPROMは、スーパーバイザの制限値とマージンを V_{FB} のパーセンテージとして設定しますが、これは結果的に V_{OUT} のパーセンテージとして設定することになります。これらをPMBusコマンドによって変更した場合は、絶対電圧で指定されます。

また、遠隔測定ADCは完全差動であり、レギュレーションされた出力電圧の測定を $V_{SENSE\pm}$ で行います。変換結果はREAD_VOUTによって返されます。

出力電流の検出とモニタ

LTC3888-1のすべてのPWMチャンネルは、そのチャンネルが制御するパワー段から出力電流モニタ信号を受け取ります。アナログ・デバイス独自の入力インターフェースは、この情報を使ってその位相の出力パルス幅を制御します。あるチャンネルの I_{SENSE} ピンがLTC3888-1のモニタADCの差動入力に対してマルチプレクスされている場合、それらのピンはIREFを負の入力として使用します。これらのADCチャンネルの差動入力範囲はおおよそ $\pm 400\text{mVdc}$ です。内部ADCのアンチエイリアシング・フィルタと変換レートは、IREFを基準とする I_{SENSE} 入力電圧の平均指示値を生成します。結果として得られる値は、READ_IOUT PMBusコマンドによって返されます。ラウンドロビン遅延を減らすために、MFR_PWM_CONFIG_LTC3888-1のビット6は、ADCが8チャンネルすべての I_{SENSE} を変換するか、2つのマスタ・チャンネルだけを変換するかを決定します。 I_{SENSE0} と I_{SENSE1} だけをモニタする場合、残り6つのチャンネルのIOUTの結果は0Aに設定されます。READ_IOUTは2つのマスタ・チャンネルの指示値を返し、MFR_TOTAL_IOUTは各マスタ・チャンネルに割り当てられた内部位相のすべての出力電流の合計を、MFR_READ_ALL_IOUTはブロック読出しフォーマットを使って個々の位相の出力電流を返します。

温度検出

外部温度は最新式のパワー段によってモニタできます。これは通常、各レールの最も高い指示値のワイヤードORアナログ・バスで示され、内部温度の最も高いデバイスがバス電圧を設定します。内部ADCは、これらの温度入力を電圧または電流チャンネルの1/3のレートで変換し、それらの結果はREAD_TEMPERATURE_1によって返されます。READ_TEMPERATURE_2は、オンチップ・ダイオードを使って正確な ΔV_{BE} の測定と計算を行い、LTC3888-1の内部ジャンクション温度を返します。

抵抗設定ピン

6本の入力ピンを使い、各ピンとGNDの間に選択した1%抵抗を接続して、重要な動作パラメータを設定することができます。RSETは、残り5本のピンの正しいバイアス・レベルを設定します。GNDの間には $18.7\text{k}\Omega$ の抵抗を置く必要があります。残りのRCONFIGピンは、ASEL0、ASEL1、ILIM0_CFG、ILIM1_CFG、PWM_CFGです。これら5本のピンのいずれかが未接続になっている場合は、対応するEEPROMコマンドに保存されている値が使われます。抵抗設定ピンの測定は、パワーアップ時とRESTORE_USER_ALLまたはMFR_RESETの実行時にだけ行われます。MFR_CONFIG_ALLのビット6がEEPROM内に設定されている場合は、ASEL0とASEL1を除くすべての抵抗設定ピンが無視されます。PMBus仕様に従い、ピンによって設定されたすべてのパラメータは、デジタル・インターフェースからのコマンドによっていつでも上書きすることができます。

ASEL0/1ピンの設定をアプリケーション情報のセクション、表12に示します。これらのピンを使用すれば、LTC3888-1のデバイス・アドレス全体を選択することができます。ASEL0は、接続されていない場合を除いて、常にLTC3888-1デバイス・アドレスの下位4ビットを設定します。ASEL1は、上位3ビットを設定するために使用できます。これらのアドレス部分は、いずれもEEPROMのMFR_ADDRESSの値から読み出すことも可能です。両方のピンが未接続になっている場合は、EEPROMに保存されている7ビットのMFR_ADDRESS値を使ってデバイス・アドレスが決定されます。LTC3888-1は、常に7ビットのグローバル・アドレス $0x5A$ と $0x5B$ にตอบสนองします。MFR_ADDRESSは、これらの値や $0x7C$ には設定しないでください。

動作

ILIM0_CFGピンとILIM1_CFGピンの設定を[アプリケーション情報のセクション](#)、[表 10](#)に示します。これらのピンは、関係する各レールについて、位相ごとの出力電流制限値を選択します。

PWM_CFGピンの設定をアプリケーションの[表 11](#)に示します。このピンは、マスタ/スレーブ設定と、内部発振器のスイッチング周波数を選択します。

CRC 機能付き内部EEPROM

LTC3888-1は、ユーザ構成設定とフォルト・ログ情報の保存用に誤り訂正符号(ECC)機能付きのEEPROMを内蔵しています。ユーザ空間およびフォルト・ログ・ページに関するEEPROMの書換え回数とデータ保持期間は、[絶対最大定格と電気的特性](#)の表に示されています。

オンボードEEPROM全体の完全性は、パワーオン・リセット後やRESTORE_USER_ALLの実行後など、メモリのデータを読み込むごとにCRCの計算によってチェックされます。CRCエラーが発生した場合は、STATUS_BYTEおよびSTATUS_WORDのCMLビットと、STATUS_MFR_SPECIFICのEEPROM CRC Errorビットがセットされて、ALERTピン、SHARE_CLKピン、および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で応答しますが、このアドレスは無効なCRCが検出されるとアクティブになります。デバイスは、そのデバイスに特別に割り当てられたアドレスでは応答しなくなりますが、グローバル・アドレス0x5Aと0x5Bでは応答します。ただし、CRCの問題から回復させるためにこれらのグローバル・アドレスを使用することは推奨しません。無効なCRCをレポートしているデバイスに関連するすべての電源レールは、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。

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。内部ダイ温度が130°Cを超えると、RESTORE_USER_ALLとMFR_RESETを除くすべてのEEPROM動作がディスエーブルされます。完全なEEPROM動作は、ダイ温度が125°C未満に下がるまで再イネーブルされません。動作温度の上昇によるデータ保持性能の低下を予測する式については、[アプリケーション情報のセクション](#)を参照してください。

LTC3888-1はEEPROMのバルク・プログラミングもサポートしていますが、これを含め、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・デバイスズへお問い合わせください。

フォルト検出

LTC3888-1は、様々なフォルトや警告を検出、レポート、処理するためのメカニズムを備えています。フォルトまたは警告の検出機能には以下が含まれています。

- 入力低電圧/過電圧
- パワー段のUVまたはフォルト
- 出力低電圧/過電圧
- 出力過電流
- 外部過熱
- 内部過熱
- CMLフォルト(通信、メモリ、またはロジック)
- 双方向FAULTピンを介した外部フォルト検出

レポート機能については、ステータス・コマンド(レジスタ)およびALERTピン機能に関する以下のセクションで説明します。フォルト処理メカニズムには、常時行われるハードワイヤードの低レベルPWM安全性応答と、より高レベルのプログラマブル・イベント管理が含まれます。どちらのタイプについても以下のセクションで説明します。

入力電源フォルト

入力低電圧および過電圧制限値は、マルチプレクス・モニタADCの変換から決定されます。したがって、入力UV/OV応答はADCの代表的な変換サイクル(数十ミリ秒)によって必然的にデグリッチされます。入力電源フォルトに対するハードワイヤードの低レベルPWM応答はありません。

パワー段フォルトに対するハードワイヤードPWM応答

パワー段フォルトは、LTC3888-1のTSNSピンに接続された共有TEMP/FAULTバス上でモニタされます。このバスの電圧が、通常の動作温度範囲で予想される電圧を超えると、パワー段フォルト状態が検出されます。レポートされる具体的なフォルトは、パワー段のメーカーによって決定されます。パワー段フォルトが検出されると、マスタ・チャンネルと、それに関連するスレーブ・チャンネルはすべてオフにするよう命令されます。この状態はLTC3888-1のステータス・レジスタで示される他、オプションでALERTピンでも示されます。オフ状態は、デバイスのリセットや電源を一度切ってから入れ直す操作を含め、RUNピンまたはOPERATIONコマンドに

動作

よってレールが一度オフされて再びオンされるまでラッチされます。

パワー一段UVに対するハードワイヤードPWM応答

パワー段には、共有TEMP/FAULTバス上での入力電源低電圧状態をレポートできるものもあります。レポート機能をサポートしている場合、低電圧状態は、通常動作温度範囲で予想される電圧未満にバス電圧を下げることによって示されます。MFR_PWM_MODE_LTC3888-1のビット0によってレポート機能がイネーブルされている場合、LTC3888-1はこのUV指示を行います。

パワー段が共有TEMP/FAULTバス上のUV指示機能を内蔵していない場合は、ページ0のMFR_CHAN_CONFIGのビット5を設定することによって、追加的なパワー段低電圧検出を行うようLTC3888-1をプログラムすることができます。この場合、両方のマスタ・チャンネル用の外部パワー段のFETゲート駆動電源電圧(VDR)をモニタするために、ピン8がVDR_MON入力に変換されます。通常は、必要なUV閾値を設定するための外付け抵抗分圧器が必要です。この場合、TSNS1は、どちらのページのMFR_PWM_MODE_LTC3888-1のビット0の状態にも関係なく、UV検出をディスエーブルした両マスタ・チャンネルの共有TEMP/FAULTバス用接続ピンとして機能します。

TSNSベースのUV検出またはVDR_MONをイネーブルした場合は、パワー段のUV状態が、MFR_PADS_LTC3888-1のビット[15:14]で継続的に示されます。更に、PWM動作時にパワー段UV状態が発生した場合や、PWMマスタへの起動コマンド送信時にUV状態が存在する場合は、そのマスタ・チャンネルと対応スレーブ・チャンネルがすべてオフにラッチされます。この状態はLTC3888-1のステータス・レジスタで示される他、オプションでALERTピンでも示されます。オフ状態は、デバイスのリセットや電源を一度切ってから入れ直す操作を含め、RUNピンまたはOPERATIONコマンドによってレールが一度オフされて再びオンされるまでラッチされます。

両方のマスタ・チャンネルでパワー段UV指示機能がイネーブルされていて、それらのチャンネルがRUNピンまたはOPERATIONコマンドによって順番にオンされる場合は、MFR_CONFIG_ALLのビット0が設定されていると、最初にオンにされるチャンネル上で指示されたフォルトがクリアされます。ただし、上に述べたように両方のチャンネルがオフにラッチされます。

V_{OUT}フォルトに対するハードワイヤードPWM応答

V_{OUT}の低電圧(UV)フォルトと過電圧(OV)フォルトは、スーパーバイザ・コンパレータによって検出されます。出力過

電圧コンパレータは、出力で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。出力OVフォルトが検出されると、その状態はLTC3888-1のステータス・レジスタで示される他、オプションでALERTピンでも示されます。MFR_PWM_CONFIG_LTC3888-1のビット4がセットされていて、対応するMFR_PWM_MODE_LTC3888-1コマンドのビット4がクリアの場合を除き、マスタ・チャンネルとそれに対応するスレーブ・チャンネルすべてが、それらのチャンネルをオフにするよう命令されます。この特別なケースで、OVレールのマスタ位相は、OV状態が検出されている限りローを保つようそのパワー段に命令します。以上に関わらず、オフ状態は、フォルトがクリアされた後にレールが一度オフされて再びオンに戻されるまでラッチされます。

UVフォルトは、そのチャンネルをオフにするよう命令されるとマスクされます。あるいは、以下の条件がすべて満たされるまでマスクされます。

- TON_DELAYが経過した
- ソフトスタート・ランプが完了した
- TON_MAX_FAULT_LIMITに達した
- IOUT_OC_FAULT_LIMITに達していない
- ソフトオフが進行していない

LTC3888-1は、出力UVフォルトに対するハードワイヤードPWM応答を行いません。

LTC3888-1は、マルチプレクス・モニタADC変換から決定される、オプションの出力UVおよびOV警告をサポートしています。LTC3888-1は、出力UVまたはOV警告に対するハードワイヤードPWM応答を行いません。

パワー・グッド表示

LTC3888-1のマスタ位相は、選択されたUVおよびOVフォルト制限値に基づき、PGOODピンとSTATUS_WORDでパワー・グッドを示します。位相の実行がイネーブルされていて、なおかつV_{OUT}がUVフォルト制限値とOVフォルト制限値の間であれば、パワー・グッドが示されます。

I_{OUT}フォルトに対するハードワイヤードPWM応答

LTC3888-1は、I_{TH}ピンによる命令に従って出力電流をモニタします。モニタにあたってはパワー段の電流モニタ・ゲインが考慮され、このゲインはPMBusコマンドまたはEEPROMの値によって与えられます。

動作

各マスタ・チャンネルの I_{TH} 電圧が最大許容値に達すると、そのチャンネルのスーパーバイザ・コンパレータによって出力過電流(OC)フォルト状態が検出されます。詳細についてはIOUT_OC_FAULT_LIMITを参照してください。OCフォルト状態が検出されると、コントローラが I_{TH} をOC値にクランプします。

出力OC警告は、マルチプレクス・モニタADCの変換から決定されます。LTC3888-1は、出力OC警告に対するハードワイヤードPWM応答を行いません。

内部温度フォルトに対するハードワイヤードPWM応答

モニタADCが測定に使用する内部温度センサーは、EEPROMおよびその他のICを損傷から保護します。ダイ温度が 130°C を超えると、LTC3888-1はRESTORE_USER_ALLとMFR_RESETを除くすべてのEEPROM関連コマンドにNACKを返し、無効なコマンドやサポートされていないコマンドに対してはCMLフォルトを返します。ダイ温度が 125°C 未満に下がると、再び通常のEEPROMアクセスがイネーブルされます。 160°C を超えると、デバイスは、ダイ温度が 150°C 未満になるまですべてのPWM出力をシャットダウンします。内部温度フォルト制限値を調整することはできません。 85°C を超えるダイ温度では、EEPROMへの書込みを行わないことを強く推奨します。内部EEPROMの使用に関するその他の重要な温度制限値については、**絶対最大定格**を参照してください。

外部温度フォルト

外部共有(ワイヤードOR)パワー段の温度バスも内蔵ADCによってモニタできます。検出された外部温度フォルトまたは警告に対するハードワイヤードPWM応答はありません。

タイミング・フォルト

タイミング・フォルトに対するハードワイヤードPWM応答はありません。

TON_MAX_FAULT_LIMITは、起動時に V_{OUT} 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タイマー(分解能 $10\mu\text{s}$)は、TON_DELAYが経過してソフトスタート・シーケンスが開始されると起動します。規定時間が経過しても $V_{OUT_UV_FAULT_LIMIT}$ に達しない場合、またはOCフォルトが解消されない場合のフォルト応答は、TON_MAX_FAULT_RESPONSEの値によって決まります。

内蔵ウォッチドッグ回路は、SHARE_CLKがローになっている時間が $64\mu\text{s}$ を超えたかどうかを検出します。その後、デバイスはSHARE_CLKを 120ms にわたって能動的にローに保ち、この共有制御回路に接続されたすべてのデバイスが最小限のRETRY_DELAYイベントに従うようにします。LTC3888-1は、MFR_COMMONのSHARE_CLK_LOWビットをセットしてこのフォルト状態を示します。

外部フォルト

FAULTピンを通じてデバイスに伝搬される外部フォルトに対するハードウェア・レベルの応答はありません。

より高レベルのフォルト処理

以下のPMBusコマンドの詳細セクションに示すように、より高いレベルの入力および出力フォルト・イベント処理(応答)をプログラムすることができます。フォルトが検出された場合、FAULT出力の関連アサーションを含め、これらの高レベル応答を実行するまでには、数十マイクロ秒の時間が必要になることがあります。これら通常の処理遅延に加えて、特定のフォルト応答にプログラムされた時間フィルタリングもあります。LTC3888-1は多くのフォルトに対し、無視、自律的回復(ヒックアップ)、またはラッチ・オフという3つの方法で応答することができます。フォルトを無視するようにプログラムした場合、デバイスは、前述したハードウェア・レベル応答以上の追加的な処置は行いません。

自律的回復では、MFR_RETRY_DELAYで指定された時間の経過後にフォルト状態が存在しない場合は、新しいソフトスタートが試みられます。MFR_RETRY_DELAYは、 120ms ～ 83ms の範囲で 1ms 刻みに設定することができます。フォルトが解消されない場合、コントローラはMFR_RETRY_DELAYによって指定される間隔で再試行を続けます。これは、電源の急なオン/オフの繰り返しによる外付けレギュレータ部品の損傷を防止します。

ラッチ・オフ・フォルト応答の再試行は行われません。ラッチ・オフ状態では、負荷へのエネルギー伝達をできるだけ速やかに遮断するために、該当する外付けパワー段が直ちにディスエーブルされます。出力は、チャンネルをオフしてから再度オンにするよう命令されるか、デバイスの電源を一度オフにしてオンにし直すまで、ディスエーブルのままになります。PWMチャンネルをオフ/オンするよう命令するには、そのチャンネルのプログラム構成に応じて、ソフトウェアやハードウェアの介入が必要になることがあります。

動作

該当チャンネルをラッチ・オフ状態から再起動するには、制御側の任意の外部アプリケーション回路によってRUNピンを解放する必要があります。所定のレールのRUNピン電圧が上昇すると、対応する内部フォルト表示が自動的にクリアされます。LTC3888-1は、一方のマスタ・チャンネルの実行状態だけに基づいて、両方のチャンネルのフォルトをクリアするようにプログラムすることも可能です。MFR_CONFIG_ALL コマンドを参照してください。CLEAR_FAULTS を使用すれば、PWMチャンネルの状態に関係なく、任意の時点ですべてのフォルト・ビットをクリアすることもできます。

一部の内部生成フォルトをより高いレベルで処理する場合は、デジタル的にデグリッチすることができます。FAULTピンを使ってデバイス内に伝搬された外部フォルトは、デグリッチされません。FAULTピンのI/Oについては、以下のセクションを参照してください。

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LTC3888-1の内部ステータス・レジスタの概要を図2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ます。図に示すように、STATUS_BYTEとSTATUS_WORDは他のステータス・レジスタの内容も示します。具体的な情報については、PMBusコマンドの詳細を参照してください。

STATUS_BYTEのNONE OF THE ABOVE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。

図2は、ステータス・ビットのうちのどれがセットされてマスクされないと、ALERTがアサートされるのかも示しています。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、RESTORE_USER_ALL、または MFR_RESET コマンドが発行される
- 関連するステータス・ビットに1が書き込まれる
- フォルト発生チャンネルのオフが正常に実行され、更にオンへの復帰が実行される
- LTC3888-1がPMBusアラート応答アドレス(ARA)時にそのアドレスを正常に送信する
- デバイスの電源を一度オフにして再びオンにする

いくつかの例外を除き、SMBALERT_MASK コマンドを使用すれば、LTC3888-1がこれらのレジスタを使いビット単位でALERTをアサートするのを防ぐことができます。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がマスクされません。

STATUS_BYTEにBUSYビットがある場合もALERTがアサートされます。これはマスクできません。このビットは、内部動作とPMBus通信間の相互動作の結果としてセットすることができます。このフォルトが生じるのは、1つまたは両方のチャンネルがイネーブルされていると安全に実行できないコマンドを受け取った場合です。アプリケーション情報で説明したように、BUSY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。

既に述べたように、MFR_COMMONとMFR_PADS_LTC3888-1に含まれているステータス情報を使ってSTATUS_BYTEまたはSTATUS_WORDの内容を明らかにすることができますが、これらのレジスタの内容はALERTピンの状態には影響せず、STATUS_BYTEやSTATUS_WORD内のビットにも直接影響しないことがあります。

FAULTピンのI/O

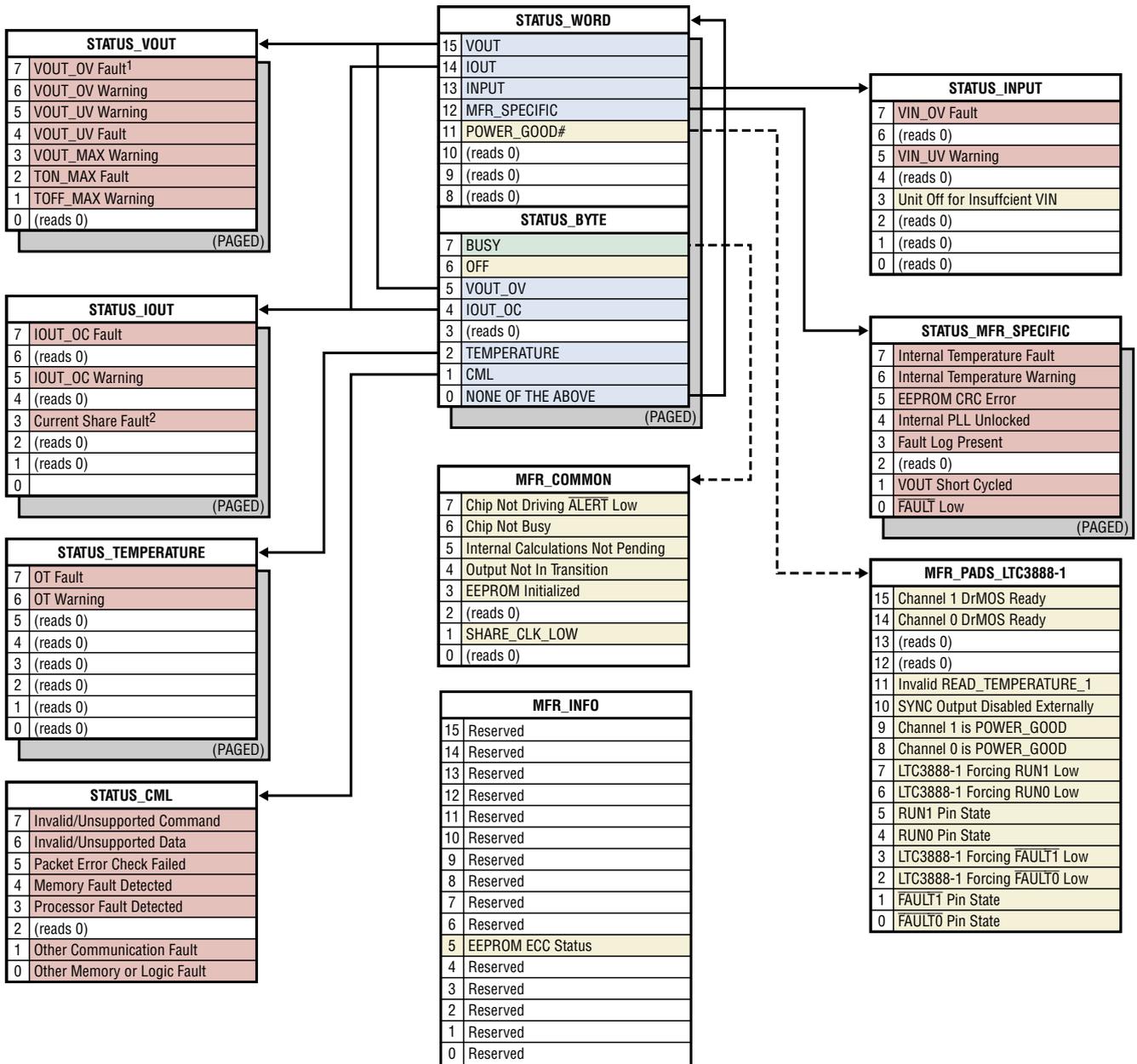
LTC3888-1では、MFR_FAULT_PROPAGATE コマンドを使って様々なフォルト・インジケータを各FAULTピンに割り当てることができます。

FAULTピンを互いに接続すれば、チャンネル間でフォルトの依存関係を構築して伝達できるようになります。内部フォルトが発生した場合は、バスで接続されたFAULTピンがローになるように1つ以上のチャンネルが設定されます。続いて、バスで接続されたFAULTピンがローになるとシャットダウンするようにすべてのチャンネルが設定されます(MFR_FAULT_RESPONSEを0xC0に設定)。フォルト発生チャンネルに設定された応答がラッチ・オフである場合、FAULTピンは、次のいずれかのイベントが発生するまでローのままになります。

- CLEAR_FAULTS、RESTORE_USER_ALL、または MFR_RESET コマンドが発行される
- 関連するステータス・ビットに1が書き込まれる
- フォルト発生チャンネルのオフが正常に実行され、更にオンへの復帰が実行される
- デバイスの電源を一度オフにして再びオンにする

自律的なグループ再試行の場合、フォルト発生チャンネルは、再試行間隔の経過後にFAULTピンを解放するように設定されます。これは、当初のフォルトが解消されたことを前提

動作



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

¹Set by VOUT_OV, DrMOS (power stage) fault or DrMOS UVLO during RUN
²Set only by detected power stage fault

図2. LTC3888-1のステータス・レジスタの概要

動作

としています。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。

上に述べたように、 $\overline{\text{FAULT}}$ ピンは、すぐに応答する必要のあるコントローラ外部のフォルトを検出するための入力として利用できます。 $\overline{\text{FAULT}}$ ピンを使ってデバイス内に伝搬された外部フォルトは、デグリッチされません。

その他の詳細については、MFR_FAULT_PROPAGATEの説明を参照してください。

フォルト・ログ動作

LTC3888-1は、遠隔測定結果を記録できるフォルト・ログ機能を備えています。フォルト・ログの概念的図を図3に示します。通常動作時は、MFR_CONFIG_ALLのビット7によってログ記録がイネーブルされている場合、プライマリ・ステータス・レジスタの内容とすべてのADC測定値(ピーク電圧および電流出力を含む)が、継続的に更新されるRAMバッファに保存されます。その動作はチャート・レコーダと同様です。どちらかのマスタ・チャンネルをディスエーブルするようなフォルトが発生すると内部メモリへの記録が停止し(ロックされる)、MFR_FAULT_LOGコマンドを介してRAMのフォルト・ログ情報を使用できるようになります。ロックされたRAMのフォルト・ログの内容の一部もEEPROMにコピーされ、不揮発性ストレージとして保存されます。下に示すフォルト・ログの詳細を参照してください。

EEPROMへのフォルト・ログの書込みは85°Cを超えるダイ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を超えた場合、EEPROMへのすべてのフォルト・ログ保存は、温度が125°C未満に下がるまで停止されます。

一度作成されたフォルト・ログに、その後のフォルト・イベントを上書きすることはできません。これは、そのログが部分的なものであっても同じです。既存のログを消去するにはMFR_FAULT_LOG_CLEARコマンドを実行して、デバイスに新しいログを作成できるようにする必要があります。

$\overline{\text{FAULT}}$ ピンを通じてデバイス内に伝搬されるフォルトは、そのフォルトがPWM動作にどのような影響をもたらすかに関わらず、フォルト・ログ・イベントをトリガしません。不要なフォルト・ログが生成されるのを防ぐために、フォルト・ログの生成源であるフォルトは、ログの消去前に完全に解消しておく必要があります。

LTC3888-1は起動時にEEPROM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。ログが存在する場合は、フォルト・ログが存在することを示すビット(Fault Log Present)がSTATUS_MFR_SPECIFICにセットされます。更に、メモリ・フォルトが検出されたことを示すビット(Memory Fault

Detected)がSTATUS_CMLにセットされている場合、保存されているフォルト・ログは部分的なものです。1つ以上のイベント記録のデータが、不完全か正しくない可能性があります。

フォルト・ログの詳細

MFR_FAULT_LOGコマンドは、147バイトの固定長を持つブロック読み出しプロトコルを使用します。フォルト・ログが存在しない場合、LTC3888-1はブロック・バイト・カウント0を返します。

フォルト・ログの内容を表1～表4に示します。データ・フォーマットの説明については表6を参照してください。すべてのマルチプレクス・モニタADC入力に関連ステータスを通じて、各イベント・レコードは1つの完全な変換サイクルを表します。フォルト・ログが生成されると、現在のADC入力サイクルは終了し、フォルト発生時点で変換中だったADC入力はロ

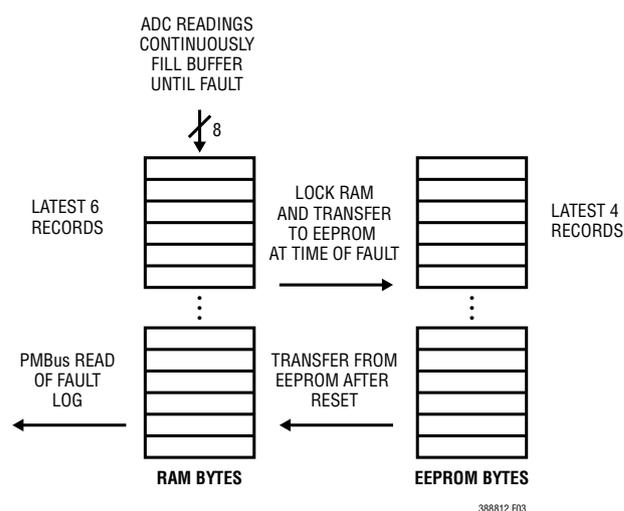


図3. フォルト・ログの概念的図

グ・ヘッダに記入されます。図3では、6個の直近イベントが発生時系列とは逆の順番で内部RAMに記録されています。フォルト・ログの作成後に入力電源を一度オフにしてから再びオンにしたり、デバイスをリセットしたりした場合は、EEPROMからRAMの記録が復元されますが、使用可能なストレージの関係から、EEPROMには直近4個のイベントしか保存されていません。

動作

表1. LTC3888-1のフォルト・ログの内容

レコード・タイプ	開始バイト	終了バイト	コメント
Header Information	0	26	表2を参照。
Fault Event Record	27	46	このイベント・レコードの任意の位置でフォルトが発生した可能性があります。表2のバイト4と、表3および表4のすべてを参照してください。
Event Record N-1	47	66	フォルトが検出される前に完了した最後の周期的データ読み出し
Event Record N-2	67	86	より古いデータレコード...
Event Record N-3	87	106	
Event Record N-4	107	126	
Event Record N-5	127	146	

表2. フォルト・ログのヘッダ情報

レコード	ビット	フォーマット	ブロック バイト数	詳細
Fault Log Preface	[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。ワード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	
Fault Source	[7:0]	Reg	4	表3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内部温度センサー
	[7:0]		26	

動作

表3. フォルト発生源の値

FAULT SOURCE VALUE	CAUSE OF FAULT LOG	CHANNEL
0x00	TON_MAX	0
0x01	VOUT_OV	
0x02	VOUT_UV	
0x03	IOUT_OC	
0x05	Over Temperature	
0x07	VIN_OV	
0x0A	Internal Temperature	
0x10	TON_MAX	
0x11	VOUT_OV	
0x12	VOUT_UV	
0x13	IOUT_OC	1
0x15	Over Temperature	
0x17	VIN_OV	
0x1A	Internal Temperature	
0xFF	MFR_FAULT_LOG_STORE	

表4. フォルト・ログのイベント・レコード

DATA	BITS	FORMAT	RECORD BYTE INDEX
READ_VOUT (PAGE 0)	[15:8]	L16	0
	[7:0]		1
READ_VOUT (PAGE 1)	[15:8]	L16	2
	[7:0]		3
MFR_TOTAL_IOUT (PAGE 0)	[15:8]	L11	4
	[7:0]		5
MFR_TOTAL_IOUT (PAGE 1)	[15:8]	L11	6
	[7:0]		7
READ_VIN	[15:8]	L11	8
	[7:0]		9
(Not used)	[15:8]	L11	10
	[7:0]		11
STATUS_VOUT (PAGE 0)	[7:0]	Reg	12
STATUS_VOUT (PAGE 1)	[7:0]	Reg	13
STATUS_WORD (PAGE 0)	[15:8]	Reg	14
	[7:0]		15
STATUS_WORD (PAGE 1)	[15:8]	Reg	16
	[7:0]		17
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 0)	[7:0]	Reg	18
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 1)	[7:0]	Reg	19

動作

出荷時のデフォルト動作

LTC3888-1は、カスタム・プログラミングが要求されていない限り、その不揮発性メモリにデフォルト設定値を格納した状態で工場から出荷されます。これらのコマンド値は、デバイスが初期化されると揮発性RAMに読み込まれます。PMBusコマンドを受け取る前の在庫状態のLTC3888-1は、工場出荷時のデフォルト・モードで動作します。STORE_USER_ALLコマンドが実行されると、不揮発性メモリの内容は内部RAMのアクティブなコマンド値によって置き換えられ、工

場出荷時のデフォルトはこの値によって恒久的に上書きされます。すべての抵抗設定ピンを未接続のままにした場合に使われる、LTC3888-1の出荷時デフォルト動作設定の概要を表5に示します。これらのデフォルト値のうち、表に太字で記載されているパラメータ値は、設定抵抗を使ってプログラムできます。警告の制限値を表5に示します。これらの制限値を超えると、PMBusインターフェースを使用していない場合でも、ALERTピンがアサートされます。

表5. 出荷時デフォルト動作の概要

パラメータ*	デフォルト設定	単位
PMBus Address	チャンネル0へのすべての書込みがアドレス0x4Fで有効(PECなし)	-
Operation	RUNピン制御とソフトオフでOPERATIONをイネーブル	-
Input Voltage OFF Threshold	6.0	V
Input Voltage UV Warning Limit	6.3	V
Input Voltage ON Threshold	6.5	V
Input Voltage OV Fault Limit	15.5	V
Input Voltage OV Fault Response	ラッチ・オフ	-
Soft-Start Time	1.6(遅延なし)	ms
Maximum Start-Up Time (TMAX)	10	ms
TMAX Fault Response	350msごとに再試行	-
Output Voltage UV Fault Limit	公称V _{OUT} の-10%	-
Output Voltage UV Fault Response	350msごとに再試行	-
Output Voltage	外部抵抗分圧器によって設定 (V _{FB} = 400mV、V _{OUT} サーボをディスエーブル)	-
Output Voltage OV Fault Limit	公称V _{OUT} の10%	-
Output Voltage OV Fault Response	ラッチ・オフ	-
Shut Down	1.6msソフトオフ	-
Output Current Monitor Gain	5.0	mΩ
Output Current OC Warning/Fault Limits	20/29.75	A
Output Current OC Fault Response	無視	-
PWM Switching Frequency	500	kHz
Master/Slave Configuration	4+4(または8位相)	-
Internal Overtemperature Warning/Fault Limits	130/160	°C
Internal Overtemperature Responses	警告:EEPROMをディスエーブル、フォルト:PWMをディスエーブル	-
External Overtemperature Warning/Fault Limits	85/100	°C
External Overtemperature Fault Response	350msごとに再試行	-
FAULT	以下のフォルトに対してローをアサート:V _{OUT} UVまたはOV、V _{IN} OV、外部または内部OT、TON_MAX、または出力短絡サイクル	-
ALERT Masking	PLLロック喪失時と外部フォルト入力時にマスク	-

*太字の項目は外付けの設定抵抗を使って変更できます。

動作

シリアル・インターフェース

LTC3888-1は、10kHzから400kHzまでの任意の周波数で動作できるPMBus準拠のシリアル・インターフェースを備えています。LTC3888-1は、標準PMBusプロトコルを使用してホスト(マスタ)と双方向通信を行うバス・スレーブ・デバイスです。前述の**タイミング図**とこれに関連する**電気的特性**に示す表の項目が、SDAバス信号とSCLバス信号のタイミング関係を決定します。バスを使用していないときは、SDAとSCLがハイになっていなければなりません。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。

PMBusはSMBus規格を段階的に拡張してきたもので、2線式のI²Cインターフェースより高い信頼性を備えた動作を実現します。PMBusは、プロトコル層の追加により相互運用性を向上して再利用を促進したことに加えて、システム信頼性確保のためのバスのタイムアウト回復、データの完全性を確保なものにするオプションの**パケット・エラー検査(PEC)**、およびシステム・フォルト管理のための**周辺ハードウェア・アラート**をサポートしています。一般に、I²Cバス・マスタとして機能できるプログラマブル・デバイスは、ハードウェアのわずかな変更だけで(あるいはまったく変更することなく)PMBus管理用に設定することができます。ただし、すべてのI²Cコントローラが、PMBus読出しに必要な**反復起動(再起動)**をサポートしているわけではありません。

PMBusに適用されるSMBus規格の軽微な拡張および例外の説明については、PMBus Specification Part I Revision 1.2のParagraph 5(Transport)を参照してください。

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

また、LTC3888-1とPMBusシステムのインターフェース方法については、PMBus Power System Management Protocol Specification最新版のPart Iを参照してください。この仕様は<http://www.pmbus.org/specs.html>に掲載されています。

LTC3888-1は、SMBus規格とPMBus規格に規定されている以下の標準シリアル・インターフェース・プロトコルを使用します。

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

LTC3888-1では、いかなる状況下でもクイック・コマンドのPECは不要です。LTC3888-1は、PMBus Specification Part I, Section 5.2.3で要求される**グループ・コマンド・プロトコル(GCP)**もサポートしています。GCPは、1回の連続送信で複数のPMBusデバイスへコマンドを送信するために使用します。STATUS_BYTEコマンドなどのように、受信側デバイスがデータを使って応答する必要のあるコマンドとは組み合わせないでください。GCP使用の詳細については、PMBus Specification Part Iを参照してください。

LTC3888-1のすべてのメッセージ送信タイプは、**パケット・エラー検査**に対応しています。パケット・エラー検査については、後述するシリアル通信エラーのセクションで詳しく説明します。

これらのプロトコルを**図5～図21**に示します。**図4**はプロトコルに関する図の凡例です。すべてのデータ・パケットにすべてのプロトコル要素が含まれるわけではありません。例えば、すべてのパケットに**パケット・エラー・コード**を組み込む必要があるとは限りません。これらの図のフィールドの上に示した数は、そのフィールドのビット数を表しています。すべてのデータ伝送は、データ・フローの方向がその後続く送信中に何回変わる可能性があるかに関係なく、現在のバス・マスタによって開始されます。LTC3888-1がバス・マスタとして機能することはありません。

このデバイスは、信頼性の高いシステム通信を確保するための**ハンドシェイク機能**を内蔵しています。詳細については、**アプリケーション情報**に示すPMBus通信とコマンド処理のセクションを参照してください。

動作

- S START CONDITION
 - Sr REPEATED START CONDITION
 - Rd READ (BIT VALUE OF 1)
 - Wr WRITE (BIT VALUE OF 0)
 - A ACKNOWLEDGE (BIT SHOULD BE 0), OR
 - NA NOT ACKNOWLEDGE (BIT SHOULD BE 1)
 - P STOP CONDITION
 - PEC PACKET ERROR CODE
 - MASTER TO SLAVE
 - SLAVE TO MASTER
 - ... CONTINUATION OF PROTOCOL
- 388812 F04

図4. PMBus パケット・プロトコル図凡例



図5. クイック・コマンド・プロトコル

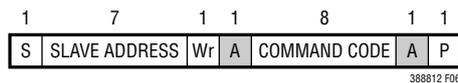


図6. バイト送信プロトコル

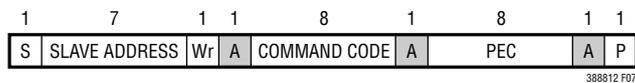


図7. PEC 付きバイト送信プロトコル

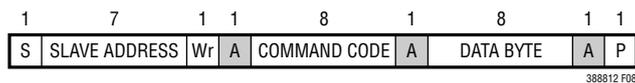


図8. バイト書き込みプロトコル

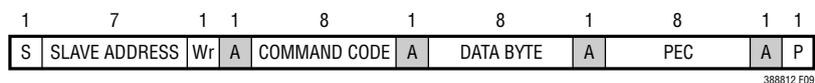


図9. PEC 付きバイト書き込みプロトコル

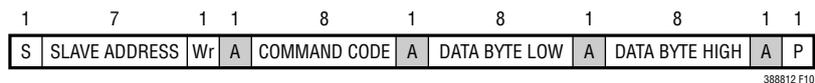


図10. ワード書き込みプロトコル

動作

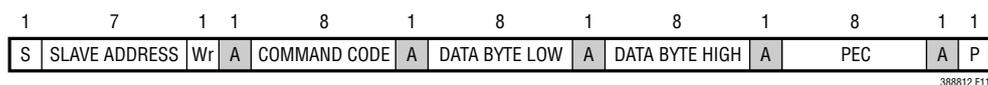


図 11. PEC 付きワード書き込みプロトコル

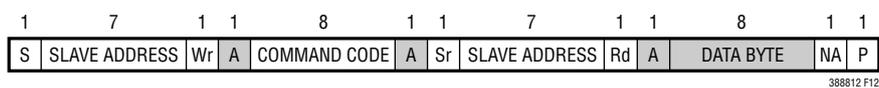


図 12. バイト読出しプロトコル

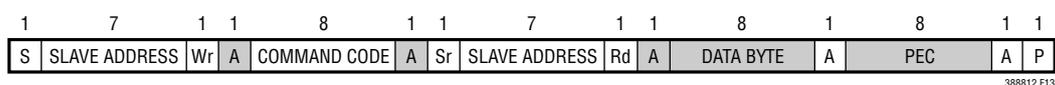


図 13. PEC 付きバイト読出しプロトコル



図 14. ワード読出しプロトコル

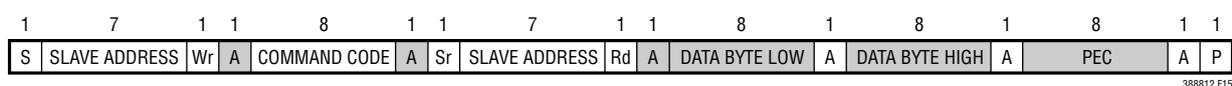


図 15. PEC 付きワード読出しプロトコル

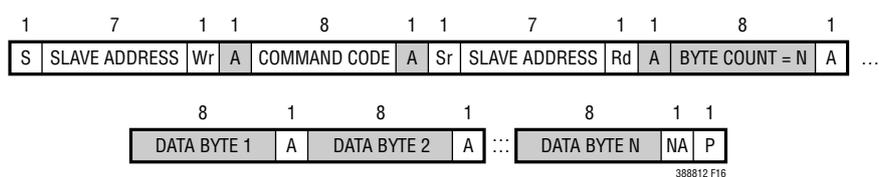


図 16. ブロック読出しプロトコル

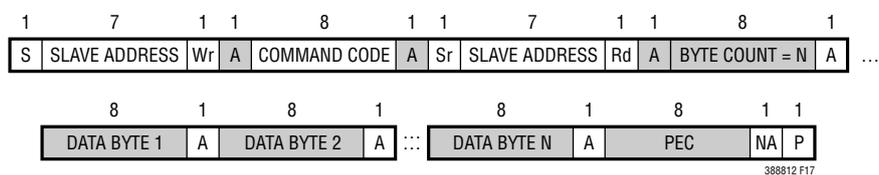


図 17. PEC 付きブロック読出しプロトコル

動作

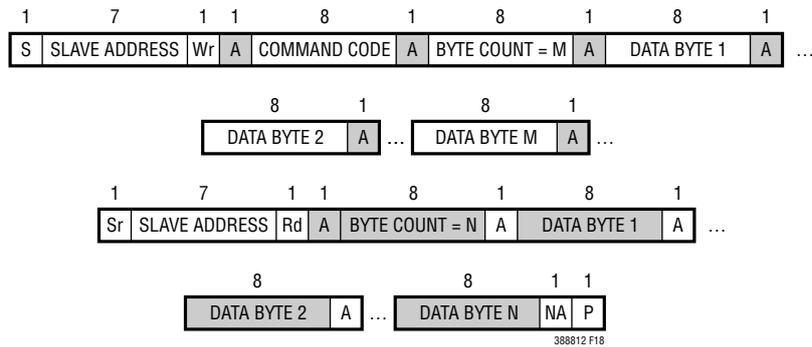


図 18. ブロック書き込み-ブロック読出しプロセス呼び出し

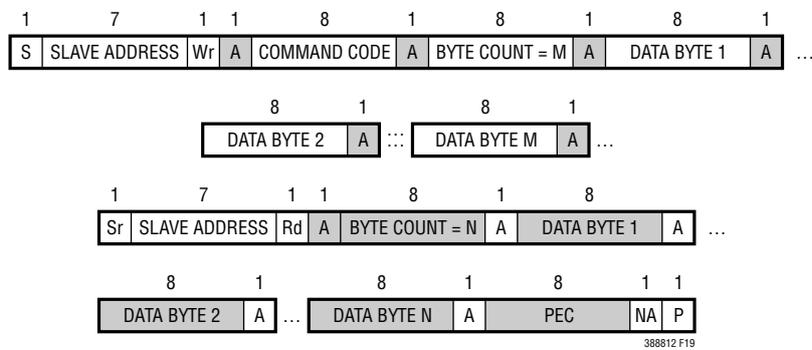


図 19. ブロック書き込み-PEC 付きブロック読出しプロセス呼び出し

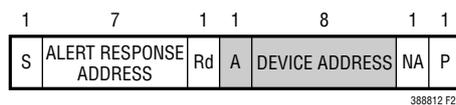


図 20. アラート応答アドレス・プロトコル

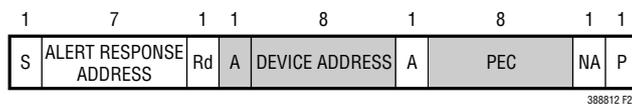


図 21. PEC 付きアラート応答アドレス・プロトコル

動作

シリアル・バスのアドレス指定

LTC3888-1は4種類のシリアル・バス・アドレス指定をサポートしています。

- グローバル・バスのアドレス指定
- 電源レールのアドレス指定
- 個々のデバイスのアドレス指定
- Page+ マスタ・チャンネルのアドレス指定

グローバル・アドレス指定は、バス・マスタがバス上のすべてのLTC3888-1デバイスと同時に通信する方法を提供します。LTC3888-1のグローバル・アドレス0x5Aと0x5Bは、変更することもディスエーブルすることもできません。アドレス0x5Aに送信されるコマンドは、PAGE コマンドが0xFFに設定された場合と同様に両方のマスタ・チャンネルに適用されます。グローバル・アドレス0x5Bはページ指定されるので、バス上にあるすべてのLTC3888-1デバイスについてチャンネルごとの制御が可能です。その他のタイプのアナログ・デバイセズ製デバイスは、これらのグローバル・アドレスの一方または両方で応答します。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。

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マスタ・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で必要になる可能性があるチャンネルの論理的グループ分けが可能です。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。

デバイス・アドレス指定は、LTC3888-1と通信するためにバス・マスタが使用する最も一般的な方法です。デバイス・アドレスの値は、ASEL0/ASEL1ピンの設定とMFR_ADDRESS コマンドの組み合わせによって決まります。抵抗設定ピンの詳細については前のセクションを参照してください。

個々のチャンネルのアドレスを直接指定すれば (Page+)、バス・マスタは、最初にPAGE コマンドを使用することなくLTC3888-1の特定PWM マスタ・チャンネルと直接通信できます。詳細についてはPAGE_PLUS コマンドを参照してください。

4種類のアドレス指定のどれを使用する場合でも、アドレス関連のバス競合を回避するために慎重なプランニングが必要です。グローバル・アドレスおよびレール・アドレスでの

LTC3888-1 デバイスとの通信は、コマンド書込み動作だけに限定してください。

シリアル・バスのタイムアウト

シリアル・インターフェースのハングアップを防ぐために、LTC3888-1にはタイムアウト機能が実装されています。データ・パケット・タイマーは、SLAVE ADDRESS 書込みバイト前の最初のSTART イベントで動作を開始し、STOPビットで終了します。パケットの送信は、タイマーが終了する前に完了していなければなりません。完了しない場合、LTC3888-1はバスをスリーステート化してすべてのメッセージ・データを無視します。データ・パケットは、SLAVE ADDRESS バイト、COMMAND CODE バイト、START バイトおよびSLAVE ADDRESS バイトの繰り返し (読出し動作の場合)、すべてのACKNOWLEDGE ビットとフロー制御ビット (R/W)、およびすべてのデータ・バイトで構成されます。

通常、パケット・タイマーは30msに設定されます。MFR_CONFIG_ALLのビット3をセットすると、この時間は255msに延長されます。LTC3888-1では、このビットの設定に関係なく、MFR_FAULT_LOG ブロック読出しのパケット送信時間を自動的に255msにすることができます。いかなる場合でも、タイムアウト時間がtTIMEOUTで指定された値 (最小25ms) より短くなることはありません。

LTC3888-1は、10kHz~400kHzのPMBus周波数範囲をサポートしています。

シリアル通信エラー

LTC3888-1は、オプションのPMBusパケット・エラー検査プロトコルをサポートしています。このプロトコルは、該当するメッセージ転送の最後にパケット・エラー・コード (PEC) を付加して、通信の信頼性を向上させます。PECは、最後のデータ・バイトを送信するバス・デバイスによって計算されるCRC-8エラー検査バイトです。実装の詳細についてはSMBus仕様1.2以降を参照してください。バス・マスタが要求している場合、LTC3888-1のすべての読出し動作は有効なPECを返します。MFR_CONFIG_ALL コマンドのビット2がセットされている場合は、ホストから有効なPECも受信されない限り、デバイスはバス書込み動作に応答しません。

コマンド書込み時にPECエラーが発生した場合、サポートされていないコマンドへアクセスしようとした場合、またはサポートしているコマンドに無効なデータを書き込んだ場合は、いずれもLTC3888-1がCMLフォルトを生成します。これに続いてSTATUS_BYTEおよび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ます。

PMBus コマンドの概要

PMBus コマンド

表7は、サポートしているPMBusコマンドとメーカー固有コマンドの一覧です。これらのコマンドに関する詳細は、PMBus Power System Management Protocol Specification Part II of the Revision 1.2で確認できます。できるだけこのマニュアルを参照してください。例外やメーカー固有の実装情報については、以下の表に詳細を示します。0x00から0xCFまでの標準PMBusコマンドでこの表にリストされていないものがある場合は、LTC3888-1ではサポートされていないことを示唆しています。0xD0から0xFFまでのコマンドで表7にリストされていないものがある場合は、いずれもメーカーによって予約されていることを示唆しています。LTC3888-1は、この表に記載されていないコマンドでも実行できる場合があります。また、これらのコマンドは予告なく変更されることがあります。表に記載されていないこれらのコマンドを読み出しても、デバイスの動作に悪影響が及ぶことはありません。サポートされていないコマンドや予約されているコマンドへの書込みはしないでください。CMLフォルトや、望ましくないデバイス動作を招くおそれがあります。

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LTC3888-1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

ジー応答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、[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セクションを参照してください。

アナログ・デバイセズは、デバイス・ファミリ間でのPMBusコマンドの互換性と機能的な統一性を確立することに努めてきましたが、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。コマンド名だけに基づいてデバイス間でのPMBusコマンドの互換性を判断することは避け、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コマンド機能の詳細な定義を確認するようにしてください。

データ・フォーマット

PMBusは特別な浮動小数点数形式をサポートしており、その他にも幅広いデータ・フォーマットに対応しています。

LTC3888-1で使われるデータ・フォーマットを表6に示します。このデータシートでは、これらのフォーマットの省略形を使用しています。

表6. サポートしているデータ・フォーマットの省略形

	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 コマンドの詳細な記述で定義されたカスタム形式のデータ	Often an unsigned or two's complement integer.
Reg	Register Bits	Part II ¶10.3	Reg	PMBus コマンドの詳細な説明でビットごとに意味を定義	PMBus STATUS_BYTE command.
ASC	Text Characters	Part II ¶22.2.1	ASCII	ISO/IEC 8859-1 [A05]	LTC (0x4C5443)

PMBus コマンドの概要

表 7. PMBus コマンドの概要

コマンド名	CMD 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	参照 ページ
PAGE	0x00	任意のページ指定コマンド用に現在選択されているチャンネル(ページ)	R/W Byte	N	Reg			0x00	70
OPERATION	0x01	オン、オフ、およびマージン制御	R/W Byte	Y	Reg		●	0x80	74
ON_OFF_CONFIG	0x02	RUNピンおよびPMBusのオン/オフ・コマンドの設定	R/W Byte	Y	Reg		●	0x1E	73
CLEAR_FAULTS	0x03	設定されているすべてのフォルト・ビットをクリア	Send Byte	N					95
PAGE_PLUS_WRITE	0x05	指定ページにコマンドを直接書き込み	W Block	N					70
PAGE_PLUS_READ	0x06	指定ページからコマンドを直接読み出し	Block R/W Process	N					71
WRITE_PROTECT	0x10	意図しないPMBus変更からデバイスを保護	R/W Byte	N	Reg		●	0x00	71
STORE_USER_ALL	0x15	動作メモリ全体をEEPROMに格納	Send Byte	N					106
RESTORE_USER_ALL	0x16	動作メモリ全体をEEPROMから復元	Send Byte	N					106
CAPABILITY	0x19	サポートしているオプションPMBus機能の概要	R Byte	N	Reg			0xB0	72
SMBALERT_MASK	0x1B	ALERT動作をマスク	Block R/W	Y	Reg		●	see CMD details	103
VOUT_TRANSITION_RATE	0x27	V_{FB} (デフォルト)または V_{OUT} のソフトオン/オフとマーギニングのスルー・レート、VOUT_COMMANDの変更を含む	R/W Word	Y	L11	V/ms	●	0.25 AA00	88
FREQUENCY_SWITCH	0x33	PWM周波数制御	R/W Word	N	L11	kHz	●	500kHz 0xFBE8	75
VIN_ON	0x35	電力変換を開始する入力電圧の最小値	R/W Word	N	L11	V	●	6.5V 0xCB40	81
VIN_OFF	0x36	電力変換を停止する入力電圧の減少値	R/W Word	N	L11	V	●	6.0V 0xCB00	81
IOUT_CAL_GAIN	0x38	I_{SENSE} 電圧と検出電流の比	R/W Word	Y	L11	m Ω	●	5m Ω 0xCA80	85
VOUT_OV_FAULT_RESPONSE	0x41	V_{OUT} 過電圧およびパワー段フォルトに対するフォルト応答	R Byte	Y	Reg			0x80	100
VOUT_UV_FAULT_RESPONSE	0x45	V_{OUT} 低電圧フォルト応答	R/W Byte	Y	Reg		●	0xB8	100
IOUT_OC_FAULT_LIMIT	0x46	出力過電流フォルト制限値	R/W Word	Y	L11	A	●	29.75A 0xDBB8	86
IOUT_OC_FAULT_RESPONSE	0x47	出力過電流フォルト応答	R/W Byte	Y	Reg		●	0x00	101
IOUT_OC_WARN_LIMIT	0x4A	出力過電流警告制限値	R/W Word	Y	L11	A	●	20.0A 0xDA80	86
OT_FAULT_LIMIT	0x4F	外部過熱フォルト制限値	R/W Word	Y	L11	$^{\circ}$ C	●	100.0 $^{\circ}$ C 0xEB20	89
OT_FAULT_RESPONSE	0x50	外部過熱フォルト応答	R/W Byte	Y	Reg		●	0xB8	102
OT_WARN_LIMIT	0x51	外部過熱警告制限値	R/W Word	Y	L11	$^{\circ}$ C	●	85.0 $^{\circ}$ C 0xEAA8	89

PMBus コマンドの概要

表 7. PMBus コマンドの概要

コマンド名	CMD 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	参照 ページ
VIN_OV_FAULT_LIMIT	0x55	V _{IN} 過電圧フォルト制限値	R/W Word	N	L11	V	●	15.5V 0xD3E0	81
VIN_OV_FAULT_RESPONSE	0x56	V _{IN} 過電圧フォルト応答	R/W Byte	Y	Reg		●	0x80	99
VIN_UV_WARN_LIMIT	0x58	V _{IN} 低電圧警告制限値	R/W Word	N	L11	V	●	6.3V 0xCB26	81
TON_DELAY	0x60	RUNピンまたはOPERATIONコマンドによるオン命令からV _{OUT} ランプ開始までの遅延	R/W Word	Y	L11	ms	●	0.0ms 0x8000	87
TON_MAX_FAULT_LIMIT	0x62	TON_DELAY 経過後にV _{OUT} が増加してV _{OUT_UV_FAULT_LIMIT} を超えるまでの最大許容時間	R/W Word	Y	L11	ms	●	10.0ms 0xD280	87
TON_MAX_FAULT_RESPONSE	0x63	TON_MAX_FAULT_LIMITを超えた場合のフォルト応答	R/W Byte	Y	Reg		●	0xB8	102
TOFF_DELAY	0x64	RUNピンまたはOPERATIONコマンドによるオフ命令からTOFF_FALL ランプ開始までの遅延	R/W Word	Y	L11	ms	●	0.0ms 0x8000	88
STATUS_BYTE	0x78	1バイト・チャンネルのステータス概要	R/W Byte	Y	Reg				90
STATUS_WORD	0x79	2バイト・チャンネルのステータス概要	R/W Word	Y	Reg				91
STATUS_VOUT	0x7A	V _{OUT} のフォルトおよび警告ステータス	R/W Byte	Y	Reg				91
STATUS_IOUT	0x7B	I _{OUT} のフォルトおよび警告ステータス	R/W Byte	Y	Reg				92
STATUS_INPUT	0x7C	入力電源のフォルトおよび警告ステータス	R/W Byte	N	Reg				92
STATUS_TEMPERATURE	0x7D	外部温度のフォルトおよび警告ステータス	R/W Byte	Y	Reg				92
STATUS_CML	0x7E	通信、メモリ、ロジックのフォルトおよび警告ステータス	R/W Byte	N	Reg				93
STATUS_MFR_SPECIFIC	0x80	デバイス固有のステータス	R/W Byte	Y	Reg				93
READ_VIN	0x88	V _{IN} 測定値	R Word	N	L11	V			96
READ_VOUT	0x8B	V _{OUT} 測定値	R Word	Y	L16	V			97
READ_IOUT	0x8C	I _{OUT} 測定値	R Word	Y	L11	A			97
READ_TEMPERATURE_1	0x8D	外部温度測定値	R Word	Y	L11	°C			98
READ_TEMPERATURE_2	0x8E	内部温度測定値	R Word	N	L11	°C			98
READ_FREQUENCY	0x95	PWM 入力クロック周波数測定値	R Word	Y	L11	kHz			98
PMBUS_REVISION	0x98	サポートしているPMBusバージョン	R Byte	N	Reg			0x22 V1.2	72
MFR_ID	0x99	メーカー識別	R String	N	ASC			LTC	107
IC_DEVICE_ID	0xAD	LTC3888-1のモデル番号	R String	N	ASC			LTC3888-1	107
Commands for Digital Output Voltage Control (See Applications Information or PMBus Command for Details)									
VOUT_MODE	0x20	電圧関連フォーマット(Linear)と指数	R Byte	Y	Reg			0x14 2 ⁻¹²	82
VOUT_COMMAND	0x21	デフォルトの公称V _{FB} レギュレーション。V _{OUT_SCALE_LOOP} が定義されている場合は公称V _{OUT}	R/W Word	Y	L16	V	●	400mV 0x0666	82
VOUT_MAX	0x24	V _{OUT} の最大値	R Word	Y	L16	V		1.1V 0x119A	82

PMBus コマンドの概要

表 7. PMBus コマンドの概要

コマンド名	CMD 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	参照 ページ
Commands for Digital Output Voltage Control (Continued)									
VOUT_MARGIN_HIGH	0x25	高マージンの V_{FB} (デフォルト) または V_{OUT} 、 VOUT_COMMAND より大きいことが必要	R/W Word	Y	L16	V	●	420mV 0x06B8	83
VOUT_MARGIN_LOW	0x26	低マージンの V_{FB} (デフォルト) または V_{OUT} 、 VOUT_COMMAND より小さいことが必要	R/W Word	Y	L16	V	●	380mV 0x0614	83
VOUT_SCALE_LOOP	0x29	外部帰還回路によって得られる公称 V_{OUT}/V_{FB} ゲイン	R/W Word	Y	L11	V/V	●	N/A	83
VOUT_OV_FAULT_LIMIT	0x40	デフォルトの V_{FB} 過電圧フォルト制限値。 $V_{OUT_SCALE_LOOP}$ が定義されている場合は V_{OUT} OV 制限値	R/W Word	Y	L16	V	●	440mV 0x070A	83
VOUT_OV_WARN_LIMIT	0x42	V_{OUT} 過電圧警告制限値、 $V_{SENSE\pm}$ で検出	R/W Word	Y	L16	V	●	3.6V 0x3981	83
VOUT_UV_WARN_LIMIT	0x43	V_{OUT} 低電圧警告制限値、 $V_{SENSE\pm}$ で検出	R/W Word	Y	L16	V	●	0.0V 0x0000	84
VOUT_UV_FAULT_LIMIT	0x44	デフォルトの V_{FB} 低電圧フォルト制限値 $V_{OUT_SCALE_LOOP}$ が定義されている場合は V_{OUT} UV 制限値	R/W Word	Y	L16	V	●	360mV 0x05C3	84
TOFF_MAX_WARN_LIMIT	0x66	0.0V への移行が命令されてから V_{OUT} が $0.125 \times V_{OUT_COMMAND}$ に達するまでの最大時間	R/W Word	Y	L11	ms	●	0ms 0x8000	88
LTC3888-1 Custom Commands									
MFR_VOUT_MAX	0xA5	最大 V_{OUT_MAX}	R Word	Y	L16	V		3.75V 0x3C00	83
USER_DATA_00	0xB0	LTpowerPlay用の予備EEPROMワード	R/W Word	N	Reg		●		107
USER_DATA_01	0xB1	LTpowerPlay用の予備EEPROMワード	R/W Word	Y	Reg		●		107
USER_DATA_02	0xB2	OEM用の予備EEPROMワード	R/W Word	N	Reg		●		107
USER_DATA_03	0xB3	一般的なデータ保存に使用できるEEPROM ワード	R/W Word	Y	Reg		●	0x0000	107
USER_DATA_04	0xB4	一般的なデータ保存に使用できるEEPROM ワード	R/W Word	N	Reg		●	0x0000	107
MFR_INFO	0xB6	メーカー固有情報	R Word	N	Reg				95
MFR_EE_UNLOCK	0xBD	(メーカーに問合せ)							107
MFR_EE_ERASE	0xBE	(メーカーに問合せ)							107
MFR_EE_DATA	0xBF	(メーカーに問合せ)							107
MFR_CHAN_CONFIG	0xD0	全般的なチャンネル固有設定	R/W Byte	Y	Reg		●	0x1D	76
MFR_CONFIG_ALL	0xD1	全般的なデバイスレベル設定	R/W Byte	N	Reg		●	0x21	73
MFR_FAULT_PROPAGATE	0xD2	\overline{FAULT} ピンを介したフォルト伝播を設定	R/W Word	Y	Reg		●	0x6993	104
MFR_PWM_COMP	0xD3	チャンネル固有のPWMループ補償	R/W Byte	Y	Reg		●	0xAE	80
MFR_PWM_MODE_ LTC3888-1	0xD4	LTC3888-1のチャンネル固有PWMモード制御	R/W Byte	Y	Reg		●	0x02	79
MFR_FAULT_RESPONSE	0xD5	外部フォルトのために \overline{FAULT} ピンがローになっ た場合のPWM応答	R/W Byte	Y	Reg		●	0xC0	105
MFR_OT_FAULT_ RESPONSE	0xD6	内部過熱フォルト応答	R Byte	N	Reg			0xC0	102

PMBus コマンドの概要

表 7. PMBus コマンドの概要

コマンド名	CMD 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	参照 ページ
MFR_IOUT_PEAK	0xD7	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降で最大のマスタ・チャンネル IOUT 測定値	R Word	Y	L11	A			97
MFR_RETRY_DELAY	0xDB	フォルト発生から再試行までの最小時間	R/W Word	Y	L11	ms	●	350ms 0xFABC	103
MFR_RESTART_DELAY	0xDC	LTC3888-1がRUNピンをローに保持する最小時間	R/W Word	Y	L11	ms	●	500ms 0xFBE8	87
MFR_VOUT_PEAK	0xDD	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降で最大のVOUT測定値	R Word	Y	L16	V			97
MFR_VIN_PEAK	0xDE	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降で最大のVIN測定値	R Word	N	L11	V			97
MFR_TEMPERATURE_1_PEAK	0xDF	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降で最大の外部温度測定値 (LTC3888-1のみ)	R Word	Y	L11	°C			98
MFR_TOTAL_IOUT	0xE1	MFR_PWM_CONFIG_LTC3888-1[2:0]によって定義された各ページ/レールの合計IOUTを読み出し	R Word	Y	L11	A			97
MFR_CLEAR_PEAKS	0xE3	すべてのピーク値をクリア	Send Byte	N					98
MFR_PADS_LTC3888-1	0xE5	選択したLTC3888-1パッドの状態	R Word	N	Reg				94
MFR_ADDRESS	0xE6	右寄せの7ビット・デバイス・アドレスを指定	R/W Byte	N	Reg		●	0x4F	72
MFR_SPECIAL_ID	0xE7	メーカー固有の製品ID	R Word	N	Reg			0x488X	107
MFR_FAULT_LOG_STORE	0xEA	RAM内のフォルト・ログのキャプチャとEEPROMへの転送を強制	Send Byte	N					107
MFR_FAULT_LOG_CLEAR	0xEC	既存のEEPROMフォルト・ログをクリア	Send Byte	N					105
MFR_FAULT_LOG	0xEE	フォルト・ログ・データの読み出し	R Block	N	Reg				105
MFR_COMMON	0xEF	アナログ・デバイス共通のデバイス・ステータス・レポート	R Byte	N	Reg				94
MFR_COMPARE_USER_ALL	0xF0	コマンドRAMの内容とEEPROMの内容を比較	Send Byte	N					107
MFR_TEMPERATURE_2_PEAK	0xF4	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以降で最大の内部温度測定値	R Word	N	L11	°C			98
MFR_PWM_CONFIG_LTC3888-1	0xF5	LTC3888-1の両マスタ・チャンネルに共通するPWM設定	R/W Byte	N	Reg		●	0x03	76
MFR_LOAD_EMULATION	0xF7	負荷ステップ・エミュレーション制御	R/W Byte	Y	Reg			0x00	85
MFR_TEMP_1_GAIN	0xF8	外部温度計算のための勾配 (LTC3888-1のみ)	R/W Word	Y	L11	mV/°C	●	8 mV/°C 0xD200	89
MFR_TEMP_1_OFFSET	0xF9	外部温度計算のための0°Cオフセット (LTC3888-1のみ)。	R/W Word	Y	L11	mV	●	600mV 0x0258	89
MFR_RAIL_ADDRESS	0xFA	PolyPhase出力を構成するチャンネルに固有の右寄せ7ビット・アドレスを指定。	R/W Byte	Y	Reg		●	0x80	72
MFR_RESET	0xFD	電源を切らずにフル・リセットを強制	Send Byte	N					74

NVM列の●は、STORE_USER_ALLコマンドを使って内部EEPROMに格納されたコマンド値か、またはRESTORE_USER_ALLコマンドを使って内部EEPROMから読み出されたコマンド値を示します。

アプリケーション情報

効率に関する検討事項

通常、LTC3888-1 アプリケーションの主な目的の1つは、実用上最大限の変換効率を得ることにあります。スイッチング・レギュレータの効率は、出力電力を入力電力で割った値に等しくなります。多くの場合は、個々の損失を解析して何が効率を制限しているのかを突き止め、何を変えれば効率が最も改善されるかを把握することが大切です。以下のセクションに概要を示す部品選択の過程では、こうした個々の損失のバランスを取ったり制限したりすることが、非常に大きな役割を果たします。

パーセントで示す効率は次式で表されます。

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

ここで、L1、L2... は入力電力のパーセント値で表した個々の損失で、 $100 \cdot P_{L_n}/P_{IN}$ と表されます。

損失は、システム内のすべての電力消費要素で発生しますが、通常、LTC3888-1 アプリケーションにおける損失の大部分は、主に次の4つで発生します。すなわち、デバイスの電源電流、 I^2R 損失、トップ・パワー MOSFET の遷移損失、および合計ゲート駆動電流です。

1. LTC3888-1 の電源電流は、**電気的特性**の表に示す DC 値です。デバイス自体によって生じる絶対的な損失は、概ねこの電流に V_{IN} 電源電流を乗じた値です。通常、デバイスの電源電流による損失はわずかです (0.1% 未満)。
2. I^2R 損失は、主に、選択したパワー段、インダクタ、PCB 配線、入出力コンデンサの ESR などの DC 抵抗で生じます。これらの抵抗を最小限に抑えるには、PCB 上の電力パスのレイアウトに注意を払うことが極めて重要です。2相 1.2V のシステムでは、出力に $1\text{m}\Omega$ の PCB 抵抗があると、出力を 60A で動作させた場合は効率が 5% 低下します。
3. 遷移損失は選択したパワー段だけに生じ、12V 以下の動作電圧ではそれほど大きい値にはなりません。
4. ゲート駆動電流は、トップ MOSFET とボトム MOSFET のゲート電荷に動作周波数を乗じた値に等しくなります。これらの電荷は内部パワー段の設計に基づくもので、通常は、メーカーが一定の条件下で提供する全体効率 (または電力損失) 値に含まれています。

その他の損失の要因としては、パワー段 FET ドライバの非重複時間内における内部ボディ・ダイオードまたは外部ショットキ・ダイオードの導通や、インダクタのコア損失などがあります。一般的に、最後に示した分類の占める割合は、全追加損失の 2% 未満です。

パワー段の選択とインターフェース

LTC3888-1 は、検出対象となる出力電流の電圧または電流をモニタするパワー段によって動作します。少なくとも、これらの段は、3.3V を使用できるスリーステート PWM 入力制御にも対応できなければなりません。その他、PWM 入力がおフ状態でのバイアシング、パワー段温度モニタリング、フォルトの検出と表示、UVLO 保護などの機能はオプションです。この種のデバイスの例としては、TDA21470、IR35411、FDM3170 などがあります。

LTC3888-1 の I_{SENSE} ピンは内部インターフェース回路およびモニタ ADC への高インピーダンス入力で、これらは共にコモンモードの IREF (1.6V) を使用します。IREF 基準の最大瞬間差動電流検出入力は 525mV で、最大 DC 入力差は 400mV です。アプリケーションでは、これらの入力が常に正しく接続されていなければなりません。また、これは厳格な要求事項ではありませんが、MFR_PWM_CONFIG_LTC3888-1 マスタ/スレーブ設定によってディスエーブルされた PWM チャンネルでは、 I_{SENSE} を IREF に短絡することを推奨します。

図22と**図23**に示すように、LTC3888-1 は、検出した出力電流を電流または電圧どちらかの形で提供するパワー段とインターフェースを取れるように設計されています。LTC3888-1 の IREF 出力は、この出力電流モニタ用のコモンモード電圧を提供するために使用します。一部のバイパスは各パワー段に隣接して置かれ、GND (デバイス・パッド) に戻されています。LTC3888-1 は、パワー段出力電流モニタが I_{SENSE} 入力に $3\text{mV/A} \sim 10\text{mV/A}$ を供給するようにスケールされた場合に、最大限の性能を発揮するように設計されています。このスケールは、レール上のすべての位相で同じでなければなりません。電圧モードでモニタを行うほとんどのパワー段では、外付けのスケール部品を追加する必要はありません。

これらのパワー段の一部には、最小幅の PWM パルスを供給するコントローラが必要です。LTC3888-1 は、MFR_PWM_MODE_LTC3888-1 のビット 1 の設定によって、この条件に対応できるように設定することができます。

アプリケーション情報

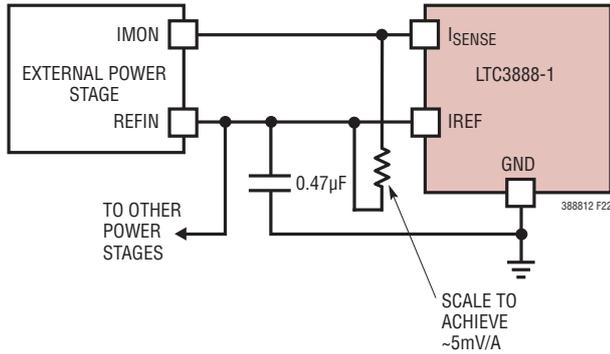


図 22. 電流モード出力電流検出へのインターフェース

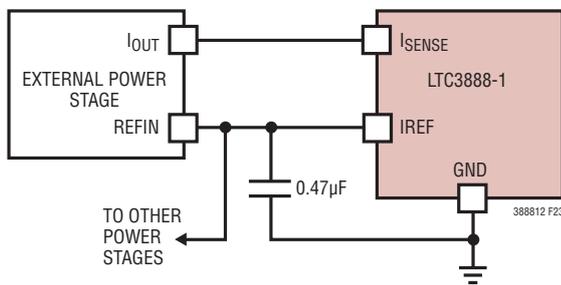


図 23. 電圧モード出力電流検出へのインターフェース

ワイヤードORによる共有TEMP/FAULTバスは出力電流モニタを行うほとんどのパワー段に見られるものですが、LTC3888-1のTSNSピンは、このバスと直接インターフェースを取ります。どの位相にもフォルトが発生していない場合、このバスの電圧は、そのレール上で最も高いパワー段温度を示します。内部モニタADCがこの電圧を変換し、ページ指定されたREAD_TEMPERATURE_1遠隔測定コマンドによって温度の計算値が返されます。外部温度センサーの勾配は、MFR_TEMP_1_GAINに保存された係数を使い、選択したパワー段に合わせて修正することができます。外部温度検出のオフセットは、0°Cに相当するバス電圧を指定するMFR_TEMP_1_OFFSETによって調整できます。

LTC3888-1は、共有TEMP/FAULTバス上のパワー段フォルト状態も認識します。オプションのパワー段UV表示がMFR_PWM_MODE_LTC3888-1のビット0によってイネーブルされている場合は、それも認識対象に含まれます。これらのイベントは、表8に示すように、バス・ホストによるシステム状態監視を強化するための標準PMBusステータス・レジスタを通じてレポートされます。詳細については、前の動作のセクションに示したパワー段フォルトに対するハードワイヤードPWM応答に関する説明、およびステータス・レジスタとALERTのマスキングに関する説明を参照してください。

表 8. LTC3888-1の特別なステータス表示¹

CONDITION INDICATED	PAGED			MFR_PADS_LTC3888-1 ⁵
	STATUS_VOUT BIT 7 (VOUT_OV FAULT)	STATUS_VOUT BIT 4 (VOUT_UV FAULT)	STATUS_IOUT BIT 3	CH0/1 DrMOS READY BIT 14/15
VOUT_OV	•			•
VOUT_UV		•		•
VSENSE+ OPEN ^{2,3}	•	•		•
Power Stage UV (TSNS) ⁴ or VDR Monitor UV	• (IFF CH Set to Run)			
Power Stage Fault ⁶	•		•	•

¹ VSENSE+ OPENを除き、すべてのVOUT_OVフォルト状態はVOUT_OV_FAULT_RESPONSEによって処理され(再試行なしで直ちにオフ)、VOUT_UVフォルト状態はVOUT_UV_FAULT_RESPONSEによって処理されます。

² VSENSE+ラインは、両方ともLTC3888-1がパワーアップまたはリセットされることにテストされます。いずれかのVSENSE+ラインが開放状態になっている場合、LTC3888-1はすべての出力をディスエーブルしてこれに応答します。検出された開放ラインは、電源再投入かMFR_RESETによる再テストが正常に終了した場合のみクリアできます。

³ PWMをまだ実行中の状態で、実際のVOUT_UV発生時にパワー段UVまたはフォルトが発生した場合は、STATUS_VOUTのビット7とビット4の両方がセットされることもあります。この場合、STATUS_IOUTとMFR_PADSは、パワー段の状態を正確に示し続けます。このクリアにフル・リセットは必要ありません。

⁴ この状態の検出は、MFR_PWM_MODE_LTC3888-1(ページ指定)のビット0をセットすることによってイネーブルする必要があります。MFR_PWM_MODE_LTC3888-1のビット0がクリアの場合UVは表示されず、応答も行われません。

⁵ MFR_PADS_LTC3888-1[15:14]は、PWMの実行状態に関わらず、その個々のチャンネルごとにNOT READY(1'b0)を表示することによって、イネーブルされたパワー段UV検出に応答します。それ以外の場合、これらのビットはREADY(1'b1)を表示します。

⁶ この場合に表示されるフォルトの正確な特性はメーカーごとに異なり、合計出力過電流やパワー段過熱といった問題を含んでいることがあります。

アプリケーション情報

パワー段UV検出がイネーブルされている場合は、レールをオンにする前に、表8に示すMFR_PADS_LTC3888-1のステータス・ビットをチェックすることを強く推奨します。このチェックを行わないと、システム起動時にクリアリングのプロセスでパワー段UVが発生しても、それによって生じるLTC3888-1のフォルト状態を出力過電圧と区別できなくなります。

VDRモニタの使用

アプリケーションのパワー段に共有TEMP/FAULTバスがない場合、あるいは選択した特定のパワー段が必要なUV表示機能を備えていない場合は、ページ0のMFR_CHAN_CONFIGのビット5によってLTC3888-1のピン8がVDR_MON入力として機能するように設定し、パワー段ゲート駆動電源のUV状態を監視することができます。図24に示すように、このために必要なのは、希望のUV閾値で1.22Vを生成する抵抗分圧器を使ってモニタ電源を検出することだけです。

$$V_{UV} = 1.22V \cdot (R1+R2)/R2$$

両方のマスタ・チャンネルに供給されるVDR_MON入力は1つだけです。VDR_MONがアクティブの場合、MFR_PWM_CONFIG_LTC3888-1のビット0の状態は無視され、TSNS1のUV検出は完全にディスエーブルされます。

未使用のTSNS入力

共有TEMP/FAULTバスを使用できない場合、あるいは外部温度をモニタする必要がない場合は、MFR_PWM_

MODE_LTC3888-1 (ページ指定)のビット0がクリアになっていれば、未使用のTSNS入力を未接続のままにするかGNDに接続することができます。この場合、LTC3888-1はREAD_TEMPERATURE_1の要求に応答し続けますが、返されるデータに意味はありません。

PWM周波数とインダクタの選択

PWMスイッチング周波数の選択は、効率、過渡応答、部品サイズのトレードオフになります。高周波動作の場合はインダクタと出力コンデンサのサイズが小さくなり、制御ループの最大実効帯域幅が広がります。ただし、遷移損失とスイッチング損失が増加することにより、効率は一般に低下します。インダクタの値は、スイッチング周波数 f_{PWM} および降圧比に関係します。この値はチョークのリップル電流条件を満たすように選択する必要があります。インダクタの値は次式で計算できます。

$$L = \left(\frac{V_{OUT}}{f_{PWM} \cdot \Delta I_L} \right) \cdot \left(1 - \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \right)$$

チョークのリップル電流(ΔI_L)の許容値を大きくすればLを小さくできますが、コア損失が大きくなり、与えられた出力容量やESRに対する出力電圧リップルも大きくなります。リップル電流設定の妥当な出発点は、最大出力電流の30%です。

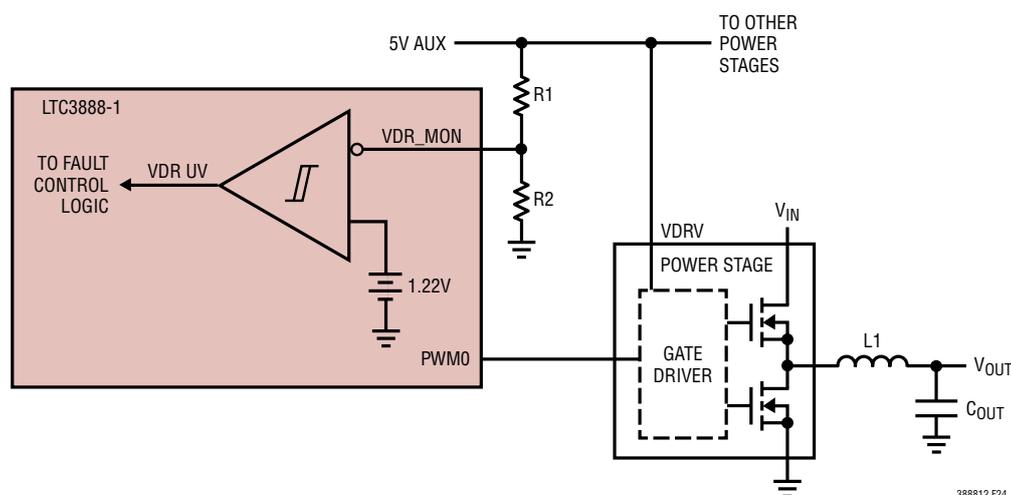


図24. LTC3888-1のパワー段VDRモニタ

アプリケーション情報

インダクタの飽和電流定格は、過渡状態におけるピーク・インダクタ電流より大きくする必要があります。I_{OUT}が最大定格負荷電流である場合は、通常、I_{OUT}に一定の係数を乗じた値(例えば1.6・I_{OUT})を最大過渡電流I_{MAX}として選択します。

最小飽和電流定格は、製造工程や温度に起因するパワー一段出力電流モニタの変動に対して、余裕を持たせた値を選択する必要があります。I_{SAT}の妥当な値は2.2・I_{OUT}です。

電流制限設定値I_{OUT_OC_FAULT_LIMIT}は、インダクタが飽和しないよう十分小さい値にする一方で、過渡状態時の電流増大を許容できる程度の大きさを持つ値にする必要があります。例えば、

$$I_{SAT} = 2.2 \cdot I_{OUT}, \text{ および}$$

$$I_{MAX} = 1.6 \cdot I_{OUT}$$

妥当な出力電流制限値は次のようになります。

$$I_{OUT_OC_FAULT_LIMIT} = 1.8 \cdot I_{OUT}$$

Lの値が得られたら、インダクタの種類を選択します。一般に、高効率コンバータは、低価格の鉄粉コアに見られる大きいコア損失を許容できないので、より高価なフェライトまたはモリパーマロイのコアを使用する必要があります。また、コア損失はインダクタンスが大きくなるに従って減少します。残念ながら、インダクタンスを大きくするにはワイヤの巻数を増やす必要があります。つまり、インダクタンスを大きくすると銅損が増大します。

フェライトを使った設計ではコア損失が非常に小さくなるので、スイッチング周波数が高い場合に適しています。ただし、これらのコア材は急激な飽和を示し、最大電流能力を超えるとインダクタンスが突然低下します。コアを飽和させないようにしてください。

C_{IN}の選択

LTC3888-1の電源回路の入力バイパス容量は、ESRを十分小さくして、以下の条件を満たせるようにする必要があります。すなわち、トップMOSFETがオンしたときの電源電圧低下を小さく抑えられること、RMS電流能力が入力時のリップル電流に十分に耐え得るようなものであること、そして入力電源によって不足分を補えるようになるまで入力電圧を十分維持できる程度に容量値が大きいことです。一般に、最初の2つの条件を満たすコンデンサ(特に非セラミック・タイプ)は、容量に基づく電圧低下を制御範囲内に抑えるのに必要な容量より、はるかに大きな容量を備えています。

入力容量の電圧定格は、最大入力電圧の1.4倍以上にする必要があります。ESRによる電力損失は、コンデンサ自体のI²R消費として発生します。入力コンデンサのRMS電流とその電流が前段の入力回路網へ及ぼす影響は、PolyPhaseアーキテクチャによって低減されます。最も厳しいRMS電流は、通常、コントローラが片方だけ動作しているときに生じます。最大RMS電流条件を決定するには、V_{OUT}とI_{OUT}の積が最大になる位相を使用する必要があります。位相の数を増やすと、入力RMSリップル電流はこの最大値より小さくなります。2相動作の場合は、通常、入力コンデンサのRMSリップル電流が30%~70%減少します。

連続インダクタ導通モードにおけるトップ・パワーMOSFETのソース電流は、ほぼ、デューティ・サイクルV_{OUT}/V_{IN}の矩形波になります。この場合のコンデンサの最大RMS電流は次式で得られます。

$$I_{RMS} \approx I_{OUT(MAX)} \frac{\sqrt{V_{OUT}(V_{IN} - V_{OUT})}}{V_{IN}}$$

この式はV_{IN} = 2V_{OUT}で最大値を取ります。ここで、

$$I_{RMS} = I_{OUT}/2$$

設計では、この単純なワーストケース条件(最も厳しい条件)がよく使われます。これは、値の変化が大きくても、結果に大きな違いが出ないからです。

多くの場合、メーカーの規定するコンデンサのリップル電流定格は、わずか2000時間の寿命に基づく値です。したがって、コンデンサを更にデレーティングすることが推奨されません。つまり、要求よりも高い温度定格のコンデンサを選ぶようにします。設計におけるサイズや高さの条件を満たすために、数個のコンデンサを並列に接続することもできます。疑問な点がある場合は、必ずメーカーにお問い合わせください。

入力コンデンサには、セラミック・コンデンサ、タンタル・コンデンサ、半導体電解コンデンサ(OS-CON)、ハイブリッド導電性高分子コンデンサ(SUNCON)、およびスイッチャ定格電解コンデンサを使用できますが、それぞれに欠点があります。セラミック・コンデンサは静電容量の電圧係数が高く、可聴圧電効果を伴うことがあります。タンタル・コンデンサはサージ定格の確認が必要です。OS-CONには、インダクタンスが大きい、ケース・サイズが大きい、表面実装での使用が制限されるといった欠点があります。また、電解コンデンサはESRが大きく、水分が完全に抜けてしまう可能性があります。

アプリケーション情報

す。三洋電機のOS-CON SVP(D)シリーズやPOSCAP TQCシリーズ、あるいはパナソニックのEE-FTシリーズなどのアルミ電解コンデンサを高性能のセラミック・コンデンサと並列に接続して使用すれば、低ESRと大容量を実現する効果的な手段となります。

大容量のPWM入力コンデンサに加えて、小容量(0.01 μ F \sim 1 μ F)のバイパス・コンデンサをLTC3888-1のV_{IN}ピンとグラウンドの間に接続するのも効果的です。接続は、できるだけデバイスに近い位置で行ってください。大容量のC_{IN}とV_{IN}ピン/バイパスの間に小さい抵抗を置くと、レール間の絶縁を強化できます。ただし、このようなV_{IN}ピンのR-C回路の時定数が30nsを超えると、ラインの動的過渡応答に悪影響を及ぼすことがあります。

C_{OUT}の選択

C_{OUT}の選択は、主に、リップル電圧と負荷ステップ・トランジェントを最小限に抑えるために必要なESRによって決まります。出力リップル ΔV_{OUT} は、ほぼ次式に従います。

$$\Delta V_{OUT} \leq \Delta I_L \left(ESR + \frac{1}{8 \cdot f_{PWM} \cdot C_{OUT}} \right)$$

ここで、 ΔI_L はインダクタのリップル電流です。

$$\Delta I_L = \frac{V_{OUT}}{L \cdot f_{PWM}} \left(1 - \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \right)$$

ΔI_L は入力電圧と共に増加するので、出力リップル電圧は最大入力電圧で最大値となります。一般に、ESRの条件が満たされれば、その容量はフィルタリングに対しても十分なものであり、必要なRMS電流定格を備えています。

高性能スルーホール・コンデンサは、三洋電機、パナソニック、Cornell Dubilierなどのメーカーから購入できます。三洋電機製のOS-CON半導体電解コンデンサは、ESRとサイズの関係という点で良好な特性を備えています。リード・インダクタンスの影響を相殺するには、分極コンデンサと並列にセラミック・コンデンサを追加することを推奨します。

表面実装アプリケーションでは、アプリケーションのESRまたは過渡電流処理に関する要求を満たすために、複数のコンデンサを並列に接続しなければならないことがあります。表面実装構成には、アルミ電解コンデンサと乾式タンタ

ル・コンデンサの両方を使用できます。新しいポリマー表面実装コンデンサもESRは非常に小さいのですが、容量密度ははるかに低くなります。タンタル・コンデンサの場合は、スイッチング電源に使用するためのサージ試験を実施済みであることが不可欠です。優れた出力コンデンサの選択肢としては、三洋電機のPOSCAP TPD/E/Fシリーズ、KemetのT520、T530、およびA700シリーズ、NEC/トーキン NeoCapacitor、パナソニックのSPシリーズなどが挙げられます。使用に適したその他のコンデンサ・タイプとしては、ニチコンのPLシリーズやSpragueの595Dシリーズがあります。その他の具体的な特長については、メーカーにお問い合わせください。

プログラマブル・ループ補償

LTC3888-1はOTAエラー・アンプ・アーキテクチャを使用しているので、[図25](#)に示すように、電圧制御ループの安定化にはタイプII補償が最も一般的に使われます。LTC3888-1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。内部エラー・アンプの g_m は1mmho \sim 5.73mmhoに変更可能で、内部補償抵抗R_{ITH}はMFR_PWM_COMPコマンドで1k Ω \sim 62k Ω に変更できます。それぞれの電圧制御ループを安定させるために、最大2個の外部コンデンサが必要です。

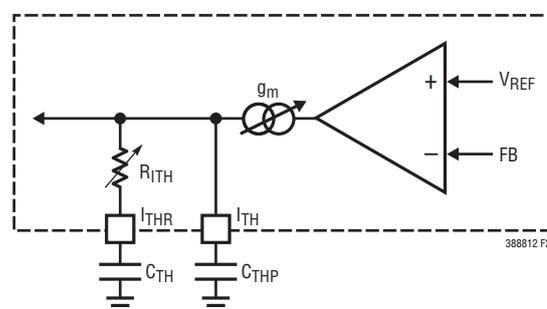


図25. プログラマブル・ループ補償

LTC3888-1は、EAの g_m とR_{ITH}を調整することによって、広い出力容量範囲にわたってループを最適化するために柔軟なタイプII補償を行うことができます。 g_m を調整すると、[図26](#)に示すように、極とゼロの位置を変えずに周波数範囲全体にわたって補償ゲインが変化します。

アプリケーション情報

R_{ITH} を調整すると、**図27**に示すように極とゼロの位置が変化します。LTpowerCADはアナログ・デバイセズが提供するフリーウェア・ツールで、LTC3888-1の g_m と R_{ITH} の最適値を求めるのに適しています。

内部 R_{ITH} と外部 C_{TH} の組み合わせは、支配的な極ゼロ・ループ補償を設定します。最終的なPCBレイアウトが完了し、特定の C_{TH} と出力フィルタ・コンデンサも選択した後で過渡応答を最適化するには、 R_{ITH} の値を調整します。これらのコンデンサのタイプと値は、ループのゲインと位相に大きく影響します。

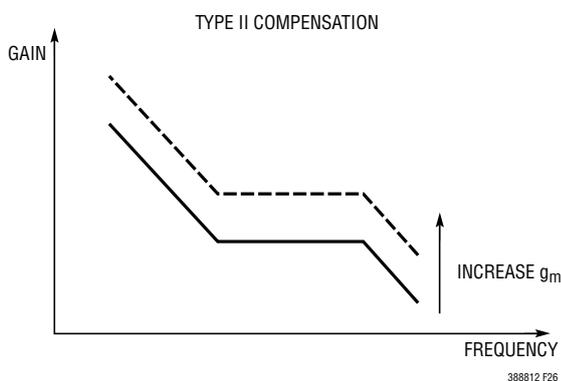


図26. エラー・アンプの g_m 調整

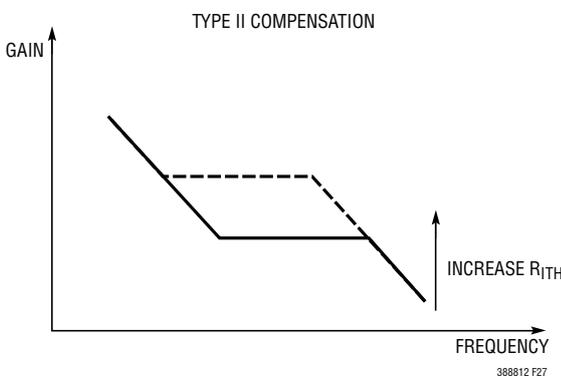


図27. R_{ITH} の調整

場合によっては、追加的な中間帯域の位相回復が、過渡応答を最適化するためのAC補償の精密調整に役立つことがあります。この場合は、**図28**に示すように、 V_{OUT} 帰還回路のトップ抵抗と並列に小さいコンデンサまたはR-C回路を接続して、もう1つの極ゼロ・ペアを帰還ループに追加することができます。LTC3888-1の場合のように、エラー・アンプがOTAの場合は R_3 部分を短絡させることもよくあります。 R_3 を追加する場合は、必要に応じて追加的なACゲイン制御を行います。この場合は、タイプIII回路と同様の総合的なループ補償アプローチを使用できます。

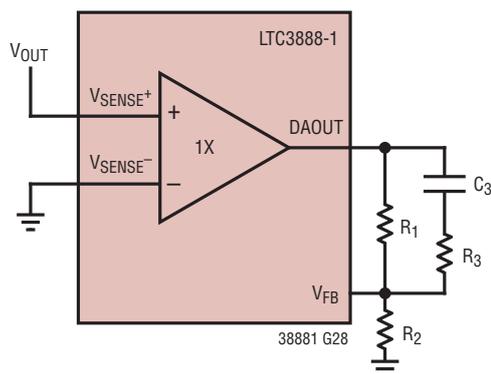


図28. 出力電圧のリモート検出と設定

レギュレータ・ループの安定性は、負荷過渡応答を監視することによってチェックできます。トランジェント後の出力電圧設定はクローズドループの安定性に関係しており、実際の全体的電源性能を明らかにします。スイッチング・レギュレータは、DC負荷電流の直接ステップへの応答に数クロック・サイクルを必要とすることがあります。これは、電圧帰還誤差信号の発現に要する時間のためです。発現誤差信号を除去するためにループが応答と調整を行うのに伴い、 V_{OUT} をモニタして、過減衰、応答の遅れ、過度のオーバーシュート、リングングなどの有無をチェックすることができます。これらの現象は、安定性に問題があることを示しています。

LTC3888-1は、レールのすべての位相に同時に置かれる補正済みの出力負荷をシミュレートする、柔軟な負荷ステップ・エミュレーション機能(PMBusのMFR_LOAD_EMULATIONコマンド)を備えています。高電力のレギュレーションされた負荷ステップを、実際にレール出力上に生成する必要はありません。この機能は、最初のステップ・エッジから C_{OUT} のESRの影響を除去した物理的出力負荷ステップ応答と同じ V_{OUT} 応答を生成します。これは、ループ評価に有効な V_{OUT} の監視を行います。ほとんどの2次システムでは、出力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することができます。この場合は、 V_{OUT} 波形の立ち上がり時間によって帯域幅を予想することも可能です。

大きい電源バイパス・コンデンサ(>1 μ F)を持つ電源未接続の負荷に、コールド・スイッチングでレール出力まで電流を流す場合は、より大きい負荷ステップが生成されます。放電状態のバイパス・コンデンサを C_{OUT} と並列に接続するのは効果的な方法で、 V_{OUT} が急速に低下します。抵抗の小さい負荷スイッチを急にオンにした場合は、どのレギュレータも、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給電量を変更することはできません。このようなスイッチ式の C_{LOAD} と C_{OUT} の比率が1:50より大きい場合は、スイッチの立ち上がり時間を25 $\cdot C_{LOAD}$ 程度に制限する必要があります。

アプリケーション情報

す。一例として、10 μ Fのスイッチング負荷には250 μ sの立上がり時間が必要で、充電電流も約200mAに制限する必要があります。

PCBレイアウト時の考慮事項

電磁放射や高周波共振の問題を防いでデバイスの正しい動作を確保するには、LTC3888-1に接続する部品を適切にレイアウトすることが不可欠です。図29を参照してください。この図には各種回路の代表的な電流波形も示されています。この図で、SW0/1とD0/1は選択パワー段の顕著な特徴を示しています。最大限の効率を実現するには、スイッチ・ノード(L0/1への入力)の立上がり時間と立下がり時間をできるだけ短くする必要があります。以下に示すPCB設計の優先リストは、適正なレイアウトの実現に役立ちます。

1. グラウンド層またはDC電圧層を電源層と小信号層の間に配置します。一般に電源プレーンはトップ層に配置し(4層PCBの場合)、4層を超えるPCBではトップ層とボトム層に配置します。パワー部品用の銅パターンは広くするか短くし、抵抗とインダクタンスを最小限に抑えるために、電源プレーン・ビア周辺で不用意にサーマル・リリーフを使わないようにします。
2. 低ESRの入力コンデンサをパワー段のFET電源とグラウンド接続箇所にてできるだけ近づけて配置し、銅パターンをできるだけ短くします。パワー段は入力コンデンサと同じ銅層に配置し、C_{IN}に共通のトップ電源を接続する必要があります。大きな共振ループが形成されることがあるので、複数位相の入力デカップリングは分割しないでください。また、これらの接続にはビアを使わないでください。パワー段への強制冷却用空気流を、大型受動部品でブロックしないようにしてください。
3. インダクタ入力は、できるだけパワー段に近づけて配置します。スイッチ・ノードの表面積は最小限に抑えてください。パターン幅は、最大出力電流をサポートできる必要最小限の値にします。銅の充填や流し込みは避け、接続配線が複数の銅層で並列にならないようにしてください。また、スイッチ・ノードから他のパターンまたはプレーンまでの容量を最小限に抑えてください。
4. リモート電圧検出用のPCBパターンは、どの配線層上でもペアの間隔をできるだけ狭め、まとめてLTC3888-1へ戻すように配置する必要があります。高周波スイッチング信号を避け、できればグラウンド・プレーンを使って遮蔽してください。すべてのフィルタ部品は、できるだけLTC3888-1に近い位置でこれらのパターン上に配置し、ケルビン検出位置には置かないようにしてください。
5. 出力電流検出用のPCBパターン(I_{SENSE}、I_{REF})は高周波スイッチング信号を避け、できればグラウンド・プレーンを使って遮蔽してください。これらのパターン上のフィルタ部品は、ローカルPGNDではなくGND(デバイス・パッド)に戻してください。
6. インダクタ出力とグラウンドの隣りに低ESRの出力コンデンサを配置します。出力コンデンサのグラウンド接続は、システム・グラウンドへ戻して接続する前に、入力コンデンサのグラウンドに接続するのと同じ銅領域に配線します。
7. スwitchング・グラウンドをシステム・グラウンド、小信号アナログ・グラウンド、またはいずれかの内部グラウンド・プレーンに接続する場合は、1点で行ってください。システムに内部システム・グラウンド・プレーンがある場合は、複数のビアをクラスタ化して星形の1点接続すると、やりやすくなります。このクラスタはデバイスのGNDパッドの直下に配置してください。GNDパッドはアナログ信号グラウンドとして機能します。CAD手法としては、グラウンド回路を個別に作成して、0 Ω 抵抗を使ってそれらをシステム・グラウンドに接続する方法が便利です。
8. すべての小信号部品は、高周波スイッチング・ノードから離して配置します。LTC3888-1のデカップリング・コンデンサは、できるだけデバイスに近づけて配置してください。
9. 与えられた大電流パス内でのビア数の目安は、ビア当たりの電流値にして約0.5Aです。この経験則の適用時は、電流値が一定となるようにしてください。
10. 銅の充填や流し込みは、上記規則3に示す場合を除いて、すべての電源接続に使用できます。複数層上の銅プレーンを並列で使用することも可能です。これは熱管理に役立つ上にトレースのインダクタンスを減らすので、EMI性能が更に向上します。

アプリケーション情報

出力電圧の検出

負荷ポイントで最良の出力電圧レギュレーションを実現するには、高精度のケルビン検出手法を使い、出力電圧を LTC3888-1 マスタ・チャンネルの $V_{SENSE\pm}$ ピンに戻して、差動で接続する必要があります。これらのピンは、出力電圧遠隔測定用の ADC 入力としても機能します。マスタ・チャンネルがディスエーブルされている（つまり、外部 I_{TH} を接続し、MFR_PWM_MODE_LTC3888-1 のビット 4 を使ってスレーブ位相にする）場合は、絶対にこれらの接続が必要なわけではありません。しかし、LTC3888-1 のエラー・アンプは OTA なので、 I_{TH} ピンをワイヤード OR し、複数の V_{OUT} 検出ポイントを使って電源プレーン電圧平均を改善した方が有利な場合もあります。最終的な EEPROM プログラミングを介して、最も理想的な負荷検出ポイントを製造後に選択することも可能です。したがって一般的に、LTC3888-1 のすべてのマスタ・チャンネルには、ケルビン法による確実な V_{OUT} 検出が推奨されます。図 28 を参照してください。

標準的なアナログ出力電圧制御

LTC3888-1 で出荷時のデフォルト EEPROM 設定値を使用する場合は、標準的なアナログ手法を使用して出力電圧が設定されます。この制御には図 28 の回路が使われ、次の式に従い外部抵抗 R_1 と R_2 を使って V_{OUT} を設定します。

$$V_{OUT} = (R_1 + R_2) / R_2 \times 400\text{mV}$$

このモードでも、OPERATION コマンドを使った出力マーキングが可能です。マーキング・レベルと、低電圧および過電圧スーパーバイザのフォルト閾値は、下の表に従ってプリセットされます。これらの値は、 R_1 と R_2 によって生成される公称出力電圧を基準とする値です。

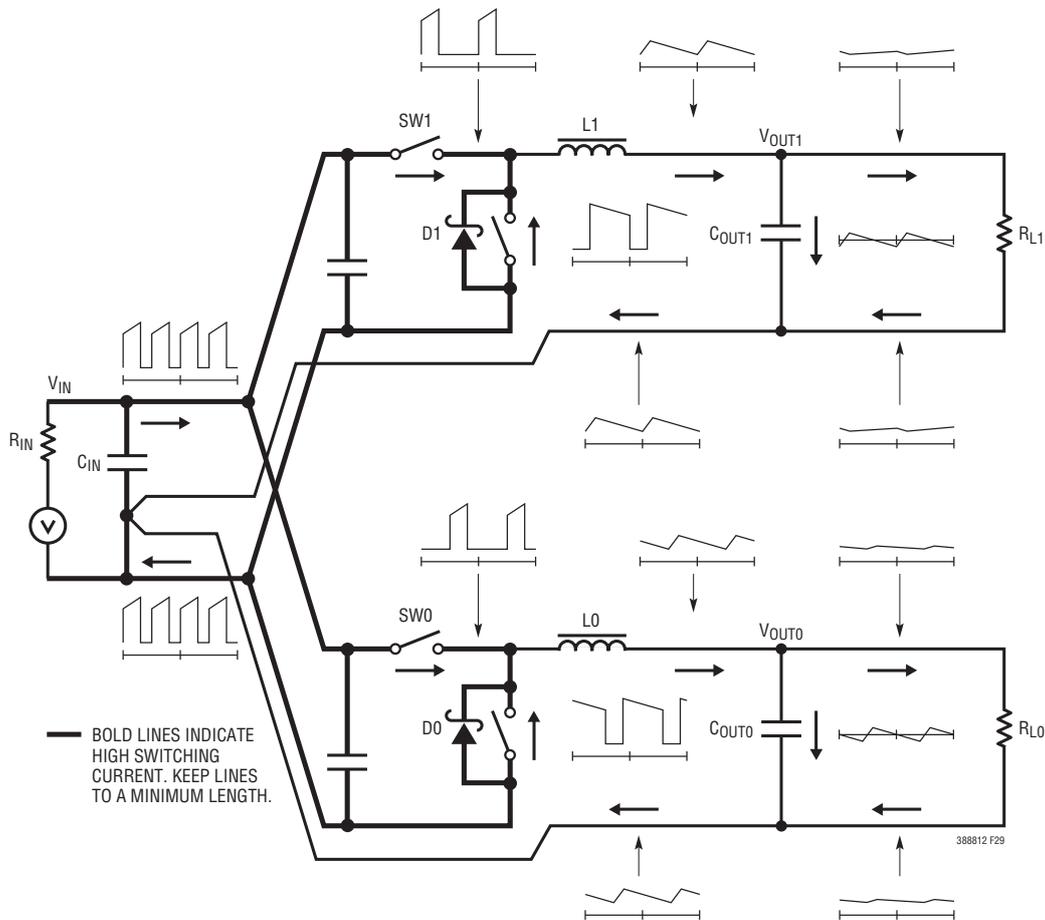


図 29. 高周波パスと分岐電流波形

アプリケーション情報

表9. 出力関連の出荷時EEPROM設定

Quantity	PMBus Command	Value
UV Threshold	VOUT_UV_FAULT_LIMIT	-10%
Margin Low	VOUT_MARGIN_LOW	-5%
Margin High	VOUT_MARGIN_HIGH	+5%
OV Threshold	VOUT_OV_FAULT_LIMIT	+10%

低電圧および過電圧警告制限値は、出荷時EEPROM設定によって効果的にディスエーブルされます。LTC3888-1の出荷時デフォルト設定を使用する場合は、その他にもいくつかの点に注意を払う必要があります。

1. このモードでは、VOUT_TRANSITION_RATE (V/ms単位)は、VOUTポイントではなくVFBポイントに適用されます。更に、VOUTにおける絶対スルー・レートは係数(R1 + R2)/R2によってスケールされます。

2. このモードでは、MFR_PWM_MODE_LTC3888-1のビット6をクリアのままにしておく必要があります。これは出荷時のデフォルト設定です。これらのEEPROM設定ではVOUTサーボを使用しないでください。この場合にVOUT精度に適用されるデバイス許容差については、電気的特性のPWM制御ループのセクションと、MFR_PWM_MODE_LTC3888-1のコマンド詳細を参照してください。PMBus制御時にVOUTサーボを正しく使用方法については以下で説明します。

PMBus 出力電圧制御

外付けのR1とR2の選択が完了すれば、PMBusインターフェースが提供する、デジタル的にプログラムできる出力電圧制御機能をフルに利用することも可能です。LTC3888-1でこの制御モードを正しくイネーブルするには、以下のステップに従う必要があります。

1. RUNピンまたはOPERATIONコマンドを使って、PMBus制御を使用するマスタ(ページ)をディスエーブルします。
2. VOUT_SCALE_LOOPを(R1 + R2)/R2と等しい値に設定します。
3. 出力制御モードでこの変更を行うために、内部計算が行われます。MFR_COMMONのビット[6:5]が共にクリアされるまで待ってください。計算に要する時間は約500msです。

4. VOUT_COMMANDを希望の値に設定します(300mV~3.45Vの範囲)。この値については、下に示すVOUT_MAXの詳細を参照してください。

5. VOUTのマージン、警告レベル、ハード・スーパーバイザ閾値(UV/OV)に関連する値を設定します。そのためには、これらの値を使用した公称VOUTの範囲設定に関する優れた事例を用います。

6. RUNピンまたはOPERATIONコマンドを使って出力を再度イネーブルします。VOUTサーボはレールをオンにする前にイネーブルすることもでき、その後はいつでもオンにできます。詳細については、後述の出力電圧サーボの使用を参照してください。

以上の手順でVOUTの直接PMBus制御が確立されると、VOUT_TRANSITION_RATEはVFBではなく出力電力に正しく適用されます。また、LTC3888-1でVOUT_SCALE_LOOPを使用するにあたっては、いくつかの制約があります。

1. オンザフライでVOUT_SCALE_LOOPを変更することはできません。RUNピンまたはOPERATIONコマンドによって、レールをオフにする必要があります。このコマンド値を書き込む場合は、必ずMFR_COMMONのビット[6:5]をポーリングしてください。最大500msのレールオフ更新時間が必要になることがあります。この間、LTC3888-1へ送られた他のVOUT関連コマンドの処理は、新しいVOUT_SCALE_LOOPの計算が完了するまで遅延されます。この値を設定するのは、(R1 + R2)/R2の希望値を決定した後に1回だけとすることを強く推奨します。
2. デバイスはそのチャンネルのVOUT_SCALE_LOOPの処理完了を示す前に、LTC3888-1にVOUT関連コマンドを送ったり出力を再度イネーブルしたりすると、誤ったフォルトが発生したり、コントローラが望ましくない動作をしたりすることがあります。
3. VOUT_MAXは、VOUT_SCALE_LOOPに基づく値を返す読出し専用コマンドで、最大値は読出し専用値MFR_VOUT_MAXによって与えられます。この計算値は最大出力を設定し、その最大出力は、公称VOUT、マージン、またはフォルトに対して特定のR1/R2を組み合わせることでプログラムできます。VOUT_MAXのコマンド詳細を参照してください。

アプリケーション情報

出力電圧サーボの使用

最大限の出力電圧精度を得るには、PMBus出力制御の設定をすべて完了した後でMFR_PWM_MODE_LTC3888-1のビット6を設定することによって、マスタ位相のV_{OUT}サーボ・モードをイネーブルします。V_{OUT}サーボ・モードで、LTC3888-1は、関連するモニタADCの指示値に基づいてレギュレーション出力電圧の値を調整します。V_{OUT}サーボは、出力電圧ADCチャンネルが変換されるごとに、出力が正しいADC指示値に達するまで内部EAリファレンスを297.5μV刻みで調整します。

LTC3888-1がV_{OUT}をサーボ制御するには、VOUT_SCALE_LOOPを使用する必要があります。これは、任意の条件下でサーボにより生成された最終的なV_{OUT}に、代表値で±0.2% (絶対最大値で±0.5%)の精度を持たせることを可能にします。V_{OUT}サーボの効果をフルに引き出すには、アプリケーションの生成する未加工の出力値がVOUT_COMMANDの±5.5%以内でなければならないので、許容誤差±0.5%の外部帰還抵抗を推奨します。

マスタ・チャンネルをオンにした後、以下の条件がすべて満たされるとV_{OUT}サーボがイネーブルされます。

- ・ MFR_PWM_MODE_LTC3888-1のビット6がセットされる
- ・ ソフトスタート・シーケンスが完了する
- ・ VOUT_UV_FAULTが発生していない
- ・ IOUT_OC_FAULTが発生していない

その後は、TON_MAX_FAULT_LIMITが0s (無限)に設定されていない限り、[図30](#)に示すように、TON_MAX_FAULT_LIMITの経過後にV_{OUT}サーボ・モードが起動します。TON_MAX_FAULT_LIMITが0sに設定されている場合は、上記の条件が満たされると、すぐにサーボ・モードが起動します。

ソフトスタートとソフトストップ

LTC3888-1はデジタル・ランプ制御を使用して、ソフトスタートとソフトストップを行います。

LTC3888-1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。デバイスの初期化が完了して、V_{IN}の電圧がVIN_ON閾値を超えたと判定されると、RUNピンが解放されます。

一度動作状態になると、負荷電圧を能動的にレギュレーションしながら、目標電圧を0Vから最終的な設定値までデジタル的に徐々に上昇させることによって、定められた追加遅延時間(次のセクションを参照)の経過後にソフトスタートが実行されます。電圧ランプの立上がり時間はVOUT_

TRANSITION_RATEを使用してプログラム可能で、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。LTC3888-1がこの方式で出力を変化させることができる最大レートは、100μs/ステップです。ソフトスタートは、VOUT_TRANSITION_RATEを4V/msに設定することによってディスエーブルできます。LTC3888-1は、電圧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。ただし、パワー段による基本的な制限値より大きい電圧勾配にすることはできません。VOUT_TRANSITION_RATEが大きくなるほど、出力電圧の段差も大きくなります。

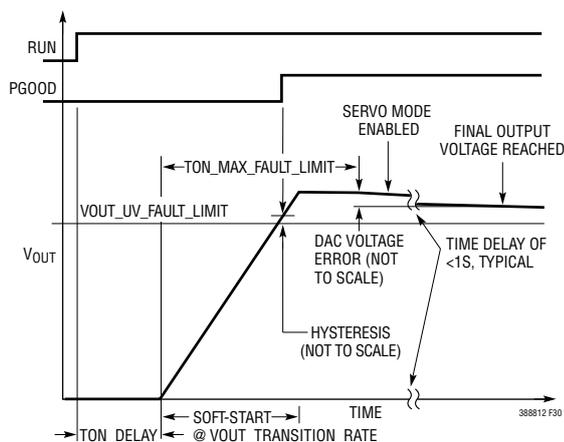
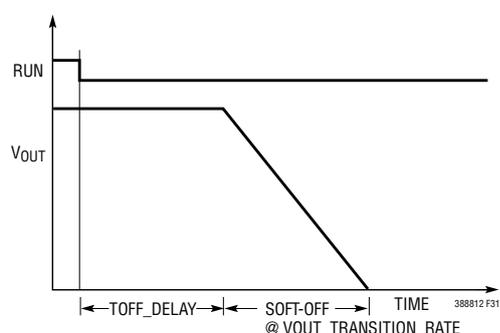
LTC3888-1は、ターンオン制御と同じ方法でソフト・ターンオフもサポートします。ソフトオフは、RUNピンがローになるか、デバイスをオフにするコマンドが送られると実行されます。LTC3888-1が制御されたランプ・オフを行うことができるのは、VOUT_TRANSITION_RATEが十分小さい値になっていて、それを基に制御ループとパワー段が必要な勾配を実現できる場合に限られます。VOUT_TRANSITION_RATEの値が大きすぎて負荷コンデンサを完全に放電できないと、出力が0Vになりません。この場合は、ソフトオフ終了時にもパワー段のオフが命令されて、負荷により決定されるレートでV_{OUT}が減少していきます。VOUT_TRANSITION_RATEが大きくなるほど、出力電圧の段差も大きくなります。何らかの理由で1つのレールがフォルトによってオフになると、直ちに、関係するすべてのPWM位相のオフが命令されます。その後、出力は負荷電流の関数として減少していきま

時間ベースの出力シーケンシングとランピング

LTC3888-1のTON_DELAYコマンドとTOFF_DELAYコマンドをVOUT_TRANSITION_RATEと組み合わせて使用すれば、汎用性を備えた様々なシーケンシング方式とランピング方式を実装することができます。時間ベースのシーケンシングとランピングの鍵となるのは、[図30](#)と[図31](#)に示すように、出力をPMBusコマンドの値に従って増減できるLTC3888-1マスタ位相の能力です。

LTC3888-1によって制御される出力電圧のすべての変化には、固定遅延と、その他のタイミング上の不確実性が伴います。ソフトスタート/ストップやマーキングを含むあらゆる出力電圧変化の処理には、公称270μsの固定タイミング遅延が伴います。時間ベースのすべての出力動作の開始には±50μsの不確実性があり、公称ステップ分解能は100μsです。これは、LTC3888-1の生成し得る最小制御時間遅延が、

アプリケーション情報

図30. サーボによる時間ベースのV_{OUT}ターンオン図31. 時間ベースのV_{OUT}ターンオフ

基本的な発振器許容誤差を除いて220 μs ~320 μs であることを意味します。ソフトウェア・ベースの出力変更(例: マージニング)では、このアルゴリズム遅延はシリアル・バス上でSTOPビットを受け取った時点で始まります。この最小ターンオン/ターンオフ遅延とステップ単位の出力制御の例を図33に示します。ここではTON_DELAY = 0sです。

アナログ・デバイス製のデジタル・パワー製品によって制御されたレール間でトラッキングとシーケンシングを効果的に実装するには、制御側のすべてのデバイス間で2つの信号、SHARE_CLKとRUN(LTC297x製品のCONTROLピン)を共有する必要があります。これにより、共有の入力電源状態(VIN_ON閾値)、外部ハードウェア制御(RUNピン)、またはPMBusコマンド(場合によりグローバル・アドレス指定を使用)に基づいて、同期されたレール・シーケンシングのオンとオフを容易に行えるようになります。

図33に、TON_DELAYを使用した出力電源シーケンシングの例を示します。

図34と図35に示すように、等価ターンオン/オフ遅延と適切なレートを設定することにより、従来の同時トラッキングと比例トラッキングをエミュレートすることもできます。

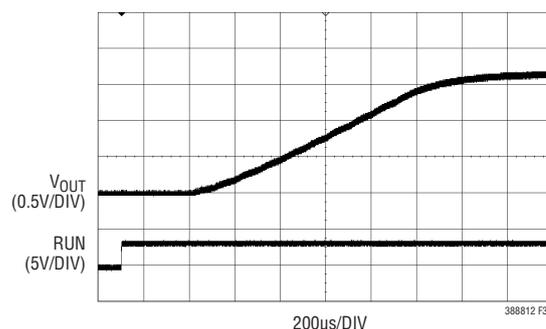


図32. 固定LTC3888-1処理遅延とソフトスタートの例

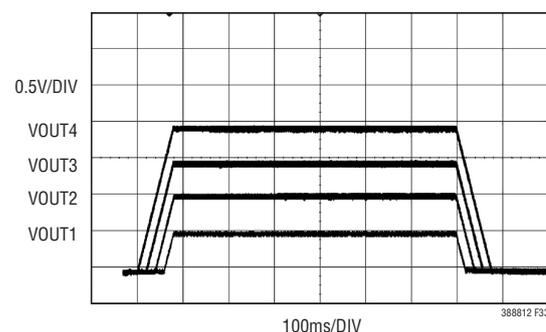


図33. LTC3888-1の時間ベース電源シーケンシング

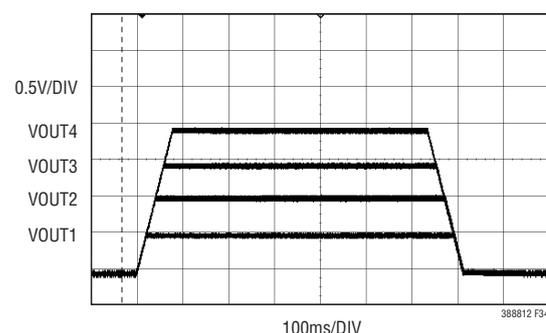


図34. LTC3888-1の時間ベース同時電源ランピング

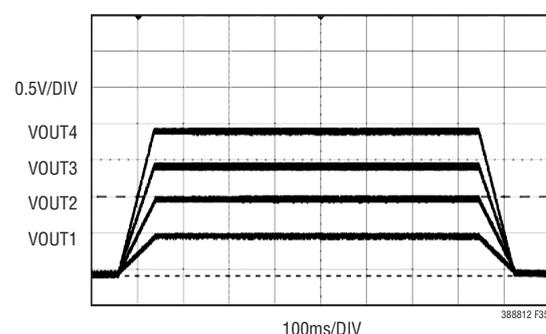


図35. LTC3888-1の時間ベース比例電源ランピング

アプリケーション情報

更に、これらの方式を組み合わせることでマッチングを取ることにより、従来のアナログ専用コントローラでは実装が難しかったものを含め、必要なあらゆるランピング制御を容易に作り出すことができます。最終製品の条件の変化に合わせ、ハードウェアの変更なしでレールのシーケンシングを変更できるので、これらのプログラマブル機能はシステム開発を大幅に簡略化します。LTpowerPlay GUIとLTC3888-1の内蔵EEPROMをこのタスクに使用すれば、ファームウェアを新たに開発することなく、レール間のターンオン/オフ関係を変更することができます。これにより、電源システム全体の規模を容易に拡大/縮小できるので、実績あるハードウェア・マクロ設計を有効に再利用することができます。

電圧ベースの出力シーケンシング

LTC3888-1は電圧ベースの出力シーケンシングが可能で、アナログ・デバイセズのPSMファミリの製品を連結して使用する場合は、別のコントローラのGPIOピン、FAULTピン、またはPGOODピンから、1つのRUNピンを制御することができます。図36に示すタイプのハードウェア構成は、上流の出力が特定のUV閾値未満になると、常に次の下流コントローラをディスエーブルします。GPIOまたはFAULTを使用する場合は、VOUT_UV_UFだけを伝搬するように制御出力を設定し、そのデバイスのMFR_GPIO/FAULT_RESPONSEは「無視」(0x00)に設定する必要があります。UV閾値を超えてからGPIO/FAULTピンが解放されるまでの遅延は小さいので、フィルタなしのV_{OUT} UVフォルト制限値を使用することを推奨します。GPIO/FAULT UV伝搬を利用する場合は、出力デグリッチ・フィルタを使って、出力遷移の値が小さいときにV_{OUT}のノイズによって制御が頻繁に切り替わることがないようにすることができます。アナログ・デバイセズのほとんどのPSMデバイスは内部フィルタを備えています(通常250μs)、これらのフィルタだけで不要な遷移の発生を防ぎきれない場合は、出力ピンとグラウンドの間にコンデンサを接続します。フィルタのRC時定数は十分に小さくして、検知できるほどの遅延が発生しないようにしてください。値を300μs~500μsにすると、トリガ・イベントに著しい遅延を生じさせることなく、フィルタリング効果のある程度強化することができます。

システムをオフにすると、図37に示すように、レールはシステムがオンしたときと同じ順序でシャットダウンします。異なるシーケンスが必要な場合は、回路を配線し直すか、TON_DELAYまたはTOFF_DELAYをプログラミングすることに

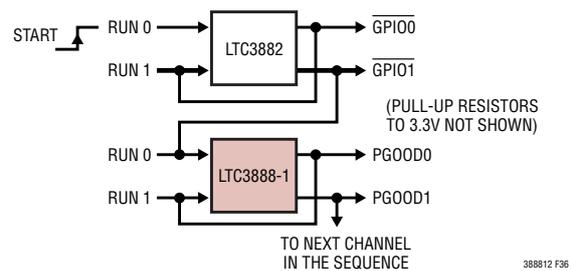


図36. カスケード・シーケンシング構成の例

よって遅延を加える必要があります。このアプリケーションの基本的な制約は、上流のレールが下流のレールの起動異常を検出できないことです。このため、カスケード・シーケンシングを実装する場合は、必ず高速のスーパーバイザを使用する必要があります。このスーパーバイザは下流レールをモニタして、問題が発生した場合はシステム・フォルトをアサートするために使用します。

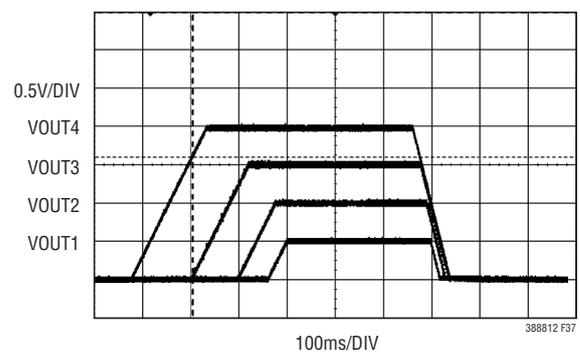


図37. カスケード・シーケンシング波形

PWM周波数の同期

LTC3888-1はフェーズ・ロック・ループ(PLL)を内蔵しており、すべてのPWMチャンネルを250kHz~1MHzの外部CMOSクロックに同期することができます。このPLLは、SYNCピンのクロック信号の立下がりエッジにロックされます。アプリケーションに必要な同期については、他のLTC3888-1やその他のアナログ・デバイセズ製PSMデバイスを含む別のソースから、SYNCを駆動できます。SYNCに外部クロックを使わない場合、PWMはFREQUENCY_SWITCHコマンドによって指定される周波数で動作します。

アプリケーション情報

PolyPhase レールのすべてのデバイスは、SYNC ピンを共有する必要があります。1つのレールの位相拡張だけが必要な場合は、マスタ・クロックを供給するデバイスが、そのCLKOUTによって、クロック・スレーブ・デバイスのSYNC入力をそのまま駆動します。複数のアナログ・デバイス製PSMデバイス間でSYNCを共有する場合は、1つのデバイスだけがSYNC出力を制御するようにプログラムする必要があります。PolyPhaseのその他の詳細については以下のセクションを参照してください。

PLLは非常に正確なチャンネル位相関係を生成します。これはMFR_PWM_CONFIG_LTC3888-1で選択できます。PolyPhaseアプリケーションで最良の結果を得るには、単位円上の位相間隔をすべて等しくする必要があります。例えば、4位相システムではチャンネル間の位相間隔を90°にします。

PLLにはロック検出回路があります。動作中にPLLのロックが失われた場合は、STATUS_MFR_SPECIFICコマンドのビット4がアサートされ、マスクされていない場合は $\overline{\text{ALERT}}$ ピンがローになります。このフォルトは、STATUS_MFR_SPECIFICのビット4に1を書き込むことでクリアできます。

PolyPhase 動作と負荷分担

LTC3888-1の構成デバイス単体としてのPolyPhase設定は、MFR_PWM_CONFIG_LTC3888-1のビット[2:0]によって制御します。この場合、必要なすべてのスレーブ位相制御はデバイス内部で管理されます。高出力レールを動作させるには10~16相が必要で、LTC3888-1は、[図38](#)に示すように、単位円上でそれらの位相の間隔を最適に保つデュアルICの位相拡張機能を備えています。この機能を使用するには、MFR_PWM_CONFIG_LTC3888-1のビット3をセットして、そのデバイスをクロック・マスタにします。PGOOD0ピンは、2番目のLTC3888-1のSYNC入力を駆動するCLKOUTを出力するように再定義されます。この場合も、CLKOUTには最大3.3Vのプルアップ抵抗が必要です。これによりMFR_PWM_CONFIG_LTC3888-1のビット[2:0]は両方のデバイスで同じ値に設定され、以下のデュアルICレール構成が得られます。

- 10+(1または3)+(1または3)
- 12+(1または2)+(1または2)
- 14+1+1
- 16相

[図38](#)に示すように、マスタ・チャンネル0とそこに割り当てられた2つのデバイスのスレーブが組み合わされて、理想的な位相間隔(この場合は $360/12=30^\circ$)を持つ1つの多相レールが形成されます。残りの電圧制御ループとスレーブの利用に関しては高い柔軟性を備えていますが、位相についてはいくつかの制約があります。例えば10相の場合、それぞれのデバイスの残り3相の間隔は 120° なので、これらのループの1つから構成した2相レールを 180° 位相とすることはできません。残り2つのループも、1つの6相レールに組み込む場合、 60° の一定間隔とすることはできません。これら残り2つの3相ループの位相は互いに重なっていませんが、その1つまたは2つが、プライマリ多相レールの位相と重なる可能性はあります。

以下のピンは、LTC3888-1の位相拡張機能を使用するかどうかに関わらず、大きいPolyPhaseレール上にある2つ以上のデバイス間で共有する必要があります。

- V_{IN} (デバイスが複数ある場合)
- $V_{SENSE\pm}$ (前述の出力電圧の検出の説明を参照)
- I_{TH} / I_{THR}
- TSNS/VDR_MON
- SYNC (位相拡張を使わない場合)
- I²Cバスピン (SCL、SDA)
- $\overline{\text{ALERT}}$
- $\overline{\text{FAULT}}$ ピン
- RUN
- SHARE_CLK (デバイスが複数ある場合)

I_{TH} ピン同士を短絡させる場合は、1つの I_{THR} ピンを選び、他のすべての I_{THR} ピンを共通の I_{TH} に短絡させた状態でプライマリ・ループ補償を行うことができます。あるいは、すべての I_{THR} ピンを互いに短絡させて、実効抵抗をこれらすべての R_{TTH} と並列に組み合わせることができます。これは R_{ITH} のダイナミック・レンジを狭くしますが、プログラミング分解能が向上します。

V_{DD33} などのリニア・レギュレータ出力や R_{SET} を含む抵抗設定ピンは、デバイス間で共有しないでください。PGOODピンは、1つのレール上のすべてのマスタ・チャンネル間で共有できます。あるいは、1つのPGOOD出力を選んで、レール出力電圧のレギュレーション状態を示すことができます。

アプリケーション情報

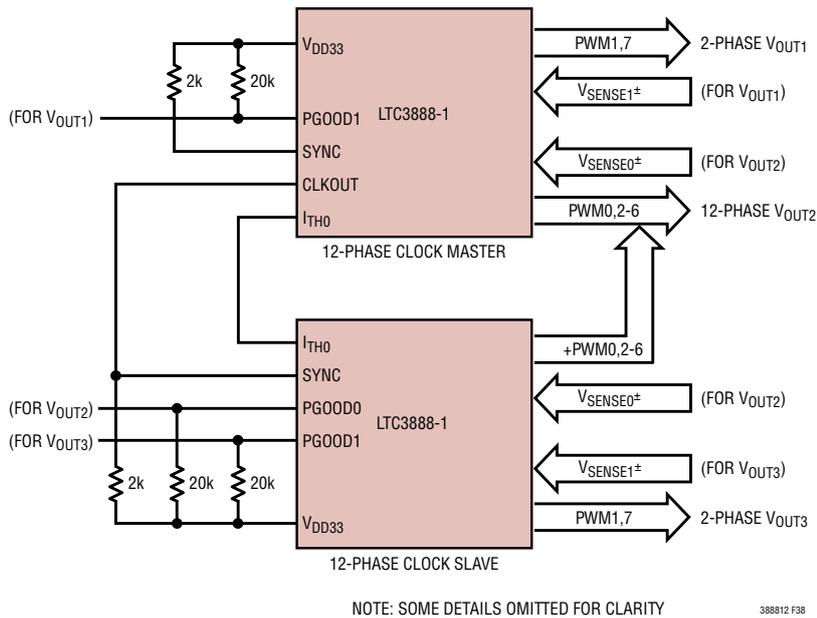


図 38. 12 + 2 + 2 位相拡張を示す簡略回路図

位相間隔を追加する必要がなくても出力電流を追加しなければならない場合は、その位置を問わず、いつでも LTC3888-1 レール上に重複位相を追加することができます。例えば、2つの LTC3888-1 を組み合わせて2つの5相レールと3つ目の6相レールを構成し、各位相を2つのPWMで駆

動することができます。この場合は2つのデバイス(1つをクロック・マスタに設定)間でSYNCが共有され、すべてのレールの位相は、単位円上においてそれぞれ必要な間隔で均等に分離されます。図 39 を参照してください。

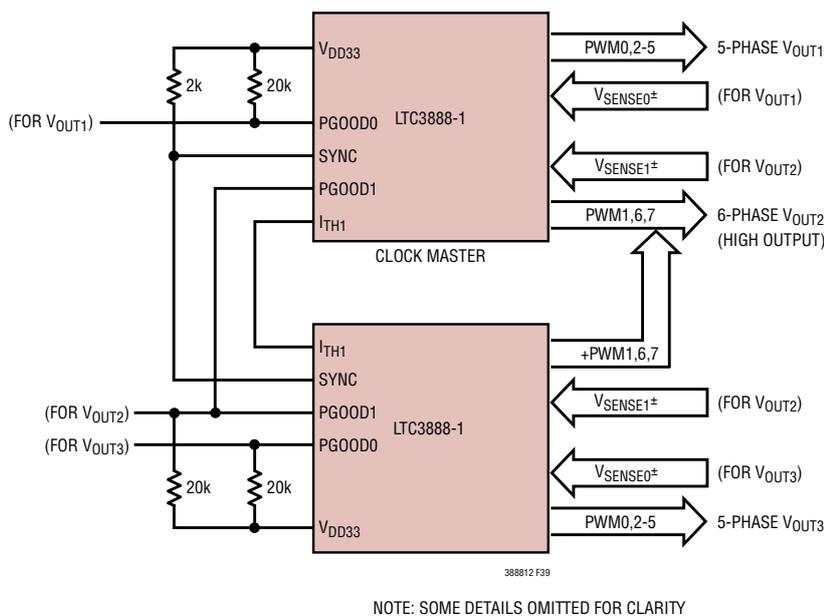


図 39. 5+5+6 アプリケーションを示す簡略回路図

アプリケーション情報

負荷分担の精度は、各スレーブ位相のパワー段出力電流モニタ・インターフェースに依存します。これらのチャンネルのゲイン・マッチング誤差は一般に小さく、無視できます。LTC3888-1の電流インターフェースの入力換算オフセットは工場出荷時に調整されていますが、やはり分担誤差バジェットに大きく影響します。特に、位相電流レベルが小さい場合は影響が顕著です。オンチップおよびオフチップ出力電流マッチングの仕様を電気的特性の表に示します。これらの仕様には、個々のパワー段の出力電流モニタ間ミスマッチによって生じる電流誤差は含まれていません。

レール上のすべてのマスタ・チャンネルは、出力電圧制御（マージンおよび開始/終了タイミングを含む）、入力および出力警告制限値（電圧と電流の両方）、すべてのフォルト制限値とそれに対応する応答、およびすべてのPWM設定制御に関係するすべてのPMBusコマンドに、同じ値を使用する必要があります。正確な I_{OUT} の遠隔測定を行い、各位相を通じて一貫したフォルト処理を実現するには、各マスタに正しい電流検出ゲインを設定する必要があります（ $I_{OUT_CAL_GAIN}$ ）。

PolyPhase電源は、入力コンデンサと出力コンデンサのリップル電流の量を大幅に減らします。入力電圧が、出力電圧に使用位相数を乗じた値より大きい場合、RMS入力リップル電流はその位相数で除した値になり、実効リップル周波数は位相数を乗じた値になります。出力電圧リップルの振幅も、使用する位相数によって小さくなります。この原理を、[図40](#)にグラフで示します。

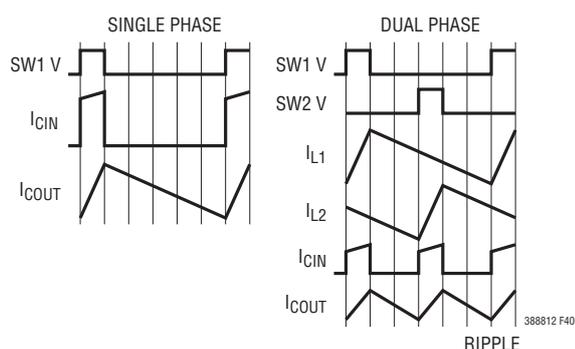


図40. 単相電流波形と2相電流波形

1段設計における最も厳しいRMSリップル電流は、入力電圧が出力電圧の2倍のときに最大になります。2相設計における最も厳しいRMSリップル電流は、出力電圧が入力電圧の1/4および3/4のときに最大になります。RMS電流を計算する場合、各段の電流が均衡している限り、より大きな実効デューティ・ファクタが得られ、ピーク電流レベルは分割されます。1段スイッチング・レギュレータのRMS電流の詳細な計算方法については、アプリケーション・ノート19を参照してください。[図41](#)と[図42](#)は、追加位相を使用することによって、入力電流と出力電流がどのように減少するかを示しています。2相コンバータでは入力電流のピークが半分に減少し、周波数は2倍になります。したがって、入力コンデンサに関する条件は理論的には1/4に緩和されます。

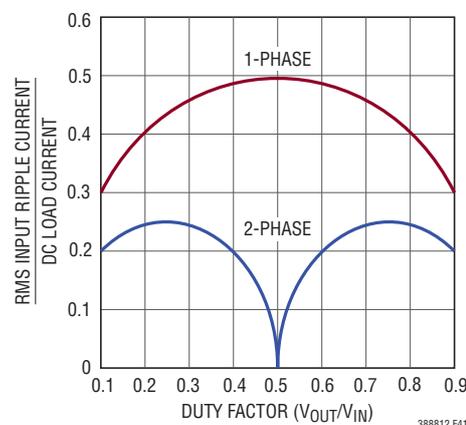


図41. 正規化したRMS入力リップル電流

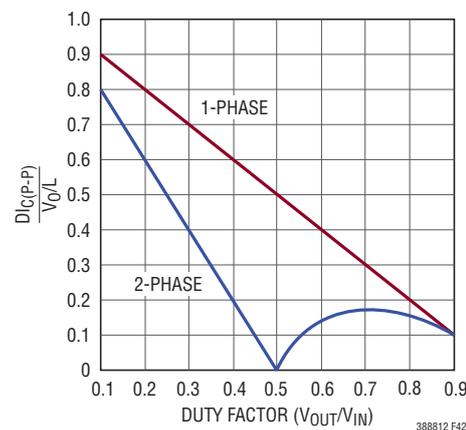


図42. 正規化した出力リップル電流

アプリケーション情報

抵抗設定ピン

LTC3888-1は、工場出荷時のデフォルトとして外付け抵抗による設定を行うようにプログラムされているので、シリアル・インターフェースを通じてデバイスをプログラムしたり、EEPROMの内容をカスタム設定したデバイスを購入したりすることなく、出力電圧制限値、PWMの周波数と位相、PMBusアドレスを設定することができます。R_{SET}ピンとGNDの間には、精度1%以上の18.7kΩ抵抗を接続する必要があります。この部品は、残りのR_{CONFIG}ピンのために正しいバイアス・レベルを設定し、これらのピンはGNDとの間に接続した抵抗でプログラムされます。R_{CONFIG}ピンに質問信号が送られるのは最初の電源投入時とリセット時だけなので、オンザフライでこれらの値を変更することは推奨できません。同じデバイスの複数のR_{CONFIG}ピンを同じ内容でプログラミングする場合は、それらのピンで1個の抵抗を共有することができます。抵抗は、デバイスを正しく動作させるために精度1%以上のものを使う必要があります。これらのピンの近くには、ノイズの大きいクロック信号の配線を通さないでください。

出力電流制限値は表10に示す要領で設定できます。例えば、この抵抗を4.42kΩに設定するのは、IOUT_OC_WARN_LIMITの値を32Aに、IOUT_OC_FAULT_LIMITを40Aにプログラムすることと同じです。

表 10. OC 警告制限値とフォルト制限値の抵抗プログラミング

R _{CONFIG} (kΩ)	IOUT_OC_WARN_LIMIT (A)	IOUT_OC_FAULT_LIMIT (A)
OPEN	from EEPROM	from EEPROM
11.8	68	85
10.2	64	80
9.31	60	75
8.66	56	70
7.87	52	65
7.15	48	60
6.49	44	55
5.9	40	50
5.11	36	45
4.42	32	40
3.74	28	35
3.09	24	30
2.43	20	25
1.74	16	20
1.02	12	15
GND	8	10

LTC3888-1がサポートするあらゆるシングル・デバイス時のマスタ/スレーブ構成は、表11に示す2つの周波数のうちの1つを使い、PWM_CFGでプログラムできます。外付け抵抗を使ってマスタ/スレーブ構成を設定する場合、位相拡張機能は使用できません。

表 11. PWM_CFGの抵抗プログラミング

R _{CONFIG} (kΩ)	MFR_PWM_CONFIG_LTC3888-1[3:0]		SWITCHING FREQUENCY (kHz)
	BINARY	MASTER/SLAVE	
OPEN	from EEPROM		550
11.8	0111	7 + 1	
10.2	0110	6 + 2	
9.31	0101	6 + 1	
8.66	0100	5 + 3	
7.87	0011	4 + 4 (or 8-phase)	
7.15	0010	4 + 3	
6.49	0001	4 + 2	
5.9	0000	3 + 3	
5.11	0111	7 + 1	
4.42	0110	6 + 2	
3.74	0101	6 + 1	
3.09	0100	5 + 3	
2.43	0011	4 + 4 (or 8-phase)	
1.74	0010	4 + 3	
1.02	0001	4 + 2	
GND	0000	3 + 3	

LTC3888-1のアドレスは、表12に従い、2本の設定ピンASEL0とASEL1のプログラミングに基づいて選択されます。ASEL0はLTC3888-1のデバイス・アドレスの下位4ビットをプログラムし、ASEL1は最上位3ビットをプログラムします。これらのアドレス部分は、いずれもEEPROMのMFR_ADDRESSの値から読み出すことも可能です。両方のピンが未接続になっている場合は、EEPROMに保存されている7ビットのMFR_ADDRESS値を使ってデバイス・アドレスが決定されます。システム内のLTC3888-1には、それぞれ固有のアドレスを割り当てることを推奨します。これは、ASELピンを使って効率的に行うことができます。手間のかかるカスタムEEPROMプログラミングを行う必要はありません。LTC3888-1は、7ビットのグローバル・アドレス0x5Aと0x5Bにも応答します。MFR_ADDRESSとMFR_RAIL_ADDRESSは、これらの値に設定しないでください。

アプリケーション情報

表 12. MFR_ADDRESS の抵抗プログラミング

R _{CONFIG} (kΩ)	ASEL1		ASEL0	
	DEVICE ADDRESS BITS[6:4]		DEVICE ADDRESS BITS[3:0]	
	BINARY	HEX	BINARY	HEX
OPEN	from EEPROM		from EEPROM	
11.8			1111	F
10.2			1110	E
9.31			1101	D
8.66			1100	C
7.87			1011	B
7.15			1010	A
6.49			1001	9
5.9			1000	8
5.11	0111	7	0111	7
4.42	0110	6	0110	6
3.74	0101	5	0101	5
3.09	0100	4	0100	4
2.43	0011	3	0011	3
1.74	0010	2	0010	2
1.02	0001	1	0001	1
GND	0000	0	0000	0

内部レギュレータ出力

INTV_{CC}ピンは、5.2Vの公称値でLTC3888-1内部の大半のアナログ回路に電源電流を供給します。LTC3888-1は、V_{IN}プライマリ電源からINTV_{CC}への5.2V供給に使用できるリニア電圧レギュレータを内蔵しています。電源電圧がこれより低い場合は、V_{IN}とINTV_{CC}を短絡すれば、INTV_{CC}ピンに外部5V電源を接続して使用することもできます。内部5.2V LDOを使用する場合は、容量1μF~4.7μFの低ESR X5RまたはX7Rセラミック・コンデンサを使って、INTV_{CC}をGNDにバイパスする必要があります。外部5V電源からV_{IN}とINTV_{CC}に電源を供給する場合は、短絡した電源ピンとGNDの間に、容量0.01μF~0.1μFの低ESRローカル・バイパス・コンデンサを直接接続する必要があります。

INTV_{CC}は内蔵されている3.3Vおよび2.5VのセカンダリLDOに電力を供給し、3.3V LDOの出力はV_{DD33}に、2.5V LDOの出力はV_{DD25}に出力されます。3.3V電源は

LTC3888-1の内部補助回路に電力を供給し、2.5V電源は内部プロセッサ・ロジックの大半に電力を供給します。これらのLDO出力は、両方とも、容量が1μF以上ある低ESRのX5RまたはX7Rセラミック・コンデンサを使ってGNDに直接バイパスする必要があります。

特定構成のLTC3888-1、または負荷／ブルアップ抵抗に必要な電流より大きい外部システム電流を供給する場合は、これらのLDO電源を使わないでください。

デバイスのジャンクション温度

いかなる動作条件下でも最大定格ジャンクション温度を超えないようにしてください。LTC3888-1パッケージの熱抵抗(θ_{JA})は36°C/Wですが、これは露出パッドとPCBの熱的接触が良好であることが前提になっています。アプリケーションにおける実際の熱抵抗は強制空冷やその他の放熱方法に依存しており、特に、LTC3888-1を取り付けるPCBの銅箔の量に大きく影響されます。LTC3888-1の最大平均消費電力P_D(ワット単位)は、次式で計算できます。

$$P_D = V_{IN} \cdot (I_{03} + I_{EXT} + I_{RC25})$$

アプリケーション情報

ここで、

$I_{EXT} = V_{DD33}$ からローカル・プルアップ抵抗を含むすべての外部負荷へ流れる合計電流 (単位: アンペア)

$I_{RC25} = V_{DD25}$ から LTC3888-1 の設定抵抗へ流れる合計電流 (単位: アンペア)

f_{PWM} は PWM スwitching 周波数 (単位: kHz)

更に、LTC3888-1 の最大ジャンクション温度 ($^{\circ}C$) は次式で計算できます。

$$T_J = T_A + 36 \cdot PD$$

T_A は周囲温度 ($^{\circ}C$) です。

温度による EEPROM データ保持期間のディレーティング

$85^{\circ}C \sim 125^{\circ}C$ での EEPROM の読出し動作は、データ保存に影響しません。しかし、 $85^{\circ}C$ を超える温度での EEPROM への書込み、あるいは $125^{\circ}C$ を超える温度での保存や動作は、データ保持期間を低下させます。 $85^{\circ}C$ を超える温度でフォルト・ログがしばしば生成される場合は、その EEPROM フォルト・ログ領域でデータ保持期間がわずかに減少しても、それが機能の使用や他の EEPROM 保存に影響することはありません。高温時の EEPROM 機能の詳細については、[動作](#) のセクションを参照してください。データ保持期間低下の程度は、次式を使って無次元の加速係数を計算することにより、おおまかに予測できます。

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

ここで、

AF = 加速係数

E_a = 活性化エネルギー = 1.4eV

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

T_{USE} = 仕様に規定されたジャンクション温度

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

一例として、 $130^{\circ}C$ で 10 時間デバイスを保管した場合を考えます。

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

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

これは、このデバイスを $125^{\circ}C$ で $10 \cdot 1.66 = 16.6$ 時間動作させた場合と同じ影響があることを示しており、データ保持期間の減少は 6.6 時間ということになります。

オープンドレイン・ピンの設定

LTC3888-1 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. PGOOD0/CLKOUT
 2. PGOOD1
 3. $\overline{FAULT0}$, $\overline{FAULT1}$
 4. SYNC
 5. SHARE_CLK

- 5V 対応ピン

(これらのピンは 3.3V でも動作します)

1. RUN0, RUN1
2. \overline{ALERT}
3. SCL
4. SDA

上記のほとんどのピンは、0.4V で 3mA をシンクできるオンチップ・プルダウン・トランジスタに接続されています。これらのピンのロー状態閾値は、3mA の電流時に余裕のあるノイズ・マージンを確保できるように設定されています。3.3V ピンの場合、 $1.1k\Omega$ のプルアップ抵抗によって 3mA の電流が生成されます。回路の RC 時定数に伴う過渡速度の問題が生じない限り、一般的には $10k\Omega$ 以上の抵抗が推奨されません。

PGOOD のプルアップ抵抗は、LTC3888-1 の V_{DD33} ピン、または LTC3888-1 がイネーブルされる前に立ち上がる 3.6V 未満の別のバイアス電源に終端する必要があります。そうしないと、PWM 出力の動作後に、誤ってパワー・グッドでない判定されることがあります。

SDA や SCL のような高速信号では、より小さな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 時定数は必要な立ち上がり時間の $1/3 \sim 1/5$ にしてください。負荷 100pF、PMBus 通信速度 400kHz の場合、時定数

アプリケーション情報

を立上がり時間の1/3に設定すると、SDAピンとSCLピンのプルアップ抵抗は次のようになります。

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

最も近い1%精度抵抗の値は1kΩです。最良のノイズ・マージンを実現するために、値は1.1kΩまでに制限してください。

通信上の問題を防ぐために、SDAラインとSCLラインの寄生容量ができるだけ小さくなるように注意してください。負荷容量を見積もるには、対象信号をモニタして、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、LTC3888-1によって駆動される時は500ns（公称値）にわたり出力が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、必要時間が立上がり時間の1/3の場合、抵抗の計算は次のようになります。

$$R_{\text{PULLUP}} = \frac{2\mu\text{s} - 500\text{ns}}{3 \cdot 100\text{pF}} = 5.0\text{k}\Omega$$

最も近い1%抵抗の値は4.99kΩです。

タイミング誤差が発生する場合や、SYNCの振幅が要求値に満たない場合は、波形をモニタして、RC時定数と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、正常な動作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。

PGOOD0出力がCLKOUTとして設定されている場合は、この出力にも同様の結果（ $R < 5\text{k}\Omega$ ）を適用して、スレーブ・デバイスのクロッキングが適切に行われるようにする必要があります。

SHARE_CLK出力の公称周期は10μsであり、約1μsにわたってローに保持されます。この共有ライン上のシステム負荷を100pFとすると、時間を立上がり時間の1/3とした場合のこのラインの抵抗計算は次のようになります。

$$R_{\text{PULLUP}} = \frac{9\mu\text{s}}{3 \cdot 100\text{pF}} = 30\text{k}\Omega$$

最も近い1%抵抗の値は30.1kΩです。

PMBus 通信とコマンド処理

図43に示すように、LTC3888-1は深さ1のバッファを備えており、データの処理に先立ち、書き込まれた最後のデータを、サポートされているコマンドごとに保持します。LTC3888-1の2つの独立した並列部分がコマンドのバッファリングと処理を管理して、コマンドに書き込まれた最後のデータが失われないようにします。デバイスがバスから新しいコマンドを受け取ると、コマンド・データ・バッファ処理によってそのデータが書き込みコマンド・データ・バッファにコピーされ、そのコマンドのデータを処理する必要があることが内部プロセッサに示されます。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ているコマンドのフェッチ、（内部形式への）変換、および実行という、場合によっては速度の遅いタスクを実行します。

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に新しいコマンドが届いた場合は、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します。内部計算が進行中の場合、デバイスはこれをMFR_COMMONのビット5（Internal Calculations Not Pending – 内部計算は保留されていない）で示します。内部プロセッサが計算でビジー状態のときは、ビット5がクリアされます。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44にポーリング・ループの例を示します。このループはコマンドが順番に処理されるようにすると共に、エラー処理ルーチンを簡素化します。MFR_COMMONは、常に10kHz～400kHzのPMBus速度で有効なデータを返します。

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知らせます。その設定と状態によっては、そのコマンドにNACKを返すか、読出し用にすべて1(0xFF)を返す場合もあります。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（クロック・ストレッチ）したりすることもあります。詳細については、PMBus Specification V1.2, Part II, Section 10.8.7と、SMBus V2.0 section 4.3.3を参照してください。クロック・ストレッチは、MFR_CONFIG_ALL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。

ビジー・デバイス用のPMBusプロトコルは広く受け入れられた規格ですが、書き込みのシステム・レベル・ソフトウェアがある程度複雑になる可能性があります。このデバイスには3つのハンドシェイク・ステータス・ビットがあり、これによって複雑化が緩和される一方で、信頼性の高いシステム・レベ

アプリケーション情報

ルの通信が可能になります。これら3つのハンドシェイク・ステータス・ビットはMFR_COMMONレジスタ内にあります。内部処理の実行でデバイスがビジー状態のときは、MFR_COMMONのビット6（デバイスはビジーではない）がクリアされます。内部計算が進行中の場合、デバイスはMFR_COMMONのビット5（Internal Calculations Not Pending – 内部計算は保留されていない）をクリアします。特にV_{OUT}が遷移中（マーキングまたはオフ/オン）であるためにデバイスがビジーである場合、デバイスはMFR_COMMONのビット4（Output Not In Transition – 出力は遷移中でない）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、BUSYフォルト、またはALERT通知なしで受け付けられません。ただし、PMBus仕様が要求する他の理由（例えば無効なコマンドやデータなど）によって、コマンドにNACK応答が返される可能性があります。

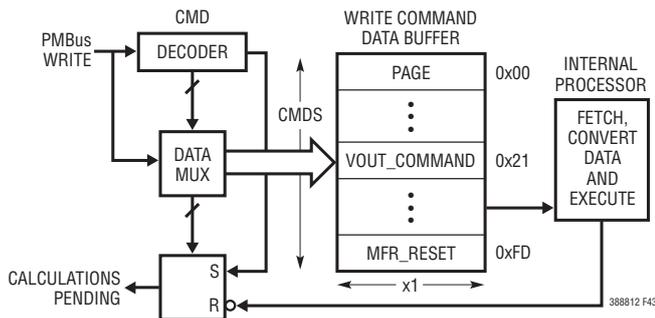


図43. 書き込みコマンドのデータ処理

VOUT_COMMANDレジスタへの信頼性の高いコマンド書き込みアルゴリズムの例を図44に示します。ビジー動作や不要なALERT通知の処理によって複雑になるのを避けるために、すべてのコマンド書き込みの前にはこのようなポーリング・ループを置くことを推奨します。これを実現する簡単な方法は、コマンド・バイトやコマンド・ワードを書き込むためのサブルーチンに、ポーリングを組み込むことです。このポーリング・メカニズムは、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します。

100kHz以下のバス・スピードで通信を行う場合、前述のポーリング・メカニズムは、クロック・ストレッチなしで信頼性の高い通信を確保する簡単なソリューションを提供します。100kHzを超えるバス・スピードでは、デバイスでクロック・ストレッチを使用できるようにすることを強く推奨します。そのためには、この機能をサポートするPMBus マスタが必要です。クロック・ストレッチを行う場合、LTC3888-1が、400kHzを超える速度で動作するバスを使って信頼性の高い通信を行うことはできません。400kHzを超えるPMBus SCLレート

でLTC3888-1を動作させることは推奨できません。クロック・ストレッチを行わずに100kHzを超える速度で通信を行うには、PMBus Specification V1.2, Part II, Section 10.8.7に記載されている標準のPMBus NACK 応答またはBUSYフォルトを検出して、そこから正しく回復できるシステム・ソフトウェアが必要です。

信頼性の高いPMBus インターフェースをLTC3888-1に実装する際にも適用できる方法については、アプリケーション・ノート135を参照してください。

ステータスとフォルトのログの管理

極めて稀な例ですが、内部動作が原因で、STATUS_WORDのLSバイトが、MSバイトのビット状態と一致なくなることがあります。この状態はごく一時的なことで、通常はSTATUS_WORDを再度読み出すだけで解決できます。

フォルト・ログをEEPROMへ内部保存中に電源が失われると、ログに部分的な記録しか書き込まれない可能性があります。この場合LTC3888-1は、次に適切な電源電圧が加わったときに、STATUS_MFR_SPECIFICのビット3とSTATUS_CMLのビット4をセットすることによって、記録の一部が欠落したフォルト・ログが存在することを示します。追加のログ記録はディスエーブルされたままになります。この場合に、そのログの内容が実際にどの程度有効なのかを調べる方法は、それぞれのログ・イベント・レコードの内容を主観的に評価する以外にありません。MFR_FAULT_LOG_CLEARは、部分的なフォルト・ログを恒久的に消去するので、その後はログを書き込めるようになります。フォルト・ログ記録をイネーブルする場合は(MFR_CONFIG_ALLのビット7)、電源投入時に常に部分的なフォルト・ログの有無をチェックすることを推奨します。

詳しくは、[動作のセクション](#)にあるフォルト・ログの詳細を参照してください。

LTpowerPlay – インタラクティブ・デジタル・パワー GUI

LTpowerPlayは、LTC3888-1を含むアナログ・デバイセズのパワーシステム・マネージメントICをサポートする、Windowsベースの強力な開発環境です。LTpowerPlayは、アナログ・デバイセズのデモ回路またはユーザ・アプリケーションに接続することによって、アナログ・デバイス製品を評価するために使用できます。LTpowerPlayはオフライン（ハードウェアなし）でも使用でき、複数のデバイス構成ファイルを作成することができます。これらのファイルは、保存して後で再度読み込むことができます。LTpowerPlayは、DC1613 USB-I²C/SMBus/PMBusコントローラを使用して、評価、開発、またはデバッグのためにシステムと通信します。このソフトウェアは、最新のアプリケーション・コードとドキュメントをアナロ

アプリケーション情報

グ・デバイセズから入手してその内容を常に最新の状態に保つ、自動更新機能も備えています。また、いくつかのチュートリアルを含む、充実したコンテキスト・ヘルプを備えています。

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

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

図44. VOUT_COMMANDを書き込むためのポーリング・ループの例

DC1613とのインターフェース

USBとI²C/SMBus/PMBus間のコントローラであるアナログ・デバイセズのDC1613は、プログラミング、遠隔測定、およびシステムのデバッグのために、任意の基板上的LTC3888-1とインターフェースを取ることができます。これには、アナログ・デバイセズのDC2652や、お客様のあらゆるターゲット・システムが含まれます。このコントローラは、LTpowerPlayと併用することで、電源システム全体のデバッグを行うことのできる強力な手段を提供します。遠隔測定、ステータス・レジスタ、およびフォルト・ログを使って迅速なフォルト診断が可能であり、最終的な設計構成を短時間で開発して、LTC3888-1のEEPROMや、LTpowerPlayの構成ファイルに格納することができます。

DC1613は、1つまたは複数のLTC3888-1との通信やそのプログラミングを行うことができる他、電源を供給することも可能です。電源供給は、システム電源が起動しているかどうかに関係なく利用できます。更に、給電プログラミング・アダプタDC2086を使用すれば、DC1613の電力供給能力を強化することができます。通常はV_{IN}から電力が供給される複数のLTC3888-1をシステム内でプログラムするアプリケー

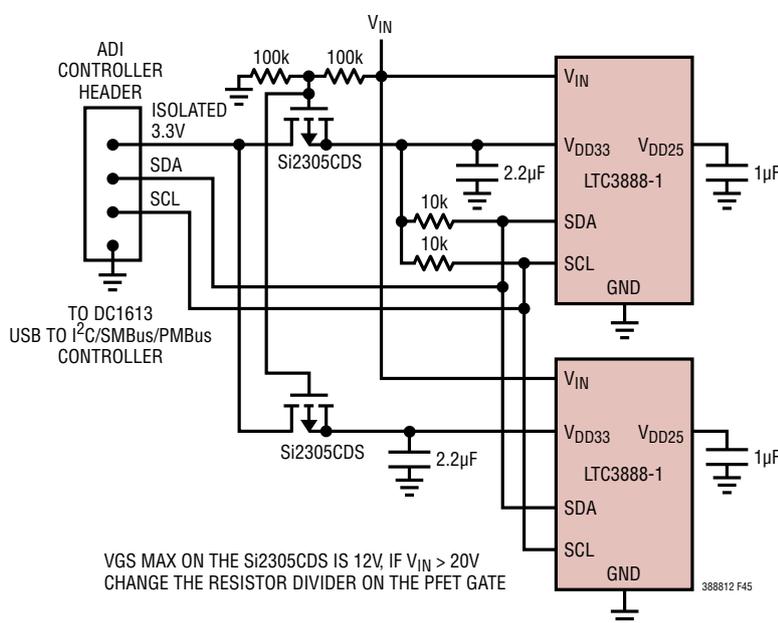


図45. DC1613の接続

アプリケーション情報

シヨンの回路図を [図45](#) に示します。DC2086を使用する場合は、Si2305CDS デバイスの代わりに、SiA907EDJTなどの $R_{DS(ON)}$ が小さい PFET を使用する必要があります。システム電源を使用できない場合は、DC1613 または DC2086 から LTC3888-1 の V_{DD33} 電源へ電力を供給して、回路内構成や製造のカスタマイズを行うことが可能です。このような形で V_{DD33} を使用する場合は、PMBus アドレス 0x5B を使ってコマンド 0xBD へ値 0x2B を送ることにより、システムに電源が供給されていない状態でデバイスを初期化することができます。これに続いてアドレス 0x5B で値 0xC4 を 0xBD へ送ると LTC3888-1 は通信を開始し、その通常の PMBus デバイス・アドレスで PMBus コマンドの値を更新できるようになります。加えられた変更は、その後の STORE_USER_ALL コマンドによって、すべて恒久的なものとなります (EEPROM に保存される)。システム電源がない状態で通信するためにコマンド 0xBD を使用した場合は、 V_{IN} をもう一度使用するときに、MFR_RESET を実行して通常動作を確立する必要があります。

DC1613 の I^2C 接続は、ホスト PC の USB から光学的に絶縁されています。DC1613 の 3.3V 電流制限値は 100mA にすぎないので、3.3V 電源は、システム内の 1 つまたは 2 つの LTC3888-1 に電力を供給するためだけに使用します。このように電流供給能力には限りがあるので、DC1613 が提供する絶縁型 3.3V 電源からの電力供給先は、LTC3888-1、その関連プルアップ抵抗、および I^2C プルアップ抵抗だけにします。DC2086 を使用すると、通常システム電源を使用しなくても、数十個の LTC3888-1 デバイスのインシステム・プログラミングが可能です。 V_{DD33} だけに電力を加えると、それぞれの LTC3888-1 によって、内部 INTV_{CC} LDO 出力または V_{IN} 電源にわずかな電流 (通常は 1mA 未満) が流れることがあります。

更に、 I^2C バス接続を LTC3888-1 と共有しているデバイスが他にある場合は、SDA/SCL ピンとそれぞれのロジック電源の間に内部ボディ・ダイオードが形成されないようにする必要があります。これは、システム電源が存在しない場合にバス通信と干渉するからです。例えば両方の RUN ピンをローにすることによって両方のマスタをオフに設定し、デバイスの設定が完了するまで負荷に電力が供給されないようにします。

設計例

1 つの設計例として、[図46](#) に示すような 280W のデュアル出力アプリケーションを考えます。この例では、 $V_{IN} = 12V$ 、 $V_{OUT0} = 1V$ 、 $V_{OUT1} = 1.8V$ です。どちらのレールも 100A の定格負荷に対応しています。両方のレールのパワー段には、出力電流能力、機能セット、および小さいパッケージ・サイズなどに基づいて TDA21470 を使用します。システム内では、

TDA21470 の電源条件に合わせて 5V 補助電源 VDR を使用できるものとします。パワー段の 1 つのバイアスとバイパスについての詳細を [図46](#) に示します。残り 7 個の TDA21470 デバイスについてはこの詳細が示されていませんが、(V_{IN} のバイパスと出力フィルタ容量を含む)、それぞれについて同じ内容を繰り返す必要があります。また、部品は、既に述べた PCB レイアウトのガイドラインに従って各デバイスの近くに配置してください。

更に、LTC3888-1 の INTV_{CC} (4.7 μ F)、 V_{DD33} (2.2 μ F)、および V_{DD25} (1 μ F) LDO 出力に、それぞれ必要なローカル・バイパス・コンデンサを配置します。これらの LDO 出力には独立した内部制御ループがあるので、同じ名前が使われている可能性がある他の IC の出力との共有は避けてください。

次に、R284、R285 (V_{OUT1})、R277、および R278 (V_{OUT0}) に適切な値を選択することによって、各レールのレギュレーション出力を設定します。DAOUT の合計負荷は 50k Ω ~ 100k Ω に保つことを推奨します。

出荷時に設定されたデフォルトのマスタ/スレーブ設定 (4+4) と 500kHz の PWM 動作周波数 (FREQUENCY_SWITCH) を選択するには、PWM_CONFIG ピンを未接続のままにします。これらは共に、このアプリケーションの設定目標です。この設定では各レールの 4 つの位相が 90° で分離され、8 つの位相はどれも重なることがないので、入力リップルと出力リップルを最小限に抑えることができます。

この設計では公称出力リップルを I_{OUT} の約 55% にして磁気量を最小限に抑えることを狙い、インダクタンスの値はこの前提に基づいて選択します。各位相は全負荷時に平均 25A を出力に供給するので、各チョークでのリップルは 14A_{p-p} になります。215nH のインダクタでは、1.8V レール使用時に 500kHz でこのピーク to ピーク・リップルが発生します (1V レールでのリップルはこれより小さくなります)。ここでは、飽和電流制限値が室温で 50A の Cooper FP1007R3-R22-R 220nH インダクタを使用します。

入力フィルタリングには、6 個の 270 μ F パナソニック OS_CON で構成したコンデンサ・バンクを使用して、設計コンバータ・リップル電流に対して許容できる AC インピーダンスを実現できるようにします。また、LTC3888-1 自体のために高周波バイパス機能 (1 Ω と 2.2 μ F) が組み込まれており、各パワー段にローカルで追加されたセラミック・バルク・バイパス・コンデンサも、高周波数時にこの入力の ESR を低下させます。

アプリケーション情報

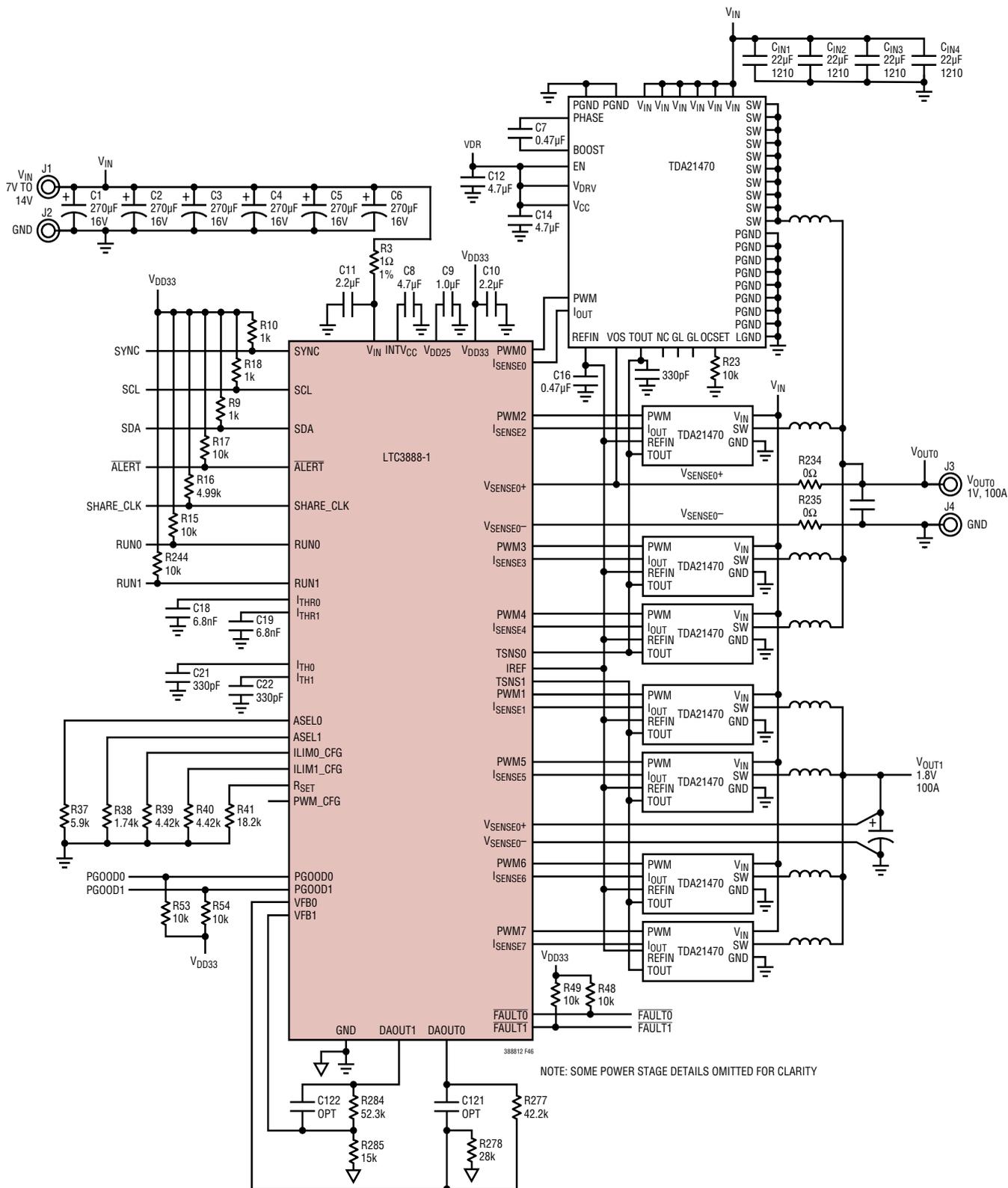


図 46. TDA21470 DrMOS を使用する 1V/100A および 1.8V/100A 500kHz コンバータ

アプリケーション情報

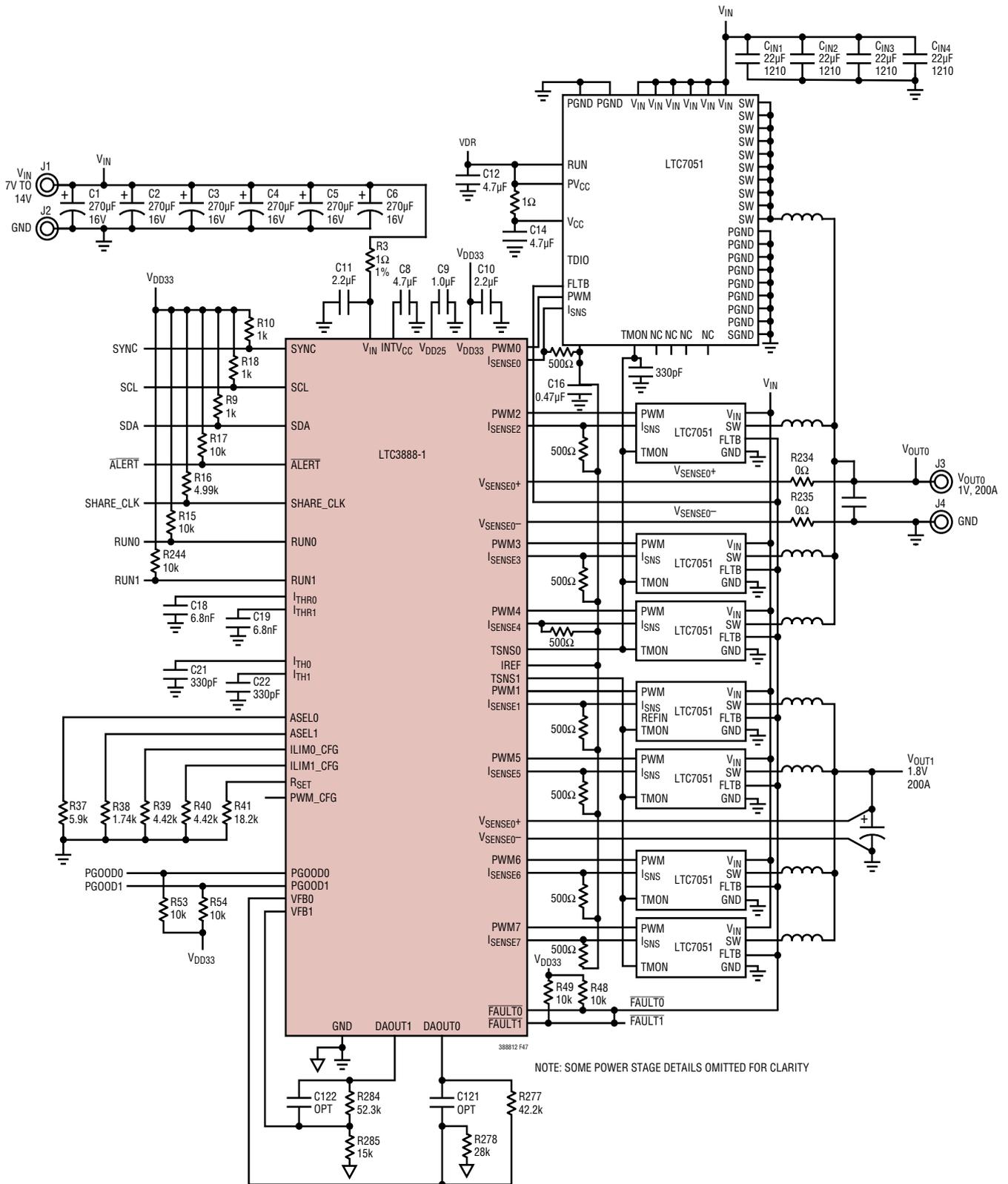


図 47. LTC7051 DrMOS を使用する 1V/200A および 1.8V/200A 500kHz コンバータ

アプリケーション情報

厳しい過渡条件時に電源レギュレーションを維持して出力電圧リップルを最小限に抑えるために、各位相の出力には2個の470 μ Fパナソニック5m Ω POSCAPと、3個の100 μ Fセラミック・コンデンサを使用します。

ループ補償部品C18、C21 (V_{OUT0})と、C19、C22 (V_{OUT1})は、クロスオーバー周波数調整時の妥当な出発点となります。この調整は、LTpowerCAD、LTpowerPlay、およびLTC3888-1に組み込まれた負荷ステップ・エミュレーション機能の助けを借りて、エラー・アンプのトランスコンダクタンスと内部R_{ITH}をプログラムすることによって行います。スイッチング周波数が500kHzの場合、クロスオーバー周波数の初期目標である100kHzは、良好な過渡性能を実現するはずで、この帯域幅では、システムの位相マージンを約65°とすることを推奨します。

出力電流検出については、TDA21470が5mV/Aにスケールされた電圧モード・モニタを行います。これはLTC3888-1に最適で、I_{OUT}をLTC3888-1のI_{SENSE}ピンに直接接続することができます。LTC3888-1のI_{REF}出力は、すべてのパワー段に必要なコモンモード・リファレンスを提供するために使用します。更に、各DrMOSデバイスは、スイッチング・ノイズとクロストークを制限するために、このDCリファレンス(REFIN)上に470nFのローカル・バイパス・コンデンサを備えています。最大限のノイズ性能を得るには、これらのコンデンサをGND (LTC3888-1のパッケージ・パッド)に戻す必要があります。

必要な外部温度も個々のパワー段によって検出されます。各レールの最大温度は、それぞれのLTC3888-1 TSNS入力に直接接続された共有TOUT/FLTバス上に示されます。

必要なR_{SET}抵抗(18.7k Ω)はGNDに接続します。次に、ASEL0ピンとASEL1ピンに抵抗設定を使用して、PMBusアドレス(MFR_ADDRESS)を0x28に設定します。それぞれのLTC3888-1には固有のアドレスを設定する必要があります。インシステム・プログラミングをできるだけ簡単にするために、両方のASELピンを使ってこのプログラミングを行うことを推奨します。選択したアドレスは、グローバル・アドレスや他の特定デバイスのアドレスとの衝突を回避するためにチェックしてください。LTC3888-1は、7ビットのグローバル・アドレス0x5Aと0x5Bにも応答します。MFR_ADDRESSとMFR_RAIL_ADDRESSは、これらの値に設定しないでください。位相あたりの定格負荷25A(合計100A)、室温でのチョーク飽和50Aの設計値に基づき、抵抗を使ってILIM0_CFGとILIM1_CFGをプログラムして、IOUT_OC_WARN_LIMITを32Aに、IOUT_OC_FAULT_LIMITを40Aに設定します。

各レールは、PMBus接続(3信号)と、共有RUN制御およびフォルト伝搬(FAULT)の機能を備えています。必要な場合は、SYNCを使用して他のPWMをこのデバイスに同期させることができます。

すべてのオープンドレイン信号線には、最大ライン負荷100pF、PMBusレート100kHzを前提としたプルアップ回路が接続されています。これらのピンはフロート状態のままにしないでください。3.3Vに終端すると、そのピンの絶対最大定格を超えないようにすることができます。ソフトスタート/ソフトストップなど、その他のすべての動作パラメータと必要なフォルト応答は、LTC3888-1のEEPROMに保存されたPMBusコマンド値を介してプログラムされます。

PMBus コマンドの詳細 (機能グループ別)

アドレス指定と書き込み保護

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ・ フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
PAGE	0x00	任意のページ指定コマンド用に現在選択されているチャンネル(ページ)	R/W Byte	N	Reg			0x00
PAGE_PLUS_WRITE	0x05	指定ページにコマンドを直接書き込み	W Block	N				
PAGE_PLUS_READ	0x06	指定ページからコマンドを直接読み出し	Block R/W Process	N				
WRITE_PROTECT	0x10	意図しないPMBus 変更からデバイスを保護	R/W Byte	N	Reg		●	0x00
MFR_ADDRESS	0xE6	右寄せの7ビット・デバイス・アドレスを指定	R/W Byte	N	Reg		●	0x4F
MFR_RAIL_ADDRESS	0xFA	PolyPhase 出力を構成するチャンネルに固有の右寄せ7ビット・アドレスを指定	R/W Byte	Y	Reg		●	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、両方のマスタ・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、一方のメモリ・チャンネルの動作メモリが格納されます。

ページ0x00はチャンネル0(またはPWM0)に、0x01はチャンネル1(またはPWM1)に対応しています。

PAGEを0xFFに設定すると、以下のいずれかのページ設定コマンドが両方のマスタ・チャンネルに適用されます。PAGEを0xFFに設定すると、LTC3888-1は、PAGEを0x00に設定した場合と同様に読み出しコマンドに応答します(チャンネル0の結果のみ)。

このコマンドにはデータ・バイトが1つあります。

PAGE_PLUS_WRITE

PAGE_PLUS_WRITE コマンドは、デバイス内へのページ設定、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、Page Number バイトは無視されます。

このコマンドは Write Block プロトコルを使用します。2つのデータ・バイトを含むコマンドを送信するPEC付きPAGE_PLUS_WRITE コマンドの例を図48に示します。

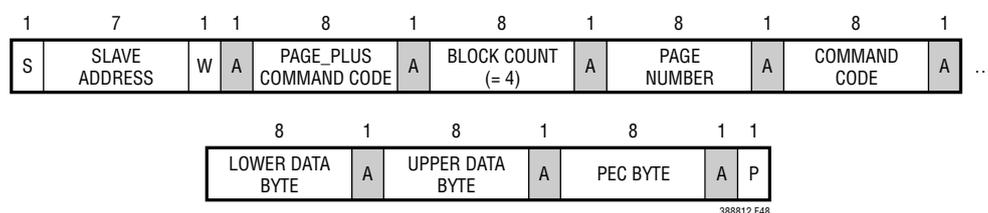


図48. PAGE_PLUS_WRITE の例

PMBus コマンドの詳細 (アドレス指定と書き込み保護)

PAGE_PLUS_READ

PAGE_PLUS_READ コマンドは、デバイス内へのページ指定、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。

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、Page Number バイトは無視されます。

このコマンドは、Block Write – Block Read Process Call 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49に示します。

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き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、LTC3888-1 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。

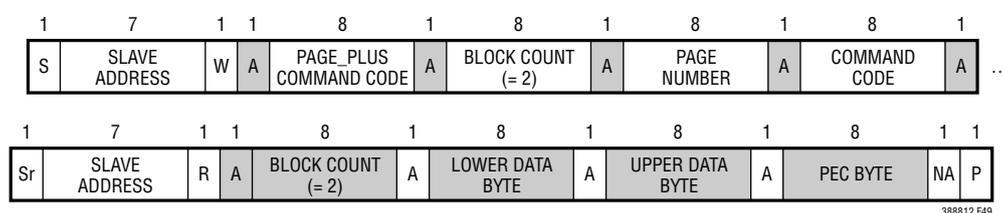


図49. PAGE_PLUS_READ の例

WRITE_PROTECT

WRITE_PROTECT コマンドは、LTC3888-1 への PMBus 書き込みアクセスを制御するために使用します。

サポートされている値

値	意味
0x80	WRITE_PROTECT、PAGE、STORE_USER_ALL、MFR_EE_UNLOCK コマンドを除くすべての書き込みをディスエーブルします。
0x40	WRITE_PROTECT、PAGE、STORE_USER_ALL、MFR_EE_UNLOCK、OPERATION、CLEAR_PEAKS、CLEAR_FAULTS コマンドを除くすべての書き込みをディスエーブルします。それぞれのステータス・ビットに1を書き込むことによって、個々のフォルトをクリアすることもできます。
0x20	WRITE_PROTECT、PAGE、STORE_USER_ALL、MFR_EE_UNLOCK、OPERATION、CLEAR_PEAKS、CLEAR_FAULTS、ON_OFF_CONFIG、VOUT_COMMAND コマンドを除くすべての書き込みをディスエーブルします。個々のフォルトは、それぞれのステータス・ビットに1を書き込むことによってクリアできます。
0x00	すべてのコマンドへの書き込みをイネーブルします。

このコマンドにはデータ・バイトが1つあります。

PMBus コマンドの詳細 (アドレス指定と書き込み保護/一般的なデバイス設定)

MFR_ADDRESS

MFR_ADDRESS コマンドは、そのユニットの PMBus デバイス・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、デバイスレベルのアドレス指定がディスエーブルされます。グローバル・アドレスの 0x5A と 0x5B をディスエーブルすることはできません。LTC3888-1 は常にこれらのアドレスで応答します。ASEL0 または ASEL1 の外付け抵抗で指定されたデバイス・アドレス、またはアドレスの任意の一部が適用されます。これらのピンが両方とも未接続の場合、デバイス・アドレスは EEPROM に格納されている MFR_ADDRESS 値によって厳密に決定されます。詳細については、[動作セクション](#)の抵抗設定ピンの説明を参照してください。

このコマンドにはデータ・バイトが 1 つあります。

MFR_RAIL_ADDRESS

MFR_RAIL_ADDRESS コマンドは、PAGE コマンドによる指定に従ってアクティブ・チャンネルの直接 PMBus アドレスを設定します。このアドレスは、1 つの電源レールに接続されたすべてのチャンネルで共通にする必要があります。このコマンドの値を 0x80 に設定すると、選択チャンネルに対するレール・アドレス指定がディスエーブルされます。レール・アドレスに対しては、コマンド書き込みだけを行うようにしてください。このアドレスから読み出しを行うと、CML フォルトが生成されます。

このコマンドにはデータ・バイトが 1 つあります。

一般的なデバイス設定

コマンド名	CMD 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	サポートしている PMBus バージョン	R Byte	Y	Reg			0x22 V1.2
CAPABILITY	0x19	サポートしているオプション PMBus 機能の概要。	R Byte	N	Reg			0xB0
MFR_CONFIG_ALL	0xD1	一般的なデバイスレベル設定	R/W Byte	N	Reg		●	0x21

PMBUS_REVISION

PMBUS_REVISION コマンドは、デバイスがサポートする PMBus 仕様のリビジョンを返します。LTC3888-1 は、PMBus Version 1.2 の Part I と Part II の両方に準拠しています。

この読み出し専用コマンドにはデータ・バイトが 1 つあります。

CAPABILITY

CAPABILITY コマンドは、LTC3888-1 のいくつかの重要な機能を PMBus ホスト・デバイスにレポートします。

LTC3888-1 はパケット・エラー検査と 400kHz のバス・スピードをサポートし、 $\overline{\text{ALERT}}$ 出力を備えています。

この読み出し専用コマンドにはデータ・バイトが 1 つあります。

PMBus コマンドの詳細 (一般的なデバイス設定/オン、オフ、マージン制御)

MFR_CONFIG_ALL

MFR_CONFIG_ALL コマンドは、アナログ・デバイセズの複数の PMBus 製品に共通するデバイスレベルの設定を行います。

ビット定義

ビット	意味
7	フォルト・ログ記録をイネーブルします。
6	ILIM および PWM 抵抗設定ピンを無視します。
5	クイック・コマンド・メッセージの CML フォルトをディスエーブルします。
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 の書込みに有効な PEC が必要です。
1	PMBus のクロック・ストレッチをイネーブルします。
0	RUN ピンまたは OPERATION コマンドでチャンネルがオンされたときに CLEAR_FAULTS を実行します。

受け取ったコマンドが正しいものでも、無効な PEC が付加されている場合は、LTC3888-1 は、ビット 2 の状態には関係なくそのコマンドを実行しません。クロック・ストレッチがイネーブルされていても、LTC3888-1 は必要な場合しかこれを使用しません。これは通常、SCL レートが 100kHz より高い場合です。

このコマンドにはデータ・バイトが 1 つあります。

オン、オフ、およびマージン制御

コマンド名	CMD 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 のオン/オフ・コマンドの設定。	R/W Byte	Y	Reg		●	0x1E
OPERATION	0x01	オン、オフ、およびマージン制御。	R/W Byte	Y	Reg		●	0x80
MFR_RESET	0xFD	電源を切らずにフル・リセットを強制	Send Byte	N				

ON_OFF_CONFIG

ON_OFF_CONFIG コマンドは、アドレス指定された出力レールをオン/オフするために必要な、RUN 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 ピンの両方が、デバイスに起動/動作を命令する必要があります。オフが命令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 ピンの両方が、デバイスに起動/動作を命令する必要があります。オフが命令されると、デバイスは TOFF_ コマンド値を使用します。
0x17	RUN ピン制御。オフが命令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	RUN ピン制御。オフが命令されると TOFF_ コマンド値が使われます。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。

このコマンドにはデータ・バイトが 1 つあります。

PMBus コマンドの詳細 (オン、オフ、およびマージン制御)

OPERATION

OPERATION コマンドは、RUN ピンのハードウェア制御と合わせて、関係する出力レールをオン／オフするのに使われます。このコマンドは、出力電圧をマージン・レベルへ移動させるために使用することもできます。OPERATION マージン・コマンドによって命令された VOUT の変更は、設定された VOUT_TRANSITION_RATE で行われます。そのユニットは、デバイスが OPERATION コマンドまたは RUN ピン電圧によって別の状態に変化するよう命令されるまで、命令された動作状態にとどまります。

出力遷移シーケンシングが進行中の場合、マージン・コマンドの実行はそのシーケンシングが完了するまで遅延されます。LTC3888-1 では、フォルトを無視するマージン動作はサポートされていません。

サポートされている値

値	意味
0xA8	上側マージン
0x98	下側マージン
0x80	オン(つまり公称 V _{OUT} 。ON_OFF_CONFIG のビット 3 がセットされていない場合でも同じ)
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。

このコマンドにはデータ・バイトが 1 つあります。

MFR_RESET

このコマンドは、シリアル・バスから LTC3888-1 を完全にリセットします。これにより、LTC3888-1 は PWM チャンネルをオフにし、内部 EEPROM から動作メモリをロードしてすべてのフォルトをクリアし、更にイネーブルされた PWM チャンネルをすべて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 設定)

PWM 設定

コマンド名	CMD 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
FREQUENCY_SWITCH	0x33	PWM周波数制御	R/W Word	N	L11	kHz	●	500kHz 0xFBE8
MFR_CHAN_CONFIG	0xD0	全般的なチャンネル固有設定	R/W Byte	Y	Reg		●	0x1D
MFR_PWM_CONFIG_LTC3888-1	0xF5	LTC3888-1の両マスタ・チャンネルに共通する PWM設定	R/W Byte	N	Reg		●	0x03
MFR_PWM_MODE_LTC3888-1	0xD4	LTC3888-1のチャンネル固有PWMモード制御	R/W Byte	Y	Reg		●	0x02
MFR_PWM_COMP	0xD3	チャンネル固有のPWMループ補償	R/W Byte	Y	Reg		●	0xAE

FREQUENCY_SWITCH

FREQUENCY_SWITCH コマンドは、LTC3888-1のすべてのPWMチャンネルのスイッチング周波数(kHz)を設定します。このコマンド値の有効範囲は250以上1000以下です。クロック・マスタとして設定するデバイスは1つだけにする必要があります。MFR_CONFIG_ALLのビット4を参照してください。必要な外部クロック源が存在しない場合、または外部フォルトや競合が原因でバスに接続されたSYNCラインが動作しなくなった場合は、FREQUENCY_SWITCHの値によってPWM動作の自走周波数が決定されます。このコマンドを処理するには、RUNピン、OPERATIONコマンド、またはその組み合わせによって両方のマスタ・チャンネルをオフにする必要があります。どちらかのマスタ・チャンネルの動作中にこのコマンドが送信されると、LTC3888-1はコマンド・バイトにNACKを返し、コマンドとそのデータを無視してBUSYフォルトをアサートします。このコマンドの値を変更した後は、新しい周波数が確立されるまでPLLアンロック・ステータスがレポートされます。

このコマンドにはLinear_5s_11sフォーマットのデータ・バイトが2つあります。

PMBus コマンドの詳細 (PWM 設定)

MFR_CHAN_CONFIG

MFR_CHAN_CONFIG コマンドは、アナログ・デバイセズの複数の PMBus 製品に共通するチャンネル別設定を行います。

ビット定義

ビット	意味
7:6	(予備、0 を書き込んでください)
5	ピン 8 の機能制御: (ページ 0 のみ) 0: ピン 8 は TSNS0 として機能。 1: ピン 8 は VDR_MON として機能。
4	RUN ピン制御: 0: チャンネルのオフが命令されると、ビット 3 の状態に関わらず、TOFF_DELAY + V _{OUT} /V _{OUT_TRANSITION_RATE} + 136ms (または、これより長い場合は MFR_RESTART_DELAY) にわたって、対応する RUN ピンにロー・パルスが入力されます。 1: チャンネルのオフを命令しても、RUN ピンにロー・パルスは入力されません。
3	短絡サイクル制御: 0: 特別な制御は行われません。デバイスは、送出されたオン/オフ・コマンドに正確に従おうとします。 1: TOFF_DELAY または V _{OUT} /V _{OUT_TRANSITION_RATE} の設定時間の経過を待っている間にオンに戻るよう命令されると、出力は直ちにディスエーブルされます。その後は、チャンネルがオンに戻るまでに、120ms の最小オフ時間が強制的に適用されます。ビット 4 がクリアされている場合は遅延時間が追加されます。
2	SHARE_CLK 出力制御: 0: 特別な制御は行われません。 1: SHARE_CLK がローに保持された場合は、出力がディスエーブルされます。
1	(予備、0 を書き込んでください)
0	MFR_RETRY_DELAY 制御: 0: 出力がオフになった後は、V _{OUT} ≤ 0.125xV _{OUT_COMMAND} が満たされるまで再試行できません。 1: 特別な制御は行われません (TOFF_MAX_WARN_LIMIT もディスエーブル)。

このコマンドにはデータ・バイトが 1 つあります。

MFR_PWM_CONFIG_LTC3888-1

MFR_PWM_CONFIG_LTC3888-1 コマンドは、LTC3888-1 のプライマリ・マスタ/スレーブ設定の制御と ADC サンプリング制御のモニタを行います。このコマンドを処理するには、RUN ピン、OPERATION コマンド、またはその組み合わせによって両方のマスタ・チャンネルをオフにする必要があります。どちらかのマスタ・チャンネルの動作中にこのコマンドが送信されると、LTC3888-1 はコマンド・バイトに NACK を返し、コマンドとそのデータを無視して BUSY フォルトをアサートします。

PMBus コマンドの詳細 (PWM 設定)

ビット定義

ビット	意味				
7	(予備、0を書き込んでください)				
6	スレープ I _{OUT} 遠隔測定: 0: LTC3888-1 は、イネーブルされたすべての位相について連続 I _{OUT} 遠隔測定を行います。 1: LTC3888-1 は、マスタ・チャンネル PWM0 と PWM1 についてのみ I _{OUT} 遠隔測定を行います。				
5	(予備)				
4	VO _{UT} _OV_FAULT HW 応答: 0: 特別な低レベル応答は行われず、マスタ位相は VO _{UT} _OV_FAULT_RESPONSE に従って直ちにオフになります (PWM が高 Z)。 1: VO _{UT} _OV_FAULT 時はマスタ位相の PWM がローになり、レール・オフの状態同期ボトム・パワー FET が V _{OUT} の放電を試みます。				
3	位相拡張: 0: PGOOD0 にチャンネル 0 のパワー・グッド状態が出力されます。 1: 2 つめの LTC3888-1 の SYNC を駆動するために、PGOOD0 に位相拡張クロック (CLKOUT) が出力されます。				
[2:0]	値	マスタ/スレープ構成		位相(*)	
		マスタ	構成/スレープ		
	111	PWM0		7-Phase	0
		PWM0		PWM2	51.4
		PWM0		PWM3	154.3
		PWM0		PWM4	205.7
		PWM0		PWM5	102.9
		PWM0		PWM6	257.1
		PWM0		PWM7	308.6
		PWM1		1-Phase	25.7
	110	PWM0		(6-Phase)	0
		PWM0		PWM2	60
		PWM0		PWM3	180
		PWM0		PWM4	240
		PWM0		PWM5	120
		PWM0		PWM6	300
			PWM1		(2-Phase)
		PWM1		PWM7	210
	101	PWM0		(6-Phase)	0
		PWM0		PWM2	60
		PWM0		PWM3	180
		PWM0		PWM4	240
		PWM0		PWM5	120
		PWM0		PWM6	300
			PWM1		(1-Phase)
				PWM7	Off

PMBus コマンドの詳細 (PWM 設定)

FR_PWM_CONFIG_LTC3888-1のビット定義(続き)

値	マスタ/スレーブ構成		
	マスタ	構成/スレーブ	位相(*)
100	PWM0	(5-Phase)	0
	PWM0	PWM2	72
	PWM0	PWM3	144
	PWM0	PWM4	216
	PWM0	PWM5	288
	PWM1	(3-Phase)	34.3
	PWM1	PWM6	274.4
	PWM1	PWM7	154.3
011	PWM0	(4-Phase, optional 8-phase with PWM1)	0
	PWM0	PWM2	90
	PWM0	PWM3	180
	PWM0	PWM4	270
	PWM1	(4-Phase, Optional 8-Phase with PWM0)	45
	PWM1	PWM5	135
	PWM1	PWM6	225
010	PWM0	(4-Phase)	0
	PWM0	PWM2	90
	PWM0	PWM3	180
	PWM0	PWM4	270
	PWM1	(3-Phase)	42.9
	PWM1	PWM5	162.9
	PWM1	PWM6	282.9
001	PWM0	(4-Phase)	0
	PWM0	PWM2	90
	PWM0	PWM3	180
	PWM0	PWM4	270
	PWM1	(2-Phase)	45
	PWM1	PWM5	Off
	PWM1	PWM6	225
000	PWM0	(3-Phase)	0
	PWM0	PWM2	120
	PWM0	PWM3	Off
	PWM0	PWM4	240
	PWM1	(3-Phase, Optional 6-Phase with PWM0)	60
	PWM1	PWM5	180
	PWM1	PWM6	300
	PWM1	PWM7	Off

位相は、SYNCの立下がりエッジからPWMの立上がりエッジまでで表されます。

このコマンドにはデータ・バイトが1つあります。

PMBus コマンドの詳細 (PWM 設定)

MFR_PWM_MODE_LTC3888-1

MFR_PWM_MODE_LTC3888-1 コマンドは、重要なPWM制御をマスタ・チャンネルごとに設定します。このコマンドを送出するときは、RUNピン、OPERATION コマンド、またはその組み合わせによってアドレス指定したチャンネルをオフにする必要があります。オフにしないと、LTC3888-1 はコマンド・バイトにNACKを返し、コマンドとそのデータを無視してBUSYフォルトをアサートします。

ビット定義

ビット	意味
7	(予備)
6	V _{OUT} サーボをイネーブルします。(V _{OUT_LOOP_SCALE} を最初に設定する必要があります)
5	(予備、0を書き込んでください)
4	エラー・アンプをディスエーブル: 0:エラー・アンプ出力(I _{TH})をイネーブルします。チャンネルは電圧ループ・マスタとして動作します。 1:エラー・アンプ出力をディスエーブルします(I _{TH} は高Z入力)。チャンネルは、別のマスタに対するスレープ位相として動作します。
3	(予備)
2	(予備)
1	ton_MIN 制御: 0:最小PWMオン時間は制御コントローラによって設定されます(通常は30ns未満)。 1:最小PWMオン時間は30ns以上に制限されます。
0	パワー段のUV HW 応答:(例外についてはアプリケーション情報を参照) 0:レールは共有TEMP/FAULTバス1上のUV指示を無視します。 1:動作中に共有TEMP/FAULTバス上でUVが指示されると、レールはオフにラッチされます。 (警告:すべてのパワー段がこの機能をサポートしているわけではありません)

このコマンドにはデータ・バイトが1つあります。

PMBus コマンドの詳細 (PWM 設定)

MFR_PWM_COMP

MFR_PWM_COMP コマンドは、各マスタ・チャンネルの電圧ループ・エラー・アンプのトランスコンダクタンスと内部補償抵抗 R_{ITH} の値を設定します。

ビット定義

ビット	意味	
[7:5]	値	エラー・アンプの g _m (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
[4:0]	値	R _{ITH} (kΩ)
	00000b	1
	00001b	1
	00010b	1
	00011b	1
	00100b	1
	00101b	1.25
	00110b	1.5
	00111b	1.75
	01000b	2
	01001b	2.5
	01010b	3
	01011b	3.5
	01100b	4
	01101b	4.5
	01110b	5
	01111b	5.5
	10000b	6
	10001b	7
	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	

このコマンドにはデータ・バイトが1つあります。

PMBus コマンドの詳細 (入力電圧と制限値)

入力電圧と制限値

コマンド名	CMD 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_ON	0x35	電力変換を開始する入力電圧の最小値	R/W Word	N	L11	V	●	6.5V 0xCB40
VIN_OFF	0x36	電力変換を停止する入力電圧の減少値	R/W Word	N	L11	V	●	6.0V 0xCB00
VIN_OV_FAULT_LIMIT	0x55	V _{IN} 過電圧フォルト制限値	R/W Word	N	L11	V	●	15.5V 0xD3E0
VIN_UV_WARN_LIMIT	0x58	V _{IN} 低電圧警告制限値	R/W Word	N	L11	V	●	6.3V 0xCB26

関連コマンド: STATUS_INPUT、SMBALERT_MASK、READ_VIN、VIN_OV_FAULT_RESPONSE

VIN_ON

VIN_ON コマンドは、電力変換の開始に必要な入力電圧 (V) を設定します。

このコマンドには Linear_5s_11s フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

VIN_OFF

VIN_OFF コマンドは、電力変換を停止する最小入力電圧 (V) を設定します。

このコマンドには Linear_5s_11s フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

VIN_OV_FAULT_LIMIT

VIN_OV_FAULT_LIMIT コマンドは、入力過電圧フォルトを発生させる入力電圧値 (V) を設定します。電圧値はADCが測定します。

このコマンドには Linear_5s_11s フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

VIN_UV_WARN_LIMIT

VIN_UV_FAULT_LIMIT コマンドは、入力低電圧警告を発生させる入力電圧値 (V) を設定します。電圧値はADCが測定します。この警告は、入力がVIN_ONコマンドの値を超えて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。値がVIN_UV_WARN_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 INPUT ビットをセット
- STATUS_INPUT コマンドの V_{IN} 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

PMBus コマンドの詳細 (出力電圧と制限値)

出力電圧と制限値 (PMBus 制御の場合は DEFAULT VALUE がアナログ制御に適用されます)

コマンド名	CMD 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_COMMAND	0x21	デフォルトの V_{FB} レギュレーション。 $VOUT_SCALE_LOOP$ が定義されている場合は公称 V_{OUT}	R/W Word	Y	L16	V	●	400mV 0x0666
VOUT_MAX	0x24	V_{OUT} の最大値	R Word	Y	L16	V		1.1V 0x119A
MFR_VOUT_MAX	0xA5	$VOUT_MAX$ に許容される最大値	R Word	Y	L16	V		3.75V 0x3C00
VOUT_MARGIN_HIGH	0x25	高マージンの V_{FB} (デフォルト)または V_{OUT} 、 $VOUT_COMMAND$ より大きいことが必要	R/W Word	Y	L16	V	●	420mV 0x06B8
VOUT_MARGIN_LOW	0x26	低マージンの V_{FB} (デフォルト)または V_{OUT} 、 $VOUT_COMMAND$ より大きいことが必要	R/W Word	Y	L16	V	●	380mV 0x0614
VOUT_SCALE_LOOP	0x29	外部帰還回路によって得られる公称 V_{OUT}/V_{FB} ゲイン	R/W Word	Y	L11	V	●	N/A
VOUT_OV_FAULT_LIMIT	0x40	デフォルトの V_{FB} 過電圧フォルト制限値。 $VOUT_SCALE_LOOP$ が定義されている場合は V_{OUT} OV制限値	R/W Word	Y	L16	V	●	440mV 0x070A
VOUT_OV_WARN_LIMIT	0x42	V_{SENSE}^{\pm} での V_{OUT} 過電圧警告制限値	R/W Word	Y	L16	V	●	3.6V 0x3981
VOUT_UV_WARN_LIMIT	0x43	V_{SENSE}^{\pm} で検出された V_{OUT} 低電圧警告制限値	R/W Word	Y	L16	V	●	0.0V 0x0000
VOUT_UV_FAULT_LIMIT	0x44	デフォルトの V_{FB} 低電圧フォルト制限値 $VOUT_SCALE_LOOP$ が定義されている場合は V_{OUT} UV制限値	R/W Word	Y	L16	V	●	360mV 0x05C3

関連コマンド: STATUS_VOUT、SMBALERT_MASK、READ_VOUT、MFR_VOUT_PEAK、VOUT_OV_FAULT_RESPONSE、VOUT_UV_FAULT_RESPONSE

VOUT_MODE

$VOUT_MODE$ コマンドは、デバイスが出力電圧関連コマンドに使用するフォーマットを指定します。リニア・モードだけがサポートされており、分解能は $244\mu\text{V}$ です。書き込みプロトコルを使って $VOUT_MODE$ コマンドをLTC3888-1に送ると、CMLフォルトが発生します。

この読出し専用コマンドにはデータ・バイトが1つあります。

VOUT_COMMAND

$VOUT_COMMAND$ は、 $VOUT_SCALE_LOOP$ が定義されている場合に出力電圧(V)を設定するために使用します。 $VOUT_SCALE_LOOP$ が処理中の場合、このコマンドの実行は遅延されます。また、ソフトオン/オフ出力シーケンスが進行中の場合も、そのシーケンスが完了するまで遅延されます。それ以外の場合、出力電圧は $VOUT_TRANSITION_RATE$ によって指定される速度で新しい値に変更されます。

このコマンドにはLinear_16uフォーマットのデータ・バイトが2つあります。

VOUT_MAX

$VOUT_MAX$ コマンドは、 $VOUT_OV_FAULT_LIMIT$ を含む任意の $VOUT$ 関連コマンドに許容される最大値(V)を返します。この値は、内部設計および $VOUT_SCALE_LOOP$ の値に基づき、選択されたレールが生成できる最大のレギュレーション電圧を表します。

この読出しコマンドには、Linear_16uフォーマットのデータ・バイトが2つあります。

PMBus コマンドの詳細 (出力電圧と制限値)

MFR_VOUT_MAX

MFR_VOUT_MAX コマンドは、内部デバイス容量に基づき、VOUT_MAX に許容される最大値 (V) を返します。

この読み出しコマンドには、Linear_16u フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

VOUT_MARGIN_HIGH

VOUT_MARGIN_HIGH コマンドは、OPERATION コマンドで上側マージンを設定した場合に生成される V_{FB} (または、VOUT_SCALE_LOOP が定義されている場合は V_{OUT}) の値 (V) をプログラムします。この値は VOUT_COMMAND より大きくなければなりません。VOUT_SCALE_LOOP を処理中の場合、このコマンドの実行は遅延されます。

このコマンドには Linear_16u フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

VOUT_MARGIN_LOW

VOUT_MARGIN_LOW コマンドは、OPERATION コマンドで下側マージンを設定した場合に生成される V_{FB} (または、VOUT_SCALE_LOOP が定義されている場合は V_{OUT}) の値 (V) をプログラムします。この値は VOUT_COMMAND より小さくなければなりません。VOUT_SCALE_LOOP を処理中の場合、このコマンドの実行は遅延されます。

このコマンドには Linear_16u フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

VOUT_SCALE_LOOP

VOUT_SCALE_LOOP コマンドは、外部電圧帰還回路によって生成された V_{FB} と V_{OUT} の比率からゲイン (V/V) をプログラムします。1~9 の範囲の値が有効と見なされます。VOUT_SCALE_LOOP でこの範囲から外れた値を書き込もうとすると、LTC3888-1 は CML フォルトをアサートしてその値を無視します。

このコマンドには Linear_5s_11s フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

VOUT_OV_FAULT_LIMIT

VOUT_OV_FAULT_LIMIT コマンドは、出力過電圧フォルトを発生させる V_{FB} (または、VOUT_SCALE_LOOP が定義されている場合は V_{OUT}) の値 (V) を設定します。チャンネルがオンになっている間に VOUT_OV_FAULT_LIMIT を変更した場合は、新しい値が有効になるまでに 2ms 必要です。この時間内に V_{OUT} を変更すると、誤った OV フォルトが生成されます。新しい VOUT_OV_FAULT_LIMIT が確定されるまでの間、LTC3888-1 は MFR_COMMON のビット [6:5] をローに設定します。VOUT_SCALE_LOOP を処理中の場合、このコマンドの実行は遅延されます。

このコマンドには Linear_16u フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

VOUT_OV_WARN_LIMIT

VOUT_OV_WARN_LIMIT コマンドは、ADC によって測定した $V_{SENSE\pm}$ 差動電圧が出力過電圧警告を生成する値 (V) を設定します。測定値が VIN_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_WORD の VOUT ビットをセット
- STATUS_VOUT コマンドの V_{OUT} 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{ALERT} をアサートすることによってホストに通知

このコマンドには Linear_16u フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

PMBus コマンドの詳細 (出力電圧と制限値)

VOUT_UV_WARN_LIMIT

VOUT_UV_WARN_LIMIT コマンドは、ADC によって測定した V_{SENSE} ± 差動電圧が出力低電圧警告を生成する値 (V) を設定します。測定値が VIN_UV_WARN_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 VOUT ビットをセット
- STATUS_VOUT コマンドの V_{OUT} 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{ALERT} をアサートすることによってホストに通知

このコマンドには Linear_16u フォーマットのデータ・バイトが 2 つあります。

VOUT_UV_FAULT_LIMIT

VOUT_UV_FAULT_LIMIT コマンドは、出力低電圧フォルトを発生させる V_{FB} (または、VOUT_SCALE_LOOP が定義されている場合は V_{OUT}) の値 (V) を設定します。チャンネルがオンになっている間に VOUT_UV_FAULT_LIMIT を変更した場合は、新しい値が有効になるまでに 2ms が必要です。この時間内に V_{OUT} を変更すると、誤った UV フォルトが生成されます。新しい VOUT_UV_FAULT_LIMIT が確定されるまでの間、LTC3888-1 は MFR_COMMON のビット [6:5] をローに設定します。VOUT_SCALE_LOOP を処理中の場合、このコマンドの実行は遅延されます。

このコマンドには Linear_16u フォーマットのデータ・バイトが 2 つあります。

PMBus コマンドの詳細 (出力電流と制限値)

出力電流と制限値

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ・ フォーマット	単位	NVM	デフォルト値
IOUT_CAL_GAIN	0x38	ISENSE 電圧と検出電流の比	R/W Word	Y	L11	mΩ	●	5mΩ 0xCA80
MFR_LOAD_EMULATION	0xF7	負荷ステップ・エミュレーション制御	R/W Byte	Y	Reg			0x00
IOUT_OC_FAULT_LIMIT	0x46	位相ごとの出力過電流フォルト制限値	R/W Word	Y	L11	A	●	29.75A 0xDBB8
IOUT_OC_WARN_LIMIT	0x4A	位相ごとの出力過電流警告制限値	R/W Word	Y	L11	A	●	20.0A 0xDA80

関連コマンド: STATUS_IOUT、SMBALERT_MASK、READ_IOUT、MFR_IOUT_PEAK、MFR_TOTAL_IOUT、MFR_READ_ALL_IOUT、IOUT_OC_FAULT_RESPONSE

IOUT_CAL_GAIN

IOUT_CAL_GAIN コマンドは、ISENSE におけるパワー段出力電流モニタ・ゲイン (mΩ) を設定するために使用します。両方のマスタ・チャンネルをオフにする命令が RUN ピンまたは OPERATION コマンドによって送出されていない状態で、どちらかのページに IOUT_CAL_GAIN が送られると、LTC3888-1 は CML フォルトをアサートします。

このコマンドには Linear_5s_11s フォーマットのデータ・バイトが 2 つあります。

MFR_LOAD_EMULATION

MFR_LOAD_EMULATION コマンドは、それぞれのマスタ・チャンネルのすべての位相の負荷ステップ・エミュレーションを制御するために使用します。

MFR_LOAD_EMULATION

ビット	意味	
7	(予備)	
6	(予備)	
5	(予備)	
4	(予備)	
3	PGOOD の負荷ステップ・エミュレーション (LSE) のイベント・スコープ・トリガをイネーブルします (立下がりエッジ)。	
2	LSE モード制御 0: 非パルス: LSE の状態は、ビット [1:0] に書き込まれたデータに静的に従います。 1: パルス: ゼロ以外の状態をビット [1:0] に書き込むと、指定振幅で幅約 100μs の LSE パルスが生成されます。	
[1:0]	値	IOUT_CAL_GAIN = 5mΩ での負荷ステップ・エミュレーション
	11b	30A / 位相
	10b	20A / 位相
	01b	10A / 位相
	00b	オフ

このコマンドにはデータ・バイトが 1 つあります。

PMBus コマンドの詳細 (出力電流と制限値)

IOUT_OC_FAULT_LIMIT

IOUT_OC_FAULT_LIMIT コマンドは、出力過電流フォルトを生成する位相ごとの出力電流値(A)を設定します。この電流の検出と判定はOCスーパーバイザが行います。LTC3888-1は、IOUT_CAL_GAINとI_{SENSE}入力-IREF間電圧を使って出力電流を決定します。ターンオンおよびターンオフ出力遷移時の出力過電流フォルトは無視されます。

このコマンドにはLinear_5s_11sフォーマットのデータ・バイトが2つあります。

IOUT_OC_WARN_LIMIT

IOUT_OC_WARN_LIMIT コマンドは、出力過電流警告を生成する平均位相別出力電流の値(A)を設定します。この電流値の測定はADCが行います。有効な応答を得るには、この値をIOUT_OC_FAULT_LIMIT未満に設定する必要があります。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_WORDのIOUTビットをセット
- STATUS_IOUT コマンドのI_OUT 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、 $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートすることによってホストに通知

ターンオンおよびターンオフ出力遷移時の出力過電流警告は無視されます。

このコマンドにはLinear_5s_11sフォーマットのデータ・バイトが2つあります。

PMBus コマンドの詳細 (出カタイミング、遅延、およびランピング)

出カタイミング、遅延、およびランピング

コマンド名	CMD 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	LTC3888-1がRUNピンをローに保持する最小時間	R/W Word	Y	L11	ms	●	500ms 0xFBE8
TON_DELAY	0x60	RUNピンまたはOPERATIONオン・コマンドからソフトスタート・ランプ開始までの遅延。	R/W Word	Y	L11	ms	●	0.0ms 0x8000
TON_MAX_FAULT_LIMIT	0x62	TON_DELAY後にV _{FB} (デフォルト)またはV _{OUT} がV _{OUT_UV_FAULT_LIMIT} を超えるまでの最大時間。	R/W Word	Y	L11	ms	●	10.0ms 0xD280
VOUT_TRANSITION_RATE	0x27	V _{FB} (デフォルト)またはV _{OUT} のソフトオン/オフとマージニングのスルー・レート、V _{OUT_COMMAND} の変更を含む。	R/W Word	Y	L11	ms ⁻¹	●	0.01 0x82BF
TOFF_DELAY	0x64	RUNピンまたはOPERATIONオフ・コマンドからソフトスタート・オフ・ランプまでの遅延。	R/W Word	Y	L11	ms	●	0.0ms 0x8000
TOFF_MAX_WARN_LIMIT	0x66	0.0Vへの移行が命令されてからV _{OUT} が0.125×V _{OUT_COMMAND} に達するまでの最大時間	R/W Word	Y	L11	ms	●	0.0ms 0x8000

関連コマンド: MFR_RETRY_DELAY, STATUS_VOUT, SMBALERT_MASK, TON_MAX_FAULT_RESPONSE

これらのコマンドは、任意の数のシステム電源レールについて、必要なシーケンシングとトラッキングを行うために使用できます。

MFR_RESTART_DELAY

MFR_RESTART_DELAYコマンドは、最小レール・オフ時間(RUNがロー)をms単位で指定します。RUNピンの立下がりエッジが検出されると、LTC3888-1は、この時間だけ能動的にRUNピンをローに保持します。この遅延の経過後は標準スタートアップ・シーケンスを開始できます。このコマンドの値は、少なくともTOFF_DELAY + TOFF_FALL + 136msとすることを推奨します。有効な値の範囲は136ミリ秒～65.52秒です。LTC3888-1はこの範囲を外れる遅延を生成しません。また、このコマンドに使用する分解能は16msです。

このコマンドにはLinear_5s_11sフォーマットのデータ・バイトが2つあります。

TON_DELAY

TON_DELAYコマンドは、PWM開始条件が揃ってから出力電圧が上がり始めるまでの遅延(ms)を設定します。有効と見なされる値は0ミリ秒～83秒で、LTC3888-1はこの範囲を外れる遅延を生成しません。

このコマンドにはLinear_5s_11sフォーマットのデータ・バイトが2つあります。

TON_MAX_FAULT_LIMIT

TON_MAX_FAULT_LIMITコマンドは、ユニットに許容されるソフトスタート・ランプの開始から出力パワーアップまでの最大時間(ms)を設定します。この間は、V_{OUT_UV_FAULT_LIMIT}を超えないようにする必要があります。値が0msの場合は制限がないことを意味し、デバイスは特別な条件を設けずに出力電圧を立ち上げようとします。TON_MAXに許容される最大値は8秒です。誤ってフォルトが生成されるのを避けるために、このコマンドの値は下に示すガイドラインに従って設定する必要があります。

$$\text{TON_MAX_FAULT_LIMIT} \geq 1.25 \times \text{VOUT_COMMAND} / \text{VOUT_TRANSITION_RATE}$$

このコマンドにはLinear_5s_11sフォーマットのデータ・バイトが2つあります。

PMBus コマンドの詳細 (出カタイミング、遅延、およびランピング)

VOUT_TRANSITION_RATE

出荷時デフォルト使用時、VOUT_TRANSITION_RATE コマンドはソフトオン/オフ時およびマージン・コマンド実行時のVFBの変化率を設定します。VOUT_SCALE_LOOPが定義されている場合、このコマンドは、出力電圧値を変えるよう命令されたときの出力電圧の変化率を指定します。どちらの場合も、この変化率はPWMチャンネルを直ちにオンまたはオンする動作には適用されません。

このコマンドにはLinear_5s_11sフォーマットのデータ・バイトが2つあります。

TOFF_DELAY

TOFF_DELAY コマンドは、停止条件が揃ってから出力電圧が下がり始めるまでの遅延(ms)を設定します。0秒~16秒の範囲の値が有効と見なされます。

このコマンドにはLinear_5s_11sフォーマットのデータ・バイトが2つあります。

TOFF_MAX_WARN_LIMIT

TOFF_MAX_WARN_LIMIT コマンドは、V_{OUT}を0Vにするよう命令されてから、その値が $0.125 \times VOUT_COMMAND$ になるまでに許容される時間(ms)を設定します。出力を直ちにオフにするよう命令された場合、この時間はTOFF_DELAY+VOUT_COMMAND/VOUT_TRANSITIONが経過した後に開始されます。この期限を過ぎるとVOUT_STATUSで警告が生成され、マスクされていない場合はALERTがアサートされます。MFR_CHAN_CONFIGのビット0がセットされている場合、またはこのコマンドの値が0に設定されている場合、警告制限値は適用されません。それ以外の場合は、120ミリ秒~524秒の範囲の値が有効と見なされます。誤ってALERTが指示されるのを防ぐために、VOUT_SCALE_LOOPおよびその他すべての関連V_{OUT}コマンドは、このコマンドをゼロ以外の値に設定する前に定義しておく必要があります。

このコマンドにはLinear_5s_11sフォーマットのデータ・バイトが2つあります。

PMBus コマンドの詳細 (外部温度と制限値)

外部温度と制限値

コマンド名	CMD 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	外部温度計算のための勾配	R/W Word	Y	L11	mV/°C	●	8mV/°C 0xD200
MFR_TEMP_1_OFFSET	0xF9	外部温度計算のための0°Cオフセット。	R/W Word	Y	L11	mV	●	600mV 0x0258
OT_FAULT_LIMIT	0x4F	外部過熱フォルト制限値	R/W Word	Y	L11	°C	●	100.0°C 0xEB20
OT_WARN_LIMIT	0x51	外部過熱警告制限値	R/W Word	Y	L11	°C	●	85.0°C 0xEAA8

関連コマンド: STATUS_TEMPERATURE、SMBALERT_MASK、READ_TEMPERATURE_1、MFR_TEMPERATURE1_PEAK、OT_FAULT_RESPONSE

MFR_TEMP_1_GAIN

MFR_TEMP_1_GAIN コマンドは、共有 TEMP/FAULT バス (TSNS ピン) のモニタ ADC 変換に基づいて外部温度を計算する際に使用する勾配 (mV/°C) を設定します。

このコマンドには Linear_5s_11s フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

MFR_TEMP_1_OFFSET

MFR_TEMP_1_OFFSET コマンドは、共有 TEMP/FAULT バス (TSNS ピン) のモニタ ADC 変換に基づいて外部温度を計算する際に使用する0°C オフセット (mV) を設定します。

このコマンドには Linear_5s_11s フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

OT_FAULT_LIMIT

OT_FAULT_LIMIT コマンドは、過熱フォルトが発生する外部温度検出値 (°C) を設定します。

このコマンドには Linear_5s_11s フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

OT_WARN_LIMIT

OT_WARN_LIMIT コマンドは、過熱警告が発生する外部温度検出値 (°C) を設定します。検出値が 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、 $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートすることによってホストに通知

このコマンドには Linear_5s_11s フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

PMBus コマンドの詳細 (ステータスのレポート)

ステータスのレポート

コマンド名	CMD 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
STATUS_BYTE	0x78	1バイト・チャンネルのステータス概要	R/W Byte	Y	Reg			
STATUS_WORD	0x79	2バイト・チャンネルのステータス概要	R/W Word	Y	Reg			
STATUS_VOUT	0x7A	VOUTのフォルトおよび警告ステータス	R/W Byte	Y	Reg			
STATUS_IOUT	0x7B	IOUTのフォルトおよび警告ステータス	R/W Byte	Y	Reg			
STATUS_INPUT	0x7C	入力電源のフォルトおよび警告ステータス	R/W Byte	N	Reg			
STATUS_TEMPERATURE	0x7D	外部温度のフォルトおよび警告ステータス	R/W Byte	Y	Reg			
STATUS_CML	0x7E	通信、メモリ、ロジックのフォルトおよび警告ステータス	R/W Byte	N	Reg			
STATUS_MFR_SPECIFIC	0x80	デバイス固有のステータス	R/W Byte	Y	Reg			
MFR_PADS_LTC3888-1	0xE5	選択したLTC3888-1パッドの状態	R Word	N	Reg			
MFR_COMMON	0xEF	アナログ・デバイス共通のデバイス・ステータス・レポート	R Byte	N	Reg			
MFR_INFO	0xB6	メーカー固有情報	R Word	N	Reg			
CLEAR_FAULTS	0x03	設定されているすべてのフォルト・ビットをクリア。	Send Byte	N				

これらのレジスタ内容とそれらの関連性については、図2を参照してください。LTC3888-1がサポートする外部パワー段に関する特別なステータスのレポートに関する詳細は、アプリケーション情報セクションに示したパワー段の選択とインターフェースについての説明を参照してください。

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。

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	デバイス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	出力電圧フォルトまたはパワー段フォルトが発生しました。V _{SENSE+} の開放状態が検出された場合もセットされます。
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(デバイスは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。(LTC3888-1のみ)
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。

*このビットがセットされている場合はALERTをアサートできます。このビットは、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せん。

このコマンドにはデータ・バイトが1つあります。

PMBus コマンドの詳細 (ステータスのレポート)

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 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。パワー段フォルトまたはV _{SENSE+} の開放状態が検出された場合もセットされます。
14	IOUT	出力電流フォルトまたは警告が発生しました。パワー段フォルトが検出された場合もセットされます。
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	LTC3888-1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(LTC3888-1は0を返します)。
9	OTHER	サポートされていません(LTC3888-1は0を返します)。
8	UNKNOWN	サポートされていません(LTC3888-1は0を返します)。

このコマンドにはデータ・バイトが2つあります。

STATUS_VOUT

STATUS_VOUT コマンドは、1バイトのV_{OUT}ステータス情報を返します。その他の詳細については表8を参照してください。

STATUS_VOUTのメッセージ内容

ビット	意味
7	V _{out} 過電圧フォルト、パワー段フォルト、またはV _{SENSE+} 入力が開放状態。
6	V _{out} 過電圧警告
5	V _{out} 低電圧警告
4	V _{out} 低電圧フォルト、またはV _{SENSE+} 入力が開放状態。
3	VOUT_MAX警告
2	TON_MAXフォルト
1	サポートされていません(LTC3888-1は0を返します)。
0	サポートされていません(LTC3888-1は0を返します)。

ビット[7:2]のいずれかがセットされている場合はALERTをアサートできます。これらのビットは、CLEAR_FAULT コマンドを使う代わりに、STATUS_VOUT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。

このコマンドにはデータ・バイトが1つあります。

LTC3888-1

PMBus コマンドの詳細 (ステータスのレポート)

STATUS_IOUT

STATUS_IOUT コマンドは、1 バイトの I_{OUT} ステータス情報を返します。その他の詳細については表 8 を参照してください。

STATUS_IOUT のメッセージ内容

ビット	意味
7	I _{OUT} 過電流障害。
6	サポートされていません(LTC3888-1は0を返します)。
5	I _{OUT} 過電流の警告。
4	サポートされていません(LTC3888-1は0を返します)。
3	パワー段フォルトが検出されました(標準 PMBus の意味とは異なります)
2:0	サポートされていません(LTC3888-1は0を返します)。

サポートされているビットのいずれかがセットされている場合は ALERT をアサートできます。サポートされているビットは、いずれも CLEAR_FAULT コマンドを使う代わりに、STATUS_VOUT 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。

このコマンドにはデータ・バイトが 1 つあります。

STATUS_INPUT

STATUS_INPUT コマンドは、1 バイトの VIN 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	V _{IN} 過電圧フォルト。
6	サポートされていません(LTC3888-1は0を返します)。
5	V _{IN} 低電圧警告。
4	サポートされていません(LTC3888-1は0を返します)。
3	V _{IN} が不十分なのでユニットはオフになっています。
2:0	サポートされていません(LTC3888-1は0を返します)。

ビット 7 がセットされている場合は ALERT をアサートできます。ビット 7 は、CLEAR_FAULT コマンドを使う代わりに、該当位置に 1 を書き込むことによってクリアできます。

このコマンドにはデータ・バイトが 1 つあります。

STATUS_TEMPERATURE

STATUS_TEMPERATURE コマンドは、1 バイトの検出外部温度ステータス情報を返します。

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(LTC3888-1は0を返します)。
4	サポートされていません(LTC3888-1は0を返します)。
3:0	サポートされていません(LTC3888-1は0を返します)。

サポートされているビットのいずれかがセットされている場合は ALERT をアサートできます。サポートされているビットは、いずれも CLEAR_FAULT コマンドを使う代わりに、STATUS_TEMPERATURE 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。

このコマンドにはデータ・バイトが 1 つあります。

PMBus コマンドの詳細 (ステータスのレポート)

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	無効なコマンド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 (LTC3888-1 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。

サポートされているビットのいずれかがセットされている場合は $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートできます。サポートされているビットは、いずれも CLEAR_FAULT コマンドを使う代わりに、STATUS_CML 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。

このコマンドにはデータ・バイトが1つあります。

STATUS_MFR_SPECIFIC

STATUS_MFR_SPECIFIC コマンドは、デバイス・ステータスに関する1バイトの情報を返します。

STATUS_MFR_SPECIFIC のメッセージ内容

ビット	意味
7	内部温度フォルト (>160°C)。
6	内部温度警告 (>130°C)。
5	EEPROM の CRC エラー。
4	内部 PLL がアンロックされました。
3	フォルト・ログが存在します。
2	サポートされていません (LTC3888-1 は 0 を返します)。
1	出力短絡サイクル状態です。
0	FAULT がローです。

サポートされている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。サポートされているビットは、CLEAR_FAULT コマンドを使う代わりに、STATUS_MFR_SPECIFIC 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。

このコマンドにはデータ・バイトが1つあります。

LTC3888-1

PMBus コマンドの詳細 (ステータスのレポート)

MFR_PADS_LTC3888-1

MFR_PADS_LTC3888-1 コマンドは、全般的な出力電圧状態に加えて、LTC3888-1 のデジタル I/O ピンと制御ピンのステータスを示します。

MFR_PADS_LTC3888-1 のメッセージ内容

ビット	意味
15	チャンネル1のパワー段はすべてレポートの準備が完了しました。
14	チャンネル0のパワー段はすべてレポートの準備が完了しました。
13:12	サポートされていません(LTC3888-1は0を返します)。
11	READ_TEMPERATURE_1に関するADCの結果が無効と思われる。
10	SYNC出力が外部的にディスエーブルされました。
9	チャンネル1 POWER_GOOD。
8	チャンネル0 POWER_GOOD。
7	LTC3888-1がRUN1をローに強制しました。
6	LTC3888-1がRUN0をローに強制しました。
5	RUN1ピンの状態。
4	RUN0ピンの状態。
3	LTC3888-1がFAULT1をローにしました。
2	LTC3888-1がFAULT0をローにしました。
1	FAULT1ピンの状態。
0	FAULT0ピンの状態。

この読み出し専用コマンドにはデータ・バイトが2つあります。

MFR_COMMON

MFR_COMMON コマンドには、アナログ・デバイスサイズの複数の PMBus 製品に共通するステータス・ビットが含まれています。

MFR_COMMON のメッセージ内容

ビット	意味
7	LTC3888-1はALERTをローに強制しません。
6	LTC3888-1はビジーではありません。
5	LTC3888-1の計算は保留されていません。
4	LTC3888-1の出力は遷移中ではありません。
3	LTC3888-1のEEPROMが初期化されました。
2	サポートされていません(LTC3888-1は0を返します)。
1	SHARE_CLKタイムアウト。
0	サポートされていません(LTC3888-1は0を返します)。

この読み出し専用コマンドにはデータ・バイトが1つあります。

PMBus コマンドの詳細 (ステータスのレポート)

MFR_INFO

MFR_INFO コマンドには、メーカー固有の情報を示すステータス・ビットが含まれています。

MFR_INFO のメッセージ内容

ビット	意味
15:6	予備。
5	EEPROM ECC ステータス: 0:EEPROM のユーザ空間が修正されました。 1:EEPROM のユーザ空間は修正されていません。
4:0	予備。

この読出し専用コマンドにはデータ・バイトが2つあります。

CLEAR_FAULTS

CLEAR_FAULTS コマンドは、セットされたフォルト・ビットをクリアして $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをデアサート(解放)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フォルト・ビットを同時にクリアします。

CLEAR_FAULTS が、フォルト状態によってラッチ・オフされたチャンネルを再起動することはありません。フォルト状態によってラッチ・オフされたチャンネルを再起動するには、OPERATION コマンドまたは RUN ピンによって出力をオフにしてから再度オンするよう命令するか、デバイスの電源を一度オフにしてからオンにし直します。

CLEAR_FAULTS コマンド実行時にフォルトが解消されないまま残っていた場合はそのフォルト・ビットが直ちに再セットされ、 $\overline{\text{ALERT}}$ がマスクされていない場合はローにアサートされます。

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 (遠隔測定)

遠隔測定

コマンド名	CMD 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
READ_VIN	0x88	V _{IN} 測定値	R Word	N	L11	V		
MFR_VIN_PEAK	0xDE	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降で最大の V _{IN} 測定値	R Word	N	L11	V		
READ_VOUT	0x8B	V _{OUT} 測定値	R Word	Y	L16	V		
MFR_VOUT_PEAK	0xDD	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降で最大の V _{OUT} 測定値	R Word	Y	L16	V		
READ_IOUT	0x8C	マスタ・チャンネルの I _{OUT} 測定値	R Word	Y	L11	A		
MFR_IOUT_PEAK	0xD7	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降で最大のマスタ・チャンネル I _{OUT} 測定値	R Word	Y	L11	A		
MFR_TOTAL_IOUT	0xE1	MFR_PWM_CONFIG_LTC3888-1 によって定義された各レールの合計 I _{OUT} の測定値	R Word	Y	L11	A		
MFR_READ_ALL_IOUT	0xE4	個々の PWM 位相の I _{OUT} 測定値	R Block	N	L11	A		
READ_TEMPERATURE_1	0x8D	外部温度測定値	R Word	Y	L11	°C		
MFR_TEMPERATURE_1_PEAK	0xDF	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降で最大の外部温度測定値	R Word	Y	L11	°C		
READ_TEMPERATURE_2	0x8E	内部温度測定値	R Word	N	L11	°C		
MFR_TEMPERATURE_2_PEAK	0xF4	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降で最大の内部温度測定値	R Word	N	L11	°C		
READ_FREQUENCY	0x95	PWM 入力クロック周波数測定値	R Word	Y	L11	kHz		
MFR_CLEAR_PEAKS	0xE3	すべてのピーク値をクリア	Send Byte	N				

関連コマンド: IOUT_CAL_GAIN

READ_VIN

READ_VIN コマンドは、V_{IN} と GND の間で測定した入力電圧値 (V) を返します。

この読出しコマンドには、Linear_5s_11s フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

PMBus コマンドの詳細 (遠隔測定)

MFR_VIN_PEAK

MFR_VIN_PEAK コマンドは、READ_VIN の測定電圧の最大値 (V) をレポートします。この最大値は MFR_CLEAR_PEAKS コマンドによってリセットできます。

この読出しコマンドには、Linear_5s_11s フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

READ_VOUT

READ_VOUT コマンドは、 $V_{SENSE\pm}$ で測定した出力電圧 (V) を返します。

この読出しコマンドには、Linear_16u フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

MFR_VOUT_PEAK

MFR_VOUT_PEAK コマンドは、READ_VOUT の測定電圧の最大値 (V) をレポートします。この最大値は MFR_CLEAR_PEAKS コマンドによってリセットできます。

この読出しコマンドには、Linear_16u フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

READ_IOUT

READ_IOUT コマンドは、マスタ・チャンネルの出力電流 (A) を返します。この値は、 I_{SENSE} と I_{REF} の間で測定した電圧に $I_{OUT_CAL_GAIN}$ を適用することによって計算されます。

この読出しコマンドには、Linear_5s_11s フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

MFR_IOUT_PEAK

MFR_IOUT_PEAK コマンドは、READ_IOUT について計算した電流の最大値 (A) をレポートします。この最大値は MFR_CLEAR_PEAKS コマンドによってリセットできます。

この読出しコマンドには、Linear_5s_11s フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

MFR_TOTAL_IOUT

MFR_TOTAL_IOUT コマンドは、MFR_PWM_CONFIG_LTC3888-1 によって定義された、レール全体のすべての内部位相の合計出力電流をレポートします。この値は、個々の位相の I_{OUT} ADC 変換値の合計から計算されます。MFR_PWM_CONFIG_LTC3888-1 のビット6がセットされている場合、PWM2~PWM7は、実際の出力負荷に関わらず0Aをレポートします。マスタ・チャンネルがスレーブとして定義されている場合でも (MFR_PWM_MODE_LTC3888-1 のビット4を参照)、合計値はページごとにレポートされます。デバイス境界を越えての合計値はサポートされていません。

この読出しコマンドには、Linear_5s_11s フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

MFR_READ_ALL_IOUT

MFR_READ_ALL_IOUT コマンドは、ブロック読出しプロトコルを使い、LTC3888-1 の8つの位相それぞれの出力電流をレポートします。モニタADCの結果はPWM0からPWM7まで順番で示されます。MFR_PWM_CONFIG_LTC3888-1 のビット6がセットされている場合、PWM2~PWM7は0Aをレポートします。

この読出し専用コマンドは、17バイトのデータを使用するブロック・プロトコルを使い、Linear_5s_11s フォーマットで I_{OUT} の結果を返します。

PMBus コマンドの詳細 (遠隔測定)

READ_TEMPERATURE_1

READ_TEMPERATURE_1 コマンドは、デバイスの TSNS ピンに接続された外部パワー段の温度(°C)を返します。

この読出しコマンドには、Linear_5s_11s フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

MFR_TEMPERATURE_1_PEAK

MFR_TEMPERATURE_1_PEAK コマンドは、READ_TEMPERATURE_1 について計算した温度の最大値(°C)をレポートします。この最大値は MFR_CLEAR_PEAKS コマンドによってリセットできます。

この読出しコマンドには、Linear_5s_11s フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

READ_TEMPERATURE_2

READ_TEMPERATURE_2 コマンドは、LTC3888-1 の内部温度(°C)を返します。

この読出しコマンドには、Linear_5s_11s フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

MFR_TEMPERATURE_2_PEAK

MFR_TEMPERATURE_2_PEAK コマンドは、READ_TEMPERATURE_2 について計算した温度の最大値(°C)をレポートします。この最大値は MFR_CLEAR_PEAKS コマンドによってリセットできます。

この読出しコマンドには、Linear_5s_11s フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

READ_FREQUENCY

READ_FREQUENCY コマンドは、内部PLLに供給されるスイッチング周波数(kHz)を返します。その周波数が内部的に生成されたものか、SYNC ピンの外部クロックによるものかは問いません。

この読出しコマンドには、Linear_5s_11s フォーマットのデータ・バイトが2つあります。

MFR_CLEAR_PEAKS

MFR_CLEAR_PEAKS コマンドは、保存されているすべての _PEAK 値をリセットします。LTC3888-1 は、このコマンドを受け取ると新しいピーク値を決定します。

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 (フォルト応答と通信)

フォルト応答と通信

コマンド名	CMD 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	V _{IN} 過電圧フォルト応答	R/W Byte	Y	Reg		●	0x80
VOUT_OV_FAULT_RESPONSE	0x41	V _{OUT} 過電圧フォルト応答	R Byte	Y	Reg		●	0x80
VOUT_UV_FAULT_RESPONSE	0x45	V _{OUT} 低電圧フォルト応答	R/W Byte	Y	Reg		●	0xB8
IOUT_OC_FAULT_RESPONSE	0x47	出力過電流フォルト応答	R/W Byte	Y	Reg		●	0x00
OT_FAULT_RESPONSE	0x50	外部過熱フォルト応答	R/W Byte	Y	Reg		●	0xB8
MFR_OT_FAULT_RESPONSE	0xD6	内部過熱フォルト応答	R/W Byte	N	Reg		●	0xC0
TON_MAX_FAULT_RESPONSE	0x63	TON_MAX_FAULT_LIMIT を超えた場合のフォルト 応答	R/W Byte	Y	Reg		●	0xB8
MFR_RETRY_DELAY	0xDB	フォルト発生から再試行までの最小時間	R/W Word	N	L11	ms	●	350ms 0xFABC
SMBALERT_MASK	0x1B	ALERT 動作をマスク	Block R/W	Y	Reg		●	See Following Details
MFR_FAULT_PROPAGATE	0xD2	FAULT ピンを介したフォルト伝播を設定	R/W Word	Y	Reg		●	0x6993
MFR_FAULT_RESPONSE	0xD5	外部フォルトのために FAULT ピンがローになった 場合の PWM 応答	R/W Byte	Y	Reg		●	0xC0
MFR_FAULT_LOG	0xEE	フォルト・ログ・データの読出し	R Block	N	Reg			
MFR_FAULT_LOG_CLEAR	0xEC	既存の EEPROM フォルト・ログをクリア	Send Byte	N				

関連コマンド: STATUS_BYTE、STATUS_WORD、MFR_PADS_LTC3888-1、MFR_RESTART_DELAY、MFR_FAULT_LOG_STORE、CLEAR_FAULTS

これらのコマンドは、検出されたフォルトに対するデバイス応答を詳細に記述します。応答内容は、[動作](#)のセクションで説明したハードウェアレベル動作の範囲を超えてプログラムすることができます。LTC3888-1 のハードウェアレベルの応答は変更できません。PMBus 警告イベントの応答は、_WARN_LIMIT コマンドの項に示します。

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として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。このコマンドのフォーマットを[表 14](#)に示します。デバイスは以下の応答も行います。

- STATUS_WORD の INPUT ビットをセット
- STATUS_INPUT コマンドの V_{IN} 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、 $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートすることによってホストに通知

このコマンドにはデータ・バイトが1つあります。

PMBus コマンドの詳細 (フォルト応答と通信)

VOUT_OV_FAULT_RESPONSE

VOUT_OV_FAULT_RESPONSE コマンドは、動作時の出力過電圧フォルト、パワー段フォルト、または特定 UVLO (LTC3888-1のみ)あるいは特定 VDR 電源 UV フォルトに対する応答としてデバイスが取るべきアクションをレポートします。このコマンドのフォーマットを表 13 に示します。デバイスは以下の応答も行います。

- 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 V_{OUT} 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、 $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートすることによってホストに通知

この読み出し専用コマンドにはデータ・バイトが 1 つあります。

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として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。このコマンドのフォーマットを表 13 に示します。デバイスは以下の応答も行います。

- STATUS_WORD の VOUT ビットをセット
- STATUS_VOUT コマンドの V_{OUT} 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、 $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートすることによってホストに通知

このコマンドにはデータ・バイトが 1 つあります。

表 13. VOUT_OV_FAULT_RESPONSE および VOUT_UV_FAULT_RESPONSE のデータ・バイトの内容

ビット	説明	値	意味
[7:6]	ビット [7:6] のすべての値に対し、LTC3888-1 は次のように動作します <ul style="list-style-type: none"> • ステータス・コマンドの該当ビットをセット • 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 設定されたフォルトは、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。 <ul style="list-style-type: none"> • デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受け取る • 関連する STATUS_VOUT ビットに 1 が書き込まれる • RUN ピンまたは OPERATION コマンドにより、出力を一度オフにしてから再度オンにするよう命令される • 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 • デバイスの電源を一度オフにして再びオンにする 	00	LTC3888-1 は特別な条件なしで動作を続け、動作のセクションに示す通常のハードウェア応答を返します。
		01	LTC3888-1 は、ビット [2:0] によって指定された遅延時間を伴う通常のハードウェア応答で動作を続けます。この遅延時間全体を通じてフォルトが解消されない場合、そのユニットは出力をディスエーブルし、ビット [5:3] の再試行設定に従って応答します。
		10	LTC3888-1 は直ちに出力をディスエーブルし、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 フォルトが生成されます。
[5:3]	再試行設定	000-110	LTC3888-1 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、チャンネルをオフにしてから再度オンにするよう命令されるか、デバイスの電源を一度オフにしてオンにし直すまでディスエーブルのままになります。
		111	LTC3888-1 は、MFR_RETRY_DELAY により設定される間隔で、特別な制限を設けることなく継続的に再起動を試みます。この応答は、デバイスをオフにするよう命令されるか、デバイスの電源がオフになるか、あるいは別のフォルト応答によって再試行なしでのシャットダウンが強制されるまで継続されます。
[2:0]	遅延時間	xxx	10 μ s 刻みの応答遅延時間。この遅延時間は、ビット [7:6] の設定に応じて、コントローラをディスエーブルするまでのフォルト継続時間を決定します。該当するハードウェア・レベルの応答がある場合、この遅延時間内はその応答が実行されます。

PMBus コマンドの詳細 (フォルト応答と通信)

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として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。デバイスは以下の応答も行います。

- 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、 $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートすることによってホストに通知

ターンオンおよびターンオフ出力遷移時の出力過電流フォルトは無視されます。

IOUT_OC_FAULT_RESPONSE のデータ・バイトの内容

ビット	説明	値	意味
[7:6]	ビット [7:6] のすべての値に対し、LTC3888-1 は次のように動作します <ul style="list-style-type: none"> • ステータス・コマンドの該当ビットをセット • 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 設定されたフォルトは、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。 <ul style="list-style-type: none"> • デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受け取る • 関連する STATUS_IOUT ビットに1が書き込まれる • RUN ピンまたは OPERATION コマンドにより、出力を一度オフにしてから再度オンにするよう命令される • 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 • デバイスの電源を一度オフにして再びオンにする 	00	LTC3888-1 は特別な条件なしで動作を続け、動作のセクションに示す通常のハードウェア応答を返します。
		01	サポートされていません。この値を書き込むと CML フォルトが生成されます。
		10	LTC3888-1 は、ビット [2:0] によって指定された遅延時間を伴う通常のハードウェア応答で動作を続けます。この遅延時間全体を通じてフォルトが解消されない場合、そのユニットは出力をディスエーブルし、ビット [5:3] の再試行設定に従って応答します。
		11	LTC3888-1 は直ちに出力をディスエーブルし、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	000-110	LTC3888-1 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、チャンネルをオフにしてから再度オンにするよう命令されるか、デバイスの電源を一度オフにしてオンにし直すまでディスエーブルのままになります。
		111	LTC3888-1 は、MFR_RETRY_DELAY により設定される間隔で、特別な制限を設けることなく継続的に再起動を試みます。この応答は、デバイスをオフするよう命令されるか、デバイスの電源がオフになるか、あるいは別のフォルト応答によって再試行なしでシャットダウンが強制されるまで継続されます。
[2:0]	遅延時間	xxx	16ms 刻みの応答遅延時間。この遅延時間は、ビット [7:6] の設定に応じて、コントローラをディスエーブルするまでのフォルト継続時間を決定します。ビット [7:6] が xx の場合、これらのビットは常に 0 を返します。

このコマンドにはデータ・バイトが1つあります。

PMBus コマンドの詳細 (フォルト応答と通信)

OT_FAULT_RESPONSE

OT_FAULT_RESPONSE コマンドは、外部過熱フォルトに対する応答としてデバイスが取るべきアクションをデバイスに指示します。このコマンドのフォーマットを表 14 に示します。デバイスは以下の応答も行います。

- 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、 $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートすることによってホストに通知

このコマンドにはデータ・バイトが1つあります。

MFR_OT_FAULT_RESPONSE

MFR_OT_FAULT_RESPONSE コマンドは、内部過熱フォルト (150°C~160°C) に対する応答として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。デバイスは以下の応答も行います。

- 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、 $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートすることによってホストに通知

サポートされている値

値	意味
0xC0	LTC3888-1 は特別な条件なしで動作を続け、動作のセクションに示す通常のハードウェア応答を返します。
0x80	LTC3888-1 直ちにシャットダウンし、再起動を試みません。出力は、フォルトがクリアされ、ユニットをオフにしてから再度オンにするよう命令されるか、デバイスの電源を一度オフにしてオンにし直すまでディスエーブルのままになります。

サポートされていない MFR_OT_FAULT_RESPONSE 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。

このコマンドにはデータ・バイトが1つあります。

TON_MAX_FAULT_RESPONSE

TON_MAX_FAULT_RESPONSE コマンドは、TON_MAX フォルトに対する応答としてデバイスが取るべきアクションをデバイスに指示します。このコマンドのフォーマットを表 14 に示します。デバイスは以下の応答も行います。

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

このコマンドにはデータ・バイトが1つあります。

PMBus コマンドの詳細 (フォルト応答と通信)

表 14. VIN_OV_FAULT_RESPONSE、OT_FAULT_RESPONSE、および TON_MAX_FAULT_RESPONSE コマンドのデータ・バイトの内容

ビット	説明	値	意味
[7:6]	ビット[7:6]のすべての値に対し、LTC3888-1は次のように動作します <ul style="list-style-type: none"> ステータス・コマンドの該当ビットをセット マスクされている場合を除き、ALERT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。 <ul style="list-style-type: none"> デバイスがCLEAR_FAULTSコマンドを受け取る 関連するフォルト・ビットに1が書き込まれる RUNピンまたはOPERATIONコマンドにより、出力を一度オフにしてから再度オンにするよう命令される 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 デバイスの電源を一度オフにして再びオンにする 	00	LTC3888-1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フォルトが生成されます。
		10	LTC3888-1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。
		11	サポートされていません。この値を書き込むとCMLフォルトが生成されます。
[5:3]	再試行設定	000-110	LTC3888-1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、チャンネルをオフしてから再度オンにするよう命令されるか、デバイスの電源を一度オフにしてオンにし直すまでデイスレーブルのままになります。
		111	LTC3888-1は、MFR_RETRY_DELAYにより設定される間隔で、特別な制限を設けることなく継続的に再起動を試みます。この応答は、デバイスをオフするよう命令されるか、デバイスの電源がオフになるか、あるいは別のフォルト応答によって再試行なしでシャットダウンが強制されるまで継続されます。
[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。

MFR_RETRY_DELAY

MFR_RETRY_DELAY コマンドは、すべての再試行フォルト応答における再起動の試行間隔(ms)を設定します。再試行遅延は、LTC3888-1によってフォルトが検出されなくなるか、そのFAULTピンが外部的に解放されると開始されます。有効な値は120ミリ秒～32.7秒の範囲です。

このコマンドにはLinear_5s_11sフォーマットのデータ・バイトが2つあります。

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がローになら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50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、その後が続く外部過熱警告は引き続きSTATUS_TEMPERATUREのビット6を設定しますが、ALERTはアサートしません。サポートされているその他のSTATUS_TEMPERATUREビットが設定されている場合、それらすべてによって引き続き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51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ALERTマスク状態を読み出すときに使用します。

SMBALERT_MASKは、STATUS_BYTE、STATUS_WORD、MFR_COMMON、またはMFR_PADS_LTC3888-1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。

PMBus コマンドの詳細 (フォルト応答と通信)

SMBALERT_MASK のデフォルト設定: (図2も参照のこと)

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

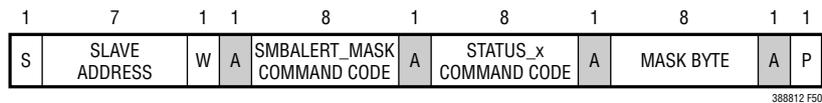


図 50. SMBALERT_MASK の設定例

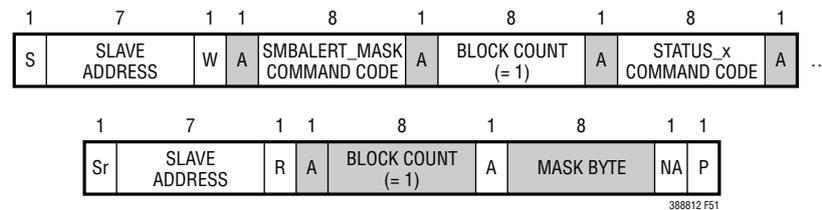


図 51. SMBALERT_MASK の読出し例

MFR_FAULT_PROPAGATE

MFR_FAULT_PROPAGATE コマンドは、 $\overline{\text{FAULT}}$ をアサートする内部イベントを決定します。また、このレジスタのビットをセットすると、指定された条件でそのチャンネルの $\overline{\text{FAULT}}$ 出力をアサートできます。FAULT_RESPONSE が「無視」に設定されている場合は、伝搬が設定されていたとしても、フォルトによって $\overline{\text{FAULT}}$ がアサートされることはありません。SMBALERT_MASK の状態はフォルト伝搬に影響しません。

サポートされている値

ビット	伝搬条件
15	(予備)
14	Vout 短絡サイクル状態 (Vout が完全にオフになってから 120ms 後に自動的にデアサート)。
13	TON_MAX_FAULT_LIMIT を超えました。
12	VOUT_UV_FAULT_LIMIT を超えました (フィルタなし、別名 VOUT_UV_UF)。
11	MFR_OT_FAULT_LIMIT を超えました。
10*	チャンネル 1 の POWER_GOOD が偽 (false)。
9*	チャンネル 0 の POWER_GOOD が偽 (false)。
8	(予備)

PMBus コマンドの詳細 (フォルト応答と通信)

ビット	伝搬条件
7	OT_FAULT_LIMIT を超えました。
6	(予備)
5	(予備)
4	VIN_OV_FAULT_LIMIT を超えました。
3	(予備)
2	IOUT_OC_FAULT_LIMIT を超えました。
1	VOUT_UV_FAULT_LIMIT を超えました。
0	VOUT_OV_FAULT_LIMIT を超えました。パワー一段のフォルトまたは UV、あるいは VDR モニタの UV です。

* このビットをセットした場合は、MFR_FAULT_RESPONSE を「無視」(0x00) に設定する必要があります。そうしないとレールが起動しません。

このコマンドにはデータ・バイトが2つあります。

MFR_FAULT_RESPONSE

MFR_FAULT_RESPONSE コマンドは、 $\overline{\text{FAULT}}$ ピンが外部的に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	関連レールが直ちにディスエーブルされます。
0x00	入力は無視され、PWM 動作は中断することなく続行されます。

$\overline{\text{FAULT}}$ ピンがローになるとデバイスは以下の動作も行います。

- STATUS_WORD の MFR_SPECIFIC ビットをセット
- STATUS_MFR_SPECIFIC コマンドのビット0をセットして、 $\overline{\text{FAULT}}$ がローになったこと、あるいは既になっていることを示す
- 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

このコマンドにはデータ・バイトが1つあります。

MFR_FAULT_LOG

MFR_FAULT_LOG コマンドを実行すると、フォルト・ログの内容を読み出すことができます。このログは、MFR_FAULT_LOG_STORE コマンドによって作成します。あるいは、MFR_FAULT_LOG_CLEAR の実行後に初めてフォルトが発生した時点で作成されます。電源をオンにした後の最初の1秒以内にフォルトが発生した場合は、ログの最初の方のページには有効なデータが格納されていない可能性があります。

この読み出し専用コマンドは、147バイトのデータを使用するブロック・プロトコルを使用します。400kHz時に必要なデータ転送時間は3.4msです。このコマンドが実行されてフォルト・ログが存在する場合、tTIMEOUT パラメータは延長されます。

LTC3888-1 のフォルト・ログの詳しい使用方法については、[動作セクション](#)のフォルト・ログの詳細を参照してください。

MFR_FAULT_LOG_CLEAR

MFR_FAULT_LOG_CLEAR コマンドは、フォルト・ログに格納されたすべてのデータを消去します。クリア・コマンドの発行後、STATUS_MFR_SPECIFIC の関連ビット3をクリアするには最大8ms必要です。

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 (EEPROMへのユーザ・アクセス)

EEPROMへのユーザ・アクセス

コマンド名	CMD 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
STORE_USER_ALL	0x15	動作メモリ全体をEEPROMに格納	Send Byte	N				
RESTORE_USER_ALL	0x16	動作メモリ全体をEEPROMから復元	Send Byte	N				
MFR_COMPARE_USER_ALL	0xF0	動作メモリの内容をEEPROMの内容と比較	Send Byte	N				
MFR_FAULT_LOG_STORE	0xEA	RAM内のフォルト・ログのキャプチャとEEPROMへの転送を強制	Send Byte	N				
MFR_EE_UNLOCK	0xBD	(メーカーに問合せ)						
MFR_EE_ERASE	0xBE	(メーカーに問合せ)						
MFR_EE_DATA	0xBF	(メーカーに問合せ)						
USER_DATA_00	0xB0	LTpowerPlay用の予備EEPROMワード	R/W Word	N	Reg		●	
USER_DATA_01	0xB1	LTpowerPlay用の予備EEPROMワード	R/W Word	Y	Reg		●	
USER_DATA_02	0xB2	OEM用の予備EEPROMワード	R/W Word	N	Reg		●	
USER_DATA_03	0xB3	一般的なデータ保存に使用できるEEPROMワード	R/W Word	Y	Reg		●	0x0000
USER_DATA_04	0xB4	一般的なデータ保存に使用できるEEPROMワード	R/W Word	N	Reg		●	0x0000

関連コマンド:MFR_CONFIG_ALL

LTC3888-1のダイ温度が130°Cを超えると、RESTORE_USER_ALLとMFR_FAULT_LOG_STOREを除く上の表のコマンドの実行は、デバイス温度が125°C未満になるまでディスエーブルされます。RESTORE_USER_ALLは直ちに実行され、EEPROMに対するMFR_FAULT_LOG_STOREはデバイス温度が125°C未満になってから実行されます。STATUS_MFR_SPECIFICのビット6が設定されている場合は、内部ダイ温度が85°Cを超えていることを示しているため、EEPROMにデータを書き込むコマンドは使用しないことを強く推奨します。85°Cを超えるジャンクション温度でEEPROMに書き込みを行った場合、10年間のデータ保持期間は確保されません。

STORE_USER_ALL

STORE_USER_ALLコマンドは、動作メモリのすべての内容を内部EEPROMのPMBus設定空間にコピーするようPMBusデバイスに指示します。

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、内部EEPROMのすべての内容を動作メモリの対応位置にコピーするようPMBusデバイスに指示します。動作メモリの値はEEPROMから読み出した値で上書きされます。このコマンドを使用する場合は、両方のマスタ・チャンネルを前もってオフにする必要があります。LTC3888-1は、すべてのPWMチャンネルがオフであることを確認して内部EEPROMから動作メモリを読み込みます。次いで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、イネーブルされたマスタ・チャンネルのソフトスタートを実行します。

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 (EEPROM へのユーザ・アクセス/ユニット識別)

MFR_COMPARE_USER_ALL

MFR_COMPARE_USER_ALL コマンドは、現在の動作メモリの内容を内部EEPROMの内容と比較するようLTC3888-1に指示します。比較されたメモリの内容が異なる場合は、CML フォルトが生成されます。

この書込み専用コマンドにデータ・バイトはありません。

MFR_FAULT_LOG_STORE

MFR_FAULT_LOG_STORE コマンドは、フォルト・イベントが発生した場合と同様に、(温度に関わらず)データ・ログの内容をRAMに書込んで内部EEPROMに転送します。このコマンドを実行すると、その後にMFR_FAULT_LOG_CLEARが受信されるまでフォルト・ログがロックされます。前述のように、EEPROMへの書込みにはダイ温度に関する制約が適用されます。MFR_CONFIG_ALLのフォルト・ログ記録をイネーブルするビットがクリアされた状態でこのコマンドを使用すると、CML フォルトが生成されます。

この書込み専用コマンドにデータ・バイトはありません。

MFR_EE_xxxx

MFR_EE_xxxx コマンドは、LTC3888-1の内部EEPROMのバルク・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・デバイセズへお問い合わせください。

USER_DATA_0x

USER_DATA_0x コマンドは、システムのスクラッチパッド空間として適用できる未確定EEPROM位置を返します。LTpowerPlay GUIを使用する場合、USER_DATA_00とUSER_DATA_01は変更しないでください。また、委託メーカーによっては、USER_DATA_02を自社の在庫管理用に確保している場合があります。

ユニット識別

コマンド名	CMD 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_ID	0x99	メーカー識別	R String	N	ASC			LTC
IC_DEVICE_ID	0xAD	LTC3888-1のモデル番号	R String	N	ASC			LTC3888-1
MFR_SPECIAL_ID	0xE7	メーカー固有の製品ID	R Word	N	REG			0x488x

以下の3つの読出し専用コマンドはブロック・フォーマットを使用します。

MFR_ID

MFR_ID コマンドは、8ビットのASCII文字を使ってLTC3888-1のメーカーIDを返します。

IC_DEVICE_ID

IC_DEVICE_ID コマンドは、8ビットのASCII文字を使ってアナログ・デバイセズのデバイス部品番号を返します。

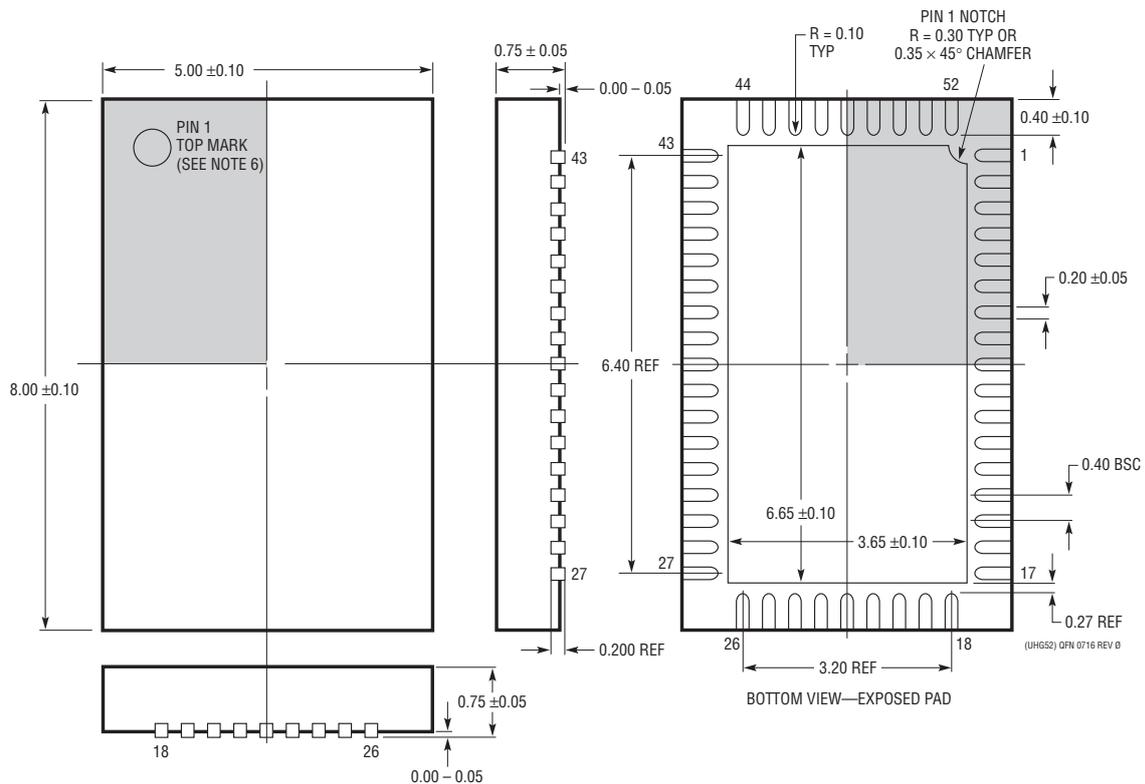
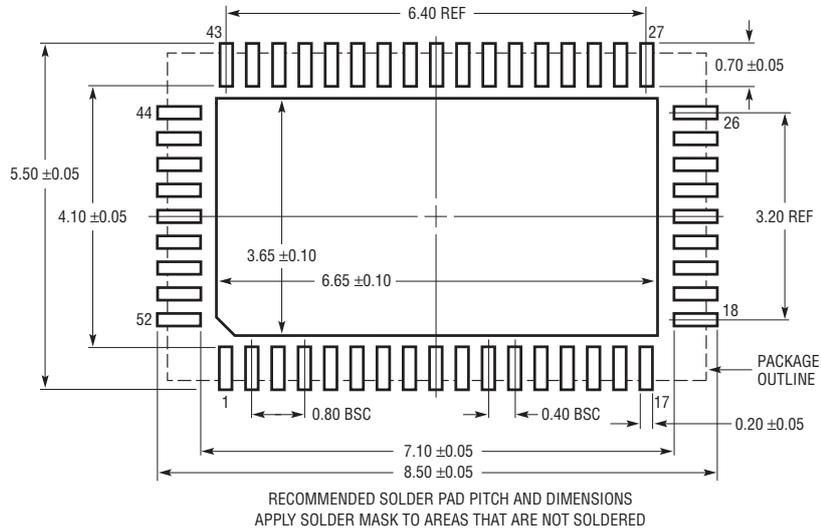
MFR_SPECIAL_ID

MFR_SPECIAL_ID コマンドは、デバイス固有のバイナリ製品コードを返します。Xはメーカーによる調整が可能です。

この読出し専用コマンドにはデータ・バイトが2つあります。

パッケージ

UHG Package
52-Lead Plastic QFN (5mm × 8mm)
 (Reference LTC DWG # 05-08-1550 Rev 0)



- NOTE:
1. DRAWING CONFORMS TO JEDEC PACKAGE OUTLINE MO-220
 2. DRAWING NOT TO SCALE
 3. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
 4. DIMENSIONS OF EXPOSED PAD ON BOTTOM OF PACKAGE DO NOT INCLUDE MOLD FLASH. MOLD FLASH, IF PRESENT, SHALL NOT EXCEED 0.20mm ON ANY SIDE
 5. EXPOSED PAD SHALL BE SOLDER PLATED
 6. SHADED AREA IS ONLY A REFERENCE FOR PIN 1 LOCATION ON THE TOP AND BOTTOM OF PACKAGE

標準的応用例

(Advanced implementation with some error amplifiers disabled)

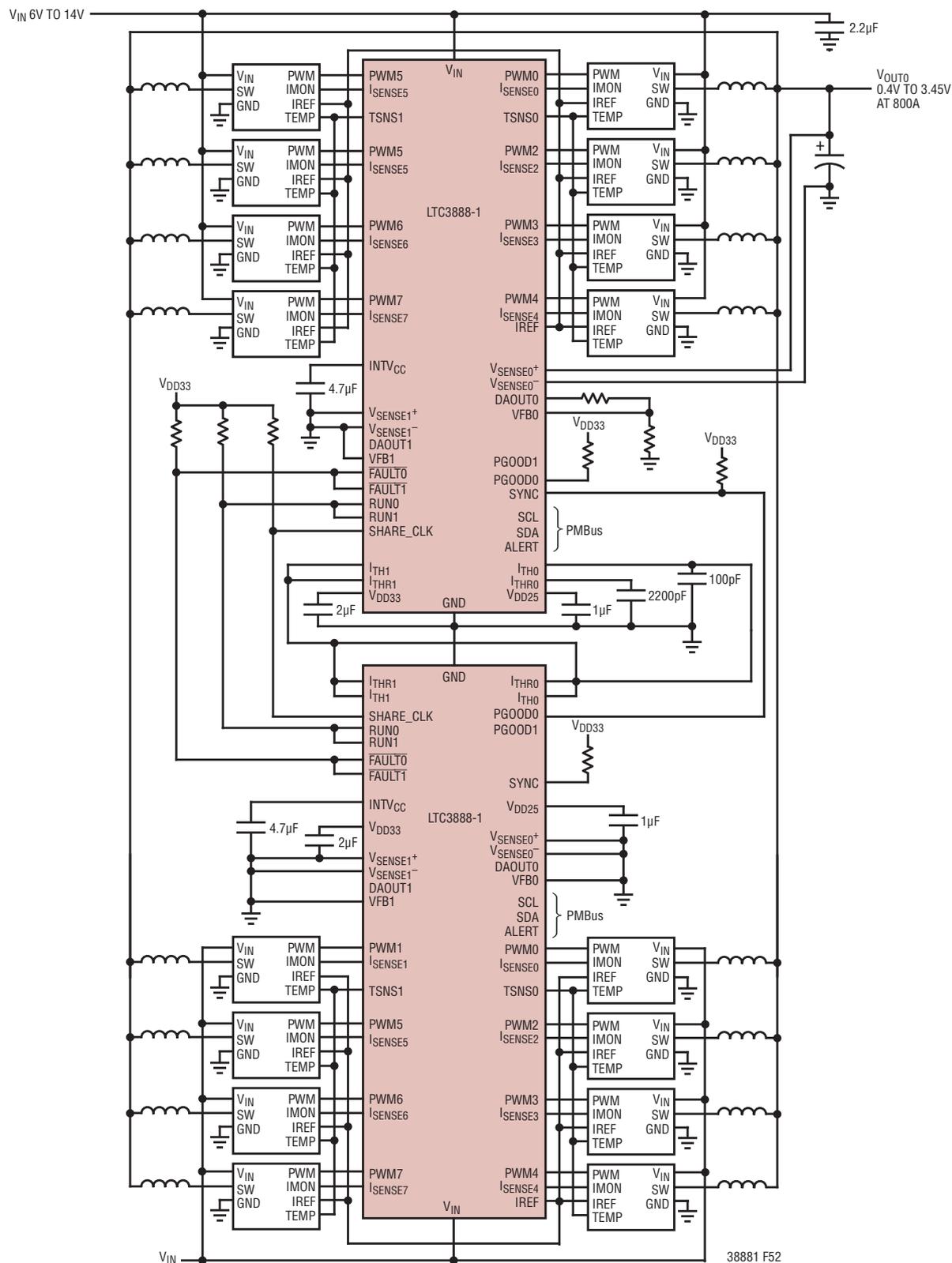
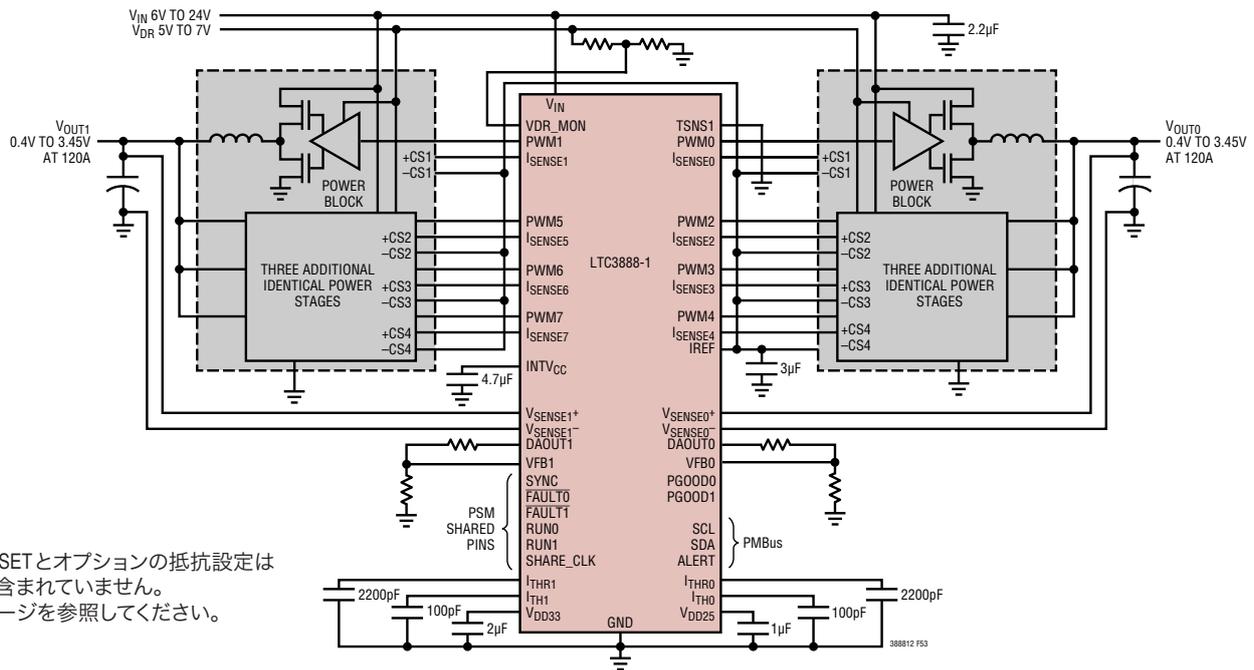


図 52. 16相 800A 出力

標準的応用例



注: RSETとオプションの抵抗設定は図に含まれていません。59ページを参照してください。

図 53. デュアル4相 120A パワー・ブロック・レール

関連製品

部品番号	説明	注釈
LTM4676A	デジタル・パワー・マネージメント機能を備えたデュアル 13A / シングル 26A 降圧 DC / DC μ Module レギュレータ	$V_{IN} \leq 26.5V$, $0.5V \leq V_{OUT} (\pm 0.5\%) \leq 5.4V$, ADC の I_{OUT} 精度: $\pm 2\%$, フォルト・ログ機能, I ² C/PMBus インターフェース, 16mm \times 16mm \times 5mm BGA パッケージ
LTM4677	デジタル・パワー・システム・マネージメント機能を搭載したデュアル 18A / シングル 36A 降圧 DC / DC μ Module レギュレータ	$4.5V \leq V_{IN} \leq 16V$, $0.5V \leq V_{OUT} (\pm 0.5\%) \leq 1.8V$, I ² C/PMBus インターフェース, 16mm \times 16mm \times 5mm BGA パッケージ
LTM4700	デジタル・パワー・システム・マネージメント機能を搭載したデュアル 50A / シングル 100A 降圧 DC / DC μ Module レギュレータ	$4.5V \leq V_{IN} \leq 16V$, $0.5V \leq V_{OUT} \leq 1.8V$, V_{OUT} 精度: $\pm 0.5\%$, フォルト・ログ機能, I ² C/PMBus インターフェース, 15mm \times 22mm \times 7.87mm BGA パッケージ
LTC2977	8チャンネルの PMBus パワー・システム・マネージャ	8つの出力電圧, V_{IN} , およびダイ温度のフォルト・ログ機能
LTC3882/ LTC3882-1	デジタル・パワー・システム・マネージメント機能を搭載したデュアル出力マルチフェーズ降圧 DC/DC 電圧モード・コントローラ	$V_{IN} \leq 38V$, $0.5V \leq V_{OUT} \leq 5.25V$, V_{OUT} 精度: $\pm 0.5\%$, フォルト・ログ機能, EEPROM および 16ビット ADC との I ² C/PMBus インターフェース
LTC3884/ LTC3884-1	サブ m Ω DCR 検出機能とデジタル・パワー・システム・マネージメント機能を搭載したデュアル出力マルチフェーズ降圧 DC/DC 電流モード・コントローラ	$4.5V \leq V_{IN} \leq 38V$, $0.5V \leq V_{OUT} (\pm 0.5\%) \leq 5.5V$, フォルト・ログ機能, EEPROM および 16ビット ADC との I ² C/PMBus インターフェース, プログラマブル・アナログ・ループ補償, 入力電流検出
LTC3874	サブ m Ω DCR 検出機能を搭載したマルチフェーズ降圧 DC/DC 電流モード・スレープ・コントローラ	$4.5V \leq V_{IN} \leq 38V$, $0.5V \leq V_{OUT} \leq 5.5V$, 高精度の電流分担
LTC3887/ LTC3887-1	デジタル・パワー・システム・マネージメント機能を搭載したデュアル出力マルチフェーズ降圧 DC/DC 電流モード・コントローラ	$V_{IN} \leq 24V$, $0.5V \leq V_{OUT} \leq 5.5V$, V_{OUT} 精度: $\pm 0.5\%$, フォルト・ログ機能, EEPROM および 16ビット ADC との I ² C/PMBus インターフェース
LTC3886	デジタル・パワー・システム・マネージメント機能を搭載した 60V デュアル出力マルチフェーズ降圧 DC/DC 電流モード・コントローラ	$4.5V \leq V_{IN} \leq 60V$, $0.5V \leq V_{OUT} (\pm 0.5\%) \leq 13.8V$, フォルト・ログ機能, EEPROM および 16ビット ADC との I ² C/PMBus インターフェース, プログラマブル・アナログ・ループ補償, 入力電流検出
LTC3889	デジタル・パワー・システム・マネージメント機能を搭載した 60V デュアル出力マルチフェーズ降圧 DC/DC 電流モード・コントローラ	$5V \leq V_{IN} \leq 60V$, $1V \leq V_{OUT} \leq 40V$, V_{OUT} 精度: $\pm 0.5\%$, フォルト・ログ機能, EEPROM および 16ビット ADC との I ² C/PMBus インターフェース, プログラマブル・アナログ・ループ補償, 入力電流検出
LTC3870/ LTC3870-1	60V マルチフェーズ降圧 DC/DC 電流モード・スレープ・コントローラ	$V_{IN} \leq 60V$, $0.5V \leq V_{OUT} \leq 14V$, 高精度の電流分担
LTC3888/ LTC3888-2	デジタル・パワー・システム・マネージメント機能と SPI インターフェースを搭載した拡張可能なデュアル出力 8 相降圧 DC/DC 電流モード・コントローラ	$4.5V \leq V_{IN} \leq 28.5V$, $0.3V \leq V_{OUT} (\pm 0.5\%) \leq 3.45V$, フォルト・ログ機能, EEPROM および 16ビット ADC との I ² C/PMBus インターフェース, 負荷ステップ・エミュレーション機能を備えたプログラマブル・アナログ・ループ補償