

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出力 PolyPhase 降圧 DC/DC コントローラ

特長

- PMBus/I²C 準拠シリアル・インタフェース
 - テレメトリ読み出し: V_{IN}、I_{IN}、V_{OUT}、I_{OUT}、温度、およびフォルト
 - プログラム可能な、電圧、電流制限、デジタル・ソフトスタート/ソフトストップ、シーケンシング、マーゼニング、OV/UV および周波数同期 (250kHz ~ 1MHz)
- 出力電圧精度: 全温度範囲で ±0.5%
- 16ビット ADC を内蔵
- 内部 EEPROM とフォルトの記録
- 強力な N チャネル MOSFET ゲート・ドライバを内蔵

電力変換

- 広い入力電圧範囲: 4.5V ~ 24V
- 出力電圧範囲: 0.5V ~ 5.4V (V_{OUT0} の場合は最大 4V)
- アナログ電流モード制御ループ
- プリバイアスされた負荷状態での起動をサポート
- 6位相までの PolyPhase[®] 高精度電流分担
- 40ピン (6mm×6mm) QFN パッケージ

アプリケーション

- 大電流の分散給電システム
- 通信システム、データ通信システム、およびストレージ・システム
- 高度でエネルギー効率の高い電力レギュレーション

概要

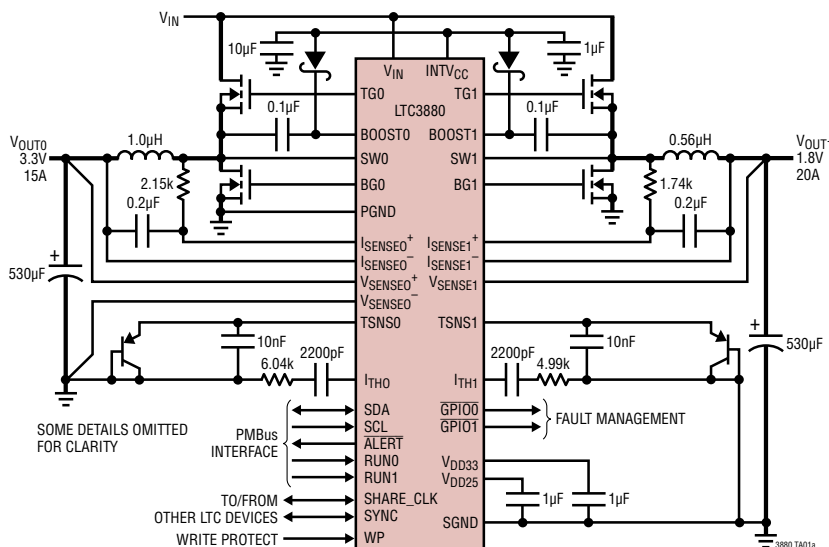
LTC[®]3880/LTC3880-1 は、I²C ベースの PMBus 準拠シリアル・インタフェースを備えた、デュアル PolyPhase DC/DC 同期整流式降圧スイッチング・レギュレータ・コントローラです。これらのコントローラは、グラフィカル・ユーザ・インタフェース (GUI) を備えた LTpowerPlay[™] ソフトウェア開発ツールによってサポートされている固定周波数の電流モード・アーキテクチャを採用しています。

スイッチング周波数、出力電圧、およびデバイス・アドレスは、外付けの構成設定抵抗を使用して設定できます。さらに、パラメータはデジタル・インタフェースを介して設定することや、EEPROM に格納することができます。電圧、電流、内部/外部温度、およびフォルト状態は、バス・インタフェースを介して読み出すことができます。

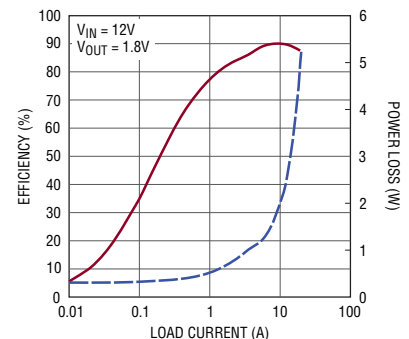
LTC3880/LTC3880-1 は、Burst Mode[®] 動作、不連続 (パルス・スキップ) モード、または連続インダクタ電流モードに合わせて構成できます。LTC3880 は 5V のリニア・レギュレータを内蔵していますが、LTC3880-1 は電力損失を最小にするため外部の 5V 電源を使用します。

LT、LT、LTC、LTM、PolyPhase、Burst Mode、μModule、Linear Technology および Linear のロゴはリニアテクノロジー社の登録商標です。No RSENSE および LTpowerPlay はリニアテクノロジー社の商標です。その他すべての商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。5481178、5705919、5929620、6144194、6177787、6580258、5408150、7420359 を含む米国特許により保護されています。米国特許 7000125 および他の関連する国際特許の使用権を許諾されています。

標準的応用例



効率および電力損失と
負荷電流



目次

特長.....	1	デバイスの呼び出し機能.....	25
アプリケーション.....	1	V _{OUT} フォルトと I _{OUT} フォルトへの応答.....	25
標準的応用例.....	1	出力過電圧フォルト応答.....	26
概要.....	1	出力低電圧応答.....	26
目次.....	2	ピーク出力過電流フォルト応答.....	26
絶対最大定格.....	4	タイミング・フォルトに対する応答.....	26
ピン配置.....	4	V _{IN} 0V フォルトに対する応答.....	27
発注情報.....	4	OT/UT フォルトに対する応答.....	27
電気的特性.....	5	過温度フォルト応答—内部.....	27
標準的性能特性.....	10	過温度と低温度フォルト応答—外部.....	27
ピン機能.....	13	外部フォルトに対する応答.....	27
ブロック図.....	15	フォルト・ログ.....	27
動作.....	16	バスのタイムアウト不良.....	28
概要.....	16	PMBus、SMBus、および I ² C 2 線インタフェースの間の	
メイン制御ループ.....	16	類似点.....	28
EEPROM.....	17	PMBus シリアル・デジタル・インタフェース.....	28
パワーアップと初期化.....	17	PMBus コマンドの要約.....	32
ソフトスタート.....	18	PMBus のコマンド.....	32
シーケンシング.....	19	* データのフォーマット.....	37
電圧をベースにしたシーケンシング.....	19	アプリケーション情報.....	38
シャットダウン機能.....	19	電流制限のプログラミング.....	38
軽負荷電流動作.....	20	I _{SENSE} ⁺ ピンと I _{SENSE} ⁻ ピン.....	38
スイッチング周波数と位相.....	20	小さな値の抵抗による電流検出.....	39
出力電圧検出.....	21	インダクタの DCR による電流検出.....	40
電流検出.....	21	スロー補償とインダクタのピーク電流.....	41
負荷分担.....	22	インダクタの値の計算.....	41
外部/内部温度検出.....	22	インダクタのコアの選択.....	42
RCONFIG (レジスタ設定) ピン.....	23	パワー MOSFET とショットキー・ダイオード	
フォルトの検出と取り扱い.....	23	(オプション) の選択.....	42
CRC 不良.....	24	可変遅延時間、ソフトスタートおよび出力電圧ランプ...	43
シリアル・インタフェース.....	25	デジタル・サーボ・モード.....	44
通信不良.....	25	ソフトオフ (シーケンス制御されたオフ).....	44

目次

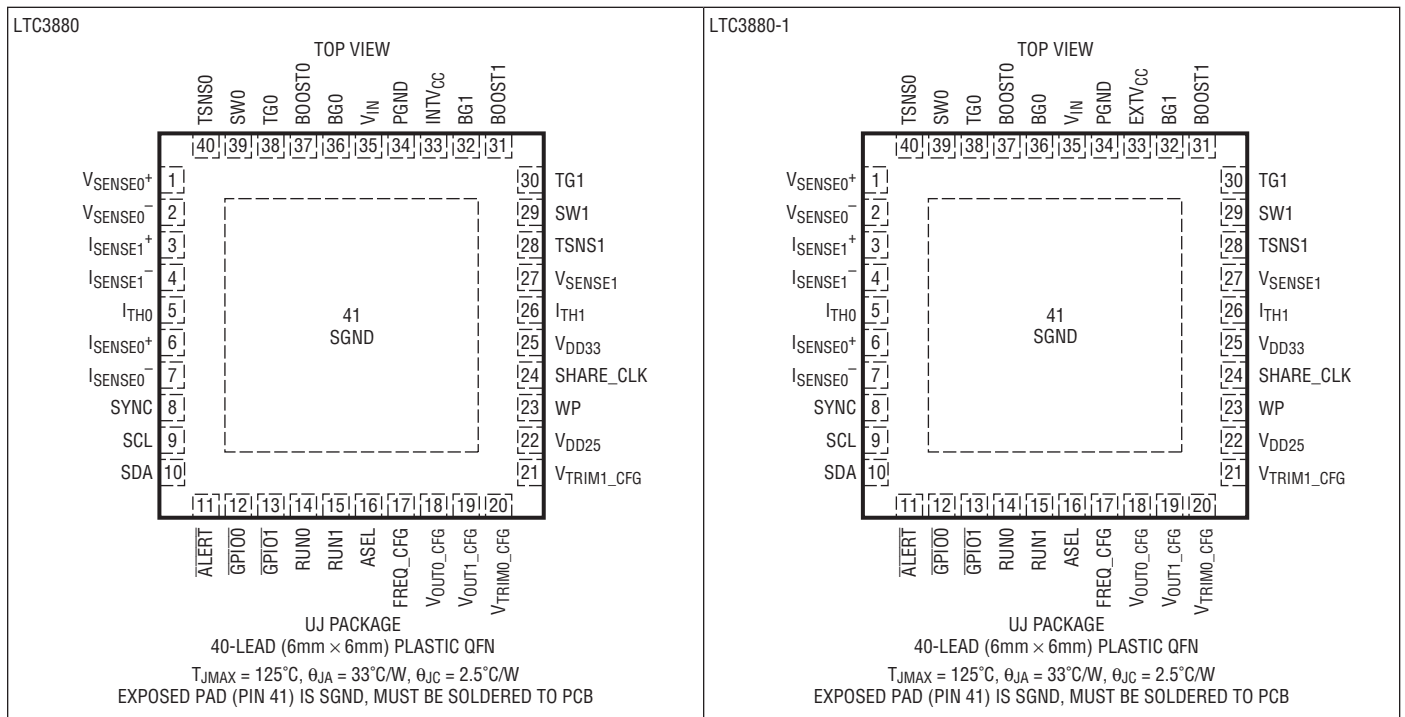
INTV _{CC} レギュレータ	45	入力電流	74
トップサイドMOSFETドライバの電源 (C _B 、D _B)	46	出力電流	75
低電圧ロックアウト	46	温度	76
C _{IN} とC _{OUT} の選択	46	外部温度の較正	76
フォルト状態	47	外部温度のリミット	77
オープン・ドレイン・ピン	48	タイミング	78
フェーズロック・ループと周波数同期	48	タイミグーオン・シーケンス/ランプ	78
最小オン時間に関する検討事項	49	タイミグーオフ・シーケンス/ランプ	79
RCONFIG (外部抵抗設定ピン)	49	再スタートの前提条件	79
電圧の選択	49	フォルト応答	80
RCONFIGを使った周波数と位相の選択	50	フォルト応答、全フォルト	80
RCONFIGを使ったアドレス選択	51	フォルト応答、入力電圧	80
効率に関する検討事項	52	フォルト応答、出力電圧	81
過渡応答のチェック	53	フォルト応答、出力電流	84
PCボードのレイアウトのチェックリスト	54	フォルト応答、デバイスの温度	85
PCボードのレイアウトのデバッグ	56	フォルト応答、外部温度	86
設計例	57	フォルト共有	87
USBからI ² C/SMBus/PMBusへのコントローラを		フォルト共有の伝播	87
システム内のLTC3880へ接続	59	フォルト共有応答	89
LTpowerPlay: デジタル・パワー向け対話型GUI	60	スクラッチパッド	89
PMBusの通信とコマンド処理	61	識別	90
PMBusコマンドの詳細	63	フォルト警報および状態	91
呼び出し機能および書き込み保護	63	テレメトリ	98
一般構成レジスタ	65	NVMメモリ・コマンド	101
オン/オフ/マージン	66	格納/復元	101
PWM Config	68	フォルト・ログ	102
電圧	70	ブロック・メモリ書き込み/読み出し	108
入力電圧とリミット	70	標準的応用例	109
出力電圧とリミット	71	パッケージ	114
電流	74	改訂履歴	115
入力電流の較正	74	標準的応用例	116
出力電流の較正	74	関連製品	116

LTC3880/LTC3880-1

絶対最大定格 (Note 1)

V_{IN} 電圧	-0.3V ~ 28V	FREQ_CFG、 V_{OUTn_CFG} 、 V_{TRIMn_CFG} 、	
上側ドライバ電圧		ASEL、 V_{DD25}	-0.3V ~ 2.75V
BOOST1、BOOST0	-0.3V ~ 34V	V_{DD33} 、 $\overline{GPIO0}$ 、 $\overline{GPIO1}$ 、TSNS0、TSNS1、 V_{SENSE0^-} 、	
スイッチの電圧 (SW1、SW0)	-5V ~ 28V	SHARE_CLK、WP、SYNC、 I_{THn}	-0.3V ~ 3.6V
$EXTV_{CC}$ 、 $INTV_{CC}$ 、(BOOST1 – SW1)、		$INTV_{CC}$ ピーク出力電流	100mA
(BOOST0 – SW0)	-0.3V ~ 6V	動作接合部温度範囲 (Note 2)	-40°C ~ 125°C
V_{SENSE0^+} 、 V_{SENSE1} 、 $I_{SENSE0n}$ 、 $I_{SENSE1n}$	-0.3V ~ 6V	保存温度範囲	-40°C ~ 125°C
RUN0、RUN1、SDA、SCL、 \overline{ALERT}	-0.3V ~ 5.5V		

ピン配置



発注情報

無鉛仕上げ	テープアンドリール	製品マーキング*	パッケージ	接合部温度範囲
LTC3880EUJ#PBF	LTC3880EUJ#TRPBF	LTC3880UJ	40-Lead (6mm x 6mm) Plastic QFN	-40°C to 105°C
LTC3880IUJ#PBF	LTC3880IUJ#TRPBF	LTC3880UJ	40-Lead (6mm x 6mm) Plastic QFN	-40°C to 125°C
LTC3880EUJ-1#PBF	LTC3880EUJ-1#TRPBF	LTC3880UJ-1	40-Lead (6mm x 6mm) Plastic QFN	-40°C to 105°C
LTC3880IUJ-1#PBF	LTC3880IUJ-1#TRPBF	LTC3880UJ-1	40-Lead (6mm x 6mm) Plastic QFN	-40°C to 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時のコンテナのラベルで識別されます。非標準の鉛仕上げの製品の詳細については、弊社または弊社代理店にお問い合わせください。

無鉛仕上げの製品マーキングの詳細については、<http://www.linear-tech.co.jp/leadfree/> をご覧ください。
テープアンドリールの仕様の詳細については、<http://www.linear-tech.co.jp/tapeandree/> をご覧ください。

電気的特性 ●は規定動作接合部温度範囲の規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値 (Note 2)。注記がない限り、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{RUN0,1} = 3.3\text{V}$ 、 $f_{SYNC} = 500\text{kHz}$ (外部駆動)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
入力電圧							
V_{IN}	Input Voltage Range	(Note 12)	●	4.5		24	V
I_Q	Input Voltage Supply Current Normal Operation	(Note 14) $V_{RUN0,1} = 3.3\text{V}$, No Caps on TG and BG $V_{RUN0,1} = 0\text{V}$			25 20		mA mA
V_{UVLO}	Undervoltage Lockout Threshold when $V_{IN} > 4.3\text{V}$	V_{INTVCC}/V_{EXTVCC} Falling V_{INTVCC}/V_{EXTVCC} Rising			3.7 3.95		V V
t_{INIT}	Initialization Time	Time from V_{IN} Applied Until the TON_DELAY Timer Starts			145		ms
制御ループ							
V_{OUT1R0}	Full-Scale Voltage Range 0 Set Point Accuracy (0.6V to 5V) Resolution LSB Step Size	$V_{OUT_COMMAND}(1) = 5.500\text{V}$ (Note 9)	● ●	5.4 -0.5	12 1.375	5.6 0.5	V % Bits mV
V_{OUT1R1}	Full-Scale Voltage Range 1 Set Point Accuracy (0.6V to 2.5V) Resolution LSB Step Size	$V_{OUT_COMMAND}(1) = 2.75\text{V}$ (Note 9)	● ●	2.7 -0.5	12 0.6875	2.8 0.5	V % Bits mV
V_{OUT0R0}	Full-Scale Voltage Range 0 Set Point Accuracy (0.6V to 4.096V) Resolution LSB Step Size	$V_{OUT_COMMAND}(0) = 4.095\text{V}$ (Note 9)	● ●	4.0 -0.5	12 1.375	4.2 0.5	V % Bits mV
V_{OUT0R1}	Full-Scale Voltage Range 1 Set Point Accuracy (0.6V to 2.5V) Resolution LSB Step Size	$V_{OUT_COMMAND}(0) = 2.75\text{V}$ (Note 9)	● ●	2.7 -0.5	12 0.6875	2.8 0.5	V % Bits mV
$V_{LINEREG}$	Line Regulation	$6\text{V} < V_{IN} < 24\text{V}$	●			± 0.02	%/V
$V_{LOADREG}$	Load Regulation	$\Delta V_{ITH} = 1.35\text{V} - 0.7\text{V}$ $\Delta V_{ITH} = 1.35\text{V} - 2.0\text{V}$	● ●		0.01 -0.01	0.1 -0.1	% %
$g_{m0,1}$	Error Amplifier g_m	$I_{TH0,1} = 1.22\text{V}$			3		mmho
$I_{SENSE0,1}$	Input Current	$V_{SENSE} = 5.5\text{V}$	●		± 1	± 3	μA
$V_{SENSE RIN0}$	V_{SENSE} Input Resistance to Ground	$0\text{V} \leq V_{PIN} \leq 5.5\text{V}$			41		k Ω
$V_{SENSE RIN1}$	V_{SENSE} Input Resistance to Ground	$0\text{V} \leq V_{PIN} \leq 5.5\text{V}$			37		k Ω
V_{ILIMIT}	Resolution				3		bits
	$V_{ILIMMAX}$	Hi Range Lo Range	● ●	68 44	75 50	82 56	mV mV
	$V_{ILIMMIN}$	Hi Range Lo Range			37.5 25		mV mV
ゲート・ドライバ							
TG0,1	TG Transition Time:	(Note 4)					
t_r	Rise Time	$C_{LOAD} = 3300\text{pF}$			30		ns
t_f	Fall Time	$C_{LOAD} = 3300\text{pF}$			30		ns
BG0,1	BG Transition Time:	(Note 4)					
t_r	Rise Time	$C_{LOAD} = 3300\text{pF}$			30		ns
t_f	Fall Time	$C_{LOAD} = 3300\text{pF}$			30		ns
TG/BG t_{1D}	Top Gate Off to Bottom Gate On Delay Time	(Note 4) $C_{LOAD} = 3300\text{pF}$ Each Driver			30		ns
BG/TG t_{2D}	Bottom Gate Off to Top Gate On Delay Time	(Note 4) $C_{LOAD} = 3300\text{pF}$ Each Driver			30		ns
$t_{ON(MIN)}$	Minimum On-Time				90		ns

LTC3880/LTC3880-1

電気的特性 ●は規定動作接合部温度範囲の規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値 (Note 2)。注記がない限り、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{RUN0,1} = 3.3\text{V}$ 、 $f_{SYNC} = 500\text{kHz}$ (外部駆動)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
OV/UV出力電圧スーパーバイザ チャンネル0						
N	Resolution			8		Bits
V0RANGE0	Voltage Monitoring Range	Range Value = 0	1		4.096	V
V0RANGE1	Voltage Monitoring Range	Range Value = 1	0.5		2.7	V
V0OUSTP0	Threshold Programming Step	Range Value = 0		22		mV
V0OUSTP1	Threshold Programming Step	Range Value = 1		11		mV
V0THACC0	Threshold Accuracy $2\text{V} < V_{OUT0} < 4\text{V}$	Range Value = 0	●		±2	%
V0THACC1	Threshold Accuracy $1\text{V} < V_{OUT0} < 2.5\text{V}$	Range Value = 1	●		±2	%
tPROPOV0	OV Comparator to $\overline{\text{GPIO}}$ Low Time	$V_{OD} = 10\%$ of Threshold			35	μs
tPROPUV0	UV Comparator to $\overline{\text{GPIO}}$ Low Time	$V_{OD} = 10\%$ of Threshold			100	μs
OV/UV出力電圧スーパーバイザ チャンネル1						
N	Resolution			8		bits
V1RANGE0	Voltage Range	Range Value = 0	1		5.5	V
V1RANGE1	Voltage Range	Range Value = 1	0.5		2.7	V
V1OUSTP0	Step Size	Range Value = 0		22		mV
V1OUSTP1	Step Size	Range Value = 1		11		mV
V1THACC0	Threshold Accuracy $2\text{V} < V_{OUT1} < 5\text{V}$	Range Value = 0	●		±2	%
V1THACC1	Threshold Accuracy $1\text{V} < V_{OUT1} < 2.5\text{V}$	Range Value = 1	●		±2	%
tPROPOV1	OV Comparator to $\overline{\text{GPIO}}$ Low Time	$V_{OD} = 10\%$ of Threshold			35	μs
tPROPUV1	UV Comparator to $\overline{\text{GPIO}}$ Low Time	$V_{OD} = 10\%$ of Threshold			100	μs
V_{IN} 電圧スーパーバイザ						
N	Resolution			8		bits
V _{IN} RANGE	Full-Scale Voltage		4.5		20	V
V _{IN} STP	Step Size			82		mV
V _{IN} THACC	Threshold Accuracy $9.0\text{V} < V_{IN} < 20\text{V}$		●		±2.5	%
V _{IN} THACCM	Threshold Accuracy $4.5\text{V} < V_{IN} < 9\text{V}$		●		±5	%
tPROPVIN	Comparator Response Time (VIN_ON and VIN_OFF)	$V_{OD} = 10\%$ of Threshold			100	μs
出力電圧の読み出し						
N	Resolution LSB Step Size			16 244		Bits μV
V _{OFFS}	Full-Scale Voltage	(Note 10) $V_{RUNn} = 0\text{V}$ (Note 8)		8		V
V _{OUT_TUE}	Total Unadjusted Error	(Note 8) $V_{OUTn} > 0.6\text{V}$	●		0.5	%
V _{OS}	Zero-Code Offset Voltage				±500	μV
t _{CONVERT}	Conversion Time	(Note 6)		100		ms

電気的特性 ●は規定動作接合部温度範囲の規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値 (Note 2)。注記がない限り、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{RUN0,1} = 3.3\text{V}$ 、 $f_{SYNC} = 500\text{kHz}$ (外部駆動)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
V_{IN} 電圧の読み出し							
N	Resolution	(Note 5)		10		Bits	
V_{IFS}	Full-Scale Voltage	(Note 11)		38.91		V	
V_{IN_TUE}	Total Unadjusted Error	$V_{IN} > 4.5\text{V}$ (Note 8)	●		0.5 2	% %	
$t_{CONVERT}$	Conversion Time	(Note 6)		100		ms	
出力電流の読み出し							
N	Resolution LSB Step Size	(Note 5) $0\text{V} \leq V_{ISENSE}^+ - V_{ISENSE}^- < 16\text{mV}$ $16\text{mV} \leq V_{ISENSE}^+ - V_{ISENSE}^- < 32\text{mV}$ $32\text{mV} \leq V_{ISENSE}^+ - V_{ISENSE}^- < 63.9\text{mV}$ $63.9\text{mV} \leq V_{ISENSE}^+ - V_{ISENSE}^- < 127.9\text{mV}$		10 15.625 31.25 62.5 125		Bits μV μV μV μV	
I_{FS}	Full-Scale Current	(Note 7) $R_{ISENSE} = 1\text{m}\Omega$		± 128		A	
I_{OUT_TUE}	Total Unadjusted Error	(Note 8) $V_{ISENSE} > 6\text{mV}$ (Note 15)	●		± 1	%	
V_{OS}	Zero-Code Offset Voltage				± 28	μV	
$t_{CONVERT}$	Conversion Time	(Note 6)		100		ms	
入力電流とデューティ・サイクルの読み出し							
D_RES	Resolution			10		Bits	
D_TUE	Total Unadjusted Error	16.3% Duty Cycle	-3		3	%	
$t_{CONVERT}$	Update Rate	(Note 6)		100		ms	
温度の読み出し (T0、T1、T2)							
T_RES_T	Resolution			0.25		$^\circ\text{C}$	
T0_1_TUE	External TSNS TUE	$\Delta V_{TSNS} = 72\text{mV}$ (Note 8)	●		± 3	$^\circ\text{C}$	
T2_TUE	Internal TSNS TUE	$V_{RUN0,1} = 0.0\text{V}$, $f_{SYNC} = 0\text{kHz}$ (Note 8)		± 1		$^\circ\text{C}$	
$t_{CONVERT_T}$	Update Rate	(Note 6)		120		ms	
INTV_{CC} レギュレータ							
V_{INTVCC}	Internal V_{CC} Voltage No Load (LTC3380)	$6\text{V} < V_{IN} < 24\text{V}$	●	4.8	5	5.2	V
V_{LDO_INT}	INTV _{CC} Load Regulation (LTC3380)	$I_{CC} = 0\text{mA}$ to 50mA		0.5	± 2	%	
V_{DD33} レギュレータ							
V_{DD33}	Internal V_{DD33} Voltage	$4.5\text{V} < V_{INTVCC}/V_{EXTVCC}$	●	3.2	3.3	3.40	V
$I_{LIM}(V_{DD33})$	V_{DD33} Current Limit	$V_{DD33} = \text{GND}$		70		mA	
V_{DD33_OV}	V_{DD33} Overvoltage Threshold			3.5		V	
V_{DD33_UV}	V_{DD33} Undervoltage Threshold			3.1		V	
V_{DD25} レギュレータ							
V_{DD25}	Internal V_{DD25} Voltage		●	2.25	2.5	2.75	V
$I_{LIM}(V_{DD25})$	V_{DD25} Current Limit	$V_{DD25} = \text{GND}$		50		mA	

LTC3880/LTC3880-1

電気的特性 ●は規定動作接合部温度範囲の規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値 (Note 2)。注記がない限り、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{RUN0,1} = 3.3\text{V}$ 、 $f_{SYNC} = 500\text{kHz}$ (外部駆動)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
発振器とフェーズロック・ループ							
f_{OSC}	Oscillator Frequency Accuracy	$250\text{kHz} < f_{SYNC} < 1\text{MHz}$ Measured Falling Edge-to-Falling Edge of SYNC with SWITCH_FREQUENCY = 250.0 and 1000.0	●			± 7.5	%
$V_{TH,SYNC}$	SYNC Input Threshold	V_{CLKIN} Falling V_{CLKIN} Rising			1 1.5		V V
$V_{OL,SYNC}$	SYNC Low Output Voltage	$I_{LOAD} = 3\text{mA}$	●		0.2	0.4	V
$I_{LEAK,SYNC}$	SYNC Leakage Current in Slave Mode	$0\text{V} \leq V_{PIN} \leq 3.6\text{V}$				± 5	μA
$\theta_{SYNC-\theta 0}$	SYNC to Ch0 Phase Relationship Based on the Falling Edge of Sync and Rising Edge of TG0	MFR_PWM_CONFIG_LTC3880[2:0] = 0, 2, 3			0		Deg
		MFR_PWM_CONFIG_LTC3880[2:0] = 5			60		Deg
		MFR_PWM_CONFIG_LTC3880[2:0] = 1			90		Deg
		MFR_PWM_CONFIG_LTC3880[2:0] = 4, 6			120		Deg
$\theta_{SYNC-\theta 1}$	SYNC to Ch1 Phase Relationship Based on the Falling Edge of Sync and Rising Edge of TG1	MFR_PWM_CONFIG_LTC3880[2:0] = 3			120		Deg
		MFR_PWM_CONFIG_LTC3880[2:0] = 0			180		Deg
		MFR_PWM_CONFIG_LTC3880[2:0] = 2, 4, 5			240		Deg
		MFR_PWM_CONFIG_LTC3880[2:0] = 1			270		Deg
		MFR_PWM_CONFIG_LTC3880[2:0] = 6			300		Deg
EEPROM の特性							
Endurance	(Note 13)	$0^\circ\text{C} < T_J < 85^\circ\text{C}$ During EEPROM Write Operations	●	10,000			Cycles
Retention	(Note 13)	$T_J < 125^\circ\text{C}$	●	10			Years
Mass_Write	Mass Write Operation Time	STORE_USER_ALL, $0^\circ\text{C} < T_J < 85^\circ\text{C}$ During EEPROM Write Operations	●		440	4100	ms
デジタル入力 SCL、SDA、RUN0、RUN1、GPIO0、GPIO1							
V_{IH}	Input High Threshold Voltage	SCL, SDA, RUN0, RUN1, $\overline{\text{GPIO0}}$, $\overline{\text{GPIO1}}$	●			2.0	V
V_{IL}	Input Low Threshold Voltage	SCL, SDA, RUN0, RUN1, $\overline{\text{GPIO0}}$, $\overline{\text{GPIO1}}$	●	1.4			V
V_{HYST}	Input Hysteresis	SCL, SDA			0.08		V
C_{PIN}	Input Capacitance					10	pF
デジタル入力 WP							
I_{PUWP}	Input Pull-Up Current	WP			10		μA
オープン・ドレイン出力 SCL、SDA、GPIO0、GPIO1、ALERT、RUN0、RUN1、SHARE_CLK							
V_{OL}	Output Low Voltage	$I_{SINK} = 3\text{mA}$	●			0.4	V
デジタル入力 SHARE_CLK、WP							
V_{IH}	Input High Threshold Voltage		●		1.5	1.8	V
V_{IL}	Input Low Threshold Voltage		●	0.6	1		V
SDA、SCL、ALERT、RUN0、RUN1 のリーク電流							
I_{OL}	Input Leakage Current	$0\text{V} \leq V_{PIN} \leq 5.5\text{V}$	●			± 5	μA
GPIO0、GPIO1 のリーク電流							
I_{GL}	Input Leakage Current	$0\text{V} \leq V_{PIN} < 3.6\text{V}$	●			± 2	μA

電気的特性 ●は規定動作接合部温度範囲の規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値 (Note 2)。注記がない限り、 $V_{IN} = 12\text{V}$ 、 $V_{RUN0,1} = 3.3\text{V}$ 、 $f_{SYNC} = 500\text{kHz}$ (外部駆動)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
GPIO0、GPIO1のデジタル・フィルタ						
t_{FLTG}	Input Digital Filtering GPIO			3		μs
RUN0、RUN1のデジタル・フィルタ						
t_{FLTG}	Input Digital Filtering RUN			10		μs
PMBus インタフェースのタイミング特性						
f_{SMB}	Serial Bus Operating Frequency		●	10	400	kHz
t_{BUF}	Bus Free Time Between Stop and Start		●	1.3		μs
$t_{HD,STA}$	Hold time After Repeated Start Condition. After this Period, the First Clock is Generated		●	0.6		μs
$t_{SU,STA}$	Repeated Start Condition Setup Time		●	0.6		μs
$t_{SU,STO}$	Stop Condition Setup Time		●	0.6		μs
$t_{HD,DAT}$	Data Hold Time Receiving Data Transmitting Data		● ●	0 0.3	0.9	μs μs
$t_{SU,DAT}$	Data Setup Time Receiving Data		●	0.1		μs
$t_{TIMEOUT_SMB}$	Stuck PMBus Timer Non-Block Reads Stuck PMBus Timer Block Reads	Measured from the Last PMBus Start Event		32 150		ms ms
t_{LOW}	Serial Clock Low Period		●	1.3	10000	μs
t_{HIGH}	Serial Clock High Period		●	0.6		μs

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

Note 2: LTC3880/LTC3880-1は T_J が T_A にほぼ等しいパルス負荷条件でテストされる。LTC3880E/LTC3880E-1は $0^\circ\text{C} \sim 85^\circ\text{C}$ の温度範囲で性能仕様に適合することが保証されている。 $-40^\circ\text{C} \sim 105^\circ\text{C}$ の動作接合部温度範囲での仕様は設計、特性評価および統計学的なプロセス・コントロールとの相関で確認されている。LTC3880/LTC3880-1は $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ の全動作接合部温度範囲で性能仕様に適合することが保証されている。 T_J は周囲温度 T_A および電力損失 P_D から次式に従って計算される。

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

これらの仕様を満たす最大周囲温度は、基板レイアウト、パッケージの定格熱インピーダンスおよび他の環境要因と関連した特定の動作条件によって決まる。

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

Note 4: 立ち上がり時間と立ち下がり時間は10%と90%のレベルを使用して測定する。遅延時間は50%レベルを使って測定する。

Note 5: PMBusのデータ・フォーマットは、5ビットの指数(符号付き)と11ビットの仮数(符号付き)です。このため、(内部のADCは16ビットで、計算には32ビットのワードが使われますが)出力の分解能は10ビットに制限されます。

Note 6: データ変換はラウンドロビン方式で行われます。全ての入力信号が標準100msの待ち時間で連続的に変換されます。

Note 7: $I_{OUT_CAL_GAIN} = 1.0\text{m}\Omega$ および $MFR_{I_{OUT_CAL_GAIN_TC}} = 0.0$ 。READ_IOUTから読み出された値(単位はアンペア)

Note 8: デバイスはPWMをディセーブルしてテストされる。アプリケーションでの評価により能力を実証。TUE (%) = ADCの利得誤差 (%) + 100 • [ゼロコード・オフセット + ADCの直線性誤差] / 実測値。

Note 9: 全ての V_{OUT} コマンドは、ADCを使用して出力のオートゼロを行い、示されている精度を達成すると仮定している。LTC3880は V_{OUT} を指定された値にサーボ制御する帰還ループでテストされる。

Note 10: 最大 V_{OUT} 電圧は5.5V。

Note 11: 最大 V_{IN} 電圧は28V。

Note 12: $V_{IN} < 6\text{V}$ のとき、INTV_{CC}を V_{IN} に接続する必要がある。

Note 13: EEPROMの耐久性とデータ保持時間は、設計、特性評価および統計的プロセス制御との相関によって保証されている。最小データ保持時間の仕様は、デバイスのEEPROMが最小耐久性の仕様より少ない回数サイクルされているデバイスに適用される。RESTORE_USER_ALLコマンド(NVM読み出し)は、全動作接合部温度範囲にわたって有効である。

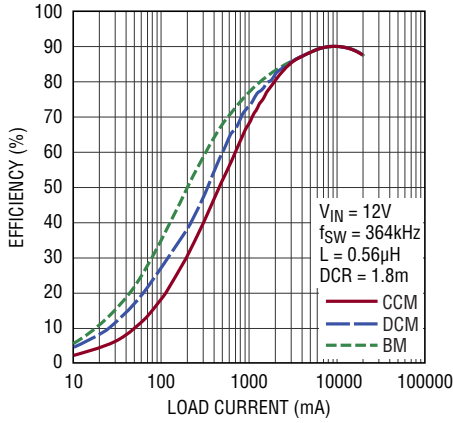
Note 14: LTC3880-1の消費電流(I_Q)は V_{IN} の I_Q とEXTV_{CC}の I_Q の和に等しい。

Note 15: 0V ~ 5.5Vの同相電圧(V_{OUT})で保証されている。

LTC3880/LTC3880-1

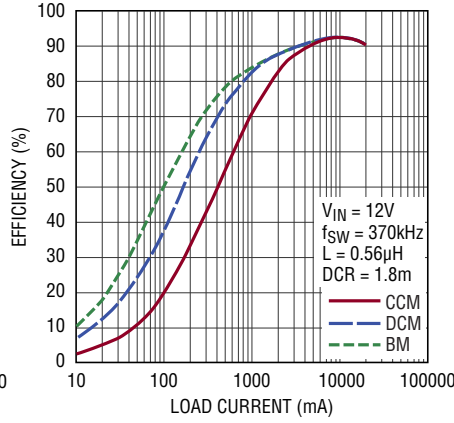
標準的性能特性

効率と負荷電流、
 $V_{OUT} = 1.8V$ (LTC3880)



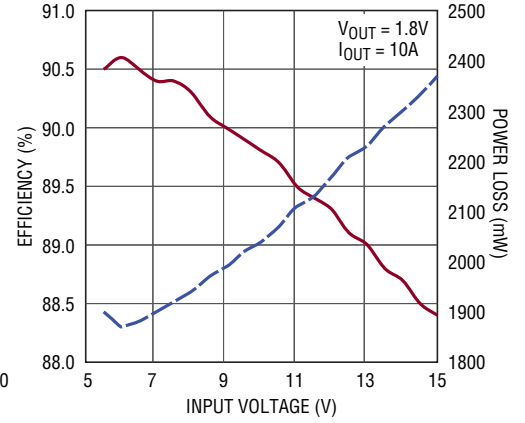
3880 G01

効率と負荷電流、
 $V_{OUT} = 3.3V$ (LTC3880)



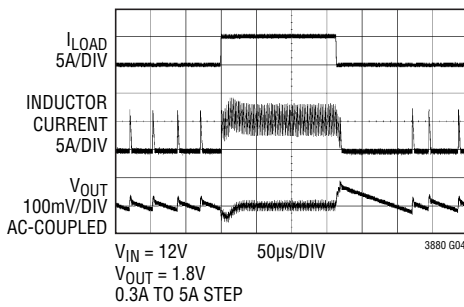
3880 G02

効率および電力損失と入力電圧
(LTC3880)



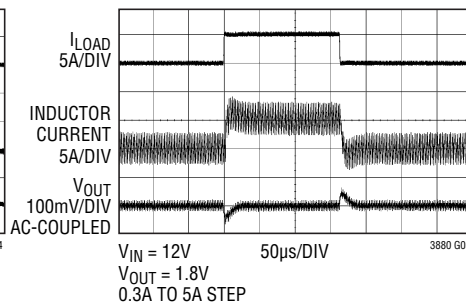
3880 G03

負荷ステップ
(Burst Mode動作)



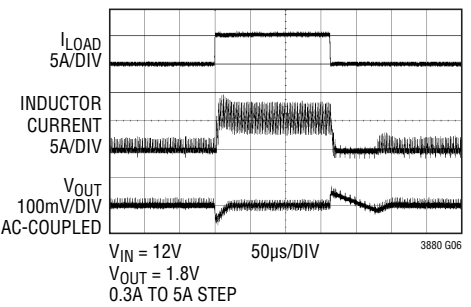
3880 G04

負荷ステップ
(強制連続モード)



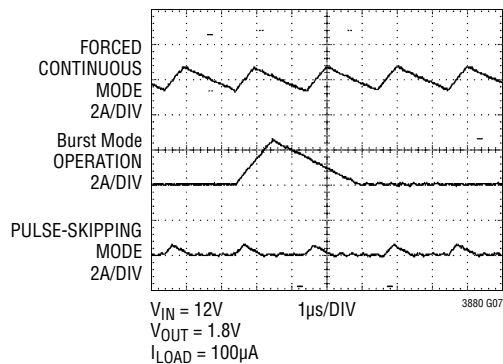
3880 G05

負荷ステップ
(パルス・スキップ・モード)



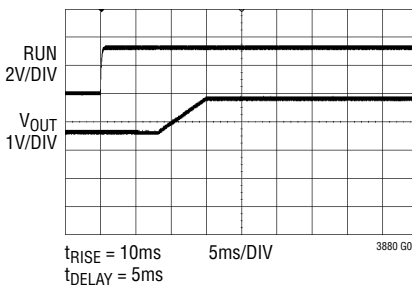
3880 G06

軽負荷時のインダクタ電流



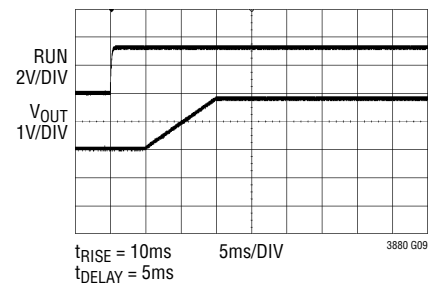
3880 G07

プリバイアスされてる負荷での起動



3880 G08

ソフトスタートのランプ

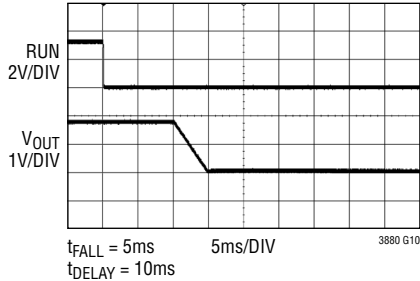


3880 G09

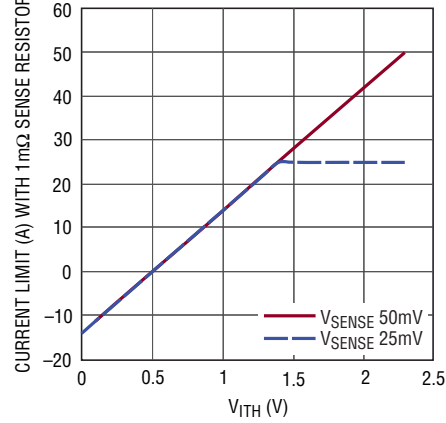
3880fd

標準的性能特性

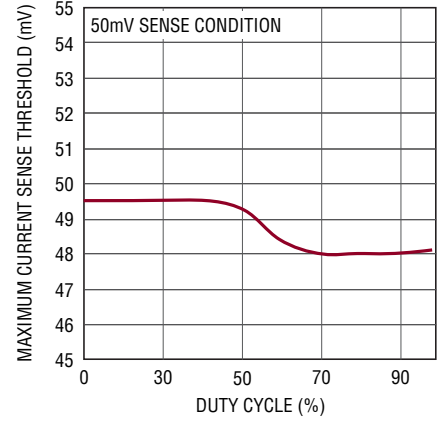
ソフトオフのランプ



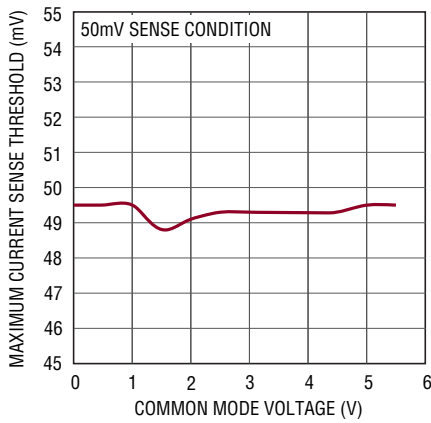
電流検出スレッシュホールドと I_{TH} の電圧 (低い範囲)



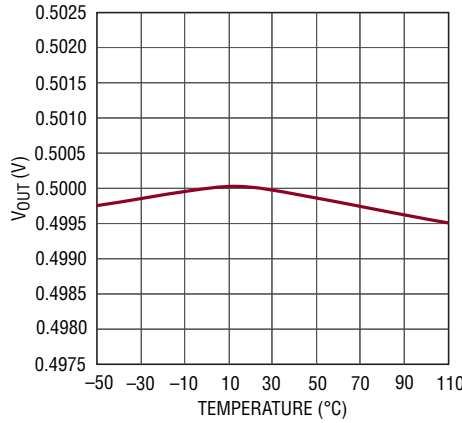
最大電流検出スレッシュホールドと デューティ・サイクル、 $V_{OUT} = 0V$



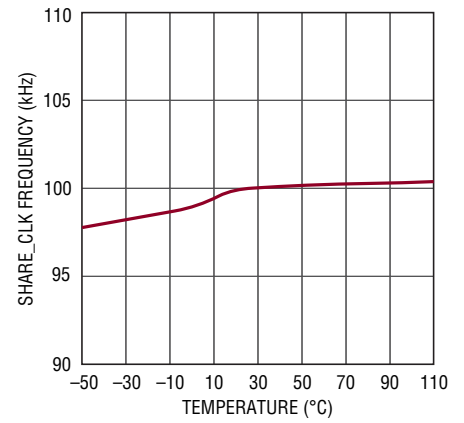
最大電流検出スレッシュホールドと 同相電圧



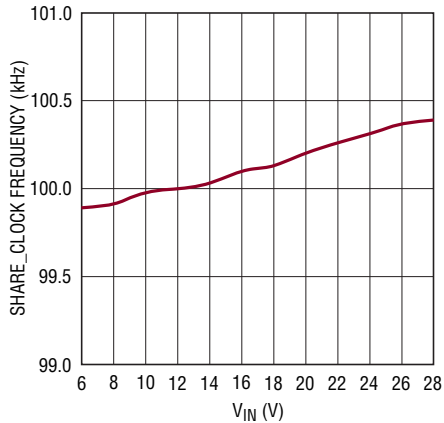
安定化された出力と温度



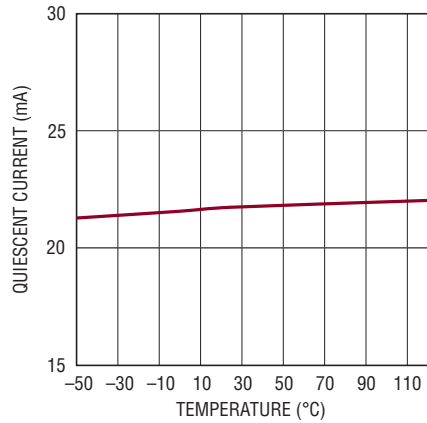
SHARE_CLK の周波数と温度



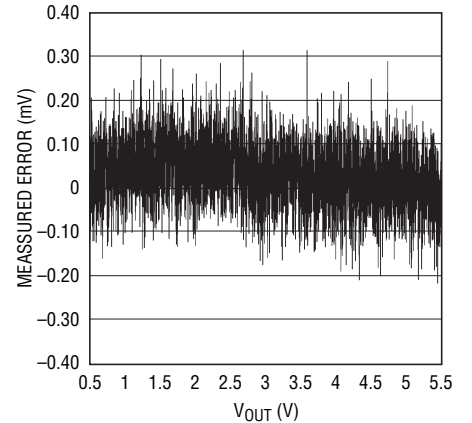
SHARE_CLK の周波数と V_{IN}



消費電流と温度

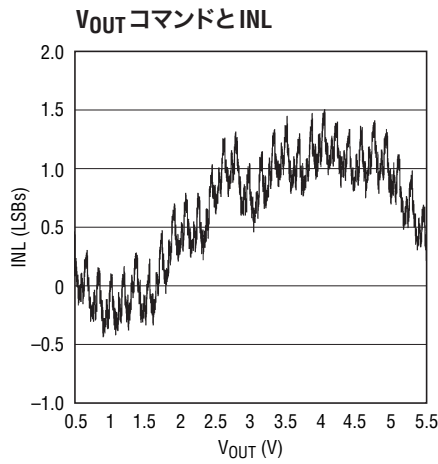


V_{OUT} の測定誤差と V_{OUT}

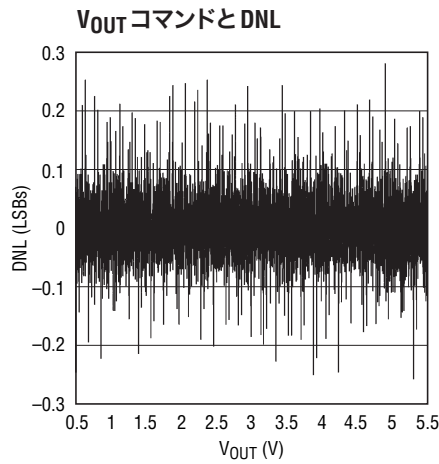


LTC3880/LTC3880-1

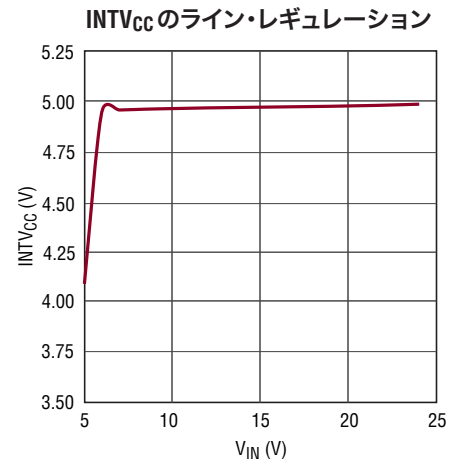
標準的性能特性



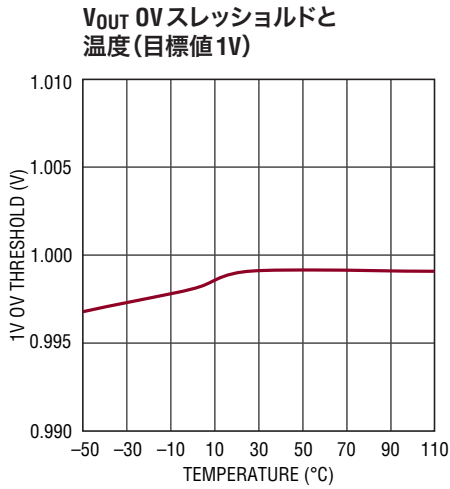
3880 G19



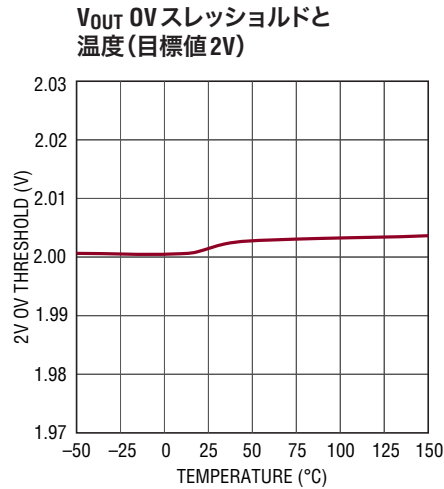
3880 G20



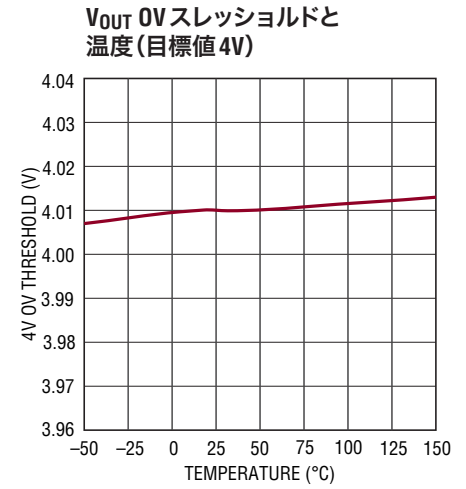
3880 G21



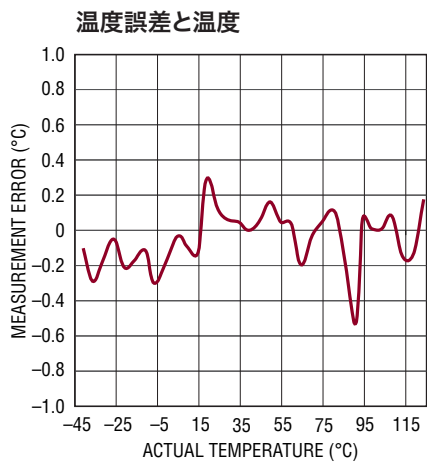
3880 G22



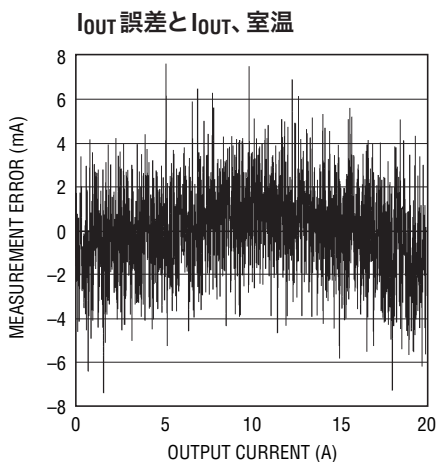
3880 G23



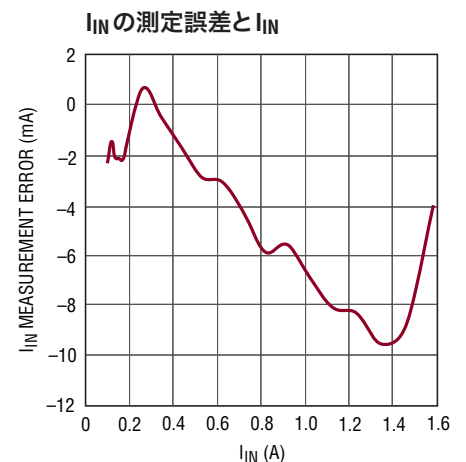
3880 G24



3880 G25



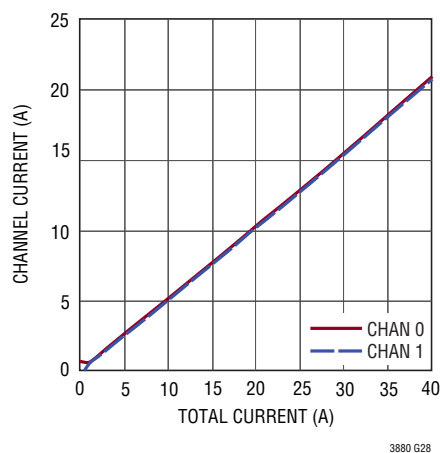
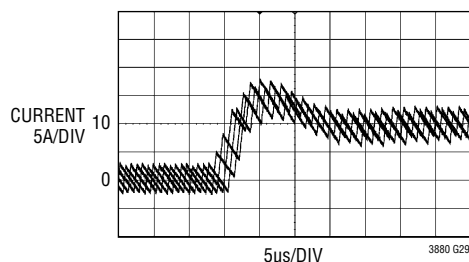
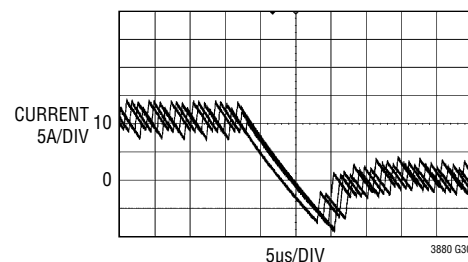
3880 G26



3880 G27

3880fd

標準的性能特性

2フェーズ・システムの
DC出力電流整合 (LTC3880)4フェーズ・システムの
負荷過渡変動時の動的電流分担4フェーズ・システムの
負荷過渡変動時の動的電流分担

ピン機能

V_{SENSE0+} (ピン1): チャンネル0の正電圧検出入力。

V_{SENSE0-} (ピン2): チャンネル0の負電圧検出入力。

I_{TH0}/I_{TH1} (ピン5/ピン26): 電流制御スレッシュホールドおよびエラーアンプの補償ノード。対応する各チャンネルの電流コンパレータのトリップ・スレッシュホールドは、そのI_{TH}の電圧に応じて増加します。

I_{SENSE0+}/I_{SENSE1+} (ピン6/ピン3): 電流検出コンパレータの入力。電流コンパレータへの(+)入力は通常はDCR検出ネットワークまたは電流センス抵抗に接続します。

I_{SENSE0-}/I_{SENSE1-} (ピン7/ピン4): 電流検出コンパレータの入力。(−)入力は電流検出素子の下側に接続します。

SYNC (ピン8): 外部クロック同期入力とオープン・ドレインの出力ピン。外部クロックがこのピンに与えられると、スイッチング周波数は外部クロックに同期します。クロック・マスタ・モードがイネーブルされると、このピンはスイッチング周波数で“L”になり、グランドへの500nsのパルスを生成します。LTC3880がマスタであれば、3.3Vへのプルアップ抵抗がアプリケーションに必要です。

SCL (ピン9): シリアル・バス・クロック入力。オープン・ドレインの出力で、クロック・ストレッチがイネーブルされていると出力を“L”にホールドすることができます。3.3Vへのプルアップ抵抗がアプリケーションに必要です。

SDA (ピン10): シリアル・バス・データの入力および出力。3.3Vへのプルアップ抵抗がアプリケーションに必要です。

ALERT (ピン11): オープン・ドレインのデジタル出力。SMBALERT信号をこのピンに接続します。3.3Vへのプルアップ抵抗がアプリケーションに必要です。

GPIO0/GPIO1 (ピン12/ピン13): プログラム可能なデジタル汎用入力/出力。オープン・ドレインの出力。3.3Vへのプルアップ抵抗がアプリケーションに必要です。

RUN0/RUN1 (ピン14/ピン15): 実行イネーブル入力。これらのピンをロジック“H”にすると、コントローラをイネーブルします。LTC3880がリセットを完了するまで、オープン・ドレイン出力がこのピンを“L”にホールドします。3.3Vへのプルアップ抵抗がアプリケーションに必要です。

ASEL (ピン16): シリアル・バス・アドレス設定入力。シリアル・バス・インタフェース・アドレスの4LSBを選択するため、デバイスのV_{DD25}、ASELおよびSGNDの間に±1%抵抗分割器を接続します。同じボードに複数のLTC3880が存在するとき、ユーザが確実に各デバイスを独立にプログラムできるように、ASELに抵抗分割器を接続することを推奨します。このピンをオープンのままにすると、デバイスはNVMでプログラムされている値を使います。ピンがオープンときは容量を最小にして、ピンの状態が正確に検出されるようにします。

ピン機能

FREQ_CFG (ピン17) : 周波数または位相の設定/選択ピン。スイッチング周波数または位相を選択するため、デバイスの V_{DD25} 、 $FREQ_CFG$ および $SGND$ の間に $\pm 1\%$ 抵抗分割器を接続します。このピンをオープンのままにすると、デバイスは NVM でプログラムされている値を使います。ピンがオープンときは容量を最小にして、ピンの状態が正確に検出されるようにします。

$V_{OUT0_CFG}/V_{OUT1_CFG}$ (ピン18/ピン19) : 出力電圧選択ピン。出力電圧を選択するため、デバイスの V_{DD25} 、 V_{OUTn_CFG} および $SGND$ の間に $\pm 1\%$ 抵抗分割器を接続します。この電圧は V_{TRIMn_CFG} で調整することができます。このピンをオープンのままにすると、デバイスは NVM でプログラムされている値を使います。ピンがオープンときは容量を最小にして、ピンの状態が正確に検出されるようにします。

$V_{TRIM0_CFG}/V_{TRIM1_CFG}$ (ピン20/ピン21) : 電圧トリム選択ピン。出力電圧の設定ポイントを調整するため、デバイスの V_{DD25} 、 V_{TRIMn_CFG} および $SGND$ の間に $\pm 1\%$ 抵抗分割器を接続します。 V_{OUTn_CFG} の設定と組み合わせた V_{TRIMn_CFG} の設定により、電圧の設定ポイントが設定されます。このピンをオープンのままにすると、デバイスは V_{OUTn_CFG} の設定を修正しないか、または NVM を使います。ピンがオープンときは容量を最小にして、ピンの状態が正確に検出されるようにします。

V_{DD25} (ピン22) : 内部で発生させた 2.5V 電源の出力ピン。このピンは低 ESR の $1\mu F$ コンデンサを使って $SGND$ にバイパスします。設定ピンに必要な $\pm 1\%$ 抵抗の外に、このピンに外部負荷を接続しないで下さい。

WP (ピン23) : アクティブ“H”の書き込み保護ピン。内部 $10\mu A$ 電流源がこのピンを V_{DD33} にプルアップします。WP が“H”だと、 $PMBus$ 書き込みが制限されます。

SHARE_CLK (ピン24) : 共有クロック、双方向オープン・ドレイン・クロック共有ピン。公称 $100kHz$ 。複数の LTC3880 の間のタイミングを同期させるのに使います。全ての $SHARE_CLK$ ピンを一緒に接続します。全ての LTC3880 は最も速いクロックに同期します。 $3.3V$ へのプルアップ抵抗が必要です。

V_{DD33} (ピン25) : 内部で発生させた $3.3V$ 電源の出力ピン。このピンは低 ESR の $1\mu F$ コンデンサを使って $SGND$ にバイパスします。 \overline{GPIO}_n 、 $SCLK$ 、 $SYNC$ に必要な、さらに RUN_n 、 \overline{ALERT} 、 SDA 、 SCL に必要な可能性のあるプルアップ抵抗以外は、このピンに外部負荷を接続しないでください。

V_{SENSE1} (ピン27) : チャンネル 1 の電圧検出入力。この入力電圧は $SGND$ ピンを基準にしています。

$INTV_{CC}$ (ピン33) LTC3880 : 内部レギュレータの $5V$ 出力。制御回路はこの電圧から電力供給を受けます。最小 $4.7\mu F$ の低 ESR タンタル・コンデンサまたはセラミック・コンデンサを使って、このピンを $PGND$ にデカップリングします。

$EXTV_{CC}$ (ピン33) LTC3880-1 : 外部レギュレータの $5V$ 入力。制御回路はこの電圧から電力供給を受けます。最小 $4.7\mu F$ の低 ESR タンタル・コンデンサまたはセラミック・コンデンサを使って、このピンを $PGND$ にデカップリングします。

$PGND$ (ピン34) : パワー・グランド・ピン。このピンを、ボトム N チャンネル MOSFET のソース、 C_{VCC} の (-) 端子、および C_{IN} の (-) 端子へ接続します。

V_{IN} (ピン35) : 主入力電源。このピンはコンデンサ ($0.1\mu F \sim 1\mu F$) を使って $PGND$ にデカップリングします。主入力電源が $5V$ であるアプリケーションの場合、 V_{IN} ピンと $INTV_{CC}$ ピンを接続します。

$BG0/BG1$ (ピン36/ピン32) : ボトム・ゲート・ドライバ出力。これらのピンはボトム N チャンネル MOSFET のゲートを $PGND$ と $INTV_{CC}$ の間でドライブします。

$BOOST0/BOOST1$ (ピン37/ピン31) : 昇圧されたフローティング・ドライバ電源。ブートストラップ・コンデンサの (+) 端子をこれらのピンに接続します。これらのピンは、 $INTV_{CC}$ よりダイオードの電圧降下分だけ低い電圧から $V_{IN} + INTV_{CC}$ まで振幅します。

$TG0/TG1$ (ピン38/ピン30) : トップ・ゲート・ドライバ出力。これらは、スイッチ・ノード電圧に $INTV_{CC}$ を重ねた電圧に等しい電圧振幅を持つフローティング・ドライバの出力です。

$SW0/SW1$ (ピン39/ピン29) : インダクタに接続するスイッチ・ノード。これらのピンの電圧振幅は (外部) ショットキー・ダイオードの電圧降下分だけグランドより低い電圧から V_{IN} までです。

$TSNS0/TSNS1$ (ピン40/ピン28) : チャンネル 0、チャンネル 1 の外部ダイオードの温度検出。離れたところの温度を検出するため、ダイオード接続した PNP トランジスタのアノードに接続し、カソードは $SGND$ にスター接続します。外部温度検出素子が設置されない場合、ピンを接地し、 UT_FAULT_LIMIT を $-275^\circ C$ に設定し、 $IOUT_CAL_GAIN$ を 0 に設定し、 $UT_FAULT_RESPONSE$ は「無視する」に設定します。

$SGND$ (露出パッド・ピン41) : 信号グランド。全ての小信号部品と補償用部品はこのグランドに接続し、このグランド自身は $PGND$ に一点接続します。

ブロック図 (2つのチャンネルの片方(CH0)が示されている)

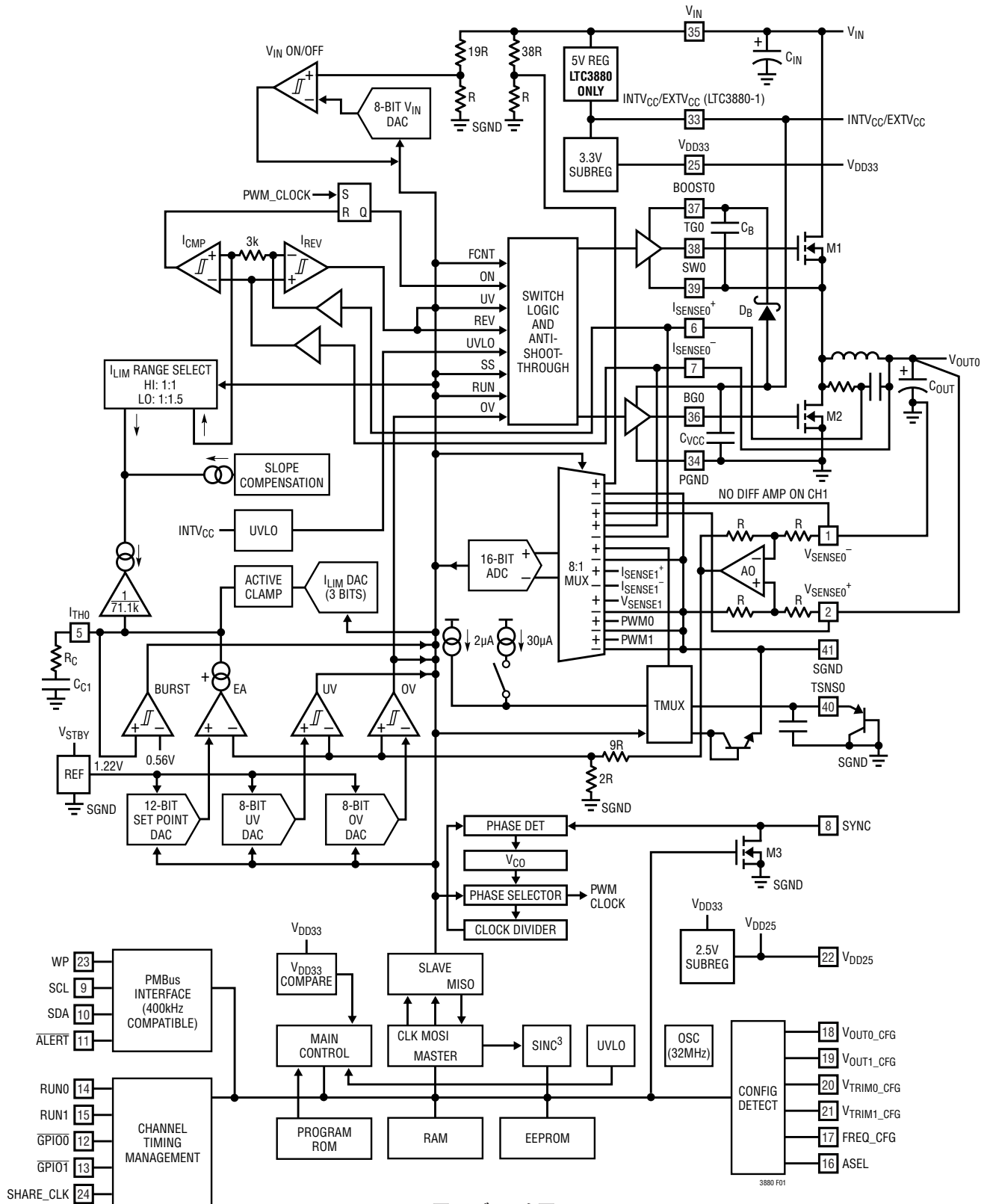


図1. ブロック図

動作

概要

LTC3880は、デジタル・インタフェースを備えたDC/DC降圧アプリケーション向けの、2チャンネル/2フェーズ、固定周波数、アナログ電流モード・コントローラです。LTC3880のデジタル・インタフェースは、最大400kHzのバス速度をサポートするPMBusに適合しています。基本的な応用回路がこのデータシートの最初のページに示されています。

主な特長は、以下のとおりです。

- プログラム可能な出力電圧
- プログラム可能な入力電圧コンパレータ
- プログラム可能な電流制限
- プログラム可能なスイッチング周波数
- プログラム可能なOVおよびUVコンパレータ
- プログラム可能なオンとオフの遅延時間
- プログラム可能な出力の立ち上がり/立ち下がり時間
- 同期Polyphase動作のためのフェーズロックループ(2、3、4または6フェーズ)
- 入力と出力の電圧/電流、温度およびデューティ・サイクルのテレメトリ
- 完全差動の負荷検出
- 内蔵ゲート・ドライバ
- 不揮発性構成設定メモリ
- 主要動作パラメータのためのオプションの外部設定抵抗
- 複数のコントローラ間の同期のためのオプションの時間ベース相互接続
- フォルト・ログ
- 内部設定保護のWPピン
- ユーザ製造時設定後のスタンドアロン動作
- PMBus、400kHz準拠のインタフェース

PMBusインタフェースにより、システム動作の間、重要なパワーマネージメントのデータへアクセスすることができます。これらのデータには以下のものが含まれます。

- 内部コントローラ温度
- 外部システムの温度とオプションのダイオード検出素子

- 平均出力電流
- 平均PWMデューティ・サイクル
- 平均出力電圧
- 平均入力電圧
- 平均入力電流
- 設定可能な、ラッチされる、およびラッチされない個々のフォルトおよび警報の状態

個々のチャンネルは、(たとえばPAGE 0やPAGE 1の)PAGEコマンドを使って、PMBusを介してアクセスされます。

フォルト通知およびシャットダウン動作は完全に設定可能です。2つの個別のGPIO出力が備わっており(GPIO0、GPIO1)、両方とも個別にマスクすることができます。ALERTの専用ピンが備わっています。シャットダウン動作により、全てのフォルトを個々にマスクすることができ、ラッチされない(ヒックアップ)モードまたはラッチされるモードのどちらでも動作可能です。

個々の状態コマンドはシリアルバスを介してフォルトの通知をイネーブルし、特定のフォルト・イベントを識別します。フォルトまたは警報の検出には以下のものが含まれます。

- 出力の低電圧/過電圧
- 入力の低電圧/過電圧
- 入力と出力の過電流
- 内部の過温度
- 外部の過温度
- 通信、メモリまたはロジック(CML)のフォルト

メイン制御ループ

LTC3880は、ユーザが定めた様々な相対位相で動作する2つのチャンネルを備えた、固定周波数、電流モードの降圧コントローラです。通常動作時は、各チャンネルのクロックがRSラッチをセットすると該当するトップMOSFETがオンし、メイン電流コンパレータ(ICMP)がRSラッチをリセットするとオフします。ICMPがRSラッチをリセットするピーク・インダクタ電流は、ITHピンの電圧によって制御されます。この電圧は各エラーアンプEAの出力です。EAの負端子は、VSENSE電圧を5.5(範囲=1の場合は2.75)で割った値に等しくなります。EAの正端子は、0V~1.024Vの範囲の値の12ビットDACの出力に

動作

接続されています。出力電圧は(EAのフィードバックを通して)DAC出力の5.5倍(範囲=1の場合は2.75倍)に安定化されます。DACの値はデバイスによって計算され、ユーザが望む出力電圧を生成します。出力電圧は、ユーザによって、表12と表13で詳述されている抵抗設定ピンを使うか、またはV_{OUT}コマンド(NVMからか、またはPMBusコマンドによるか、どちらか)によってプログラムされます。詳細については、データシートの「PMBusコマンド」のセクションまたはPMBusの仕様を参照してください。出力電圧は、ユーザが、PMBusのV_{OUT_COMMAND}を使っていつでも変更することができます。このコマンドには一般に10ms未満の待ち時間があります。「PMBus Power System Management Protocol Specification」を参照し、LTC3880のプログラムの方法を理解することをお勧めします。この仕様は、<http://www.pmbus.org/specs.html>で閲覧することができます。

基本動作の説明を続けると、電流モード・コントローラは、ピーク電流に達するとトップゲートをオフします。負荷電流が増加すると、V_{SENSE}がDACリファレンスに対してわずかに垂下します。これにより、平均インダクタ電流が新しい負荷電流に釣り合うまでI_{TH}の電圧が上昇します。トップMOSFETがオフした後、ボトムMOSFETがオンします。連続導通モードでは、ボトムMOSFETはスイッチング・サイクルの終わりまでオンしたまま留まります。

EEPROM

LTC3880は、構成設定とフォルト・ログの情報を格納するEEPROM(不揮発性メモリ)を内蔵しています。EEPROMの保持時間および大量書き込み動作時間は「電気的特性」および「絶対最大定格」のセクションで規定されています。T_J = 85°Cより上での書き込み動作は可能ですが、「電気的特性」は保証されておらず、EEPROMはグレードが低下します。85°C ~ 125°Cでの読み出し動作はEEPROMのグレードを低下させません。85°Cより上でEEPROMに書き込むと、保持特性の劣化を生じます。高い温度で生じることのあるシステムの問題のデバッグに役立つフォルト・ログ機能は、EEPROMのフォルト・ログのロケーションにだけ書き込みます。これらのレジスタへの書き込みが85°Cより上で時々行われると、フォルト・ログのデータ保持特性がわずかに劣化しますが、この機能の有用性は減少しません。

ダイ温度が85°Cを超えているときはEEPROMへの書き込みを行わないことを推奨します。ダイ温度が130°Cを超えると、LTC3880は、ダイ温度が125°Cより下になるまで書き込みをデイスエーブします(コントローラは、ダイ温度が10°Cのヒステリシスをもつ160°Cの内部過温度フォルト・リミットを超えるときもデイスエーブします)。

125°Cを超える温度でのEEPROMの保持特性の劣化は、次式を使って無次元の加速係数を計算することにより、近似することができます。

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

ここで、

AF = 加速係数

E_a = 活性化エネルギー = 1.4eV

K = 8.617 • 10⁻⁵ eV/°K

T_{USE} = 125°Cの規定接合部温度

T_{STRESS} = 実際の接合部温度(°C)

例: 135°Cの接合部温度で10時間動作するときの保持特性への影響を計算します。

T_{STRESS} = 130°C

T_{USE} = 125°C

AF = e^[(1.4/8.617 • 10⁻⁵) • (1/398 - 1/403)] = 1.66

125°Cでの等価動作時間 = 16.6時間。

したがって、EEPROMの全保持時間は、130°Cの接合部温度で10時間の動作の結果として16.6時間だけ劣化しました。EEPROMの125°Cの最大接合部温度での87,600時間の定格全保持時間に比べると、オーバーストレスの影響は無視できます。

パワーアップと初期化

LTC3880はスタンドアロン電源シーケンスおよび制御されたターンオンおよびターンオフ動作を行うように設計されています。これは単一入力電源(4.5V ~ 24V)で動作し、3つの内蔵リニア・レギュレータが内部で2.5V、3.3Vおよび5Vを生成します。V_{IN}が6Vより低い場合、INTV_{CC}ピンとV_{IN}ピンを相互

動作

に接続する必要があります。コントローラの構成設定は、内部スレッシュホールドに基づくUVLOによって初期化されます。ここで、 V_{IN} は約4Vでなければならず、5V、3.3Vおよび2.5Vのリニア・レギュレータはレギュレーション値の約20%以内でなければなりません。LTC3880-1には内部5Vリニア・レギュレータはありません。EXTV_{CC}ピンは外部レギュレータによってドライブされ、回路の効率を改善し、LTC3880の電力を最小に抑えます。EXTV_{CC}ピンは内部UVLOを超える前に約4Vを超える必要があります。アプリケーションの電力を最小にするため、スイッチング・レギュレータからEXTV_{CC}ピンに給電することができます。

初期化の間、外部設定抵抗が識別され、NVMの内容がコントローラのコマンドに読み出されます。GPIOnピンは、高インピーダンス(Hi-Z)モードになります。TGn、BGnおよびRUNnの各ピンは“L”に保持されます。LTC3880は表12～表15の内容を使って、抵抗によって定められたパラメータを決定します。詳細については「抵抗の設定」のセクションを参照してください。抵抗設定ピンは、コントローラの予め設定された値のいくつかを制御するだけです。残りの値は、製造時に、またはユーザによってNVMでプログラムされます。

設定抵抗が挿入されていないと、または「RCONFIGを無視」ビット(MFR_CONFIG_ALL_LTC3880設定コマンドのビット6)がアサートされると、LTC3880はNVMの内容だけを使ってDC/DC特性を決めます。パワーアップまたはリセット時に読み出されるASELの値は、ピンがオープンしていない限り常に尊重されます。ASELは、NVMからのMSBと、検出されたスレッシュホールドからのLSBを使います。詳細については「アプリケーション情報」のセクションを参照してください。

デバイスの初期化が終わった後、別のコンパレータが V_{IN} をモニタします。出力電源シーケンシングが開始可能になるには、その前にVIN_ONスレッシュホールドを超える必要があります。 V_{IN} が最初に印加された後、TON_DELAYタイマを初期化して始動するのに、デバイスは一般に130msを必要とします。状態は約100ms後に利用可能です。

ソフトスタート

デバイスはソフトスタート前に実行状態に入る必要があります。実行ピンは、デバイスが初期化され、 V_{IN} がVIN_ONスレッシュホールドを超えた後、LTC3880によってリリースされます。アプリケーションに複数のLTC3880が使われる場合、全てのデバイスが

初期化され、 V_{IN} が全てのデバイスのVIN_ONスレッシュホールドを超えるまで、全てのデバイスはそれぞれの実行ピンを“L”にホールドします。SHARE_CLKピンは、この信号に接続されている全てのデバイスが同じ時間ベースを確実に使うようにします。SHARE_CLKピンは、 V_{IN} が与えられた後、デバイスが初期化されるまで“L”に保持されます。LTC3880は、SHARE_CLKが“L”ならば(MFR_CHAN_CONFIG_LTC3880のビット2を1に設定)、オフするように(またはオフのまま留まるように)設定することができます。これにより、ユーザは、ボードの制約のためRUNピンを相互に接続できない場合でさえ、多数のLTCのICの間で確実に同期させることができます。一般に、ユーザがデバイス間の同期が気になりな場合、それぞれの全てのRUNピンを相互に接続し、それぞれの全てのSHARE_CLKピンを相互に接続するのが最善です。これにより、確実に、全てのデバイスが同時にシーケンシングを開始し、同じ時間ベースを使います。

RUNピンがリリースされた後、一定の出力電圧レギュレーションの状態になる前に、LTC3880は単調な初期ランプ、つまり「ソフトスタート」を行います。デジタル的に目標電圧を0Vからコマンドによって指定された電圧設定ポイントまでランプしながら、アクティブに負荷電圧の安定化を行うことにより、ソフトスタートが実行されます。LTC3880をコマンドによってオンすると、(パワーアップおよび初期化後)コントローラはユーザが指定したターンオン遅延(TON_DELAY)だけ待ってから、この出力電圧のランプを開始します。スタートアップの電圧ランプに関連した突入電流を最小に抑えるため、電圧ランプの立ち上がり時間は、TON_RISEコマンドを使ってプログラムすることができます。ソフトスタート機能は、TON_RISEの値を0.25ms未満の任意の値に設定することによりディスエーブルされます。LTC3880のPWMは、TON_RISE動作の間、常に不連続モードを使います。不連続モードでは、インダクタに逆電流が検出されるや否や、ボトムゲートがオフします。これにより、レギュレータは予めバイアスされている負荷に対して起動することが可能になります。TON_MAX_FAULT_LIMITに達すると、そうプログラムされていれば、デバイスは連続モードまたはバーストに移行します。TON_MAX_FAULT_LIMITがゼロに設定されていると、タイムリミットはなく、デバイスは、TON_RISEが完了し、 V_{OUT} がVOUT_UV_FAULT_LIMITを超えた後、望みの導通モードに移行し、IOUT_OCは存在しません。TON_MAX_FAULT_LIMITを0の値に設定することは推奨しません。説明されているこの起動シーケンス制御の方法は時間をベースにしています。

動作

シーケンシング

出力のオン/オフのシーケンシングのデフォルト・モードは、時間をベースにしています。RUNピンが“H”になるか、PMBusのコマンドによりオンするか、または V_{IN} が予めプログラムされた電圧より上に立ち上がるのに続いて、各出力はTON_DELAY時間だけ待った後イネーブルされます。オフのシーケンシングは同様の方法で行われます。確実に適切なシーケンシングを行うため、全てのデバイスのSHARE_CLKピンが相互に接続され、RUNピンが相互に接続されていることを確認します。何らかの理由でRUNピンを相互に接続できない場合、MFR_CHAN_CONFIG_LTC3880のビット2を1にセットします。このビットにより、SHARE_CLKピンがクロッキングされるまでは、電源の出力がスタートできなくなります。RUNピンが“L”になると、LTC3880はMFR_RESTART_DELAYの間このピンを“L”にホールドします。最小MFR_RESTART_DELAYは、TOFF_DELAY + TOFF_FALL + 136msです。この遅延により、全ての電源レールの適切なシーケンシングが確実に行われます。LTC3880はこの遅延を内部で計算し、これより短い遅延は処理しません。ただし、コマンドによって指定されたもっと長いMFR_RESTART_DELAYがデバイスによって使用されます。許容される最大値は65.52秒です。

電圧をベースにしたシーケンシング

\overline{GPIO}_n ピンは、各出力がUVスレッシュホールドを超えると、アサートすることができます。 \overline{GPIO} ピンを、1つの出力から、シーケンスの次の出力のRUNピンにフィードすることは可能です。電圧ベースのシーケンシングに \overline{GPIO}_n ピンを使用するには、MFR_GPIO_PROPAGATEコマンドのビット12を1にセットします。ビット12はVOUT_UVUF(PGOOD)であり、これはフィ

ルタされていないVOUT_UVコンパレータです。コンパレータがUVスレッシュホールドを通過してから \overline{GPIO} ピンがリリースされるまでの時間遅延はほとんどないので、フィルタされないVOUT_UVフォルト・リミットを使うことを推奨します。これは複数のLTC3880にわたって実装することができます。VOUT_UVUF(PGOOD)には250 μ sのフィルタがあります。VOUT電圧がUVスレッシュホールドの周りで長い時間バウンスすると、 \overline{GPIO} 出力が2回以上トグルする可能性があります。この問題を最小に抑えるには、TON_RISE時間を100ms未満に設定します。電源ストリングにフォルトが検出された場合、フォルトを生じた電源レールおよびその下流の電源レールだけがオフします。フォルトを生じた電源レールより前のデバイスのストリングの電源レールは、コマンドによってオフされない限り、オンしたまま留まります。

シャットダウン機能

LTC3880は2つのシャットダウン・モードをサポートします。最初のモードは、ユーザ定義ターンオフ遅延(TOFF_DELAY)およびランプダウン・レート(TOFF_FALL)を伴う、閉ループ・シャットダウン応答です。コントローラはTOFF_FALLの動作モードを維持します。不連続導通モードでは、コントローラは負荷からの電流を流さないで、立ち下がり時間は出力容量と負荷電流によって決まります。

他のシャットダウン・モードは、フォルト状態、またはSHARE_CLKの喪失(MFR_CHAN_CONFIG_LTC3880のビット2が1にセットされている場合)、または V_{IN_OFF} スレッシュホールドより下への V_{IN} の低下、または外部からの \overline{GPIO} の“L”への引き下げ(MFR_GPIO_RESPONSEが禁止に設定されている場合)に対する応答として生じます。これらの状態では、負荷へのエネルギー伝達をできるだけ速く停止するため、電力段はディスエーブルされます。シャットダウン状態には、ソフトスタートまたはアクティブ・レギュレーション状態から、ユーザの介入を通して(RUN $_n$ のデアサートまたはPMBus OPERATIONコマンド)、または検出されたフォルト、または双方向 \overline{GPIO}_n ピンを介した外部フォルト、またはSHARE_CLKの喪失(MFR_CHAN_CONFIG_LTC3880のビット2が1にセットされている場合)、または V_{IN_OFF} スレッシュホールドより下への V_{IN} の低下に反応して、移行することができます。

ヒックアップ・モードでは、コントローラは、フォルトに対して応答してシャットダウンし、プログラム可能な遅延時間(MFR_RETRY_DELAY)の間非アクティブ状態に入ります。

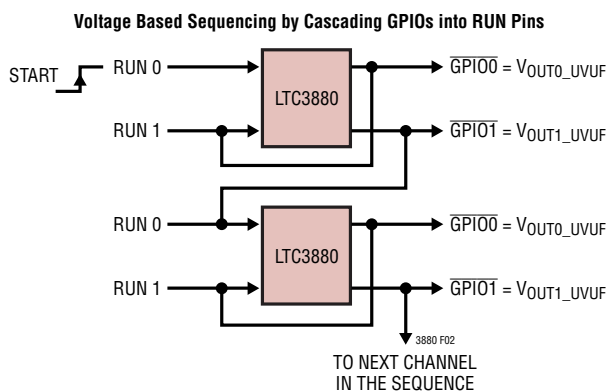


図2. イベント(電圧)をベースにしたシーケンシング

動作

この遅延により、(出力がディスエーブルされてシャットダウンを生じたフォルトが解消すると)自動リトライに関連したデューティ・サイクルが最小に抑えられます。リトライ遅延時間は、MFR_RETRY_DELAY コマンドまたは安定化された出力がプログラムされた値の12.5%より下まで減衰するのに必要な時間の長い方によって決まります。複数の出力が同じGPIOピンによって制御されると、全ての制御された出力の最長減衰時間によってリトライ遅延が決まります。出力の自然減衰時間が長すぎる場合、MFR_CHAN_CONFIG_LTC3880のビット0をアサートすることにより、MFR_RETRY_DELAY コマンドの電圧要件を取り除くことができます。代わりに、コントローラがフォルトに続いてラッチオフされたまま留まり、クリアするには、RUN_nをトグルしたり、デバイスをオフしてからオンするコマンドを出すなどのユーザによる介入が必要になるように、コントローラを設定することができます。

軽負荷電流動作

LTC3880は、高効率Burst Mode動作、不連続導通モード、強制連続導通モードの3つの動作モードを備えています。モードは、MFR_PWM_MODE_LTC3880 コマンドを使って選択します(不連続導通モードは常にスタートアップ時のモードであり、強制連続モードは既定の動作モードです)。

Burst Mode動作では、I_{TH}ピンの電圧が低い値を示しているも、インダクタのピーク電流は最大検出電圧の約1/3に設定されます。平均インダクタ電流が負荷電流より高いと、エラーアンプEAはI_{TH}ピンの電圧を下げます。I_{TH}電圧が約0.5Vより低くなると、内部のBurst Mode動作がアサートし、両方の外部MOSFETをオフします。Burst Mode動作では、負荷電流は出力コンデンサから供給されます。出力電圧が低下するにつれ、EAの出力が上昇し始めます。出力電圧が十分低下すると、Burst Mode動作がデアサートされ、コントローラは次のPWMサイクルで外部トップMOSFETをオンして通常動作を再開します。

コントローラがBurst Mode動作でイネーブルされていると、インダクタ電流の反転は許されません。インダクタ電流がゼロに達する直前に、反転電流コンパレータ(I_{REV})が外部ボトムゲートMOSFETをオフし、インダクタ電流が反転して負になるのを防ぎます。このように、コントローラは不連続で動作することができます。強制連続動作では、インダクタ電流は軽負荷または大きな過渡状態で反転することが許されます。ピーク・インダクタ電流はI_{TH}ピンの電圧によってだけ決まります。このモードでは、軽負荷での効率がBurst Mode動作の場合よりも

低くなります。ただし、連続モードは出力リップルが小さく、オーディオ回路への干渉が少なくなります。強制連続導通モードでは、逆インダクタ電流が生じることがあり、入力電源が上昇することがあります。VIN_OV_FAULT_LIMITはこれを検出して、害を与えるチャネルをオフすることができます。ただし、このフォルトはADCの読み出しをベースにしており、検出するのに最大100msかかることがあります。入力電源の上昇が懸念される場合、デバイスを不連続導通またはBurst Mode動作に保ちます。

デバイスがBurst Mode動作に設定されていると、インダクタの平均電流が増加するにつれ、コントローラは自動的に動作をBurst Mode動作から不連続モードへ、さらに連続モードへと変更します。

スイッチング周波数と位相

LTC3880コントローラのスイッチング周波数は、内部クロック・リファレンスによって、または外部の時間ベースによって設定することができます。LTC3880は、NVM内のプログラムされた値により、またはPMBusのコマンドにより、またはFREQ_CFGピンのR_{BOTTOM}抵抗を0Ωに設定し、R_{TOP}をオープンに設定することにより、外部クロック入力に設定することができます。PMBusのコマンドFREQUENCY_SWITCHは外部クロックに設定されます。MFR_PWM_CONFIG_LTC3880コマンドは相対位相を定めます。RCONFIG入力を使うと、チャンネル0とチャンネル1の相対位相は、SYNCの立ち上がりエッジを基準にして0°および180°になります。マスタはスレーブに対して位相がシフトするように選択します。FREQUENCYとMFR_PWM_CONFIG_LTC3880のコマンドをLTC3880に書き込む前に、両方のRUNピンを“L”にするか、両方のチャンネルをコマンドによってオフする必要があります。PolyPhase電源レールの全デバイスの相対位相を最適に設定します。各電源レールの相対位相は360/nです。ここで、nはレール内の位相数です。

LTC3880がSYNCの発振器出力として設定される場合、スイッチング周波数のソースは、外部設定抵抗またはシリアルバスによるプログラミングによって選択することができます。FREQ_CFG設定抵抗ピンを使って、表14に示されているFREQUENCY_SWITCHとMFR_PWM_CONFIG_LTC3880の値を選択することができます。それ以外は、FREQUENCY_SWITCHとMFR_PWM_CONFIG_LTC3880のPMBusコマンドを使って、PWMスイッチング周波数とPWMチャンネルの位相関係を選択することができます。位相と周波数の関係は相互に独立しているため、アプリケーションで多数のオプション

動作

を使えます。FREQUENCY_SWITCH コマンドのプログラムされた値を使って LTC3880 が SYNC ピンをドライブするように設定されている場合、SYNC ピンは“L”が 500ns のパルスで望みのクロック・レートで“L”になります。SYNC の容量を最小にして、プルアップ抵抗とコンデンサ負荷の時定数がアプリケーションに対して確実に十分低くなるように、アプリケーションで注意する必要があります。さらに、フェーズロック・ループ (PLL) が備わっており、SYNC ピンに接続された外部クロック・ソースに内部発振器を同期させます。全ての位相関係は、SYNC の立ち下がりエッジと LTC3880 の TG 出力の立ち上がりエッジの関係です。PolyPhase アレイを実現するため、複数の LTC3880 を同期させることができます。

出力電圧検出

チャンネル 0 の差動アンプにより、 $V_{SENSE0n}$ ピンを使った負荷電圧のリモート差動検出が可能です。チャンネル 1 の検出ピン (V_{SENSE1}) は SGND を基準にしています。テレメトリ ADC は完全に差動で、それぞれ $V_{SENSE0n}$ ピンと $V_{SENSE1}/SGND$ ピンのところで、チャンネル 0 とチャンネル 1 の出力電圧を測定します。 V_{SENSE0} の内部アンプの空き高の制限により、最大許容差動検出電圧は 4.096V です。

電流検出

DCR による電流検出アプリケーションでは、コンデンサに直列な抵抗がインダクタ両端に接続されます。この構成では、図 3 に示されているように、抵抗はインダクタの FET 側に接続し、コンデンサはインダクタの負荷側に接続します。RC 時定数がインダクタの時定数 (L/DCR 、ここで、DCR はインダクタの直列抵抗) に釣り合うように RC の値を選択すると、その結果コンデンサ両端に現れる電圧 (V_{DCR}) はインダクタの直列抵抗両端の電圧に等しくなるので、インダクタを流れる電流を表します。RC の計算は室温のインダクタの DCR に基づいています。

RC 時定数は温度の関数として一定に保たれるようにします。これにより、温度に関係なく、回路の過渡応答が確実に同じになります。インダクタの DCR は温度係数が大きく、約 3900ppm/°C です。インダクタの温度係数は MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC レジスタに書き込む必要があります。外部温度はインダクタの近くで検出され、温度に対して基本的に一定の電流制限を維持するため、内部電流制限回路を修正するのに使われます。このアプリケーションでは、 I_{SENSEn}^+ ピンはコンデンサの FET 側に接続し、 I_{SENSEn}^- ピンはコンデンサの負荷側に接続します。したがって、入力から検出された電流は、式 V_{DCR}/DCR で与えられます。 V_{DCR} は LTC3880 のテ

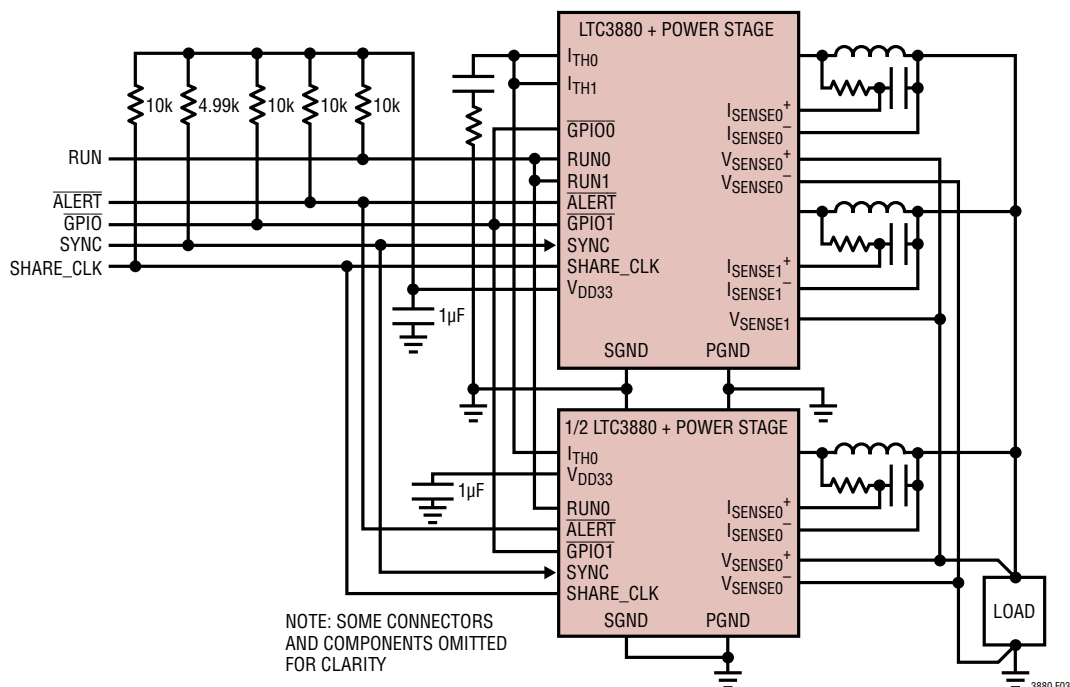


図 3.3 フェーズ動作の負荷分担接続

動作

レトリADCによってデジタル化されます。このADCは、入力範囲が $\pm 128\text{mV}$ 、ノイズフロアが $7\mu\text{V}_{\text{RMS}}$ 、ピーク・トゥ・ピーク・ノイズが約 $46.5\mu\text{V}$ です。LTC3880はIOUT_CAL_GAINコマンドに保存してあるDCRの値と、MFR_IOUT_CAL_GAIN_TCコマンドに保存してある温度係数を使って、インダクタ電流を計算します。その結果得られる電流値は、READ_IOUTコマンドによって返されます。

負荷分担

必要なピンをバス接続することにより、釣り合いのとれた負荷分担ソリューションを与えるため、複数のLTC3880をアレイに構成することができます。負荷分担に必要な接続を図3に示します。

周波数は、複数のLTC3880の中の1個でだけプログラムする必要があります。他のものは外部クロックにプログラムする必要があります。

外部/内部温度検出

外部温度は、離れたところに置かれたMMBT3906のようなダイオード接続されたPNPトランジスタを使って最も良く測定することができます。PNPトランジスタのエミッタはTSNS_nピンに接続し、ベースとコレクタはLTC3880のSGNDピンに(できればスター接続を使って)戻します。PNPのコレクタをボトムMOSFETのソースに接続することは可能です。これにより、ボードのレイアウトが最適化され、PNPをパワーFETの近くに配置できるようになることがあります。PNPのベースは信号グラウンドに接続する必要があります。最良のノイズ耐性を得るため、接続は差動で配線し、PNPに接続されたダイオードに並列に10nFのコンデンサを配置します。2つの異なる電流(公称 $2\mu\text{A}$ と $32\mu\text{A}$)がダイオードに与えられ、温度は ΔV_{BE} の測定値から計算されます。外部トランジスタの温度はテレメ

トリADCによってデジタル化され、その値はPMBus READ_TEMPERATURE_1(Chn)コマンドによって返されます。

READ_TEMPERATURE_2コマンドは、内蔵ダイオードを使ってLTC3880の接合部温度を返します。外部温度センサの勾配は、MFR_TEMP_1_GAINに保存された温度勾配係数を使って修正することができます。標準的PNPは1よりわずかに小さい温度勾配の調整を必要とします。このコマンドのMMBT3906の推奨値は、1.01の理想係数に基づいて、およそMFR_TEMP_1_GAIN = 0.991です。単純に理想係数の逆数をとって、MFR_TEMP_1_GAINを計算します。異なるメーカーや異なるロットでは、理想係数が異なることがあります。メーカーに問い合わせこの値を設定してください。

外部温度検出のオフセットは、MFR_TEMP_1_OFFSETによって調整することができます。このレジスタの0の値により、温度オフセットが -273.15°C に設定されます。

PNPをインダクタと直接接触させられない場合、温度の不整合に対応するため、勾配またはオフセットを増加させることができます。ユーザが勾配を調整しようとする場合、交点は絶対ゼロ(-273.15°C)なので、勾配の小さな調整により、見かけの測定温度が大きく変化することがあります。温度項の勾配を人為的に増加させる別の方法として、MFR_IOUT_CAL_GAIN_TCを増加させます。これは、室温を基準にして温度勾配を修正します。

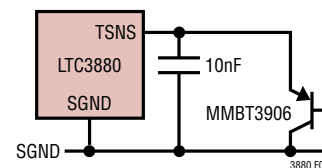


図4. 温度検出回路

動作

RCONFIG (レジスタ設定) ピン

主要な動作パラメータを選択するために、 V_{DD25} とSGNDの間の1%抵抗分割器を利用する6つの入力ピンがあります。これらのピンは、ASEL、FREQ_CFG、 V_{OUT0_CFG} 、 V_{OUT1_CFG} 、 V_{TRIM0_CFG} および V_{TRIM1_CFG} です。ピンがフロート状態だと、対応するNVMコマンドに格納されている値が使用されます。MFR_CONFIG_ALL_LTC3880設定コマンドのビット6がNVM内でアサートされていると、パワーアップしたとき、常に有効なASEL以外の抵抗入力は無視されます。抵抗設定ピンは、パワーアップ・リセットの間、またはMFR_RESETコマンドが実行された後にだけ測定されます。

V_{OUTn_CFG} ピンと V_{TRIMn} ピンの設定については、表12と表13で説明されています。これらのピンはLTC3880のアナログPWMコントローラの実出力電圧を選択します。両方のピンがオープンだと、VOUT_COMMANDコマンドがNVMからロードされ、出力電圧を決めます。

RCONFIGピンを使って出力電圧を決めると、以下のパラメータが出力電圧のパーセンテージとして設定されます。

- VOUT_OV_FAULT_LIMIT +10%
- VOUT_OV_WARN +7.5%
- VOUT_MAX +7.5%
- VOUT_MARGIN_HI +5%
- POWER_GOOD_ON -7%
- POWER_GOOD_OFF -8%
- VOUT_MARGIN_LO -5%
- VOUT_UV_WARN -6.5%
- VOUT_UV_FAULT_LIMIT -7%

FREQ_CFGピンの設定を表14に示します。このピンにより、スイッチング周波数および、2つのチャンネルとSYNCピンの間の位相の関係を選択します。外部クロックに同期させるため、デバイスを外部クロック・モードにする必要があります (FREQ_CFGピンをグラウンドに短絡)。外部クロックが与えられないと、デバイスは内部PWM発振器の最低自走周波数でクロックを発生します。この低クロック・レートにより、インダクタのリップル電流が増加し、望ましくない動作を生じることがあります。外部SYNC信号が欠けているか、誤作動すると、STATUS_MFR_SPECIFICコマンドに「PLLロック状態」フォルトが表示されます。パワーアップ時に有効な同期信号が存在しなくても、ユーザがPLL_FAULTを参照しようと望まない場合、MFR_CONFIG_ALL_LTC3880コマンドのビット3をアサートする必要があります。複数のデバイス間でSYNCピンが相互に接続されている場合、それらのデバイスの中の1つ

だけが発振器になることができ、他の全てのデバイスは外部クロックに設定する必要があります。

ASELピンの設定を表15に示します。このピンにより、LTC3880のスレープ・アドレスの下位4ビットを選択します。最上位3ビットはNVM MFR_ADDRESSコマンドから取り出されます。ピンがフロート状態だと、スレープ・アドレスを決めるのに、NVM MFR_ADDRESSコマンドに格納されている7ビットの値が使われます。詳細については、表15aを参照してください。

注記：PMBusの仕様に従って、ピンでプログラムされるパラメータは、常に有効なASELを例外にして、デジタル・インタフェースからのコマンドによってオーバーライドすることができます。どのデバイスのアドレスも0x5Aまたは0x5Bには設定しないでください。これらはグローバル・アドレスであり、全てのデバイスがこれらに応答します。

フォルトの検出と取り扱い

様々なフォルトおよび警報の通知および取り扱いのメカニズムが備わっています。フォルトと警報の検出には以下のものが含まれます。

- 入力のOV/FAULT保護およびUV警報
- 平均入力OC警報
- 出力OV/UVフォルトおよび警報保護
- 出力OCフォルトおよび警報保護
- 内部および外部の過温度フォルトおよび警報保護
- 外部の低温フォルトおよび警報保護
- CMLフォルト (通信、メモリまたはロジック)
- 双方向GPIO n ピンを介した外部フォルト検出

さらに、LTC3880は、伝播GPIO n 応答コマンド (MFR_GPIO_PROPAGATE_LTC3880) を使って、フォルト・インジケータの組み合わせをそれぞれのGPIO n ピンにマッピングすることができます。GPIOピンは一般に、外部クロック・デバイス、過温度アラート、過電圧アラートのドライバとして、またはマイクロコントローラがフォルト・コマンドをポーリングするようにする割り込みとして使います。代わりに、コントローラの下流の直ちに応答を必要とする外部フォルトを検出する入力としてGPIO n ピンを使うことができます。GPIO0ピンやGPIO1ピンはパワーグッド出力としても設定することができます (MFR_GPIO_PROPAGATE_LTC3880 のビット12をアサート)。パ

動作

ワグッドは、コントローラの出力がUVスレッシュホールドを超えていることを表示します。パワーアップ時、このピンは最初はスリーステートになります。従来、パワーグッドには0Vスレッシュホールドも含まれます。これが必要な場合は、MFR_GPIO_PROPAGATE_LTC3880のビット0をアサートしてください。この構成設定で、起動時にこのピンを望みの極性にする必要があれば、伝播してくるパワーグッド信号のRUNピンとGPIOピンの間にショットキー・ダイオードを接続します。カソードはRUNに接続し、アノードはGPIOピンに接続します。GPIOピンがパワーグッド状態に設定されていると、MFR_GPIO_RESPONSEは無視する必要があります。そうでないと、コントローラにはラッチオフ状態があります。

「ソフトスタート」のセクションで説明されているように、連結されたイベントによってスタートアップを制御することが可能です。GPIOが別のコントローラのRUNピンをドライブするのに使われる場合、フィルタされていないVOUT_UVフォルト・リミット(PGOOD)をGPIOピンにマップします。

どのフォルトや警報イベントもALERTピンを“L”にアサートします。このピンは、CLEAR_FAULTSコマンドが出され、フォルト・ビットが1に書き込まれるか、またはバイアス電源がサイクルされるか、またはMFR_RESETコマンドが出されるまで、“L”にアサートされたまま留まります。RUNピンがオフ/オンとトグルされるか、PMBusを介してデバイスがコマンドによってオフ/オンすると、チャンネル固有のフォルトがクリアされます。MFR_CONFIG_ALL_LTC3880のビット0が1に設定されると、RUNピンのオン/オフが切り替わり、すべてのフォルトがクリアされます。MFR_GPIO_PROPAGATE_LTC3880コマンドは、フォルトが検出されたときGPIOピンを“L”にするかどうかを決めます。ただし、フォルトまたは警報が検出されて状態ビットが更新されると、ALERTピンは常に“L”になります。

出力と入力のフォルト・イベントの取り扱いは、表5～表9で規定されている、対応するフォルト応答バイトによって制御されます。これらのタイプのフォルトによるシャットダウンからの回復は、自動であるかまたはラッチされます。自動回復では、フォルトはラッチされないため、リトライ時間が経過した後フォルト状態が存在しなければ、新しいソフトスタートが試みられます。フォルトが持続すると、コントローラはリトライを続けます。リトライ時間はMFR_RETRY_DELAYコマンドによって規定され、フォルト状態自体は直ちに破壊的ではないと仮定して、反復されるパワーサイクリングによるレギュレータ部品への損傷を防ぎます。MFR_RETRY_DELAYは120msより大きくする必要があります。83.88秒を超えることはできません。

GPIOピンを相互接続することによってチャンネル間にフォルト依存性を持たせることができます。内部フォルトが生じた場合、1つまたは複数のチャンネルが、バス接続したGPIOピンを“L”にするように設定されます。他のチャンネルは、GPIOピンが“L”になるとシャットダウンするように設定されます。自動グループ・リトライの場合、フォルトの生じたチャンネルは、元のフォルトは解消していると仮定して、リトライ時間が経過した後GPIOピンを解放するように設定されます。次に、グループ内の全チャンネルがソフトスタート・シーケンスを開始します。フォルト応答がLATCH_OFFの場合、RUNピンがオフ/オンとトグルされるか、またはデバイスがコマンドによってオフ/オンされるまで、GPIOピンは“L”にアサートされたまま留まります。ピンまたはOFF/ONコマンドによってRUNをトグルすると、そのチャンネルに関連したフォルトをクリアします。どれかのRUNピンがトグルされたとき、全てのフォルトをクリアしたい場合、MFR_CONFIG_ALL_LTC3880のビット0を1にセットします。

全てのフォルトと警報の状態が、STATUS_WORDとSTATUS_BYTEのコマンドにまとめられています。

追加のフォルト検出および取り扱いの機能は次のとおりです。

CRC不良

パワーオン・リセット後に、NVMメモリの完全性がチェックされます。CRC不良は、コントローラが非アクティブ状態から出ることを妨げます。CRC不良が生じると、CMLビットがSTATUS_BYTEとSTATUS_WORDのコマンド内でセットされ、STATUS_MFR_SPECIFICコマンド内の適当なビットがセットされ、ALERTピンが“L”になります。望みの設定をコントローラに書き込んで、STORE_USER_ALLコマンド、続いてCLEAR_FAULTSコマンドを実行することにより、NVMの修理を試みることができます。

NVMのLTC3880製造時のセクションが反映されます。NVMの設定の製造時セクションの2つのセクションのどちらかが破壊された場合、NVMには制限された修復能力があります。不一致が検出されると、STATUS_MFR_SPECIFICコマンド内の「NVM CRCフォルト」がセットされます。CLEAR_FAULTSコマンドを出すか、またはこのビットに1を書き込むことによってクリアされた後、このビットがセットされたままであれば、回復不可能な内部フォルトが生じています。この特定のデバイスに関連した両方の出力電源レールをディスエーブルするよう注意してください。製造時セクション内の回復不可能なNVMフォルトをフィールドで修復する方法はありません。

動作

シリアル・インタフェース

LTC3880のシリアル・インタフェースはPMBusに準拠したスレーブ・デバイスであり、10kHz～400kHzの周波数で動作可能です。アドレスは、NVMまたは外部抵抗分割器のどちらかを使って設定することができます。さらに、LTC3880は、0x5A (7ビット) または 0x5B (7ビット) のグローバル・ブロードキャスト・アドレスに常に応答します。アドレス0x5Aはページに対応しておらず、両方のチャンネルで実行されます。0x5Bはページ・コマンドに対応します。アドレス0x5Aはページをサポートしないので、ページ指定読み出しコマンドに使うことはできません。

シリアル・インタフェースは、PMBusの仕様で定義されている以下のプロトコルをサポートします。1) コマンドの送信、2) バイトの書き込み、3) ワードの書き込み、4) グループ、5) バイトの読み出し、6) ワードの読み出し、および7) ブロックの読み出し。PMBusのマスタがそれを要求すると、全ての読み出し動作は有効なPECを返します。MFR_CONFIG_ALL_LTC3880コマンド内のPEC_REQUIREDビットがセットされると、有効なPECがLTC3880によって受信されるまで、PMBusの書き込みオペレーションは処理されません。

通信不良

PEC書き込みエラーが生じるか(PEC_REQUIREDがアクティブである場合)、サポートされていないコマンドにアクセスしようと試みるか、または無効なデータをサポートされているコマンドに書き込むと、CMLフォルトになります。CMLビットがSTATUS_BYTEとSTATUS_WORDのコマンド内でセットされ、STATUS_CMLコマンド内の適当なビットがセットされ、ALERTピンが“L”になります。

デバイスの呼び出し機能

LTC3880はPMBusインタフェースを通して、5つの異なるタイプの呼び出し機能をサポートします。1) グローバル、2) デバイス、3) チャンネル、4) レール呼び出し機能、および5) アラート応答アドレス(ARA)です。

グローバル呼び出し機能はPMBusのマスタに、バス上の全てのLTC3880デバイス呼び出す手段を与えます。LTC3880のグローバル・アドレスは固定された0x5A (7ビット) または 0xB4 (8ビット) であり、ディスエーブルすることができません。グローバル・アドレスに送信されたコマンドは、PAGEが0xFFの値に設定されているのと同じように動作します。送信されたコマンドは両方のチャンネルに同時に書き込まれます。グローバル・コ

マンドの0x5B (7ビット) または 0xB6 (8ビット) はページ指定されており、バス上の全てのLTC3880デバイスのチャンネル固有のコマンドを可能にします。

デバイス呼び出し機能は、PMBusのマスタがLTC3880の特定の1個と通信する標準的手段を与えます。デバイスのアドレスの値は、ASEL設定ピンとMFR_ADDRESSコマンドの組み合わせによって設定されます。この呼び出し手段を使うとき、PAGEコマンドは処理対象のチャンネルを決めます。デバイスの呼び出しは、0x80の値をMFR_ADDRESSに書き込むことによってディスエーブルすることができます。

チャンネル呼び出し機能は、PMBusマスタが、PAGEコマンドを使わずに、LTC3880の1つのチャンネルを呼び出す手段を与えます。ページ指定したMFR_CHANNEL_ADDRESSに指定した値により、ユーザが処理したい特定のチャンネルが決まります。例：ページ0のMFR_CHANNEL_ADDRESSが0x57に設定され、ページ1のMFR_CHANNEL_ADDRESSが0x54に設定されると、ユーザはアドレス0x57 (7ビット) を使ってPMBusデバイス・コマンドを実行することにより、デバイスのチャンネル0を呼び出すことができます。ユーザは、アドレス0x54 (7ビット) を使ってPMBusデバイス・コマンドを実行することにより、デバイスのチャンネル1を呼び出すことができます。これにより、ユーザは最初にPAGEコマンドを割り当ててから、次に実行するコマンドを割り当てる必要がなくなります。

レール呼び出し機能は、PMBusマスタが、同じ出力レールに接続されている一組のチャンネルを同時に呼び出す手段を与えます。これはグローバル呼び出し機能に似ていますが、MFR_RAIL_ADDRESSコマンドを使うことによって、PMBusアドレスを動的に割り当てることができます。MFR_RAIL_ADDRESSはページ指定可能なので、チャンネルを別個に特定のレールに割り当てることができます。レールのアドレス指定はコマンド書き込み動作に限定することを推奨します。

PMBusの5つの呼び出し方法は全て、ユーザがアドレスの競合を避ける注意深いプランニングを採用することを必要とします。

VOUTフォルトとIOUTフォルトへの応答

VOUTのOVとUVの状態はコンパレータによってモニタされます。OVとUVのリミットは3つの方法で設定されます。

- 抵抗設定ピンを使用する場合はVOUTのパーセンテージとして

動作

- 製造時にプログラムされるか、またはGUIによってプログラムされる場合はNVMによって
- PMBus コマンドによって

I_{IN} と I_{OUT} の過電流モニタはADCの測定値と計算によって行われます。したがって、これらの値は平均電流をベースにしており、最大100msの待ち時間が生じることがあります。 I_{OUT} の計算は、センス抵抗と抵抗の温度係数を計算に入れます。入力電流は、出力電流にそれぞれのチャネルのデューティ・サイクルを掛けた積に、各チャネルの入力オフセット電流を加えた和に等しくなります。この計算された入力電流が $I_{IN_OC_WARN_LIMIT}$ を超えると、 \overline{ALERT} ピンが“L”になり、 $STATUS_INPUT$ レジスタ内で $I_{IN_OC_WARN}$ ビットがアサートされます。

LTC3880内部のデジタル・プロセッサは、フォルトを無視するか、シャットダウンしてラッチオフするか、またはシャットダウンとリトライを無期限に繰り返す(ヒックアップ)機能を備えています。リトライの時間は MFR_RETRY_DELAY で設定され、1ms刻みで120ms～83.88秒にすることができます。 OV/UV と OC によるシャットダウンは、直ちに、またはユーザが選択可能なデグリッチ時間経過後に行うことができます。

出力過電圧フォルト応答

プログラム可能な過電圧コンパレータ(OV)は、過渡オーバーシュートおよび出力の長期過電圧に対して保護します。このような場合、PMBusの $V_{OUT_OV_FAULT_RESPONSE}$ コマンド・バイトの値には関係なく、過電圧状態がクリアされるまで、トップMOSFETはオフし、ボトムMOSFETはオンします。このハードウェア・レベルのフォルト応答の遅延時間は、過電圧状態からBGが“H”にアサートされるまでの標準2 μ sです。 $V_{OUT_OV_FAULT_RESPONSE}$ を使って、ユーザは以下の振る舞いを選択することができます。

- OV プルダウンのみ(OV は無視できない)
- 直ちにシャットダウン(スイッチングを停止)—ラッチオフ
- 直ちにシャットダウン— MFR_RETRY_DELAY で指定されたインターバル時間で無期限にリトライ

ラッチオフまたはリトライのどちらも、(0-7)・10 μ s刻みでデグリッチすることができます。表5を参照してください。

出力低電圧応答

出力に対する低電圧コンパレータの応答は、以下のどれかにすることができます。

- 無視
- 直ちにシャットダウン—ラッチオフ
- 直ちにシャットダウン— MFR_RETRY_DELAY で指定されたインターバル時間で無期限にリトライ

UV 応答はデグリッチすることができます。表6を参照してください。

ピーク出力過電流フォルト応答

電流モード制御アルゴリズムにより、インダクタ両端のピーク出力電流は常にサイクルごとに制限されます。ピーク電流制限の値はEC表の検出電圧で規定されます。電流制限回路は I_{TH} の最大電圧を制限することによって動作します。DCRによる検出が使われる場合、 I_{TH} の最大電圧にはインダクタのDCRのTCに直接比例する温度依存性があります。LTC3880は自動的に外部温度センサをモニタし、最大許容 I_{TH} を修正して、この項を補償します。

過電流フォルトを処理する回路は、以下の振る舞いを実行することができます。

- 無期限に電流を制限
- 直ちにシャットダウン—ラッチオフ
- 直ちにシャットダウン— MFR_RETRY_DELAY で指定されたインターバル時間で無期限にリトライ

過電流応答は(0-7)・16ms刻みでデグリッチすることができます。表7を参照してください。

タイミング・フォルトに対する応答

$TON_MAX_FAULT_LIMIT$ は、 V_{OUT} がスタートアップ時に上昇し、セトリングするまでに許される時間です。出力が $SOFT_START$ シーケンスを進んでいくとき、 $V_{OUT_UV_FAULT_LIMIT}$ を検出すると、 $TON_MAX_FAULT_LIMIT$ 状態であると断定されます。 $TON_MAX_FAULT_LIMIT$ 時間は、 TON_DELAY が経過して $SOFT_START$ シーケンスが開始された後、スタートします。 $TON_MAX_FAULT_LIMIT$ の分解能は10 μ sです。 $TON_MAX_FAULT_LIMIT$ 時間内に

動作

VOUT_UV_FAULT_LIMITに達しないときの、このフォルトに対する応答は、TON_MAX_FAULT_RESPONSEコマンドの値によって決まります。この応答は以下のどれかになります。

- 無視
- 直ちにシャットダウン(スイッチングを停止)—ラッチオフ
- 直ちにシャットダウン—MFR_RETRY_DELAYで指定されたインターバル時間で無期限にリトライ

このフォルト応答はデグリッチを伴いません。TON_MAX_FAULT_LIMITの0の値はフォルトが無視されることを意味します。TON_MAX_FAULT_LIMITはTON_RISE時間より長く設定します。TON_MAX_FAULT_LIMITは常にゼロ以外の値に設定することを推奨します。そうしないと、出力が決して立ち上がらないことがあり、ユーザにはどんなフラグも示されません。

表9を参照してください。

V_{IN} 0Vフォルトに対する応答

V_{IN} 過電圧は多重化したADCによって測定されるので、ADCの100msの標準応答時間によって自然にデグリッチされます。フォルト応答は以下のとおりです。

- 無視
- 直ちにシャットダウン—ラッチオフ
- 直ちにシャットダウン—MFR_RETRY_DELAYで指定されたインターバル時間で無期限にリトライ

表9を参照してください。

OT/UTフォルトに対する応答

過温度フォルト応答—内部

内部温度センサはNVMの損傷に対して保護します。85°Cより上では、NVMへの書き込みは推奨しません。130°Cより上では、デバイスはNVMをディスエーブルし、温度が120°Cを下回るまでは再度イネーブルすることはありません。温度はADCによって測定されます。内部温度フォルトを無視することはできません。内部温度制限は、ユーザが調整することはできません。

表9を参照してください。

過温度と低温度フォルト応答—外部

2つの外部温度センサを使って、インダクタやパワー MOSFETのような重要な回路素子を検出することができます。OT_FAULT_RESPONSEとUT_FAULT_RESPONSEのコマンドを使って、それぞれ、過温度状態と低温度状態に対する適切な応答を決めます。外部検出素子を使わない場合(推奨はしません)、UT_FAULT_RESPONSEは「無視する」に設定し、UT_FAULT_LIMITは-275°Cに設定します。

フォルト応答は以下のとおりです。

- 無視
- 直ちにシャットダウン—ラッチオフ
- 直ちにシャットダウン—MFR_RETRY_DELAYで指定されたインターバル時間で無期限にリトライ

表9を参照してください。

外部フォルトに対する応答

どちらかの $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンが“L”に引き下げられると、STATUS_WORDコマンドのOTHERビットがセットされ、STATUS_MFR_SPECIFICコマンドの適当なビットがセットされ、 $\overline{\text{ALERT}}$ が“L”になります。応答はデグリッチされません。各チャンネルは、MFR_GPIO_RESPONSEコマンドを修正することにより、その $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンが“L”になるのに応答して、無視するか、またはシャットダウンしてからリトライするように設定することができます。 $\overline{\text{GPIO}}_0$ が“L”になるとき $\overline{\text{ALERT}}$ ピンが“L”にアサートするのを避けるには、MFR_CHAN_CONFIG_LTC3880のビット1をアサートします。

フォルト・ログ

LTC3880にはフォルトをログする機能があります。データは表11に示されている順序でメモリにログされます。フォルト・ログに格納されるデータは、内部の揮発性メモリに連続的に格納されます。フォルト・イベントが発生すると、内部の揮発性メモリへの記録処理が停止し、フォルト・ログの情報はMFR_FAULT_LOGコマンドから利用することができ、内部メモリの内容はNVMにコピーされます。85°Cより上の温度でもフォルトをログすることはできますが、10年間の保持時間は保証されません。ダイ温度が130°Cを超えると、フォルトのログはダイ温度が120°Cを下回るまで遅らされます。フォルト・ログ・イベントを生じたフォルト状態が解消した後、フォルト・ログ・データを消去する前にフォルトをクリアしないと、デバイスが再びフォルト・ログを直ちに発行します。

動作

LTC3880がパワーアップするとき、有効なフォルト・ログが存在するかNVMをチェックします。有効なフォルト・ログがNVMに存在すると、STATUS_MFR_SPECIFICコマンドの「有効なフォルト・ログ」ビットがセットされ、 $\overline{\text{ALERT}}$ イベントが生成されます。また、フォルトのログが再度イネーブルされる前、LTC3880がMFR_FAULT_LOG_CLEARコマンドを受信するまでフォルトのログは阻止されます。

どちらかのチャンネルのコントローラをディスエーブルするどんなフォルトが生じて、情報はEEPROM内に格納されます。外部GPIO_nが“L”になる場合はフォルト・ログ・イベントはトリガされません。

バスのタイムアウト不良

LTC3880はタイムアウト機能を実装しており、シリアル・インタフェースがハングするのを防ぎます。データ・パケット・タイムは、デバイスのアドレス書き込みバイトの前に最初のSTARTイベントで開始されます。データ・パッケージ情報は25ms以内に完了する必要があります。そうでないと、LTC3880はバスをスリーステート状態にして、与えられたデータ・パケットを無視します。データ・パケット情報には、デバイスのアドレス・バイト書き込み、コマンド・バイト、リピート・スタート・イベント(読み出し動作の場合)、デバイスのアドレス・バイト読み出し(読み出し動作の場合)、全データ・バイト、および(適用される場合)PECバイトが含まれます。

LTC3880は、ブロック読み出しデータ・パケットの場合は長いPMBusタイムアウトを許します。このタイムアウトはブロック読み出しの長さに比例します。追加のブロック読み出しタイムアウトは、主にMFR_FAULT_LOGコマンドに適用されます。どんな場合も、タイムアウト時間はtTIMEOUT_SMBの32ms(標準)の仕様より短くはなりません。

できるだけ高いクロック・レートを使って、シリアル・バス・インタフェースを共有している全てのデバイスの間の効率的なデータ・パケット転送を維持することを推奨します。LTC3880は10kHz~400kHzの全PMBus周波数範囲をサポートします。

PMBus、SMBus、およびI²C 2線インタフェースの間の類似点

PMBus 2線インタフェースはSMBusの拡張版です。SMBusはI²Cを土台にしており、タイミング、DCパラメータおよびプロトコルに若干の差があります。PMBus/SMBusはバスのハングを防ぐタイムアウトと、データの完全性を保証するオプションのデータ・エラー・チェック(PEC)を備えているので、PMBus/

SMBusプロトコルはシンプルなI²Cのバイト・コマンドより堅牢です。一般に、I²C通信に設定可能なマスタ・デバイスは、ハードウェアやファームウェアにほとんどまたは全く変更を加えずにPMBus通信に使用することができます。リピート・スタート(再スタート)は全てのI²Cコントローラでサポートされてはいませんが、SMBus/PMBusの読み出しでは必要です。汎用のI²Cコントローラを使用する場合、リピート・スタートがサポートされているかチェックしてください。

SMBusに対してPMBusによってなされている小さな拡張および例外の説明については、PMBus仕様Part 1 Revision 1.1の paragraph 5「トランスポート」を参照してください。

SMBusとI²Cの相違点の説明に関しては、System Management Bus (SMBus)仕様Version 2.0の付録B「SMBusとI²Cの間の相違点」を参照してください。

PMBusシリアル・デジタル・インタフェース

LTC3880は標準的PMBusシリアル・バス・インタフェースを使ってホスト(マスタ)と通信します。バス信号相互のタイミング関係をタイミング図(図5)に示します。バスを使用しない場合、2本のバスライン(SDAとSCL)は“H”にする必要があります。これらのラインには外付けのプルアップ抵抗または電流源が必要です。

LTC3880はスレーブ・デバイスです。マスタは以下のフォーマットを使ってLTC3880と通信することができます。

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

以下のPMBusプロトコルがサポートされています。

- 書き込みバイト、書き込みワード、送信バイト
- 読み出しバイト、読み出しワード、ブロック読み出し
- アラート応答アドレス

図7~図16は、前述のPMBusプロトコルを示しています。全てのトランザクションはPEC(パリティ・エラー・チェック)とGCP(グループ・コマンド・プロトコル)をサポートしています。ブロック読み出しは255バイトのリターン・データをサポートしています。このため、フォルト・ログを読み出すとき、PMBusのタイムアウトを延長することができます。

図6はこのセクションのプロトコル図のキーです。PECはオプションです。

動作

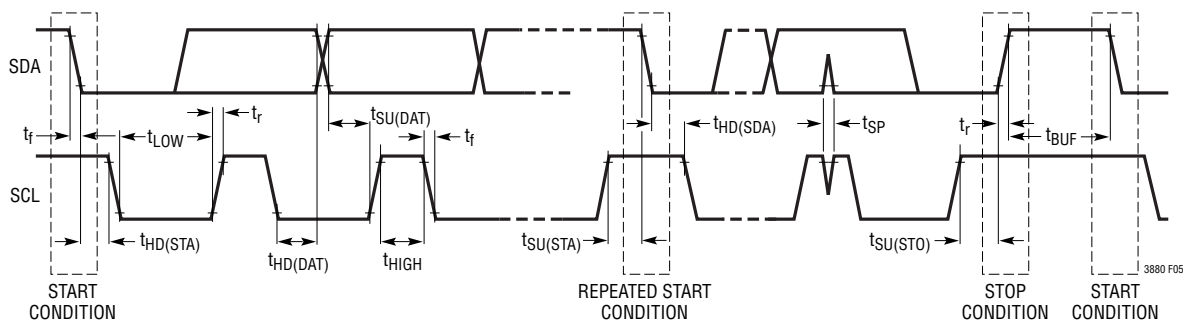


図5. タイミング図

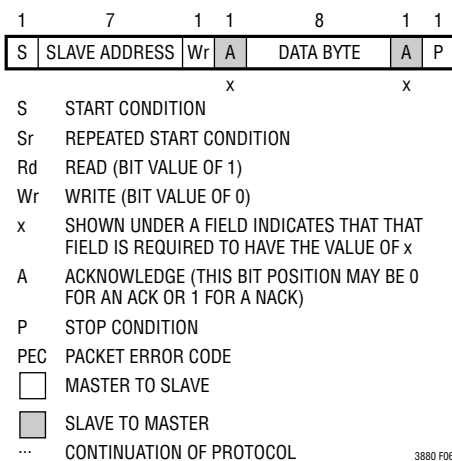


図6. PMBusの packets プロトコル・ダイアグラムの要素のキー

以下の図で、フィールドの下に示されている値は、そのフィールドに必須の値です。

PMBusによって実装されているデータ・フォーマットは次のとおりです。

- マスタ・トランスミッタがスレーブ・レシーバへ転送します。この場合の転送方向は変化しません。
- マスタは最初のバイトの後直ちにスレーブから読み出します。スレーブ・レシーバから与えられた最初のアックノリッジの時点で、マスタ・トランスミッタはマスタ・レシーバになり、スレーブ・レシーバはスレーブ・トランスミッタになります。
- 組み合わせフォーマット。1回の転送中の方向転換の間に、マスタはスタート条件とスレーブ・アドレスの両方をリピートしますが、R/Wビットが反転します。この場合、マスタ・レシーバは、転送の最後のバイトのNACKとストップ条件を発生することにより、転送を終了します。

これらのフォーマットの例を図7～図16に示します。

動作

表1. データ・フォーマットの用語

PMBus の用語	意味	仕様、GUI、アプリケーションノートの用語	コマンドの要約の表の省略記号	詳細は、表2のデータ・フォーマットのセクションを参照
Linear	リニア	Linear_5s_11s	L11	ページ35
Linear (電圧に関係したコマンド)	リニア	Linear_16u	L16	ページ35
Direct	Direct-メーカーによりカスタム化	DirectMfr	CF	ページ35
Hex		Hex	I16	
ASCII		ASCII	ASC	
	レジスタ・フィールド	Reg	Reg	

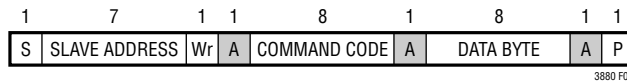


図7. バイト書き込みの Protokol

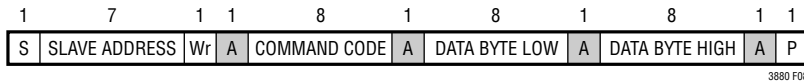


図8. ワード書き込みの Protokol

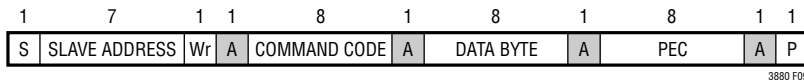


図9. PEC 付きのバイト書き込みの Protokol

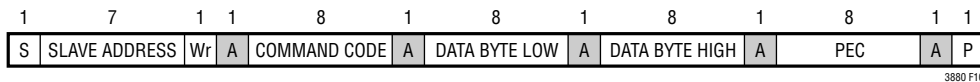


図10. PEC 付きのワード書き込みの Protokol

動作

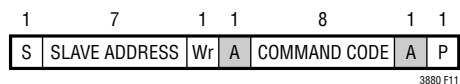


図 11. バイト送信プロトコル

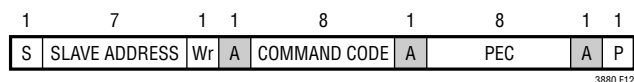


図 12. PEC 付きのバイト送信プロトコル

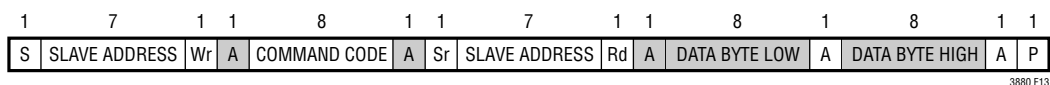


図 13. ワード読み出しのプロトコル

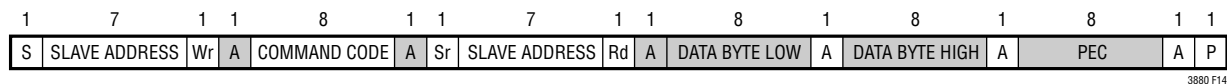


図 14. PEC 付きのワード読み出しのプロトコル

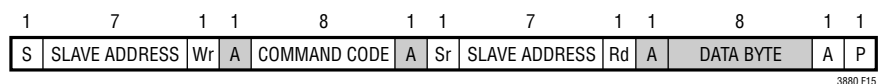


図 15. バイト読み出しのプロトコル

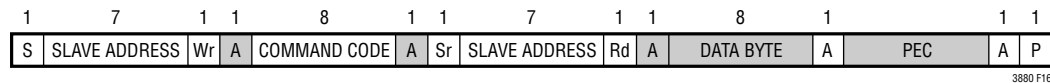


図 16. PEC 付きのバイト読み出しのプロトコル

凡例については図 6 を参照してください。

信頼性の高いシステム・レベルの通信を実現するために、ハンドシェイク機能も搭載しています。詳細については、「アプリケーション情報」セクションの「PMBus の通信とコマンド処理」をご覧ください。

PMBus コマンドの要約

PMBus のコマンド

サポートされている PMBus のコマンドおよびメーカー固有のコマンドを以下の表に示します。これらのコマンドの詳細は、PMBus Power System Mgt Protocol Specification – Part II – Revision 1.1 に示されています。この仕様書を参照することを推奨します。例外やメーカー固有の実装を下の表2に示します。「既定値」の列に示されている浮動小数点値は、リニアな符号付き16ビット (PMBus Section 8.3.1) または Linear_5s_11s (PMBus Section 7.1) フォーマットの、コマンドに適したどちらかです。この表に示されていない 0xD0 ~ 0xFF の全てのコマンドは、明示されてはいますがメーカーによって予約されています。デバイスの望ましくない動作を避けるため、この範囲のコマンドは無闇に書き込まないでください。この表に示されていない 0x00 ~ 0xCF の全てのコマンドは、明示されてはいますがメーカーによってサポートされていません。サポー

トされていない、または予約されているコマンドにアクセスしようとすると、CML コマンド・フォルト・イベントが生じることがあります。全ての出力電圧の設定と測定は、VOUT_MODE の 0x14 の設定に基づいています。これは 2^{-12} のべき数に対応します。

PMBus コマンドの受信速度が処理速度を上回る場合は、デバイスがビジー状態になって新しいコマンドを処理できなくなることがあります。このような状況では、デバイスは PMBus 仕様 v1.1、パート II、セクション 10.8.7 で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達します。デバイスはハンドシェイク機能を備えているので、通信とシステム動作の信頼性を保ちながら、ビジーエラーをなくし、エラー・ハンドリング・ソフトウェアを簡素化します。詳細については、「アプリケーション情報」セクションの「PMBus の通信とコマンド処理」をご覧ください。

表2. 要約 (NOTE: データ・フォーマットの省略形はこの表の末尾で説明されています。)

コマンドの名称	CMD コード	説明	タイプ	ページ指定	データ形式	単位	NVM	既定値	ページ
PAGE	0x00	ページングをサポートしているコマンドの、現在選択されているチャネルまたはページ。	R/W バイト	N	Reg			0x00	63
OPERATION	0x01	動作モードの制御。オン/オフ、マージンハイおよびマージンロー。	R/W バイト	Y	Reg		Y	0x80	67
ON_OFF_CONFIG	0x02	RUN ピンおよび PMBus バスの オン/オフ・コマンドの設定。	R/W バイト	Y	Reg		Y	0x1E	66
CLEAR_FAULTS	0x03	セットされている全フォルト・ビットをクリア。	バイトを送信	N				NA	91
WRITE_PROTECT	0x10	偶発的変更に対してデバイスによって与えられる保護のレベル。	R/W バイト	N	Reg		Y	0x00	63
STORE_USER_ALL	0x15	ユーザ使用メモリを EEPROM に格納。	バイトを送信	N				NA	101
RESTORE_USER_ALL	0x16	ユーザ使用メモリを EEPROM から復元。	バイトを送信	N				NA	101
CAPABILITY	0x19	このデバイスによってサポートされている PMBus のオプションの通信プロトコルの要約。	R バイト	N	Reg			0xB0	90
VOUT_MODE	0x20	出力電圧のフォーマットおよびべき数 (2^{-12})。	R バイト	Y	Reg			2^{-12} 0x14	71
VOUT_COMMAND	0x21	公称出力電圧の設定ポイント。	R/W ワード	Y	L16	V	Y	1.0 0x1000	72
VOUT_MAX	0x24	VOUT_MARGIN_HIGH を含む、指定された出力電圧の上限。	R/W ワード	Y	L16	V	Y	4.096 ch0 0x4189 5.5 ch1 0x5800	71
VOUT_MARGIN_HIGH	0x25	マージンハイ出力電圧の設定ポイント。VOUT_COMMAND より大きい値でなければならない。	R/W ワード	Y	L16	V	Y	1.05 0x10CD	72
VOUT_MARGIN_LOW	0x26	マージンロー出力電圧の設定ポイント。VOUT_COMMAND より小さい値でなければならない。	R/W ワード	Y	L16	V	Y	0.95 0x0F33	72
VOUT_TRANSITION_RATE	0x27	VOUT が新しい値に指定されたときの出力変化の速度。	R/W ワード	Y	L11	V/ms	Y	0.25 AA00	78

3880fd

PMBus コマンドの要約

コマンドの名称	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	既定値	ページ
FREQUENCY_SWITCH	0x33	コントローラのスイッチング周波数。	R/Wワード	N	L11	kHz	Y	350 0xFABC	69
VIN_ON	0x35	ユニットが電力変換を開始する入力電圧。	R/Wワード	N	L11	V	Y	6.5 0xCB40	70
VIN_OFF	0x36	ユニットが電力変換を停止する入力電圧。	R/Wワード	N	L11	V	Y	6.0 0xCB00	70
IOUT_CAL_GAIN	0x38	検出された電流に対する、電流検出ピンの電圧の比。固定電流検出抵抗を使用するデバイスでは、mΩを単位とする抵抗値。	R/Wワード	Y	L11	mΩ	Y	1.8 0xBB9A	74
VOUT_OV_FAULT_LIMIT	0x40	出力の過電圧フォルト・リミット。	R/Wワード	Y	L16	V	Y	1.1 0x119A	71
VOUT_OV_FAULT_RESPONSE	0x41	出力の過電圧フォルトが検出されたとき、デバイスがとるアクション。	R/Wバイト	Y	Reg		Y	0xB8	81
VOUT_OV_WARN_LIMIT	0x42	出力の過電圧警報リミット。	R/Wワード	Y	L16	V	Y	1.075 0x1133	72
VOUT_UV_WARN_LIMIT	0x43	出力の低電圧警報リミット。	R/Wワード	Y	L16	V	Y	0.925 0x0ECD	73
VOUT_UV_FAULT_LIMIT	0x44	出力の低電圧フォルト・リミット。	R/Wワード	Y	L16	V	Y	0.9 0x0E66	73
VOUT_UV_FAULT_RESPONSE	0x45	出力の低電圧フォルトが検出されたとき、デバイスがとるアクション。	R/Wバイト	Y	Reg		Y	0xB8	82
IOUT_OC_FAULT_LIMIT	0x46	出力の過電流フォルト・リミット。	R/Wワード	Y	L11	A	Y	29.75 0xDBB8	75
IOUT_OC_FAULT_RESPONSE	0x47	出力の過電流フォルトが検出されたとき、デバイスがとるアクション。	R/Wバイト	Y	Reg		Y	0x00	84
IOUT_OC_WARN_LIMIT	0x4A	出力の過電流警報リミット。	R/Wワード	Y	L11	A	Y	20.0 0xDA80	76
OT_FAULT_LIMIT	0x4F	外部過温度フォルト・リミット。	R/Wワード	Y	L11	C	Y	100.0 0xEB20	77
OT_FAULT_RESPONSE	0x50	外部過温度フォルトが検出されたとき、デバイスがとるアクション。	R/Wバイト	Y	Reg		Y	0xB8	86
OT_WARN_LIMIT	0x51	外部過温度フォルト警報リミット。	R/Wワード	Y	L11	C	Y	85.0 0xEAA8	77
UT_FAULT_LIMIT	0x53	外部低温フォルト・リミット。	R/Wワード	Y	L11	C	Y	-40.0 0xE580	77
UT_FAULT_RESPONSE	0x54	外部低温フォルトが検出されたとき、デバイスがとるアクション。	R/Wバイト	Y	Reg		Y	0xB8	86
VIN_OV_FAULT_LIMIT	0x55	入力電源の過電圧フォルト・リミット。	R/Wワード	N	L11	V	Y	15.5 0xD3E0	70
VIN_OV_FAULT_RESPONSE	0x56	入力電源の過電圧フォルトが検出されたとき、デバイスがとるアクション。	R/Wバイト	Y	Reg		Y	0x80	80
VIN_UV_WARN_LIMIT	0x58	入力電源の低電圧警報リミット。	R/Wワード	N	L11	V	Y	6.3 0xCB26	70
IIN_OC_WARN_LIMIT	0x5D	入力電源の過電流警報リミット。	R/Wワード	N	L11	A	Y	10.0 0xD280	75
POWER_GOOD_ON	0x5E	それ以上になるとパワーグッドをアサートする出力電圧。	R/Wワード	Y	L16	V	Y	0.93 0x0EE1	73

LTC3880/LTC3880-1

PMBus コマンドの要約

コマンドの名称	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	既定値	ページ
POWER_GOOD_OFF	0x5F	それ以下になるとパワーグッドをデアサートする出力電圧。	R/Wワード	Y	L16	V	Y	0.92 0x0EB8	73
TON_DELAY	0x60	RUNおよび/または動作のオンから出力レールがオンするまでの時間。	R/Wワード	Y	L11	ms	Y	0.0 0x8000	78
TON_RISE	0x61	出力が上昇を開始したときから、出力電圧がVOUTの指定された値に達するまでの時間。	R/Wワード	Y	L11	ms	Y	8.0 0xD200	78
TON_MAX_FAULT_LIMIT	0x62	V _{OUT_EN} のオンから、VOUTがVOUT_UV_FAULT_LIMITを通過するまでの最大時間。	R/Wワード	Y	L11	ms	Y	10.00 0xD280	78
TON_MAX_FAULT_RESPONSE	0x63	TON_MAX_FAULT イベントが検出されたとき、デバイスがとるアクション。	R/Wバイト	Y	Reg		Y	0xB8	83
TOFF_DELAY	0x64	RUNおよび/またはオペレーションによるオフから、TOFF_FALLのランプが開始されるまでの時間。	R/Wワード	Y	L11	ms	Y	0.0 0x8000	79
TOFF_FALL	0x65	出力が下降し始めてから、出力がゼロボルトに達するまでの時間。	R/Wワード	Y	L11	ms	Y	8.00 0xD200	79
TOFF_MAX_WARN_LIMIT	0x66	TOFF_FALL が開始された後、ユニットが12.5%より下に減衰するのに許される最大時間。	R/Wワード	Y	L11	ms	Y	150 0xF258	79
STATUS_BYTE	0x78	ユニットのフォルト状態の1バイトの要約。	R/Wバイト	Y	Reg			NA	92
STATUS_WORD	0x79	ユニットのフォルト状態の2バイトの要約。	R/Wワード	Y	Reg			NA	92
STATUS_VOUT	0x7A	出力電圧フォルトおよび警報の状態。	R/Wバイト	Y	Reg			NA	92
STATUS_IOUT	0x7B	出力電流フォルトおよび警報の状態。	R/Wバイト	Y	Reg			NA	92
STATUS_INPUT	0x7C	入力電源フォルトおよび警報の状態。	R/Wバイト	N	Reg			NA	93
STATUS_TEMPERATURE	0x7D	READ_TEMPERATURE_1の外部温度フォルトおよび警報の状態。	R/Wバイト	Y	Reg			NA	93
STATUS_CML	0x7E	通信およびメモリのフォルトおよび警報の状態。	R/Wバイト	N	Reg			NA	93
STATUS_MFR_SPECIFIC	0x80	メーカー固有のフォルトおよび状態の情報。	R/Wバイト	Y	Reg			NA	95
READ_VIN	0x88	測定された入力電源電圧。	Rワード	N	L11	V		NA	98
READ_IIN	0x89	測定された入力電源電流。	Rワード	N	L11	A		NA	98
READ_VOUT	0x8B	測定された出力電圧。	Rワード	Y	L16	V		NA	98
READ_IOUT	0x8C	測定された出力電流。	Rワード	Y	L11	A		NA	99
READ_TEMPERATURE_1	0x8D	外部ダイオードの接合部温度。これは、IOUT_CAL_GAINを含む、温度に関係する全ての処理に使用される値。	Rワード	Y	L11	C		NA	99
READ_TEMPERATURE_2	0x8E	内部接合部温度。他のどのレジスタにも影響を与えない。	Rワード	N	L11	C		NA	99
READ_DUTY_CYCLE	0x94	トップ・ゲート制御信号のデューティ・サイクル。	Rワード	Y	L11	%		NA	99
READ_POUT	0x96	測定された出力電力。	Rワード	Y	L11	W		NA	99
PMBUS_REVISION	0x98	このデバイスがサポートするPMBusのリビジョン。現在のリビジョンは1.1。	Rバイト	N	Reg			0x11	90
MFR_ID	0x99	LTC3880のASCIIコードのメーカーID。	Rストリング	N	ASC			LTC	90
MFR_MODEL	0x9A	ASCIIコードのメーカー製品番号。	Rストリング	N	ASC			LTC3880	90
MFR_SERIAL	0x9E	この特定のユニットのシリアル番号。	Rブロック	N	CF			NA	90
MFR_VOUT_MAX	0xA5	最大許容出力電圧。	Rワード	Y	L16	V		4.096 CH0 5.5 CH1	73
USER_DATA_00	0xB0	OEMにより予約。一般に製品のシリアル番号管理に使用。	R/Wワード	N	Reg		Y	NA	89

3880fd

PMBus コマンドの要約

コマンドの名称	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	既定値	ページ
USER_DATA_01	0xB1	メーカーにより、LTpowerPlay のために予約。	R/Wワード	Y	Reg		Y	NA	89
USER_DATA_02	0xB2	OEMにより予約。一般に製品のシリアル番号管理に使用。	R/Wワード	N	Reg		Y	NA	89
USER_DATA_03	0xB3	ユーザが利用できる NVM ワード。	R/Wワード	Y	Reg		Y	0x0000	89
USER_DATA_04	0xB4	ユーザが利用できる NVM ワード。	R/Wワード	N	Reg		Y	0x0000	89
MFR_EE_UNLOCK	0xBD	MFR_EE_ERASE と MFR_EE_DATA のコマンドによってアクセスするために、ユーザの EEPROM のロックを解除。	R/Wバイト	N	Reg			NA	108
MFR_EE_ERASE	0xBE	MFR_EE_DATA によるバルク・プログラミングのために、ユーザの EEPROM を初期化。	R/Wバイト	N	Reg			NA	108
MFR_EE_DATA	0xBF	シーケンシャルな PMBus のワード読み出しまたは書き込みを使って、EEPROM のデータ転送。バルク・プログラミングをサポート。	R/Wワード	N	Reg			NA	108
MFR_CHAN_CONFIG_LTC3880	0xD0	チャンネル固有の設定ビット。	R/Wバイト	Y	Reg		Y	0x1F	65
MFR_CONFIG_ALL_LTC3880	0xD1	全てのページに共通の設定ビット。	R/Wバイト	N	Reg		Y	0x09	65
MFR_GPIO_PROPAGATE_LTC3880	0xD2	どのフォルトを GPIO ピンに出力するかを決める設定。	R/Wワード	Y	Reg		Y	0x2993	87
MFR_PWM_MODE_LTC3880	0xD4	各チャンネルの PWM エンジンの設定。	R/Wバイト	Y	Reg		Y	0xC2	68
MFR_GPIO_RESPONSE	0xD5	GPIO ピンが外部で“L”にアサートされたとき、デバイスがとるアクション。	R/Wバイト	Y	Reg		Y	0xC0	89
MFR_OT_FAULT_RESPONSE	0xD6	内部の過温度フォルトが検出されたとき、デバイスがとるアクション。	Rバイト	N	Reg			0xC0	85
MFR_IOUT_PEAK	0xD7	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以来の READ_IOUT の最大測定値を通知。	Rワード	Y	L11	A		NA	100
MFR_CHANNEL_ADDRESS	0xD8	PAGE でアクティブにされたチャンネルのアドレス。	R/Wバイト	Y	Reg		Y	0x80	64
MFR_RETRY_DELAY	0xDB	FAULT のリトライ・モードのリトライ間隔。	R/Wワード	Y	L11	ms	Y	350 0xFABC	80
MFR_RESTART_DELAY	0xDC	LTC3880 によって RUN ピンが“L”に保持される最小時間。	R/Wワード	Y	L11	ms	Y	500 0xFBE8	80
MFR_VOUT_PEAK	0xDD	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以来の READ_VOUT の最大測定値。	Rワード	Y	L16	V		NA	100
MFR_VIN_PEAK	0xDE	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以来の READ_VIN の最大測定値。	Rワード	N	L11	V		NA	100
MFR_TEMPERATURE_1_PEAK	0xDF	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以来の外部温度 (READ_TEMPERATURE_1) の最大測定値。	Rワード	Y	L11	C		NA	100
MFR_CLEAR_PEAKS	0xE3	全てのピークをクリア。	バイトを送信	N				NA	91
MFR_PADS	0xE5	I/O パッドのデジタル状態。	Rワード	N	Reg			NA	97
MFR_ADDRESS	0xE6	7ビット I ² C アドレス・バイトの設定。	R/Wバイト	N	Reg		Y	0x4F	64
MFR_SPECIAL_ID	0xE7	LTC3880 とリビジョンを表すメーカーのコード	Rワード	N	Reg			0x40X	90
MFR_IIN_OFFSET	0xE9	デバイスの IQ を計算に入れるため入力電流に加算するのに使われる係数。	R/Wワード	Y	L11	A	Y	0.050 0X9333	74
MFR_FAULT_LOG_STORE	0xEA	フォルト・ログの RAM から EEPROM への転送命令。これにより、チャンネルがフォルトでオフしたかのようにデバイスが振る舞う。	バイトを送信	N				NA	102

LTC3880/LTC3880-1

PMBus コマンドの要約

コマンドの名称	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	既定値	ページ
MFR_FAULT_LOG_CLEAR	0xEC	フォルト・ログのために予約されたEEPROMのブロックを初期化し、以前のフォルト・ログのロックをクリア。	バイトを送信	N				NA	107
MFR_READ_IIN	0xED	測定された入力電流	Rワード	Y	L11	A		NA	99
MFR_FAULT_LOG	0xEE	フォルト・ログのデータ・バイト。 このシーケンシャルに取り出されたデータを使用して完全なフォルト・ログをアセンブル。	Rブロック	N	Reg		Y	NA	102
MFR_COMMON	0xEF	複数のLTCのデバイスに共通な、メーカーによる状態ビット。	Rバイト	N	Reg			NA	97
MFR_COMPARE_USER_ALL	0xF0	現在のコマンドの内容をNVMと比較。	バイトを送信	N				NA	101
MFR_TEMPERATURE_2_PEAK	0xF4	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以来の内部のピーク・ダイ温度。	Rワード	N	L11	C		NA	100
MFR_PWM_CONFIG_LTC3880	0xF5	フェーシングを含むDC/DCコントローラの多数のパラメータを設定。	R/Wバイト	N	Reg		Y	0x10	68
MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC	0xF6	現在の検出素子の温度係数。	R/Wワード	Y	CF		Y	3900 0x0F3C	74
MFR_TEMP_1_GAIN	0xF8	外部温度センサの勾配を設定。	R/Wワード	Y	CF		Y	1.0 0x4000	76
MFR_TEMP_1_OFFSET	0xF9	-273.1°Cを基準にした外部温度センサのオフセットを設定。	R/Wワード	Y	L11	C	Y	0.0 0x8000	76
MFR_RAIL_ADDRESS	0xFA	共通パラメータを調整するためのPolyPhase出力の共通アドレス。	R/W Byte	Y	Reg		Y	0x80	64
MFR_RESET	0xFD	パワーダウンを必要としない、コマンドによるリセット。	バイトを送信	N				NA	67

Note 1: Yで示されているコマンドは、これらのコマンドがSTORE_USER_ALLおよびRESTORE_USER_ALLのコマンドを使って、それぞれ格納および復元されることを示しています。

Note 2: NAの既定値のコマンドは「不適用」を示しています。FSの既定値のコマンドは「デバイスごとに製造時に設定」を示しています。

Note 3: LTC3880にはこの表に示されていない追加コマンドがあります。これらのコマンドの読み出しはデバイスの動作には無害ですが、これらのコマンドの内容と意味は通知なしに変更されることがあります。

Note 4: 公開されていないコマンドのいくつかは読み出し専用で、書き込まれるとCMLビット6のフォルトが発生します。

Note 5: この表で公開されていないコマンドに書き込むことは許可されていません。

Note 6: コマンド名に基づいて、異なるデバイス間のコマンドの互換性を想定することはできません。コマンドの機能の完全な定義に関しては、常にメーカーの各デバイスのデータシートを参照してください。

LTCはデバイス間でコマンドの機能の互換性を保つために努めてきましたが、製品の要件を満たすため、相違が生じることがあります。

PMBus コマンドの要約

* データのフォーマット

L11	Linear_5s_11s	PMBus のデータ・フィールド b[15:0] 値 = $Y \cdot 2^N$ ここで、 $N = b[15:11]$ は 5 ビットの 2 の補数の整数、 $Y = b[10:0]$ は 11 ビットの 2 の補数の整数 例： $b[15:0] = 0x9807 = 'b10011_000_0000_0111$ では、 値 = $7 \cdot 2^{-13} = 854 \cdot 10^{-6}$ “PMBus の仕様の Part II: Paragraph 7.1” から
L16	Linear_16u	PMBus のデータ・フィールド b[15:0] 値 = $Y \cdot 2^N$ ここで、 $Y = b[15:0]$ は符号なしの整数、 $N = Vout_mode_parameter$ は 5 ビットの 2 の補数のべき数で、10 進数の -12 に固定配線されている 例： $b[15:0] = 0x4C00 = 'b0100_1100_0000_0000$ では、 値 = $19456 \cdot 2^{-12} = 4.75$ “PMBus の仕様の Part II: Paragraph 8.2” から
Reg	レジスタ	PMBus のデータ・フィールド b[15:0] または b[7:0]。 ビット・フィールドの意味は、詳細な「PMBus のコマンド・レジスタの説明」で定義されている。
I16	整数ワード	PMBus のデータ・フィールド b[15:0] 値 = Y ここで、 $Y = b[15:0]$ は 16 ビットの符号なし整数 例： $b[15:0] = 0x9807 = 'b1001_1000_0000_0111$ では、 値 = 38919 (10 進数)
CF	カスタム・フォーマット	値は、詳細な「PMBus のコマンド・レジスタの説明」で定義されている。 これは多くの場合、メーカー固有の定数によってスケール設定された符号なし整数または 2 の補数の整数である。
ASC	ASCII フォーマット	ISO/IEC 8859-1 標準規格に準拠したテキスト文字の可変長ストリング。

アプリケーション情報

最後のページの標準的応用例はLTC3880の基本的な応用回路です。LTC3880はDCR（インダクタの抵抗）による検出または低い値の抵抗による検出のどちらかを使うように構成することができます。2つの電流検出方式の間の選択は、主としてコスト、消費電力および精度の間の設計上のトレードオフです。DCRによる検出は高価な電流検出抵抗を省くことができ、特に高電流アプリケーションで電力効率が高いので普及しつつあります。LTC3880はDCR検出素子の温度依存性を名目上計算に入れることができます。電流の読み取りと電流制限の精度は一般にDCR抵抗の精度によって制限されます（LTC3880のIOUT_CAL_GAINパラメータで計算に入れます）。こうして、電流検出抵抗はアプリケーションの最も正確な電流の検出と制限を与えます。他の外付け部品の選択は負荷条件に基づいて行い、（もしR_{SENSE}が使われていれば）R_{SENSE}とインダクタ値の選択から始めます。次に、パワーMOSFETを選択します。次に、入力と出力のコンデンサを選択します。最後に、電流制限が選択されます。これらの部品と範囲は、外部補償の部品を計算する前に全て決定する必要があります。2つの範囲（25mV～50mVと37.5mV～70mV）はMFR_PWM_MODE_LTC3880コマンドのビット7によって設定されたEAの利得が異なるので、電流制限範囲が必要です。電圧RANGEビットもループの利得を変化させ、MFR_PWM_CONFIG_LTC3880のビット5とビット6によって設定される補償ネットワークに影響を与えます。プログラム可能な他の全てのパラメータはループの利得に影響を与えないので、負荷に対する過渡応答に影響を与えることなく変えることができます。

電流制限のプログラミング

LTC3880には電流制限のプログラミングの2つの範囲があり、各範囲内に合計8レベルあります。PMBusコマンドのIOUT_OC_FAULT_LIMITのセクションを参照してください。各範囲内では、エラーアンプの利得は固定されるので、一定のループ利得になります。LTC3880はインダクタのDCRを計算に入れ、インダクタの温度が変化するにつれ、自動的に電流制限を更新します。DCRの温度係数はMFR_IOUT_TCレジスタに格納されます。

最良の電流制限精度を得るには、75mVの設定値を使用します。25mVの設定値では、DCRが非常に小さいインダクタまたはセンス抵抗を使用することができますが、電流制限の精度が低下します。この動作はサイクルごとに行われ、ピーク・イン

ダクタ電流にだけ依存することに注意してください。平均インダクタ電流はADCコンバータによってモニタされ、大きすぎる平均出力電流が検出されると警告を出すことができます。ITH電圧が最大値に達すると過電流フォルトが検出されます。LTC3880内部のデジタル・プロセッサは、フォルトを無視するか、シャットダウンしてラッチオフするか、またはシャットダウンとリトライを無期限に繰り返す（ヒカップ）機能を備えています。詳細については「動作」のセクションの過電流の箇所を参照してください。

I_{SENSE}⁺ピンとI_{SENSE}⁻ピン

I_{SENSE}⁺ピンとI_{SENSE}⁻ピンは電流コンパレータおよびADCへの入力です。電流コンパレータの同相入力電圧範囲は0V～5.5Vです。両方のSENSEピンとも高インピーダンス入力で、一般に1μA未満の小さなベース電流が流れます。I_{SENSE}ピンが0Vから1.4Vにランプアップするとき、小さなベース電流がSENSEピンから流れ出します。I_{SENSE}ピンが1.4Vより上のときは、ベース電流がI_{SENSE}ピンに流れ込みます。電流コンパレータの入力は高インピーダンスなので、DCRによる正確な検出が可能です。これらのピンは通常動作の間フロートさせないでください。

I_{SENSE}ラインに共通なフィルタ部品はデバイスの近くに配置します。正負のトレースは差動で配線し、電流検出素子に4端子接続します（図17を参照）。他の場所で4端子接続ではない接続をすると、寄生インダクタンスと容量が電流検出素子に実効的に追加され、検出端子の情報が劣化して、プログラムされた電流リミットが予測不可能になることがあります。PolyPhaseシステムで検出素子の配置が良くないと、電力段の間の電流分担が最適ではなくなります。DCRによる検出を使う場合（図18a）、センス抵抗R₁をスイッチング・ノードの近くに配置して、敏感な小信号ノードへノイズが結合するのを防ぎます。コンデンサC₁をICのピンの近くに配置します。このイ

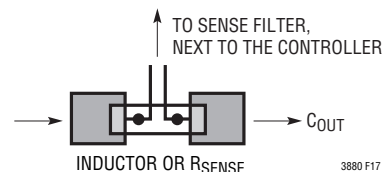


図17. 最適検出ラインの配置

アプリケーション情報

インピーダンスの差により、ADCの電流測定値の精度が失われることがあります。電流測定の精度は2つのピンのインピーダンスを整合させることにより改善することができます。これを達成するには、 V_{OUT} と I_{SENSE}^- の間に $R1$ に等しい直列抵抗を追加します。 $1\mu F$ 以上のコンデンサをこの抵抗に並列に接続します。ピーク電圧が室温で $75mV$ より小さい場合、 $R2$ は不要です。

小さな値の抵抗による電流検出

ディスクリット抵抗を使った標準的検出回路を図18bに示します。 R_{SENSE} は必要な出力電流に基づいて選択します。

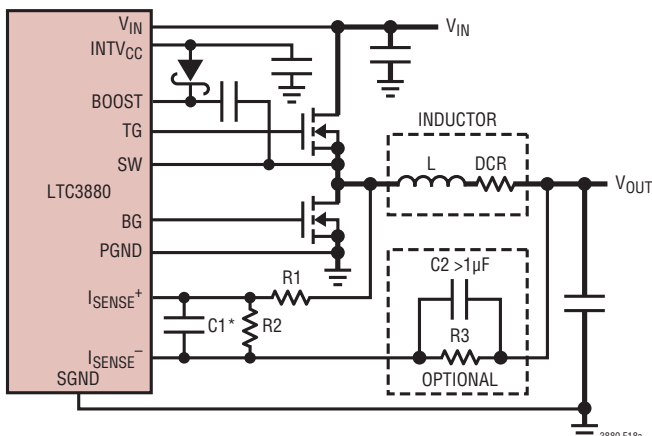
電流コンパレータの最大スレッシュホールド $V_{SENSE(MAX)}$ は I_{LIMIT} の設定によって決まります。電流コンパレータの入力同相範囲

は(V_{IN} が $6V$ より上だと) $0V \sim 5.5V$ です。電流コンパレータのスレッシュホールドによってインダクタ電流のピーク値が設定され、このピーク値からピーク・トゥ・ピーク・リップル電流 ΔI_L の半分を差し引いた値に等しい最大平均出力電流 I_{MAX} が得られます。センス抵抗の値を計算するには次式を使います。

$$R_{SENSE} = \frac{V_{SENSE(MAX)}}{I_{MAX} + \frac{\Delta I_L}{2}}$$

電流検出ループにPCBノイズが存在する可能性があるため、 $\Delta V_{SENSE} = \Delta I_L \cdot R_{SENSE}$ のAC電流検出リップルも設計でチェックして、信号対雑音比を良くする必要があります。一般に、PCBレイアウトに問題がない場合、 R_{SENSE} またはDCRのどちらの検出方式にも、出発点の控えめな値として $15mV$ の最小 ΔV_{SENSE} 電圧を推奨します。

以前の世代の電流モード・コントローラでは、最大検出電圧が十分高く(たとえば、LTC1628/LTC3728製品ファミリでは $75mV$)、センス抵抗の寄生インダクタンス両端の電圧降下は比較的小さな誤差にしかありませんでした。ただし、新しい高電流密度のソリューションでは、センス抵抗の値は $1m\Omega$ 以下のことがあり、ピーク検出電圧が $20mV$ を切ることがあります。さらに、最大 $1MHz$ の動作でインダクタのリップル電流が50%を超えることも普通になってきています。これらの条件では、センス抵抗の寄生インダクタンス両端の電圧降下はもはや無視できません。ディスクリット抵抗を使った標準的検出回路を図18bに示します。以前の世代のコントローラでは、PCBの検出トレースに結合した容量性および誘導性のノイズの影響を下げるのに、デバイスの近くに配置した小さなRCフィルタが一般に使われました。標準的フィルタは並列 $1000pF$ コンデンサに接続された2個の直列 100Ω 抵抗で構成され、時定数は $200ns$ となります。



$$[(R1 + R3) || R2] \cdot C1 = \frac{2 \cdot L}{DCR} \quad I_{OUT_CAL_GAIN} = DCR \cdot \frac{R2}{R1 + R2 + R3} \quad R3 = R1$$

*PLACE C1 NEAR SENSE+, SENSE- PINS

図18a. インダクタのDCRによる電流検出回路

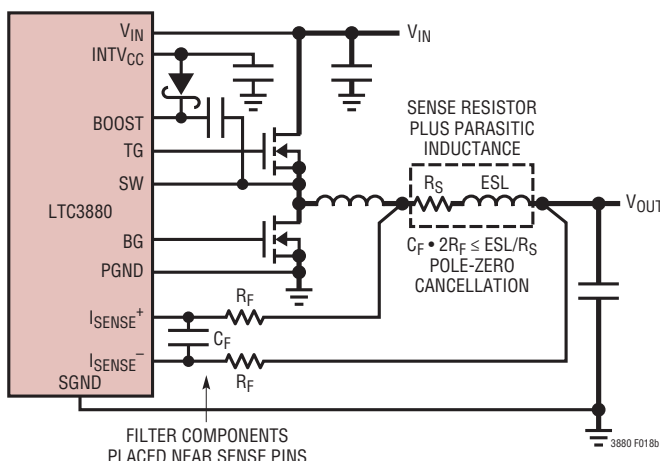


図18b. 抵抗による電流検出回路

この同じRCフィルタを(小さな修正を加えて)使って、寄生インダクタンスが存在するときの電流検出信号の抵抗成分を抽出することができます。たとえば、図19はフットプリントが 2010 の $2m\Omega$ 抵抗両端の電圧波形を示しています。この波形は純粋に抵抗性の成分と純粋に誘導性の成分を重ね合わせたものです。これは、差動測定を行うため、オシロスコープの2つのプローブと波形計算を使用して測定しています。インダクタ

アプリケーション情報

のリップル電流およびトップ・スイッチのオン時間とオフ時間の追加測定に基づき、次式を使って寄生インダクタンスの値が0.5nHであると計算されました。

$$ESL = \frac{V_{ESL(STEP)} \cdot t_{ON} \cdot t_{OFF}}{\Delta I_L \cdot (t_{ON} + t_{OFF})} \quad (1)$$

寄生インダクタンスをセンス抵抗で割った値(L/R)に近くなるようにRC時定数を選択すると、その結果得られる波形は、図20に示されているように、抵抗性に見えます。低い最大検出電圧を使うアプリケーションでは、寄生インダクタンスの情報に関して、センス抵抗メーカーのデータシートをチェックしてください。データが存在しない場合、センス抵抗両端で直接電圧降下を測定し、ESLステップの大きさを抽出し、式1を使ってESLを求めます。ただし、信号をフィルタしすぎないでください。RC時定数をインダクタの時定数以下に保って、 V_{RSENSE} の十分なリップル電圧を維持し、電流ループ・コントローラの動作を最適にします。

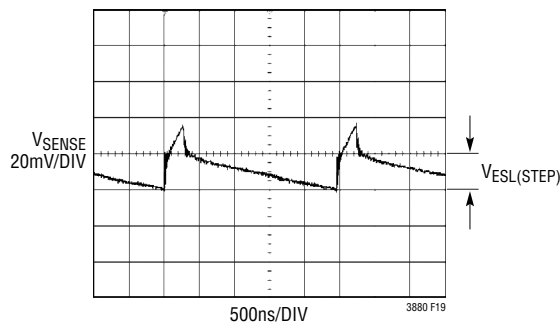


図19. R_{SENSE} 両端で直接測定した電圧

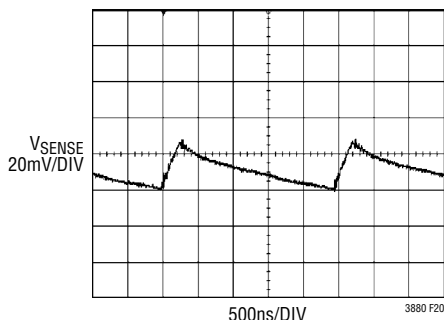


図20. R_{SENSE} フィルタの後ろで測定した電圧

インダクタのDCRによる電流検出

高負荷電流で可能な最高効率を必要とするアプリケーションでは、図18aに示されているように、LTC3880はインダクタのDCR両端の電圧降下を検出することができます。インダクタのDCRは小さな値の銅のDC巻線抵抗を表し、最近の値の低い高電流インダクタでは1mΩより小さいことがあります。このようなインダクタを必要とする高電流アプリケーションでは、センス抵抗による導通損失はDCRによる検出に比べると数ポイントの効率低下になるでしょう。

外部の $(R1+R3) \parallel R2 \cdot C1$ の時定数が正確に $2 \cdot L/DCR$ の時定数に等しくなるように選択し、 $R1 = R3$ と仮定すると、外部コンデンサ両端の電圧降下はインダクタのDCR両端の電圧降下に $R2 / (R1 + R2 + R3)$ を掛けたものに等しくなります。 $R2$ は、目標とするセンス抵抗の値よりDCRが大きなアプリケーションの検出端子両端の電圧のスケールを設定します。DCRの値は、 $R2$ が必要でない限り、 $IOUT_CAL_GAIN$ としてmΩを単位として入力されます。 $R2$ が使われる場合は、 $IOUT_CAL_GAIN = DCR \cdot R2 / (R1 + R2 + R3)$ です。信号を減衰させる必要がなければ、 $R2$ を取り去ることができます。外部フィルタ部品の大きさを適切に定めるには、インダクタのDCRを知る必要があります。これは十分な性能のRLCメーターを使って測定することができますが、DCRの許容誤差は常に同じではなく、温度によって変化します。詳細については、メーカーのデータシートを参照してください。 $MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC$ レジスタに正しいパラメータが入れられると、LTC3880は温度変化を計算に入れます。一般に抵抗の温度係数は3900ppm/°Cです。

平坦な周波数応答を得るために $C2$ を最適化することができます。 $R1 = R3$ と仮定すると、次式のようになります。

$$C2 = [2R1 \cdot R2 \cdot C1 - L/DCR \cdot (2R1 + R2)]/R1^2$$

「インダクタの値の計算」のセクションのインダクタ・リップル電流値を使うと、目標センス抵抗値は次のようになります。

$$R_{SENSE(EQUIV)} = \frac{V_{SENSE(MAX)}}{I_{MAX} + \frac{\Delta I_L}{2}}$$

アプリケーションが全動作温度範囲にわたって最大負荷電流を確実に供給できるように、入力された $MFR_IOUT_CAL_GAIN$ パラメータに対するDCRの誤差を計算に入れた最適な I_{LIMIT} 値を必ず選択します。

アプリケーション情報

次に、インダクタのDCRを決めます。与えられていれば、メーカーの(通常20°Cで与えられている)最大値を使います。この値を増やして、温度検出素子の3°C~5°Cの誤差と、温度センサ素子のインダクタへの近さに関連した追加誤差を計算に入れます。

最大インダクタDCRを望みのセンス抵抗値に合わせてスケールを調整するには、次の分圧器の比を使います。

$$RD = \frac{R_{\text{SENSE(EQUIV)}}}{DCR_{\text{(MAXERROR)}} \text{ at } T_L(\text{MAX})}$$

C1は、0.047μF~4.7μFの範囲で通常選択します。これにより、R1||R2は約2kに強制されます。この抵抗は、SENSEピンのリーク電流によって生じる誤差を最小に抑えます。図18aに示されているオプションの素子R3とC2を追加すると、これらのリーク電流に関連したオフセット誤差が最小に抑えられます。

等価抵抗(R1+R3)||R2は、室温のインダクタンスと最大DCRに対して次のようにスケール調整されます。

$$(R1+R3)||R2 = \frac{2 \cdot L}{(DCR \text{ at } 20^\circ\text{C}) \cdot C1}$$

センス抵抗値は次のようになります。

$$R1=R3; R1 = \frac{R1||R2}{RD}; R2 = \frac{R1 \cdot RD}{1-RD}$$

R1の最大電力損失はデューティ・サイクルに関係し、連続モードの最大入力電圧で生じます。

$$P_{\text{Loss R1}} = \frac{(V_{\text{IN(MAX)}} - V_{\text{OUT}}) \cdot V_{\text{OUT}}}{R1}$$

R1の電力定格がこの値より大きいことを確認します。軽負荷で高い効率が必要なら、DCRによる検出とセンス抵抗のどちらを使うか決定するとき、この電力損失を検討します。軽負荷での電力損失は、R1によって生じる余分のスイッチング損失のため、センス抵抗の場合よりDCRネットワークの方が少し高いことがあります。ただし、DCRによる検出ではセンス抵抗が取り除かれるので、導通損失が減少し、重負荷で効率が改善されます。ピーク効率はどちらの方法でもほぼ同じです。Burst Mode動作または不連続モードを選択すると、電流検出方法に無関係に、低負荷でのコンバータの効率が改善されます。

電流検出信号の信号対雑音比を良好に保つには、10mV~15mVの最小ΔV_{SENSE}を使います。DCR検出アプリケーションでは、実際のリップル電圧は次式で求められます。

$$\Delta V_{\text{SENSE}} = \frac{V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}}}{R1 \cdot C1} \cdot \frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}} \cdot f_{\text{OSC}}}$$

スローブ補償とインダクタのピーク電流

スローブ補償により、高いデューティ・サイクルでの低調波発振が防止されるので、固定周波数電流モードアーキテクチャの安定性が得られます。これは、35%を超えるデューティ・サイクルのインダクタ電流信号に補償ランプを追加することにより内部で実現されます。LTC3880は、補償ランプに対抗する、特許を取得した電流制限手法を使用しています。これにより、最大インダクタ・ピーク電流は、全てのデューティ・サイクルにわたって影響を受けずに保たれます。

インダクタの値の計算

所期の入力電圧と出力電圧が与えられると、インダクタ値と動作周波数f_{OSC}によって直ちにインダクタのピーク・トゥ・ピーク・リップル電流が決まります。

$$I_{\text{RIPPLE}} = \frac{V_{\text{OUT}} (V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}})}{V_{\text{IN}} \cdot f_{\text{OSC}} \cdot L}$$

リップル電流が小さいと、インダクタのコア損失、出力コンデンサのESR損失、さらに出力電圧リップルが減少します。したがって、最も低い周波数で、リップル電流の低い最も効率の高い動作が実現されます。ただし、これを達成するには大きなインダクタが必要です。

妥当な出発点として、I_{OUT(MAX)}の約40%のリップル電流を選択します。入力電圧が最大のときに最大リップル電流が生じることに注意してください。リップル電流が規定された最大値を超えないように保証するには、次式に従ってインダクタを選択します。

$$L \geq \frac{V_{\text{OUT}} (V_{\text{IN}} - V_{\text{OUT}})}{V_{\text{IN}} \cdot f_{\text{OSC}} \cdot I_{\text{RIPPLE}}}$$

アプリケーション情報

インダクタのコアを選択

インダクタの値が決まったら、次にインダクタの種類を選択します。一定のインダクタの値に対してコア損失はコア・サイズには依存せず、インダクタンスに大きく依存します。インダクタンスが増加するとコア損失が低下します。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るため残念ながら銅損失が増加します。

フェライトを使用した設計ではコア損失がきわめて小さく、高いスイッチング周波数に適しているため、設計目標を銅損と飽和を防ぐことに集中することができます。フェライト・コアの材質はハードに飽和します。つまり、最大設計ピーク電流を超えると、インダクタンスが急激に低落します。その結果、インダクタのリップル電流が突然増加し、そのため出力電圧リップルが増加します。コアを飽和させないでください。

パワー MOSFET とショットキー・ダイオード (オプション) の選択

LTC3880 の各コントローラに2つの外部パワー MOSFET を選択する必要があります。トップ (メイン) スイッチ用およびボトム (同期) スイッチ用にそれぞれ1個のNチャネル MOSFET です。

ピーク・トゥ・ピークのドライブ・レベルはINTV_{CC} 電圧で設定されます。この電圧は標準で5Vです。したがって、ほとんどのアプリケーションではロジック・レベルのスレッシュホールドの MOSFET を使用する必要があります。唯一の例外は、低い入力電圧 ($V_{IN} < 5V$) が予定されている場合、サブロジック・レベルのスレッシュホールドの MOSFET ($V_{GS(TH)} < 3V$) を使います。MOSFET の BV_{DSS} の仕様にも十分注意を払ってください。ほとんどのロジック・レベル MOSFET は30V 以下に制限されています。

パワー MOSFET の選択基準には、オン抵抗 $R_{DS(ON)}$ 、ミラー容量 C_{MILLER} 、入力電圧、および最大出力電流が含まれます。ミラー容量 C_{MILLER} は MOSFET のメーカーのデータシートで通常与えられているゲート電荷曲線から推定することができます。 C_{MILLER} は、曲線がほぼ平らな区間の水平軸に沿ったゲート電荷の増分を、 V_{DS} の規定変化量で割ったものに等しくなります。次に、この結果に、アプリケーションで与えら

る V_{DS} とゲート電荷曲線で規定されている V_{DS} との比を掛けます。このデバイスが連続モードで動作しているときのトップ MOSFET とボトム MOSFET のデューティ・サイクルは以下の式で与えられます。

$$\text{Main Switch Duty Cycle} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$$

$$\text{Synchronous Switch Duty Cycle} = \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{V_{IN}}$$

最大出力電流での MOSFET の電力損失は次式で与えられます。

$$P_{MAIN} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} (I_{MAX})^2 (1 + \delta) R_{DS(ON)} + (V_{IN})^2 \left(\frac{I_{MAX}}{2} \right) (R_{DR}) (C_{MILLER}) \cdot \left[\frac{1}{V_{INTVCC} - V_{TH(MIN)}} + \frac{1}{V_{TH(MIN)}} \right] \cdot f_{OSC}$$

$$P_{SYNC} = \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{V_{IN}} (I_{MAX})^2 (1 + \delta) R_{DS(ON)}$$

ここで、 δ は $R_{DS(ON)}$ の温度係数、 R_{DR} (約 2Ω) は MOSFET のミラー・スレッシュホールド電圧での実効ドライブ抵抗です。 $V_{TH(MIN)}$ は標準的な MOSFET の最小スレッシュホールド電圧です。

I^2R 損失は両方の MOSFET に共通していますが、トップサイド Nチャネルの式には追加の遷移損失の項があり、これは入力電圧が高いときに最も高くなります。 $V_{IN} < 20V$ では、高電流のときの効率は一般に大型 MOSFET を使用すると向上しますが、 $V_{IN} > 20V$ では遷移損失が急激に上昇し、実際には C_{MILLER} が小さくて $R_{DS(ON)}$ が大きなデバイスを使用する方が効率が上がるポイントにまで達します。同期 MOSFET の損失は、トップ・スイッチのデューティ・ファクタが低くなる高入力電圧で、または同期スイッチが周期の100% 近くオンになる短絡時に最も大きくなります。

MOSFET の場合の $(1 + \delta)$ の項は一般に「正規化された $R_{DS(ON)}$ と温度」の曲線と与えられますが、低電圧 MOSFET の場合の近似値として $\delta = 0.005/^\circ C$ を使用することができます。

アプリケーション情報

オプションのショットキー・ダイオードは、2つのMOSFETの導通期間と導通期間の間のデッドタイム中にだけ導通します。これらによって、ボトムMOSFETのボディ・ダイオードがデッドタイム中にオンして電荷を蓄積するのを防止し、 V_{IN} が高いときに効率が3%ほど低下する原因となる逆回復時間を不要にします。1A～3Aのショットキー・ダイオードは平均電流が比較的小さいため、両方の動作領域にとって一般に妥当な選択といえます。これより大きなダイオードは接合容量が大きいため遷移損失が増加します。

可変遅延時間、ソフトスタートおよび出力電圧ランプ

LTC3880はソフトスタート前に実行状態に入る必要があります。RUNピンは、デバイスが初期化され、 V_{IN} がVIN_ONスレッシュホールドを超えた後リリースされます。アプリケーションで複数のLTC3880を使用する場合、同じRUNピンを共有するように構成します。それらは、全てのデバイスが初期化され、 V_{IN} が全てのデバイスのVIN_ONスレッシュホールドを超えるまで、それぞれのRUNピンを“L”にホールドします。SHARE_CLKピンは、この信号に接続されている全てのデバイスが確実に同じ時間ベースを使うようにします。

RUNピンがリリースされた後、コントローラはユーザが指定するターンオン遅延(TON_DELAY)だけ待ってから、出力電圧のランプを開始します。複数のLTC3880と他のLTCのデバイスを、可変遅延時間でスタートするように構成することができます。正しく動作するには、全てのデバイスが同じタイミング・クロック(SHARE_CLK)を使い、全てのデバイスがRUNピンを共有する必要があります。これにより、全てのデバイスの相対遅延を同期させることができます。遅延の実際のばらつきは、SHARE_CLKピンに接続されているデバイスの最高クロック・レートに依存します(リニアテクノロジーの全てのICは、最速のSHARE_CLK信号が全てのデバイスのタイミングを制御するように構成されています)。SHARE_CLK信号は周波数が $\pm 10\%$ 変動する可能性があるため、実際の遅延時間にはいくらかの偏差があります。

デジタル的に目標電圧を0Vからコマンドによって指定された電圧設定ポイントまでランプしながら、アクティブに負荷電圧の安定化を行うことにより、ソフトスタートが実行されます。スタートアップの電圧ランプに関連した突入電流を最小に抑えるため、電圧ランプの立ち上がり時間は、TON_RISEコマンドを使ってプログラムすることができます。ソフトスタート機能は、TON_RISEを0.250ms未満の値に設定することに

よりデイスエーブルされます。LTC3880は必要な計算を内部で行い、確実に電圧ランプを望みの勾配に制御します。ただし、電圧勾配を電力段の基本的リミットより速くすることはできません。TON_RISE時間を短く設定するほど、TON_RISEのランプは鋸歯状に見えます。ランプのステップ数はTON_RISE/0.1msに等しくなります。

LTC3880のPWMは、TON_RISE動作の間、常に不連続モードを使います。不連続モードでは、インダクタに逆電流が検出されるや否や、ボトムゲートがオフします。これにより、レギュレータは予めバイアスされている負荷に対して起動することが可能になります。

LTC3880にはトラッキング機能はありませんが、2つの出力に同じTON_RISE時間とTON_DELAY時間を与えて、実効的に同じ時間でランプアップさせることができます。RUNピンは同じ時間にリリースされ、両方のユニットが同じ時間ベースを使うので、出力は近接してトラッキングします。回路がPolyPhase構成の場合、全てのタイミング・パラメータが同じでなければなりません。

説明されている起動シーケンス制御の方法は時間をベースにしています。連結されたイベントの場合、異なるコントローラのGPIOピンをベースにして、RUNピンを制御することが可能です。GPIOピンは、コンバータの出力電圧がVOUT_UV_FAULT_LIMITより大きいとき、リリースするように構成することができます。コンバータがUVスレッシュホールドを横切ってからGPIOピンがリリースされるまでに、気づくほどの遅延時間は存在しないので、フィルタされていないVOUT UVフォルト・リミットを使うことを推奨します。フィルタされていない出力は、MFR_GPIO_PROPAGATE_VOUT_UVUF (PGOOD)コマンドを使ってイネーブルすることができます。(この文書のPMBusコマンドのMFRのセクションを参照してください)。フィルタされていない信号には、VOUT信号がコンパレータのスレッシュホールドを通過するときいくらかグリッチが生じることがあります。この問題を最小に抑えるために、250 μ sの小さな内部デジタル・フィルタが追加されています。GPIOピンのグリッチのリスクを最小に抑えるには、TON_RISE時間を100ms未満にします。それでもGPIOに不要の遷移が生じるなら、GPIOピンからグランドにコンデンサを接続して波形をフィルタします。フィルタのRC時定数は、目につく遅延が生じないように十分速く設定します。300 μ s～500 μ sの値は、トリガ・イベントを大きく遅らせることなく、追加のいくらかのフィルタ機能を与えます。

アプリケーション情報

デジタル・サーボ・モード

安定化出力電圧の最大精度を得るため、MFR_PWM_MODE_LTC3880 コマンドのビット6をアサートして、デジタル・サーボ・ループをイネーブリングします。デジタル・サーボ・モードでは、LTC3880はADCの電圧測定値に基づいて安定化出力電圧を調整します。100msごとに、デジタル・サーボ・ループは、出力が正しいADCの測定値になるまで、DACのLSB (電圧レンジ・ビットに依存して公称1.375mVまたは0.6875mV)をステップさせます。パワーアップ時、このモードは、リミットが0(無限)に設定されていない限り、TON_MAX_FAULT_LIMIT経過後に有効になります。TON_MAX_FAULT_LIMITが0(無限)に設定されていると、TON_RISEが完了し、VOUTがVOUT_UV_FAULT_LIMITを超えた後、IOUT_OCが存在しなければ、サーボが開始されます。この同じ時点に、不連続から、MFR_PWM_MODE_LTC3880のビット0とビット1で示されているプログラムされたモードへ、出力が変化します。時間ベースのシーケンス制御のVOUT波形の詳細については、図21を参照してください。

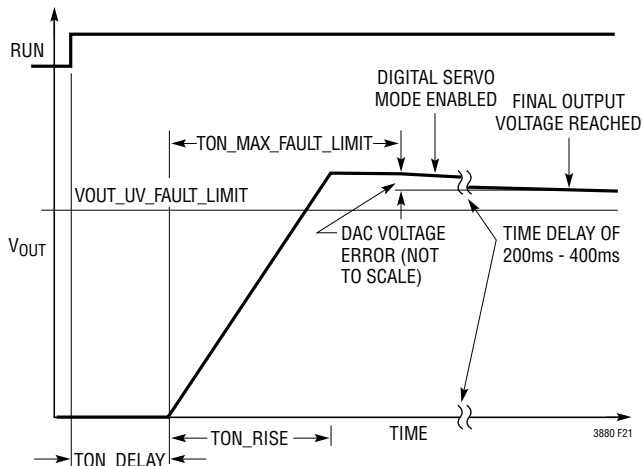


図21. タイミングを制御されたV_{OUT}の上昇

TON_MAX_FAULT_LIMITが0より大きな値に設定され、TON_MAX_FAULT_RESPONSEが、0x00を無視するように設定されていると、以下のときサーボが開始されます。

1. TON_RISEシーケンス完了後
2. TON_MAX_FAULT_LIMIT時間に達した後、さらに
3. VOUT_UV_FAULT_LIMITを超えるか、またはIOUT_OC_FAULT_LIMITがもはやアクティブではなくなった後

TON_MAX_FAULT_LIMITが0より大きな値に設定され、TON_MAX_FAULT_RESPONSEが、0x00を無視するように設定されていないと、以下のときサーボが開始されます。

1. TON_RISEシーケンス完了後
2. TON_MAX_FAULT_LIMIT時間が経過した後、VOUT_UV_FAULTとIOUT_OC_FAULTの両方が存在しない

最大立ち上がり時間は1.3秒に制限されています。

PolyPhase構成では、制御ループの1つだけデジタル・サーボ・モードをイネーブリングすることを推奨します。これにより、リファレンス回路のわずかな違いにより、様々なループが相互に競合しないようにします。

ソフトオフ(シーケンス制御されたオフ)

制御されたスタートアップに加えて、LTC3880は制御されたターンオフもサポートします。TOFF_DELAY機能とTOFF_FALL機能を図22に示します。TOFF_FALLは、RUNピンが“L”になるか、またはデバイスがコマンドによってオフすると処理されます。デバイスがフォルトによってオフするか、GPIOが外部から“L”に引っ張られてデバイスがこれにตอบสนองするようにプログラムされていると、出力は制御されたランプを示さず、スリーステートになります。出力は負荷の関数として減衰します。

デバイスが強制連続モードにあり、TOFF_FALL時間が十分低速なので電源段が望みの勾配を達成できる限り、出力電圧は図22に示されているように動作します。TOFF_FALL時間は、電力段とコントローラが十分な電流をシンクして、立ち上がり時間の終わりまでに出力がゼロボルトになる場合にだけ満たすことができます。TOFF_FALL時間が負荷容量を放電するのに必要な時間より短く設定されていると、出力は望み

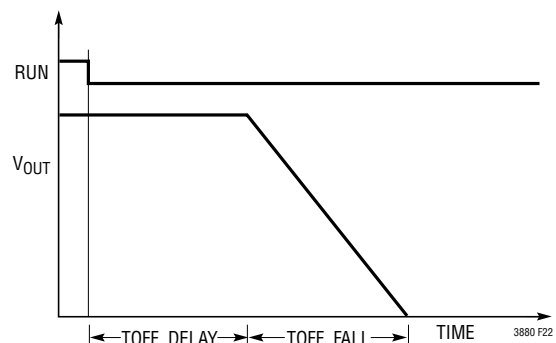


図22. TOFF_DELAYとTOFF_FALL

アプリケーション情報

のゼロボルト状態に達しません。TOFF_FALLの終わりに、コントローラは電流をシンクすることを止め、V_{OUT}は負荷インピーダンスによって決まる自然なレートで減衰します。コントローラが不連続モードだと、コントローラは負電流を流さず、出力は電力段ではなく負荷によってプルダウンされます。最大立ち下がり時間は1.3秒に制限されています。TOFF_FALL時間を短く設定するほど、TOFF_FALLのランプは鋸歯状に見えます。ランプのステップ数はTOFF_FALL/0.1msに等しくなります。

INTV_{CC}レギュレータ

LTC3880はNPNリニア・レギュレータを備えており、V_{IN}電源からINTV_{CC}に電力を供給します。INTV_{CC}は、ゲート・ドライバ、V_{DD33}およびLTC3880の内部回路の大部分に電力を供給します。リニア・レギュレータはV_{IN}が6.5Vを超えているときINTV_{CC}ピンに5Vの電圧を生成します。このレギュレータは100mAのピーク電流を供給することができ、最小1μFのセラミック・コンデンサまたは低ESR電解コンデンサでグラウンドにバイパスする必要があります。どんな種類のバルク・コンデンサを使うにしても、追加の0.1μFセラミック・コンデンサをINTV_{CC}ピンとPGNDピンに隣接して接続することを推奨します。MOSFETゲート・ドライバに必要な高い過渡電流を供給し、チャネル間の相互反応を防止するため、十分なバイパスが必要です。LTC3880-1にはNPNリニア・レギュレータはなく、外部5V電源が必要です。

大きなMOSFETが高い周波数でドライブされる高入力電圧アプリケーションでは、LTC3880の最大接合部温度定格を超えるおそれがあります。INTV_{CC}電流(その大きな部分はゲート充電電流)は、内部の5Vリニア・レギュレータまたはLTC3880-1では外部の5Vレギュレータによって供給することができます。内部リニア・レギュレータを起動させた状態でLTC3880を使う場合、デバイスの電力はV_{IN}・I_{INTVCC}になります。「効率に関する検討事項」のセクションで説明されているように、ゲート電荷電流は動作周波数に依存します。接合部温度は「電気的特性」のNote 2の式を使って推算することができます。たとえば、LTC3880のINTV_{CC}電流は、24Vの電源では69mA未満に制限されます。

$$T_J = 70^\circ\text{C} + 69\text{mA} \cdot 24\text{V} \cdot 33^\circ\text{C/W} = 125^\circ\text{C}$$

最大接合部温度を超えるのを防ぐため、LTC3880-1を使うことができます。LTC3880-1では、INTV_{CC}リニア・レギュレータはディスエーブルされており、約2mAの電流が内部でV_{IN}から供給されます。5Vスイッチング・レギュレータからEXTV_{CC}ピンに給電することにより、大きなシステム効率と熱的利点が得られます。ゲート・ドライバと制御回路から生じるV_{IN}電流は次の係数でスケール調整されます。

$$\left(\frac{V_{\text{EXTVCC}}}{V_{\text{IN}}} \right) \left(\frac{1}{\text{Efficiency}} \right)$$

EXTV_{CC}ピンを5V電源に接続すると、(LTC3880-1のみ)前の例の接合部温度は125°Cから次の値にまで下がります。

$$T_J = 70^\circ\text{C} + 69\text{mA} \cdot 5\text{V} \cdot 33^\circ\text{C/W} + 2\text{mA} \cdot 24\text{V} \cdot 33^\circ\text{C/W} = 83^\circ\text{C}$$

INTV_{CC}は外部電源を高く引き上げようとして電流リミットに達し、ダイ温度が大きく上がるので、LTC3880のINTV_{CC}を外部電源に接続しないでください。

V_{IN}が5Vのアプリケーションでは、V_{IN}ピンとINTV_{CC}ピンと一緒に結線し、結合されたこれらのピンを、図23に示されているように1Ωまたは2.2Ωの抵抗を使って5V入力に接続します。ゲート充電電流によって生じる電圧降下を最小に抑えるため、低ESRのコンデンサをV_{IN}/INTV_{CC}(EXTV_{CC})ピンに接続する必要があります。この構成は、INTV_{CC}(EXTV_{CC})リニア・レギュレータをオーバーライドし、INTV_{CC}(EXTV_{CC})が低くなりすぎるのを防ぎます。INTV_{CC}(EXTV_{CC})電圧がMOSFETのR_{DS(ON)}テスト電圧(ロジック・レベルのデバイスの場合標準4.5V)より高いことを確認します。INTV_{CC}(EXTV_{CC})のUVLOは約4Vに設定されています。LTC3880とLTC3880-1の両方ともこの構成に対して有効です。

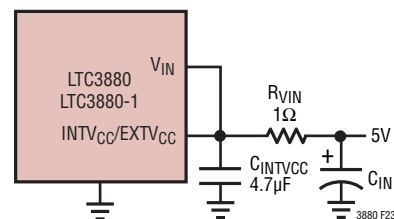


図23. 5V入力の設定

アプリケーション情報

トップサイド MOSFET ドライバの電源 (C_B、D_B)

BOOSTピンに接続された外部ブートストラップ・コンデンサ C_Bは、トップサイド MOSFET にゲート・ドライブ電圧を供給します。SWピンが“L”のとき、「ブロック図」のコンデンサ C_Bが INTV_{CC} から外部ダイオード D_B を通して充電されます。トップサイド MOSFET の1つをオンさせるとき、ドライバはその MOSFET のゲート・ソース間に C_B の電圧を印加します。これによって MOSFET が導通し、トップサイド・スイッチがオンします。スイッチ・ノード電圧 (SW) が V_{IN} まで上昇し、それによって BOOSTピンが上昇します。トップ MOSFET がオンしているとき、ブースト電圧は入力電源より高くなります (V_{BOOST} = V_{IN} + V_{INTVCC})。昇圧コンデンサ C_B の値としてはトップサイド MOSFET の全入力容量の 100 倍が必要です。外部ショットキー・ダイオードの逆ブレイクダウン電圧は V_{IN (MAX)} より大きくなければなりません。ゲート・ドライブ・レベルは最終的にはレギュレータの総入力電流に基づいて調整します。何かを変更した結果入力電流が減少すれば効率が改善されています。入力電流に変化がなければ効率にも変化がありません。

高い V_{IN}/V_{OUT} 比で動作するデザインでは、PWM ジッタが観察されることがあります。このジッタは回路の精度にはそれほど影響を与えません。図 24 を参照して、ダイオードのカソードと BOOST_n ピンの間に値が 1Ω ~ 5Ω の直列抵抗を挿入することにより、PWM ジッタを除去することができます。ESL を減らして最良の結果を達成するため、0603 のケースサイズ以上の抵抗を推奨します。

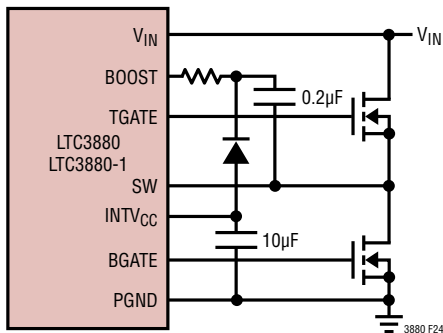


図 24. PWM ジッタを最小にする昇圧回路

低電圧ロックアウト

LTC3880 は、内部スレッショルドに基づく UVLO によって初期化されます。ここで、V_{IN} は約 4V でなければならず、INTV_{CC}/EXTV_{CC}、V_{DD33}、V_{DD25} はレギュレーション値の約 20% 以内でなければなりません。さらに、V_{DD33} は、RUNピンがリリースされる前に、目標値の約 7% 以内になければなりません。デバイスの初期化が終わった後、別のコンパレータが V_{IN} をモニタします。出力電源シーケンシングが開始可能になるには、その前に VIN_ON スレッショルドを超える必要があります。V_{IN} が VIN_OFF スレッショルドより下になると RUNピンが“L”になり、コントローラが再スタートする前に、V_{IN} は VIN_ON スレッショルドより上になる必要があります。VIN_ON スレッショルドを横切った後、通常のスタートアップ・シーケンスが可能になります。

V_{DD33} 電源を外部からドライブすると、アプリケーションの NVM の内容をプログラムすることが可能です。これにより、高電圧セクションを起動することなく、LTC3880 のデジタル部分が起動します。この電源構成で PMBus 通信が有効です。LTC3880 に V_{IN} が与えられていないと、MFR_COMMON のビット 3 (NVM が初期化されていない) が“L”にアサートされます。この状態が検出されると、デバイスはアドレス 5A と 5B にのみ応答します。デバイスを初期化するには、コマンドセット (グローバル・アドレス 0x5B を使ったコマンド 0xBD とデータ 0x2B に続いてグローバル・アドレス 5B を使ったコマンド 0xBD とデータ 0xC4) を発行します。これにより、デバイスは正しいアドレスに応答します。必要に応じてデバイスを設定し、STORE_USER_ALL コマンドを発行してください。V_{IN} が与えられた後、MFR_RESET を出して PWM をイネーブルし、有効な A/D 読み出しを可能にします。

C_{IN} と C_{OUT} の選択

C_{IN} の選択は、2 フェーズ・アーキテクチャと、入力回路 (バッテリー/ヒューズ/コンデンサ) を流れるワーストケース RMS 電流へのこのアーキテクチャの影響によって単純化されます。コンデンサのワーストケース RMS 電流はコントローラが片方だけ動作しているときに流れることを示すことができます。最大 RMS コンデンサ電流の条件を求めるには、下の式で V_{OUT} と I_{OUT} の積が最大になる方のコントローラを使用する必要があります。他方のコントローラから引き出される出力電流を増やすと、入力 RMS リプル電流が実際にはその最大値から減少

アプリケーション情報

します。位相をシフトする方式では、1フェーズの電源ソリューションと比較すると、入力コンデンサのRMSリップル電流が一般に30%～70%ほど減少します。

連続モードでは、トップMOSFETのソース電流は、デューティ・サイクルが V_{OUT}/V_{IN} の方形波になります。大きな過渡電圧を防止するには、1つのチャンネルの最大RMS電流に対応できる容量の低ESRコンデンサを使用します。コンデンサの最大RMS電流は次式で与えられます。

$$C_{IN} \text{ Required } I_{RMS} \approx \frac{I_{MAX}}{V_{IN}} \left[(V_{OUT})(V_{IN} - V_{OUT}) \right]^{1/2}$$

この式は $V_{IN} = 2V_{OUT}$ のとき最大値をとり、 $I_{RMS} = I_{OUT}/2$ となります。大きく変化させてもそれほど状況が改善されないため、一般にはこの単純な最悪条件が設計に使用されます。多くの場合、コンデンサ・メーカーはリップル電流定格をわずかに2000時間の寿命時間によって規定しています。このため、コンデンサをさらにデレーティングする、つまり要求条件よりも高い温度定格のコンデンサを選択するようにしてください。サイズまたは高さの設計条件に適合させるため、複数のコンデンサを並列に接続することができます。LTC3880は動作周波数が高いので、 C_{IN} にセラミック・コンデンサを使用することもできます。疑問点については必ずメーカーに問い合わせてください。

LTC3880の2フェーズ動作の利点は、電力の高い方のコントローラに対する上式を使用し、次に両方のコントローラが同時にオンするとき生じるであろう損失を計算することによって評価することができます。両方のコントローラが動作しているときは、入力コンデンサのESRを流れる電流パルスの重なった部分の減少により、合計RMS電力損失が減少します。この理由により、ワーストケースのコントローラについて上で計算した入力コンデンサの条件はデュアル・コントローラ的设计に対して適切です。また、2フェーズ・システムにおけるピーク電流の減少により、入力保護ヒューズの抵抗損失、バッテリーの抵抗損失、および基板トレースの抵抗損失も減少します。マルチフェーズ設計の総合的な利点は、電源/バッテリーのソース・インピーダンスを効率テストに含めるときに初めて完全に把握されます。トップMOSFETのソースは互いに1cm以内に配置し、共通 C_{IN} を共有させます。ソースと C_{IN} を離すと、 V_{IN} に望ましくない電圧共振や電流共振を生じる可能性があります。

小さな(0.1 μ F～1 μ F)バイパス・コンデンサをLTC3880に近づけて、デバイスの V_{IN} ピンとグランド間に配置することも推奨します。 C_{IN} (C1)と V_{IN} ピンの間に2.2 Ω ～10 Ω の抵抗を置くことで2つのチャンネルはさらに分離されます。

C_{OUT} は等価直列抵抗(ESR)に基づいて選択します。一般に、ESRの要件が満たされると、その容量はフィルタ機能にとって十分です。出力リップル(ΔV_{OUT})は次式で近似できます。

$$\Delta V_{OUT} \approx I_{RIPPLE} \left(ESR + \frac{1}{8fC_{OUT}} \right)$$

ここで、 f は動作周波数、 C_{OUT} は出力容量、 I_{RIPPLE} はインダクタのリップル電流です。 I_{RIPPLE} は入力電圧に応じて増加するため、出力リップルは入力電圧が最大のときに最も高くなります。

フォルト状態

LTC3880の \overline{GPIO}_n ピンは、OV/UV、OC、OT、タイミング・フォルト、ピーク過電流フォルトなど、様々なフォルトを表示するように構成することができます。さらに、外部ソースによって \overline{GPIO}_n ピンを“L”に引き下げて、システムのどこか他の部分のフォルトを表示することができます。フォルト応答は構成設定可能で、以下のオプションが可能です。

- 無視
- 直ちにシャットダウン—ラッチオフ
- 直ちにシャットダウン—MFR_RETRY_DELAYで指定されたインターバル時間で無期限にリトライ

詳細については、このデータシートの「PMBus」のセクションやPMBusの仕様を参照してください。

OVに対する応答は自動的で、実際上は即座に行われます。OVが検出されると、TGが“L”になり、BGがアサートされます。

LTC3880ではフォルト・ログ機能を利用できます。フォルト・ログ機能は、ユニットをオフするようなフォルトが生じると自動的にデータを格納するように設定することができます。フォルト・ログ機能の表のヘッダーの部分にはピーク値が含まれています。これらの値はいつでも読み出すことができます。このデータは、フォルトのトラブルシューティングに役立ちます。

LTC3880の内部温度が85°Cを超える場合、NVMへの書き込みは推奨しません。それでも、3.3V電源がUVLOスレッシュホールドに達しない限り、データはRAMに保持されます。ダイ温度が130°Cを超えると、ダイ温度が120°Cより下になるまで、全てのNVM通信が遅らされます。

アプリケーション情報

オープン・ドレイン・ピン

LTC3880には以下のオープン・ドレインのピンがあります。

3.3Vピン

1. $\overline{\text{GPIO}}_n$
2. SYNC
3. SHARE_CLK

5Vピン(5Vピンは3.3Vに引き下げられたとき、正しく動作します。)

1. RUN $_n$
2. $\overline{\text{ALERT}}$
3. SCL
4. SDA

上の全てのピンは、0.4Vで3mAをシンクすることができるプルダウン・トランジスタを内部に備えています。ピンの“L”のスレッシュホールドは1.4Vなので、3mAの電流で、デジタル信号に対して大きなマージンがあります。3.3Vのピンでは、3mAの電流は1.1kの抵抗をプルダウンできます。プルアップ抵抗とグラウンドへの寄生容量のRC時定数に関連する遷移速度の問題がない限り、10k以上の抵抗を一般に推奨します。

SDA、SCL、SYNCなどの高速信号の場合、もっと値の低い抵抗が必要になることがあります。RC時定数は、タイミングの問題を防ぐため、要求される立ち上がり時間の1/3～1/5に設定します。100pFの負荷および400kHzのPMBusの通信速度では、立ち上がり時間は300ns未満である必要があります。時定数を立ち上がり時間の1/3に設定するとき、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。

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

最も近い1%抵抗値は1kです。SDAピンとSCLピンの寄生容量を最小に抑えて、通信の問題を防ぐよう注意してください。負荷容量を推定するには、対象の信号をモニタし、望みの信号が出力の値の約63%に達するにはどれだけかかるかを測定します。これが1時定数です。

SYNCピンは内蔵プルダウン・トランジスタを備えており、出力を公称500nsの間“L”に保持します。内部発振器が500kHzに設定され、負荷が100pFで3倍の時定数が必要なら、抵抗の計算は次のようになります。

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

最も近い1%抵抗は4.99kです。

タイミング誤差が生じているか、またはSYNC周波数が望むほど高速でない場合、波形をモニタし、RC時定数がアプリケーションには長すぎないか判断します。可能なら、寄生容量を減らします。可能でなければ、プルアップ抵抗を十分下げて、適切なタイミングにします。SHARE_CLKプルアップ抵抗にも10μsの周期と1μsのプルダウン時間による同様の式があります。RC時定数は3μs程度かそれ以下にする必要があります。

フェーズロック・ループと周波数同期

LTC3880には電圧制御発振器(VCO)と位相検出器で構成されるフェーズロック・ループ(PLL)が内蔵されています。PLLはSYNCピンの立ち下がりエッジにロックします。チャンネル0、チャンネル1およびSYNCの立ち下がりエッジの間の位相関係はMFR_PWM_CONFIG_LTC3880コマンドの下位3ビットによって制御されます。PolyPhaseアプリケーションでは、全ての位相の間隔を均等にとることを推奨します。つまり、2フェーズのシステムでは、信号の位相を180°シフトし、4フェーズのシステムでは間隔を90°にします。

位相検出器はエッジに反応するデジタル・タイプで、外部発振器と内部発振器の間に既知の位相シフトを与えます。このタイプの位相検出器は、外部クロックの高調波に誤ってロックすることがありません。

位相検出器の出力は、内部フィルタ・ネットワークを充放電する1対の相補型電流源です。PLLのロック範囲は250kHz～1MHzで保証されています。公称デバイスはこれを超える範囲で動作しますが、このように広い範囲での動作は保証されません。

アプリケーション情報

PLLはロック検出回路を備えています。PLLが動作中にロックを失うと、STATUS_MFR_SPECIFICコマンドのビット4がアサートされ、ALERTピンが“L”になります。このビットに1を書き込むことにより、フォルトをクリアすることができます。パワーアップ時に同期信号を利用できなくても、ユーザがPLL_FAULTの発生を望まない場合、MFR_CONFIG_ALL_LTC3880コマンドのビット3をアサートする必要があります。

アプリケーションでSYNC信号がクロック動作を行わないと、PLLはVCOの最低自走周波数で動作します。これはアプリケーションの意図するPWM周波数よりかなり低く、望ましくないコンバータ動作を引き起こす可能性があります。

PWM信号が高すぎる周波数で動作しているように見える場合、SYNCピンをモニタします。立ち下がりエッジに余分な遷移があると、意図する信号ではなく、ノイズにPLLがロックしようとし、デジタル制御信号の配線を見直して、SYNC信号へのクロストークを最小に抑え、この問題を防ぎます。PolyPhase構成では、複数のLTC3880がSYNCピンを共有する必要がありますが、他の構成ではオプションです。SYNCピンが複数のLTC3880の間で共有される場合、1つのLTC3880だけが、周波数出力をプログラムすることができます。他の全てのLTC3880は外部クロックにプログラムする必要があります。

最小オン時間に関する検討事項

最小オン時間 $t_{ON(MIN)}$ は、LTC3880がトップMOSFETをオンすることができる最小時間です。これは内部タイミング遅延とトップMOSFETをオンするのに必要なゲート電荷の量によって決まります。低デューティ・サイクルのアプリケーションでは、この最小オン時間のリミットに接近する可能性があるため、次の条件を満たすように注意が必要です。

$$t_{ON(MIN)} < \frac{V_{OUT}}{V_{IN} \cdot f_{OSC}}$$

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

LTC3880の最小オン時間は(PCBのレイアウトに問題がなければ)約90ns、インダクタ電流リップルは最小30%、電流検出信号のリップルは少なくとも10mV～15mVです。最小オン時

間はPCBの電圧ループおよび電流ループのスウィッチング・ノイズの影響を受けることがあります。ピーク電流検出電圧が減少するにつれ、最小オン時間が徐々に130nsに増加します。この点が、軽負荷でリップル電流が低い強制連続アプリケーションで特に懸念されます。この状況でデューティ・サイクルが最小オン時間のリミットより下になると、大きなサイクル・スキップが発生する可能性があり、それに対応して電流および電圧リップルが大きくなります。

RCONFIG (外部抵抗設定ピン)

LTC3880の既定のNVMは、RCONFIGピンを有効にするようにプログラムされています。デバイスをプログラムすることなく、あるいは特別プログラムされたデバイスを購入することなく、出力電圧、PWMの周波数と位相、およびアドレスが設定されていることをユーザが望む場合、RCONFIGピンを使ってこれらのパラメータを設定することができます。RCONFIGピンは全て、LTC3880のVDD25とSGNDの間に抵抗分割器を必要とします。RCONFIGピンは最初のパワーアップおよびリセットの間だけモニタされるので、デバイスにパワーアップした後、ADCを使ってそれらの値を変えても効果はありません。適切な動作のため、1%抵抗またはそれより良いものを使う必要があります。ノイズの多いクロック信号はこれらのピンの近くに配線しないでください。

電圧の選択

VOUT $_n$ _CFGとVTRIM $_n$ _CFGに関してRCONFIGピンを使って出力電圧を設定すると、以下のパラメータが出力電圧のパーセンテージとして設定されます。

- VOUT_OV_FAULT_LIMIT +10%
- VOUT_OV_WARN +7.5%
- VOUT_MAX +7.5%
- VOUT_MARGIN_HI +5%
- POWER_GOOD_ON -7%
- POWER_GOOD_OFF -8%
- VOUT_MARGIN_LO -5%
- VOUT_UV_WARN -6.5%
- VOUT_UV_FAULT_LIMIT -7%

アプリケーション情報

RCONFIGピン、VOUT_n_CFGおよびVTRIM_n_CFGを使って出力電圧を設定するには、表12と表13を参照してください。R_{TOP}はVDD25とピン間に接続され、R_{BOTTOM}はピンとSGNDの間に接続されます。適切な動作のため、1%抵抗を使う必要があります。

出力電圧の設定ポイントは次に等しくなります。

$$V_{\text{SETPOINT}} = V_{\text{OUT}_n_CFG} + V_{\text{TRIM}_n_CFG}$$

たとえば、VOUT_n_CFGピンのR_{TOP}は24.9kに等しく、R_{BOTTOM}は4.32kに等しく、VTRIM_n_CFGピンのR_{TOP}は挿入しないでR_{BOTTOM}は0Ωに等しくして設定されると、次のようになります。

$$V_{\text{SETPOINT}} = 1.1\text{V} - 0.099\text{V}, \text{つまり} 1.001\text{V}$$

0.5V～3.3Vの奇数値の出力電圧の値が必要であれば、VOUT_n_CFGの抵抗分割器だけを使い、VTRIMピンはオープンにするか、またはVDD25に短絡することができます。出力の設定ポイントが5Vであれば、VOUT_n_CFGのR_{TOP}を10kに等しく、R_{BOTTOM}を23.2kに等しくする必要があり、VTRIM_n_CFGのR_{TOP}を20k、R_{BOTTOM}を11kに等しくする必要があります。VOUTが2.5V以下の場合、ローレンジが使用されます。VOUT_OV_FAULT、VOUT_OV_WARN、VOUT_MARGIN_HI、VOUTなど、チャンネル0の最大電圧コマンドは4.096Vです。

表12. VOUT_n_CFG

R _{TOP} (kΩ)	R _{BOTTOM} (kΩ)	V _{OUT} (V)
0 or Open	Open	NVM
10	23.2	See VTRIM
10	15.8	3.3
16.2	20.5	3.1
16.2	17.4	2.9
20	17.8	2.7
20	15	2.5
20	12.7	2.3
20	11	2.1
24.9	11.3	1.9
24.9	9.09	1.7
24.9	7.32	1.5
24.9	5.76	1.3
24.9	4.32	1.1
30.1	3.57	0.9
30.1	1.96	0.7
Open	0	0.5

表13. VTRIM_n_CFG

R _{TOP} (kΩ)	R _{BOTTOM} (kΩ)	V _{TRIM} (mV) CHANGE TO V _{SET} VOLTAGE	V _{OUT} (V) IF V _{OUT} HAS 10kΩ/23.3kΩ
0 or Open	Open	0	NVM
10	23.2	99	NVM
10	15.8	86.625	NVM
16.2	20.5	74.25	NVM
16.2	17.4	61.875	NVM
20	17.8	49.5	NVM
20	15	37.125	5.5
20	12.7	24.75	5.25
20	11	12.375	5
24.9	11.3	-12.375	4.75
24.9	9.09	-24.75	4.5
24.9	7.32	-37.125	4.25
24.9	5.76	-49.5	4
24.9	4.32	-61.875	3.75
30.1	3.57	-74.25	3.63
30.1	1.96	-86.625	3.5
Open	0	-99	3.46

RCONFIGを使った周波数と位相の選択

周波数と位相のコマンドは、それらがRCONFIGピンを使って設定されていると、リンクされています。PMBusのコマンドが使われると、2つのパラメータは独立しています。複数のLTC3880を使って出力を生成する多相構成では、SYNCピンを共有する必要があります。構成がPolyPhaseでなければ、SYNCピンを共有する必要はありません。SYNCピンが複数のLTC3880の間で共有される場合、1つのSYNCピンだけを周波数出力として設定することができ、他の全てのSYNCピンは外部クロックに設定する必要があります。

たとえば、425kHzでクロックされる4フェーズ構成では、複数のLTC3880のうちの1つを望みの周波数と位相に設定し、他のLTC3880を外部クロックに設定する必要があります。全ての位相設定はSYNCの立ち上がりエッジを基準にします。

アプリケーション情報

表 14. FREQ_CFG (SYNC の立ち下がりエッジをベースにした位相)

R _{TOP} (kΩ)	R _{BOTTOM} (kΩ)	周波数 (kHz)	θ _{SYNC TO θ₀}	θ _{SYNC TO θ₁}	説明
0 or Open	Open	NVM	NVM	NVM	NVM
10	23.2	250	0	180	2-Phase
10	15.8	250	120	240	3-Phase
16.2	20.5	250	90	270	4-Phase
16.2	17.4	425	0	180	2-Phase
20	17.8	425	120	240	3-Phase
20	15	425	90	270	4-Phase
20	12.7	500	0	180	2-Phase
20	11	500	120	240	3-Phase
24.9	11.3	500	90	270	4-Phase
24.9	9.09	575	0	180	2-Phase
24.9	7.32	575	120	240	3-Phase
24.9	5.76	575	90	270	4-Phase
24.9	4.32	650	0	180	2-Phase
30.1	3.57	650	120	240	3-Phase
30.1	1.96	650	90	270	4-Phase
Open	0	外部クロック	0	180	2-Phase

LTC3880 チップ 1 は、周波数を 90° と 270° の位相シフトで 425kHz に設定します。

$$R_{TOP} = 20k\Omega \text{ および } R_{BOTTOM} = 15k\Omega$$

LTC3880 チップ 2 は、周波数を 0° と 180° の位相シフトで外部クロックに設定します。

$$R_{TOP} = \text{オープン、} R_{BOTTOM} = 0\Omega$$

350kHz、750kHz、1000kHz の周波数は NVM によるプログラミングを使ってのみ設定することができます。6 フェーズの構成を望むなら、NVM によるプログラミングが最適の位相設定を与えます。周波数と位相の他の全ての構成は、FREQ_CFG ピンを使って達成することができます。

RCONFIG を使ったアドレス選択

LTC3880 のアドレスは、NVM に格納されたアドレスと ASEL ピンの組み合わせを使って選択されます。ASEL の MSB は NVM の MSB であり、LSB は ASEL の値です。これにより、NVM の 1 つのプログラムされたアドレスを使って、1 枚のボードに 16 個の異なる LTC3880 を置くことができます。

NVM に格納されたアドレスが 0x4F であれば、デバイスのアドレスは、ASEL を使って 0x40 ~ 0x4F に設定することができます。(標準の既定のアドレスは 0x4F です)。どのデバイスのアドレスも 0x5A または 0x5B に設定しないでください。これらはグローバル・アドレスであり、全てのデバイスがこれらに応答するからです。

アドレス 0x40 を選択すると、 R_{TOP} はオープンで、 $R_{BOTTOM} = 0\Omega$

アドレス 0x45 を選択すると、 $R_{TOP} = 24.9k$ で、 $R_{BOTTOM} = 7.32k$

アドレス 0x4E を選択すると、 $R_{TOP} = 10.0k$ で、 $R_{BOTTOM} = 15.8k$

アプリケーション情報

表 15. ASEL

R _{TOP} (kΩ)	R _{BOTTOM} (kΩ)	スレーブ・アドレス	LSB HEX
0 or Open	Open	NVM	
10	23.2	xyz_1111	F
10	15.8	xyz_1110	E
16.2	20.5	xyz_1101	D
16.2	17.2	xyz_1100	C
20	17.8	xyz_1011	B
20	15	xyz_1010	A
20	12.7	xyz_1001	9
20	11	xyz_1000	8
24.9	11.3	xyz_0111	7
24.9	9.09	xyz_0110	6
24.9	7.32	xyz_0101	5
24.9	5.76	xyz_0100	4
24.9	4.32	xyz_0011	3
30.1	3.57	xyz_0010	2
30.1	1.96	xyz_0001	1
Open	0	xyz_0000	0

表 15A¹. 7ビットと8ビットの両方の呼び出し動作を表す LTC3880の MFR_ADDRESS コマンドの例

説明	16進数のデバイス・アドレス		BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	R/W
	7 BIT	8 BIT									
Rail ⁴	0x5A	0xB4	0	1	0	1	1	0	1	0	0
Global ⁴	0x5B	0xB6	0	1	0	1	1	0	1	1	0
Default	0x4F	0x9E	0	1	0	0	1	1	1	1	0
Example 1	0x60	0xC0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Example 2	0x61	0xC2	0	1	1	0	0	0	0	1	0
Disabled ^{2,3,5}			1	0	0	0	0	0	0	0	0

Note 1: この表は MFR_CHANNEL_ADDRESS、MFR_RAIL_ADDRESS および MFR_ADDRESS の各コマンドに適用することができる。

Note 2: 1つのコマンドのディスエーブルされた値は、デバイスをディスエーブルしないし、グローバル・アドレスもディスエーブルしない。

Note 3: 1つのコマンドのディスエーブルされた値は、デバイスが他のコマンドで指定されたデバイス・アドレスにตอบสนองすることを禁じない。

Note 4: 0x00、0x0C (7ビット)、または 0x5A または 0x5B (7ビット) の値を、MFR_ADDRESS、MFR_CHANNEL_ADDRESS または MFR_RAIL_ADDRESS の各コマンドに書き込むことは推奨しない。

Note 5: アドレスをディスエーブルするには、MFR_ADDRESS コマンドを 0x80 の値に設定する。0x80 は 7ビットのアドレス・フィールドより大きいので、アドレスをディスエーブルする。

効率に関する検討事項

スイッチング・レギュレータのパーセント効率は、出力電力を入力電力で割って100%を掛けたものに等しくなります。個々の損失を解析して、効率を制限する要素がどれであり、また何が変化すれば最も効率が改善されるかを判断できる場合がよくあります。パーセント表示の効率は次式で表すことができます。

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

ここで、L1、L2などは入力電力に対するパーセンテージで表した個々の損失です。

回路内の電力を消費する全ての要素で損失が生じますが、LTC3880の回路の損失の大部分は4つの主な損失要因によって生じます。1) デバイスの V_{IN} 電流、2) INTV_{CC} レギュレータ電流、3) I²R 損失、4) トップサイド MOSFET の遷移損失です。

- V_{IN} 電流は「電気的特性」の表に記載されている DC 消費電流であり、MOSFET ドライバと制御回路の電流は含まれません。V_{IN} 電流による損失は一般に大きくはありません (0.1% 未満)。
- INTV_{CC} 電流は MOSFET ドライバ電流と制御電流の和です。MOSFET ドライバ電流はパワー MOSFET のゲート容量をスイッチングすることによって流れます。MOSFET のゲートが“L”から“H”、そして再び“L”に切り替わる度に、INTV_{CC} からグラウンドに一定量の電荷 dQ が移動します。それによって生じる dQ/dt は INTV_{CC} から流出する電流であり、一般に制御回路の電流よりはるかに大きくなります。連続モードでは、I_{GATECHG} = f(Q_T + Q_B) です。ここで、Q_T と Q_B はトップサイド MOSFET とボトムサイド MOSFET のゲート電荷です。

LTC3880-1 では、出力から得られるソースから EXT_{VCC} に電力を供給すると、ドライバおよび制御回路に必要な V_{IN} 電流は、次の係数でスケールが変化します。

$$\left(\frac{V_{EXTVCC}}{V_{IN}} \right) \left(\frac{1}{\text{Efficiency}} \right)$$

たとえば、20V から 5V のアプリケーションでは、10mA の INTV_{CC} 電流は約 2.5mA の V_{IN} 電流になります。これによって、中間電流損失が (ドライバが V_{IN} から直接電力を供給されている場合の) 10% 以上からわずか数パーセントに減少します。

アプリケーション情報

3. I^2R 損失は(もし使用されていれば)ヒューズ、MOSFET、インダクタ、電流センス抵抗の各DC抵抗から予測されます。連続モードでは、Lや R_{SENSE} に平均出力電流が流れますが、トップサイドMOSFETと同期MOSFETの間で「こま切れ」にされます。2個のMOSFETの $R_{DS(ON)}$ がほぼ同じ場合、片方のMOSFETの抵抗にLの抵抗と R_{SENSE} を加算するだけで I^2R 損失を求めることができます。たとえば、各 $R_{DS(ON)} = 10m\Omega$ 、 $R_L = 10m\Omega$ 、 $R_{SENSE} = 5m\Omega$ であれば、全抵抗は $25m\Omega$ です。この結果、5V出力の場合に出力電流が3Aから15Aまで増加すると損失は2%~8%、または3.3V出力では3%~12%の範囲になります。効率は外付け部品と出力電力レベルが同じ場合は、 V_{OUT} の2乗に反比例して変化します。高性能デジタル・システムでは要求される出力電圧は低下しており、電流は増加しているため、その相乗効果により、スイッチング・レギュレータ・システムの各損失要因の重要性は単に2倍ではなく4倍になります。
4. 遷移損失はトップサイドMOSFETにのみ適用され、しかも高入力電圧(通常15V以上)で動作しているときに限って大きくなります。遷移損失は次式から推算できます。

$$\text{遷移損失} = (1.7) V_{IN}^2 I_{O(MAX)} C_{RSS} f$$

銅トレースや内部バッテリー抵抗など他の「隠れた」損失は、携帯用システムではさらに5%~10%の効率低下を生じる可能性があります。これらの「システム」レベルの損失を設計段階で含めることが非常に重要です。内部バッテリーとヒューズの抵抗損失は、スイッチング周波数において C_{IN} の電荷蓄積を適切にし、ESRを非常に低くすれば最小に抑えることができます。25W電源は一般にESRが最大 $20m\Omega$ ~ $50m\Omega$ の最小 $20\mu F$ ~ $40\mu F$ の容量を必要とします。LTC3880の2フェーズ・アーキテクチャでは、必要な入力容量は標準で競合製品の半分になります。デッドタイム中のショットキー・ダイオードの導通損失やインダクタのコア損失などその他の損失は一般に追加される全損失の2%未満にしかなりません。

過渡応答のチェック

レギュレータのループ応答は負荷電流過渡応答を観察すればチェックできます。スイッチング・レギュレータはDC(抵抗性)負荷電流のステップにตอบสนองするのに数サイクルを要します。負荷ステップが発生すると、 V_{OUT} は ΔI_{LOAD} (ESR)だけシフトします。ここで、ESRは C_{OUT} の等価直列抵抗です。さらに、 ΔI_{LOAD} により C_{OUT} の充放電が始まって帰還誤差信号を発生し、レギュレータを電流変化に適応させて V_{OUT} を定常値に回復させます。この回復期間に(安定性に問題があることを示す)過度のオーバーシュートやリングングが発生しないか V_{OUT} をモニタすることができます。 I_{TH} ピンが備わっているので制御ループ動作を最適化できるだけでなく、DC結合され、ACフィルタを通した閉ループ応答のテスト・ポイントが与えられます。このテスト・ポイントでのDCステップ、立ち上がり時間、およびセトリングは、正確に閉ループ応答を反映します。2次特性が支配的なシステムを想定すれば、位相マージンや減衰係数はこのピンで見られるオーバーシュートのパーセンテージを使って推定することができます。このピンの立ち上がり時間を調べることで、帯域幅も推定できます。「標準的応用例」の回路に示されている I_{TH} ピンの外付け部品は、ほとんどのアプリケーションにおいて妥当な出発点となります。ループ利得に影響を与えるプログラム可能なパラメータは、電圧範囲(MFR_PWM_CONFIG_LTC3880コマンドのビット5とビット6)と、電流範囲(MFR_PWM_MODE_LTC3880コマンドのビット7)の2つだけです。補償計算の前に必ずこれらを設定してください。

I_{TH} の直列 R_C - C_C フィルタにより、支配的なポール-ゼロ・ループ補償が設定されます。これらの値は、プリント基板のレイアウトを完了し、特定の出力コンデンサの種類と容量値を決定したら、過渡応答を最適化するために多少は(推奨値の0.5倍~2倍)変更することができます。出力コンデンサの種類と値によってループの利得と位相が決まるので、まず出力コン

アプリケーション情報

デンサを選択する必要があります。立ち上がり時間が $1\mu\text{s}$ ～ $10\mu\text{s}$ の最大負荷電流の20%～80%の出力電流パルスによって発生する出力電圧波形と I_{TH} ピンの波形により、帰還ループを開くことなく全体的なループの安定性を判断することができます。負荷ステップを発生する実用的な方法として、グラウンドへの抵抗とともにパワー MOSFETを出力コンデンサの両端に直接接続し、適当な信号発生器でそのゲートをドライブします。MOSFET + R_{SERIES} は $V_{\text{OUT}}/R_{\text{SERIES}}$ にほぼ等しい出力電流を発生します。 0.1Ω ～ 2Ω の R_{SERIES} の値が、電流制限の設定とプログラムされた出力電圧に依存して有効です。出力電流ステップによって生じる初期出力電圧ステップは帰還ループの帯域幅内にはない場合があるため、位相マージンを決定するのにこの信号を使用することはできません。このため、 I_{TH} ピンの信号を調べる方が確実です。この信号は帰還ループ内にあり、フィルタを通して補償された制御ループ応答です。ループの利得は R_C を大きくすると増加し、ループの帯域幅は C_C を小さくすると拡大します。 C_C を減少させると同じ比率で R_C を増加させるとゼロの周波数は変化しないので、帰還ループの最も重要な周波数範囲で位相シフトが一定に保たれます。出力電圧のセトリングの様子は閉ループ・システムの安定性に関係し、電源全体の実際の性能を表します。

次に、大容量の($> 1\mu\text{F}$)電源バイパス・コンデンサが接続されている負荷のスイッチが入れられると、さらに大きな過渡変動が発生します。放電きったバイパス・コンデンサが実質的に C_{OUT} と並列接続状態になるため、 V_{OUT} が急低下します。負荷スイッチの抵抗が低く、しかも瞬間的にドライブされると、どんなレギュレータでも出力電圧の急激なステップ変化を防止するだけ素早く電流供給を変えることはできません。 C_{LOAD} 対 C_{OUT} の比率が1:50より大きい場合は、スイッチの立ち上がり時間を制御して、負荷の立ち上がり時間を約 $25 \cdot C_{\text{LOAD}}$ に制限しなければなりません。したがって、 $10\mu\text{F}$ のコンデンサでは $250\mu\text{s}$ の立ち上がり時間が必要で、充電電流は約 200mA に制限されます。

PCボードのレイアウトのチェックリスト

PCボードをレイアウトするときは、以下のチェックリストを使用して、このデバイスが正しく動作するようにします。これらの項目は図25のレイアウト図にもイラストで示してあります。連続モードで動作している2フェーズ同期整流式レギュレータの様々な枝分かれした経路に現れる電流波形を図26に示します。レイアウトでは、以下の項目をチェックしてください。

1. NチャンネルMOSFETのM1とM2は互いに1cm以内に配置され、 C_{IN} で共通ドレイン接続されていますか。2つのチャンネルの入力デカップリングを分割すると大きな共振ループが形成されることがあるので、入力デカップリングは分割しないでください。
2. 信号グラウンドと電源グラウンドは分離されていますか。1つにまとめたこのデバイスの信号グラウンド・ピンと C_{INTVCC} のグラウンド・リターンは、1つにまとめた C_{OUT} の(-)端子に戻す必要があります。 I_{TH} のトレースはできるだけ短くします。トップNチャンネルMOSFET、ショットキー・ダイオードおよび C_{IN} コンデンサで形成される経路は、リードとPCトレースを短くします。コンデンサは互いに隣接させ、また上記のショットキー・ループからは離して配置し、出力コンデンサの(-)端子と入力コンデンサの(-)端子を可能な限り近づけて接続してください。
3. LTC3880の V_{SENSE} ラインは V_{OUT} に等しいですか。 V_{OUT0} は差動です。 V_{OUT1} は負荷1のグラウンドへのSGND(ピン41)を基準にします。
4. I_{SENSE^+} と I_{SENSE^-} は最小の基板トレース間隔で一緒に配線されていますか。 I_{SENSE^+} と I_{SENSE^-} の間のフィルタ・コンデンサはできるだけデバイスに近づけて配置します。検出抵抗またはインダクタのどちらかが電流検出に使用されるにしても、4端子接続を使用して高精度の電流検出を行うようにします。

アプリケーション情報

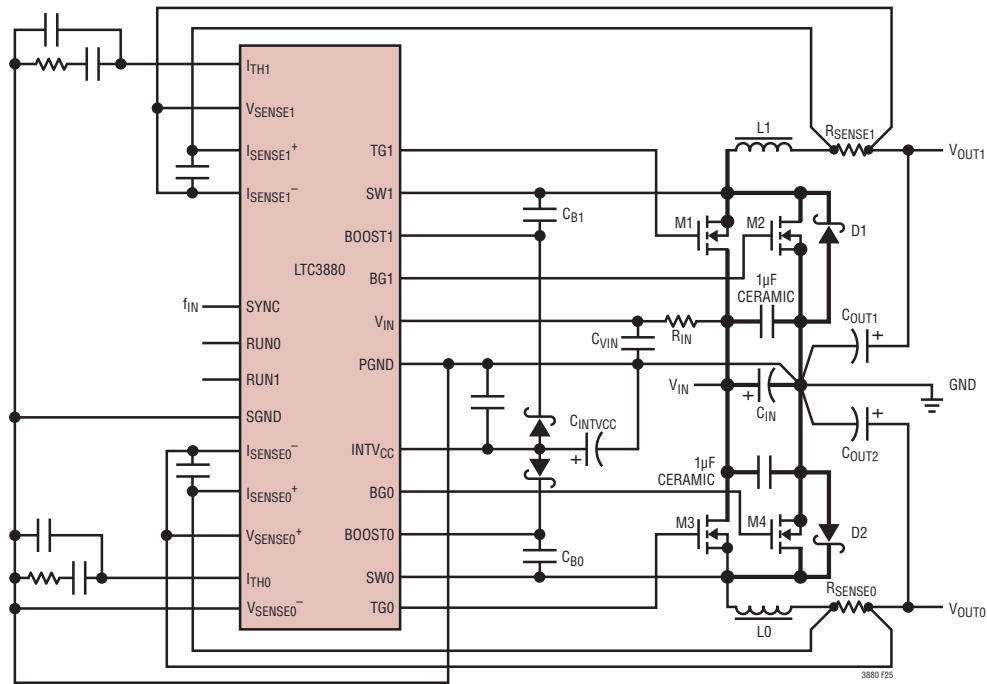


図 25. 推奨プリント回路レイアウト図

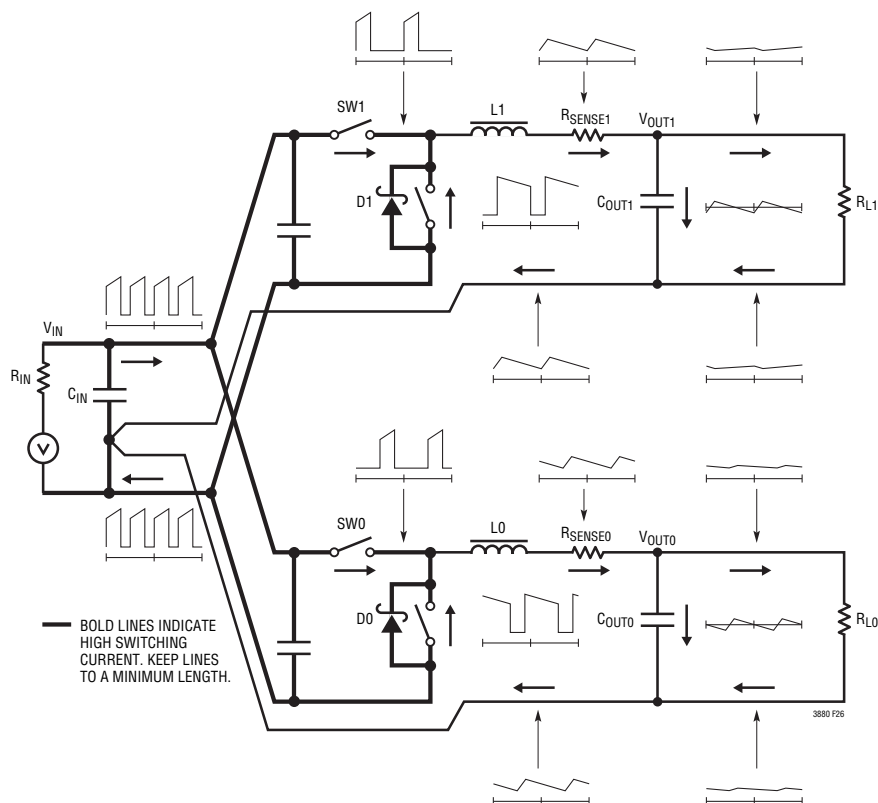


図 26. 枝電流の波形

アプリケーション情報

5. INTV_{CC} デカップリング・コンデンサはデバイスの近くで INTV_{CC} ピンと電源ピンの間に接続されていますか。このコンデンサは MOSFET ドライバのピーク電流を供給します。1 μ F セラミック・コンデンサを1個 INTV_{CC} ピンと PGND ピンに隣接して追加すると、ノイズ性能を大幅に改善できます。
6. スイッチング・ノード (SW1, SW0)、トップ・ゲート・ノード (TG1, TG0)、およびブースト・ノード (BOOST1, BOOST0) を敏感な小信号ノード、特に反対側のチャネルの電圧検出帰還ピンおよび電流検出帰還ピンから離してください。これら全てのノードの信号は非常に大きく高速で変化するので、LTC3880 の「出力側」に置き、基板のトレース面積を最小限にします。DCR による検出が使われている場合、上側の抵抗 (図 18a の R1) をスイッチング・ノードの近くに配置します。
7. 改良型の「スター・グランド」手法を使います。これは、入力コンデンサおよび出力コンデンサと同じ基板の側にある低インピーダンスの大きな銅領域の中央接地点で、ここに INTV_{CC} デカップリング・コンデンサのボトム側、電圧帰還抵抗分割器のボトム、およびデバイスの SGND ピンを接続します。

PC ボードのレイアウトのデバッグ

一度に片方のコントローラから始めます。回路をテストするとき、DC-50MHz の電流プローブを使用してインダクタの電流をモニタすると有益です。出力スイッチング・ノード (SW ピン) をモニタしてオシロスコープを内部発振器に同期させ、実際の出力電圧も調べてください。アプリケーションで予想される動作電圧および電流範囲で適切な性能が出ているかチェックします。動作周波数は、ドロップアウト状態になるまでの入力電圧範囲で、さらに、出力負荷が低電流動作スレッショルド (Burst Mode 動作では一般に最大設計電流レベルの 10%) より下になるまで、保たれている必要があります。

デューティ・サイクルのパーセンテージは、適切に設計された低ノイズの PCB ではサイクルからサイクルへと維持されます。低調波の周期でデューティ・サイクルが変動する場合、電流検出入力または電圧検出入力にノイズを拾っているか、またはループ補償が適切でない可能性があります。レギュレータの帯域幅の最適化が必要なければ、ループを過補償にして PC のレイアウトの不備を補うことができます。両方のコントローラを同時にオンするのは必ず各コントローラの個々の性能をチェックした後にしてください。特に条件の厳しい動作領域は、一方のコントローラ・チャネルが電流コンパレータのトリップ点に近づいているときに他方のチャネルがトップ MOSFET をオンするときです。これは内部クロックの位相同期のために、どちらかのチャネルのデューティ・サイクルが 50% 付近のとき発生し、デューティ・サイクルの小さなジッタを引き起こす可能性があります。

V_{IN} を公称レベルから下げて、ドロップアウト状態のレギュレータ動作を検証します。出力をモニタしながらさらに V_{IN} を下げて動作を確認し、低電圧ロックアウト回路の動作をチェックします。

出力電流が大きいとき、または入力電圧が高いときにしか問題がないかどうか調べます。入力電圧が高くかつ出力電流が小さいときに問題が発生する場合は、BOOST、SW、TG および BG の各接続と、敏感な電圧ピンおよび電流ピンとの間の容量性結合を調べます。電流検出ピン間に接続するコンデンサは、デバイスのピンのすぐ近くに配置する必要があります。このコンデンサは高周波容量性結合による差動ノイズの混入の影響を抑えるのに有効です。入力電圧が低くかつ電流出力負荷が大きいときに問題が起きる場合は、C_{IN}、ショットキー・ダイオード、トップ MOSFET などの部品と、敏感な電流および電圧検出トレースとの誘導性結合を調べます。さらに、これらの部品とデバイスの SGND ピンとの間の共通グランド経路の電圧ピックアップも調べてください。

アプリケーション情報

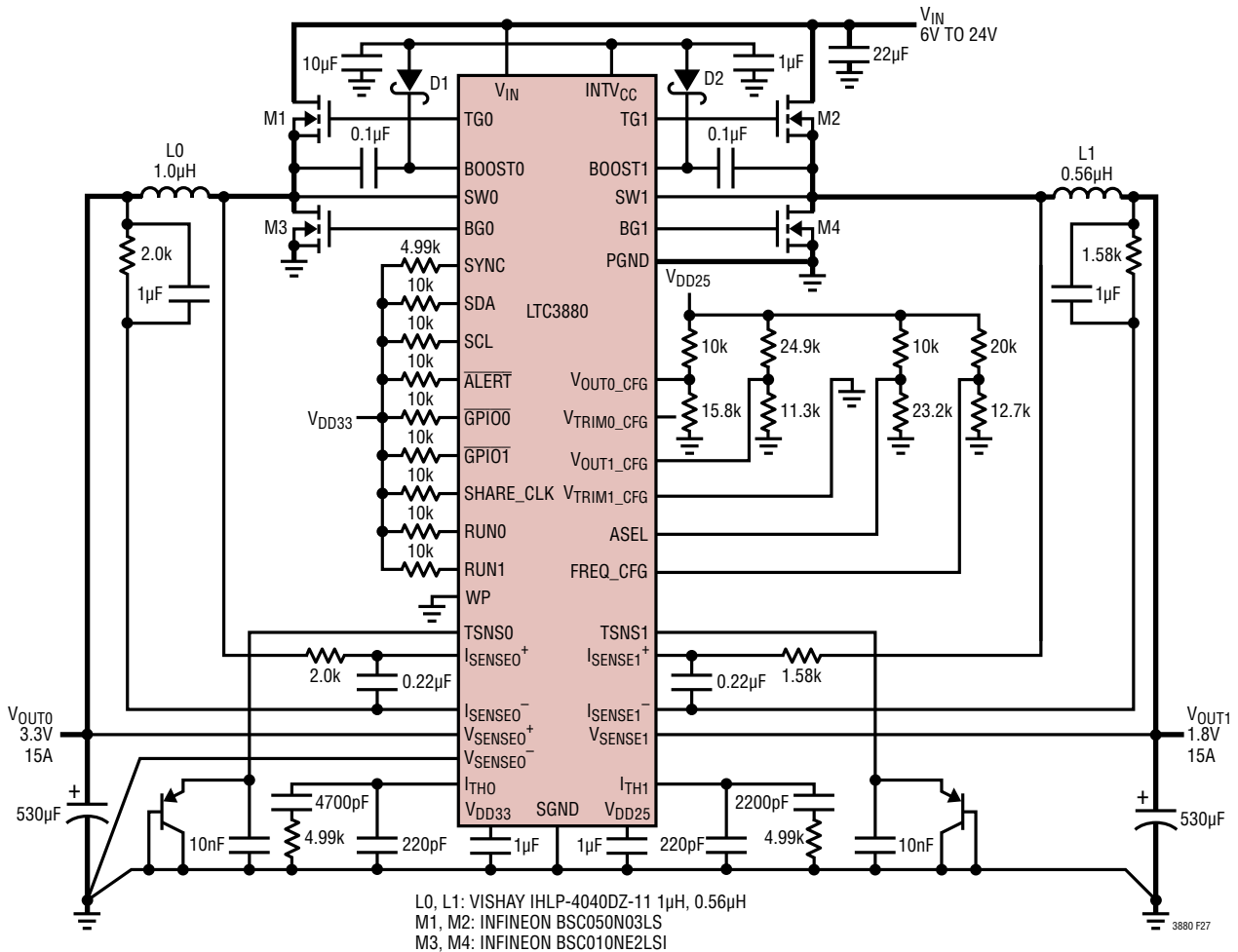


図27. 高効率デュアル500kHz 3.3V/1.8V降圧コンバータ

設計例

2チャンネルの中程度の電流レギュレータの設計例として、 $V_{IN} = 12V$ (公称)、 $V_{IN} = 20V$ (最大)、 $V_{OUT0} = 3.3V$ 、 $V_{OUT1} = 1.8V$ 、 $I_{MAX0,1} = 15A$ 、 $f = 500kHz$ と仮定します(図27参照)。

安定化出力は、NVMに格納されたVOUT_COMMANDによって、またはVDD25、RCONFIGピンおよびSGNDの間に次の抵抗分割器を接続することによって、設定します。

1. V_{OUT0_CFG} 、 $R_{TOP} = 10k$ 、 $R_{BOTTOM} = 15.8k$
2. V_{TRIM0_CFG} 、オープン
3. V_{OUT1_CFG} 、 $R_{TOP} = 24.9k$ 、 $R_{BOTTOM} = 11.3k$
4. V_{TRIM1_CFG} 、 R_{TOP} = オープン、 $R_{BOTTOM} = 0\Omega$

周波数と位相は、NVMによって、または $R_{TOP} = 20k$ と $R_{BOTTOM} = 12.7k$ を使った抵抗分割器をVDD25、FREQ_CFGおよびSGNDの間に接続することによって設定します。アドレスはXFに設定します。ここで、XはNVMに格納されたMSBです。

アプリケーション情報

抵抗による構成ピンを使って出力電圧を決めると、以下のパラメータが出力電圧のパーセンテージとして設定されます。

- VOUT_OV_FAULT_LIMIT +10%
- VOUT_OV_WARN +7.5%
- VOUT_MAX +7.5%
- VOUT_MARGIN_HI +5%
- POWER_GOOD_ON -7%
- POWER_GOOD_OFF -8%
- VOUT_MARGIN_LO -5%
- VOUT_UV_WARN -6.5%
- VOUT_UV_FAULT_LIMIT -7%

ユーザが定義した他の全てのパラメータはNVMにプログラムする必要があります。GUIを利用して、デバイスを短時間で望みの動作パラメータでセットアップすることができます。

インダクタンス値は最大35%のリップル電流(各チャンネルで5.25A)を仮定しています。リップル電流の最大値は最大入力電圧で発生します。

$$L = \frac{V_{OUT}}{f \cdot \Delta I_{L(MAX)}} \left[1 - \frac{V_{OUT}}{V_{IN(MAX)}} \right]$$

チャンネル0は1.05μHを必要とし、チャンネル1は0.624μHを必要とします。最も近い標準値はそれぞれ1μHと0.68μHです。公称入力では、リップルは次のようになります。

$$\Delta I_{L(NOM)} = \frac{V_{OUT}}{f \cdot L} \left[1 - \frac{V_{OUT}}{V_{IN(NOM)}} \right]$$

チャンネル0には4.79A(32%)のリップルが生じ、チャンネル1には5.5A(30%)のリップルが生じます。ピーク・インダクタ電流は、最大DC値にリップル電流の半分を加えた値、つまり、チャンネル0では17.39A、チャンネル1では17.75Aになります。チャンネル1の最小オン時間は最大V_{IN}で生じ、90nsより短くならないようにします。

$$t_{ON(MIN)} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN(MAX)} \cdot f} = \frac{1.8V}{20V(500kHz)} = 180ns$$

VishayのIHL4040DZ-11 1μH(25°Cで2.3mΩのDCR_{TYP})チャンネル0、VishayのIHL4040DZ-11 0.56μH(25°Cで1.61mΩのDCR_{TYP})チャンネル1を選択。

インダクタの温度測定は精確で、C1は0.2μFであると仮定すると、R_Dは無量大となり、式から除かれます。

$$R_0 = \frac{L}{(DCR \text{ at } 25^\circ C) \cdot C1} = \frac{1\mu H}{2.3m\Omega \cdot 0.22\mu F} = 2k$$

R₀の最大電力損失はデューティ・サイクルに関係し、連続モードの最大入力電圧で生じます。

$$P_{LOSSR0} = \frac{(V_{IN(MAX)} - V_{OUT}) \cdot V_{OUT}}{R1} = \frac{(20 - 3.3) \cdot 3.3}{2k} = 27.55mW$$

チャンネル1のそれぞれの値はR1 = 2k、R2はオープン、P_{LOSSR1} = 20.73mWです。

電流制限はピーク値より20%高く設定され、部品のばらつきやシステムのノイズによって平均電流が制限されないようにします。

$$V_{ILIMIT} = I_{PEAK} \cdot R_{DCR(MAX)} = 17.39A \cdot 2.5m\Omega = 43mV$$

最も近いV_{ILIMIT}の設定値は42.9mVまたは46.4mVです。これらの値はIOUT_OC_FAULT_LIMITコマンドによって入力します。予期されるばらつきと、実験室での検出コンデンサ両端の測定値に基づいて、ユーザは最適設定値を決定することができます。チャンネル1の場合、V_{ILIMIT}の値は28.6mVです。最も近い値は28.6mVです。

トップサイドMOSFETの電力損失は容易に推定できます。RENESASのRJK0305DPBをトップサイドMOSFETに選択します。R_{DS(ON)} = 10mΩ、C_{MILLER} = 75pFです。最大入力電圧で、推定T = 50°C、ボトムサイドMOSFETはRENESASのRJK0330DPB、R_{DS(ON)} = 3mΩです。

$$P_{MAIN} = \frac{3.3V}{20V} \cdot (17.39)^2 \cdot \left[1 + (0.005)(50^\circ C - 25^\circ C) \right] \cdot 0.006\Omega + (20V)^2 (8.695A) \cdot \left(\frac{1}{5 - 2.3} + \frac{1}{2.3} \right) (75pF)(500kHz) = 0.386W$$

アプリケーション情報

ボトムサイド MOSFET の電力損失は次のとおりです。

$$P_{\text{SYNC}} = \frac{(20\text{V} - 3.3\text{V})}{20\text{V}} \cdot (17.39\text{A})^2 \cdot \left[1 + (0.005)(50^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \right] \cdot 0.001\Omega = 0.312\text{W}$$

I^2R 損失の項は両方の MOSFET に共通していますが、 P_{MAIN} の式には追加の遷移損失の項があり、これは入力電圧が高いときに最も高くなります。

C_{IN} には RMS 電流定格が次のものが選ばれています。

$$C_{\text{IN Required}} I_{\text{RMS}} = \frac{17.39}{20} \left[(3.3) \cdot (20 - 3.3) \right]^{1/2} = 6.5\text{A}$$

チャンネル 0 またはチャンネル 1 の片方だけがオンしていると仮定したときの温度で出力リップルを下げるために、ESR が 0.006Ω の C_{OUT} を選択します。連続モードでの出力リップルは入力電圧が最大のときに最大になります。ESR による出力電圧リップルは次のとおりです。

$$V_{\text{ORIPPLE}} = R(\Delta I_L) = 0.006\Omega \cdot 5.5\text{A} = 33\text{mV}$$

USB から I²C/SMBus/PMBus へのコントローラをシステム内の LTC3880 へ接続

USB から I²C/SMBus/PMBus への LTC のコントローラは、プログラミング、テレメトリおよびシステムのデバッグのために、ユーザのボード上の LTC3880 にインタフェースすることができます。コントローラは、LTpowerPlay と連携させて使用すると、電源システム全体の強力なデバッグ手段を提供します。テレメトリ、フォルト状態レジスタおよびフォルト・ログを使って、短時間でフォルトを診断することができます。最終設定を短時間で開発し、LTC3880 の EEPROM に格納することができます。

システム電源が存在するか否かに関係なく、LTC の I²C/SMBus/PMBus コントローラを介して、1 個または複数の LTC3880 に対する給電、プログラミングおよび通信を行う応用回路を図 28 に示します。システム電源が存在しない場合、ドングルが V_{DD33} 電源ピンを介して LTC3880 に給電します。 V_{IN} が与えられていなくて V_{DD33} ピンに給電するときデバイスをイネーブルするには、グローバル・アドレス 5B を使ってコマンド 0xBD とデータ 0x2B、続いてアドレス 5B を使ってコマンド 0xBD とデータ 0xC4 を書き込みます。これで、デバイスは通信可能となり、プロジェクト・ファイルを更新することができます。更新されたプロジェクト・ファイルを NVM に書き込むには、STORE_USER_ALL コマンドを出します。 V_{IN} が与えられたら、

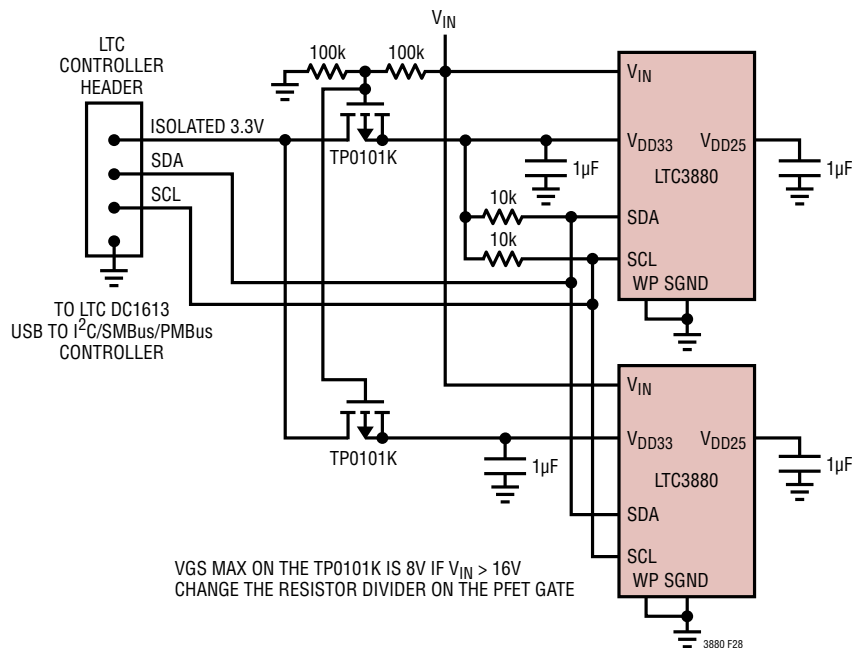


図 28. LTC コントローラの接続

アプリケーション情報

MFR_RESET を出して、PWM をイネーブ爾できるようにし、有効な ADC を読み出せるようにする必要があります。

コントローラの電流ソース能力が制限されているので、LTC3880、それらに関連したプルアップ抵抗および I²C のプルアップ抵抗だけに、OR 接続された 3.3V 電源から給電します。さらに、I²C バス接続を LTC3880 と共有しているどのデバイスも、SDA/SCL ピンとそれらのそれぞれの V_{DD} ノードの間にボディ・ダイオードを持たないようにします。これは、システム電源が存在しないときバス通信に干渉するからです。V_{IN} が与えられると、ドングルはボード上の LTC3880 に給電しません。デバイスの設定が完了するまで、RUN ピンを“L”に保持して、負荷に給電しないことを推奨します。

LTC のコントローラの I²C 接続は PC の USB から光絶縁されています。コントローラからの 3.3V と LTC3880 の V_{DD33} ピンは、別個の PFET を使って各 LTC3880 をドライブする必要があります。V_{IN} が与えられていないと内蔵 LDO はオフしているので、V_{DD33} ピンを並列接続することができます。コントローラ

の 3.3V の電流制限は 100mA ですが、標準的 V_{DD33} 電流は 15mA 未満です。V_{DD33} は INTV_{CC}/EXTV_{CC} ピンをバックドライブします。V_{IN} がオープンであれば、通常これは問題ではありません。

LTpowerPlay: デジタル・パワー向け対話型 GUI

LTpowerPlay は強力な Windows ベースの開発環境で、LTC3880 を含む、リニアテクノロジーのデジタル・パワー IC をサポートします。このソフトウェアは様々なタスクをサポートします。LTpowerPlay を使って、デモボードまたはユーザのアプリケーションに接続することにより、リニアテクノロジーの IC を評価することができます。LTpowerPlay は、保存しておいて後で再ロードできる多数のデバイスの設定ファイルを作成するために、オフライン・モード (ハードウェアが存在しない) でも使用可能です。LTpowerPlay は従来なかった診断機能とデバッグ機能を備えています。これは、ボード開発時に貴重な診断ツールとなり、パワー・システムのプログラムや微調整

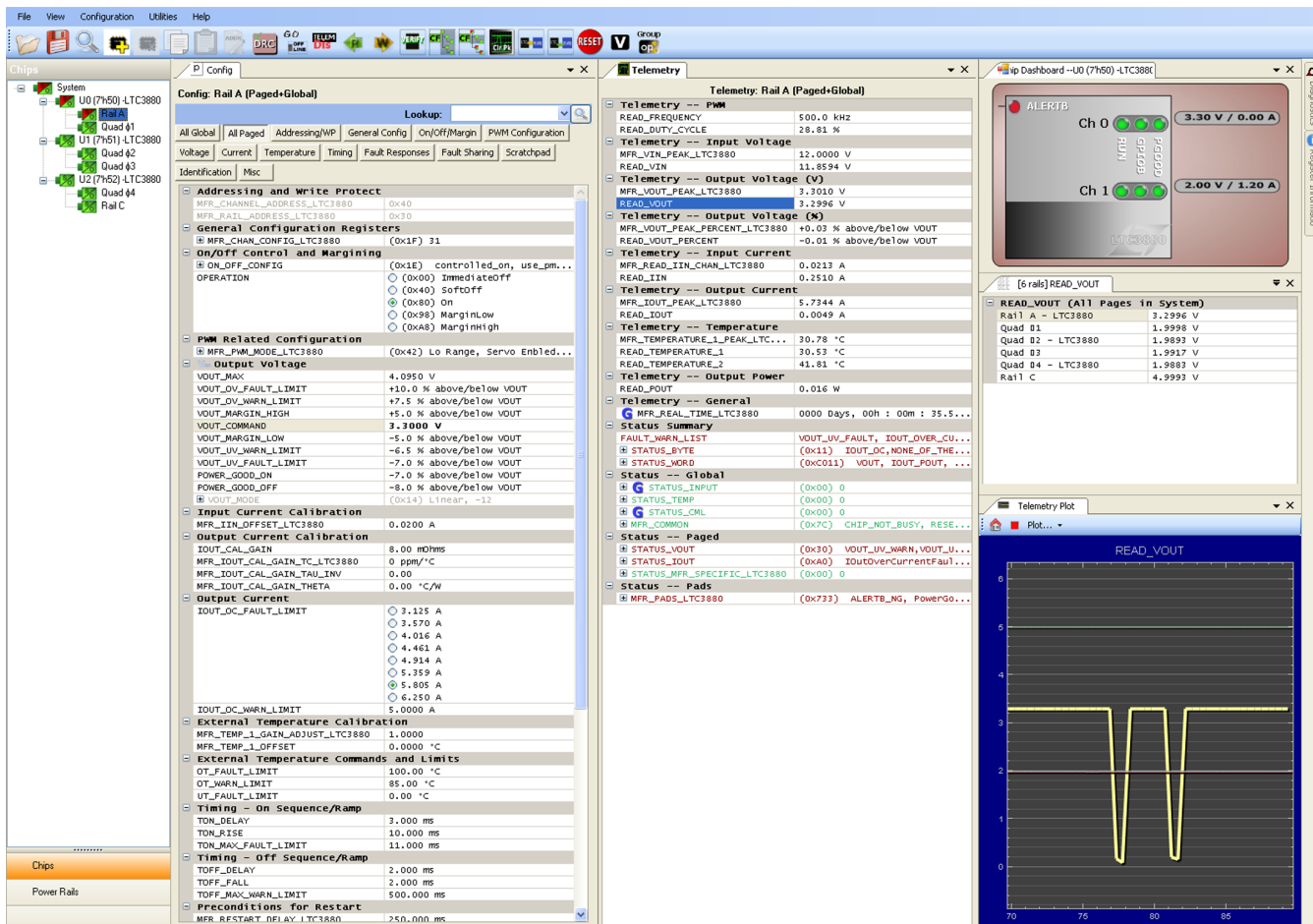


図 29

アプリケーション情報

または電源レール立ち上げ時の電力問題の診断を行います。LTpowerPlay はリニアテクノロジーの USB-to-I²C/SMBus/PMBus コントローラを利用して、DC1590B-A/B デモボード、DC1709A ソケット付きプログラミング・ボード、カスタムのターゲット・システムなどの多くの潜在的ターゲットの1つと通信します。このソフトウェアは自動更新機能も備えており、最新のデバイス・ドライバやドキュメンテーションに対応したリビジョンに維持されます。LTpowerPlay では、いくつかのチュートリアル のデモとともに、コンテキストに反応する多数のヘルプを利用することができます。詳細情報は、<http://www.linear-tech.co.jp/> で提供されています。

PMBus の通信とコマンド処理

LTC3880/LTC3880-1 は、サポートされている各コマンドに対して処理前に書き込まれた最後のデータを保存するため、図30の「書き込みコマンド・データ処理」に示すように、深さ1のバッファを備えています。デバイスがバスから新しいコマンドを受信すると、そのデータを書き込みコマンド・データ・バッファにコピーして、このコマンド・データをフェッチする必要があることを内部プロセッサに示し、そのコマンドを実行できるように内部フォーマットに変換します。

2つの異なる並列ブロックが、コマンドのバッファと処理（フェッチ、変換、および実行）を管理して、任意のコマンドに対して書き込まれた最後のデータが失われないようにします。コマンド・データ・バッファリングは、コマンド・データを書き込みコマンド・データ・バッファに保存し、その後の処理に備えてこれらのコマンドをマーキングすることにより、入力 PMBus 書き込みを処理します。内部プロセッサは並列で動作し、コマンドのフェッチ、変換、実行といった場合によっては速度の遅いタスクを取り扱って、これらを処理します。

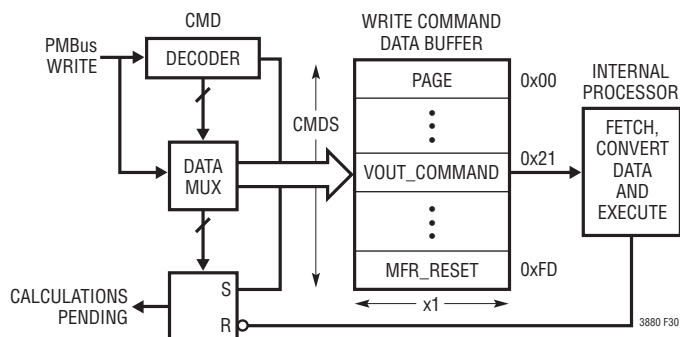


図30. 書き込みコマンド・データ処理

計算集約的ないくつかのコマンド（たとえばタイミング・パラメータ、温度、電圧、および電流）では、内部プロセッサの実行時間が PMBus のタイミングに比べて長くなることがあります。デバイスがコマンドの処理でビジー状態になっているときに新しいコマンドが受信されると、その実行が遅れたり、受信の順番とは異なる順番で実行されたりすることになります。デバイスは、内部計算が進行中の場合、MFR_COMMON のビット5（「計算は保留されていない」）を通じてこれを示します。デバイスが計算でビジー状態になっている場合、ビット5はクリアされます。このビットがセットされている場合、デバイスは別のコマンドを実行できる状態にあります。図30にはポーリング・ループの例が示されており、これによってエラー・ハンドリング・ルーチンが簡略化され、コマンドは順番に処理されます。

デバイスはビジー状態にある時にコマンドを受信すると、標準 PMBus プロトコルを使ってこの状態を伝達します。デバイスの構成に応じて、コマンドに対して NACK を返すか、読み出しのためにすべて 1 (0xFF) を返します。また、BUSY フォルトと ALERT 通知を生成したり、SCL クロックを“L”にストレッチすることもあります。詳細については、PMBus 仕様 v1.1、パート II、セクション 10.8.7、および SMBus v2.0、セクション 4.3.3 を参照してください。クロック・ストレッチングは、MFR_CONFIG_ALL_LTC3880 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・ストレッチングは、イネーブルにした状態で通信速度が 100kHz を超えた場合のみ行われます。

PMBus ビジー・プロトコルは広く受け入れられている標準規格ですが、書き込みシステム・レベルのソフトウェアが少し複雑なものになることがあります。このデバイスには3つの「ハンドシェイク」ステータス・ビットがあり、これによって信頼性の高いシステム・レベルの通信が可能になる一方で、複雑さが軽減されます。

この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。内部演算の実行によってデバイスがビジー状態の時は、MFR_COMMON のビット6（「デバイスはビジー状態でない」）がクリアされます。特に過渡的な VOUT 状態にあるためにデバイスがビジー状態となっている時は（“H”/“L”のマージニング、電源のオン/オフ、新しい電圧セットポイントへの移動など）、MFR_COMMON のビット4（「出力は過渡状態にない」）がクリアされます。内部計算が進行中の時は、MFR_COMMON のビット5（「計算は保留されていない」）がクリアされます。これら3つのステータス・ビットは、3つのビットすべてが設定されるまで、MFR_COMMON レジスタの PMBus 読み出しバイトによってポーリングすることができます。ステータス・ビットが設定された直後のコマンド

アプリケーション情報

は、NACKを返したり、BUSYフォルトやALERT通知を生成したりすることなく受け入れられます。ただし、PMBus仕様によって必要な場合は、デバイスがコマンドに対してNACKを返すことがあります(たとえば無効なコマンドやデータ)。VOUT_COMMANDレジスタ用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31に示します。

```
// 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31. VOUT_COMMANDのコマンド書き込みの例

すべてのコマンド書き込み(バイト書き込み、ワード書き込みなど)の前には、ビジー動作や望ましくないALERTB通知を扱うことによって処理がより複雑になるのを避けるために、ポーリング・ループを使用することを推奨します。これを実現

する簡単な方法は、SAFE_WRITE_BYTE()サブルーチンとSAFE_WRITE_WORD()サブルーチンを作成することです。上記のポーリング・メカニズムを使用すれば、ソフトウェアをクリーンかつシンプルに保ちながら、デバイスとの信頼性の高い通信を実現することができます。これらのトピックやその他のケースに関する詳細な検討については、www.linear.com/designtools/app_notesのアプリケーションノートのセクションを参照してください。

100kHz以下のバス速度を使って通信を行う時は、ここに示したポーリング・メカニズムを使用すれば、クロック・ストレッチングなしで簡単に信頼性の高い通信を実現することができます。100kHzを超えるバス速度では、クロック・ストレッチングを有効にしたデバイス構成とすることを強く推奨します。これには、クロック・ストレッチングをサポートするPMBusマスタが必要です。100kHzを超える速度において、クロック・ストレッチングを使用することなく通信を行うには、PMBus仕様v1.1、パートII、セクション10.8.7に示すように、標準的なPMBus NACK/BUSYフォルトを検出して、この状態から正しく復旧するシステム・ソフトウェアが必要です。

PMBus コマンドの詳細

呼び出し機能および書き込み保護

コマンドの名称	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	既定値
PAGE	0x00	ページングをサポートしているコマンドの、現在選択されているチャンネルまたはページ。	R/W バイト	N	Reg			0x00
WRITE_PROTECT	0x10	偶発的変更に対してデバイスによって与えられる保護のレベル。	R/W バイト	N	Reg		Y	0x00
MFR_ADDRESS	0xE6	7ビット I ² C アドレス・バイトの設定。	R/W バイト	N	Reg		Y	0x4F
MFR_CHANNEL_ADDRESS	0xD8	PAGE でアクティブにされたチャンネルのアドレス。	R/W バイト	Y	Reg		Y	0x80
MFR_RAIL_ADDRESS	0xFA	共通パラメータを調整するための PolyPhase 出力の共通アドレス。	R/W バイト	Y	Reg		Y	0x80

PAGE

ページ・コマンドは、1つの物理アドレスだけで、両方の出力を設定、制御およびモニタする能力を備えています。各 PAGE には各出力の「動作メモリ」が備わっています。

ページ 0x00 とページ 0x01 は、それぞれこのデバイスのチャンネル 0 とチャンネル 1 に対応します。

ページを 0xFF に設定すると、コマンドが両方の出力に適用されることを意味します。PAGE を 0xFF に設定して READ コマンドを実行すると、PAGE 0 と同じ値を返します。PAGE が 0xFF に設定されると、R/W コマンドに対する制限はありません。

このコマンドには 1 データ・バイトがあります。

WRITE_PROTECT

WRITE_PROTECT コマンドは、LTC3880 デバイスへの書き込みを制御するのに使われます。このコマンドは、MFR_COMMON で定義された WP ピンの状態を表しません。WRITE_PROTECT コマンドの方が厳しくない限り、WP ピンはこのコマンドの値より優先されます。

バイト	意味
0x80	WRITE_PROTECT、PAGE_MFR_EE_UNLOCK および STORE_USER_ALL コマンドへの書き込みを除く全ての書き込みをディスエーブル
0x40	WRITE_PROTECT、PAGE、MFR_EE_UNLOCK、MFR_CLEAR_PEAKS、STORE_USER_ALL、OPERATION および CLEAR_FAULTS コマンドへの書き込みを除く全ての書き込みをディスエーブルします。STATUS レジスタのそれぞれのビットに 1 を書き込むことにより、個々のフォルト・ビットをクリアすることができます。
0x20	WRITE_PROTECT、OPERATION、MFR_EE_UNLOCK、MFR_CLEAR_PEAKS、CLEAR_FAULTS、PAGE、ON_OFF_CONFIG、VOUT_COMMAND および STORE_USER_ALL への書き込みを除く全ての書き込みをディスエーブルします。STATUS レジスタのそれぞれのビットに 1 を書き込むことにより、個々のフォルト・ビットをクリアすることができます。
0x10	予備、0 でなければならない
0x08	予備、0 でなければならない
0x04	予備、0 でなければならない
0x02	予備、0 でなければならない
0x01	予備、0 でなければならない

WRITE_PROTECT が 0x00 に設定されると、すべてのコマンドへの書き込みがイネーブルされます。

このコマンドには 1 データ・バイトがあります。

PMBus コマンドの詳細

WPピンが“H”だと、PAGE、OPERATION、MFR_CLEAR_PEAKE、MFR_EE_UNLOCKおよびCLEAR_FAULTSコマンドがサポートされます。STATUSレジスタのそれぞれのビットに1を書き込むことにより、個々のフォルト・ビットをクリアすることができます。

MFR_ADDRESS

MFR_ADDRESS コマンド・バイトは、このデバイスの PMBus スレーブ・アドレスの7ビットを設定します。

このコマンドを0x80の値に設定すると、デバイスの呼び出しがディスエーブルされます。GLOBAL デバイス・アドレス(0x5Aと0x5B)を非アクティブにすることはできません。RCONFIGが無視するように設定されている場合、それでも、チャンネル・アドレスのLSBを決定するのにASELピンが使われます。ASELピンがオープンしている場合、LTC3880はNVMに格納されているアドレス値を使います。

このコマンドには1データ・バイトがあります。

MFR_CHANNEL_ADDRESS

MFR_CHANNEL_ADDRESS コマンドは、PAGEによってアクティブになったチャンネルへの、デバイスのアドレスによる直接のアクセスを可能にします。このコマンドの値はPMBus上で固有にし、他のチャンネルやデバイスと同じにならないようにします。

このコマンドが0x80に設定されていないと、このチャンネルに固有のステータス状態により、アラート応答アドレス(ARA)の値がMFR_CHANNEL_ADDRESS コマンドの値に等しくなります。

このコマンドを0x80の値に設定すると、そのチャンネルのチャンネル・デバイス呼び出しがディスエーブルされます。

このコマンドには1データ・バイトがあります。

MFR_RAIL_ADDRESS

MFR_RAIL_ADDRESS コマンドは、PAGEによってアクティブになったチャンネルへの、デバイスのアドレスによる直接のアクセスを可能にします。このコマンドの値は、1つの電源レールに接続された全デバイスに共通にします。

ユーザはこのアドレスにはコマンドの書き込みだけ実行します。このアドレスから読み出しを実行し、レールのデバイスが「正確に」同じ値で応答しないと、LTC3880はバス競合を検出し、CML通信フォルトをセットします。

このコマンドを0x80の値に設定すると、そのチャンネルのレール・デバイス呼び出しがディスエーブルされます。

このコマンドには1データ・バイトがあります。

PMBus コマンドの詳細

一般構成レジスタ

コマンドの名称	CMDコード	説明	タイプ	ページ指定	データ形式	単位	NVM	既定値
MFR_CHAN_CONFIG_LTC3880	0xD0	チャンネル固有の設定ビット。	R/Wバイト	Y	Reg		Y	0x1F
MFR_CONFIG_ALL_LTC3880	0xD1	全てのページに共通の設定ビット。	R/Wバイト	N	Reg		Y	0x09

MFR_CHAN_CONFIG_LTC3880

LTCの複数の製品に共通している汎用設定コマンド

ビット	意味
7	予備
6	予備
5	予備
4	RUNの“L”をディスエーブル。アサートされると、オフのコマンドが与えられてもRUNピンは“L”にならない
3	短いサイクル。TOFF_DELAYまたはTOFF_FALLを待っている間にオンするようにコマンドが与えられる場合、アサートされると直ちにオフする。120msのTOFF_MINが守られてから、デバイスはコマンドによってオンする。
2	SHARE_CLOCKコントロール、SHARE_CLOCKが“L”に保持されていると、出力はディスエーブルされる
1	GPIOによるALERTの回避、GPIOが外部で“L”に引き下げられてもALERTは“L”にならない。POWER_GOODまたはVOUT_UVUF(PGOOD)のいずれかがGPIOに伝播している場合は、このビットをアサートしてください。
0	MFR_RETRY_TIMEの処理のためのVOUTの減衰の要件をディスエーブルする。このビットが0に設定されているときは、フォルト、OFF/ONコマンド、RUNピンの“H”から“L”、さらに“H”へのトグルなど、電源をオフするあらゆるアクションに対して、出力電圧は設定値の12.5%より下まで減衰しなければならない。

このコマンドには1データ・バイトがあります。

MFR_CONFIG_ALL_LTC3880

LTCの複数の製品に共通している汎用設定コマンド

ビット	意味
7	フォルト・ログのイネーブル
6	抵抗による設定ピンを無視
5	予備、1にセット
4	予備
3	PLLアンロック・フォルトをマスク
2	PMBusの書き込みを受け入れるのに有効なPECが必要。このビットがセットされていないと、デバイスは無効なPECでコマンドを受け入れる。
1	PMBusのクロックストレッチの使用をイネーブル
0	CLEAR_FAULTSコマンドを出すために、どちらかのRUNピンの“L”から“H”への遷移をイネーブル

このコマンドには1データ・バイトがあります。

LTC3880/LTC3880-1

PMBus コマンドの詳細

オン/オフ/マージン

コマンドの名称	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	既定値
ON_OFF_CONFIG	0x02	RUN ピンおよび PMBus バスのオン/オフ・コマンドの設定。	R/W バイト	Y	Reg		Y	0x1E
OPERATION	0x01	動作モードの制御。オン/オフ、マージンハイおよびマージンロー。	R/W バイト	Y	Reg		Y	0x80
MFR_RESET	0xFD	パワーダウンを必要としない、コマンドによるリセット。	バイトを送信	N				NA

ON_OFF_CONFIG

ON_OFF_CONFIG コマンドは、ユニットをオン/オフするための、RUN_n ピンの入力とシリアル・バス・コマンドの組み合わせを設定します。これには、電力が与えられたときユニットがどのように応答するかも含まれます。

変更が許されているビットだけ以下に示します。

3: シリアル・バスを介して受信されたコマンドに対してユニットがどう応答するか制御します。

0: ユニットにオフするように指示するときの RUN ピンのアクション。ビット 0 を 1 に設定すると、デバイスはできるだけ速く出力段への電力の伝送を停止します。これは、負荷による出力コンデンサの放電に影響を与えます。ビット 0 をゼロに設定すると、レギュレータはプログラムされたターンオフ遅延と立ち下がり時間を使います。デバイスが連続モードであれば、プログラムされたターンオフ応答は、電力を負荷から直ちに引き去るよりもかなり速く、出力をゼロボルトに引き下げることがあります。

ビットの 4、2 または 1 を変更すると、CML フォルトが発生します。

このコマンドには 1 データ・バイトがあります。

表 3. ON_OFF_CONFIG の詳細なレジスタ情報
ON_OFF_CONFIG のデータの内容

ビット	シンボル	動作
b[7:5]	予備	ドントケア。常に 0 を返す。
b[3]	On_off_config_use_pmbus	シリアル・バスを介して受信されたコマンドに対してユニットがどう応答するか制御する。 0: ユニットは OPERATION コマンド b[7:6] を無視する。 1: ユニットは OPERATION コマンド b[7:6] に応答する。ユニットがスタートするには、RUN _n ピンがアサートされることも必要。
b[0]	On_off_config_control_fast_off	ユニットにオフするように指示するときの RUN _n ピンのターンオフ・アクション。 0: プログラムされた TOFF_DELAY を使用する。 1: できるだけ速く出力をオフし、エネルギーの伝送を停止する。デバイスは、出力電圧の立ち下がり時間を短くするために電流をシンクしない。

注記: 電力変換を開始するには、RUN ピンが“H”であることが常に必要である。RUN が“L”のとき常に電力変換は停止する。

PMBus コマンドの詳細

OPERATION

OPERATION コマンドは、RUN_n ピンからの入力と連携して、ユニットをオン/オフするのに使われます。これは、ユニットが出力電圧を上方または下方の MARGIN VOLTAGE (マージン電圧) に設定するようにするのも使われます。後に続く OPERATION コマンドまたは RUN_n ピンの状態の変化により、デバイスが別のモードに変わるように指示されるまで、ユニットは指示された動作モードに留まります。デバイスが MARGIN_LOW/HIGH の状態に設定されると、次の RESET または POWER_ON サイクルにより、その状態にランプします。OPERATION コマンドが変えられると、たとえば、ON が MARGIN_LOW に変えられると、出力は VOUT_TRANSITION_RATE で設定された固定勾配で変化します。

マージンハイ (フォルトを無視) とマージンロー (フォルトを無視) の動作は、LTC3880 ではサポートされていません。

このデバイスは既定で ON 状態になります。

このコマンドには 1 データ・バイトがあります。

表 4. OPERATION コマンド詳細レジスタ

On_Off_Config_Use_PMBus が Operation_Control をイネーブルするときの OPERATION のデータの内容

記号	動作	値
ビット		
機能	直ちにターンオフ	0x00
	ターンオン	0x80
	下方マージン	0x98
	上方マージン	0xA8
	シーケンス・オフ	0x40

OPERATION コマンドがチャンネルのオンまたはオフのコマンドに使用されないように On_Off_Config が設定されているときの OPERATION のデータの内容

記号	動作	値
ビット		
機能	公称値で出力	0x80
	下方マージン	0x98
	上方マージン	0xA8

注記: 予備の値を書き込もうとすると、CML フォルトになります。

MFR_RESET

このコマンドは、それによってユーザが LTC3880 をリセットすることができる手段を与えます。

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトがありません。

LTC3880/LTC3880-1

PMBus コマンドの詳細

PWM Config

コマンドの名称	CMDコード	説明	タイプ	ページ指定	データ形式	単位	NVM	既定値
MFR_PWM_MODE_LTC3880	0xD4	各チャンネルのPWMエンジンの設定。	R/Wバイト	Y	Reg		Y	0xC2
MFR_PWM_CONFIG_LTC3880	0xF5	フェーシングを含むDC/DCコントローラの多数のパラメータを設定。	R/Wバイト	N	Reg		Y	0x10
FREQUENCY_SWITCH	0x33	コントローラのスイッチング周波数。	R/Wワード	N	L11	kHz	Y	350 0xFABC

MFR_PWM_MODE_LTC3880

MFR_PWM_MODE_LTC3880 コマンドにより、ユーザはPWMコントローラをプログラムして、Burst Mode 動作、不連続(パルス・スキップ・モード)、または強制連続導通モードを使うことができます。

ビット	意味
7	ILIMITの高い範囲を使用 0 – 低い電流範囲 1 – 高い電流範囲
6	サーボ・モードをイネーブル
5	予備
4	予備
3	予備
2	予備
Bit[1:0]	モード
00b	不連続
01b	Burst Mode 動作
10b	強制連続モード

このコマンドの値には関係なく、チャンネルがランプしてオンするときは常に、PWMモードは不連続になります。

このコマンドのBit [7] は、デバイスがIOUT_OC_FAULT_LIMIT コマンドの高い範囲または低い範囲のどちらにあるかを決めます。このビットの値を変えると、PWMループの利得と補償が変化します。出力がアクティブなときにこのビットの値を変えると、システムに悪影響を及ぼすことがあります。

Bit [6]: デバイスは、オフのとき、ランプしてオンするとき、またはランプしてオフするとき、サーボ制御を行いません。1に設定されると、出力のサーボがイネーブルされます。出力設定ポイントDACはゆっくり調整され、READ_VOUT_ADCとVOUT_COMMANDの間の差(または適切にマージンをとった値)を最小に抑えます。

このコマンドには1データ・バイトがあります。

MFR_PWM_CONFIG_LTC3880

MFR_PWM_CONFIG_LTC3880 コマンドは、SYNC信号の立ち下がりエッジを基準にしたスイッチング周波数の位相オフセットを設定します。このコマンドを処理するには、デバイスがオフ状態でなければなりません。RUNピンが“L”であるか、またはデバイスをコマンドによってオフする必要があります。デバイスが実行状態で、このコマンドが書き込まれると、コマンドは無視され、BUSYフォルトがアサートされます。このコマンドのビット5とビット6は、それぞれのチャンネルのループ利得に影響を与えるので、外部補償ネットワークの修正が必要になることがあります。

PMBus コマンドの詳細

ビット	意味	
7	予備、0に設定	
6	V _{OUT0} RANGE = 1であれば、V ₀ の最大出力電圧は2.75V。RANGE = 0であれば、V ₀ の最大出力電圧は4.096V。	
5	V _{OUT1} RANGE = 1であれば、V ₁ の最大出力電圧は2.75V。RANGE = 0であれば、V ₁ の最大出力電圧は5.5V。	
4	共有クロック・イネーブル: このビットが1であれば、V _{IN} > V _{IN_ON} となるまで SHARE_CLK ピンはリリースされない。V _{IN} < V _{IN_OFF} のとき、SHARE_CLK ピンは“L”になる。このビットが0であれば、最初にV _{IN} を与えるときを除いて、V _{IN} < V _{IN_OFF} のとき、SHARE_CLK ピンは“L”に引き下げられない。	
3	予備	
BIT [2:0]	チャンネル0(度)	チャンネル1(度)
000b	0	180
001b	90	270
010b	0	240
011b	0	120
100b	120	240
101b	60	240
110b	120	300

このコマンドには1 データ・バイトがあります。

FREQUENCY_SWITCH

FREQUENCY_SWITCH コマンドは、PMBus デバイスのスイッチング周波数を kHz で設定します。

サポートされる周波数:

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

このコマンドを処理するには、デバイスはオフ状態でなければなりません。RUN ピンが“L”であるか、またはデバイスをコマンドによってオフする必要があります。デバイスが実行状態で、このコマンドが書き込まれると、コマンドは無視され、BUSY フォルトがアサートされます。デバイスをコマンドによってオフし、周波数を変えると、PLL が新しい周波数にロックするので、PLL_UNLOCK の状態が検出されることがあります。

このコマンドには2 データ・バイトがあり、Linear_5s_11s フォーマットでフォーマットされます。

PMBus コマンドの詳細

電圧

入力電圧とリミット

コマンドの名称	CMDコード	説明	タイプ	ページ指定	データ形式	単位	NVM	既定値
VIN_OV_FAULT_LIMIT	0x55	入力電源の過電圧フォルト・リミット。	R/Wワード	N	L11	V	Y	15.5 0xD3E0
VIN_UV_WARN_LIMIT	0x58	入力電源の低電圧警報リミット。	R/Wワード	N	L11	V	Y	6.3 0xCB26
VIN_ON	0x35	ユニットが電力変換を開始する入力電圧。	R/Wワード	N	L11	V	Y	6.5 0xCB40
VIN_OFF	0x36	ユニットが電力変換を停止する入力電圧。	R/Wワード	N	L11	V	Y	6.0 0xCB00

VIN_OV_FAULT_LIMIT

VIN_OV_FAULT_LIMIT コマンドは、入力過電圧フォルトを生じる、測定された入力電圧の値(単位はボルト)を設定します。このフォルトはA/Dコンバータによって検出され、最大100msの待ち時間を生じます。

このコマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11sフォーマットでフォーマットされます。

VIN_UV_WARN_LIMIT

VIN_UV_WARN_LIMIT コマンドは、入力低電圧警報を生じる入力電圧の値(単位はボルト)を設定します。この警報はA/Dコンバータによって検出され、最大100msの待ち時間を生じます。

このコマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11sフォーマットでフォーマットされます。

VIN_ON

VIN_ON コマンドは、ユニットが電力変換を開始する入力電圧(単位はボルト)を設定します。

このコマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11sフォーマットでフォーマットされます。

VIN_OFF

VIN_OFF コマンドは、ユニットが電力変換を停止する入力電圧(単位はボルト)を設定します。

このコマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11sフォーマットでフォーマットされます。

PMBus コマンドの詳細

出力電圧とリミット

コマンドの名称	CMDコード	説明	タイプ	ページ指定	データ形式	単位	NVM	既定値
VOUT_MODE	0x20	出力電圧のフォーマットおよびべき数 (2^{-12})。	Rバイト	Y	Reg			2^{-2} 0x14
VOUT_MAX	0x24	VOUT_MARGIN_HIGH など、コマンドによって指定された出力電圧の上限。	R/Wワード	Y	L16	V	Y	4.096 Ch0 0x4189 5.5 Ch1 0x5800
VOUT_OV_FAULT_LIMIT	0x40	出力の過電圧フォルト・リミット。	R/Wワード	Y	L16	V	Y	1.1 0x119A
VOUT_OV_WARN_LIMIT	0x42	出力の過電圧警報リミット。	R/Wワード	Y	L16	V	Y	1.075 0x1133
VOUT_MARGIN_HIGH	0x25	マージンハイ出力電圧の設定ポイント。VOUT_COMMAND より大きい値でなければならない。	R/Wワード	Y	L16	V	Y	1.05 0x10CD
VOUT_COMMAND	0x21	公称出力電圧の設定ポイント。	R/Wワード	Y	L16	V	Y	1.0 0x1000
VOUT_MARGIN_LOW	0x26	マージンロー出力電圧の設定ポイント。VOUT_COMMAND より小さい値でなければならない。	R/Wワード	Y	L16	V	Y	0.95 0x0F33
VOUT_UV_WARN_LIMIT	0x43	出力の低電圧警報リミット。	R/Wワード	Y	L16	V	Y	0.925 0x0ECD
VOUT_UV_FAULT_LIMIT	0x44	出力の低電圧フォルト・リミット。	R/Wワード	Y	L16	V	Y	0.9 0x0E66
POWER_GOOD_ON	0x5E	それ以上になるとパワーグッドをアサートする出力電圧。	R/Wワード	Y	L16	V	Y	0.93 0x0EE1
POWER_GOOD_OFF	0x5F	それ以下になるとパワーグッドをデアサートする出力電圧。	R/Wワード	Y	L16	V	Y	0.92 0x0EB8
MFR_VOUT_MAX	0xA5	VOUT_OV_FAULT_LIMIT などの最大許容電圧コマンド。	Rワード	Y	L16	V		4.096 Ch0 5.5 Ch1

VOUT_MODE

出力電圧に関する命令および読み出しに使われる VOUT_MODE コマンドのデータ・バイトは、3ビットのモード(リニア・フォーマットのみサポートされている)と、出力電圧の読み出し/書き込み命令に使われる指数を表す5ビットのパラメータで構成されています。

この読み出し専用コマンドには1データ・バイトがあります。

VOUT_MAX

VOUT_MAX コマンドは、他のコマンドや組み合わせに関係なく、デバイスで指定可能な出力電圧の上限(VOUT_MARGIN_HIGH など)を設定します。

このコマンドには2データ・バイトがあり、Linear_16u フォーマットでフォーマットされます。

VOUT_OV_FAULT_LIMIT

VOUT_OV_FAULT_LIMIT コマンドは、出力過電圧フォルトを生じる、検出ピンで測定される出力電圧の値(単位はボルト)を定めます。

VOUT_OV_FAULT_LIMIT が変更され、スイッチャがアクティブになると、コマンドが変更された後 10ms を与えて新しい値が確実に有効になるようにします。デバイスは、計算中のためビジーであるかどうかを表示します。MFR_COMMON のビット5とビット6をモニタします。デバイスがビジーであると、どちらのビットも“L”になります。この待ち時間が経過する前に、VOUT_

PMBus コマンドの詳細

COMMAND を前の過電圧リミットより上に変更すると、OV 状態が一時的に検出され、望ましくない動作が生じ、スイッチャにダメージを与える可能性があります。

VOUT_OV_FAULT_RESPONSE が OV_PULLDOWN に設定されている場合、VOUT_OV_FAULT が伝播してきても、 $\overline{\text{GPIO}}$ ピンはアサートされません。LTC3880 は、過電圧状態が検出されると、直ちに TG を“L”に引き下げ、BG ビットをアサートします。

このコマンドには 2 データ・バイトがあり、Linear_16u フォーマットでフォーマットされます。

VOUT_OV_WARN_LIMIT

VOUT_OV_WARN_LIMIT コマンドは、出力の高電圧警報を生じる、検出ピンで測定される出力電圧の値(単位はボルト)を定めます。READ_VOUT の値は、このリミットを超えたかどうかを判定するのに使われます。

VOUT_OV_WARN_LIMIT を超えると、デバイスは以下のように応答します。

- STATUS_BYTE の NONE_OF_THE_ABOVE ビットをセットします
- STATUS_WORD の VOUT ビットをセットします
- STATUS_VOUT コマンドの VOUT 過電圧警報ビットをセットします
- $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートしてホストに通知します

この状態は ADC によって検出されるので、応答時間は最大 100ms です。

このコマンドには 2 データ・バイトがあり、Linear_16u フォーマットでフォーマットされます。

VOUT_MARGIN_HIGH

VOUT_MARGIN_HIGH コマンドは、OPERATION コマンドが「マージンハイ」に設定されると、そこまで出力が変更される電圧(単位はボルト)をユニットにロードします。このコマンドの値は VOUT_COMMAND より大きくなければなりません。

このコマンドは、TON_RISE と TOFF_FALL の出力シーケンシングの間は実行されません。出力がアクティブで、定常状態であるときにこのコマンドが変更されると、VOUT_TRANSITION_RATE が使われます。

このコマンドには 2 データ・バイトがあり、Linear_16u フォーマットでフォーマットされます。

VOUT_COMMAND

VOUT_COMMAND コマンドは 2 バイトで構成され、出力電圧(単位はボルト)を設定するのに使われます。

このコマンドは、TON_RISE と TOFF_FALL の出力シーケンシングの間は実行されません。出力がアクティブで、定常状態であるときにこのコマンドが変更されると、VOUT_TRANSITION_RATE が使われます。

このコマンドには 2 データ・バイトがあり、Linear_16u フォーマットでフォーマットされます。

VOUT_MARGIN_LOW

VOUT_MARGIN_LOW コマンドは、OPERATION コマンドが「マージンロー」に設定されると、そこまで出力が変更される電圧(単位はボルト)をユニットにロードします。このコマンドの値は VOUT_COMMAND より小さくなければなりません。

このコマンドは、TON_RISE と TOFF_FALL の出力シーケンシングの間は実行されません。出力がアクティブで、定常状態であるときにこのコマンドが変更されると、VOUT_TRANSITION_RATE が使われます。

このコマンドには 2 データ・バイトがあり、Linear_16u フォーマットでフォーマットされます。

PMBus コマンドの詳細

VOUT_UV_WARN_LIMIT

VOUT_UV_WARN_LIMIT コマンドは、出力の低電圧警報を生じる、検出ピンで測定される出力電圧の値(単位はボルト)を読み出します。

VOUT_UV_WARN_LIMIT を超えると、デバイスは以下のように応答します。

- STATUS_BYTE の NONE_OF_THE_ABOVE ビットをセットします
- STATUS_WORD の VOUT ビットをセットします
- STATUS_VOUT コマンドの VOUT 低電圧警報ビットをセットします
- ALERT ピンをアサートしてホストに通知します

この状態は ADC によって検出されるので、応答時間は最大 100ms です。

このコマンドには 2 データ・バイトがあり、Linear_16u フォーマットでフォーマットされます。

VOUT_UV_FAULT_LIMIT

VOUT_UV_FAULT_LIMIT コマンドは、出力低電圧フォルトを生じる、検出ピンで測定される出力電圧の値(単位はボルト)を読み出します。

このコマンドには 2 データ・バイトがあり、Linear_16u フォーマットでフォーマットされます。

POWER_GOOD_ON

POWER_GOOD_ON コマンドは、POWER_GOOD 信号がアサートされる出力電圧を設定します。POWER_GOOD_ON は、A/D 読み出しによって検出され、最大 100ms の待ち時間を生じます。

このコマンドには 2 データ・バイトがあり、Linear_16u フォーマットでフォーマットされます。

POWER_GOOD_OFF

POWER_GOOD_OFF コマンドは、POWER_GOOD 信号がデアサートされる出力電圧を設定します。POWER_GOOD_OFF は、A/D の測定値によって検出され、最大 100ms の待ち時間を生じます。最初のパワーアップ時、状態は“L”であってもこのピンの出力は“H”になります。パワーアップ時に適切な状態が必要であれば、ショットキー・ダイオードを RUN と GPIO の間に接続します。アノードを GPIO ピンに接続し、カソードを RUN に接続します。

POWER_GOOD_ON の状態は ALERT を開始しないようにマスクされています。STATUS_WORD コマンドの POWER_GOOD 状態ビットは常に POWER_GOOD スレッシュホールドを基準にした VOUT を反映します。

このコマンドには 2 データ・バイトがあり、Linear_16u フォーマットでフォーマットされます。

MFR_VOUT_MAX

MFR_VOUT_MAX コマンドは、VOUT_OV_FAULT_LIMIT を含む、各チャンネルの最大出力電圧(単位はボルト)です。出力電圧がハイレンジに設定されると(MFR_PWM_CONFIG_LTC3880 のビット 5 とビット 6 を 0 に設定)、チャンネル 0 の MFR_VOUT_MAX は 4.096V、チャンネル 1 の MFR_VOUT_MAX は 5.5V になります。出力電圧がローレンジに設定されると(MFR_PWM_CONFIG_LTC3880 のビット 5 とビット 6 を 1 に設定)、両方のチャンネルの MFR_VOUT_MAX が 2.75V になります。VOUT_COMMAND にこれより大きな値を入れると、CML フォルトになり、出力電圧設定は最大レベルにクランプされます。

この読み出し専用コマンドには 2 データ・バイトがあり、Linear_16u フォーマットでフォーマットされます。

LTC3880/LTC3880-1

PMBus コマンドの詳細

電流

入力電流の較正

コマンドの名称	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	既定値
MFR_IIN_OFFSET	0xE9	デバイスのIQを計算に入れるため入力電流に加算するのに使われる係数。	R/W ワード	Y	L11	A	Y	0.050 0x9333

MFR_IIN_OFFSET

MFR_IIN_OFFSET コマンドにより、ユーザは各チャネルの消費電流を表す入力電流を設定することができます。低い出力電流で高い精度を得るには、デバイスを連続導通モードにします。

このコマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11s フォーマットでフォーマットされます。

出力電流の較正

コマンドの名称	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	既定値
IOUT_CAL_GAIN	0x38	検出された電流に対する、電流検出ピンの電圧の比。固定電流検出抵抗を使用するデバイスでは、mΩを単位とする抵抗値。	R/W ワード	Y	L11	mΩ	Y	1.8 0xBB9A
MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC	0xF6	現在の検出素子の温度係数。	R/W ワード	Y	CF		Y	3900 0x0F3C

IOUT_CAL_GAIN

IOUT_CAL_GAIN コマンドは、電流検出抵抗の抵抗値をミリオーム単位で設定するのに使います。(MFR_IOUT_CAL_GAIN_TCも参照)。

このコマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11s フォーマットでフォーマットされます。

MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC

MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC コマンドにより、ユーザはIOUT_CAL_GAINのセンス抵抗またはインダクタのDCRの温度係数をppm/°Cでプログラムすることができます。

このコマンドには2データ・バイトがあり、16ビットの2の補数の整数のppmでフォーマットされます。N = -32768 ~ 32767 • 10⁻⁶です。公称温度は27°Cです。IOUT_CAL_GAINは次の値で乗算されます。

$[1.0 + \text{MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC} \cdot (\text{READ_TEMPERATURE_1} - 27)]$ 。DCRによる検出は標準的な値が3900になります。

IOUT_CAL_GAINとMFR_IOUT_CAL_GAIN_TCは、以下のものを含む全ての電流パラメータに影響を与えます。READ_IOUT、READ_IIN、IOUT_OC_FAULT_LIMITおよびIOUT_OC_WARN_LIMIT。

入力電流

コマンドの名称	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	既定値
IIN_OC_WARN_LIMIT	0x5D	入力の過電流警報リミット。	R/W ワード	N	L11	A	Y	10.0 0xD280

PMBus コマンドの詳細

IIN_OC_WARN_LIMIT

IIN_OC_WARN_LIMIT コマンドは、入力電流が高いことを示す警報を生じる入力電流の値(単位はアンペア)を設定します。READ_IIN の値は、このリミットを超えたかどうかを判定するのに使われます。

IIN_OC_WARN_LIMIT を超えると、デバイスは以下のように応答します。

- STATUS_BYTE の OTHER ビットをセットします
- STATUS_WORD の上位バイトの INPUT ビットをセットします
- STATUS_INPUT コマンドの IIN 過電流警報ビットをセットし、さらに
- ALERT ピンをアサートしてホストに通知します

この状態は ADC によって検出されるので、応答時間は最大 100ms です。

このコマンドには 2 データ・バイトがあり、Linear_5s_11s フォーマットでフォーマットされます。

出力電流

コマンドの名称	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	既定値
IOUT_OC_FAULT_LIMIT	0x46	出力の過電流フォルト・リミット。	R/W ワード	Y	L11	A	Y	29.75 0xDBB8
IOUT_OC_WARN_LIMIT	0x4A	出力の過電流警報リミット。	R/W ワード	Y	L11	A	Y	20.0 0xDA80

IOUT_OC_FAULT_LIMIT

IOUT_OC_FAULT_LIMIT コマンドはピーク出力電流制限の値(単位はアンペア)を設定します。コントローラが電流制限状態のとき、過電流検出器は過電流フォルト状態を表示します。プログラムされる過電流フォルト・リミット値は、以下の離散値の中の最も近い 1 つに切り上げられます。

25mV/IOUT_CAL_GAIN	ローレンジ(公称ループ利得の 1.5 倍) MFR_PWM_MODE_LTC3880 [7]=0
28.6mV/IOUT_CAL_GAIN	
32.1mV/IOUT_CAL_GAIN	
35.7mV/IOUT_CAL_GAIN	
39.3mV/IOUT_CAL_GAIN	
42.9mV/IOUT_CAL_GAIN	
46.4mV/IOUT_CAL_GAIN	
50mV/IOUT_CAL_GAIN	
37.5mV/IOUT_CAL_GAIN	ハイレンジ(公称ループ利得) MFR_PWM_MODE_LTC3880 [7]=1
42.9mV/IOUT_CAL_GAIN	
48.2mV/IOUT_CAL_GAIN	
53.6mV/IOUT_CAL_GAIN	
58.9mV/IOUT_CAL_GAIN	
64.3mV/IOUT_CAL_GAIN	
69.6mV/IOUT_CAL_GAIN	
75mV/IOUT_CAL_GAIN	

注記：これは電流波形のピークです。READ_IOUT コマンドは平均電流を返します。ピーク出力電流制限は、次式を使って、MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC に基づき、温度によって調整されます。

LTC3880/LTC3880-1

PMBus コマンドの詳細

$$IOUT_OC_FAULT_LIMIT = IOUT_CAL_GAIN \cdot (1 + MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC \cdot (READ_TEMPERATURE_1 - 27.0))$$

LTpowerPlay GUIが自動的に電圧を電流に変換します。

IOUTの範囲はMFR_PWM_MODE_LTC3880コマンドのビット7によって設定されます。

TON_RISEとTOFF_FALLの間、IOUT_OC_FAULT_LIMITは無視されます。

このコマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11sフォーマットでフォーマットされます。

IOUT_OC_WARN_LIMIT

このコマンドは、出力過電流警報を生じる出力電流の値(単位はアンペア)を設定します。READ_IOUTの値は、このリミットを超えたかどうかを判定するのに使われます。

IOUT_OC_WARN_LIMITを超えると、デバイスは以下のように応答します。

- STATUS_BYTEのNONE_OF_THE_ABOVEビットをセットします
- STATUS_WORDのIOUTビットをセットします
- STATUS_IOUTコマンドのIOUT過電流警報ビットをセットし、さらに
- ALERTピンをアサートしてホストに通知します

この状態はADCによって検出されるので、応答時間は最大100msです。

TON_RISEとTOFF_FALLの間、IOUT_OC_FAULT_LIMITは無視されます。

このコマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11sフォーマットでフォーマットされます。

温度

外部温度の較正

コマンドの名称	CMDコード	説明	タイプ	ページ指定	データ形式	単位	NVM	既定値
MFR_TEMP_1_GAIN	0xF8	外部温度センサの勾配を設定。	R/Wワード	Y	CF		Y	1 0x4000
MFR_TEMP_1_OFFSET	0xF9	-273.1°Cを基準にした外部温度センサのオフセットを設定。	R/Wワード	Y	L11	C	Y	0 0x8000

MFR_TEMP_1_GAIN

MFR_TEMP_1_GAINコマンドは、外部温度センサの勾配を変えて、素子の理想状態からの偏りや、インダクタの温度のリモート検出に関連した誤差を修正します。

このコマンドには2データ・バイトがあり、16ビットの2の補数の整数でフォーマットされます。N = 8192~32767です。実効調整値は $N \cdot 2^{-14}$ です。公称値は1です。

MFR_TEMP_1_OFFSET

MFR_TEMP_1_OFFSETコマンドは、外部温度センサのオフセットを変えて、素子の理想状態からの偏りや、インダクタの温度のリモート検出に関連した誤差を修正します。

PMBus コマンドの詳細

このコマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11s フォーマットでフォーマットされます。デバイスは-273.15の値を使って計算を開始するので既定の調整値はゼロです。

外部温度のリミット

コマンドの名称	CMDコード	説明	タイプ	ページ指定	データ形式	単位	NVM	既定値
OT_FAULT_LIMIT	0x4F	外部過温度フォルト・リミット。	R/Wワード	Y	L11	C	Y	100.0 0xEB20
OT_WARN_LIMIT	0x51	外部過温度警報リミット。	R/Wワード	Y	L11	C	Y	85.0 0xEAA8
UT_FAULT_LIMIT	0x53	外部低温フォルト・リミット。	R/Wワード	Y	L11	C	Y	-40.0 0xE580

OT_FAULT_LIMIT

OT_FAULT_LIMIT コマンドは、過温度フォルトを生じる、外部検出温度の値(単位は摂氏)を設定します。READ_TEMPERATURE_1の値は、このリミットを超えたかどうかを判定するのに使われます。

この状態はADCによって検出されるので、応答時間は最大100msです。

このコマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11s フォーマットでフォーマットされます。

OT_WARN_LIMIT

OT_WARN_LIMIT コマンドは、過温度警報を生じる、外部検出温度の値(単位は摂氏)を設定します。READ_TEMPERATURE_1の値は、このリミットを超えたかどうかを判定するのに使われます。

OT_WARN_LIMIT を超えると、デバイスは以下のように応答します。

- STATUS_BYTE の TEMPERATURE ビットをセットします
- STATUS_TEMPERATURE コマンドの過温度警報ビットをセットし、さらに
- $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートしてホストに通知します。

この状態はADCによって検出されるので、応答時間は最大100msです。

このコマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11s フォーマットでフォーマットされます。

UT_FAULT_LIMIT

UT_FAULT_LIMIT コマンドは、低温フォルトを生じる、外部検出温度の値(単位は摂氏)を設定します。READ_TEMPERATURE_1の値は、このリミットを超えたかどうかを判定するのに使われます。

注記：温度センサがインストールされていない場合と、UT_FAULT_LIMIT を-275°Cに設定し、UT_FAULT_LIMIT 応答を「無視する」に設定して、 $\overline{\text{ALERT}}$ がアサートされるのを防ぐことができます。

この状態はADCによって検出されるので、応答時間は最大100msです。

0.1V/ms より大きく、1V/ms 以下の値が推奨されます。この範囲外の遷移速度が必要な場合は、当社にお問い合わせください。

このコマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11s フォーマットでフォーマットされます。

LTC3880/LTC3880-1

PMBus コマンドの詳細

タイミング

タイミング—オン・シーケンス/ランブ

コマンドの名称	CMDコード	説明	タイプ	ページ指定	データ形式	単位	NVM	既定値
TON_DELAY	0x60	RUNおよび/またはOPERATIONによるオンから出力レールがオンするまでの時間。	R/Wワード	Y	L11	ms	Y	0.0 0x8000
TON_RISE	0x61	出力が上昇を開始したときから、出力電圧がVOUTの指定された値に達するまでの時間。	R/Wワード	Y	L11	ms	Y	8.0 0xD200
TON_MAX_FAULT_LIMIT	0x62	VOUT_ENのオンから、VOUTがVOUT_UV_FAULT_LIMITを通過するまでの最大時間。	R/Wワード	Y	L11	ms	Y	10.0 0xD280
VOUT_TRANSITION_RATE	0x27	VOUTが新しい値に指定されたときの出力変化の速度。	R/Wワード	Y	L11	V/ms	Y	0.25 0xAA00

TON_DELAY

TON_DELAY コマンドは、スタート条件を受信してから出力電圧が上昇し始めるまでの時間(単位はミリ秒)を設定します。0ms ~ 83秒の値が有効です。

このコマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11sフォーマットでフォーマットされます。

TON_RISE

TON_RISE コマンドは、出力が上昇し始めてから、出力がレギュレーション範囲に入るまでの時間(単位はミリ秒)を設定します。0 ~ 1.3秒の値が有効です。TON_RISE イベントの間、デバイスは不連続モードになります。TON_RISEが0.25msより短いと、LTC3880のデジタル勾配はバイパスされます。出力電圧の遷移はPWMスイッチャのアナログ動作によって制御されます。最大許容勾配は4V/msです。

このコマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11sフォーマットでフォーマットされます。

TON_MAX_FAULT_LIMIT

TON_MAX_FAULT_LIMIT コマンドは、出力低電圧フォルト・リミットに達することなく、どの位の時間デバイスが出力をパワーアップしようと試みることができるかの値(単位はミリ秒)を設定します。

0msのデータ値は、リミットがないことを意味し、デバイスは無期限に出力電圧を立ち上げようと試みることができます。リミットの最大値は83秒です。

このコマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11sフォーマットでフォーマットされます。

VOUT_TRANSITION_RATE

PMBusのデバイスが、出力電圧を変化させるVOUT_COMMANDまたはOPERATION(Margin High, Margin Low)のどちらかを受け取ると、このコマンドは出力電圧の変化率(V/ms)を設定します。この指定された変化率は、デバイスがオンまたはオフするようにコマンドを与えられた場合は適用されません。

0.1V/msより大きな値が推奨されます。

このコマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11sフォーマットでフォーマットされます。

PMBus コマンドの詳細

タイミングーオフ・シーケンス/ランプ

コマンドの名称	CMDコード	説明	タイプ	ページ指定	データ形式	単位	NVM	既定値
TOFF_DELAY	0x64	RUN および/または OPERATION によるオフから、TOFF_FALL のランプが開始されるまでの時間。	R/Wワード	Y	L11	ms	Y	0.0 0x8000
TOFF_FALL	0x65	出力が下降し始めてから、出力がゼロボルトに達するまでの時間。	R/Wワード	Y	L11	ms	Y	8.0 0xD200
TOFF_MAX_WARN_LIMIT	0x66	TOFF_FALL が開始された後、ユニットが12.5%より下に減衰するのに許される最大時間。	R/Wワード	Y	L11	ms	Y	150 0xF258

TOFF_DELAY

TOFF_DELAY コマンドは、ストップ条件を受信してから出力電圧が低下し始めるまでの時間(単位はミリ秒)を設定します。0～83秒の値が有効です。

このコマンドはフォルト・イベントからは除外されています。

このコマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11s フォーマットでフォーマットされます。

TOFF_FALL

TOFF_FALL コマンドは、ターンオフ遅延時間の終わりから出力電圧がコマンドによりゼロに強制されるまでの時間(単位はミリ秒)を設定します。これはV_{OUT} DACのランプ時間です。V_{OUT} DACがゼロのとき、デバイスはスリープ状態になります。

デバイスはプログラムされた動作モードを維持します。定義されたTOFF_FALL 時間の場合、ユーザはデバイスを連続導通モードに設定します。最大値をロードすると、可能な最低速度でデバイスがランプダウンすることを表します。サポートされている最小立ち下がり時間は0.25msです。0.25ms未満の値は0.25msのランプを生じます。最大立ち下がり値は1.3秒です。最大許容勾配は4V/msです。

不連続導通モードでは、コントローラは負荷から電流を引き出さず、立ち下がり時間は出力容量と負荷電流によって設定されます。

このコマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11s フォーマットでフォーマットされます。

TOFF_MAX_WARN_LIMIT

TOFF_MAX_WARN_LIMIT コマンドは、警報がアサートされるまでに、どれだけ長くデバイスが出力をオフしようと試みることができるかの値(単位はミリ秒)を設定します。V_{OUT} 電圧がプログラムされたV_{OUT_COMMAND}の値の12.5%より小さいと、出力はオフしていると見なされます。TOFF_FALLが完了した後、計算が開始されます。V_{OUT_DECAY}がディスエーブルされている間は、TOFF_MAX_WARNはイネーブルされません。

0msのデータ値は、リミットがなく、デバイスは無期限に出力電圧をオフしようと試みることができることを意味します。0以外では、120ms～524秒の値が有効です。

このコマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11s フォーマットでフォーマットされます。

再スタートの前提条件

コマンドの名称	CMDコード	説明	タイプ	ページ指定	データ形式	単位	NVM	既定値
MFR_RESTART_DELAY	0xDC	RUN の実際のアクティブ・エッジからRUNの仮定のアクティブ・エッジまでの遅延。	R/Wワード	Y	L11	ms	Y	500 0xFBE8

LTC3880/LTC3880-1

PMBus コマンドの詳細

MFR_RESTART_DELAY

このコマンドはRUNの最小オフ時間(単位はミリ秒)を指定します。このデバイスは、RUNの立ち下がりエッジが検出されると、RUNピンをこの時間だけ“L”にします。最小推奨値は136msです。

注記：再スタート遅延はリトライ遅延とは異なります。再スタート遅延はRUNを指定された時間だけ“L”にし、その後、標準のスタートアップ・シーケンスが開始されます。最小再スタート遅延はTOFF_DELAY + TOFF_FALL + 136msに等しくします。有効な値は、16ms刻みで136ms～65.52秒です。最小オフ時間を確保するため、MFR_RESTART_DELAYは必要な時間よりも16ms長く設定してください。MFR_CHAN_CONFIG_LTC3880で出力減衰(ビット1)がイネーブルされ、出力が設定値の12.5%より下まで減衰するのに長い時間を要する場合は、RUNピンが“H”になった後MFR_RESTART_DELAYよりも長い時間出力レールがオフになる可能性があります。

このコマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11sフォーマットでフォーマットされます。

フォルト応答

フォルト応答、全フォルト

コマンドの名称	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	既定値
MFR_RETRY_DELAY	0xDB	FAULTのリトライ・モードのリトライ間隔。	R/W ワード	Y	L11	ms	Y	350 0xFAFC

MFR_RETRY_DELAY

このコマンドは、フォルト応答が指定された間隔でのコントローラのリトライである場合、再スタートと再スタートの間の時間(単位はミリ秒)を設定します。このコマンドの値は、リトライを必要とする全てのフォルト応答に使われます。リトライ時間は、フォルトを生じたチャンネルによってフォルトが検出されるとスタートします。有効な値は、10μs刻みで120ms～83.88秒です。

注記：リトライ遅延時間は、MFR_RETRY_DELAYコマンドまたは安定化された出力がプログラムされた値の12.5%より下まで減衰するのに必要な時間の長い方によって決まります。出力の自然減衰時間が長すぎる場合、MFR_CHAN_CONFIG_LTC3880のビット0をアサートすることにより、MFR_RETRY_DELAYコマンドの電圧要件を取り除くことができます。

このコマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11sフォーマットでフォーマットされます。

フォルト応答、入力電圧

コマンドの名称	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	既定値
VIN_OV_FAULT_RESPONSE	0x56	入力電源の過電圧フォルトが検出されたとき、デバイスがとるアクション。	R/W バイト	Y	Reg		Y	0x80

VIN_OV_FAULT_RESPONSE

VIN_OV_FAULT_RESPONSEコマンドは、入力過電圧フォルトに応答してどんなアクションをとるか、デバイスに指示します。データ・バイトは、表9に与えられているフォーマットです。

デバイスには以下の応答もあります。

- STATUS_BYTEのNONE_OF_THE_ABOVEビットをセットします
- STATUS_WORDの上位バイトのINPUTビットをセットします

PMBus コマンドの詳細

- STATUS_INPUT コマンドの VIN 過電圧フォルト・ビットをセットし、さらに
- $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートしてホストに通知します

このコマンドには1 データ・バイトがあります。

フォルト応答、出力電圧

コマンドの名称	CMDコード	説明	タイプ	ページ指定	データ形式	単位	NVM	既定値
VOUT_OV_FAULT_RESPONSE	0x41	出力の過電圧フォルトが検出されたとき、デバイスがとるアクション。	R/Wバイト	Y	Reg		Y	0xB8
VOUT_UV_FAULT_RESPONSE	0x45	出力の低電圧フォルトが検出されたとき、デバイスがとるアクション。	R/Wバイト	Y	Reg		Y	0xB8
TON_MAX_FAULT_RESPONSE	0x63	TON_MAX_FAULT イベントが検出されたとき、デバイスがとるアクション。	R/Wバイト	Y	Reg		Y	0xB8

VOUT_OV_FAULT_RESPONSE

VOUT_OV_FAULT_RESPONSE コマンドは、出力の過電圧フォルトにตอบสนองしてどんなアクションをとるか、デバイスに指示します。データ・バイトは、表5に与えられているフォーマットです。

デバイスは以下のことも行います。

- STATUS_BYTE の VOUT_OV ビットをセットします
- STATUS_WORD の VOUT ビットをセットします
- STATUS_VOUT コマンドの VOUT 過電圧フォルト・ビットをセットします
- $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートしてホストに通知します

このコマンドで認識されるのは以下の値だけです。

0x80– デバイスはシャットダウンし (出力をディスエーブルし)、リトライしようと試みません。フォルトがクリアされるまで、出力はディスエーブルされたままです (PMBus, Part II, Section 10.7)。

0xB8– デバイスはシャットダウンし (出力をディスエーブルし)、(RUN ピンまたは OPERATION コマンドによって、または両方によって) オフするように強制されるか、バイアス電源が取り去られるか、または別のフォルト状態によりデバイスがシャットダウンするまで、デバイスは無限にリトライを連続的に試みます。

0x4n– デバイスはシャットダウンし、ユニットはリトライを試みません。デバイスがコマンドによってオフしてからオンするか、または RUN ピンが“L”にアサートされてから“H”になるか、またはコマンドによってまたは V_{IN} を取り去ることによってリセットするまで、出力はディスエーブルされたまま留まります。OV フォルトは $n \cdot 10\mu\text{s}$ の間アクティブに留まる必要があります。ここで、n は 0～7 の値です。

0x78+n– フォルト状態がクリアされるか、デバイスがコマンドによってオフしてからオンするか、または RUN ピンが“L”にアサートされてから“H”になるか、またはコマンドによってまたは V_{IN} を取り去ることによってリセットするまで、デバイスはシャットダウンし、ユニットは連続してリトライします。OV フォルトは $n \cdot 10\mu\text{s}$ の間アクティブに留まる必要があります。ここで、n は 0～7 の値です。

他の値は CML フォルトになり、書き込みは無視されます。

このコマンドには1 データ・バイトがあります。

PMBus コマンドの詳細

表5. VOUT_OV_FAULT_RESPONSEのデータ・バイトの内容

ビット	説明	値	意味
7:6	応答 ビット[7:6]の全ての値に対して、LTC3880は以下のように動作します。 ・状態コマンドの対応するフォルト・ビットをセットし、さらに ・ALERTピンをアサートしてホストに通知する フォルト・ビットは一旦セットされると、以下のイベントの1つ以上が起きたときだけクリアされます。 ・デバイスがCLEAR_FAULTSコマンドを受け取る ・RUN n ピン、OPERATIONコマンド、またはRUN n ピンとOPERATIONコマンドを組み合わせたアクションによって出力がオフし、次いで再度オンするか、または ・バイアス電源が取り去られ、再度LTC3880に電源が与えられる	00	デバイスはOVプルダウンだけ行います(つまり、V _{OUT} がVOUT_OV_FAULTを超えている間、トップMOSFETをオフし、下のMOSFETをオンします)。
		01	PMBusデバイスは、(その特定のフォルトに対して指定された遅延時間の単位の)ビット[2:0]によって指定された遅延時間の間、動作を続けます。遅延時間の終わりに依然としてフォルト状態が存在すると、リトライ設定(ビット[5:3])でプログラムされているように、ユニットは応答します。
		10	デバイスは直ちにシャットダウンし(出力をディスエーブルし)、ビット[5:3]のリトライ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フォルトが生じます。
5:3	リトライ設定	000-110	ユニットはリスタートを試みません。フォルトがクリアされるか、またはデバイスがコマンドによってオフするか、またはバイアス電源が取り去られるまで、出力はディスエーブルされたまま留まります。
		111	PMBusデバイスは、(RUN n ピンまたはOPERATIONコマンドによって、または両方によって)デバイスがオフに強制されるか、バイアス電源が取り去られるか、または別のフォルト状態によってリトライなしにシャットダウンするまで、限りなく、連続して再スタートを試みます。注記:リトライの間隔はMFR_RETRY_DELAYコマンドによって設定されます。
2:0	遅延時間	XXX	遅延時間は10 μ s刻みです。この遅延時間により、フォルトが検出された後、コントローラがどれだけ長く連続して動作するかが決まります。デグリッチ付きオフの状態でのみ有効。

VOUT_UV_FAULT_RESPONSE

VOUT_UV_FAULT_RESPONSEコマンドは、出力の低電圧フォルトに対する応答でどのようなアクションをとるかデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットを表6に示します。

また、デバイスは以下の動作を行います。

- STATUS_WORDのVOUTビットをセットします
- STATUS_VOUTコマンドのVOUT低電圧フォルト・ビットをセットします
- $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートしてホストに通知します

以下の基準に達するまで、UVフォルトと警報はマスクされます。

- 1) TON_MAX_FAULT_LIMITに達した
- 2) TON_DELAYシーケンスが完了した
- 3) TON_RISEシーケンスが完了した
- 4) VOUT_UV_FAULT_LIMITスレッショルドに達した
- 5) IOUT_OC_FAULT_LIMITは存在しない

チャンネルがアクティブでないときは常にUVフォルトと警報はマスクされます。

TON_RISEとTOFF_FALLのシーケンスの間、UVフォルトと警報はマスクされます。

このコマンドには1データ・バイトがあります。

PMBus コマンドの詳細

表6. VOUT_UV_FAULT_RESPONSE データ・バイトの内容

ビット	説明	値	意味
7:6	応答 ビット [7:6] の全ての値に対して、LTC3880 は以下のように動作します。 ・状態コマンドの対応するフォルト・ビットをセットし、さらに ・ALERT ピンをアサートしてホストに通知する フォルト・ビットは一旦セットされると、以下のイベントの1つ以上が起きたときだけクリアされます。 ・デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受け取る ・RUN _n ピン、OPERATION コマンド、または RUN _n ピンと OPERATION コマンドを組み合わせたアクションによって出力がオフし、次いで再度オンするように命令されるか、または ・バイアス電源が取り去られ、再度 LTC3880 に与えられる	00	PMBus デバイスは中断せずに動作を続けます。(フォルト機能を無視します)
		01	PMBus デバイスは、その特定のフォルトに対して指定された遅延時間の単位を使って、ビット [2:0] で指定された遅延時間の間、動作を続けます。遅延時間の終わりに依然としてフォルト状態が存在すると、リトライ設定 (ビット [5:3]) でプログラムされているように、ユニットは応答します。
		10	デバイスはシャットダウンし (出力をディスエーブルし)、ビット [5:3] のリトライ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 フォルトが生じます。
5:3	リトライ設定	000-110	ユニットはリスタートを試みません。フォルトがクリアされるか、デバイスがコマンドによってオフするか、バイアス電源が取り去られるまで、出力はディスエーブルされたまま留まります。
		111	PMBus デバイスは、(RUN _n ピンまたは OPERATION コマンドによって、または両方によって) デバイスがオフに強制されるか、バイアス電源が取り去られるか、または別のフォルト状態によってリトライなしにシャットダウンするまで、オフすることなく再スタートを試み続けます。注記: リトライの間隔は MFR_RETRY_DELAY コマンドによって設定されます。
2:0	遅延時間	XXX	遅延時間は 10µs 刻みです。この遅延時間により、フォルトが検出された後、コントローラがどれだけ長く連続して動作するかが決まります。デグリッチ付きオフの状態でのみ有効。

TON_MAX_FAULT_RESPONSE

TON_MAX_FAULT_RESPONSE コマンドは、TON_MAX フォルトに反応してどんなアクションをとるか、デバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットは表9に示されています。

また、デバイスは以下の動作を行います。

- ・STATUS_BYTE の NONE_OF_THE_ABOVE ビットをセットします。
- ・STATUS_WORD の VOUT ビットをセットします。
- ・STATUS_VOUT コマンドの TON_MAX_FAULT ビットをセットし、さらに
- ・ALERT ピンをアサートしてホストに通知します。
- ・0 の値は TON_MAX_FAULT_RESPONSE をディスエーブルします。0 を使うことは推奨しません。

このコマンドには1データ・バイトがあります。

PMBus コマンドの詳細

フォルト応答、出力電流

コマンドの名称	CMDコード	説明	タイプ	ページ指定	データ形式	単位	NVM	既定値
IOUT_OC_FAULT_RESPONSE	0x47	出力の過電流フォルトが検出されたとき、デバイスがとるアクション。	R/W バイト	Y	Reg		Y	0x00

IOUT_OC_FAULT_RESPONSE

IOUT_OC_FAULT_RESPONSE コマンドは、出力の過電流フォルトに応答してどんなアクションをとるか、デバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットを表7に示します。

また、デバイスは以下の動作を行います。

- STATUS_BYTE の IOUT_OC ビットをセットします
- STATUS_WORD の IOUT ビットをセットします
- STATUS_IOUT コマンドの IOUT 過電流フォルト・ビットをセットし、さらに
- ALERT ピンをアサートしてホストに通知します

このコマンドには1データ・バイトがあります。

表7. IOUT_OC_FAULT_RESPONSE のデータ・バイトの内容

ビット	説明	値	意味
7:6	応答 ビット [7:6] の全ての値に対して、LTC3880 は以下のように動作します。 <ul style="list-style-type: none"> • 状態コマンドの対応するフォルト・ビットをセットし、さらに • ALERT ピンをアサートしてホストに通知する フォルト・ビットは一旦セットされると、以下のイベントの1つ以上が起きたときだけクリアされます。 <ul style="list-style-type: none"> • デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受け取る • RUN_n ピン、OPERATION コマンド、または RUN_n ピンと OPERATION コマンドを組み合わせたアクションによって出力がオフし、次いで再度オンするか、または • バイアス電源が取り去られ、再度 LTC3880 に電源が与えられる。 	00	LTC3880 は、出力電圧に関係なく、IOUT_OC_FAULT_LIMIT によって設定される値で出力電流を維持しながら、無期限に動作を続けます (定電流制限または「レンガ壁」制限として知られています)。
		01	サポートされていません。
		10	LTC3880 は、ビット [2:0] によって設定される遅延時間の間動作を続け、出力電圧に関係なく、IOUT_OC_FAULT_LIMIT によって設定される値に出力電流を維持します。遅延時間の終わりにデバイスが電流制限状態で依然動作していると、デバイスはリトライ設定ビット [5:3] でプログラムされているように応答します。
		11	LTC3880 は直ちにシャットダウンし、ビット [5:3] のリトライ設定によってプログラムされているように応答します。
5:3	リトライ設定	000-110	ユニットは再起動を試みません。RUN _n ピンをサイクルさせるか、またはバイアス電源を取り去ることによってフォルトがクリアされるまで、出力はディスエーブルされたまま留まります。
		111	デバイスは、(RUN _n ピンまたは OPERATION コマンドによって、または両方によって) オフするように強制されるか、バイアス電源が取り去られるか、または別のフォルト状態によりユニットがシャットダウンするまで、オフすることなく再起動を試み続けます。注記: リトライの間隔は MFR_RETRY_DELAY コマンドによって設定されます。
2:0	遅延時間	XXX	遅延時間の数値は、16ms 刻みを単位にします。この遅延時間は、フォルトが検出された後、シャットダウンする前にユニットが動作を続ける時間を決めるのに使われます。デグリッチ付きオフの状態でのみ有効。

PMBus コマンドの詳細

フォルト応答、デバイスの温度

コマンドの名称	CMDコード	説明	タイプ	ページ指定	データ形式	単位	NVM	既定値
MFR_OT_FAULT_RESPONSE	0xD6	内部の過温度フォルトが検出されたとき、デバイスがとるアクション。	Rバイト	N	Reg			0xC0

MFR_OT_FAULT_RESPONSE

MFR_OT_FAULT_RESPONSE コマンドは、内部過温度フォルトにตอบสนองしてどんなアクションをとるか、デバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットは表8に示されています。

LTC3880は以下のことも行います。

- STATUS_WORD の MFR ビットをセットし、さらに
- STATUS_MFR_SPECIFIC コマンドの過温度フォルト・ビットをセットする
- ALERT ピンをアサートしてホストに通知する

このコマンドには1データ・バイトがあります。

表8. データ・バイトの内容、MFR_OT_FAULT_RESPONSE

ビット	説明	値	意味
7:6	応答 ビット[7:6]の全ての値に対して、LTC3880は以下のように動作します。 • 状態コマンドの対応するフォルト・ビットをセットし、さらに • ALERT ピンをアサートしてホストに通知する フォルト・ビットは一旦セットされると、以下のイベントの1つ以上が起きたときだけクリアされます。 • デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受け取る • RUN n ピン、OPERATION コマンド、または RUN n ピンと OPERATION コマンドを組み合わせたアクションによって出力がオフし、次いで再度オンするか、または • バイアス電源が取り去られ、再度 LTC3880 に与えられる	00	サポートされていません。この値を書き込むと CML フォルトが生じます。
		01	サポートされていません。この値を書き込むと CML フォルトが生じます。
		10	デバイスは直ちにシャットダウンし(出力をディスエーブルし)、ビット[5:3]のリトライ設定に従って応答します。
		11	フォルトが存在する間、デバイスの出力はディスエーブルされます。フォルト状態がもはや存在しないと、動作が再開され、出力がイネーブルされます。
5:3	リトライ設定	000	ユニットは再スタートを試みません。フォルトがクリアされるまで出力はディスエーブルされたまま留まります。
		001-111	サポートされていません。この値を書き込むと CML フォルトが生じます。
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

PMBus コマンドの詳細

フォルト応答、外部温度

コマンドの名称	CMDコード	説明	タイプ	ページ指定	データ形式	単位	NVM	既定値
OT_FAULT_RESPONSE	0x50	外部過温度フォルトが検出されたとき、デバイスがとるアクション。	R/Wバイト	Y	Reg		Y	0xB8
UT_FAULT_RESPONSE	0x54	低温フォルトが検出されたとき、デバイスがとるアクション。	R/Wバイト	Y	Reg		Y	0xB8

OT_FAULT_RESPONSE

OT_FAULT_RESPONSE コマンドは、外部温度センサによる外部過温度フォルトに対してどんなアクションをとるかをデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットを表9に示します。

また、デバイスは以下の動作を行います。

- STATUS_BYTE の TEMPERATURE ビットをセットします
- STATUS_TEMPERATURE コマンドの過温度警報ビットをセットし、さらに
- $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートしてホストに通知します

この状態は ADC によって検出されるので、応答時間は最大 100ms です。

このコマンドには 1 データ・バイトがあります。

UT_FAULT_RESPONSE

UT_FAULT_RESPONSE コマンドは、外部温度センサによる外部低温フォルトに対してどんなアクションをとるかをデバイスに指示します。データ・バイトのフォーマットを表9に示します。

また、デバイスは以下の動作を行います。

- STATUS_BYTE の TEMPERATURE ビットをセットします
- STATUS_TEMPERATURE コマンドの低温フォルト・ビットをセットし、さらに
- $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをアサートしてホストに通知します

この状態は ADC によって検出されるので、応答時間は最大 100ms です。

このコマンドには 1 データ・バイトがあります。

PMBus コマンドの詳細

表9. データ・バイトの内容:TON_MAX_FAULT_RESPONSE、VIN_OV_FAULT_RESPONSE、OT_FAULT_RESPONSE、UT_FAULT_RESPONSE

ビット	説明	値	意味
7:6	応答 ビット [7:6] の全ての値に対して、LTC3880 は以下のように動作します。 • 状態コマンドの対応するフォルト・ビットをセットし、さらに • ALERT ピンをアサートしてホストに通知する フォルト・ビットは一旦セットされると、以下のイベントの1つ以上が起きたときだけクリアされます。 • デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受け取る • RUN n ピン、OPERATION コマンド、または RUN n ピンと OPERATION コマンドを組み合わせたアクションによって出力がオフし、次いで再度オンするか、または • バイアス電源が取り去られ、再度 LTC3880 に与えられる	00	PMBus デバイスは中断せずに動作を続けます。
		01	サポートされていません。この値を書き込むと CML フォルトが生じます。
		10	デバイスは直ちにシャットダウンし(出力をディスエーブルし)、ビット [5:3] のリトライ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 フォルトが生じます。
5:3	リトライ設定	000-110	ユニットは再スタートを試みません。フォルトがクリアされるか、デバイスがコマンドによってオフするか、バイアス電源が取り去られるまで、出力はディスエーブルされたまま留まります。
		111	PMBus デバイスは、(RUN n ピンまたは OPERATION コマンドによって、または両方によって) デバイスがオフに強制されるか、バイアス電源が取り去られるか、または別のフォルト状態によってリトライなしにシャットダウンするまで、オフすることなく再スタートを試み続けます。注記: リトライの間隔は MFR_RETRY_DELAY コマンドによって設定されます。
2:0	遅延時間	XXX	サポートされていません。値は無視されます

フォルト共有

フォルト共有の伝播

コマンドの名称	CMDコード	説明	タイプ	ページ指定	データ形式	単位	NVM	既定値
MFR_GPIO_PROPAGATE_LTC3880	0xD2	どのフォルトを GPIO ピンに出力するかを決める設定。	R/Wワード	Y	Reg		Y	0x2993

MFR_GPIO_PROPAGATE_LTC3880

MFR_GPIO_PROPAGATE_LTC3880 コマンドは、 $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンを“L”にアサートすることができるフォルトをイネーブルします。このコマンドは表 10 に示されているようにフォーマットされています。それらがフォルトに応答するようにプログラムされている場合だけ、フォルトは GPIO に伝播することができます。

このコマンドには2データ・バイトがあります。

表10. $\overline{\text{GPIO}}_n$ へ伝播するフォルトの設定

GPIO0 ピンと GPIO1 ピンは、選択されたイベントをユーザに電氣的に通知するように設計されています。これらのイベントのいくつかは両方の出力チャンネルに共通です。その他は1つの出力チャンネルに固有です。それらはチャンネル間でフォルトを共有するのにも使うことができます。

ビット	シンボル	動作
B[15]	VOUT はディスエーブルされるが減衰しない。	これは、MFR_CHAN_CONFIG_LTC3880 のビット 0 がゼロのとき、PolyPhase 構成設定で使われます。(RUN ピンをトグルすることによって、またはコマンドによってデバイスをオフすることによって) チャンネルがオフし、次いで、出力が減衰してしまう前に RUN が再度アサートされて、またはデバイスがコマンドによって再度オンすると、VOUT は 12.5% の減衰に達するまでは再起動しません。ビット 15 がアサートされていると、この状態の間 GPIO ピンはアサートされます。

PMBus コマンドの詳細

ビット	シンボル	動作
B[14]	Mfr_gpio_propagate_short_CMD_cycle	0: アクションなし 1: コマンドによってオフされた後、出力がシーケンス制御によってオフする前にコマンドによってオンされると、“L”にアサートする。シーケンス制御によってオフしてから120ms後に“H”に再度アサートする。
b[13]	Mfr_gpio_propagate_ton_max_fault	0: TON_MAX_FAULT フォルトがアサートされても、アクションなし 1: TON_MAX_FAULT フォルトがアサートされると、関連した出力は“L”にアサートされる GPIO0 はページ0の TON_MAX_FAULT フォルトに関連している GPIO1 はページ1の TON_MAX_FAULT フォルトに関連している
b[12]	Mfr_gpio0_propagate_vout_uvuf, Mfr_gpio1_propagate_vout_uvuf	フィルタされていない VOUT_UV_FAULT_LIMIT (PGOOD) コンパレータの出力 GPIO0 はチャンネル0に関連している GPIO1 はチャンネル1に関連している
b[11]	Mfr_gpio0_propagate_int_ot, Mfr_gpio1_propagate_int_ot	0: MFR_OT_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされても、アクションなし 1: MFR_OT_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされると、関連した出力は“L”にアサートされる
b[10]	予備	常に0にセットされる
b[9]	予備	常に0にセットされる
b[8]	Mfr_gpio0_propagate_ut, Mfr_gpio1_propagate_ut	0: UT_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされても、アクションなし 1: UT_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされると、関連した出力は“L”にアサートされる GPIO0 はページ0の UT フォルトに関連している GPIO1 はページ1の UT フォルトに関連している
b[7]	Mfr_gpio0_propagate_ot, Mfr_gpio1_propagate_ot	0: OT_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされても、アクションなし 1: OT_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされると、関連した出力は“L”にアサートされる GPIO0 はページ0の OT フォルトに関連している GPIO1 はページ1の OT フォルトに関連している
b[6]	予備	
b[5]	予備	
b[4]	Mfr_gpio0_propagate_input_ov, Mfr_gpio1_propagate_input_ov	0: VIN_OV_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされても、アクションなし 1: VIN_OV_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされると、関連した出力は“L”にアサートされる
b[3]	予備	
b[2]	Mfr_gpio0_propagate_iout_oc, Mfr_gpio1_propagate_iout_oc	0: IOUT_OC_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされても、アクションなし 1: IOUT_OC_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされると、関連した出力は“L”にアサートされる GPIO0 はページ0の OC フォルトに関連している GPIO1 はページ1の OC フォルトに関連している
b[1]	Mfr_gpio0_propagate_vout_uv, Mfr_gpio1_propagate_vout_uv	0: VOUT_UV_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされても、アクションなし 1: VOUT_UV_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされると、関連した出力が“L”にアサートされる GPIO0 はページ0の UV フォルトに関連している GPIO1 はページ1の UV フォルトに関連している
b[0]	Mfr_gpio0_propagate_vout_ov, Mfr_gpio1_propagate_vout_ov	0: VOUT_OV_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされても、アクションなし 1: VOUT_OV_FAULT_LIMIT フォルトがアサートされると、関連した出力が“L”にアサートされる GPIO0 はページ0の OV フォルトに関連している GPIO1 はページ1の OV フォルトに関連している

Note 1: PWRGD 状態はインジケータとして設計されており、電源シーケンシングに使用するには設計されていません。

PMBus コマンドの詳細

フォルト共有応答

コマンドの名称	CMDコード	説明	タイプ	ページ指定	データ形式	単位	NVM	既定値
MFR_GPIO_RESPONSE	0xD5	GPIOピンが“L”にアサートされたとき、デバイスがとるアクション。	R/Wバイト	Y	Reg		Y	0xC0

MFR_GPIO_RESPONSE

このコマンドは、外部ソースによってGPIO_nピンが“L”になったときのコントローラの応答を定めます。

値	意味
0xC0	GPIO_INHIBIT LTC3880は、GPIOピンが“L”になるのに応答して、出力をスリーステートにします。
0x00	GPIO_IGNORE LTC3880は中断することなく動作を続けます。

デバイスは以下のことも行います。

- STATUS_BYTEのNONE_OF_THE_ABOVEビットをセットする
- STATUS_WORDのMFRビットをセットする
- STATUS_MFR_SPECIFICコマンドのGPIOBビットをセットし、さらに
- ALERTピンをアサートしてホストに通知する。MFR_CHAN_CFG_LTC3880のビット[1]をセットすることにより、ALERTピンが“L”に引き下げられることをディスエーブルすることができます。

このコマンドには1データ・バイトがあります。

スクラッチパッド

コマンドの名称	CMDコード	説明	タイプ	ページ指定	データ形式	単位	NVM	既定値
USER_DATA_00	0xB0	OEMにより予約。一般に製品のシリアル番号管理に使用。	R/Wワード	N	Reg		Y	NA
USER_DATA_01	0xB1	メーカーにより、LTpowerPlayのために予約。	R/Wワード	Y	Reg		Y	NA
USER_DATA_02	0xB2	OEMにより予約。一般に製品のシリアル番号管理に使用。	R/Wワード	N	Reg		Y	NA
USER_DATA_03	0xB3	ユーザが利用できるNVMワード。	R/Wワード	Y	Reg		Y	0x0000
USER_DATA_04	0xB4	ユーザが利用できるNVMワード。	R/Wワード	N	Reg		Y	0x0000

USER_DATA_00～USER_DATA_04

これらのコマンドは、カスタマの記録用の不揮発性メモリのロケーションです。カスタマは、いつでもどんな値でもUSER_DATA_{nn}に書き込むことを選択できます。ただし、LTpowerPlayのソフトウェアおよび契約業者はこれらのコマンドのいくつかを在庫管理に使用します。予約されているUSER_DATA_{nn}コマンドを変更すると、在庫管理に望ましくない影響を与えたり、これらの製品の互換性が失われることがあります。

これらのコマンドには2データ・バイトがあり、レジスタ・フォーマットです。

LTC3880/LTC3880-1

PMBus コマンドの詳細

識別

コマンドの名称	CMDコード	説明	タイプ	ページ指定	データ形式	単位	NVM	既定値
PMBUS_REVISION	0x98	このデバイスがサポートするPMBusのリビジョン。 現在のリビジョンは1.1。	Rバイト	N	Reg			0x11
CAPABILITY	0x19	このデバイスによってサポートされているPMBusの オプションの通信プロトコルの要約。	Rバイト	N	Reg			0xB0
MFR_ID	0x99	LTC3880のASCIIコードのメーカーID。	Rストリング	N	ASC			LTC
MFR_MODEL	0x9A	ASCIIコードのメーカー製品番号。	Rストリング	N	ASC			LTC3880
MFR_SERIAL	0x9E	この特定のユニットのASCIIコードのシリアル番号。	Rブロック	N	CF			NA
MFR_SPECIAL_ID	0xE7	LTC3880とリビジョンを表すメーカーのコード。	Rワード	N	Reg			0x40X

PMBus_REVISION

PMBUS_REVISION コマンドは、デバイスが準拠するPMBusのリビジョンを示します。LTC3880はPMBus Version 1.1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1データ・バイトがあります。

CAPABILITY

このコマンドにより、ホスト・システムはPMBusデバイスのいくつかの主要機能を判断することができます。

LTC3880は、パケット・エラー・チェック、400kHzのバス速度、およびALERTピンをサポートします。

この読み出し専用コマンドには1データ・バイトがあります。

MFR_ID

MFR_ID コマンドは、LTC3880のメーカーIDをASCII文字を使って表示します。

この読み取り専用コマンドはブロック・フォーマットです。

MFR_MODEL

MFR_MODEL コマンドは、LTC3880のメーカー製品番号をASCII文字を使って表示します。

この読み取り専用コマンドはブロック・フォーマットです。

MFR_SERIAL

MFR_SERIAL コマンドには、LTC3880の構成設定を一意に識別するのに使われる最大9バイトのカスタムフォーマットのデータが含まれています。

この読み取り専用コマンドはブロック・フォーマットです。

MFR_SPECIAL_ID

製品名とリビジョンを表す16ビットのワード。0x402はデバイスがLTC3880であることを示し、Xはメーカーによって変更可能です。

この読み出し専用コマンドには2データ・バイトがあります。

PMBus コマンドの詳細

フォルト警報および状態

コマンドの名称	CMDコード	説明	タイプ	ページ指定	フォーマット	単位	NVM	既定値
CLEAR_FAULTS	0x03	セットされている全フォルト・ビットをクリア。	バイトを送信	N				NA
MFR_CLEAR_PEAKS	0xE3	全てのピークをクリア。	バイトを送信	N				NA
STATUS_BYTE	0x78	ユニットのフォルト状態の1バイトの要約。	R/Wバイト	Y	Reg			NA
STATUS_WORD	0x79	ユニットのフォルト状態の2バイトの要約。	R/Wワード	Y	Reg			NA
STATUS_VOUT	0x7A	出力電圧フォルトおよび警報の状態。	R/Wバイト	Y	Reg			NA
STATUS_IOUT	0x7B	出力電流フォルトおよび警報の状態。	R/Wバイト	Y	Reg			NA
STATUS_INPUT	0x7C	入力電源フォルトおよび警報の状態。	R/Wバイト	N	Reg			NA
STATUS_TEMPERATURE	0x7D	READ_TEMPERATURE_1の外部温度フォルトおよび警報の状態。	R/Wバイト	Y	Reg			NA
STATUS_CML	0x7E	通信およびメモリのフォルトおよび警報の状態。	R/Wバイト	N	Reg			NA
STATUS_MFR_SPECIFIC	0x80	メーカー固有のフォルトおよび状態の情報。	R/Wバイト	Y	Reg			NA
MFR_PADS	0xE5	I/Oパッドのデジタル状態。	Rワード	N	Reg			NA
MFR_COMMON	0xEF	複数のLTCのデバイスに共通な、メーカーによる状態ビット。	Rバイト	N	Reg			NA

CLEAR_FAULTS

CLEAR_FAULTS コマンドは、セットされているどのフォルト・ビットでもクリアするのに使われます。このコマンドは全ての状態コマンドの全ビットを同時にクリアします。同時に、デバイスがALERTピンの信号をアサートしていると、デバイスはそのALERTピンの信号出力を反転させます(クリア、リリースします)。

CLEAR_FAULTS は、フォルト状態でラッチオフしているユニットを再スタートさせることはありません。フォルト状態のためシャットダウンしているユニットは、以下のとき再スタートします。

- RUNピン、OPERATION コマンド、またはRUNピンとOPERATIONコマンドを組み合わせたアクションによって出力がオフし、次いで再度オンするか、または
- MFR_RESET コマンドが出される。
- バイアス電源が取り去られ、再度デバイスに与えられる

ビットがクリアされたときフォルトが依然解消されていないと、フォルト・ビットはセットされたままで、ALERTピンを“L”にすることによりホストに通知します。CLEAR_FAULTSの処理には最大10μsかかる可能性があります。その時間内にフォルトが発生すると、ステータス・レジスタがセットされる前にCLEAR_FAULTSがクリアされることがあります。

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトがありません。

MFR_CLEAR_PEAKS

MFR_CLEAR_PEAKS コマンドはMFR*_PEAKのデータ値をクリアします。このコマンドはリセットによって起動されます。

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトがありません。

LTC3880/LTC3880-1

PMBus コマンドの詳細

STATUS_BYTE

STATUS_BYTE コマンドは、最も重大なフォルトを要約した1バイトの情報を返します。

STATUS_BYTE メッセージの内容:

ビット	ステータス・ビットの名称	意味
7*	BUSY	LTC3880が応答できなかったため、フォルトが宣言された。
6	OFF	このビットは、理由に関わらず、チャンネルがその出力に電力を供給していない場合(単にイネーブルされていない場合も含む)にセットされる。
5	VOUT_OV	出力の過電圧フォルトが発生している。
4	IOUT_OC	出力の過電流フォルトが発生している。
3	VIN_UV	サポートされていない。(LTC3880が0を返す)
2	TEMPERATURE	温度フォルトまたは警告が発生している。
1	CML	通信、メモリまたはロジックのフォルトが発生している。
0*	NONE OF THE ABOVE	ビット [7:1] で示されていないフォルトが発生している。

このコマンド内のサポート対象のフォルト・ビットは、いずれも $\overline{\text{ALERT}}$ イベントを起動します。

このコマンドには1データ・バイトがあります。

STATUS_WORD

STATUS_WORD コマンドは、チャンネルのフォルト状態を示す2バイトの要約情報を返します。通常、STATUS_WORD コマンドの下位バイトはSTATUS_BYTE コマンドと同じですが、読み出しを行ったちょうどその時にフォルトが発生すると、読み出し値の下位バイトのビットはセットされますが、上位バイトの対応するビットはセットされない可能性があります。その後ただちにSTATUS_WORDの2度目の読み出しを行うと、上位バイトの対応するビットがセットされます。

STATUS_WORD High Byte メッセージの内容:

ビット	ステータス・ビットの名称	意味
15	VOUT	出力電圧のフォルトまたは警告が発生している。
14	IOUT	出力電流のフォルトまたは警告が発生している。
13	INPUT	入力電圧のフォルトまたは警告が発生している。
12	MFR_SPECIFIC	LTC3880に固有のフォルトまたは警告が発生している。
11	POWER_GOOD#	このビットがセットされている場合、POWER_GOODの状態が誤っている。
10	FANS	サポートされていない(LTC3880が0を返す)。
9	OTHER	サポートされていない(LTC3880が0を返す)。
8	UNKNOWN	サポートされていない(LTC3880が0を返す)。

このコマンドに含まれる、サポート対象のフォルト・ビットは、いずれも $\overline{\text{ALERT}}$ イベントを起動します。

このコマンドには2データ・バイトがあります。

PMBus コマンドの詳細

STATUS_VOUT

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

STATUS_VOUT メッセージの内容:

ビット	意味
7	V _{OUT} 過電圧フォルト。
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。
3	V _{OUT} _MAX 警告。
2	TON_MAX フォルト。
1	TOFF_MAX 警告。
0	LTC3880 によってサポートされていない (LTC3880 が 0 を返す)。

ビット [7:1] のいずれかがセットされると、 $\overline{\text{ALERT}}$ がアサートされる可能性がある。これらのビットは、CLEAR_FAULTS コマンドの代わりに、STATUS_VOUT コマンド内の対応するビット位置に 1 を書き込むことによってクリアすることができる。

このコマンドには 1 データ・バイトがあります。

STATUS_IOUT

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

STATUS_IOUT メッセージの内容:

ビット	意味
7	I _{OUT} 過電流フォルト。
6	サポートされていない (LTC3880 が 0 を返す)。
5	I _{OUT} 過電流警告。
4:0	サポートされていない (LTC3880 が 0 を返す)。

サポートされているいずれかのビットがセットされると、 $\overline{\text{ALERT}}$ がアサートされる可能性がある。サポートされているいずれのビットも、CLEAR_FAULTS コマンドの代わりに、STATUS_IOUT コマンド内の対応するビット位置に 1 を書き込むことでクリアすることができる。

このコマンドには 1 データ・バイトがあります。

LTC3880/LTC3880-1

PMBus コマンドの詳細

STATUS_INPUT

STATUS_INPUT コマンドは、 V_{IN} (VINSNS) のステータス情報を 1 バイトで返します。

STATUS_INPUT メッセージの内容:

ビット	意味
7	V_{IN} 過電圧フォルト。
6	サポートされていない(LTC3880 が 0 を返す)。
5	V_{IN} 低電圧警告。
4	サポートされていない(LTC3880 が 0 を返す)。
3	V_{IN} が不十分なため、ユニットがオフしている。
2	サポートされていない(LTC3880 が 0 を返す)。
1	入力過電流警告。
0	サポートされていない(LTC3880 が 0 を返す)。

ビット 7 がセットされると、ALERT がアサートされる可能性がある。ビット 7 は、CLEAR_FAULTS コマンドの代わりに、このビットに 1 を書き込むことでクリアすることができる。

このコマンドには 1 データ・バイトがあります。

STATUS_TEMPERATURE

STATUS_TEMPERATURE コマンドは、検出された外部温度のステータス情報を 1 バイトで返します。

STATUS_TEMPERATURE メッセージの内容:

ビット	意味
7	外部温度フォルト。
6	外部温度警告。
5	サポートされていない(LTC3880 が 0 を返す)。
4	外部低温フォルト。
3:0	サポートされていない(LTC3880 が 0 を返す)。

サポートされているいずれかのビットがセットされると、ALERT がアサートされる可能性がある。サポートされているいずれのビットも、CLEAR_FAULTS コマンドの代わりに、STATUS_TEMPERATURE コマンド内の対応するビット位置に 1 を書き込むことでクリアすることができる。

このコマンドには 1 データ・バイトがあります。

PMBus コマンドの詳細

STATUS_CML

STATUS_CML コマンドは、受信したコマンドおよび内部メモリ/ロジックのステータス情報を1バイトで返します。

STATUS_CML メッセージの内容:

ビット	意味
7	無効またはサポートされていないコマンドを受信した。
6	無効またはサポートされていないデータを受信した。
5	パケット・エラー・チェックに失敗した。
4	メモリのフォルトが検出された。
3	プロセッサのフォルトが検出された。
2	サポートされていない(LTC3880が0を返す)。
1	その他の通信フォルト。
0	その他のメモリまたはロジック・フォルト。

サポートされているいずれかのビットがセットされると、 $\overline{\text{ALERT}}$ がアサートされる可能性がある。サポートされているいずれのビットも、CLEAR_FAULTS コマンドの代わりに、STATUS_CML コマンド内の対応するビット位置に1を書き込むことでクリアすることができる。

このコマンドには1データ・バイトがあります。

STATUS_MFR_SPECIFIC

STATUS_MFR_SPECIFIC コマンドはメーカー固有の状態情報の1バイトを返します。

各チャンネルには同じ情報のコピーがあります。ビット0だけがページに固有です。

このバイトのフォーマットは次のとおりです。

ビット	意味
7	内部温度フォルト・リミットを超えている。
6	内部温度警報リミットを超えている。
5	製造時トリム領域のNVM CRCフォルト。
4	PLLがロックしていない。
3	フォルト・ログが存在する。
2	V _{DD33} のUVまたはOVフォルト。
0	GPIOピンが、外部デバイスにより、“L”にアサートされている(ページ指定)。

これらのビットのどれかがセットされると、STATUS_WORDのMFRビットがセットされます。

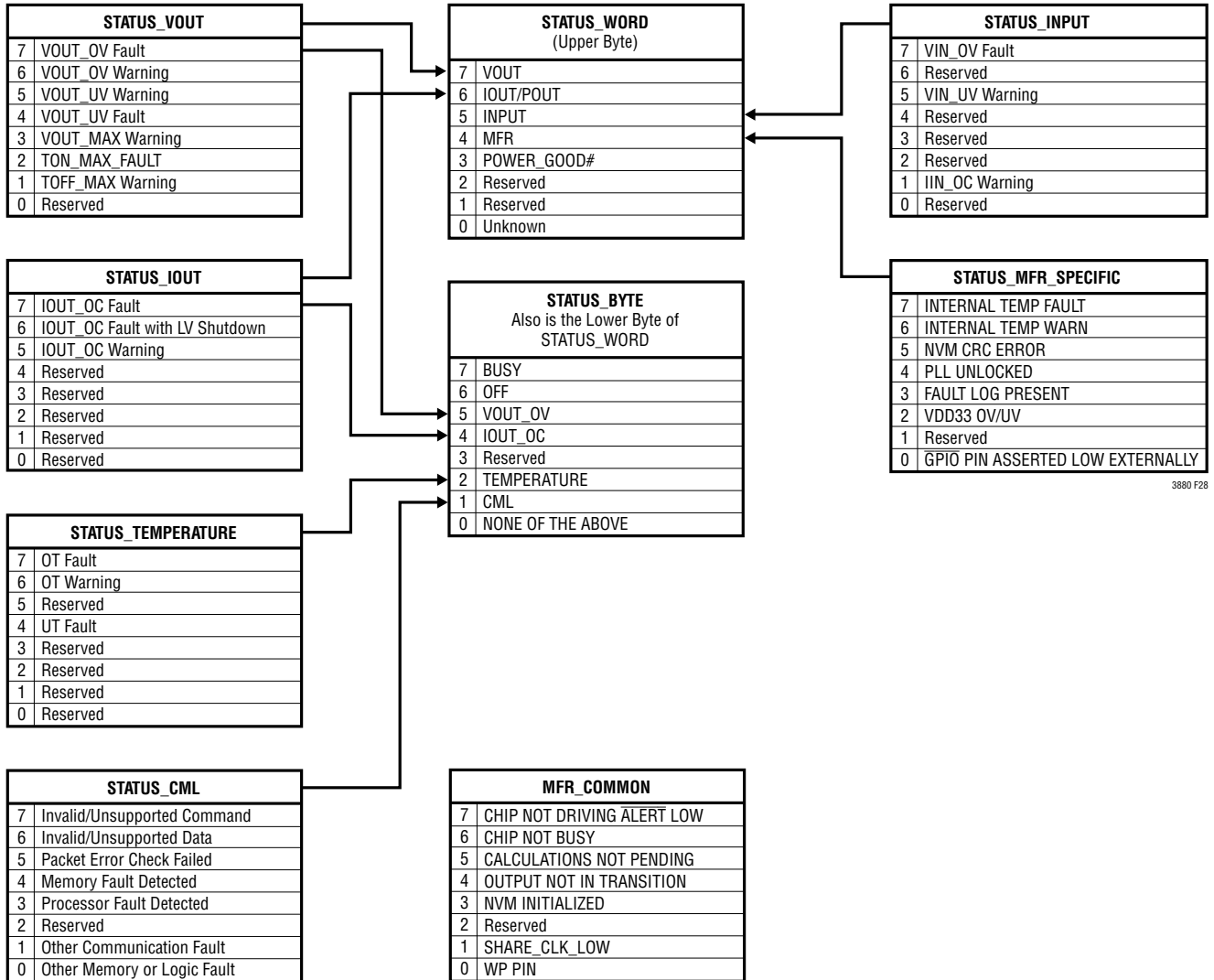
ユーザは、このコマンドのどのビットにも1を書き込んで、特定のフォルトをクリアすることが許されています。これは、CLEAR_FAULTS コマンドの使用以外の手段によって、ユーザが状態をクリアすることを許します。例外：フォルト・ログ検出ビットは、MFR_FAULT_LOG_CLEAR コマンドを出すことによってだけクリアすることができます。

このコマンドの、サポートされているどのフォルト・ビットも $\overline{\text{ALERT}}$ イベントを開始します。

このコマンドには1データ・バイトがあります。

PMBus コマンドの詳細

状態レジスタの要約



3880 F28

PMBus コマンドの詳細

MFR_PADS

このコマンドは、デバイスの I/O ピンのデジタル状態を直接読み出す手段をユーザに与えます。このコマンドのビット割り当ては以下のとおりです。

ビット	割り当てられたデジタル・ピン
15	V _{DD33} OV フォルト
14	V _{DD33} UV フォルト
13	予備
12	予備
11	ADC の値は無効、起動時に発生
10	デバイスが ALERT を "L" にドライブ
9	パワーグッド1
8	パワーグッド0
7	デバイスが RUN1 を "L" にドライブ
6	デバイスが RUN0 を "L" にドライブ
5	RUN1
4	RUN0
3	デバイスが GPIO1 を "L" にドライブ
2	デバイスが GPIO0 を "L" にドライブ
1	GPIO1
0	GPIO0

1 は条件が真であることを示す。

この読み出し専用コマンドには 2 データ・バイトがあります。

MFR_COMMON

MFR_COMMON コマンドには、LTC の全てのデジタル・パワー製品およびテレメトリ製品に共通なビットが含まれています。

ビット	意味
7	デバイスは ALERT を "L" にドライブしていない
6	デバイスはビジー状態でない
5	計算は保留されていない
4	出力は過渡状態にない
3	NVM が初期化されている
2	予備
1	SHARE_CLK タイムアウト
0	WP ピンの状態

この読み出し専用コマンドには 1 データ・バイトがあります。

PMBus コマンドの詳細

テレメトリ

コマンドの名称	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	フォーマット	単位	NVM	既定値
READ_VIN	0x88	測定された入力電源電圧。	Rワード	N	L11	V		NA
READ_VOUT	0x8B	測定された出力電圧。	Rワード	Y	L16	V		NA
READ_IIN	0x89	計算された入力電源電流。	Rワード	N	L11	A		NA
MFR_READ_IIN	0xED	計算されたチャンネル当たり入力電流。	Rワード	Y	L11	A		NA
READ_IOUT	0x8C	測定された出力電流。	Rワード	Y	L11	A		NA
READ_TEMPERATURE_1	0x8D	外部ダイオードの接合部温度。これは、IOUT_CAL_GAINを含む、温度に関係する全ての処理に使用される値です。	Rワード	Y	L11	C		NA
READ_TEMPERATURE_2	0x8E	内部接合部温度。他のどのレジスタにも影響を与えない。	Rワード	N	L11	C		NA
READ_DUTY_CYCLE	0x94	トップ・ゲート制御信号のデューティ・サイクル。	Rワード	Y	L11	%		NA
READ_POUT	0x96	計算された出力電力。	Rワード	Y	L11	W		NA
MFR_VOUT_PEAK	0xDD	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以来のREAD_VOUTの最大測定値。	Rワード	Y	L16	V		NA
MFR_VIN_PEAK	0xDE	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以来のREAD_VINの最大測定値。	Rワード	N	L11	V		NA
MFR_TEMPERATURE_1_PEAK	0xDF	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以来の外部温度(READ_TEMPERATURE_1)の最大測定値。	Rワード	Y	L11	C		NA
MFR_TEMPERATURE_2_PEAK	0xF4	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以来の外部温度(READ_TEMPERATURE_2)の最大測定値。	Rワード	N	L11	C		NA
MFR_IOUT_PEAK	0xD7	最後のMFR_CLEAR_PEAKS以来のREAD_IOUTの最大測定値を通知。	Rワード	Y	L11	A		NA

READ_VIN

READ_VIN コマンドは測定された入力電圧(単位はボルト)を返します。

この読み出し専用コマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11s フォーマットでフォーマットされます。

READ_VOUT

READ_VOUT コマンドは、VOUT_MODE コマンドによって設定されているのと同じフォーマットで、測定された出力電圧を返します。

この読み出し専用コマンドには2データ・バイトがあり、Linear_16u フォーマットでフォーマットされます。

READ_IIN

READ_IIN コマンドは入力電流(単位はアンペア)を返します。注記：入力電流は、READ_IOUT 電流と、両方の出力からの READ_DUTY_CYCLE の値および MFR_IIN_OFFSET から計算されます。低い電流で高精度の値を得るには、デバイスを連続導通モードにする必要があります。DCR による検出を使う場合、最大の誤差源は、室温でのインダクタの寄生 DC 抵抗 (DCR) IOUT_CAL_GAIN の精度です。

$$\text{READ_IIN} = \text{MFR_READ_IIN_PAGE0} + \text{MFR_READ_IIN_PAGE1}$$

この読み出し専用コマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11s フォーマットでフォーマットされます。

PMBus コマンドの詳細

MFR_READ_IIN

MFR_READ_IIN コマンドは、ページを指定された MFR_IIN_OFFSET パラメータに適用される、入力電流のページ指定読み出しです。この計算は、ページ指定された値が使用されること以外は、READ_IIN に似ています。

$$\text{MFR_READ_IIN} = \text{MFR_IIN_OFFSET} + (\text{IOUT} \cdot \text{DUTYCYCLE})$$

このコマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11s フォーマットでフォーマットされます。

READ_IOUT

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

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

この読み出し専用コマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11s フォーマットでフォーマットされます。

READ_TEMPERATURE_1

READ_TEMPERATURE_1 コマンドは、外部検出素子の温度(摂氏)を返します。

この読み出し専用コマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11s フォーマットでフォーマットされます。

READ_TEMPERATURE_2

READ_TEMPERATURE_2 コマンドは、内部検出素子の温度(摂氏)を返します。

この読み出し専用コマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11s フォーマットでフォーマットされます。

READ_DUTY_CYCLE

READ_DUTY_CYCLE コマンドはコントローラのデューティ・サイクル(パーセント)を返します。

この読み出し専用コマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11s フォーマットでフォーマットされます。

READ_POUT

READ_POUT コマンドは、DC/DC コンバータの出力電力(単位はワット)のページ指定読み出しです。POUTは最新の相関する出力電圧および電流の測定値に基づいて計算されます。

このコマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11s フォーマットでフォーマットされます。

PMBus コマンドの詳細

MFR_VOUT_PEAK

MFR_VOUT_PEAK コマンドは、READ_VOUT によって報告された最高電圧 (単位はボルト) を報告します。

このコマンドは、MFR_CLEAR_PEAKS コマンドを使ってクリアされます。

この読み出し専用コマンドには2データ・バイトがあり、Linear_16u フォーマットでフォーマットされます。

MFR_VIN_PEAK

MFR_VIN_PEAK コマンドは、READ_VIN による測定によって報告された最高電圧 (単位はボルト) を報告します。

このコマンドは、MFR_CLEAR_PEAKS コマンドを使ってクリアされます。

この読み出し専用コマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11s フォーマットでフォーマットされます。

MFR_TEMPERATURE_1_PEAK

MFR_TEMPERATURE_1_PEAK コマンドは、READ_TEMPERATURE_1 による測定によって報告された最高温度 (摂氏) を報告します。

このコマンドは、MFR_CLEAR_PEAKS コマンドを使ってクリアされます。

この読み出し専用コマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11s フォーマットでフォーマットされます。

MFR_TEMPERATURE_2_PEAK

MFR_TEMPERATURE_2_PEAK コマンドは、READ_TEMPERATURE_2 による測定によって報告された最高温度 (摂氏) を報告します。

このコマンドは、MFR_CLEAR_PEAKS コマンドを使ってクリアされます。

この読み出し専用コマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11s フォーマットでフォーマットされます。

MFR_IOUT_PEAK

MFR_IOUT_PEAK コマンドは、READ_IOUT による測定によって報告された最高電流 (単位はアンペア) を報告します。

このコマンドは、MFR_CLEAR_PEAKS コマンドを使ってクリアされます。

この読み出し専用コマンドには2データ・バイトがあり、Linear_5s_11s フォーマットでフォーマットされます。

PMBus コマンドの詳細

NVM メモリ・コマンド

格納/復元

コマンドの名称	CMDコード	説明	タイプ	ページ指定	フォーマット	単位	NVM	既定値
STORE_USER_ALL	0x15	ユーザ使用メモリをEEPROMに格納。	バイトを送信	N				NA
RESTORE_USER_ALL	0x16	ユーザ使用メモリをEEPROMから復元。	バイトを送信	N				NA
MFR_COMPARE_USER_ALL	0xF0	現在のコマンドの内容をNVMと比較。	バイトを送信	N				NA

STORE_USER_ALL

STORE_USER_ALL コマンドは、使用中のメモリのユーザの不揮発性の内容をユーザの不揮発性NVMメモリの該当するロケーションにコピーすることを、PMBus デバイスに指示します。

ダイ温度が85°Cを超えている場合、このコマンドを実行することは推奨されておらず、10年間のデータ保持は保証できません。ダイ温度が130°Cを超えると、デバイスの温度が125°Cを下回るまで、STORE_USER_ALL コマンドはディスエーブルされます。

LTC3880との通信およびNVMのプログラミングは、VDD33が利用可能であれば、VINが与えられていなくても開始することができます。この状態のデバイスをイネーブルするには、グローバル・アドレス0x5Bを使って、0x2B、続いて0xC4を書き込みます。これで、デバイスは通信可能となり、プロジェクト・ファイルを更新することができます。更新されたプロジェクト・ファイルをNVMに書き込むには、STORE_USER_ALL コマンドを出します。VINが与えられたら、MFR_RESETを出して、PWMをイネーブルできるようにし、有効なADCを読み出せるようにする必要があります。

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトはありません。

RESTORE_USER_ALL

RESTORE_USER_ALL コマンドは、ユーザの不揮発性メモリの内容を使用するメモリの該当するロケーションにコピーすることを、PMBus デバイスに指示します。使用メモリの値はユーザ・コマンドから取り出された値によって上書きされます。RESTORE_USER_ALL コマンドが出されると、復元が完了するまでRUNピンとSHARE_CLKピンが“L”にアサートされます。RUNピンとSHARE_CLKが次にリリースされます。MFR_RESTART_DELAYの間は、RUNピンが“L”に保持されます。RESTORE_USER_ALL コマンドを使用すると、NVMに格納されているすべてのコマンドの値がRAMに配置され、ASELを含む、ピン結線された抵抗設定ピンは無視されます。MFR_RESET コマンドは、常にASELピンを有効にし、ピン結線されたRCONFIGピンを有効にするようにデバイスがプログラムされている場合はそれに従うため、RESTORE_USER_ALLではなく、MFR_RESETコマンドの使用を推奨します。

ダイが130°Cを超える場合はRESTORE_USER_ALLコマンドがディスエーブルされ、ダイ温度が125°Cを下回るまでは再度イネーブルされません。

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトはありません。

MFR_COMPARE_USER_ALL

MFR_COMPARE_USER_ALL コマンドは、現在のコマンドの内容を不揮発性メモリに格納されている内容と比較するように、PMBus デバイスに指示します。比較動作により違いが検出されると、CMLビット0のフォルトが発生します。

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトはありません。

PMBus コマンドの詳細

フォルト・ログ

コマンドの名称	CMDコード	説明	タイプ	ページ指定	データ形式	単位	NVM	既定値
MFR_FAULT_LOG	0xEE	フォルト・ログのデータ・バイト。このシーケンシャルに取り出されたデータを使用して完全なフォルト・ログをアセンブル。	Rブロック	N	CF		Y	NA
MFR_FAULT_LOG_STORE	0xEA	フォルト・ログのRAMからEEPROMへの転送命令。これにより、チャンネルがフォルトでオフしたかのようにデバイスが振る舞う。	バイトを送信	N				NA
MFR_FAULT_LOG_CLEAR	0xEC	フォルト・ログのために予約されたEEPROMのブロックを初期化し、以前のフォルト・ログのロックをクリア。	バイトを送信	N				NA

MFR_FAULT_LOG

MFR_FAULT_LOG_CLEAR コマンドが最後に書き込まれて以来、最初のフォルトが発生した後、MFR_FAULT_LOG コマンドにより、ユーザはFAULT_LOGの内容を読み出すことができます。このコマンドの内容は不揮発性メモリに格納され、MFR_FAULT_LOG_CLEAR コマンドによってクリアされます。このコマンドの長さの内容を表11に示します。ユーザがMFR_FAULT_LOG コマンドにアクセスし、フォルト・ログが存在しないと、コマンドは0のデータ長を返します。フォルト・ログが存在すると、MFR_FAULT_LOGは常に147バイト長のデータ・ブロックを返します。電源印加後の最初の1秒以内にフォルトが発生した場合、フォルト・ログのそれ以前のページには有効なデータが含まれない可能性があります。フォルトが発生し、フォルト・ログがイネーブルされると、ヘッダー・セクションと最後の6個のADCイベントがNVMに格納されます。リセットが発生する前にフォルト・ログが読み出された場合、ロケーションN(最初のロケーション)には最新のイベントがあります。デバイスがリセットされるか、VINが失われた場合、そのイベントは6個の循環データ・ロケーションのいずれかに存在する可能性があります。

注記:このコマンドの転送時間は、400kHzのクロックを使って約3.4msです。

この読み取り専用コマンドはブロック・フォーマットです。

MFR_FAULT_LOG_STORE

MFR_FAULT_LOG_STORE コマンドは、ちょうどフォルト・イベントが発生したかのように、フォルト・ログのオペレーションがNVMに書き込まれるように強制します。このコマンドは、MFR_CONFIG_ALL_LTC3880 コマンドの「フォルト・ログをイネーブル」ビットがセットされていると、MFR_SPECIFIC フォルトを発生します。

ダイ温度が130°Cを超えると、デバイスの温度が125°Cを下回るまで、MFR_FAULT_LOG_STORE コマンドはディスエーブルされます。

フォルト・ログのヘッダーにはアップタイム・カウンタがあります。カウンタは最後のリセットからの経過時間を200μs単位でカウントします。これは48ビットのバイナリ・カウンタです。

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトはありません。

PMBus コマンドの詳細

表 11. フォルト・ログ

この表は、MFR_FAULT_LOG コマンドのブロック・データ読み出しによるブロック・データのフォーマットの概要を示しています。

データのフォーマットの定義				LIN 11 = PMBus = Rev 1.1, Part 2, section 7.1
				LIN 16 = PMBus Rev 1.1, Part 2, section 8. 仮数の部分のみ
				BYTE = このコマンドの定義に従って解釈される 8 ビット
データ	ビット	データ フォーマット	バイト番号	ブロック読み出しコマンド
ブロック長		バイト	147	MFR_FAULT_LOG コマンドは 147 バイトの固定長 データ・ログ・イベントが捕捉されていないと、ブロック長はゼロになる
ヘッダー情報				
Position_Fault		バイト	0	フォルト・ログをアクティブにしたフォルトを示す。
MFR_REAL_TIME	[7:0]	バイト	1	48 ビットのバイナリ・カウンタ。これは最後のリセットから 200µs 単位で インクリメントされた時間。
	[15:8]	バイト	2	
	[23:16]	バイト	3	
	[31:24]	バイト	4	
	[39:32]	バイト	5	
	[47:40]	バイト	6	
MFR_VOUT_PEAK (PAGE 0)	[15:8]	LIN 16	7	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以来のピーク READ_VOUT page 0
	[7:0]	LIN 16	8	
MFR_VOUT_PEAK (PAGE 1)	[15:8]	LIN 16	9	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以来のピーク READ_VOUT page 1
	[7:0]	LIN 16	10	
MFR_IOUT_PEAK (PAGE 0)	[15:8]	LIN 11	11	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以来のピーク READ_IOUT page 0
	[7:0]	LIN 11	12	
MFR_IOUT_PEAK (PAGE 1)	[15:8]	LIN 11	13	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以来のピーク READ_IOUT page 1
	[7:0]	LIN 11	14	
MFR_VIN_PEAK	[15:8]	LIN 11	15	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以来のピーク READ_VIN
	[7:0]	LIN 11	16	
READ_TEMPERATURE_1 (PAGE 0)	[15:8]	LIN 11	17	最後のイベントの間の外部温度センサ 0
	[7:0]	LIN 11	18	
READ_TEMPERATURE_1 (PAGE 1)	[15:8]	LIN 11	19	最後のイベントの間の外部温度センサ 1
	[7:0]	LIN 11	20	
READ_TEMPERATURE_2	[15:8]	LIN 11	21	最後のイベントの間の内部温度センサ
	[7:0]	LIN 11	22	
MFR_TEMPERATURE1_PEAK (PAGE 0)	[15:8]	LIN 11	23	MFR_CLEAR_PEAKS 以来のピーク READ_TEMPERATURE_1 page 0
	[7:0]	LIN 11	24	
MFR_TEMPERATURE1_PEAK (PAGE 1)	[15:8]	LIN 11	25	MFR_CLEAR_PEAKS 以来のピーク READ_TEMPERATURE_1 page 1
	[7:0]	LIN 11	26	

PMBus コマンドの詳細

循環データ

EVENT n (フォルトがそこで生じたデータ:最も最近のデータ)				イベント“n”は、フォルト発生時に MUX を介した ADC 読み出しの完全な 1 サイクルを表します。例: ADC がステップ 15 を処理しているときにフォルトが発生すると、ステップ 25 まで読み出しを続けてから、ヘッダーおよび全 6 イベント・ページを EEPROM に格納します。
READ_VOUT (PAGE 0)	[15:8]	LIN 16	27	
	[7:0]	LIN 16	28	
READ_VOUT (PAGE 1)	[15:8]	LIN 16	29	
	[7:0]	LIN 16	30	
READ_IOUT (PAGE 0)	[15:8]	LIN 11	31	
	[7:0]	LIN 11	32	
READ_IOUT (PAGE 1)	[15:8]	LIN 11	33	
	[7:0]	LIN 11	34	
READ_VIN	[15:8]	LIN 11	35	
	[7:0]	LIN 11	36	
READ_IIN	[15:8]	LIN 11	37	
	[7:0]	LIN 11	38	
STATUS_VOUT (PAGE 0)		バイト	39	
STATUS_VOUT (PAGE 1)		バイト	40	
STATUS_WORD (PAGE 0)	[15:8]	ワード	41	
	[7:0]	ワード	42	
STATUS_WORD (PAGE 1)	[15:8]	ワード	43	
	[7:0]	ワード	44	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 0)		バイト	45	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 1)		バイト	46	

PMBus コマンドの詳細

EVENT n-1 (フォルトが検出される前に測定されたデータ)			
READ_VOUT (PAGE 0)	[15:8]	LIN 16	47
	[7:0]	LIN 16	48
READ_VOUT (PAGE 1)	[15:8]	LIN 16	49
	[7:0]	LIN 16	50
READ_IOUT (PAGE 0)	[15:8]	LIN 11	51
	[7:0]	LIN 11	52
READ_IOUT (PAGE 1)	[15:8]	LIN 11	53
	[7:0]	LIN 11	54
READ_VIN	[15:8]	LIN 11	55
	[7:0]	LIN 11	56
READ_IIN	[15:8]	LIN 11	57
	[7:0]	LIN 11	58
STATUS_VOUT (PAGE 0)		バイト	59
STATUS_VOUT (PAGE 1)		バイト	60
STATUS_WORD (PAGE 0)	[15:8]	ワード	61
	[7:0]	ワード	62
STATUS_WORD (PAGE 1)	[15:8]	ワード	63
	[7:0]	ワード	64
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 0)		バイト	65
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 1)		バイト	66
*			
*			
*			

LTC3880/LTC3880-1

PMBus コマンドの詳細

EVENT n-5 (最も古い記録されたデータ)				
READ_VOUT (PAGE 0)	[15:8]	LIN 16	127	
	[7:0]	LIN 16	128	
READ_VOUT (PAGE 1)	[15:8]	LIN 16	129	
	[7:0]	LIN 16	130	
READ_IOUT (PAGE 0)	[15:8]	LIN 11	131	
	[7:0]	LIN 11	132	
READ_IOUT (PAGE 1)	[15:8]	LIN 11	133	
	[7:0]	LIN 11	134	
READ_VIN	[15:8]	LIN 11	135	
	[7:0]	LIN 11	136	
READ_IIN	[15:8]	LIN 11	137	
	[7:0]	LIN 11	138	
STATUS_VOUT (PAGE 0)		バイト	139	
STATUS_VOUT (PAGE 1)		バイト	140	
STATUS_WORD (PAGE 0)	[15:8]	ワード	141	
	[7:0]	ワード	142	
STATUS_WORD (PAGE 1)	[15:8]	ワード	143	
	[7:0]	ワード	144	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 0)		バイト	145	
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 1)		バイト	146	

PMBus コマンドの詳細

表 11a: Position_Fault の値の説明

POSITION_FAULT VALUE	SOURCE OF FAULT LOG
0xFF	MFR_FAULT_LOG_STORE
0x00	TON_MAX_FAULT Channel 0
0x01	VOUT_OV_FAULT Channel 0
0x02	VOUT_UV_FAULT Channel 0
0x03	IOUT_OC_FAULT Channel 0
0x05	OT_FAULT Channel 0
0x06	UT_FAULT Channel 0
0x07	VIN_OV_FAULT Channel 0
0x0A	MFR_OT_FAULT Channel 0
0x10	TON_MAX_FAULT Channel 1
0x11	VOUT_OV_FAULT Channel 1
0x12	VOUT_UV_FAULT Channel 1
0x13	IOUT_OC_FAULT Channel 1
0x15	OT_FAULT Channel 1
0x16	UT_FAULT Channel 1
0x17	VIN_OV_FAULT Channel 1
0x1A	MFR_OT_FAULT Channel 1

MFR_FAULT_LOG_CLEAR

MFR_FAULT_LOG_CLEAR コマンドは、フォルト・ログ・ファイルに保存された値を消去します。STATUS_MFR_SPECIFIC コマンドのビット 3 もクリアします。クリア・コマンドが発行された後、クリアされるまでに最大 8ms を要します。

この書き込み専用コマンドはバイト送信です。

PMBus コマンドの詳細

ブロック・メモリ書き込み/読み出し

コマンドの名称	CMDコード	説明	タイプ	ページ指定	データ形式	単位	NVM	既定値
MFR_EE_UNLOCK	0xBD	MFR_EE_ERASEとMFR_EE_DATAのコマンドによってアクセスするために、ユーザのEEPROMのロックを解除。	R/Wバイト	N	Reg			NA
MFR_EE_ERASE	0xBE	MFR_EE_DATAによるバルク・プログラミングのために、ユーザのEEPROMを初期化。	R/Wバイト	N	Reg			NA
MFR_EE_DATA	0xBF	シーケンシャルなPMBusのワード読み出しまたは書き込みを使って、EEPROMのデータ転送。バルク・プログラミングをサポート。	R/Wワード	N	Reg			NA

ダイ温度が130°Cを超えると、全てのNVMコマンドはディスエーブルされます。ダイ温度が125°Cを下回ると、NVMコマンドが再度イネーブルされます。

MFR_EE_UNLOCK

MFR_EE_ERASEとMFR_EE_DATAへのアクセスをイネーブルし、PECを設定するには、適切なロック解除キーによるMFR_EE_UNLOCKへの複数回の書き込みが使われます。

LTC3880との通信およびNVMのプログラミングは、VDD33が与えられていれば、VINが与えられていなくても開始することができます。この状態のデバイスをイネーブルするには、グローバル・アドレス0x5Bを使ってコマンド0xBDとデータ0x2B、続いて、アドレス0x5Bを使ってコマンド0xBDとデータ0xC4を書き込みます。VINが与えられたら、MFR_RESETを出して、PWMをイネーブルできるようにし、有効なADCを読み出せるようにする必要があります。

0x2Bを書き込み、続いて0xD4を書き込むと、PECをクリアし、EEPROMアドレス・ポインタをリセットし、EEPROMの消去とデータ・コマンドの書き込みのためにデバイスのロックを解除します。

0x2Bを書き込み、続いて0xD5を書き込むと、PECをセットし、EEPROMアドレス・ポインタをリセットし、EEPROMの消去とデータ・コマンドの書き込みのためにデバイスのロックを解除します。

0x2Bを書き込み、続いて0x91と0xE4を書き込むと、PECをクリアし、EEPROMアドレス・ポインタをリセットし、EEPROMの全てのロケーションのデータ読み出しのためにデバイスのロックを解除します。

0x2Bを書き込み、続いて0x91と0xE5を書き込むと、PECをセットし、EEPROMアドレス・ポインタをリセットし、EEPROMの全てのロケーションのデータ読み出しのためにデバイスのロックを解除します。

MFR_EE_ERASE

適切なロック解除キーの後に1回書き込むと、EEPROMが消去され、それ以降のデータ書き込みが可能になります。このレジスタを読み出して、EEPROMへのアクセス中であるかどうかを表示することができます。

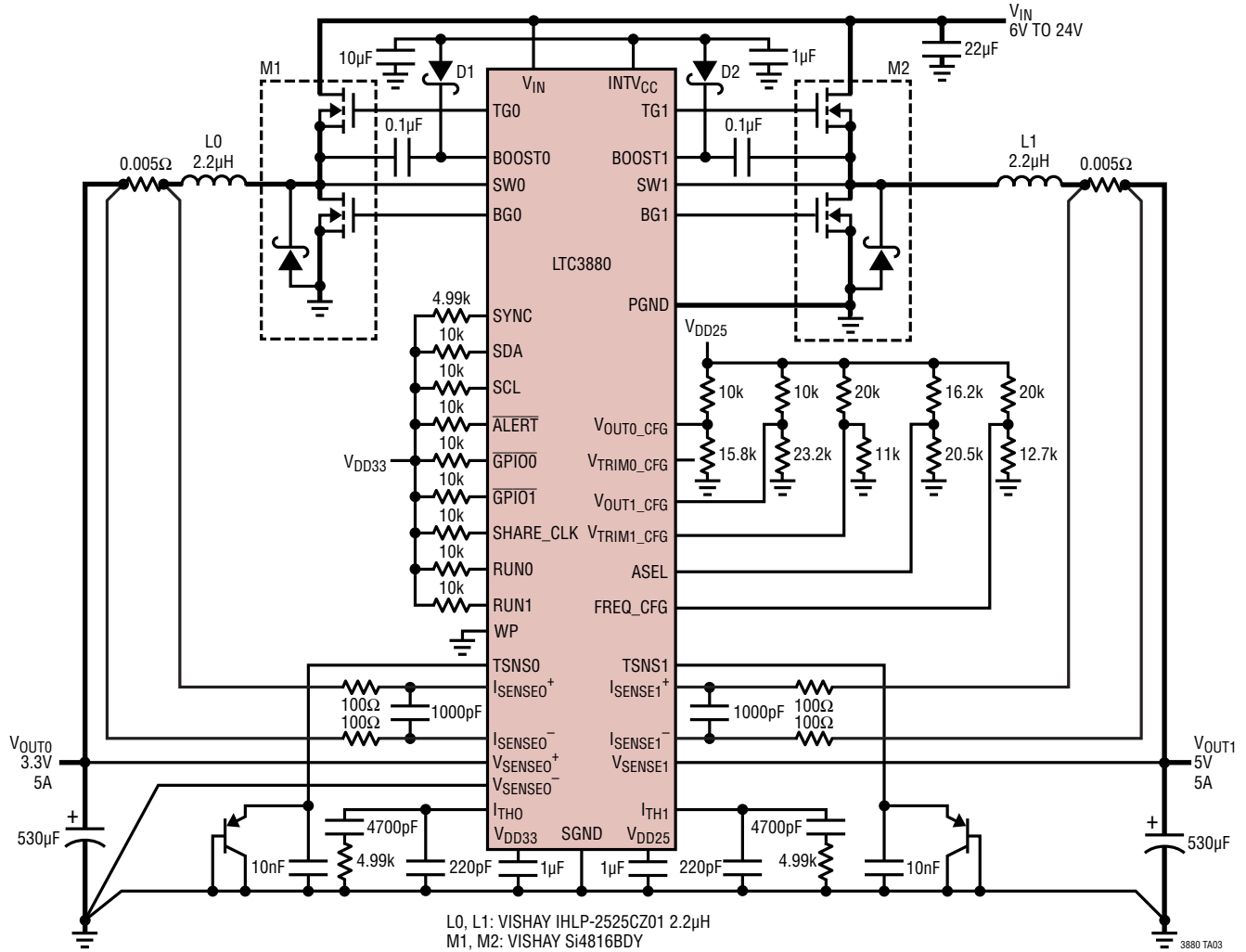
0x2Bの値はEEPROMを消去します。デバイスがEEPROMの書き込みまたは消去中でビジーであれば、ゼロではない値が返されます。

MFR_EE_DATA

シーケンシャルな書き込みまたは読み出しが、ブロック・ロードまたはEEPROMからのブロック復元を行います。連続するMFR_EE_DATAワード書き込みは、EEPROMがフルになるまでEEPROMに入力されます。余分の書き込みはデバイスをロックします。最初の書き込みは最下位アドレスに行われます。最初の読み出しは16ビットのEEPROM packing revision IDを返します。2番目の読み出しは利用可能な16ビット・ワードの数を返します。それ以降の読み出しは、最下位アドレスから始まるEEPROMのデータを返します。

標準的応用例

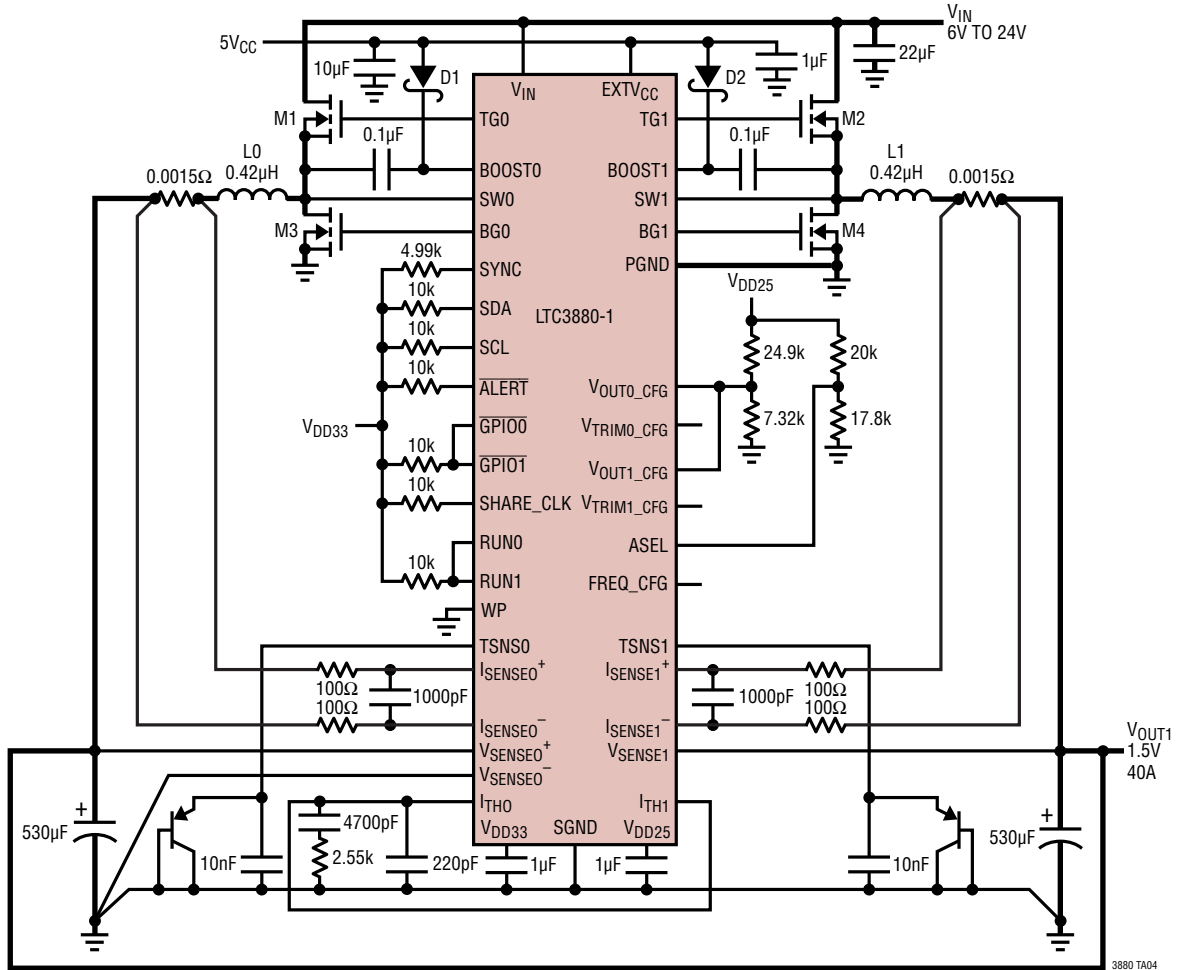
センス抵抗付き、高効率、デュアル、500kHz、5V/3.3V 降圧コンバータ



LTC3880/LTC3880-1

標準的応用例

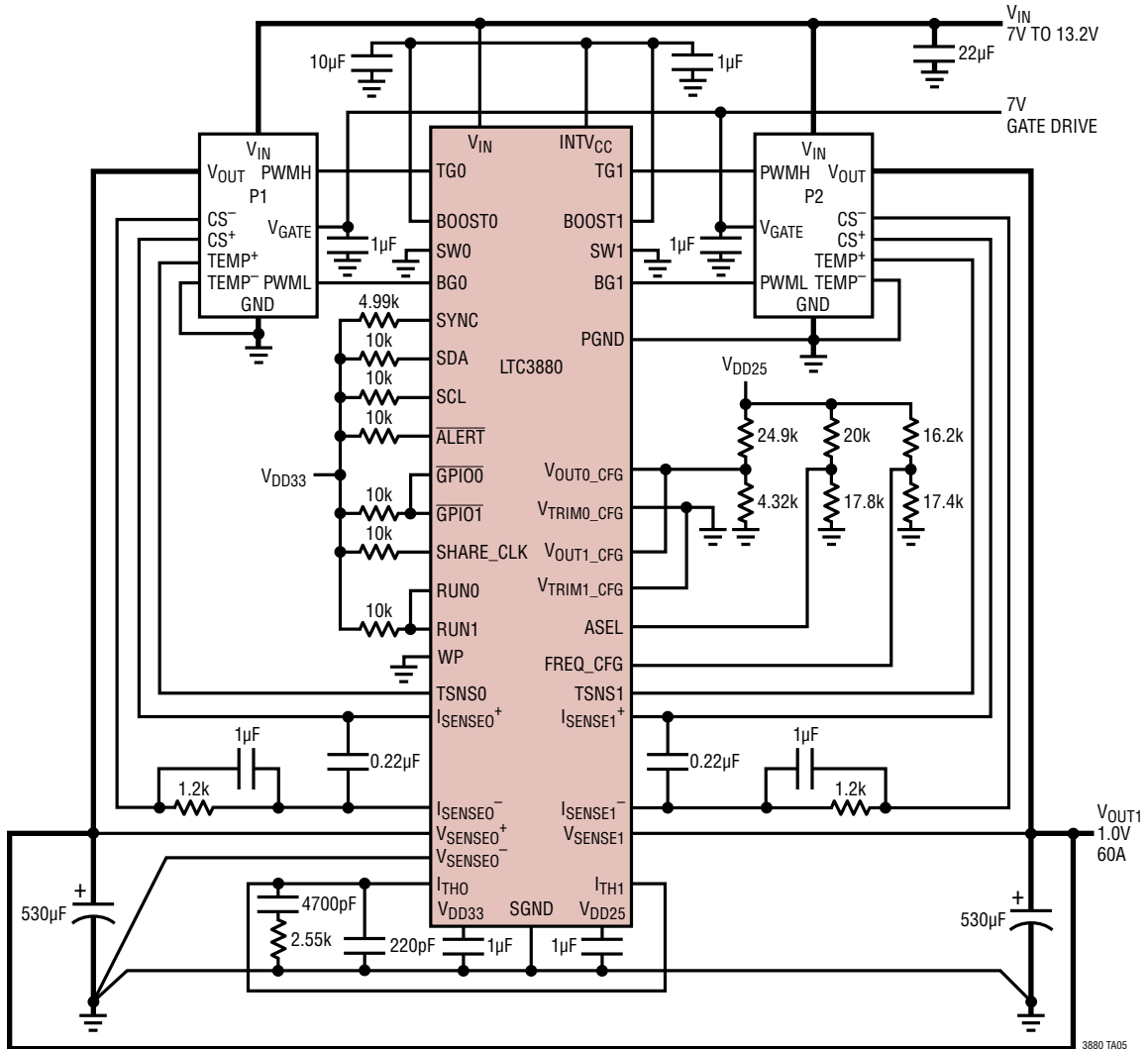
外部V_{CC}およびセンス抵抗付き、高効率、350kHz、2フェーズ1.5Vデュアル降圧コンバータ



L0, L1: VITEC 59PR9875 0.42µH
M1, M2: INFINEON BSC050N03LS
M3, M4: INFINEON BSC010NE2LSI

標準的応用例

パワブロック付き、高効率、425kHz、1V降圧デュアル・フェーズ・コンバータ

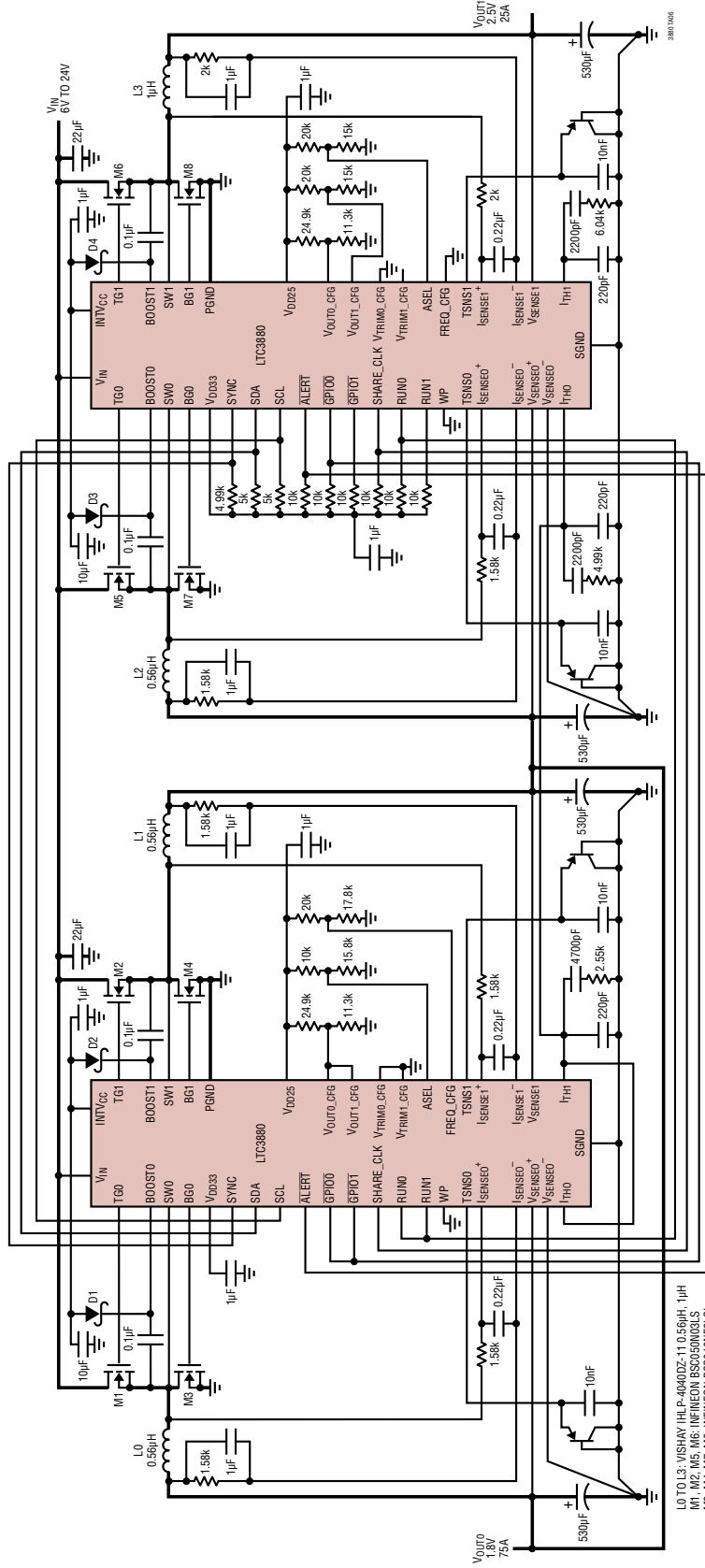


P1, P2: VRA001-4C3G ACBEL POWER BLOCK

3880 TA05

標準的応用例

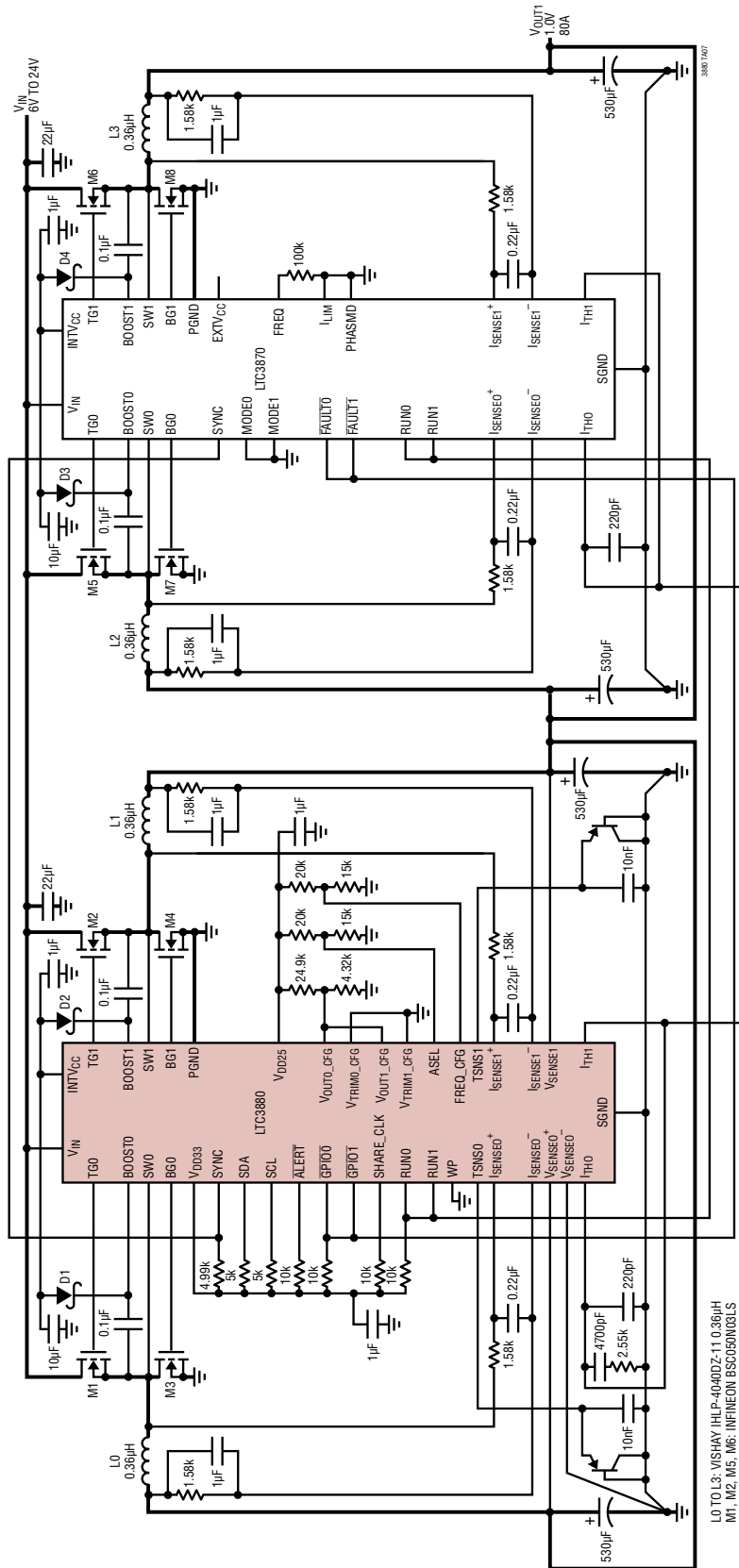
高効率3フェーズ、425kHz、1.8V シングルおよび1フェーズ、425kHz2.5V 降圧コンバータ



L0 TO L3: VISHAY HI-P-4040Z-11 0.56µH, 1µH
 M1, M2, M5, M6: INFINEON BSC050M03LS
 M3, M4, M7, M8: INFINEON BSC010M2LSI

標準的応用例

LTC3880 および LTC3870 PSM スレーブ搭載、高効率4フェーズ、425kHz、1.0V 降圧コンバータ

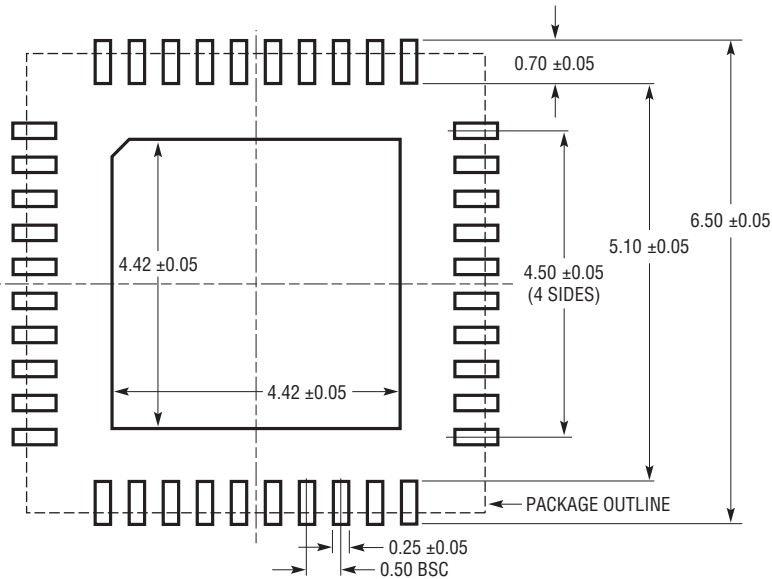


LTC3880/LTC3880-1

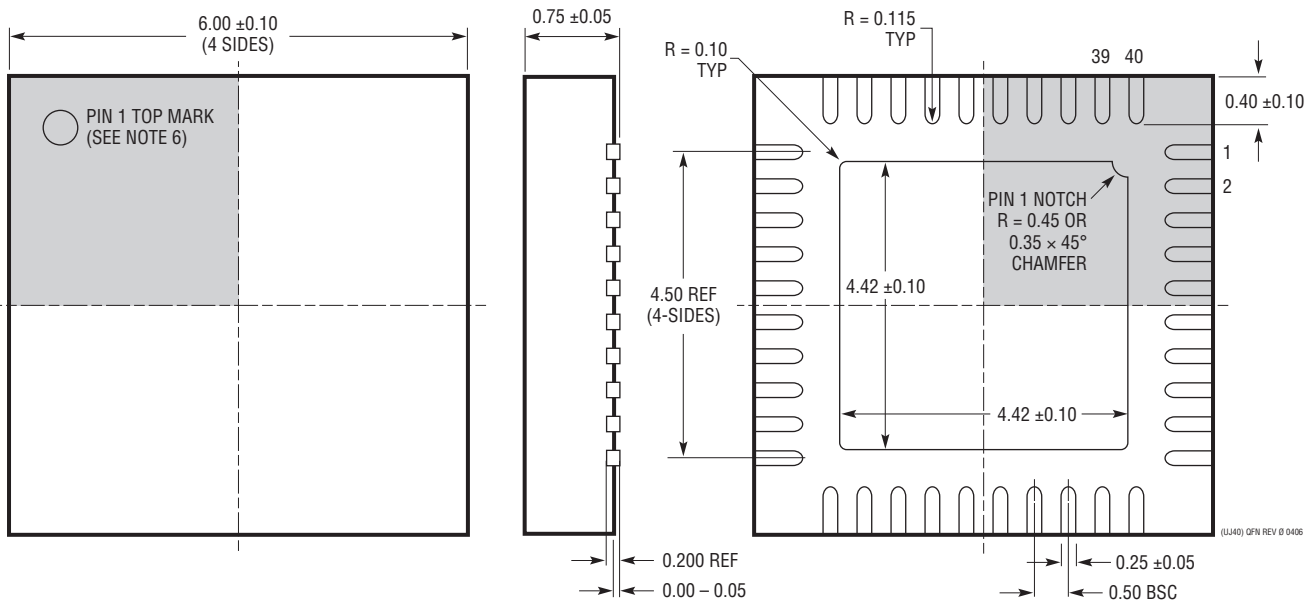
パッケージ

最新のパッケージ図面については、<http://www.linear-tech.co.jp/designtools/packaging/> をご覧ください。

UJ Package
40-Lead Plastic QFN (6mm × 6mm)
 (Reference LTC DWG # 05-08-1728 Rev 0)



RECOMMENDED SOLDER PAD PITCH AND DIMENSIONS
 APPLY SOLDER MASK TO AREAS THAT ARE NOT SOLDERED



NOTE:

1. 図面は JEDEC のパッケージ外形バリエーション (WJJD-2)
2. 図は実寸とは異なる
3. 全ての寸法はミリメートル
4. パッケージ底面の露出パッドの寸法にはモールドのバリを含まない
モールドのバリは (もしあれば) 各サイドで 0.20mm を超えないこと
5. 露出パッドは半田メッキとする
6. 網掛けの部分はパッケージの上面と底面のピン 1 の位置の参考に過ぎない

BOTTOM VIEW—EXPOSED PAD

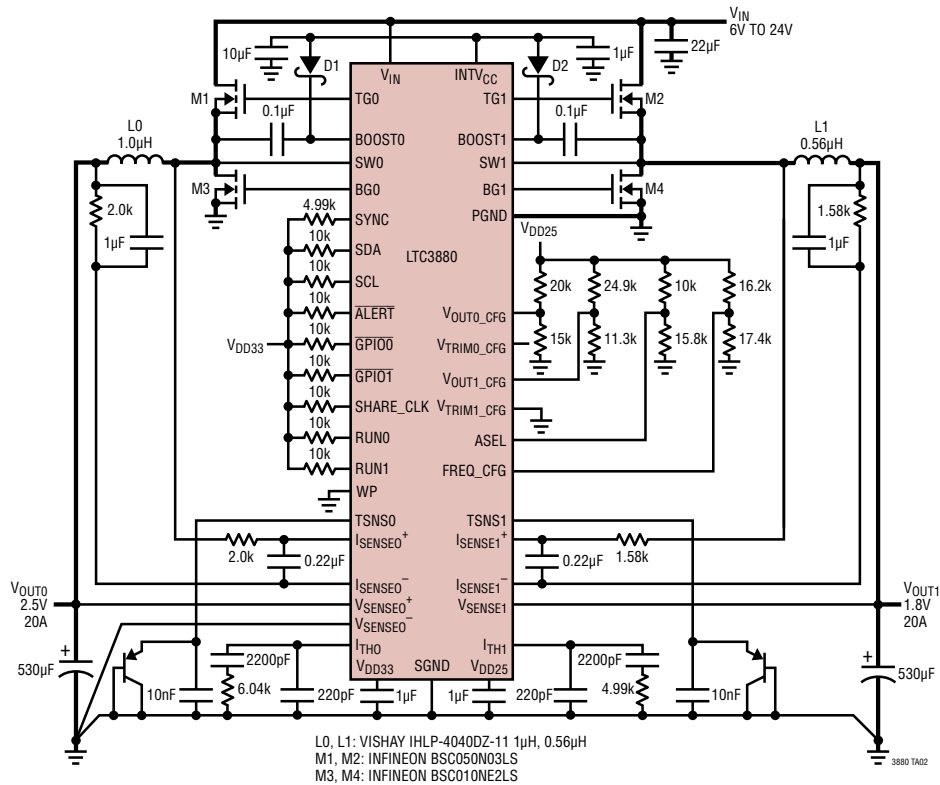
改訂履歴

REV	日付	概要	ページ番号
A	10/11	Iグレードを追加、データシート全体に反映	1~112
B	11/13	I _{SENSE0/1} の上限値を修正	5
		パラメータのエラーと、標準値を修正	6
		「ピン機能」のエラーを修正	13
		「動作」セクションの左側の2番目の段落を修正	17
		「動作」セクションの左側の3番目の段落を修正	23
		表2のコマンドを修正	31
		図18aの公式を修正	38
		図27の構成部品を修正	56
		「スクラッチパッド」表を修正	88
		「識別」表を修正	89
		「PMBusコマンドの詳細」の表を修正	100
		標準的応用例の頁の構成部品を修正	106
C	05/14	Initialization Timeを追加	5
		読み出し時間を短縮	全て
		式を改訂	40、57、58
		回路図のMOSFETの製品番号を変更	56、106、108、 109
		VOUT_MAXの記述を改訂	31
		MFR_VOUT_MAXの記述を改訂	33
		STATUSメッセージの内容を追加	90、91、92、93
D	12/14	VOUT_UVUFの後に(PGOOD)を追加	19、24、43、 65、88

LTC3880/LTC3880-1

標準的応用例

高効率デュアル、425kHz、2.5V/1.8V 降圧コンバータ



関連製品

製品番号	説明	注釈
LTC3883/ LTC3883-1	入力電流検出およびデジタル・パワー・システム・マネージメント機能付きシングル出力、PolyPhase 降圧コントローラ	V _{IN} : 最大24V、0.5V ≤ V _{OUT} ≤ 5.4V、アナログCM制御ループ、EEPROM および 16ビットADCとのI ² C/PMBus インタフェース
LTC2977	PMBus 準拠のオクタール電源モニタ、スーパーバイザ、シーケンサおよびマージン・コントローラ	内蔵EEPROM へのフォルト・ログ機能、出力電圧8チャンネルと入力電圧1チャンネルのモニタ機能
LTC3850/ LTC3850-2	デュアル、2フェーズ同期整流式降圧DC/DCコントローラ、R _{SENSE} またはDCRによる電流検出およびトラッキング	PLLによる固定周波数: 250kHz ~ 780kHz、4V ≤ V _{IN} ≤ 30V、0.8V ≤ V _{OUT} ≤ 5.25V
LTC3855	差動アンプとDCRの温度補償付き、デュアル、マルチフェーズ、同期整流式降圧DC/DCコントローラ	PLLによる固定周波数: 250kHz ~ 770kHz、4.5V ≤ V _{IN} ≤ 38V、0.8V ≤ V _{OUT} ≤ 12V
LTC3869	並列に接続されたとき電流バランスの優れた、デュアルの2フェーズ同期整流式降圧DC/DCコントローラ	PLLによる固定周波数: 250kHz ~ 770kHz、4V ≤ V _{IN} ≤ 38V、0.6V ≤ V _{OUT} ≤ 12.5V
LTC3861	差動アンプとスリーステート出力ドライブ付き、デュアル、マルチフェーズ、同期整流式降圧DC/DCコントローラ	パワーブロック、DRMOS デバイスまたは外部MOSFETと連携して動作、3V ≤ V _{IN} ≤ 24V、t _{ON(MIN)} = 20ns
LTC3833	高速、高精度の同期整流式降圧DC/DCコントローラ	制御されたオン時間、同期可能、4.5V ≤ V _{IN} ≤ 38V、0.6V ≤ V _{OUT} ≤ 5.25V
LTC3856	差動アンプとDCRの温度補償付き、2フェーズ、シングル出力、同期整流式降圧DC/DCコントローラ	PLLによる固定周波数: 250kHz ~ 770kHz、4.5V ≤ V _{IN} ≤ 38V、0.6V ≤ V _{OUT} ≤ 5.25V
LTC3870	デジタル・パワーシステム・マネージメント機能を備えたLTC3880/LTC3883 向けの PolyPhase 降圧スレーブ・コントローラ	LTC3880/LTC3883の位相拡張器、4.5V ≤ V _{IN} ≤ 60V、PLLによる周波数: 100kHz ~ 1MHz、4mm×5mm QFN-28
LTC3890	低消費電流の、60V、デュアル出力、2フェーズ同期整流式降圧DC/DCコントローラ	PLLによる固定周波数: 50kHz ~ 900kHz、4V ≤ V _{IN} ≤ 60V、0.8V ≤ V _{OUT} ≤ 24V、5mm×5mm QFN-32
LTM [®] 4676	デジタル・パワー・システム・マネージメント機能付き、デュアル13Aまたはシングル26A µModule [®] レギュレータ	4.5V ≤ V _{IN} ≤ 26V、0.5V ≤ V _{OUT} ≤ 5.4V、16mm×16mm×5.01mm BGA パッケージ

この製品は、PowerOne, Inc. の所有する米国特許 7000125 およびその他の関連した特許に記述されているデジタル・パワー・テクノロジーに関する PowerOne, Inc. からのライセンスを有しています。このライセンスはスタンドアロンの電源製品には拡大適用されません。

3880fd