

デジタル・パワーシステム・ マネージメント機能を搭載したデュアル出力 PolyPhase 降圧 DC/DC 電圧モード・コントローラ

特長

- PMBus/I²C 準拠のシリアル・インタフェース
 - 電圧、電流、温度、およびフォルトをモニタ
 - 電圧、電流制限、ソフトスタート/ストップ、シーケンシング、マーゼニング、AVP、および UV/OV しきい値をデジタル的にプログラム可能
- $3V \leq V_{INSNS} \leq 38V$, $0.5V \leq V_{OUT} \leq 5.25V$
- 出力電圧精度: $\pm 0.5\%$
- プログラム可能な PWM 周波数範囲または外部クロックの同期範囲: 250kHz ~ 1.25MHz
- 高精度の PolyPhase[®] 電流分担
- フォルト記録機能を備えた内部 EEPROM
- デバイスの電源電圧範囲: 3V ~ 13.2V
- 抵抗またはインダクタの DCR による電流検出
- オプションで主なパラメータを抵抗でプログラミング
- 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
- サーバ、ネットワーク機器およびストレージ機器
- 高度でエネルギー効率の高い電力レギュレーション
- 産業用/通信/ATEシステム

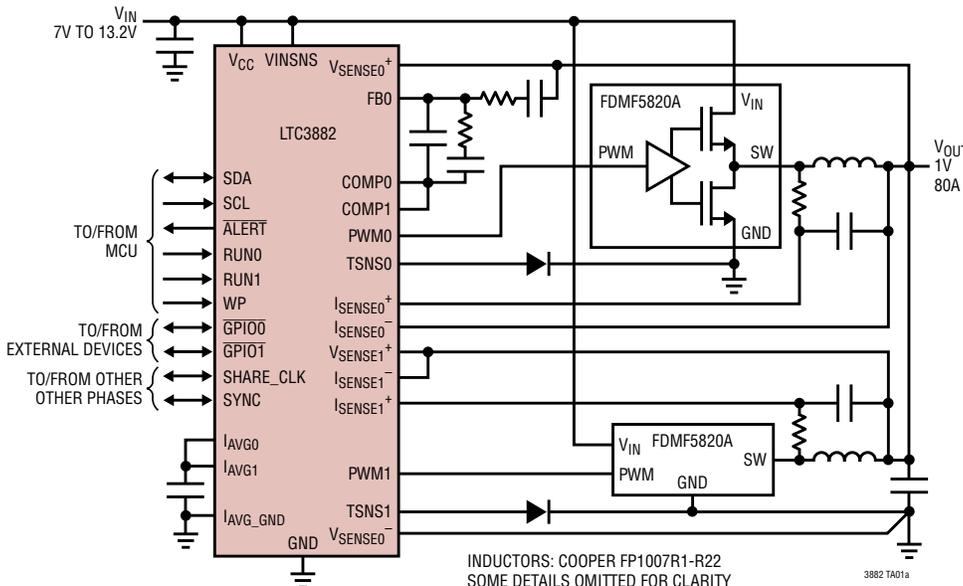
概要

LTC[®]3882は、PMBus 準拠のシリアル・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。このデバイスは、固定周波数、立ち上がりエッジ変調、電圧モード・アーキテクチャを採用しており、優れたトランジェント応答特性と出力レギュレーション特性に対応します。各 PWM チャネルは、パワー・ブロック、DrMOS、またはディスクリート FET ドライバなど、広範囲の 3.3V 互換パワー段を使用して 0.5V ~ 5.25V の出力電圧を発生できます。最大で4つの LTC3882 を並列に動作させることにより、2、3、4、6、または8相の動作が可能です。

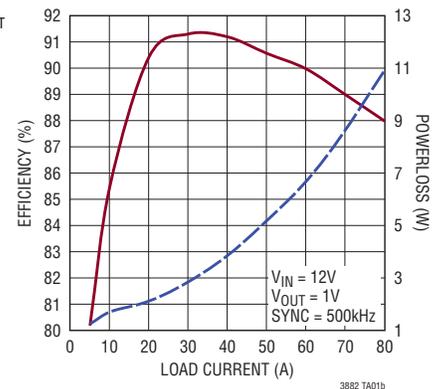
LTC3882 のシステム構成およびモニタリングは、LTpowerPlay[™] ソフトウェア・ツールによってサポートされています。デバイスのシリアル・インタフェースを使用して、入力電圧、出力電圧、出力電流、温度、およびフォルト状態を読み出すことができます。幅広い動作パラメータをデジタル・インタフェースを介して設定することも、内部 EEPROM に保管して起動時に使用することもできます。スイッチングの周波数と位相、出力電圧、およびデバイス・アドレスを外付けの構成抵抗を使用して設定することもできます。

LT、LT、LTC、LTM、Linear Technology、リニアのロゴ、および PolyPhase はリニアテクノロジー社の登録商標です。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。5396245、5859606、6144194、6937178、7420359、7000125 を含む米国特許によって保護されています。

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	PMBus コマンドの概要.....	35
アプリケーション.....	1	PMBus コマンド.....	35
標準的応用例.....	1	データ形式.....	35
概要.....	1	アプリケーション情報.....	40
絶対最大定格.....	4	効率に関する検討事項.....	40
発注情報.....	4	PWM 周波数とインダクタの選択.....	40
電気的特性.....	4	パワー MOSFET の選択.....	41
ピン配置.....	4	MOSFET ドライバの選択.....	42
標準的性能特性.....	8	PWM プロトコルの使用.....	42
ピン機能.....	11	C _{IN} の選択.....	43
ブロック図.....	13	C _{OUT} の選択.....	44
テスト回路.....	14	帰還ループ補償.....	44
タイミング図.....	14	PCB レイアウトに関する検討事項.....	46
動作.....	14	出力電流検出.....	47
概要.....	14	出力電圧検出.....	49
メイン制御ループ.....	15	ソフトスタートとソフトストップ.....	49
電源投入と初期化.....	17	時間ベースの出力シーケンシングとランピング.....	50
ソフトスタート.....	18	電圧ベースの出力シーケンシング.....	51
時間ベースの出力シーケンシング.....	18	出力電圧サーボの使用.....	52
出力ランピング制御.....	18	AVP の使用.....	52
電圧ベースの出力シーケンシング.....	18	PWM 周波数の同期.....	53
出力のディスエーブル.....	18	PolyPhase 動作と負荷シェアリング.....	54
最小出力ディスエーブル時間.....	19	外部温度検出.....	56
出力短絡サイクル.....	19	抵抗構成ピン.....	58
軽負荷電流動作.....	19	内部レギュレータ出力.....	59
スイッチング周波数と位相.....	19	デバイスの接合部温度.....	60
PolyPhase 負荷シェアリング.....	20	温度によるEEPROM 保持特性のディレーティング.....	60
能動電圧ポジショニング.....	20	オープン・ドレイン・ピンの構成.....	60
入力電源のモニタ.....	20	PMBus の通信とコマンド処理.....	61
出力電圧の検出とモニタ.....	20	ステータス・ログとフォルト・ログの管理.....	62
出力電流の検出とモニタ.....	21	LTpowerPlay – 対話型のデジタル・パワー GUI.....	63
外部および内部の温度検出.....	21	DC1613 とのインタフェース.....	63
抵抗構成ピン.....	21	設計例.....	64
CRC を備えた内部EEPROM.....	22	PMBus コマンドの詳細.....	66
フォルト検出.....	22	アドレス指定および書き込み保護.....	66
入力電源フォルト.....	22	PAGE.....	66
V _{OUT} フォルトに対するハードワイヤード PWM 応答.....	22	PAGE_PLUS_WRITE.....	66
パワーグッド表示.....	23	PAGE_PLUS_READ.....	67
I _{OUT} フォルトに対するハードワイヤード PWM 応答.....	23	WRITE_PROTECT.....	67
温度フォルトに対するハードワイヤード PWM 応答.....	23	MFR_ADDRESS.....	68
タイミング・フォルトに対するハードワイヤード PWM 応答.....	23	MFR_RAIL_ADDRESS.....	68
外部フォルト.....	24	一般的なデバイス構成.....	68
フォルト処理.....	24	PMBUS_REVISION.....	68
ステータス・レジスタおよび ALERT のマスキング.....	24	CAPABILITY.....	68
GPIO ピンへのマッピング・フォルト.....	26	MFR_CONFIG_ALL_LTC3882.....	69
GPIO のその他の用途.....	26	オン、オフ、およびマージン制御.....	69
フォルト・ログ記録.....	26	ON_OFF_CONFIG.....	69
工場出荷時のデフォルト動作.....	29	OPERATION.....	70
シリアル・インタフェース.....	30	MFR_RESET.....	70
シリアル・バスのアドレス指定.....	30	PWM 構成.....	71
シリアル・バスのタイムアウト.....	34	FREQUENCY_SWITCH.....	71
シリアル通信エラー.....	34	MFR_PWM_CONFIG_LTC3882.....	72

目次

MFR_CHAN_CONFIG_LTC3882.....	73	遠隔測定.....	88
MFR_PWM_MODE_LTC3882.....	74	READ_VIN.....	88
入力電圧と制限値.....	75	CLEAR_FAULTS.....	88
VIN_ON.....	75	MFR_VIN_PEAK.....	89
VIN_OFF.....	75	READ_VOUT.....	89
VIN_OV_FAULT_LIMIT.....	75	MFR_VOUT_PEAK.....	89
VIN_UV_WARN_LIMIT.....	75	READ_IOUT.....	89
出力電圧と制限値.....	76	MFR_IOUT_PEAK.....	89
VOUT_MODE.....	76	READ_POUT.....	89
VOUT_COMMAND.....	76	READ_TEMPERATURE_1.....	90
MFR_VOUT_MAX.....	76	MFR_TEMPERATURE_1_PEAK.....	90
VOUT_MAX.....	77	READ_TEMPERATURE_2.....	90
MFR_VOUT_AVP.....	77	MFR_TEMPERATURE_2_PEAK.....	90
VOUT_MARGIN_HIGH.....	77	READ_DUTY_CYCLE.....	90
VOUT_MARGIN_LOW.....	77	READ_FREQUENCY.....	90
VOUT_OV_FAULT_LIMIT.....	77	MFR_CLEAR_PEAKS.....	90
VOUT_OV_WARN_LIMIT.....	78	フォルト応答および通信.....	91
VOUT_UV_WARN_LIMIT.....	78	VIN_OV_FAULT_RESPONSE.....	91
VOUT_UV_FAULT_LIMIT.....	78	VOUT_OV_FAULT_RESPONSE.....	92
出力電流と制限値.....	79	VOUT_UV_FAULT_RESPONSE.....	92
IOUT_CAL_GAIN.....	79	IOUT_OC_FAULT_RESPONSE.....	93
MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC.....	79	OT_FAULT_RESPONSE.....	94
IOUT_OC_FAULT_LIMIT.....	79	UT_FAULT_RESPONSE.....	94
IOUT_OC_WARN_LIMIT.....	79	MFR_OT_FAULT_RESPONSE.....	94
出力のタイミング、遅延、およびランピング.....	80	TON_MAX_FAULT_RESPONSE.....	95
MFR_RESTART_DELAY.....	80	MFR_RETRY_DELAY.....	95
TON_DELAY.....	80	SMBALERT_MASK.....	96
TON_RISE.....	80	MFR_GPIO_PROPAGATE_LTC3882.....	97
TON_MAX_FAULT_LIMIT.....	81	MFR_GPIO_RESPONSE.....	97
VOUT_TRANSITION_RATE.....	81	EEPROMのユーザー・アクセス.....	98
TOFF_DELAY.....	81	MFR_FAULT_LOG.....	98
TOFF_FALL.....	81	MFR_FAULT_LOG_CLEAR.....	98
TOFF_MAX_WARN_LIMIT.....	81	STORE_USER_ALL.....	99
外部温度と制限値.....	82	RESTORE_USER_ALL.....	99
MFR_TEMP_1_GAIN.....	82	MFR_COMPARE_USER_ALL.....	99
MFR_TEMP_1_OFFSET.....	82	MFR_FAULT_LOG_STORE.....	99
OT_FAULT_LIMIT.....	82	MFR_EE_xxxx.....	99
OT_WARN_LIMIT.....	82	USER_DATA_0x.....	99
UT_FAULT_LIMIT.....	83	デバイス識別子.....	100
状態報告.....	83	MFR_ID.....	100
STATUS_BYTE.....	83	MFR_MODEL.....	100
STATUS_WORD.....	84	MFR_SERIAL.....	100
STATUS_VOUT.....	84	標準的応用例.....	101
STATUS_IOUT.....	85	パッケージ.....	103
STATUS_INPUT.....	85	標準的応用例.....	104
STATUS_TEMPERATURE.....	85	関連製品.....	104
STATUS_CML.....	86		
STATUS_MFR_SPECIFIC.....	86		
MFR_PADS_LTC3882.....	87		
MFR_COMMON.....	87		

LTC3882

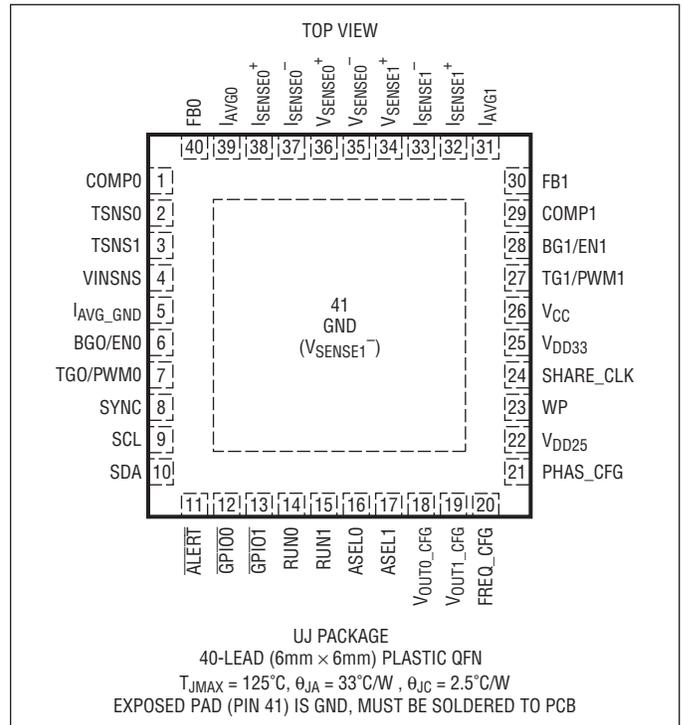
絶対最大定格

(Note 1)

V_{CC} 電源電圧	-0.3V ~ 15V
VINSNS の電圧	-0.3V ~ 40V
V_{SENSE0^-}	-0.3V ~ 1V
V_{SENSEn^+} , I_{SENSEn^+} , I_{SENSEn^-}	-0.3V ~ 6V
V_{DD33} , FBn , $COMPn$, $TSNSn$, I_{AVGn} , I_{AVG_GND}	-0.3V ~ 3.6V
SYNC, $GPIOn$, WP, $PWMn$, ENn ,	
SHARE_CLK	-0.3V ~ 3.6V
SCL, SDA, $RUNn$, \overline{ALERT}	-0.3V ~ 5.5V
V_{DD25} , $ASELn$, V_{OUTn_CFG} , $FREQ_CFG$,	
PHAS_CFG	-0.3V ~ 2.75V
動作接合部温度範囲 (Note 2, 3)	-40°C ~ 125°C*
保存温度範囲	-65°C ~ 150°C*

* 接合部温度が 125°C を超える場合には、「アプリケーション情報」セクションの「温度による EEPROM 保持特性のデレーティング」を参照してください。

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	温度範囲
LTC3882EUJ#PBF	LTC3882EUJ#TRPBF	LTC3882UJ	40-Lead (6mm×6mm) Plastic QFN	-40°C to 125°C
LTC3882IUJ#PBF	LTC3882IUJ#TRPBF	LTC3882UJ	40-Lead (6mm×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 $T_J = 25^\circ\text{C}$ の値 (Note 2)。

注記がない限り、 $V_{CC} = 5V$, $V_{SENSE0^+} = V_{SENSE1^+} = 1.8V$, $V_{SENSE0^-} = V_{SENSE1^-} = I_{AVG_GND} = GND = 0V$, $f_{SYNC} = 500\text{kHz}$ (外部駆動)。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
IC の電源						
V_{CC}	V_{CC} Voltage Range	$V_{DD33} = \text{Internal LDO}$	●	4.5	13.8	V
V_{DD33_EXT}	V_{DD33} Voltage Range	$V_{CC} = V_{DD33}$ (Note 6)	●	3	3.6	V
V_{UVLO}	Undervoltage Lockout Threshold	V_{DD33} Rising Hysteresis	●		3	V
				42		mV
I_Q	IC Operating Current			32		mA
t_{INIT}	Controller Initialization Time	Delay from RESTORE_USER_ALL, MFR_RESET or $V_{DD33} > V_{UVLO}$ Until TON_DELAY Can Begin		70		ms

3882f

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 $T_J = 25^\circ\text{C}$ の値 (Note 2)。

注記がない限り、 $V_{CC} = 5V$ 、 $V_{SENSE0^+} = V_{SENSE1^+} = 1.8V$ 、 $V_{SENSE0^-} = V_{SENSE1^-} = I_{AVG_GND} = GND = 0V$ 、 $f_{SYNC} = 500\text{kHz}$ (外部駆動)。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
V_{DD33} リニア・レギュレータ						
V _{DD33}	Internal V _{DD33} Voltage	$V_{CC} \geq 4.5V$	● 3.2	3.3	3.4	V
I _{DD33}	V _{DD33} Current Limit	$V_{DD33} = 2.8V$ $V_{DD33} = 0V$		85 40		mA mA
V_{DD25} リニア・レギュレータ						
V _{DD25}	Internal V _{DD25} Voltage		2.25	2.5	2.75	V
I _{DD25}	V _{DD25} Current Limit			95		mA
PWM 制御ループ						
V _{INSNS}	V _{IN} Sense Voltage Range		3		38	V
R _{VINSNS}	V _{INSNS} Input Resistance			278		k Ω
V _{OUT_R0}	Range 0 Maximum V _{OUT} Range 0 Set Point Accuracy (Note 7) Range 0 Resolution Range 0 LSB Step Size	$0.6V \leq V_{OUT} \leq 5V$ $0.6V \leq V_{OUT} \leq 5V$	● -0.5	5.25 ± 0.2 12 1.375	0.5	V % % Bits mV
V _{OUT_R1}	Range 1 Maximum V _{OUT} Range 1 Set Point Accuracy (Note 7) Range 1 Resolution Range 1 LSB Step Size	$0.6V \leq V_{OUT} \leq 2.5V$ $0.6V \leq V_{OUT} \leq 2.5V$	● -0.5	2.65 ± 0.2 12 0.6875	0.5	V % % Bits mV
I _{VSENSE}	V _{SENSE} Input Current	$V_{SENSE^+} = 5.5V$ $V_{SENSE^-} = 0V$		235 -335		μA μA
V _{LINEREG}	V _{CC} Line Regulation, No Output Servo	$4.5V \leq V_{CC} \leq 13.2V$ (See Test Circuit)	-0.02		0.02	%/V
AVP	AVP Set Accuracy, ΔV_{OUT} Resolution LSB Step Size	AVP = 10%, V _{OUT_COMMAND} = 1.8V, I _{SENSE} Differential Step 3mV (20%) to 12mV (80%) I _{OUT_OC_WARN_LIMIT} at 15mV	● -118		-96	mV Bits %
A _{V(OL)}	Error Amplifier Open-Loop Voltage Gain			87		dB
SR	Error Amplifier Slew Rate			9.5		V/ μs
f _{0dB}	Error Amplifier Bandwidth			30		MHz
I _{COMP}	Error Amplifier Output Current	Sourcing Sinking		-2.6 34		mA mA
R _{V_{SENSE}}	Resistance Between V _{SENSE} ⁺ and FB	Range 0 Range 1	● 52 ● 37	67 49	83 61	k Ω k Ω
V _{I_{SENSE}}	I _{SENSE} Differential Input Range			± 70		mV
I _{I_{SENSE}}	I _{SENSE} [±] Input Current	$0V \leq V_{PIN} \leq 5.5V$	-1	± 0.1	1	μA
I _{AVG_VOS}	I _{AVG} Current Sense Offset	Referred to I _{SENSE} Inputs	● -600	± 175	650	μV μV
V _{S_{IOS}}	Slave Current Sharing Offset	Referred to I _{SENSE} Inputs	● -800	± 300	700	μV μV
f _{SYNC}	SYNC Frequency Accuracy	$250\text{kHz} \leq f_{SYNC} \leq 1.25\text{MHz}$	● -10		10	%
入力電圧スーパーバイザ						
N _{VON}	Input ON/OFF Resolution LSB Step Size			8 143		Bits mV
V _{ON_TOL}	Input ON/OFF Threshold Accuracy	$15V \leq V_{IN_ON} \leq 35V$	● -2		2	%

LTC3882

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 $T_J = 25^\circ\text{C}$ の値 (Note 2)。

注記がない限り、 $V_{CC} = 5\text{V}$ 、 $V_{SENSE0^+} = V_{SENSE1^+} = 1.8\text{V}$ 、 $V_{SENSE0^-} = V_{SENSE1^-} = I_{AVG_GND} = \text{GND} = 0\text{V}$ 、 $f_{\text{SYNC}} = 500\text{kHz}$ (外部駆動)。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
出力電圧スーパーバイザ						
N_{UV0V}	Resolution			9		Bits
V_{UV0V_R0}	Range 0 Maximum Threshold Range 0 Accuracy Range 0 LSB Step Size	$2\text{V} \leq V_{\text{OUT}} \leq 5\text{V}$ (UV and OV)	● -1	5.5 11	1	V % mV
V_{UV0V_R1}	Range 1 Maximum Threshold Range 1 Accuracy Range 1 LSB Step Size	$1\text{V} \leq V_{\text{OUT}} \leq 2.5\text{V}$ (UV and OV)	● -1	2.75 5.5	1	V % mV
出力電流スーパーバイザ						
N_{ILIM}	Resolution Step Size	$I_{\text{SENSE}^+} - I_{\text{SENSE}^-}$		8 0.4		Bits mV
V_{ILIM_TOL}	Output Current Limit Accuracy	$15\text{mV} < I_{\text{SENSE}^+} - I_{\text{SENSE}^-} \leq 30\text{mV}$ $30\text{mV} < I_{\text{SENSE}^+} - I_{\text{SENSE}^-} \leq 50\text{mV}$ $50\text{mV} < I_{\text{SENSE}^+} - I_{\text{SENSE}^-} \leq 70\text{mV}$	● ● ●	-1.7 -2.5 -5.2	1.7 2.5 5.2	mV mV mV
V_{IREV}	I_{REV} Threshold Voltage	$I_{\text{SENSE}^+} - I_{\text{SENSE}^-}$		0		mV
A/D コンバータによる読み出し遠隔測定 (Note 8)						
N_{VIN}	VINSNS Readback Resolution	(Note 9)		10		Bits
V_{IN_TUE}	VINSNS Total Unadjusted Readback Error	$4.5\text{V} \leq V_{\text{INSNS}} \leq 38\text{V}$	●		0.5 2	% %
N_{DC}	PWM Duty Cycle Resolution	(Note 9)		10		Bits
DC_{TUE}	PWM Duty Cycle Total Unadjusted Readback Error	PWM Duty Cycle = 12.5%		-2	2	%
N_{VOUT}	V_{OUT} Resolution LSB Step Size			16 244		Bits μV
V_{OUT_TUE}	V_{OUT} Total Unadjusted Readback Error	$0.6\text{V} \leq V_{\text{OUT}} \leq 5.5\text{V}$, Constant Load	●	-0.5	± 0.2 0.5	% %
N_{ISENSE}	I_{OUT} Readback Resolution LSB Step Size (at I_{SENSE^\pm})	(Note 9) $0\text{mV} \leq I_{\text{SENSE}^+} - I_{\text{SENSE}^-} < 16\text{mV}$ $16\text{mV} \leq I_{\text{SENSE}^+} - I_{\text{SENSE}^-} < 32\text{mV}$ $32\text{mV} \leq I_{\text{SENSE}^+} - I_{\text{SENSE}^-} < 63.9\text{mV}$ $63.9\text{mV} \leq I_{\text{SENSE}^+} - I_{\text{SENSE}^-} \leq 70\text{mV}$		10 15.625 31.25 62.5 125		Bits μV μV μV μV
$I_{\text{SENSE_FS}}$	I_{OUT} Full Scale Conversion Range			± 70		mV
$I_{\text{SENSE_TUE}}$	I_{OUT} Total Unadjusted Readback Error	$ I_{\text{SENSE}^+} - I_{\text{SENSE}^-} \geq 6\text{mV}$, $0\text{V} \leq V_{\text{OUT}} \leq 5.5\text{V}$	●	-1	1	%
$I_{\text{SENSE_OS}}$	I_{OUT} Zero-Code Offset Voltage			-32	32	μV
N_{TEMP}	Temperature Resolution			0.25		$^\circ\text{C}$
$T_{\text{EXT_TUE}}$	External Temperature Total Unadjusted Readback Error	TS_{NS0} , $TS_{\text{NS1}} \leq 1.85\text{V}$ (Note 10) MFR_PWM_MODE_LTC3882[6] = 0 MFR_PWM_MODE_LTC3882[6] = 1	● ●	-3 -7	3 7	$^\circ\text{C}$ $^\circ\text{C}$
$T_{\text{INT_TUE}}$	Internal Temperature Total Unadjusted Readback Error	Internal Diode	●	± 1		$^\circ\text{C}$
t_{CONVERT}	Update Rate	(Note 11)		100		ms
内部EEPROM (Notes 4, 6)						
Endurance	Number of Write Operations	$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 85^\circ\text{C}$ During All Write Operations	●	10,000		Cycles
Retention	Stored Data Retention	$T_J \leq 125^\circ\text{C}$	●	10		Years
Mass Write Time	STORE_USER_ALL Execution Duration	$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 85^\circ\text{C}$ During All Write Operations	●	0.2	2	s

3882f

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 $T_J = 25^\circ\text{C}$ の値 (Note 2)。

注記がない限り、 $V_{CC} = 5\text{V}$ 、 $V_{SENSE0^+} = V_{SENSE1^+} = 1.8\text{V}$ 、 $V_{SENSE0^-} = V_{SENSE1^-} = I_{AVG_GND} = GND = 0\text{V}$ 、 $f_{SYNC} = 500\text{kHz}$ (外部駆動)。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
デジタル入力 (SCL, SDA, RUN\bar{n}, $\overline{\text{GPIO}}\bar{n}$, SYNC, SHARE_CLOCK, WP)						
V_{IH}	Input High Voltage	SCL, SDA, RUN0, RUN1, $\overline{\text{GPIO}}0$, $\overline{\text{GPIO}}1$ SYNC, SHARE_CLK, WP	● ●	2.0 1.8		V V
V_{IL}	Input Low Voltage	SCL, SDA, RUN0, RUN1, $\overline{\text{GPIO}}0$, $\overline{\text{GPIO}}1$ SYNC, SHARE_CLK, WP	● ●		1.4 0.6	V V
V_{HYST}	Input Hysteresis	SCL, SDA		80		mV
I_{PUWP}	Input Pull-Up Current	WP = 0V		10		μA
C_{IN}	Input Capacitance	SCL, SDA, RUN0, RUN1, $\overline{\text{GPIO}}0$, $\overline{\text{GPIO}}1$, SYNC, SHARE_CLK			10	pF
t_{FILT}	Input Digital Filter Delay	$\overline{\text{GPIO}}0$, $\overline{\text{GPIO}}1$ RUN0, RUN1		3 10		μs μs

デジタル出力 (PWM \bar{n} /TG \bar{n} , EN \bar{n} /BG \bar{n})

V_{OL}	Output Low Voltage	$I_{SINK} = 2\text{mA}$	●		300	mV
V_{OH}	Output High Voltage	$I_{SOURCE} = 2\text{mA}$	●	2.7		V
t_{RO}	Output Rise Time	$C_{LOAD} = 30\text{pF}$, 10% to 90%		5		ns
t_{FO}	Output Fall Time	$C_{LOAD} = 30\text{pF}$, 90% to 10%		4		ns

オープンドレインのスリーステート出力 (SCL, SDA, RUN \bar{n} , $\overline{\text{GPIO}}\bar{n}$, SYNC, SHARE_CLOCK, $\overline{\text{ALERT}}$, PWM \bar{n} , EN \bar{n})

V_{OL}	Output Low Voltage	$I_{SINK} = 3\text{mA}$; SDA, SCL, $\overline{\text{GPIO}}0$, $\overline{\text{GPIO}}1$, $\overline{\text{ALERT}}$, SYNC, RUN0, RUN1, SHARE_CLK	●	0.2	0.4	V
I_{TEST}	PWM Protocol Test Current	EN0, EN1 = 3.3V, MFR_PWM_MODE_LTC3882[2:1] = 0		10		μA
I_{LKG}	Output Leakage Current	$0\text{V} \leq \text{PWM}0, \text{PWM}1 \leq V_{DD33}$ $0\text{V} \leq \text{EN}0, \text{EN}1 \leq V_{DD33}$ $0\text{V} \leq \overline{\text{GPIO}}0, \overline{\text{GPIO}}1 \leq 3.6\text{V}$ $0\text{V} \leq \text{SYNC}, \text{SHARE_CLK} \leq 3.6\text{V}$ $0\text{V} \leq \text{RUN}0, \text{RUN}1 \leq 5.5\text{V}$ $0\text{V} \leq \text{SCL}, \text{SDA}, \overline{\text{ALERT}} \leq 5.5\text{V}$	● ● ●	-1 -5 -5	1 5 5	μA μA μA

シリアル・バスのタイミング

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	ns μs
$t_{SU,DAT}$	Input Data Setup Time		●	100		ns
$t_{TIMEOUT}$	Clock Low Timeout		●	25	35	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恐れがある。

Note 2: LTC3882 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。LTC3882E 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。 $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ 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。LTC3882I は $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ の全動作接合部温度範囲で動作することが保証されている。接合部温度 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 (単位: $^\circ\text{C}$)。

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

電気的特性

ここで、 θ_{JA} はパッケージの熱インピーダンスである。これらの仕様を満たす最大周囲温度は、基板レイアウト、パッケージの定格熱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ことに注意。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。

Note 3: このデバイスは短時間の過負荷状態の間デバイスを保護するための過熱保護機能を備えている。この保護機能が動作しているときは、接合部温度が最大定格を超えている。規定された絶対最高動作接合部温度を超えた動作が継続すると、デバイスの信頼性を損なうか、またはデバイスに永続的損傷を与える恐れがある。

Note 4: EEPROMの耐久性、データ保持時間、および多数の書き込み回数は、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保証されている。最小保持時間は、耐久性規格の最小値より少ない書き込み回数のデバイスのみが対象となる。EEPROMの読み出しコマンド(例: RESTORE_USER_ALL)は、規定の全動作接合部温度範囲で有効である。

Note 5: デバイスのピンに流れ込む電流はすべて正。デバイスのピンから流れ出す電流はすべて負。注記がない限り、すべての電圧はGND基準。

Note 6: EEPROMの耐久性、データ保持時間、および多数の書き込み回数の規格最小値は、 $3.15V \leq V_{DD33} \leq 3.45V$ の範囲内でデータを書き込む場合に適用される。EEPROMの読み出しコマンドは、規定の全 V_{DD33} 動作範囲で有効である。

Note 7: AVP = 0%で規定の V_{OUT} 精度を得るには、MFR_PWM_MODE_LTC3882コマンド・ビット6により、サーボ・モードを設定することが必要。性能は、 V_{OUT} を規定の値にサーボ制御する帰還ループ内でLTC3882をテストすることによって保証される。

Note 8: A/DコンバータはPWMをディスエーブルしてテストされる。比較可能な能力は、回路内評価によって実証される。全未調整誤差(Total Unadjusted Error)には、すべての利得誤差および直線性誤差、さらにオフセットが含まれる。

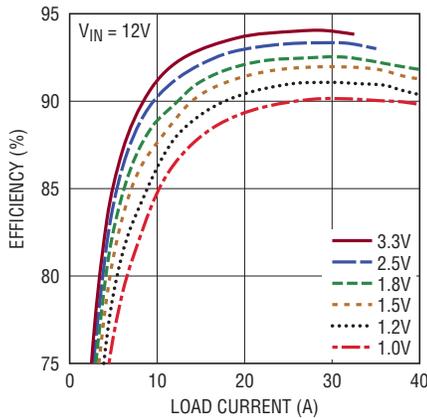
Note 9: 16ビットA/Dコンバータの結果を使用する内部32ビット計算は、PMBus Linearの11ビット・データ・フォーマットにより、10ビット分解能に制限される。

Note 10: テスト時のTSNSピンの電圧および電流の測定(A/Dコンバータによる読み出しを含む)によって保証される制限値。

Note 11: データ変換はラウンド・ロビン方式で実行される。すべての入力信号は連続して順番に走査されるので、標準の変換待ち時間は100msになる。

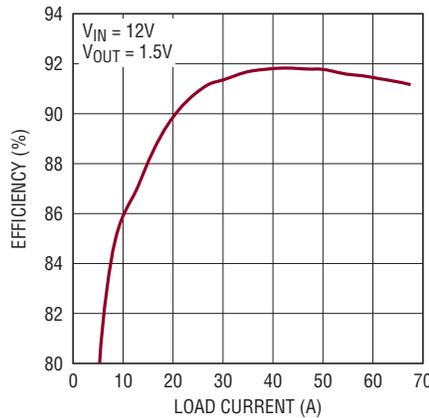
標準的性能特性

効率と負荷電流
(1相、DS12S1R880Aパワー・ブロックを使用)



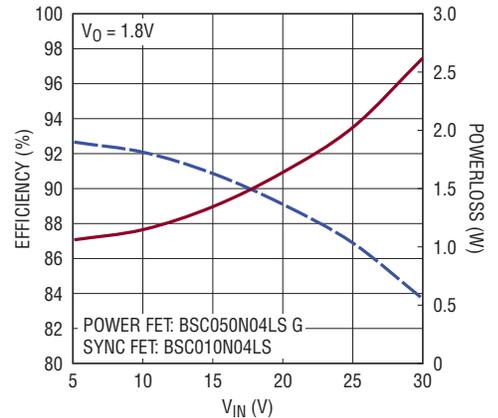
3882 G01

効率と負荷電流
(3相、DS12S1R845Aパワー・ブロックを使用)



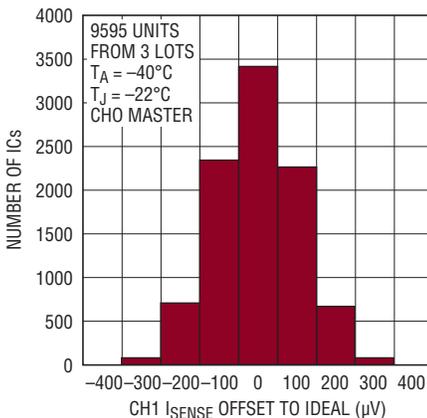
3882 G02

効率および電力損失と入力電圧
(1相、LTC4449を使用)



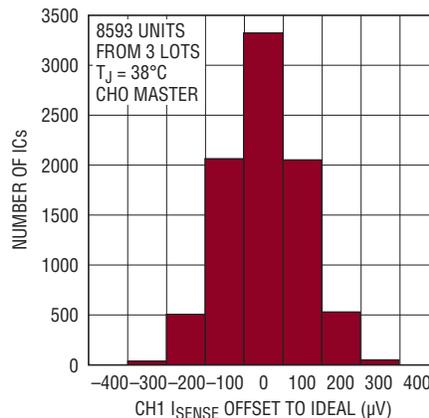
3882 G03

スレーブの I_{OUT} オフセットの標準的な分布
(DCRの不整合は含まない)



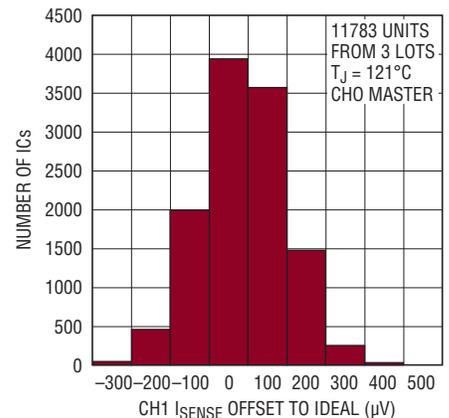
3882 G25

スレーブの I_{OUT} オフセットの標準的な分布
(DCRの不整合は含まない)



3882 G25

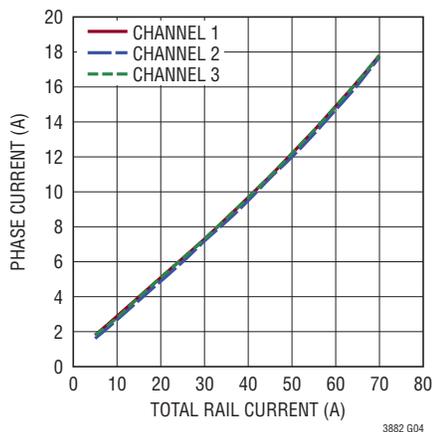
スレーブの I_{OUT} オフセットの標準的な分布
(DCRの不整合は含まない)



3882 G26

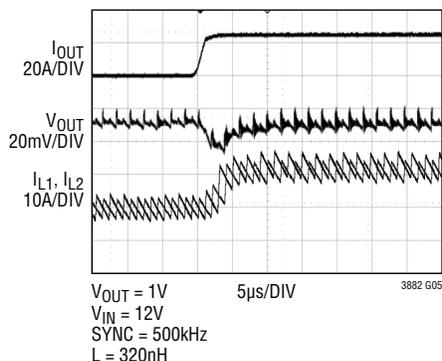
標準的性能特性

3相DC出力電流分担
(DS12S1R845A パワー・
ブロックを使用)



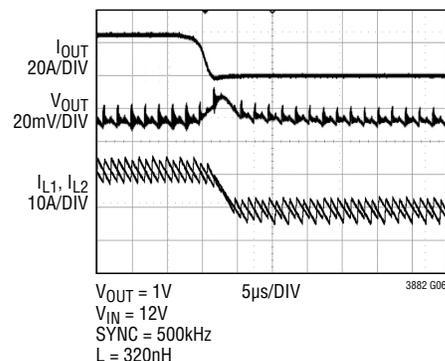
3882 G04

負荷ステップ・トランジェント
電流分担
(FDMF6707B DrMOS を使用)



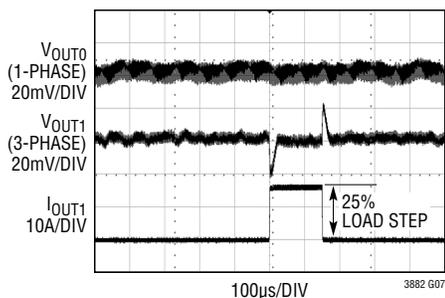
3882 G05

負荷遮断トランジェント電流分担
(FDMF6707B DrMOS を使用)



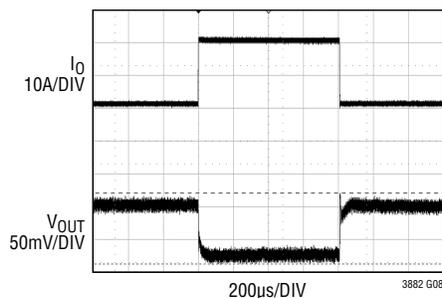
3882 G06

3+1チャンネルのクロストーク
(DS12S1R845A パワー・
ブロックを使用)



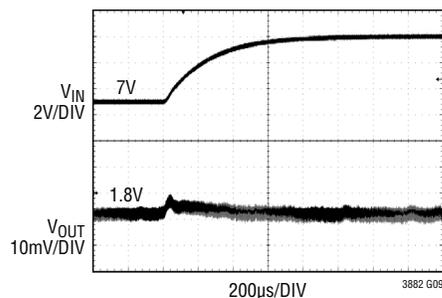
3882 G07

AVPを使用した負荷ステップ・
トランジェント応答



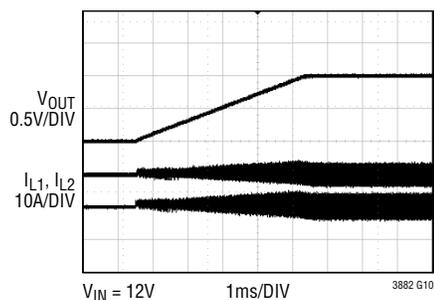
3882 G08

入力ステップ・トランジェント応答
(1相、LTC4449を使用)



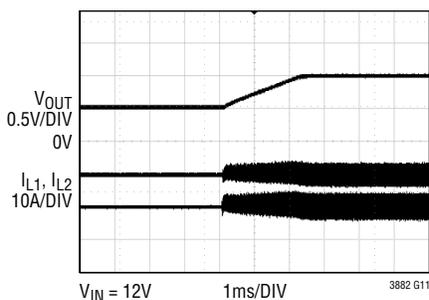
3882 G09

ソフトスタート時のランプ



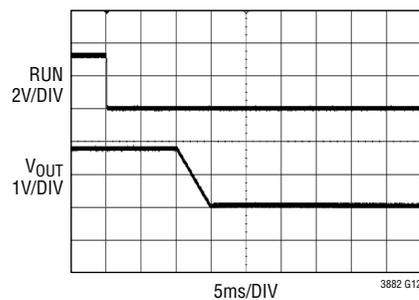
3882 G10

プリバイアスされた負荷までの
起動



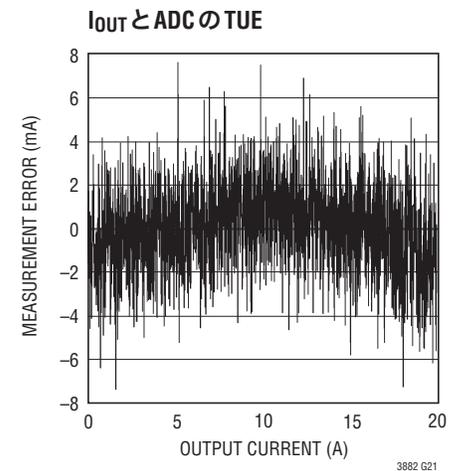
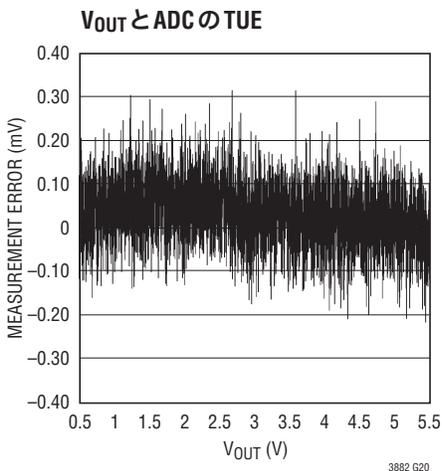
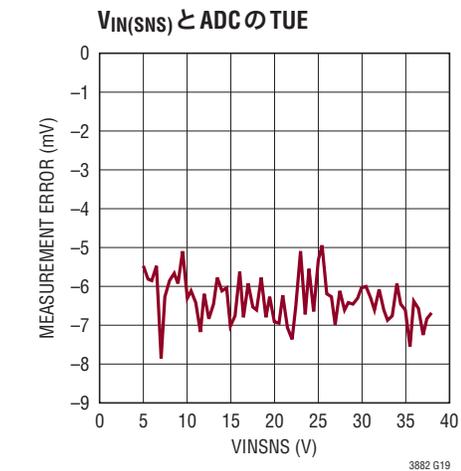
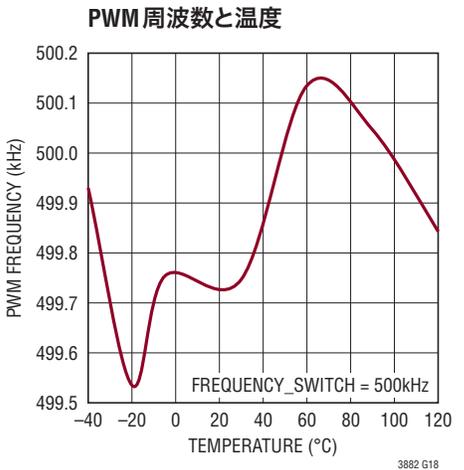
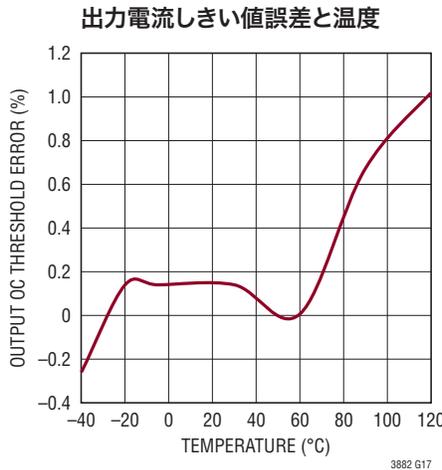
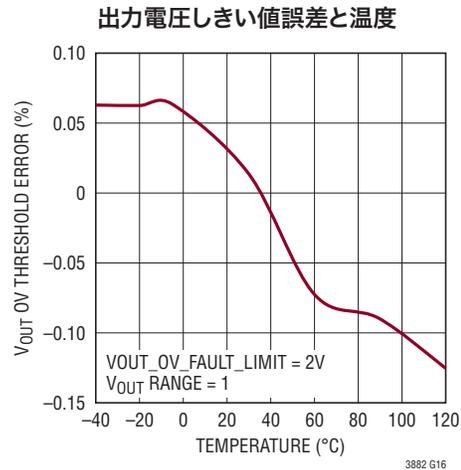
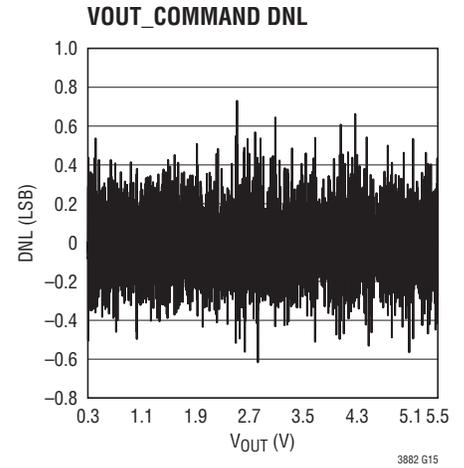
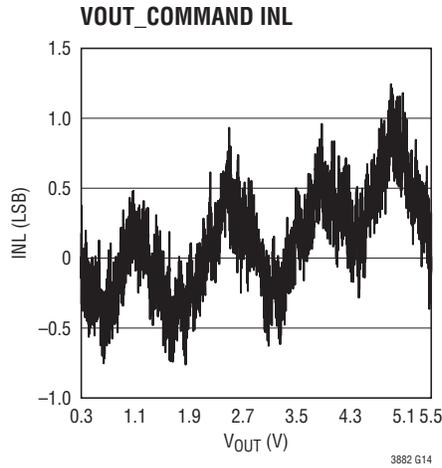
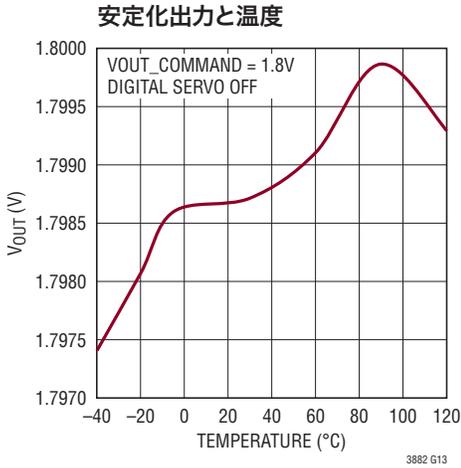
3882 G11

ソフトオフ時のランプ

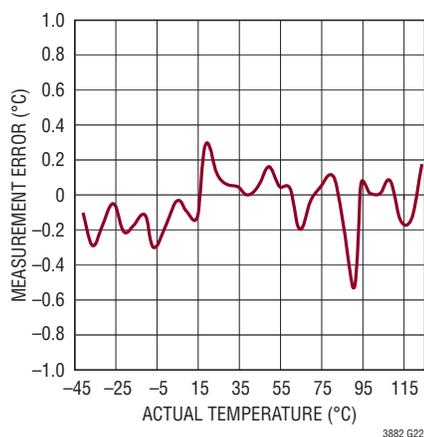


3882 G12

標準的性能特性

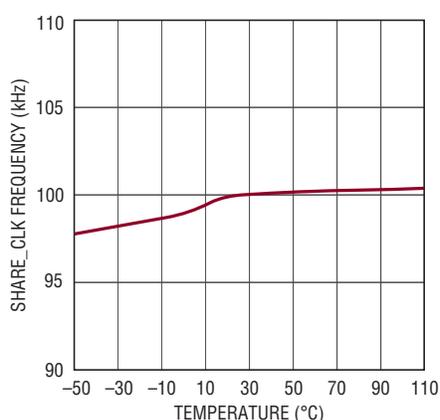


標準的性能特性

A/Dコンバータの全未調整誤差の
温度変化

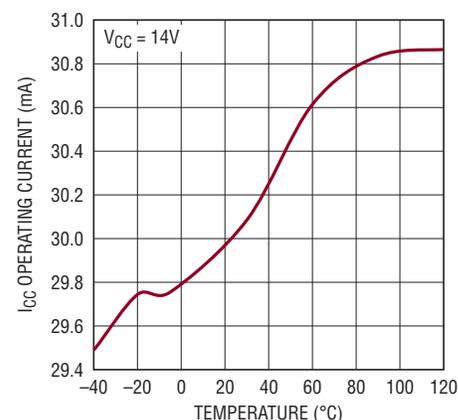
3882 G22

SHARE_CLKの周波数と温度



3882 G23

ICの動作電流と温度



3882 G24

ピン機能

COMP0/COMP1 (ピン1/ピン29) : エラーアンプの出力。PWMのデューティ・サイクルはこの制御電圧に従って増加します。これらは真の低インピーダンス出力であり、動作状態のときに互いに直接接続することはできません。PolyPhase動作では、FBピンを V_{DD33} に配線すると、該当チャンネルのエラーアンプ出力がスリーステートになり、スレーブになります。その後、すべてのスレーブCOMPピンをまとめて1つのマスタ・エラーアンプ出力に接続することにより、デバイス内にPolyPhase制御が実装されます。

TSNS0/TSNS1 (ピン2/ピン3) : 外部温度の検出入力。LTC3882は、これらのピンとGNDの間の順方向バイアスされたP/N接合に基づいて、外部温度の計算方法を2種類サポートしています。

VINSNS (ピン4) : V_{IN} 電源の検出端子。ライン・フィードフォワード補償を行うため、 V_{IN} 電源に接続します。 V_{IN} が変化すると、PWMコンパレータの入力が直ちに変動され、パルス幅が逆方向に変化して、優れたトランジェント入力レギュレーションおよび固定の変調器電圧利得を実現します。このピンにローパス・フィルタを外付けして、ノイズの多い信号がループ利得に影響しないようにすることができます。

I_{AVG_GND} (ピン5) : I_{AVG}のグラウンド・リファレンス。PolyPhaseレールの全チャンネル間で同じI_{AVG_GND}を共用し、システム・グラウンドに1点で接続します。I_{AVG_GND}は、他のデバイスと位相を共有しないデバイスのGNDに直接配線できます。

BG0(EN0)/BG1(EN1) (ピン6/ピン28) : PWM多機能制御ピン。これらのピンをデジタル的にプログラムすることにより、外付けのゲート・ドライバ要件に応じて、下側FETの直接制御(BG_n機能)またはPWMイネーブル制御(EN_n機能)を実現できます。これらのピンはスリーステートPWMプロトコル選択の入力としても機能することが可能であり、使用しない場合は開放のままにしておきます。

TG0(PWM0)/TG1(PWM1) (ピン7/ピン27) : PWM多機能制御出力。これらのピンをデジタル的にプログラムすることにより、外付けのゲート・ドライバ要件に応じて、上側FETの直接制御(TG_n機能)または単線PWMスイッチング制御(PWM_n機能)を実現できます。

SYNC (ピン8) : 外部クロックの同期入力およびオープンドレイン出力。必要に応じて、このピンに外部クロックを入力して内部PWMチャンネルを同期させることができます。LTC3882をクロック・マスタとして構成すると、このピンは、パルス幅が125nsの選択したPWMスイッチング周波数のときにもグラウンド電位に低下します。SYNCをいずれかのLTC3882で駆動する場合は、3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。この線の容量を最小限に抑えて、その時定数がアプリケーションにとって十分に高速になるようにします。

SCL (ピン9) : シリアル・バスのクロック入力。アプリケーション回路には3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。

SDA (ピン10) : シリアル・バスのデータ入力および出力。アプリケーション回路には3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。

3882F

ピン機能

ALERT (ピン 11) : オープンドレインの状態出力。このピンはシステムのSMBALERTワイヤー AND 割り込み信号に接続できます。使用しない場合は開放のままにしておきます。使用する場合、アプリケーション回路には3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。

GPI00/GPI01 (ピン 12/ピン 13) : プログラム可能な汎用デジタル入力およびオープンドレイン出力用途としては、状態表示、外部デバイス制御、チャンネル間フォルト通信および伝播などです。使用しない場合、これらのピンは開放のままにしておきます。使用する場合、アプリケーション回路には3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。

RUN0/RUN1 (ピン 14/ピン 15) : 実行制御入力およびオープンドレイン出力。それぞれのPWMチャンネルをイネーブルするには、これらのピンに2Vより高い電圧が必要です。LTC3882は、特定のリセット/再起動条件では、PMBusコマンドの設定に関係なくこれらのピンを“L”に駆動します。アプリケーション回路には3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。

ASEL0/ASEL1 (ピン 16/ピン 17) : シリアル・バスのアドレス選択入力。オプションの1%精度抵抗分割器をV_{DD25}とGNDの間とこれらのピンに接続して、シリアル・バス・インタフェース・アドレスを選択します。詳細については「アプリケーション情報」のセクションを参照してください。

VOUT0_CFG/VOUT1_CFG (ピン 18/ピン 19) : 出力電圧の構成入力。オプションの1%精度抵抗分割器をV_{DD25}とGNDの間とこれらのピンに接続して、各チャンネルの出力電圧を選択します。詳細については「アプリケーション情報」のセクションを参照してください。

FREQ_CFG (ピン 20) : 周波数の構成入力。オプションの1%精度抵抗分割器をV_{DD25}とGNDの間とこのピンに接続して、PWMスイッチング周波数を構成します。詳細については「アプリケーション情報」のセクションを参照してください。

PHAS_CFG (ピン 21) : 位相の構成入力。オプションの1%精度抵抗分割器をV_{DD25}とGNDの間とこのピンに接続して、各PWMチャンネルの位相をSYNCを基準にして構成します。詳細については「アプリケーション情報」のセクションを参照してください。

V_{DD25} (ピン 22) : 内蔵の2.5Vレギュレータの出力。低ESRの1 μ Fコンデンサを使用してこのピンをGNDにバイパスします。LTC3882のローカル構成ピンに必要な電流(存在する場合)を超える外部電流をこのピンの負荷にしないようにしてください。

WP (ピン 23) : 書き込み保護入力。WPの電圧が2Vより高いと、PMBusの書き込みは制限され、ソフトウェアのWRITE_PROTECT設定はすべて無効になります。詳細については、「PMBusコマンドの詳細」を参照してください。このピンは、V_{DD33}への10 μ Aプルアップ回路を内蔵しています。

SHARE_CLK (ピン 24) : 共有クロックの入力およびオープンドレイン出力。共有クロック(公称100kHz)は、複数のLTC PSMコントローラを使用するパワーシステムで複数のレールを順序付けする目的で使用します。アプリケーション回路には3.3Vへのプルアップ抵抗が必要です。この線の容量を最小限に抑えて、時定数がアプリケーションにとって十分に高速になるようにします。

V_{DD33} (ピン 25) : 内蔵の3.3Vレギュレータの出力。低ESRの2.2 μ Fコンデンサを使用してこのピンをGNDにバイパスします。外部の3.3Vレールをこのピンに接続し、V_{CC}にも短絡している場合は、外部の3.3VレールからもLTC3882の電力を供給できます。このピンには過剰な外部システム電流負荷を流さないでください。LTC3882近くのプルアップ抵抗自体の電力はV_{DD33}から供給できます。詳細については「アプリケーション情報」のセクションを参照してください。

V_{CC} (ピン 26) : 3.3Vレギュレータ入力。このピンは、0.1 μ F～1 μ Fのセラミック・コンデンサを使ってデバイスの近くでGNDにバイパスします。

V_{SENSE0}⁻ (ピン 35) : チャンネル0の負の出力電圧検出入力。このピンは、出力電流の遠隔測定を正確に行うため、スレーブ・チャンネルに正しく接続しておく必要があります。

V_{SENSE0}⁺/V_{SENSE1}⁺ (ピン 36/ピン 34) : 正の出力電圧検出入力。これらのピンは、出力電流の遠隔測定を正確に行うため、スレーブ・チャンネルに正しく接続しておく必要があります。

I_{SENSE0}⁻/I_{SENSE1}⁻ (ピン 37/ピン 33) : 電流検出アンプの入力。アンプの(-)入力は、通常はDCR検出回路網または各位相の出力電流検出抵抗の低電位側に接続します。

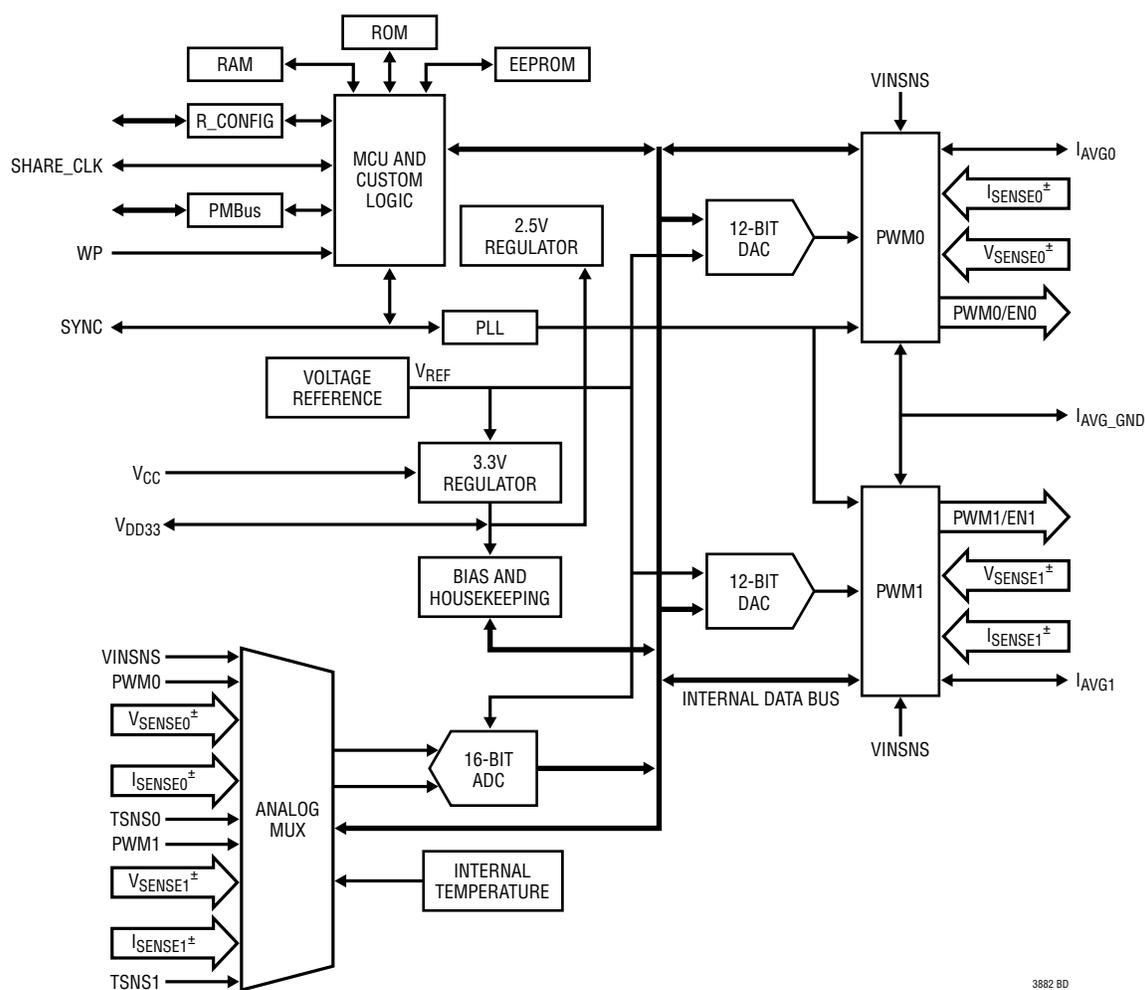
I_{SENSE0}⁺/I_{SENSE1}⁺ (ピン 38/ピン 32) : 電流検出アンプの入力。(+)入力は、通常は出力電流検出抵抗の高電位側または並列DCR検出回路のRC中間点に接続します。

I_{AVG0}/I_{AVG1} (ピン 39/ピン 31) : 平均電流の制御ピン。これらのピンとI_{AVG_GND}の間に接続したコンデンサには、マスタ・チャンネルの平均出力電流に比例した電圧が保持されます。その後、すべてのスレーブI_{AVG}ピンをまとめてマスタのI_{AVG}出力に接続することにより、デバイス内にPolyPhase制御が実装されます。単相出力を制御するチャンネルでは、このピンは開放のままにしておきます。

FB0/FB1 (ピン40/ピン30) : エラーアンプの反転入力。これらのピンでは出力電圧の内部調整版が得られ、ループ補償で使用されます。外付け部品を使用して出力電圧制御ループを補償することの詳細については、「アプリケーション情報」のセクションを参照してください。

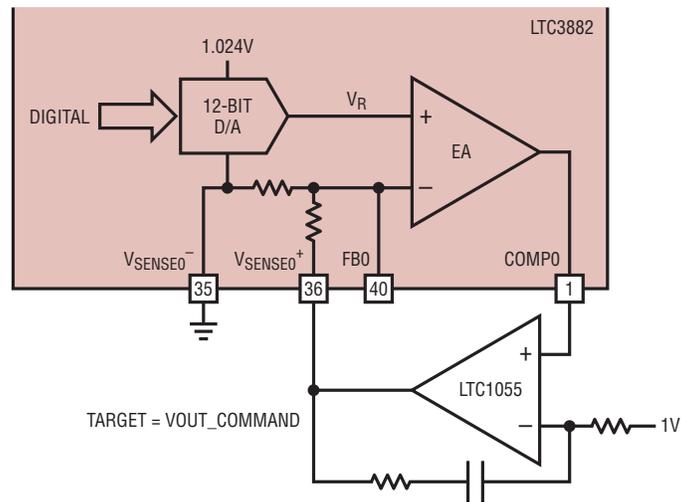
GND (露出パッド・ピン41) : グランドおよび V_{SENSE1^-} 。このパッドにはすべての小信号部品および補償部品を接続します。このパッドはチャンネル1の負電圧検出入力としても機能します。適正な電氣的動作と規定のパッケージ熱抵抗を得るため、露出パッドは適切なPCB銅箔グラウンド・プレーンに半田付けする必要があります。

ブロック図

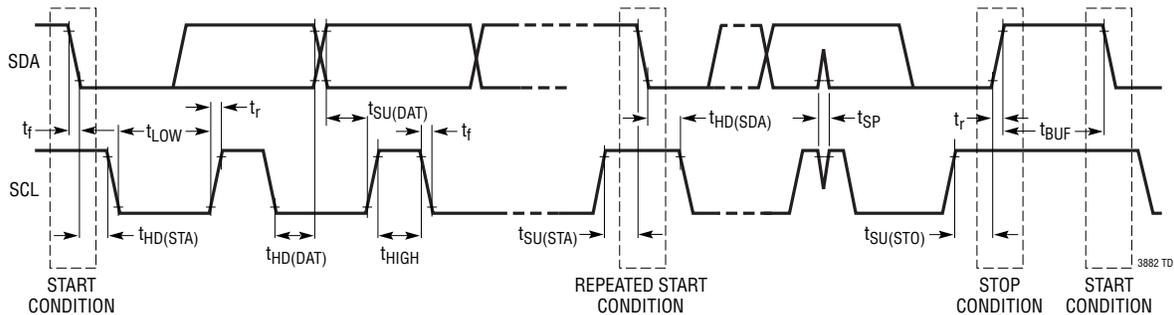


3882 BD

テスト回路 (チャンネル0の例)



タイミング図



動作

概要

LTC3882は、DC/DC降圧アプリケーション向けのデュアル・チャンネル/2相固定周波数アナログ電圧モード・コントローラです。このデバイスは、重要なパワーシステム・パラメータのモニタおよび制御に対応するPMBus準拠のデジタル・インタフェースを特長としています。このデバイスは3V～13.2VのIC電源電圧で動作し、3V～38Vの V_{IN} から0.5V～5.25Vの出力電圧への変換を目的としています。このデバイスは、非絶縁型パワー・ブロックなどの高水準の集積化を含む、外付けFETドライバを使用したスイッチング・アーキテクチャで使用するよう設計されています。

主な機能は以下のとおりです。

- デジタルでプログラム可能な出力電圧
- デジタルでプログラム可能な出力電流制限
- デジタルでプログラム可能な入力電圧スーパーバイザ
- デジタルでプログラム可能な出力電圧スーパーバイザ
- デジタルでプログラム可能なスイッチング周波数
- デジタルでプログラム可能なオン/オフ遅延時間
- デジタルでプログラム可能なソフトスタート/ストップ

動作

- 動作状態の遠隔測定
 - 同期PolyPhase動作(2、3、4、6、8相)に合わせたフェーズロック・ループ
 - 完全差動型の負荷検出
 - 不揮発性構成メモリ
 - 重要な動作パラメータのためのオプションの外付け構成抵抗
 - 複数のコントローラ間で同期を取るためのオプションのタイムベース・インターコネクト
 - フォルト・イベントのデータ・ロギング
 - 内部構成を保護するWPピン
 - デフォルトの工場設定による単独動作に対応
 - 最大400kHzのPMBusリビジョン1.2準拠のインタフェース
- システムの動作中は、パワー・マネジメント上重要となる以下のデータに、PMBusインタフェースを介してアクセスできます。
- 平均入力電圧
 - 平均出力電圧
 - 平均出力電流
 - 平均PWMデューティ・サイクル
 - LTC3882の内部温度
 - 外部検出温度
 - 入力と出力の低電圧や過電圧などの警告およびフォルト状態

LTC3882は、個々のPWMチャンネルを別個に、または共同でアクセスする4つのシリアル・バス・アドレス指定方式をサポートしています。

フォルト報告動作およびシステム応答動作は完全に設定可能です。独立して制御できる2つのステータス出力(GPIO0, GPIO1)が用意されています。独立したALERTピンにより、マスク可能なSMBALERT#も得られます。各チャンネルのフォルト応答は、フォルト・タイプに応じて、個々にプログラムすることができます。PMBusステータス・コマンドでは、シリアル・バスを介したフォルト報告により、特定のフォルト・イベントを識別できます。

メイン制御ループ

LTC3882は、最先端の変調機能を備えた固定周波数電圧モード制御を利用しています。これにより、負荷ステップ増加に対する応答が改善されます。特に、最近のデジタル・サブシステムで要求される低電圧、大電流のソリューションで V_{IN}/V_{OUT} 比が大きい場合に当てはまります。LTC3882の最先端の変調アーキテクチャには、最小オン時間の要件がありません。最小のデューティ・サイクルは、外部パワー段の性能限界によって決まります。このデバイスは能動電圧ポジショニング(AVP)にも対応しており、予想される全負荷範囲での所定の出力電圧精度で可能な最小の出力コンデンサを使用する余裕があります。LTC3882のエラーアンプは広帯域、低オフセット、および低出力インピーダンスなので、非常に高いクロスオーバー周波数および優れたトランジェント応答に合わせて制御ループの補償回路網を最適化できます。コントローラは、入力フィード・フォワード補償を使用してPWMデューティ・サイクルを瞬時に調整し、電源電圧変化時の出力アンダシュート/オーバシュートを大幅に低減することにより、抜群のライン・トランジェント応答も実現します。これには、DCループ利得が入力電圧に依存しなくなるという利点もあります。

各チャンネルで使用されるメインのPWM制御ループを図1に示します。通常動作時に、クロックがRSラッチをリセットすると、該当チャンネルのチョークL1を駆動する上側MOSFET(パワー・スイッチ)はオフになるよう指示されます。メインのPWMコンパレータVCがRSラッチをセットすると、パワー・スイッチはオンに戻るよう指示されます。エラーアンプEAの出力(COMP)は、FBの電圧が定常状態でのEAの正側端子の電圧に一致するようにPWMデューティ・サイクルを制御します。特許取得済みの回路は、VINSNSライン・フィードフォワードに合わせてこの出力を調整します。

EAの正側端子は、値の範囲が0V~1.024Vになる12ビットDACの出力に接続されています。DACの値は、アプリケーションの表8に詳細を示す抵抗構成ピン、内部EEPROMから読み出した値、または目的の出力電圧を合成するPMBusコマンドの組み合わせによって決まります。詳細については、以下に示すこのデータシートの「PMBusコマンドの詳細」セクションを参照してください。LTC3882は2つの出力範囲をサポートします。EAは出力電圧をDAC出力の5.5倍(範囲0)またはDAC出力の2.75倍(範囲1)に制御することができます。

動作

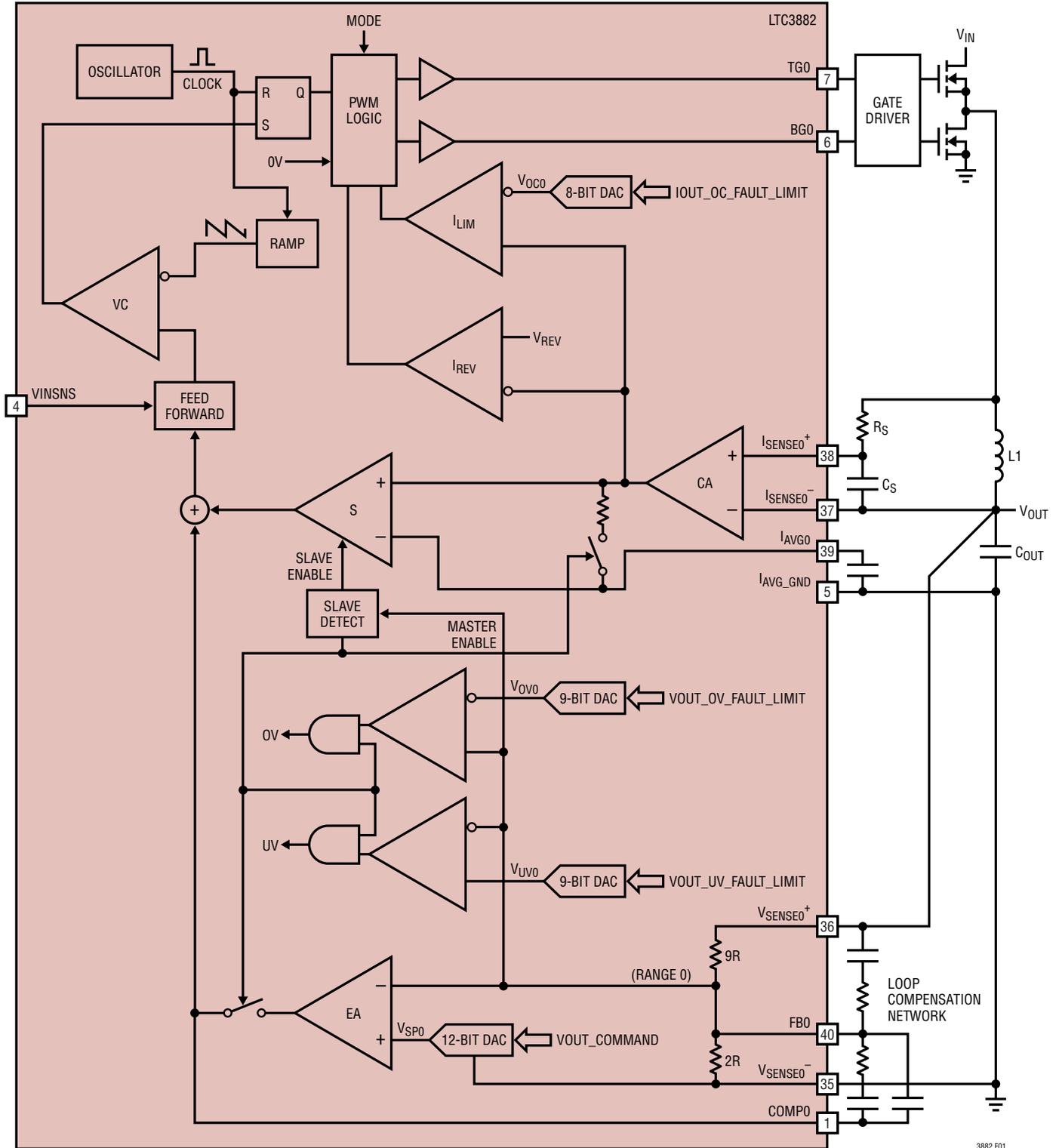


図1. LTC3882 PWM制御ループ図

3882 F01

動作

VCは、その正の入力を内部生成PWM電圧ランプに照らして識別します。正の入力はCOMPの電圧に基づく複合制御でライン・フィード・フォワード補償されており、対象のチャネルがスレーブ位相を制御する場合は電流分担機能があります。ランプがこの電圧より低くなると、コンパレータが作動し、PWMラッチがセットされます。

負荷電流が増加すると、 V_{SENSE}^+ およびFBの電圧は12ビットDAC出力と比較してわずかに低下します。このため、平均インダクタ電流が新しい負荷電流と一致し、目的の出力電圧が回復するまでCOMPの電圧は増加します。プログラム可能なコンパレータ I_{LIM} および I_{REV} は、パルスごとの保護のため、順方向と逆方向の瞬時ピーク・インダクタ電流をモニタします。設定された正の制限値に達すると、上側パワーMOSFETが直ちにオフになるよう命令され、負の制限値に達すると、下側MOSFETが直ちにオフになるよう命令されます。ピーク過電流事象が繰り返し発生すると、過電流フォルトがセットされます。

上側MOSFETがオフするよう命令されたとき、下側MOSFETは通常はオンするよう命令されます。連続導通モード(CCM)では、コンパレータVCによって上側MOSFETがオンに戻るまで、下側MOSFETはオンのままです。それ以外の場合、不連続導通モード(DCM、別名ダイオード・エミュレーション)では、インダクタ電流がほぼ0Aに低下したことを I_{REV} コンパレータが検出すると、下側MOSFETはオフになるよう命令されます。いずれの場合も、対象チャネルのクロックがRSラッチを再びクリアすると、次のPWMサイクルが始まります。

電源投入と初期化

LTC3882は、独立した電源シーケンシングと制御されたターンオンおよびターンオフ機能を実現できるように設計されています。範囲が3V～13.2Vの単一のデバイス入力電源によって動作し、2つの内蔵リニア・レギュレータが2.5Vおよび3.3Vの内部電圧を生成します。 V_{CC} が4.5Vより低い場合は、 V_{CC} ピンと V_{DD33} ピンを互いに短絡して、最大動作電圧である3.6Vに制限する必要があります。コントローラの構成は内部UVLOしきい値によりリセットされます。ここで、 V_{DD33} は3V以上にすることがあり、内部2.5V電源はその安定化値の約20%以内にすることがあります。その時点で、内部のマイクロコントローラは初期化を開始します。PMBus RESTORE_USER_ALLコマンドまたはMFR_RESETコマンドを実行すると、これと同じ初期化が強制的に行われます。

LTC3882は、初期化中に動作する内部RAM組み込みセルフテスト(BIST)機能を備えています。RAM BISTが不合格になった場合は、以下の手順が実行されます。

- デバイスは、デバイス・アドレス0x7Cとグローバル・アドレス0x5Aおよび0x5Bでのみ応答する
- メモリ・フォルトの検出が持続することがSTATUS_CMLによって示される
- 内部EEPROMはアクセスされない
- RUN_n とSHARE_CLKは継続的に“L”状態になる

その後、たとえば、アドレス0x7Cに対して発行された別のMFR_RESETコマンドの結果としてRAM BISTに合格すると、通常動作を回復できます。

初期化中はすべてのPWM出力がディスエーブルされます。 RUN_n ピンおよびSHARE_CLKは“L”に保持され、 \overline{GPION} ピンは高インピーダンスになります。外付けの構成抵抗が特定され、内蔵EEPROMの内容がコントローラのコマンド・メモリ空間に読み込まれます。LTC3882は、アプリケーションの表8～表11に従って、外付けの構成抵抗から主な動作パラメータを決定できます。詳細については、以下に示す「抵抗構成ピン」のセクションを参照してください。抵抗構成ピンによって決まるのは、コントローラのプリセット値の一部だけです。内部EEPROMから読み出した残りの値は、工場プログラムされているか、またはPMBusコマンドでプログラムされています。

構成抵抗ピンをすべて開放にした場合、LTC3882はEEPROMの内容だけを使用して、すべての動作パラメータを決定します。「抵抗構成ピンを無視」を設定すると(MFR_CONFIG_ALL_LTC3882のビット6)、LTC3882はそのEEPROMの内容だけを使用して、デバイス・アドレス以外のすべての動作パラメータを決定します。両方のASELピンが完全に開放状態でない限り、LTC3882はそのデバイス・アドレスの一部を常にこれらのピンの抵抗から決定します。このセクションで後述する「シリアル・バスのアドレス指定」を参照してください。

内部のマイクロコントローラは、3V以上の V_{DD33} から初期化を完了するのに標準で70msが必要です。その時点で、内部コンパレータはVINSNSをモニタします。出力電力のシーケンシングを開始するには、その前にVINSNSの電圧がVIN_ONしきい値を超える必要があります(SHARE_CLK解放済み、TON_DELAYの準備完了)。その後、正確な読み出し遠隔測定を行うには、最初のラウンドロビンA/D変換のためにさらに100msが必要になることがあります。

動作

ソフトスタート

デバイスの初期化が完了し、VINSNSの電圧がVIN_ONしきい値を超えると、RUNピンが解放されて外部制御が可能になります。1つのアプリケーションで複数のLTC3882デバイスを使用する場合、すべてのデバイスが初期化し、すべてのデバイスでVINSNSの電圧がVIN_ONしきい値を超えるまで、共有されているRUNピンは“L”に保持されます。SHARE_CLK信号を共通にすると、他の設計要件が原因でRUNピンを共有できない場合でも、接続しているすべてのデバイスが最初の起動に同じ時間基準を使用することを保証できます。電源シーケンシングの条件が完全に満たされるまで、SHARE_CLKが各デバイスごとに解放されることはありません。

あるチャンネルのRUNピン電圧が2Vを超え、指定のターンオン遅延時間(TON_DELAY)が経過すると、LTC3882はそのチャンネルで最初の単調なソフトスタート・ランプを実行します。これは、TON_RISEの設定期間にわたって、0Vからコマンドで指定された電圧設定値まで安定化出力電圧のデジタル制御ランプを行うことによって実行されるので、突入電流を制御できます。ソフトスタート・ランプの間、コマンドで指定の出力が実際のレール電圧を超えるまで、LTC3882はPWM動作を開始しません。これにより、不連続動作をサポートしないゲート・ドライバやパワー・ブロックを使用する場合でも、レギュレータはプリバイアスされた負荷まで起動できます。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。

時間ベースの出力シーケンシング

LTC3882は、共用の時間基準(SHARE_CLK)を使用して、時間ベースのオンとオフの出力シーケンシングをサポートします。有効な適格コマンドによるターンオン後、各出力はその設定時間TON_DELAY待った後にイネーブルになります。このやり方を使うと、ハードウェアを変更せずに必要に応じて事前に設定できる所定の順に出力の順序を指定できます。チャンネルのオフ・シーケンスは、TOFF_DELAYコマンドによる同様の方法で行われます。

出力ランピング制御

LTC3882は、共用の時間基準(SHARE_CLK)を使用して、同期出力のオンとオフのランピング制御をサポートします。電源レールのオンとオフの関係は、設定した遅延時間とTON_RISEおよびTOFF_FALLの時間を使用することにより、従来のアナログ・トラッキング機能の場合と同様の関係にすることができます。ただし、LTC3882のデジタル制御で

は、ランピングのオンとオフの方法を同じにする必要はありません。また、ランピング構成は、必要に応じてハードウェアを変更せずに再設定できます。

プログラム可能なフォルト応答およびフォルト分担により、システムの電源が投入または切断されるたびに、所望の時間ベースの出力シーケンス制御およびランピング制御が正常に実行されることを保証できます。複数のICを使用する場合に、時間ベースのシーケンシングと出力ランピングの同期を十分にサポートするために必要なさまざまなLTC3882ハードウェア構成およびPMBusコマンド構成については、「アプリケーション情報」のセクションを参照してください。

電圧ベースの出力シーケンシング

縦続電圧事象を使用して出力をオンにする順序を制御することも可能です。このためには、一方のPWMチャンネルをモニタしているGPIOピンを使用して、下流チャンネルのRUNピンを制御することができます。V_{OUT}がV_{OUT_UV_FAULT_LIMIT}より低い場合、またはPOWER_GOOD条件を満たしていない場合は、制御側のGPIOピンを構成して“L”に保つことができます。これにより、制御側チャンネルの出力が許容できる状態になるまで下流チャンネルはオフのままです。LTC3882は、そのままの状態では電圧ベースのオフ・シーケンスをサポートしていません。電圧ベースのシーケンシングの詳細については、「アプリケーション情報」のセクションを参照してください。

出力のディスエーブル

VINSNSの電圧がVIN_OFFしきい値より低い場合は、常に両方のPWMチャンネルがディスエーブルされます。負荷へのエネルギー伝達をできるだけ迅速に停止するため、パワー段は直ちに遮断されます。

ある一定の内部フォルト状態、GPIOピンを介して伝播された外部フォルト、またはSHARE_CLKの喪失に応じて、PWMチャンネルもディスエーブルされる場合があります。これらの場合には、負荷へのエネルギー伝達をできるだけ迅速に停止するため、パワー段が直ちに遮断されます。フォルト回復に関連した追加の詳細については、後述する「フォルトの検出」および「フォルト時の対応」のセクションを参照してください。

各PWMチャンネルは、ON_OFF_CONFIGによってイネーブルされている場合、PMBus OPERATIONコマンドを使用してもディスエーブルすることができます。これにより、規定の遅延(TOFF_DELAY)および下降レート(TOFF_FALL)を伴う制御されたターンオフ応答が強制されます。コントローラ

動作

は、設定された動作モードを TOFF_FALL の期間維持します。DCM では、コントローラは負荷から電流を流さないの、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。

最後に、関連の RUN ピンを“L”にすることにより、各 PWM チャネルにオフのコマンドを出すことができます。RUN ピンを“L”にすると、ON_OFF_CONFIG コマンドのプログラミングに応じて、制御されたターンオフを実行するかパワー一段を直ちにディスエーブルすることを対象チャネルに対して強制できます。

最小出力ディスエーブル時間

PMBus OPERATION コマンドを使用して LTC3882 のチャネルをオフする場合は、チャネルをどの程度急速にオンに戻すよう命令するかに関係なく、120ms の最小出力ディスエーブル時間が必要です。MFR_CHAN_CONFIG のビット 4 がクリアされると、チャネルをオフにする PMBus コマンドにより、RUN ピンを“L”にするパルスも出力されます。RUN ピンを内部で“L”にするか外部から“L”にすると、(RUN ピンを強制的に“L”にする) 最小出力ディスエーブル時間の TOFF_DELAY + TOFF_FALL + 136ms が強制されます。MFR_RESTART_DELAY がこの強制的な最小値より大きい場合、MFR_RESTART_DELAY のより大きな値が使用されます。いずれの場合にも、LTC3882 はディスエーブルの全期間中、デバイス自体の RUN ピンを“L”に保ちます。これらの最小オフ時間により、モニタ A/D コンバータの値が一貫している安定したチャネル再起動が可能になり、LTC3882 と他の LTC PMBus デジタル・パワーシステム・マネージメント製品との互換性が高まります。

出力短絡サイクル

マスタ・チャネルが TOFF_DELAY または TOFF_FALL の期限が切れるのを待っている間にオンに戻るよう命令されると、出力短絡サイクル状態が発生します。この状態になると、LTC3882 は必ず STATUS_MFR_SPECIFIC の「出力短絡サイクル」ビットをアサートします。その時点でのデバイスの応答は、MFR_CHAN_CONFIG_LTC3882 と SMBALERT_MASK のビットによって制御されます。追加の詳細については、これらのコマンドの詳細な説明を参照してください。通常は、通常動作の間に短絡サイクル状態が発生しないように LTC3882 を制御します。

軽負荷電流動作

LTC3882 には、不連続導通モード (DCM) および強制連続導通モード (CCM) という 2 つの PWM 動作モードがあります。モード選択は MFR_PWM_MODE コマンドによって行います。

DCM では、インダクタ電流を逆方向に流すことはできません。インダクタ電流がほぼ 0A に達すると、逆電流コンパレータ I_{REV} は外付けの下側 MOSFET (同期整流器) をディスエーブルして、インダクタ電流が実質的に負にならないようにします。LTC3882 は、PWM 出力を高インピーダンスにするか、EN 出力をデアサートするか、または BG 出力を“L”にすることにより、下側 NFET をディスエーブルするよう設定できます。PWM 制御プロトコルの選択は、外部ゲート・ドライバまたはパワー・ブロックの要件により異なります。この要件とは、高インピーダンス出力に対する遅延時間を (PWM 周期に比べて) 短くして、DCM をサポートする必要があることです。

CCM での軽負荷時の効率は、DCM の場合より低くなります。連続導通モードではオーディオ回路に対する干渉が少なくなりますが、たとえば軽負荷状態や大規模なトランジェント状態では、逆方向のインダクタ電流が発生する場合があります。

スイッチング周波数と位相

LTC3882 の PWM 動作周波数を設定するための高度な柔軟性があります。PWM のスイッチング周波数は、内部発振器または外付けのタイムベースを使用して設定できます。クロックが内部で供給されるか外部的に供給されるかに関係なく、内部フェーズロック・ループ (PLL) は、適切な位相関係により PWM 制御をこの時間基準に同期させます。アプリケーションの表 10 に概要を示すように、PMBus コマンド、EEPROM の設定、または外付けの構成抵抗によってデバイスを構成し、マスタ・クロックを他の IC に供給することもできます。PMBus または EEPROM による構成の場合は、MFR_CONFIG_ALL_LTC3882 のビット 4 をクリアすることにより、LTC3882 をクロック・マスタとして指定することができます。LTC3882 は、クロック・マスタとして、そのオープンドレイン SYNC ピンを、選択したレートと 125ns のパルス幅で駆動します。この場合には、SYNC と V_{DD33} の間に外付けのプルアップ抵抗が必要です。SYNC に接続されている 1 つのデバイスだけがピンを駆動するよう指定します。SYNC を共有している複数の LTC3882 をクロック・マスタとして設定している場合は、複数デバイスのうち 1 つだけが自動的に選択され、クロックを供給します。他のデバイスはその SYNC 出力をディスエーブルし、このことを MFR_PADS_LTC3882 のビット 10 で示します。

LTC3882 は、外部クロックの周波数が内部発振器の設定周波数の 1/2 を超えている限り、外部 SYNC 入力を自動的に受け入れ、必要に応じて専用の SYNC 駆動回路をディスエーブルします。LTC3882 は、SYNC を駆動するよう構成されているかどうかに関係なく、後に外部クロック信号が失われると、デ

動作

バイス自体の内部発振器を使用して、選択されている周波数 (FREQUENCY_SWITCH) でPWM動作を継続することができます。

MFR_PWM_CONFIG_LTC3882 コマンドを使用して、各チャネルの位相を構成することができます。表 11 に概要を示すように、EEPROM または外付けの構成抵抗から目的の位相を設定することもできます。位相により、SYNC の立ち下がりエッジと、PWM ラッチをリセットする内部クロック・エッジとの関係が決まります。このリセットによって上側パワー・スイッチがオフになり、TG/PWM の立ち下がりエッジが発生します。PWM 制御ピンには小規模の伝播遅延が追加されます。

位相関係と周波数は互いに独立しているため、多数のアプリケーション・オプションが得られます。複数の LTC3882 IC を同期させて PolyPhase 配列を実現できます。この場合、位相は $360/n$ 度で分離します。ここで、 n は出力電圧レールを駆動する位相の数です。

PolyPhase 負荷シェアリング

必要なピンを構成することにより、複数の LTC3882 を組み合わせ、バランスの取れた負荷シェアリング・ソリューションを実現できます。すべての負荷シェアリング・チャネルの SHARE_CLK ピンと SYNC ピンは、バスで互いに接続します。SYNC ピンを接続すると、PWM コントローラは互いに同期します。SHARE_CLK ピンをバスで互いに接続すると、位相を同期させて開始できます。前述した「電源投入と初期化」セクションの説明を参照してください。すべての起動状態が十分であることを確認する最後のデバイスが、すべての位相の電源シーケンシングの開始を制御します。

LTC3882 のエラーアンプは出力インピーダンスが低いので、PolyPhase アプリケーションは、位相が 1 つだけのエラーアンプをマスタとして使用します。各スレーブ・チャネルの FB ピンは V_{DD33} に配線する必要があり、各スレーブ位相の COMP ピンはマスタのエラーアンプ COMP 出力に接続する必要があります。これにより、スレーブのエラーアンプがディスエーブルされ、PolyPhase 出力レールの電圧制御およびループ安定化が 1 点で実現されます。

PolyPhase 負荷シェアリングの場合、LTC3882 は補助の電流シェアリング・ループも内蔵しています。戻って図 1 を参照すると、各スレーブ位相の瞬時電流は電流アンプ CA によって検

出され、I_{AVG} ピンと比較されます。各位相の I_{AVG} ピンと I_{AVG_GND} ピンは相互に配線され、I_{AVG} と I_{AVG_GND} の間の小容量コンデンサ (50pF ~ 200pF) には、マスタ位相出力電流の平均値に相当する電圧が保持されます。この平均の差と瞬時の相電流が積分されます。各スレーブ位相のインテグレータ S の出力は、その後マスタのエラーアンプの COMP 出力と値が比例するように合計され、デューティ・サイクルの調整とその位相の電流寄与分のバランス調整が行われます。その他のハードウェア構成要件やデジタル・プログラミング要件は、PolyPhase システムに当てはまります。LTC3882 による PolyPhase レール構築の詳細については、「アプリケーション情報」のセクションを参照してください。

能動電圧ポジショニング

LTC3882 では、PMBus コマンド MFR_VOUT_AVP により、負荷勾配を設定できます。I_{SENSE} ピンで測定されたインダクタ電流は、エラーアンプの正の入力で電圧リファレンスから減算された電圧に変換されます。最終的な負荷勾配は、インダクタ電流の検出素子と、PMBus コマンド MFR_VOUT_AVP で設定されるビットによって規定されます。MFR_VOUT_AVP の値を 0.0% より大きい値に設定すると、そのチャネルの出力サーボ・モードは自動的にディスエーブルになります。

入力電源のモニタ

入力電源電圧は LTC3882 の VINSNS ピンで検出されます。低電圧レベル、過電圧レベル、オンとオフの有効なレベルを V_{IN} に対してプログラムできます。入力電源しきい値のプログラミングの詳細については、後述する「PMBus コマンドの詳細」セクションを参照してください。さらに、遠隔測定 A/D コンバータは、GND を基準にした VINSNS の電圧をモニタします。変換結果は PMBus コマンド READ_VIN によって返されます。

出力電圧の検出とモニタ

2 つの PWM チャネルでは、離れた場所にある負荷電圧を V_{SENSE} ピンによって差動で検出できます。チャンネル 1 出力検出ピン V_{SENSE1} は、内部で GND (露出パッド) に短絡されています。遠隔測定 A/D コンバータは完全に差動なので、チャンネル 0 および 1 の出力電圧の測定をそれぞれ V_{SENSE0}^+ および V_{SENSE1}^+ で行います。変換結果は PMBus コマンド READ_VOUT によって返されます。

動作

出力電流の検出とモニタ

2つのチャネルでは、インダクタのDCRか、または I_{SENSE} ピン間にインダクタと直列に接続した抵抗のいずれかを使用して、インダクタ電流を差動で検出できます。1つのチャネルの I_{SENSE} ピンがLTC3882のモニタA/Dコンバータの差動入力に多重化される場合、これらの入力の入力範囲は約 $\pm 128\text{mV}$ であり、ノイズフロアは $7\mu\text{V}_{\text{RMS}}$ です。ピーク・トゥ・ピーク・ノイズは約 $46.5\mu\text{V}$ です。内部A/Dコンバータのアンチエイリアシング・フィルタおよび変換レートは、 I_{SENSE} 差動電圧の平均読み取り値を生成します。得られる値は、PMBusコマンドREAD_IOUTによって返されます。インダクタのDCRまたはディスクリット抵抗を使用した出力電流検出の詳細については、「アプリケーション情報」のセクションを参照してください。

外部および内部の温度検出

外部温度は、ダイオード接続したPNPトランジスタ(MMBT3906など)をチップから離れた場所に配置することで、最も的確に測定できます。PNPトランジスタのエミッタ端子はTSNSピンに接続し、ベース端子とコレクタ端子はケルビン接続を使用してLTC3882のGNDピンに戻す必要があります。異なる2つの電流(公称 $2\mu\text{A}$ および $32\mu\text{A}$)がダイオードに流れ、内部の16ビット・モニタA/Dコンバータで行われる ΔV_{BE} 測定により温度が計算されます。

LTC3882は、 V_{BE} ベースの直接の外部温度測定もサポートしています。この場合、ダイオードまたはダイオード回路網は特定の電流および温度で特定の電圧に調整されます。一般に、この方法では ΔV_{BE} 測定と同程度に正確な結果は得られません。これら2つの外部温度検出構成のためのLTC3882のプログラミングに関する追加情報については、「PMBusコマンドの詳細」セクションのMFR_PWM_MODE_LTC3882を参照してください。

温度の計算結果は、PMBusのREAD_TEMPERATURE_1コマンドによって返されます。外部温度検出素子の適切なレイアウトと、温度計算結果の精度を向上するために使用できるPMBusコマンドの詳細については、「アプリケーション情報」のセクションを参照してください。

READ_TEMPERATURE_2コマンドは、内蔵のダイオードと ΔV_{BE} 測定および計算を使用して、LTC3882の内部接合部温度を返します。

抵抗構成ピン

6つの入力ピンを使用し、選択した1%精度の抵抗を $V_{\text{DD}25}$ とGNDの間に対象ピンへの分割器として配置することにより、重要な動作パラメータを構成することができます。対象ピンは、ASEL0、ASEL1、 $V_{\text{OUT}0_CFG}$ 、 $V_{\text{OUT}1_CFG}$ 、FREQ_CFG、およびPHAS_CFGです。これらのピンのいずれかを開放状態のままにした場合は、対応するEEPROMコマンドに格納された値が使用されます。抵抗構成ピンが測定されるのは、電源投入時と、RESTORE_USER_ALLコマンドまたはMFR_RESETコマンドの実行時だけです。MFR_CONFIG_ALL_LTC3882コマンドのビット6をEEPROMに設定した場合、ASEL n 以外のすべての抵抗入力は無視されます。PMBusの規定により、ピンで設定されたすべてのパラメータは、デジタル・インタフェースからのコマンドによって随時無効にすることができます。

ASEL n ピンの設定は、アプリケーションの表11に記載されています。これらのピンを使用して、LTC3882のデバイス・アドレス全体を選択することができます。ASEL0は、開放のままにしない限り、LTC3882のデバイス・アドレスの下位4ビットを必ず設定します。ASEL1を使用して、最上位の3ビットを設定できます。アドレスのどの部分も、EEPROM内にあるMFR_ADDRESSの値から取り出すことができます。両方のピンを開放状態のままにすると、EEPROMに格納されている7ビットのMFR_ADDRESS値は、すべてデバイス・アドレスを決定するために使用されます。LTC3882は、7ビットのグローバル・アドレス(0x5Aおよび0x5B)に必ず応答します。MFR_ADDRESSはこれらの値のどちらにも設定しないでください。

$V_{\text{OUT}n_CFG}$ ピンの設定は、アプリケーションの表8に記載されています。これらのピンでは、関連チャネルの出力電圧が選択されます。

抵抗構成ピンを使用して出力電圧を決定している場合、以下のパラメータは設定出力電圧のパーセンテージとしても設定されます。

- $V_{\text{OUT_OV_FAULT_LIMIT}}: +10\%$
- $V_{\text{OUT_OV_WARN_LIMIT}}: +7.5\%$
- $V_{\text{OUT_MAX}}: +7.5\%$
- $V_{\text{OUT_MARGIN_HIGH}}: +5\%$
- $V_{\text{OUT_MARGIN_LOW}}: -5\%$
- $V_{\text{OUT_UV_WARN_LIMIT}}: -6.5\%$
- $V_{\text{OUT_UV_FAULT_LIMIT}}: -7\%$

動作

FREQ_CFGピンの設定は、アプリケーションの表9に記載されています。このピンは、以下の条件(開放状態のままである、GNDに短絡されている、EEPROMの設定によって無視される)のいずれにも該当しない場合、内部発振器のスイッチング周波数を選択し、SYNC出力をイネーブルします。

PHAS_CFGピンの設定は、表11に記載されています。このピンは、選択されているクロック信号源と2つのチャンネルの間の位相関係を選択します。

CRCを備えた内部EEPROM

LTC3882は、ユーザー構成設定とフォルト・ログの情報を格納するEEPROMを内蔵しています。ユーザー空間およびフォルト・ログ・ページに関するEEPROMの耐久性とデータ保持能力は、「絶対最大定格」および「電気的特性」の表に規定されています。LTC3882のEEPROMには、内部冗長性のある製造時調整部も組み込まれています。

内蔵のEEPROM全体の完全性は、パワーオン・リセット後またはRESTORE_USER_ALLコマンドの実行後など、EEPROMのデータを読み取るたびに、CRC計算によりチェックされます。CRCエラーが発生すると、STATUS_BYTEコマンドおよびSTATUS_WORDコマンド内のCMLビットが設定され、STATUS_MFR_SPECIFICコマンド内のEEPROM CRC Errorビットが設定され、さらにALERTピンとRUNピンが“L”に(PWMチャンネルがオフ)になります。その時点で、デバイスは特別なアドレス0x7Cでのみ応答するようになります。このアドレスは、無効なCRCが検出された後にのみ有効になります。デバイスはグローバル・アドレス0x5Aおよび0x5Bでも応答しますが、CRCの問題から回復させようとするときにこれらのアドレスを使用することは推奨しません。無効のCRCを報告するデバイスのいずれかのPWMチャンネルに関連した電源レールは、問題が解決するまですべて無効のままにする必要があります。

リニアテクノロジーでは、ダイ温度が85°Cより高いときはEEPROMに書き込まないことを推奨します。内部ダイ温度が130°Cを超えると、RESTORE_USER_ALLおよびMFR_RESET以外のEEPROM動作はすべて無効になります。ダイ温度が125°Cより低くなるまで、EEPROMの完全な動作が再度可能になることはありません。動作温度の上昇による保持特性の低下を予測する式については、「アプリケーション情報」のセクションを参照してください。

LTC3882がやはりサポートしている、EEPROMの一括プログラミングを含む効率的なシステム内EEPROMプログラミング

の詳細については、「アプリケーション情報」のセクションを参照するか、弊社にご連絡ください。

フォルト検出

LTC3882には、フォルトおよび警告の検出、報告、処理を行うさまざまな仕組みが用意されています。フォルトまたは警告の検出機能には、次のようなものがあります。

- 入力低電圧/過電圧
- 出力低電圧/過電圧
- 出力過電流(ピークおよび平均)
- 内部および外部の過熱と外部の低温
- CMLフォルト(通信、メモリ、ロジック)
- 双方向のGPIOピンを介した外部フォルト検出

報告については、ステータス・コマンド(レジスタ)およびALERTピンの機能に関する以下のセクションで説明します。フォルトを処理メカニズムには、必ず実行されるハードワイヤードの低水準PWM安全応答、および高水準のプログラム可能なイベント管理が含まれます。どちらのタイプも以下のセクションで説明されています。

入力電源フォルト

入力の低電圧制限値および過電圧制限値は、多重化モニタA/D変換により決定されます。したがって、入力UV/OVの応答は、A/Dコンバータの標準的な100msの変換サイクルまでに必然的にデグリッチされます。入力電源フォルトに対するハードワイヤードの低水準PWM応答はありません。

V_{OUT}フォルトに対するハードワイヤードPWM応答

V_{OUT}の低電圧(UV)フォルトおよび過電圧(OV)フォルトは、スーパーバイザ・コンパレータによって検出されます。OVフォルトとUVフォルトの制限値は、次の3つの方法で設定できます。

- 抵抗構成ピンを使用している場合はV_{OUT}のパーセンテージとして
- 格納されているEEPROM値から
- PMBusコマンドによって

出力過電圧コンパレータは、出力でのトランジェント・オーバーシュートならびに長時間の過電圧からデバイスを保護します。出力OVフォルトが検出されると、過電圧状態が解消されるまでか、ほとんどのPWM制御プロトコルでは逆方向の過

動作

電流が検出されるまで、該当チャネルの上側MOSFETはオフになるよう命令され、下側MOSFETはオンになるよう命令されます。以下のI_{OUT}フォルトを参照してください。

対象チャネルがオフになるよう命令されている場合、または以下のすべての基準が満たされるまで、UVフォルトと警告はマスクされます。

- TON_DELAYが経過した
- TON_RISEのランプが完了した
- TON_MAX_FAULT_LIMITに到達した
- IOUT_OC_FAULT_LIMITに到達しなかった
- TOFF_FALLは進行中ではない

出力UV警告は多重化モニタA/D変換によって決定されず、LTC3882には出力UVフォルトまたは警告に対するハードワイヤードPWM応答はありません。

パワーグッド表示

LTC3882のマスタ位相は、プログラムされたUVおよびOVフォルト制限値に基づいて、STATUS_WORDでパワーグッドを示します。位相が実行可能な状態にあり、V_{OUT}がUVフォルト制限値とOVフォルト制限値の間にある限り、パワーグッドが示されます。スレーブ位相は、いったんイネーブルされるとSTATUS_WORDでパワーグッドを示します。ただし、マスタのエラーランプ・フォルトが検出され、バスで接続されたCOMPの電圧が高すぎるように見えることを示している場合を除きます。

I_{OUT}フォルトに対するハードワイヤードPWM応答

LTC3882は、I_{SENSE}ピン両端の電圧を基にI_{OUT}の平均値を測定し、検出抵抗またはDCRの値と関連の温度係数を考慮に入れます。どちらもPMBusコマンドまたはEEPROMの値によって得られます。

チャネルの瞬時電流検出値がその許容最大値に達すると、出力過電流(OC)フォルト状態が各PWM出力のスーパーバイザ・コンパレータによって検出されます。詳細については、PMBusコマンドIOUT_OC_FAULT_LIMITを参照してください。OCフォルトが検出されると、コントローラは上側FETを直ちにディスエーブルし、下側FETはそのPWMサイクルの残りの間オンするよう通常は命令されます。

CCMで動作するようにプログラムした場合は、LTC3882も、逆方向の過電流(ROC)フォルトを検出するために負のIOUT_OC_FAULT_LIMITを使用します。ROCフォルトが発

生すると、コントローラは上側と下側の両方のFETを直ちにディスエーブルします。ただし、該当チャネルのENピンが、選択されたスリーステートPWM出力プロトコルによって“H”に接続された場合を除きます。

OCフォルトとROCフォルトは両方とも該当チャネルのIOUT_OC_FAULT_RESPONSEによって処理されます。どちらのハードウェア応答も、パルスの切り捨てまたは飛び越しを使用する電流制限動作が得られます。LTC3882はリーディング・エッジ変調を使用するので、平均位相のずれがフォルト発生チャネルでは0°に近づき、入力リップル電流が増加します。

出力OC警告は多重化モニタA/D変換によって決定されます。出力OC警告が発生した場合、LTC3882にはハードワイヤードPWM応答はありません。

温度フォルトに対するハードワイヤードPWM応答

モニタA/Dコンバータによって測定される内部温度センサは、EEPROMなど他のICを損傷から保護します。ダイ温度が130°Cより高くなると、LTC3882は、RESTORE_USER_ALLおよびMFR_RESET以外のすべてのEEPROM関連コマンドに対してNACKを返し、無効なコマンド/サポート対象外コマンドに対するCMLフォルトを出力します。ダイ温度が125°Cより下がると、正常なEEPROMアクセスが再度可能になります。ダイ温度が160°Cを超えると、デバイスはPWM出力をすべて停止し、150°Cより低くなるまで停止したままです。内部温度フォルト制限値は調整できません。85°Cを超えるダイ温度ではEEPROMに書き込まないことを強く推奨します。内部EEPROMの使用に関するその他の重要な温度制限については、「絶対最大定格」を参照してください。

外部温度センサも内蔵のA/Dコンバータでモニタできます。検出された外部温度フォルトまたは警告に対するハードワイヤードPWM応答はありません。

タイミング・フォルトに対するハードワイヤードPWM応答

タイミング・フォルトに対するハードワイヤードPWM応答はありません。

TON_MAX_FAULT_LIMITは、起動時にV_{OUT}が立ち上がり、安定するまでに許される時間です。TON_MAX_FAULT_LIMITタイマ(分解能は10μs)は、TON_DELAYが経過し、ソフトスタート・シーケンスが開始されると始動します。規定の時間内にVOUT_UV_FAULT_LIMITに達しない場合またはOCが解消されない場合は、フォルト応答はTON_MAX_FAULT_RESPONSEの値によって決まります。

動作

内蔵のウォッチドッグ回路は、SHARE_CLKが64 μ sより長い時間“L”のままかどうかを検出します。デバイスは、その後SHARE_CLKを120ms間“L”状態に能動的に維持し、この共用制御回路に接続されているすべてのデバイスが観測するRETRY_DELAYイベントが最小限で済むようにします。LTC3882は、MFR_COMMONのSHARE_CLK_LOWビットをセットして、このフォルト状態を示します。

外部フォルト

$\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンを介してICに伝播する外部フォルトに対するハードウェア・レベルの応答はありません

フォルト処理

「PMBus コマンドの詳細」セクションで後述するように、より高いレベルの入出力フォルト・イベント処理(応答)をプログラムすることができます。大半のフォルトでは、LTC3882は3つの方法(無視、自律的回復(一時中断)、ラッチオフ)のいずれかで応答を管理できます。フォルトを無視するようにプログラムした場合、デバイスは、前述したハードウェア・レベルの応答を上回る追加の処置を行いません。

自律的回復の場合、MFR_RETRY_DELAYの間隔経過後、フォルト状態が存在しないときは、新しいソフトスタートが試行されます。MFR_RETRY_DELAYは、120ms～83秒の範囲内で、1ms刻みで設定できます。フォルトが解消しない場合、コントローラはMFR_RETRY_DELAYコマンドによって指定された間隔で再試行し続けます。これにより、電源の急な入れ直しが繰り返し行われることによって外付けのレギュレータ部品が損傷するのを防止します。

ラッチオフ・フォルト応答に対しては、再試行は行われません。ラッチオフ状態では、エネルギーの負荷への伝達をできるだけ素早く遮断するため、外付けMOSFETのゲート・ドライバが直ちにディスエーブルされます。チャンネルがオフの後にオンになるよう命令されるまでか、デバイスの電源が入れ直されるまで、出力はディスエーブル状態のままです。PWMチャンネルのプログラム済みの構成によっては、PWMチャンネルのオフとオンを命令するのにソフトウェアやハードウェアの介在が必要になる場合があります。

RUNピンを制御側の任意の外部アプリケーション回路によって解放して、該当チャンネルをラッチオフ状態から再起動する必要があります。所定のチャンネルのRUNピン電圧が上昇するので、関連の内部フォルト表示は自動的にクリアされます。LTC3882は、1チャンネルのRUN電圧だけに基づいて両方の

出力のフォルトをクリアするようプログラムすることもできます。MFR_CONFIG_ALL_LTC3882コマンドを参照してください。PMBus コマンドCLEAR_FAULTSを使用して、PWMチャンネルの状態と関係なく、すべてのフォルト・ビットを随時クリアすることもできます。

一部の内部生成フォルトの処理は、デジタル方式でデグリッチできます。表12を参照してください。 $\overline{\text{GPIO}}_n$ ピンを使用してデバイスに伝播した外部フォルトはデグリッチされません。 $\overline{\text{GPIO}}$ 機能については、後述のセクションを参照してください。

ステータス・レジスタおよびALERTのマスキング

図2はPMBusコマンドでアクセス可能なLTC3882内部のステータス・レジスタをまとめたものです。さまざまなフォルト、警告、およびその他の重要な動作状態の表示がこれらに含まれます。ここに示すように、STATUS_BYTEコマンドとSTATUS_WORDコマンドも、他のステータス・レジスタの内容を示します。具体的な情報については、「PMBus コマンドの詳細」を参照してください。

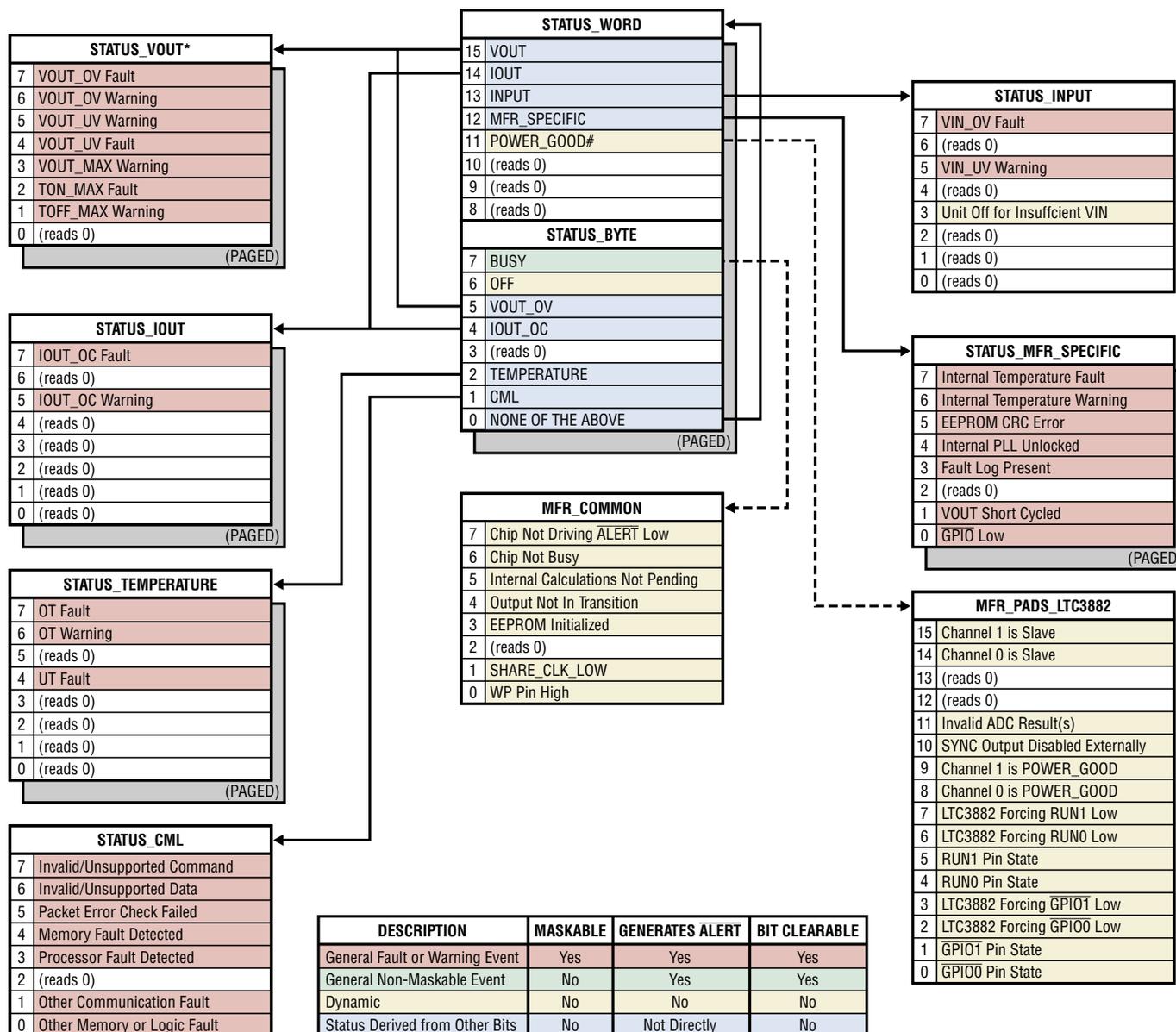
STATUS_BYTE内に上記のいずれも存在しない場合は、STATUS_WORDの最上位ニブルの1ビット以上も設定されていることを示します。

一般に、アサートされたビットがSTATUS_xレジスタにある場合も、ALERTピンは“L”になります。ALERTは、いったん設定されると、次のいずれかが生じるまで“L”のままです。

- CLEAR_FAULTS、RESTORE_USER_ALL、またはMFR_RESETコマンドが発行される
- 関連のステータス・ビットに1が書き込まれる
- フォルト発生チャンネルに対してオフ命令およびオンへの復帰命令が適切に行われる
- LTC3882がPMBusアラート応答アドレス(ARA)時にそのアドレスを正常に送信する
- デバイスの電源が入れ直される

いくつかの例外を除き、SMBALERT_MASKコマンドを使用することにより、LTC3882がこれらのレジスタ内のビットにビット単位でALERTをアサートするのを防止できます。これらのマスク設定はステータス・ビット自体と同じ方法でSTATUS_WORDとSTATUS_BYTEにプロモートされます。たとえば、チャンネル0のSTATUS_VOUT内のすべてのビットに対してALERTがマスクされる場合、ALERTは実質的にPAGE 0のSTATUS_WORD内のVOUTビットに対してマスクされます。

動作



*IF THE CHANNEL IS CONFIGURED AS A SLAVE AS INDICATED BY MFR_PADS_LTC3882[15:14], VOUT_OV FAULT INDICATES A DETECTED MASTER ERROR AMPLIFIER FAULT (COMP VOLTAGE TOO HIGH). NO OTHER BITS IN STATUS_VOUT ARE ACTIVE ON SLAVE CHANNELS

3882 F02

図 2. LTC3882 のステータス・レジスタのまとめ

STATUS_BYTEにBUSYビットがある場合も、ALERTが“L”にアサートされ、マスクすることはできません。このビットは、内部動作とPMBus通信の間の相互作用の結果としてセットできます。このフォルトが生じるのは、1チャンネルまたは両方のチャンネルがイネーブルされている場合には安全に実行できないコマンドを受け取った場合です。「アプリケーション情報」で説明しているように、BUSYフォルトはいくつかのコマンドを実行する前にMFR_COMMONをポーリングすれば回避できます。

MFR_COMMONおよびMFR_PADS_LTC3882に含まれている状態情報を使用して、前に示したようにSTATUS_BYTEまたはSTATUS_WORDの内容を明示することができますが、これらのレジスタの内容はALERTピンの状態には影響せず、STATUS_BYTEまたはSTATUS_WORD内のビットには直接影響しない場合があります。

動作

GPIOピンへのマッピング・フォルト

LTC3882は、MFR_GPIO_PROPAGATE_LTC3882コマンドを使用して、さまざまなフォルト・インジケータをそれぞれのGPIOピンに割り当てることができます。

チャンネル間のフォルト依存関係を構築して通信できるようにするには、GPIOピンを相互に接続します。内部フォルトが発生すると、1つ以上のチャンネルが構成され、バスで接続されたGPIOピンは“L”になります。その後、すべてのチャンネルは、バスで接続されたGPIOピンが“L”になるとシャットダウンするように構成されます(MFR_GPIO_RESPONSEを0xc0に設定)。ラッチオフがフォルト発生チャンネルでの設定応答である場合、GPIOピンは次のいずれかが生じるまで“L”のままです。

- CLEAR_FAULTS、RESTORE_USER_ALL、またはMFR_RESETが発行される
- 関連のステータス・ビットに1が書き込まれる
- フォルト発生チャンネルに対してオフ命令およびオンへの復帰命令が適切に行われる
- デバイスの電源が入れ直される

自律的グループの再試行では、再試行間隔の経過後、フォルト発生チャンネルがGPIOピンを解放するよう構成され、当初のフォルトは解消されたものとみなします。その後、グループ内のすべてのチャンネルがソフトスタート・シーケンスを開始します。

GPIOのその他の用途

GPIOピンには、外部クローバ・デバイスのドライバ、過熱アラート、過電圧アラート、マイクロコントローラにステータス・コマンドのポーリングを促す割り込み要因などの用途もあります。GPIOピンは、すぐに応答が必要なコントローラ外部のフォルトを検出するための入力として構成することができます。GPIO $\overline{\text{N}}$ ピンを使用してデバイスに伝播した外部フォルトはデグレッチされません。

GPIOピンは、パワーグッド・インジケータ出力として機能することもできます。マスタ位相では、これにより、コントローラの出力が目的のレギュレーション制限範囲内であることを示します。「電圧ベースの出力シーケンシング」セクションで前述したように、GPIOピンにより、連結イベントを介して起動を制御することもできます。

追加の詳細については、MFR_GPIO_PROPAGATEコマンドを参照してください。

フォルト・ログ記録

LTC3882にはフォルト・ログ記録の機能があります。通常動作時に、ログ・データは内部RAMで絶えず更新されます。いずれかのPWMコントローラをディスエーブルするフォルトが発生すると、内部メモリへの記録が停止し、MFR_FAULT_LOGコマンドによってフォルト・ログ情報をRAMから入手できるようになり、RAMのログの内容がEEPROMにコピーされます。EEPROMのフォルト・ログ記録はダイ温度が85°Cより高い場合でも可能ですが、10年間の保持は保証されません。ダイ温度が130°Cを超えると、EEPROMフォルト・ログ記録は温度が125°Cより低くなるまで遅れます。疑似フォルト・ログの生成を防止するため、ログが消去される前に、ログの生成源であるフォルトを完全に解消しておく必要があります。GPIO $\overline{\text{N}}$ ピンを介してデバイスに伝播するフォルトがフォルト・ログ記録イベントを引き起こすことはありません。

LTC3882は電源投入時にEEPROMを検査して、有効なフォルト・ログがないことを確認します。有効なフォルト・ログが検出された場合は、PMBusコマンドSTATUS_MFR_SPECIFICの「有効なフォルト・ログ」ビットが設定されます。LTC3882がCLEAR_FAULTSコマンドを受け取るまで、追加のフォルト・ログ記録はディスエーブルされます。STATUS_CMLの「メモリ・フォルトの検出」ビットも設定されている場合は、格納されたフォルト・ログが部分的になっています。1つ以上のイベント・レコードのデータが不完全であるか正しくない場合があるので、すべてのフォルトが解消されたら、MFR_CLEAR_FAULT_LOGコマンドを発行して、追加のログ記録機能を完全に有効にすることも必要です。

MFR_FAULT_LOGコマンドは、147バイトの固定長を持つブロック読み出しプロトコルを使用します。フォルト・ログが存在しない場合、LTC3882は、0のブロック・バイト・カウントを返します。

フォルト・ログの内容を表1～表4に示します。データ形式の説明については表6を参照してください。各イベント・レコードは、すべての多重化モニタA/Dコンバータ入力および関連の状態により、1つの完全な変換サイクルを表わします。最新の6つのイベント・レコードが、内部メモリ内に新しい順に保持されます。フォルト・ログが生成されると、現在のA/Dコンバータ入力サイクルは完了し、フォルト発生時点で変換中のA/Dコンバータ入力は、ログのヘッダ・レコードに記録されます。

動作

表 1. LTC3882 フォルト・ログの内容

レコード・タイプ	開始バイト	終了バイト	注釈
ヘッダ情報	0	26	表 2 を参照してください。
フォルト・イベント・レコード	27	46	このイベント・レコード時にどこかでフォルトが発生した可能性があります。表 2 のバイト 4 と表 3 および表 4 のすべてを参照してください。
イベント・レコード N-1	47	66	最後の完全な周期的データはフォルトが検出される前に読み込まれました。
イベント・レコード N-2	67	86	より古いデータ・レコード…
イベント・レコード N-3	87	106	
イベント・レコード N-4	107	126	
イベント・レコード N-5	127	146	

表 2. フォルト・ログのヘッダ情報

レコード	ビット	形式	ブロック・バイト・カウント	詳細
フォルト・ログの前書き	[7:0]	ASC	0	部分的なフォルト・ログまたは完全なフォルト・ログが存在する場合、バイト 0 で始まる LTxx を返します。ワード xx はデバイスごとに変えることができる工場識別子です。
	[7:0]		1	
	[15:8]	Reg	2	
	[7:0]		3	
フォルト発生源	[7:0]	Reg	4	表 3 を参照してください。
MFR_REAL_TIME	[7:0]	Reg	5	フォルト発生時の 48 ビット共有クロック・カウンタの値 (分解能 200µs)。
	[15:8]		6	
	[23:16]		7	
	[31:24]		8	
	[39:32]		9	
	[47:40]		10	
MFR_VOUT_PEAK (PAGE 0)	[15:8]	L16	11	最後の電源投入以来または CLEAR_PEAKS コマンド以来のチャンネル 0 でのピーク READ_VOUT。
	[7:0]		12	
MFR_VOUT_PEAK (PAGE 1)	[15:8]	L16	13	最後の電源投入以来または CLEAR_PEAKS コマンド以来のチャンネル 1 でのピーク READ_VOUT。
	[7:0]		14	
MFR_IOUT_PEAK (PAGE 0)	[15:8]	L11	15	最後の電源投入以来または CLEAR_PEAKS コマンド以来のチャンネル 0 でのピーク READ_IOUT。
	[7:0]		16	
MFR_IOUT_PEAK (PAGE 1)	[15:8]	L11	17	最後の電源投入以来または CLEAR_PEAKS コマンド以来のチャンネル 1 でのピーク READ_IOUT。
	[7:0]		18	
MFR_VIN_PEAK	[15:8]	L11	19	最後の電源投入以来または CLEAR_PEAKS コマンド以来のチャンネル 0 でのピーク READ_VIN。
	[7:0]		20	
READ_TEMPERATURE1 (PAGE 0)	[15:8]	L11	21	最後のイベント発生時の外部温度センサ 0。
	[7:0]		22	
READ_TEMPERATURE1 (PAGE 1)	[15:8]	L11	23	最後のイベント発生時の外部温度センサ 1。
	[7:0]		24	
READ_TEMPERATURE2	[15:8]	L11	25	最後のイベント発生時の内部温度センサ。
	[7:0]		26	

動作

表3. フォルト発生源の値

フォルト発生源の値	フォルト・ログの原因	チャンネル
0x00	TON_MAX	0
0x01	VOUT_OV	
0x02	VOUT_UV	
0x03	IOUT_OC	
0x05	過熱	
0x06	低温	
0x07	VIN_OV	
0x0A	内部温度	
0x10	TON_MAX	1
0x11	VOUT_OV	
0x12	VOUT_UV	
0x13	IOUT_OC	
0x15	過熱	
0x16	低温	
0x17	VIN_OV	
0x1A	内部温度	
0xFF	MFR_FAULT_LOG_STORE	

表4. フォルト・ログのイベント・レコード

データ	ビット	形式	レコード・バイト・インデックス
READ_VOUT (PAGE 0)	[15:8]	L16	0
	[7:0]		1
READ_VOUT (PAGE 1)	[15:8]	L16	2
	[7:0]		3
READ_IOUT (PAGE 0)	[15:8]	L11	4
	[7:0]		5
READ_IOUT (PAGE 1)	[15:8]	L11	6
	[7:0]		7
READ_VIN	[15:8]	L11	8
	[7:0]		9
(不使用)	[15:8]	L11	10
	[7:0]		11
STATUS_VOUT (PAGE 0)	[7:0]	Reg	12
STATUS_VOUT (PAGE 1)	[7:0]	Reg	13
STATUS_WORD (PAGE 0)	[15:8]	Reg	14
	[7:0]		15
STATUS_WORD (PAGE 1)	[15:8]	Reg	16
	[7:0]		17
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 0)	[7:0]	Reg	18
STATUS_MFR_SPECIFIC (PAGE 1)	[7:0]	Reg	19

3882f

動作

工場出荷時のデフォルト動作

LTC3882は、カスタム・プログラミングが要求されていない場合、デフォルトの構成値を不揮発性メモリに格納した状態で工場から出荷されます。これらのコマンド値は、デバイスが初期化されると揮発性RAMに読み込まれます。PMBusコマンドを受け取る前に、在庫品のLTC3882は工場出荷時のデフォルト・モードで動作します。STORE_USER_ALLコマンドが実行されると、不揮発性メモリの内容は内部RAMからのアク

ティブなコマンド値と置き換えられ、この値によって工場出荷時のデフォルトは恒久的に上書きされます。抵抗構成ピンをすべて開放状態のままにした場合のLTC3882の工場出荷時デフォルト動作設定を表5にまとめて示します。これらのデフォルトにより、太字テキストで表に記載されているパラメータは構成抵抗プログラミングによって無効にすることができます。表5には警告の制限値を示しています。理由は、これらの制限値を超えると、PMBusインタフェースを使用していない場合でもALERTピンがアサートされるからです。

表5. 工場出荷時のデフォルト動作のまとめ

パラメータ*	デフォルト設定	単位
PMBus アドレス	チャンネル0へのすべての書き込みがアドレス0x4Fで有効(PECなし)。	-
動作	RUNピン制御およびソフトオフを設定してOPERATIONをイネーブル。	-
入力電圧オフしきい値	6.0	V
入力電圧UV警告制限値	6.3	V
入力電圧オンしきい値	6.5	V
入力電圧OVフォルト制限値	15.5	V
入力電圧OVフォルト応答	ラッチオフ。	-
ソフトスタート時間	8(遅延なし)	ms
最大起動時間(TMAX)	10	ms
TMAXフォルト応答	350msごとに再試行。	-
出力電圧UVフォルト/警告制限値	0.900/0.925	V
出力電圧UVフォルト応答	350msごとに再試行。	-
出力電圧	1.000	V
能動電圧ポジショニング	ディスエーブル状態。	-
出力電圧OV警告/フォルト制限値	1.075/1.100	V
出力電圧OVフォルト応答	350msごとに再試行。	-
シャットダウン	8msのソフトオフ。	-
出力電流検出素子	0.63mΩ(温度係数は3930ppm/°C)。	-
出力電流OC警告/フォルト制限値	20/29.75	A
出力電流OCフォルト応答	無視	-
PWMスイッチング・モード	連続的なインダクタ電流のみ。	-
PWM制御プロトコル	スリーステートPWM。	-
PWMスイッチング周波数	500	kHz
チャンネル0/1の位相	0/180	度(°)
内部過熱警告/フォルト制限値	130/160	°C
内部過熱応答	警告:EEPROMをディスエーブル、フォルト:PWMをディスエーブル。	-
外部低温フォルト制限値	-40	°C
外部低温フォルト応答	350msごとに再試行。	-
外部過熱警告/フォルト制限値	85/100	°C
外部過熱フォルト応答	350msごとに再試行。	-
GPIO	以下のフォルトの場合は“L”をアサート:V _{OUT} UVまたはOV、V _{IN} OV、外部または内部OT、外部UT、TON_MAX、または出力短絡サイクル	-
ALERTのマスキング	ALERTはPLLロックが外れた場合と外部GPIO入力が失われた場合にマスクされる。	-

*太字の項目は外付けの構成抵抗により変更できる

動作

シリアル・インタフェース

LTC3882は、10kHz～400kHzの間の任意の周波数で動作できるPMBus準拠のシリアル・インタフェースを備えています。LTC3882は、標準のPMBusプロトコルを使用して、ホスト(マスタ)と双方向通信を行うバス・スレーブ・デバイスです。関連する「電気的特性」の表の項目に加えて、本書で既出の「タイミング図」により、SDAとSCLのバス信号のタイミング関係を規定しています。バスが使用中でない場合は、SDAおよびSCLを“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。

PMBusはSMBus規格を徐々に拡張したもので、2線式のI²Cインタフェースより堅牢な動作を示します。プロトコル層を加えて相互運用性を向上し、再利用を促進することの他に、PMBusは、システム信頼性確保のためのバスのタイムアウト回復、データ保全性を保証するためのオプションの packets・エラー検査、およびシステムのフォルト管理のための周辺ハードウェア・アラートをサポートします。通常、I²Cバスのマスタとして機能できるプログラム可能デバイスは、ハードウェアにわずかな変更を加えるか、まったく変更することなくPMBus管理用に構成できます。ただし、必ずしもすべてのI²Cコントローラが、PMBusの読み取りに必要な反復始動(再始動)をサポートしているわけではありません。

PMBusで適用されたSMBus規格に対する軽微な拡張および例外の説明については、『PMBus Specification Part I Revision 1.2』の第5節「Transport」を参照してください。

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

最新の『PMBus Power System Management Protocol Specification』の「Part I」を参照して、LTC3882がPMBusシステムのインタフェースとなる仕組み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>に掲載されています。

LTC3882は、SMBusとPMBusの規格に規定されている以下の標準シリアル・インタフェース・プロトコルを使用します。

- クイック・コマンド
- バイト送信
- バイト書き込み
- ワード書き込み
- バイト読み出し

- ワード読み出し
- ブロック読み出し
- ブロック書き込み - ブロック読み出しプロセス呼び出し
- アラート応答アドレス

LTC3882は、どのような環境でもクイック・コマンドのPECを必要としません。LTC3882は、PMBus仕様Part I、セクション5.2.3で要求されるようなグループ・コマンド・プロトコル(GCP)もサポートします。GCPは1回の連続送信で複数のPMBusデバイスへコマンドを送信するために使用します。STATUS_BYTEコマンドなど、受信側のデバイスがデータを使って応答することが必要なコマンドとはGCPを組み合わせてください。GCPを使用する場合の追加の詳細については、PMBus仕様のPart Iを参照してください。

LTC3882のすべてのメッセージ送信タイプは、パケット・エラー検査に対応します。後述する「シリアル通信エラー」のセクションでは、パケット・エラー検査に関する詳細を説明します。

これらのプロトコルを図5～図20に示します。図3はプロトコル図の凡例を示します。すべてのプロトコル要素がどのデータ・パケットにも存在するとは限りません。たとえば、すべてのパケットがパケット・エラー・コードを組み込むよう要求されるとは限りません。これらの図のフィールドの上に示す数は、そのフィールドでのビット数を示します。すべてのデータ伝送は、データ・フローの方向が後続の送信中に何回変わる可能性があるには関係なく、現在のバス・マスタによって開始されます。LTC3882がバス・マスタとして機能することはありません。

このデバイスは、堅牢なシステム通信を保証するためのハンドシェイク機能を内蔵しています。詳細については、「アプリケーション情報」の「PMBusの通信とコマンド処理」のセクションを参照してください。

シリアル・バスのアドレス指定

LTC3882は、次の4種類のシリアル・バス・アドレス指定をサポートします。

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

動作

グローバル・アドレス指定は、バス・マスタがバス上のすべてのLTC3882デバイスと通信する方法を提供します。LTC3882のグローバル・アドレス0x5Aおよび0x5Bは、変更することも無効にすることもできません。アドレス0x5Aに送信されたコマンドは、PAGEコマンドが0xFFに設定されているかのように、両方のチャンネルに適用されます。グローバル・アドレス0x5Bはページ設定されるので、バス上にあるすべてのLTC3882デバイスのチャンネルに限定した制御が可能です。他のLTCデバイス・タイプはこれらのグローバル・アドレスの一方または両方で応答する場合があります。グローバル・アドレスからの読み出しは実行しないことを強く推奨します。

ルール・アドレス指定は、単一の出力電圧(PolyPhase)を生成するために相互に接続しているすべてのチャンネルとバス・マスタが同時に通信する方法を提供します。グローバル・アドレス指定と同様ですが、ルール・アドレスには、ページ設定されたMFR_RAIL_ADDRESSコマンドを動的に割り当てることができるので、信頼できるシステム制御で要求される場合がある

チャンネルの論理的グループ分けに対応します。ルール・アドレスからの読み出しも実行しないことを強く推奨します。

デバイス・アドレス指定は、LTC3882と通信するためにバス・マスタが使用する最も一般的な方法です。デバイス・アドレスの値は、ASEL構成ピンのプログラミングとMFR_ADDRESSコマンドの組み合わせによって設定します。詳細については、前述した「抵抗構成ピン」のセクションを参照してください。

個々のチャンネルのアドレス指定では、バス・マスタが最初にPAGEコマンドを使用することなく、LTC3882の特定のPWMチャンネルと直接通信できます。追加の詳細については、PAGE_PLUSコマンドを参照してください。

4種類のアドレス指定のどれを使用する場合も、注意深い計画立案により、アドレス関連のバスの競合を回避することが必要です。グローバル・アドレスおよびルール・アドレスでのLTC3882デバイスへの通信は、コマンド書き込み動作に限定してください。

S	START CONDITION	
Sr	REPEATED START CONDITION	
Rd	READ (BIT VALUE OF 1)	
Wr	WRITE (BIT VALUE OF 0)	
A	ACKNOWLEDGE (BIT SHOULD BE 0), OR	
NA	NOT ACKNOWLEDGE (BIT SHOULD BE 1)	
P	STOP CONDITION	
PEC	PACKET ERROR CODE	
<input type="checkbox"/>	MASTER TO SLAVE	
<input checked="" type="checkbox"/>	SLAVE TO MASTER	
...	CONTINUATION OF PROTOCOL	3882 F03

図3. PMBus パケット・プロトコル図の凡例

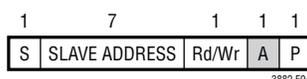


図4. クイック・コマンド・プロトコル

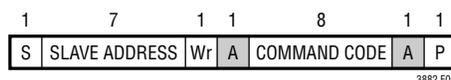


図5. バイト送信プロトコル

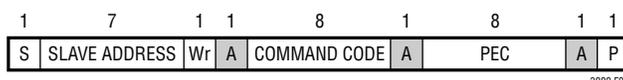


図6. PEC 付きバイト送信プロトコル

動作

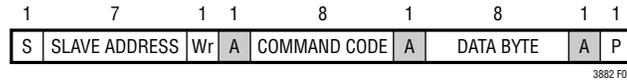


図7. バイト書き込みプロトコル

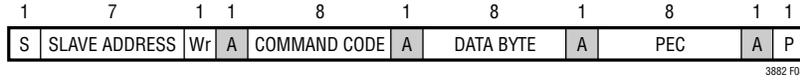


図8. PEC 付きバイト書き込みプロトコル

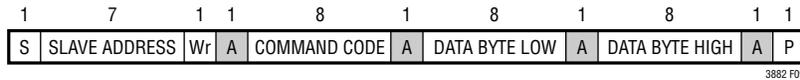


図9. ワード書き込みプロトコル

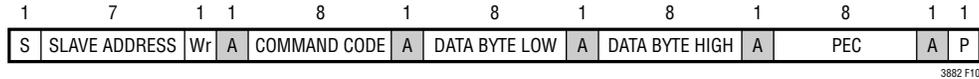


図10. PEC 付きワード書き込みプロトコル

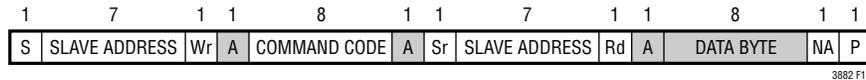


図11. バイト読み出しプロトコル

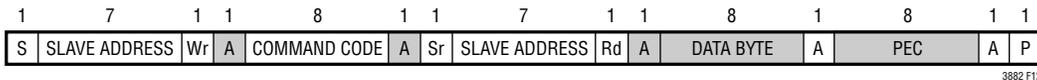


図12. PEC 付きバイト読み出しプロトコル

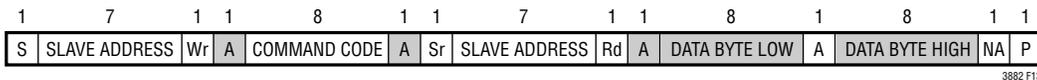


図13. ワード読み出しプロトコル

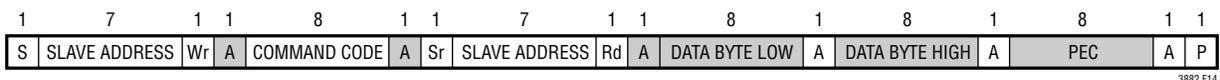


図14. PEC 付きワード読み出しプロトコル

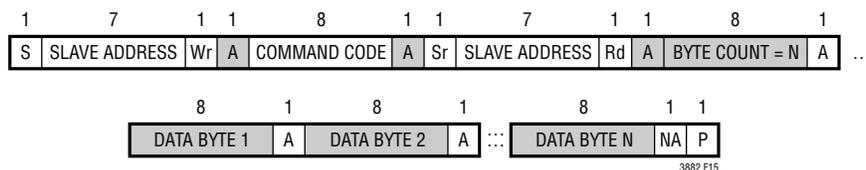


図15. ブロック読み出しプロトコル

動作

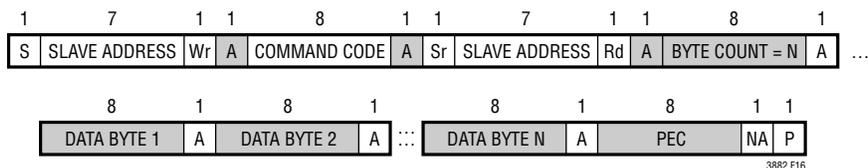


図 16. PEC付きブロック読み出しプロトコル

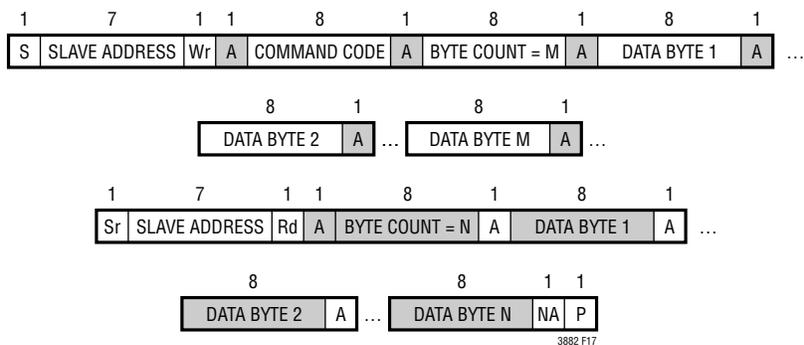


図 17. ブロック書き込み - ブロック読み出しプロセス呼び出し

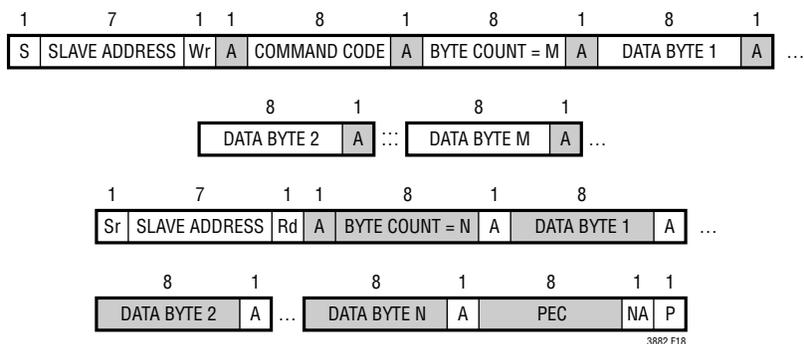


図 18. ブロック書き込み - PEC付きブロック読み出しプロセス呼び出し

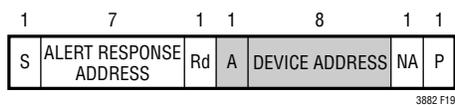


図 19. アラート応答アドレス・プロトコル

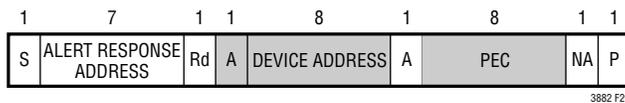


図 20. PEC付きアラート応答アドレス・プロトコル

動作

シリアル・バスのタイムアウト

シリアル・インタフェースのハングアップを防ぐために、LTC3882にはタイムアウト機能が実装されています。データ・パケット・タイマは、SLAVE ADDRESS 書き込みバイトの最初のSTART イベントで動作を開始し、STOP ビットで終了します。パケットの送信はタイマの期限が切れる前に完了する必要があります。完了しない場合、LTC3882はバスをスリーステート化してすべてのメッセージ・データを無視します。データ・パケットの内容は、SLAVE ADDRESS バイト、COMMAND CODE バイト、START バイトおよびSLAVE ADDRESS バイトの繰り返し(読み出し動作の場合)、すべてのACKNOWLEDGE およびフロー制御ビット(R/W)、およびすべてのデータ・バイトです。

パケット・タイマは標準で30msに設定されます。MFR_CONFIG_ALL_LTC3882のビット3が設定されている場合、この期間は255msまで延長されます。LTC3882では、このビットの設定に関係なく、MFR_FAULT_LOGブロック読み出しに対して255msのパケット送信時間が自動的に可能になります。どのような状況でも、タイムアウト期間が t_{TIMEOUT} の規定値(最小25ms)より短くなることはありません。

LTC3882は、PMBusの全周波数範囲である10kHz～400kHzをサポートしています。

シリアル通信エラー

LTC3882は、オプションのPMBusパケット・エラー検査プロトコルをサポートしています。このプロトコルは、該当するメッセージ転送の最後にパケット・エラー・コード(PEC)を付加して、通信の信頼性を向上させます。PECとは、最後のデータ・バイトを送信するバス・デバイスによって計算されるCRC-8エラー検査バイトです。実装に関する追加の詳細については、SMBus仕様1.2以降を参照してください。バス・マスタが要求している場合、LTC3882のすべての読み出し動作は有効なPECを返します。MFR_CONFIG_ALL_LTC3882コマンドのビット2をセットすると、ホストから有効なPECを受信しない限り、デバイスはバス書き込み動作に反応して動作しません。

コマンド書き込み時のPECエラー、サポート対象外コマンドへのアクセス試行、またはサポート対象コマンドへの無効なデータの書き込みは、どれもLTC3882がCMLフォルトが生じる原因になります。その後、STATUS_BYTEおよびSTATUS_WORDコマンド内のCMLビットが設定され、さらに、STATUS_CMLコマンド内の該当ビットが設定されます。

PMBus コマンドの概要

PMBus コマンド

表7は、サポートされているPMBus コマンドとメーカー固有コマンドの一覧です。これらのコマンドに関するその他の詳細については、<http://www.pmbus.org/specs.html>にある『PMBus Power System Management Protocol Specification』のPart IIのRevision 1.2で確認できます。該当のマニュアル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情報については、以下の表に詳細を示します。この表に記載されていない0x00から0xCFまでのすべての標準PMBus コマンドは、LTC3882のサポート外であることを暗に示しています。この表に記載されていない0xD0～0xFFのコマンドは、いずれもメーカーが暗黙のうちに予約済みとしているものです。LTC3882は、この表に記載されていない他のコマンドを実行できる場合があります。該当コマンドは予告なく変更される可能性があります。これらの非掲載コマンドを読み取っても、デバイスの動作に悪影響はありません。CMLフォルトまたはデバイスの望ましくない動作を招く場合があるので、サポート対象外コマンドまたは予備コマンドへの書き込みは避けてください。

PMBus コマンドの受信に処理が追いつかなくなると、デバイスがビジー状態となり新たなコマンドを処理できなくなる場合があります。そのような場合、LTC3882は『PMBus

Specification V1.2, Part II, Section 10.8.7』に規定されたプロトコルに従って、ビジーであることを伝えます。このデバイスは、ビジー応答をなくし、エラー処理ソフトウェアを簡素化して、堅牢な通信とシステム動作を確保するハンドシェイク機能を備えています。詳細については、「アプリケーション情報」セクションの「PMBusの通信とコマンド処理」を参照してください。

リニアテクノロジーは、デバイス・ファミリ間でのPMBus コマンド互換性および機能均一性を確立するために取り組んでいます。ただし、個別の製品要件により違いが生じる場合があります。デバイス間でのPMBus コマンドの互換性をコマンド名だけに基づいて仮定しないでください。コマンド機能の詳細な規定については、必ず各デバイスのメーカーのデータシートを参照してください。

データ形式

PMBus は特定の浮動小数点数形式をサポートし、その他の幅広いデータ形式に対応します。

LTC3882で使用されるデータ形式を表6に示します。これらの形式の省略形が本書全体にわたって現われます。

表6. サポート対象データ形式の省略形

	PMBus		リニアテクノロジーの用語	定義	例
	用語	仕様の参照先			
L11	Linear	Part II ¶7.1	Linear_5s_11s	浮動小数点の16ビット・データ: 値 = $Y \cdot 2^N$, ここで $N = b[15:10]$ および $Y = b[10:0]$ 、どちらも2の補数形式の2進整数。	$b[15:0] = 0x9807 = 10011_000_0000_0111$ 値 = $7 \cdot 2^{-13} = 854E-6$
L16	Linear VOUT_MODE	Part II ¶8.2	Linear_16u	浮動小数点の16ビット・データ: 値 = $Y \cdot 2^{-12}$, ここで $Y = b[15:0]$ 、 符号なしの整数。	$b[15:0] = 0x4C00 = 0100_1100_0000_0000$ 値 = $19456 \cdot 2^{-12} = 4.75$
CF	DIRECT	Part II ¶7.2	多様	PMBus コマンドの詳細な記述で定義されたカスタム形式の16ビット・データ。	多くの場合は符号なしの整数または2の補数形式の整数。
Reg	レジスタ・ビット	Part II ¶10.3	Reg	PMBus コマンドの詳細な説明で定義されているビットごとの意味。	PMBus STATUS_BYTE コマンド。
ASC	テキスト文字	Part II ¶22.2.1	ASCII	ISO/IEC 8859-1 [A05]	LTC (0x4C5443)

PMBus コマンドの概要

表 7. PMBus コマンドの概要

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	デフォルト 値	参照先 ページ
PAGE	0x00	いずれかのページ設定コマンドに現在選択されているチャンネル(ページ)。	R/W Byte	N	Reg			0x00	66
OPERATION	0x01	オン、オフ、およびマージン制御。	R/W Byte	Y	Reg		●	0x80	70
ON_OFF_CONFIG	0x02	RUNピンおよびPMBusのオン/オフ・コマンドの構成。	R/W Byte	Y	Reg		●	0x1E	69
CLEAR_FAULTS	0x03	設定されているすべてのフォルト・ビットをクリアする。	Send Byte	N					88
PAGE_PLUS_WRITE	0x05	指定のページにコマンドを直接書き込む。	W Block	N					66
PAGE_PLUS_READ	0x06	指定のページからコマンドを直接読み取る。	Block R/W Process	N					67
WRITE_PROTECT	0x10	意図しないPMBus変更からデバイスを保護する。	R/W Byte	N	Reg		●	0x00	67
STORE_USER_ALL	0x15	動作メモリ全体をEEPROMに格納する。	Send Byte	N					99
RESTORE_USER_ALL	0x16	動作メモリ全体をEEPROMから復元する。	Send Byte	N					99
CAPABILITY	0x19	サポートされているオプションのPMBus機能の要約。	R Byte	N	Reg			0xB0	68
SMBALERT_MASK	0x1B	ALERT動作をマスクする	Block R/W	Y	Reg		●	CMDの詳細を参照	96
VOUT_MODE	0x20	電圧関連形式(Linear)および指数。	R Byte	Y	Reg			0x14 2 ⁻¹²	76
VOUT_COMMAND	0x21	V _{OUT} の公称値。	R/W Word	Y	L16	V	●	1.0V 0x1000	76
VOUT_MAX	0x24	任意のコマンドによって設定できるV _{OUT} の最大値、マージンを含む。	R/W Word	Y	L16	V	●	5.5V 0x5800	77
VOUT_MARGIN_HIGH	0x25	高いマージンのV _{OUT} 、V _{OUT_COMMAND} より大きい必要がある。	R/W Word	Y	L16	V	●	1.05V 0x10CD	77
VOUT_MARGIN_LOW	0x26	低いマージンのV _{OUT} 、V _{OUT_COMMAND} より小さい必要がある。	R/W Word	Y	L16	V	●	0.95V 0x0F33	77
VOUT_TRANSITION_RATE	0x27	プログラムされている出力変化に合わせたV _{OUT} のスルーレート。	R/W Word	Y	L11	V/ms	●	0.25 0xAA00	81
FREQUENCY_SWITCH	0x33	PWM周波数制御。	R/W Word	N	L11	kHz	●	500kHz 0xFBE8	71
VIN_ON	0x35	電力変換を開始する最小入力電圧。	R/W Word	N	L11	V	●	6.5V 0xCB40	75
VIN_OFF	0x36	電力変換が停止する時点での減少中の入力電圧。	R/W Word	N	L11	V	●	6.0V 0xCB00	75
IOUT_CAL_GAIN	0x38	I _{SENSE} [±] 電圧と検出電流の比。	R/W Word	Y	L11	mΩ	●	0.63mΩ 0xB285	79
VOUT_OV_FAULT_LIMIT	0x40	V _{OUT} の過電圧フォルト制限値。	R/W Word	Y	L16	V	●	1.1V 0x119A	77
VOUT_OV_FAULT_RESPONSE	0x41	V _{OUT} の過電圧フォルト応答。	R/W Byte	Y	Reg		●	0xB8	92
VOUT_OV_WARN_LIMIT	0x42	V _{OUT} の過電圧警告制限値。	R/W Word	Y	L16	V	●	1.075V 0x1133	78
VOUT_UV_WARN_LIMIT	0x43	V _{OUT} の低電圧警告制限値。	R/W Word	Y	L16	V	●	0.925V 0x0ECD	78

PMBus コマンドの概要

表 7. PMBus コマンドの概要

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	デフォルト 値	参照先 ページ
VOUT_UV_FAULT_LIMIT	0x44	V _{OUT} の低電圧フォルト制限値。	R/W Word	Y	L16	V	●	0.9V 0x0E66	78
VOUT_UV_FAULT_RESPONSE	0x45	V _{OUT} の低電圧フォルト応答。	R/W Byte	Y	Reg		●	0xB8	92
IOUT_OC_FAULT_LIMIT	0x46	出力の過電流フォルト制限値。	R/W Word	Y	L11	A	●	29.75A 0xDBB8	79
IOUT_OC_FAULT_RESPONSE	0x47	出力の過電流フォルト応答。	R/W Byte	Y	Reg		●	0x00	93
IOUT_OC_WARN_LIMIT	0x4A	出力の過電流警告制限値。	R/W Word	Y	L11	A	●	20.0A 0xDA80	79
OT_FAULT_LIMIT	0x4F	外部過熱フォルト制限値。	R/W Word	Y	L11	°C	●	100.0°C 0xEB20	82
OT_FAULT_RESPONSE	0x50	外部過熱フォルト応答。	R/W Byte	Y	Reg		●	0xB8	94
OT_WARN_LIMIT	0x51	外部過熱警告制限値。	R/W Word	Y	L11	°C	●	85.0°C 0xEAA8	82
UT_FAULT_LIMIT	0x53	外部低温フォルト制限値。	R/W Word	Y	L11	°C	●	-40.0°C 0xE580	83
UT_FAULT_RESPONSE	0x54	外部低温フォルト応答。	R/W Byte	Y	Reg		●	0xB8	94
VIN_OV_FAULT_LIMIT	0x55	V _{IN} の過電圧フォルト制限値。	R/W Word	N	L11	V	●	15.5V 0xD3E0	75
VIN_OV_FAULT_RESPONSE	0x56	V _{IN} の過電圧フォルト応答。	R/W Byte	Y	Reg		●	0x80	91
VIN_UV_WARN_LIMIT	0x58	V _{IN} の低電圧警告制限値。	R/W Word	N	L11	V	●	6.3V 0xCB26	75
TON_DELAY	0x60	RUNピンまたはOPERATION ONコマンドからTON_RISEランプ開始までの遅延。	R/W Word	Y	L11	ms	●	0.0ms 0x8000	80
TON_RISE	0x61	TON_DELAY後にV _{OUT} が0.0VからVOUT_COMMANDまで上昇する時間。	R/W Word	Y	L11	ms	●	8.0ms 0xD200	80
TON_MAX_FAULT_LIMIT	0x62	TON_DELAY後にV _{OUT} がVOUT_UV_FAULT_LIMITより高くなるまでの最大時間。	R/W Word	Y	L11	ms	●	10.0ms 0xD280	81
TON_MAX_FAULT_RESPONSE	0x63	TON_MAX_FAULT_LIMITを超えた場合のフォルト応答。	R/W Byte	Y	Reg		●	0xB8	95
TOFF_DELAY	0x64	RUNピンまたはOPERATION OFFコマンドからTOFF_FALLランプ開始までの遅延。	R/W Word	Y	L11	ms	●	0.0ms 0x8000	81
TOFF_FALL	0x65	TOFF_DELAY後にV _{OUT} がVOUT_COMMANDから0.0Vまで下降する時間。	R/W Word	Y	L11	ms	●	8.0ms 0xD200	81
TOFF_MAX_WARN_LIMIT	0x66	TOFF_FALL経過後にV _{OUT} がVOUT_COMMANDの12.5%より低くなるまでの最大時間。	R/W Word	Y	L11	ms	●	150ms 0xF258	81
STATUS_BYTE	0x78	1バイト・チャンネルの状態サマリー。	R/W Byte	Y	Reg				83
STATUS_WORD	0x79	2バイト・チャンネルの状態サマリー。	R/W Word	Y	Reg				84
STATUS_VOUT	0x7A	V _{OUT} のフォルトおよび警告の状態。	R/W Byte	Y	Reg				84
STATUS_IOUT	0x7B	I _{OUT} のフォルトおよび警告の状態。	R/W Byte	Y	Reg				85
STATUS_INPUT	0x7C	入力電源のフォルトおよび警告の状態。	R/W Byte	N	Reg				85

PMBus コマンドの概要

表 7. PMBus コマンドの概要

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	デフォルト 値	参照先 ページ
STATUS_TEMPERATURE	0x7D	外部温度のフォルトおよび警告の状態。	R/W Byte	Y	Reg				85
STATUS_CML	0x7E	通信、メモリ、およびロジックのフォルト および警告の状態。	R/W Byte	N	Reg				86
STATUS_MFR_SPECIFIC	0x80	LTC3882 固有の状態。	R/W Byte	Y	Reg				86
READ_VIN	0x88	V _{IN} の測定値。	R Word	N	L11	V			88
READ_VOUT	0x8B	V _{OUT} の測定値。	R Word	Y	L16	V			89
READ_IOUT	0x8C	I _{OUT} の測定値。	R Word	Y	L11	A			89
READ_TEMPERATURE_1	0x8D	外部温度の測定値。	R Word	Y	L11	°C			90
READ_TEMPERATURE_2	0x8E	内部温度の測定値。	R Word	N	L11	°C			90
READ_DUTY_CYCLE	0x94	コマンドで指定された PWM デューティ・ サイクルの測定値。	R Word	Y	L11	%			90
READ_FREQUENCY	0x95	PWM 入力クロック周波数の測定値。	R Word	Y	L11	kHz			90
READ_POUT	0x96	出力電力の計算値。	R Word	Y	L11	W			89
PMBUS_REVISION	0x98	サポート対象の PMBus バージョン。	R Byte	N	Reg			0x22 V1.2	68
MFR_ID	0x99	メーカー識別子。	R String	N	ASC			LTC	100
MFR_MODEL	0x9A	LTC モデル番号。	R String	N	ASC			LTC3882	100
MFR_SERIAL	0x9E	デバイスのシリアル番号。	R Block	N	ASC				100

LTC3882 のカスタム・コマンド

MFR_VOUT_MAX	0xA5	任意の V _{OUT} 関連コマンドの最大値。	R Word	Y	L16	V		5.6V 0x599A	76
USER_DATA_00	0xB0	LTpowerPlay 用の予備の EEPROM ワード。	R/W Word	N	Reg		●		99
USER_DATA_01	0xB1	LTpowerPlay 用の予備の EEPROM ワード。	R/W Word	Y	Reg		●		99
USER_DATA_02	0xB2	OEM 用の予備の EEPROM ワード。	R/W Word	N	Reg		●		99
USER_DATA_03	0xB3	一般的なデータ記憶装置に使用可能な EEPROM ワード。	R/W Word	Y	Reg		●	0x0000	99
USER_DATA_04	0xB4	一般的なデータ記憶装置に使用可能な EEPROM ワード。	R/W Word	N	Reg		●	0x0000	99
MFR_EE_UNLOCK	0xBD	(工場に問い合わせ)							99
MFR_EE_ERASE	0xBE	(工場に問い合わせ)							99
MFR_EE_DATA	0xBF	(工場に問い合わせ)							99
MFR_CHAN_CONFIG_LTC3882	0xD0	LTC3882 のチャンネル固有の構成。	R/W Byte	Y	Reg		●	0x1D	73
MFR_CONFIG_ALL_LTC3882	0xD1	LTC3882 のデバイス・レベルの構成。	R/W Byte	N	Reg		●	0x01	69
MFR_GPIO_PROPAGATE_LTC3882	0xD2	LTC3882 の状態伝播を GPIO _n ピンを介して 構成する。	R/W Word	Y	Reg		●	0x6993	97
MFR_VOUT_AVP	0xD3	V _{OUT} 負荷線を指定する。	R/W Word	Y	L11	%	●	0% 0x8000	77
MFR_PWM_MODE_LTC3882	0xD4	LTC3882 のチャンネル固有の PWM モード制御。	R/W Byte	Y	Reg		●	0x48	74
MFR_GPIO_RESPONSE	0xD5	GPIO _n ピンが“L”の場合の PWM 応答。	R/W Byte	Y	Reg		●	0xC0	97
MFR_OT_FAULT_RESPONSE	0xD6	内部過熱フォルト応答。	R Byte	N	Reg			0xC0	94

PMBus コマンドの概要

表 7. PMBus コマンドの概要

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	デフォルト 値	参照先 ページ
MFR_IOUT_PEAK	0xD7	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降最大の IOUT 測定値。	R Word	Y	L11	A			89
MFR_RETRY_DELAY	0xDB	フォルト後の再試行前の最小時間。	R/W Word	Y	L11	ms	●	350ms 0xFABC	95
MFR_RESTART_DELAY	0xDC	LTC3882 が RUN ピンを“L”に保持する最小時間。	R/W Word	Y	L11	ms	●	500ms 0xFBE8	80
MFR_VOUT_PEAK	0xDD	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降最大の VOUT 測定値。	R Word	Y	L16	V			89
MFR_VIN_PEAK	0xDE	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降最大の VIN 測定値。	R Word	N	L11	V			89
MFR_TEMPERATURE_1_PEAK	0xDF	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降最大の外部温度測定値。	R Word	Y	L11	°C			90
MFR_CLEAR_PEAKS	0xE3	すべてのピーク値をクリアする。	Send Byte	N					90
MFR_PADS_LTC3882	0xE5	選択されている LTC3882 パッドの状態。	R Word	N	Reg				87
MFR_ADDRESS	0xE6	右ぞろえした 7 ビットのデバイス・アドレスを指定する。	R/W Byte	N	Reg		●	0x4F	68
MFR_FAULT_LOG_STORE	0xEA	フォルト・ログを動作メモリから EEPROM へ強制的に転送する。	Send Byte	N					99
MFR_FAULT_LOG_CLEAR	0xEC	既存の EEPROM フォルト・ログを消去する。	Send Byte	N					98
MFR_FAULT_LOG	0xEE	フォルト・ログ・データを読み取る。	R Block	N	Reg				98
MFR_COMMON	0xEF	LTC の包括的なデバイス状態報告。	R Byte	N	Reg				87
MFR_COMPARE_USER_ALL	0xF0	動作メモリの内容を EEPROM の内容と比較する。	Send Byte	N					99
MFR_TEMPERATURE_2_PEAK	0xF4	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降最大の内部温度測定値。	R Word	N	L11	°C			90
MFR_PWM_CONFIG_LTC3882	0xF5	両方のチャンネルに共通の LTC3882 PWM 構成。	R/W Byte	N	Reg		●	0x14	72
MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC	0xF6	出力電流検出素子の温度係数。	R/W Word	Y	CF	ppm/°C	●	3900ppm/°C 0x0F3C	79
MFR_TEMP_1_GAIN	0xF8	外部温度計算のための勾配。	R/W Word	Y	CF		●	1.0 0x4000	82
MFR_TEMP_1_OFFSET	0xF9	外部温度計算のためのオフセット加数。	R/W Word	Y	L11	°C または V	●	0.0 0x8000	82
MFR_RAIL_ADDRESS	0xFA	PolyPhase 出力を構成するチャンネルに対して、右ぞろえした独自の 7 ビット・アドレスを指定する。	R/W Byte	Y	Reg		●	0x80	68
MFR_RESET	0xFD	電源を切らずに完全リセットを強制する。	Send Byte	N					70

NVM の ● は、STORE_USER_ALL を使用して内部 EEPROM に格納されたコマンド値か、電源投入時あるいは RESTORE_USER_ALL または MFR_RESET の実行時に内部 EEPROM から RAM に戻されたコマンド値を示します。

アプリケーション情報

効率に関する検討事項

通常、LTC3882アプリケーションの主な目的の1つは、実用上最も高い変換効率を得ることです。スイッチング・レギュレータの効率は、出力電力を入力電力で割った値に等しくなります。個々の損失を解析して、効率を制限する要素がどれかを突き止め、また何が変われば効率が最も改善されるかを把握することが、多くの場合有益です。こうした個々の損失のバランスを維持することや制限することが、以降の数セクションにわたって概説する部品選択の過程で主要な役割を果たします。

パーセント表示での効率は、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ト値で表した個々の損失で、一般化すると次のようになります。

$$100 \cdot P_{L_n} / P_{IN}$$

システム内の電力を消費するすべての要素で損失が発生しますが、LTC3882アプリケーションでの損失の大部分は、通常、次の4つが主な発生源となります。それは、デバイスの電源電流、 I^2R 損失、上側パワーMOSFETの遷移損失、および全ゲート駆動電流です。

1. LTC3882デバイスの電源電流は、「電気的特性」の表に示すDC値です。デバイス自体によって発生する絶対的な損失は、おおよそこの電流に V_{CC} 電源電流を掛けた値です。デバイスの電源電流による損失は、通常は小さな値です(0.1%未満)。
2. I^2R 損失は主にMOSFET、インダクタ、PCB配線、および出力コンデンサのESRのDC抵抗で生じます。各MOSFETはサイクルの一部でしかオンにならないので、MOSFETのオン抵抗は実質的にサイクルがオンになる割合を掛けた値になります。したがって、降圧比の高いアプリケーションでは、下側MOSFETのオン抵抗 $R_{DS(ON)}$ を上側MOSFETより大幅に小さくします。PCBの電力経路のレイアウトに注意を払ってこの抵抗を最小限に抑えることが非常に重要です。2相、1.2Vのシステムの場合、出力に $1m\Omega$ のPCB抵抗があると、出力を60Aで動作させたときに効率が5%低下します。
3. 遷移損失は上側MOSFETだけに生じ、しかも高入力電圧(通常12V以上)で動作しているときに大きくなります。こ

の損失を最小限に抑えるには、駆動抵抗が非常に小さいドライバを選択して、ゲート電荷 Q_G 、ゲート抵抗 R_G 、およびミラー容量 C_{MILLER} が小さいMOSFETを選択します。遷移損失の絶対値は次式により概算できます。

$$P_{TRANS} = (1.7) \cdot V_{IN}^2 \cdot I_{OUT} \cdot C_{MILLER} \cdot f_{PWM}$$

4. ゲート駆動電流は、上側MOSFETと下側MOSFETのゲート電荷の総量に動作周波数を掛けた値に等しくなります。これらの電荷はFETドライバによって加えられたゲート電圧に基づいており、図21に示すようなメーカーの曲線から割り出すことができます。多くのドライバICは、上側と下側のFETに非対称のゲート電圧を使用します。

その他の損失の要因には、ドライバに起因する非重複時間間のボディ・ダイオードまたはショットキ・ダイオードの導通、インダクタのコア損失などがあります。後の方の分類が占める割合は、一般に全追加損失の2%未満です。

PWM周波数とインダクタの選択

PWMスイッチング周波数の選択は、効率、トランジェント応答、部品サイズ間の兼ね合いになります。高周波動作では、インダクタと出力コンデンサのサイズが小さくなり、制御ループの最大実効帯域幅が広がります。ただし、遷移損失とスイッチング損失が増加することにより、効率は一般に低下します。インダクタの値はスイッチング周波数 f_{PWM} および降圧比と関係があります。この値はチョークのリプル電流要件を満たすように選択する必要があります。インダクタの値は次式を使用して計算できます。

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

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

インダクタの飽和電流定格は、過渡状態のときのピーク・インダクタ電流よりも大きくする必要があります。 I_{OUT} が最大定格負荷電流である場合、最大トランジェント電流 I_{MAX} には、通常、 I_{OUT} より一定の倍率で大きい値(たとえば $1.6 \cdot I_{OUT}$)を選択します。

アプリケーション情報

最小飽和電流定格は、検出抵抗やインダクタのDCRの製造によるばらつきや温度変化に対して余裕を持たせた値を選択します。ISATの妥当な値は $2.2 \cdot I_{OUT}$ です。

電流制限設定値IOUT_OC_FAULT_LIMITは、インダクタが決して飽和しないように十分小さい値にすると同時に、トランジェント状態のときに電流が増加できるように十分大きい値にして、DCRの変動に対する余裕を持たせる必要があります。たとえば、

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

$$I_{MAX} = 1.6 \cdot I_{OUT} \text{ の場合、}$$

妥当な出力電流制限値は次のようになります。

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

Lの値が求まったら、インダクタの種類を選択する必要があります。高効率コンバータは低価格の鉄粉コアに見られるコア損失は一般に許容できないので、もっと高価なフェライトまたはモリパーマロイのコアを使用せざるを得ません。また、インダクタンスが大きくなるに従ってコア損失は減少します。残念ながら、インダクタンスを大きくするにはワイヤの巻数を増やす必要があり、インダクタンスを大きくすると銅損が増加します。

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

パワー MOSFET の選択

LTC3882には外付けのNチャンネル・パワー MOSFETが1チャンネルに2個以上必要です。上側(メイン)スイッチ用に1個と、下側(同期)スイッチ用に1個または複数個です。選択するMOSFETの数、型、およびオン抵抗については、降圧比とFET回路の位置(メイン・スイッチか同期スイッチか)を考慮に入れてください。出力電圧が入力電圧の1/3より低いアプリケーションの上側MOSFETには、小型で入力容量の小さなMOSFETを使用します。動作周波数が300kHzより高く、VINがVOUTよりはるかに高いアプリケーションでは、上側MOSFETのオン抵抗は、その入力容量に比べると、全体の効

率にとって通常はあまり重要ではありません。MOSFETメーカーは、スイッチング・レギュレータのアプリケーションのメイン・スイッチ用に、オン抵抗が適度に低く、入力容量を大幅に下げた専用デバイスを設計しています。

パワー MOSFETの選択基準には、オン抵抗、ゲート電荷、ミラー容量、ブレイクダウン電圧、最大出力電流などがあります。

効率を最大にするには、RDS(ON)とQGを最小限に抑えます。RDS(ON)を小さくすると導通損失が最小限に抑えられ、QGを小さくするとスイッチング損失と遷移損失が最小限に抑えられます。MOSFETのゲート電荷は、ほとんどのデータシートに含まれる標準的ゲート電荷曲線(図21)から得られます。

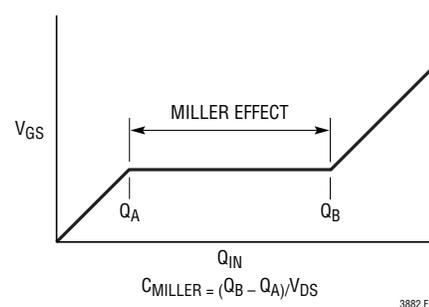


図21. MOSFETの標準的なゲート電荷曲線

CMILLERは上側MOSFETの遷移損失項を決める最重要選択基準ですが、MOSFETのデータシートで直接規定されてはいません。CMILLERは、図21の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、規定のVDSの変化量で割ったものに等しくなります。その後、この結果に、実際のアプリケーションのVDSとゲート電荷曲線で規定されているVDSの比を掛けます。コントローラが連続モードで動作しているとき、上側MOSFETと下側MOSFETのデューティ・サイクルは、以下の式で与えられます。

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

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

アプリケーション情報

最大出力電流でのメイン MOSFET と同期 MOSFET の電力損失は以下の式で与えられます。

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

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

ここで、 δ は $R_{\text{DS(ON)}}$ の温度依存性、 R_{DR} は上側ドライバの実効抵抗、 V_{IN} はドレイン電位および特定のアプリケーションでのドレイン電位の変化です。 V_{GG} は印加したゲート電圧、 $V_{\text{TH(IL)}}$ はパワー MOSFET データシートで規定されている、規定のドレイン電流時の標準的なゲートしきい値電圧で、 C_{MILLER} は前述した技術を使用して計算した容量です。

MOSFET の $(1 + \delta)$ の項は、一般に、正規化された $R_{\text{DS(ON)}}$ と温度の関係を示す曲線から得られます。 δ の標準値は、使用される個々の MOSFET に応じて $0.005^\circ\text{C} \sim 0.01^\circ\text{C}$ の範囲になります。

I^2R 損失は両方の MOSFET に共通していますが、上側 N チャネルの損失には遷移損失も含まれており、これは入力電圧が高いときに最も大きくなります。 $V_{\text{IN}} < 20\text{V}$ では、大電流での効率は一般に大きい MOSFET を使用すると向上しますが、 $V_{\text{IN}} > 20\text{V}$ では遷移損失が急激に増加し、 $R_{\text{DS(ON)}}$ が大きく C_{MILLER} が小さい MOSFET を使用した方が実際には効率が高くなる点に達します。同期 MOSFET の損失は、上側スイッチのデューティ・ファクタが低く入力電圧が高い場合、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。

複数の MOSFET を並列に接続して $R_{\text{DS(ON)}}$ を小さくし、必要に応じて電流および熱の要件を満たすことができます。

ディスクリートのドライバと MOSFET を使用する場合、ドレイン-ソース間電圧をデバイスの端子で個別に直接測定することによって MOSFET に加わる電圧をチェックします。MOSFET の最大電圧定格を超えることがある誘導性のリンギングに注意してください。このリンギングを防止できず、デバイスの最大定格を超える場合には、より高い定格電圧の MOSFET を選択します。

MOSFET ドライバの選択

LTC3882 の 3.3V PWM 制御出力と互換性があるインタフェースを備えた、ゲート・ドライバ IC、DrMOS デバイス、およびパワー・ブロックを使用できます。高インピーダンス状態のときは、選択したドライバによっては、スリーステート制御電圧出力をレールの中に設定するのに外付け抵抗分割器が必要な場合があります。場合によっては、オープンドレインのイネーブル制御回路を特定の FET ドライバに接続するのに外付けのプルアップ抵抗が必要な場合があります。これらの外部ドライバ/パワー回路は、通常は LTC3882 の PWM 出力に重い容量性負荷を与えません。LTC4449 などの適切なドライバは、大きなゲート容量を高い遷移速度でドライブすることができます。実際、ゲート電荷量が非常に少ない MOSFET をドライブするときには、小さなゲート抵抗 (5Ω 以下) を追加することによってドライバを減速させることが、高速遷移に起因するノイズや EMI を低減するのに有効な場合があります。

PWM プロトコルの使用

選択したドライバを正常に使用するには、適切な LTC3882 PWM 制御プロトコルをプログラムする必要があります。LTC3882 は、広範囲の PWM 制御プロトコルをサポートしています。PMBus コマンド `MFR_PWM_MODE_LTC3882` のビット [2:1] を参照してください。

LTC3882 を初めて初期化すると、基本的な 1 線式 3 ステート制御が選択されます。これにより、PWM ピンは高インピーダンスになり、軽いプルダウン・テスト電流が EN の負荷になります。このプロトコル (ビット [2:1] = 0x0) では、EN は追加のサブプロトコル機能を選択する入力として機能します。EN をフロートのままにするかグランドに接続すると、DCM 動作が可能になります。EN を V_{DD33} に配線 (3.3k でプルアップを推奨) すると、`MFR_PWM_MODE_LTC3882` ビット 0 の状態に関係なく、ソフトスタート中であっても、すべての DCM 動作がディスエーブルされます。

これらのサブプロトコルの最初のもは、LTC4449 などのダイオード・エミュレーション状態 (PWM サイクルの何分の 1 以内に上側と下側の両方のパワー MOSFET がディスエーブルされる状態) までの遅延時間が十分に短い単一の 3 ステート入力によって制御されるドライバが対象です。2 番目のサブプロトコルは、単一の 3 ステート制御入力を備えたその他の 3.3V 互換ドライバをすべて処理します。

アプリケーション情報

EEPROMから設定プロトコルを読み出して設定するのに、LTC3882は初期化を開始してから最大70ms必要な場合があります。このプロトコルは、PWM動作を開始する前に必ず適用されます。ただし、 V_{IN} システム電源の急速な印加が初期化の原因である場合、LTC3882のPWM出力は、この時間内にパワーFET制御の所望のレベルを維持する最良の状態にならない場合があります。これが特に当てはまるのは、 V_{CC} がコントローラの電源で、 V_{IN} の印加後にランプアップ遅延がある場合です。

V_{IN} が急速に印加された場合、システム電源は上側FETに直ちに電力を供給できるので、高インピーダンスのPWM出力を簡単に動かすことが可能になり、 dV/dt 電流が寄生容量を流れます。この状況になると、パワー段の設計によっては、パワー段が損傷する可能性や V_{OUT} が制御不能になる可能性があります。

以下の場合には、10k以下の抵抗を検討して、初期化中にパワー段の制御を維持するのに役立てることを強く推奨します。プロトコル0x1の場合、この抵抗はENとグラウンドの間に配置します。プロトコル0x3の場合、この抵抗はTGとグラウンドの間に配置します。プロトコル0x2の場合は、外付けの信号FETを別個のPOR回路で制御してENをアクティブに“L”にすることが必要な場合があります。これらの追加安全対策が必要かどうかを判断するには、起動時に実際のパワー段を慎重に評価することを推奨します。

C_{IN} の選択

LTC3882回路の入バイパス容量は、ESRを十分小さくして、上側MOSFETがオンしたときの電源電圧の低下を小さく抑え、RMS電流能力が入力のリプル電流に十分に耐えて、さらに、入力電源が差を補うことが可能になるまで入力電圧を維持するのに十分なほど容量値が大きい必要があります。一般に、最初の2つの要件を満たすコンデンサ(特に非セラミック・タイプ)は、容量に基づく低下を制御範囲内に抑えるのに必要な容量よりはるかに大きな容量を備えています。

入力容量の電圧定格は最大入力電圧の1.4倍以上にします。ESRによる電力損失が、コンデンサ自体の I^2R 損失として発生します。入力コンデンサのRMS電流と、この電流の前段の入力回路網への影響は、PolyPhaseアーキテクチャによって低減されます。ワーストケースのRMS電流はコントローラが片方だけ動作しているときに生じることが分かります。最大RMS電流要件を求めるには、 $(V_{OUT})(I_{OUT})$ 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。他方の位相非同調コントローラから流れ出す出力電流を増やすと、入力RMSリップル電流がこの最大値から減少します。位相のずれた2つのチャンネルの動作により、通常は入力コンデンサのRMSリップル電流が30%~70%減少します。

インダクタの連続導通モードでは、上側パワーMOSFETのソース電流は、デューティ・サイクルがほぼ V_{OUT}/V_{IN} の方形波になります。この場合、コンデンサの最大RMS電流は次式で与えられます。

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

この式は、 $V_{IN} = 2V_{OUT}$ で次の最大値を取ります。

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

設計ではこの単純なワーストケース条件がよく使用されます。条件を大きく変化させても状況がそれほど改善されないからです。

多くの場合、メーカーの規定するコンデンサのリプル電流定格はわずか2000時間の寿命に基づいていることに注意してください。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。設計でのサイズまたは高さの要件を満たすため、数個のコンデンサを並列に接続することもできます。疑問点については、必ずメーカーに問い合わせてください。

入力コンデンサとしてセラミック・コンデンサ、タンタル・コンデンサ、半導体電解コンデンサ(OS-CON)、ハイブリッド導電性高分子コンデンサ(SUNCON)、およびスイッチャ定格電解コンデンサを使用できますが、それぞれに欠点があります。セラミック・コンデンサは静電容量の電圧係数が高く、可聴圧電効果を持つ場合があります。タンタル・コンデンサはサージ定格を確認する必要があります。OS-CONは、インダクタンスが高い場合やケース・サイズが大きい場合に性能が低下し、表面実装の適用範囲に制限があります。電解コンデンサはESRが大きく、水分が完全に抜ける可能性があります。三洋電機のOS-CON SVP(D)シリーズ、三洋電機のPOSCAP TQCシリーズ、またはパナソニックのEE-FTシリーズのアルミ電解コンデンサを数個の高性能セラミック・コンデンサと並列に接続して使用することによって、低ESRと大きなバルク容量を実現する効果的な手段が得られます。

アプリケーション情報

PWMバルク入力コンデンサに加えて、小容量(0.01 μ F ~ 1 μ F)のバイパス・コンデンサをLTC3882の近くに配置し、デバイスのVINSNSピンとグラウンドの間に接続することも推奨します。バルク容量 C_{IN} とVINSNSピンの間に小さな抵抗を置くと、2つのチャンネルはさらに分離されます。ただし、VINSNSピンのこうしたR-C回路網の時定数が30nsを超えると、動的な入力トランジェント応答に悪影響を及ぼすことがあります。

C_{OUT} の選択

C_{OUT} は主に電圧リップルと負荷ステップ・トランジェントを最小限に抑えるために必要なESRに基づいて選択します。出力リップル(ΔV_{OUT})は次式によりほぼ制限されます。

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

ここで、 ΔI_L はインダクタのリップル電流です。

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

ΔI_L は入力電圧とともに増加するので、出力リップル電圧は最大入力電圧で最も高くなります。一般に、ESRの要件が満たされれば、その容量はフィルタリングに対して十分であり、必要なRMS電流定格を備えています。

三洋電機、パナソニック、Cornell Dubilierなどのメーカーの高性能スルーホール・コンデンサを検討する必要があります。三洋電機製OS-CON半導体電解コンデンサは、ESRとサイズの積が良い値を示します。分極コンデンサと並列にセラミック・コンデンサを追加して、リード・インダクタンスの影響を相殺することを推奨します。

表面実装のアプリケーションでは、アプリケーションのESRまたはトランジェント電流処理の要件を満たすため、複数のコンデンサの並列接続が必要になることがあります。アルミ電解コンデンサと乾式タンタル・コンデンサの両方とも表面実装パッケージで供給されています。新型の特殊ポリマー表面実装コンデンサもESRは非常に小さいのですが、単位体積あたりの容量密度ははるかに低くなります。タンタル・コンデンサの場合、スイッチング電源に使用するためのサージ試験が実施されていることが不可欠です。優れた出力コンデンサの選択肢としては、三洋電機のPOSCAP TPD/E/Fシリーズ、

KemetのT520、T530およびA700シリーズ、NEC/トーキン NeoCapacitor、パナソニックのSPシリーズのコンデンサなどがあります。その他の適切なコンデンサ・タイプとしては、ニチコンのPLシリーズやSpragueの595Dシリーズがあります。その他の特長についてはメーカーにお問い合わせください。

帰還ループ補償

LTC3882は、PolyPhaseアプリケーションで優れた位相間電流分担を行う補助の専用電流分担ループを備えた電圧モード・コントローラです。電流分担ループは内部で補償されます。

ESRが大きいバルク・コンデンサを使用する場合など、アプリケーションによっては、電圧制御ループに対してタイプ2の補償で十分かもしれませんが、最適なトランジェント応答を得るにはタイプ3の補償回路とセラミック・コンデンサを推奨します。

LTC3882の一方のチャンネルのエラーアンプEAの簡略図を図22に示します。エラーアンプの正の入力は、1.024Vリファレンスが電力を供給する内部12ビットDACの出力に接続されますが、負の入力はFBピンおよび他の内部回路(すべて表示せず)に接続されます。R1はデバイス内部にあり、値の範囲は「電気的特性」の表の R_{VSFB} パラメータにより与えられます。出力はCOMPに接続されます。PWMコントローラは必要な出力デューティ・サイクルをこのCOMPから導出します。オーバーシュートの回復時間を短くするため、COMPピンの最大電位は内部でクランプされています。

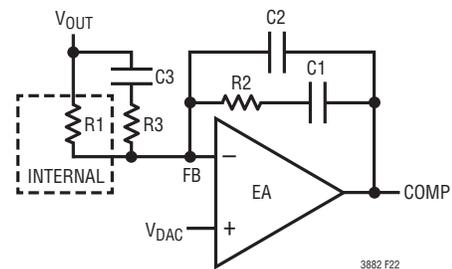


図22. タイプ3補償回路

トランスコンダクタンス(g_m)アンプを使用する多くのレギュレータとは異なり、LTC3882は、FBピンを仮想グラウンドとする反転加算アンプ・トポロジーを使用して設計されています。これにより、外付け部品によって帰還利得を厳密に制御できます。これは単純な g_m アンプでは不可能です。電圧帰還アンプ

アプリケーション情報

には、ポールとゼロの位置を選択できる柔軟性もあります。特に、タイプ3の補償回路を使用できるので、LCポール周波数で位相が増強され、図23に示すように制御ループの位相余裕が大幅に改善されます。

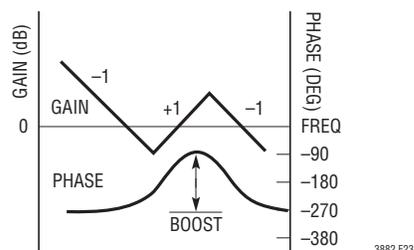


図23. タイプ3補償回路の周波数応答

標準的なLTC3882回路では、この制御アンプと補償回路網のまわりで閉じている帰還ループは、ライン・フィードフォワード回路、変調器、外付けインダクタ、および出力コンデンサで構成されます。これらの部品すべてがループ動作に影響を与えるので、周波数補償の観点から考慮する必要があります。

変調器はPWM発生器、出力MOSFETドライバおよび外付けMOSFET自体で構成されます。降圧変調器の利得は、入力電圧とともに直線的に変化します。ライン・フィードフォワード回路はこの利得の変化を補償するので、エラーアンプ出力COMPからインダクタ入力(平均DC電圧)への利得 A_{MOD} が V_{IN} に関係なく一定(4V/V)になります。ライン・フィードフォワード回路と変調器の組み合わせは、標準的なループ補償周波数でのAC動作がきわめて良好な、COMPからインダクタ入力までが線形の電圧伝達関数のように動作します。スイッチング周波数の半分までは、この伝達関数に大きな位相シフトが発生し始めることはありません。

外付けインダクタ/出力コンデンサの組み合わせにより、ループ動作への影響がさらに大きくなります。これらの部品により、PWM波形をフィルタ処理する2次振幅のロールオフが生じるので、目的のDC出力電圧が得られます。ただし、このフィルタによって発生する追加の180°位相シフトにより、帰還ループ内での安定性の問題が発生するので、周波数を補償する必要があります。周波数が高くなると、出力コンデンサのリアクタンスがそのESRに近づき、コンデンサによるロールオフが止まり、傾きが-20dB/decade、位相シフトが90°になります。

図25に示すタイプ3の伝達関数は、次式で与えられます。

$$\frac{V_{COMP}}{V_{OUT}} = \frac{-(1+sC1R2)[1+s(R1+R3)C3]}{sR1(C1+C2)[1+s(C1//C2)R2](1+sC3R3)}$$

エラーアンプ両端のRC回路網とフィードフォワード部品R3およびC3によって2つのポールとゼロの対が生じ、システムのユニティゲイン(クロスオーバー)周波数 f_c で位相ブーストが得られます。理論的には、ゼロとポールは f_c の前後に対称に配置され、ゼロとポールの間の開きは f_c に必要な位相ブーストが得られるように調整されます。ただし、実際には、クロスオーバー周波数がLCのダブルポール周波数よりはるかに高い場合、この周波数補償の手法では通常、ユニティゲイン帯域幅内に位相の減少箇所が生じるので、条件付き安定性に関する問題がいくらか生じます。

条件付き安定性が問題になる場合、エラーアンプのゼロを低い周波数に移動して位相が減少しすぎないようにします。次式を使って帰還補償部品の値を計算することができます。

$$f_{LC} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{OUT}}}$$

$$f_{ESR} = \frac{1}{2\pi R_{ESR} C_{OUT}}$$

以下のように選択します。

$$f_c = \text{crossover frequency} = \frac{f_{PWM}}{10}$$

$$f_{Z1(ERR)} = f_{LC} = \frac{1}{2\pi R2 C1}$$

$$f_{Z2(RES)} = \frac{f_c}{5} = \frac{1}{2\pi(R1+R3)C3}$$

$$f_{P1(ERR)} = f_{ESR} = \frac{1}{2\pi R2(C1//C2)}$$

$$f_{P2(RES)} = 5f_c = \frac{1}{2\pi R3 C3}$$

アプリケーション情報

周波数 f_c での必要なエラーアンプの利得は以下のようになります。

$$\approx 40 \log \sqrt{1 + \left(\frac{f_c}{f_{LC}}\right)^2} - 20 \log \sqrt{1 + \left(\frac{f_c}{f_{ESR}}\right)^2} - 15.56$$

抵抗 R_1 (選択された V_{OUT} 範囲の関数) の値とポール/ゼロの位置が決まると、 R_2 、 C_1 、 C_2 、 R_3 、 C_3 の値は前の式から求めることができます。

スイッチング電源の帰還ループの補償は複雑な作業になります。このデータシートに示すアプリケーションには標準値が記載されており、表示の電源部品に合わせて最適化されています。類似した電源部品も使用できますが、主要な電源部品の1つでも値を大きく変更すると、性能が大幅に低下する可能性があります。安定性は回路基板のレイアウトにも左右されます。計算された部品の値を検証するため、新しい回路設計はすべてプロトタイプを作成して安定性をテストします。

PCB レイアウトに関する検討事項

電磁放射と高周波共振の問題を防ぎ、デバイスの正しい動作を確保するには、LTC3882 に接続する部品の適切なレイアウトが不可欠です。図 24 を参照してください。この図は電流波形が通常は回路分岐内に存在することも示しています。DCR による検出を使用する場合は、 R_{SENSE} を完全短絡に置き換えます。効率を最大限に高めるために、スイッチ・ノードの立ち上がり時間と立ち下がり時間をできるだけ短くすることが必要です。以下に示す PCB 設計の優先リストは、適正な配置の確保に役立ちます。

1. グランド層または DC 電圧層を電源層と小信号層の間に配置します。一般に、電源プレーンはトップ層 (4 層 PCB) に配置し、4 層を超える層を使用する場合はトップ層とボトム層に配置します。パワー部品の銅トレースは広くするか短くして、電源プレーン・ビア周辺での熱安全弁の不適切な使用を回避し、抵抗とインダクタンスを最小限に抑えてください。
2. 低 ESR の入力コンデンサをスイッチング FET 電源接続箇所とグランド接続箇所にできるだけ近づけ、可能な最短の銅トレースで配置します。スイッチング FET は入力コンデンサと同じ銅層に配置して、 C_{IN} に共通の上側ドレイン接続箇所を設ける必要があります。2 つのチャ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。これらを接続する目的ではビアを使用しないでください。
3. ディスクリット FET ドライバを使用する場合は、その IC をスイッチング FET のゲート端子近くに配置し、接続トレースを短くしてクリーンな駆動信号が生成されるようにします。この規則は、ドライバ IC の電源と、スイッチング FET のソース・ピンに接続するグランド・ピンにも適用されます。ドライバ IC は、スイッチング FET から見て PCB の反対側に配置することができます。
4. インダクタの入力はスイッチング FET にできるだけ近づけて配置します。スイッチ・ノードの表面積は最小限に抑えてください。最大出力電流をサポートするために必要な最小のトレース幅にします。銅の充填や流し込みは避けてください。接続配線を複数の銅層で並列にしないようにしてください。スイッチ・ノードから他のトレースまたはプレーンまでの容量を最小限に抑えてください。
5. 出力電流検出抵抗 (使用する場合は)、インダクタ出力のすぐ近くに配置します。電圧および電流をリモート検出するための PCB トレースは、配線されているどの層でも、可能な最小の間隔で、対にして一緒に LTC3882 に戻します。高周波スイッチング信号の発生を防止し、グランド・プレーンを使用して遮蔽を最適にしてください。ケルビン検出の場所ではなく、LTC3882 の近くにあるこれらのトレースにすべてのフィルタ部品を配置します。ただし、DCR による検出を使用する場合は、上側の抵抗 (R_1 、図 25) をスイッチ・ノードの近くに配置します。
6. 低 ESR の出力コンデンサを検出抵抗の出力およびグランドの近くに配置します。出力コンデンサのグランド接続は、システム・グランドに戻って接続する前に、入力コンデンサのグランドに接続するのと同じ銅領域に配線します。
7. スwitchング・グランドをシステム・グランド、小信号アナログ・グランド、またはいずれかの内部グランド・プレーンに接続する場合は、1 点で行います。システムの内部にシステム・グランド・プレーンがある場合は、ビアを星形の 1 点にクラスタ化して接続するとうまくいきます。このクラスタはデバイスの GND パドルの直下に配置します。GND パドルは、アナログ信号グランドおよび V_{OUT1} の負電圧検出点の両方として機能します。グランド網を個別に作成し、次に 0Ω の抵抗を使用してシステム・グランドに接続する CAD 技法が役立ちます。

アプリケーション情報

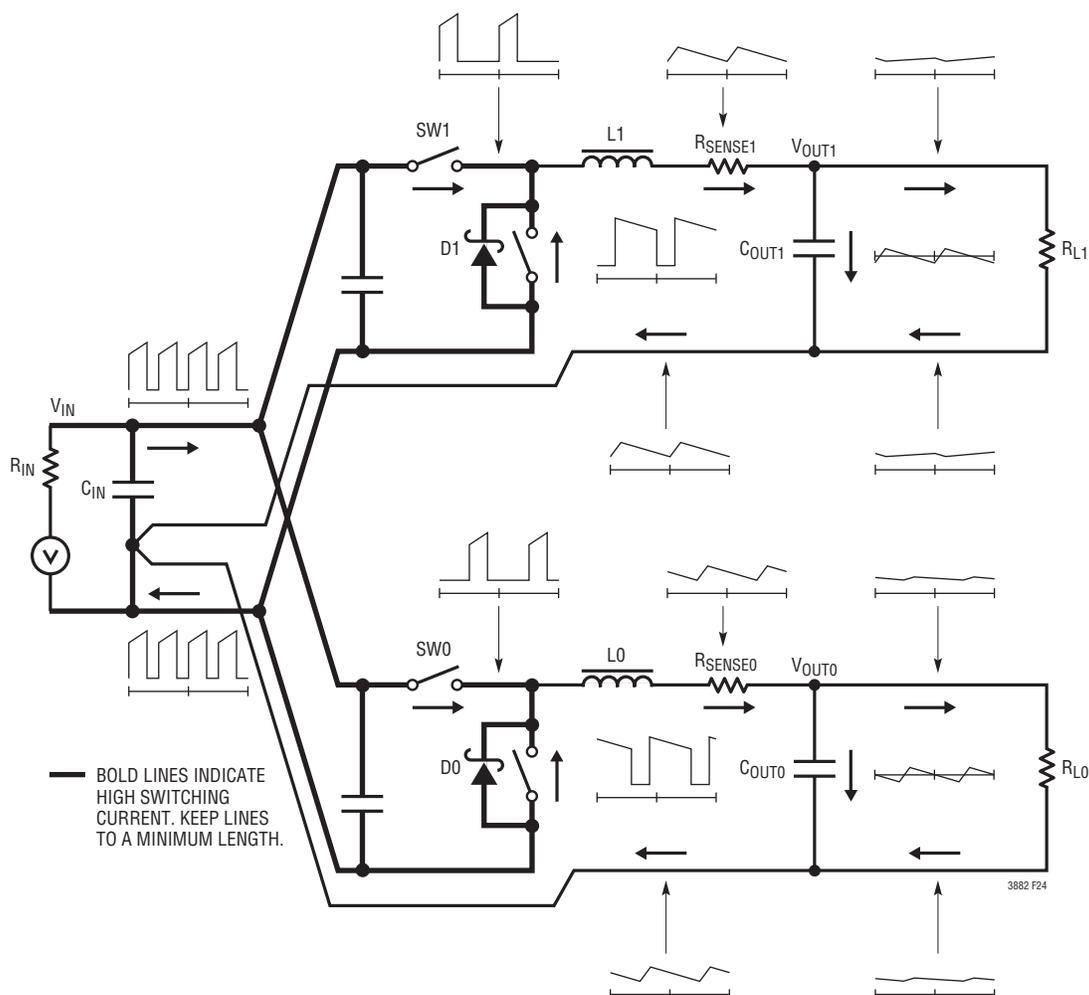


図 24. 高周波経路と分岐電流の波形

8. すべての小信号部品は、高周波数のスイッチング・ノードから離して配置します。LTC3882のデカップリング・コンデンサは、デバイスのすぐ近くに配置します。
9. 与えられた大電流経路内でのビアの数の経験上の目安としては、ビア当たり0.5Aを使用するのが妥当です。この規則を適用する場合は、首尾一貫させてください。
10. 銅の充填や流し込みは、前述の規則3での注記以外はすべての電源接続に適しています。多層上の銅プレーンも並列で使用できます。これは熱管理に役立ち、トレースのインダクタンスを低減するので、EMI性能がさらに向上します。

出力電流検出

I_{SENSE}^+ ピンおよび I_{SENSE}^- ピンは、内部電流コンパレータ、電流分担ループ、および遠隔測定A/Dコンバータの高インピーダンス入力です。電流検出入力の同相電圧範囲は、およそ0V~5.5Vです。この範囲の全体にわたって連続線形動作が実現されます。差動電流検出入力($I_{SENSE}^+ - I_{SENSE}^-$)の最大値は、温度によるあらゆる変動を含めて70mVです。これらの入力は、アプリケーションで常時適切に接続する必要があります。

図25に示すように、最大負荷時の効率を最大にするため、LTC3882はインダクタのDCRを流れる電流を検出するように

アプリケーション情報

設計されています。インダクタのDCRは銅の小さなDC巻線抵抗値を表し、LTC3882のアプリケーションに適したほとんどのインダクタでは0.3mΩ～1mΩです。フィルタのRC時定数を正確にインダクタのL/DCR時定数に等しくなるように選択すると、外付けコンデンサ両端の電圧降下がインダクタのDCR両端の電圧降下に等しくなります。外付けのフィルタ部品を適切な大きさにするため、メーカーのデータシートを調べて、インダクタのDCRに関する仕様を確認してください。インダクタのDCRは、良質なRLCメーターを使って測定することもできます。

DCRの公称値または測定値を使用して、IOUT_CAL_GAIN (mΩ単位)を設定します。インダクタのDCRの温度係数は、銅と同じように標準では高い値です。メーカーのデータシートをもう一度参照してください。MFR_IOUT_CAL_GAIN_TCの

正しい値を設定している場合、LTC3882はこの非理想的特性に合わせて調整できます。この係数は標準では3900ppm/°C前後です。

影響を受けやすい小信号ノードにノイズが結合しないように、抵抗R1はスイッチ・ノードの近くに配置します。コンデンサC1はデバイスのピンの近くに配置します。

出力電流のディスクリット抵抗による検出の例を、図26に示します。従来は、検出抵抗の寄生インダクタンスが比較的小さな誤差を示すことがありました。新しい電流密度ソリューションでは、小さな検出抵抗値を使用して、発生する検出電圧を20mV未満にすることができます。さらに、最大1MHzの動作でインダクタのリプル電流が50%を超えることも普通になってきています。

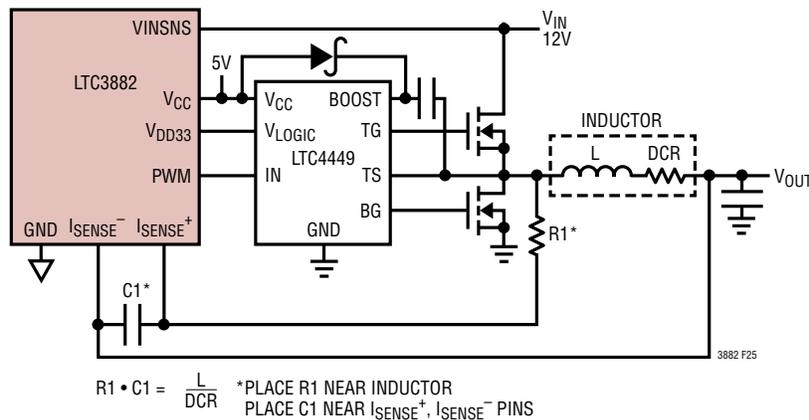


図25. インダクタのDCRによる出力電流検出

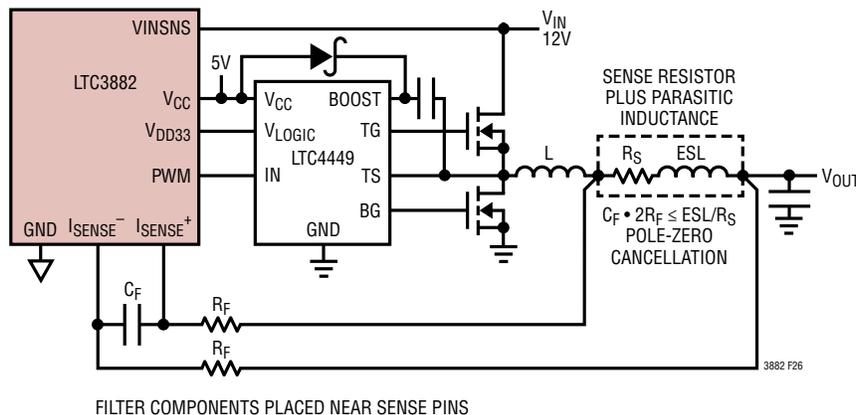


図26. ディスクリット抵抗による出力電流検出

アプリケーション情報

これらの条件では、もはや検出抵抗の寄生インダクタンスによる電圧降下を無視できません。RCフィルタを使用して、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27は実装面積が2010の2mΩ抵抗両端の電圧波形です。波形は、純粋な抵抗性成分と純粋な誘導性成分が重畳されたものです。寄生インダクタンスを検出抵抗で割った値(L/R)に近くなるようにRC時定数を選択すると、得られる波形は図28に示すように抵抗性に見えます。

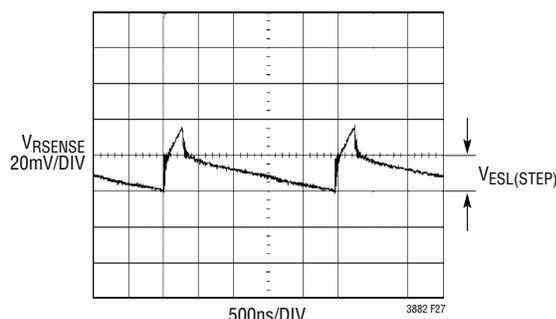


図27. RSENSE 両端で直接測定した電圧

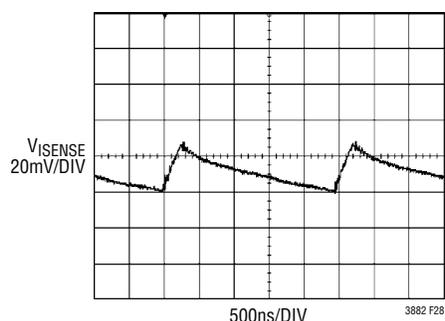


図28. ISENSE ピンでの電圧測定値

低い最大検出電圧を使用するアプリケーションでは、検出抵抗メーカーのデータシートに記載された寄生インダクタンスの情報を確認してください。データが存在しない場合には、検出抵抗の両端で電圧降下を直接測定してESLステップの大きさを求め、次式を使用してESLを決定します。

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

小さな値(<5mΩ)の検出抵抗を使用する場合、CFの信号がインダクタを流れる電流に類似していることを確認し、RFを小さくして主スイッチのターンオンに伴う大きなステップをすべて除去します。

出力電圧検出

高精度のケルビン検出技術を使用し、出力電圧をLTC3882のマスタ・チャンネルのVSENSE⁺ピンに戻して差動で接続し、ポイントオブロードで最良の出力電圧レギュレーションになります。LTC3882のGNDパドルは、チャンネル1出力の負の検出点として機能します。これらのピンは、出力電圧遠隔測定用のA/Dコンバータ入力としても機能します。これらの検討事項はスレーブ・チャンネルにとって重要な場合と重要でない場合がありますが、該当する位相のIOUT遠隔測定を正確にするため、VOUTをスレーブ・チャンネルのVSENSEピンに戻して接続する必要があります。したがって、通常はすべてのLTC3882チャンネルについて堅実なVOUTケルビン検出技術を推奨します。

ソフトスタートとソフトストップ

LTC3882はデジタル・ランプ制御を使用して、ソフトスタートおよびソフトストップの両方を実現します。

LTC3882は、ソフトスタートの前に動作状態に移行する必要があります。デバイスの初期化が完了し、VINSNSの電圧がVIN_ONしきい値を超えると判定された後、RUNピンは解放されます。

いったん動作状態になると、負荷電圧を能動的に安定化しつつ、目標電圧を0Vから指定の電圧設定値までデジタルに上昇させることにより、ソフトスタートは規定の追加遅延時間(次のセクション)後に実行されます。電圧ランプの立ち上がり時間はTON_RISEコマンドを使用してプログラムできるので、起動時の電圧ランプに伴う突入電流を最小限に抑えることができます。LTC3882がこの方式で出力を変化させることができる最大レートは100μs/ステップです。ソフトスタートは、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イスエーブルできます。LTC3882は必要な計算を内部で実行して、電圧を確実に目的の勾配に制御します。ただし、パワー段の基本的な制限値よりも急峻な電圧勾配にすることはできません。TON_RISEが小さくなるほど、出力電圧の段差は顕著になる場合があります。

LTC3882は、ターンオン制御と同様な方法でソフト・ターンオフもサポートします。TOFF_FALLはRUNピンが“L”に移移するか、デバイスがオフするように指示されたときに処理されます。デバイスがフォルトによってオフしたり、GPIOが“L”になってデバイスがこれに応答するようにプログラムされている場合、PWMは直ちに出力をオフするよう命令します。その結果、出力は負荷電流の関数として減衰します。

アプリケーション情報

パワー段がCCMで動作するよう構成され、TOFF_FALLの時間が十分に長く、パワー段が目的の勾配を実現できる限り、LTC3882は制御されたランプ・オフ信号を生成できます。TOFF_FALLの時間を満足できるのは、パワー段が閉ループ制御状態で十分なシンク電流を流して、立ち下がり時間の終了までに出力を確実に0Vにすることができる場合だけです。TOFF_FALLが負荷容量の放電に必要な時間よりも短いと、出力は0Vに到達しません。この場合、パワー段はTOFF_FALLの終了時にオフになるよう引き続き命令されているので、V_{OUT}は負荷によって決まる速度で減衰します。コントローラがDCMで動作するよう設定されている場合、コントローラは負の電流を流さないで、出力が“L”になる要因は負荷に限定され、パワー段ではありません。立ち下がり時間の最大値は1.3秒に制限されています。TOFF_FALLが小さくなるほど、出力電圧の段差は顕著になる場合があります。

時間ベースの出力シーケンシングとランピング

LTC3882のTON_DELAYコマンドおよびTOFF_DELAYコマンドを、前のセクションで説明した立ち上がり時間および立ち下がり時間のコマンドと組み合わせて使用し、広範で汎用性のあるシーケンシングおよびランピング方式を実装できます。時間ベースのシーケンシングおよびランピングの鍵となるのは、図29および図30に示すように、LTC3882のマスタ位相がその出力をPMBusコマンドの値に従って増減する能力です。

固定の遅延その他のタイミング不確実性があり、これらはLTC3882によって制御される出力電圧のすべての変化に関連しています。ソフトスタート/ソフトストップ、マーゼニング、V_{OUT_COMMAND}の値の一般的变化など、出力電圧のすべての変化を処理するためには、公称270μsの固定タイミング遅延が存在します。時間ベースのすべての出力動作の開始には±50μsの不確実性があり、公称のステップ分解能は100μsです。この意味は、LTC3882が生成可能なTON_DELAYまたはTOFF_DELAYの最小値の範囲は、基本的な発振器の許容差を含まない場合、220μs～320μsであるということです。ソフトウェア・ベースの出力変更(例：マーゼニング)では、このアルゴリズム的遅延はシリアル・バス上でSTOPビットを受け取ったときに始まります。この最小ターンオン/ターンオフ遅延とステップ単位の出力制御の例を図31に示します。ここでは、TON_DELAY = 0およびTON_RISE = 1msです。

LTC デジタル・パワー製品によって制御されたレール間でトラッキングおよびシーケンシングを効果的に実装するには、制御側のすべてのIC間で次の2つの信号を共有します。それは、SHARE_CLKおよびRUN (LTC297x製品ではCONTROLピ

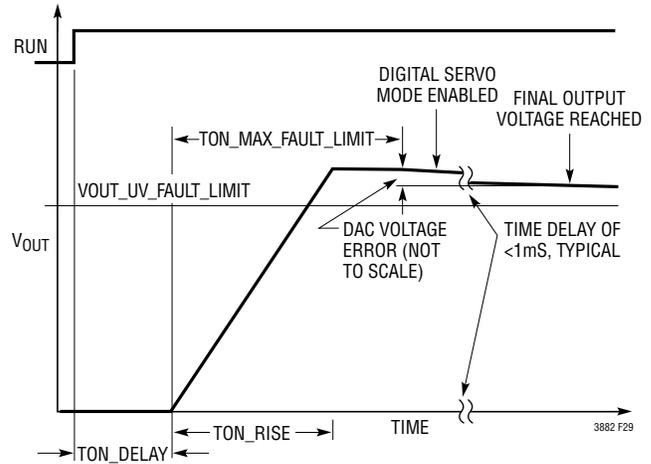


図29. 時間ベースのV_{OUT}ターンオン

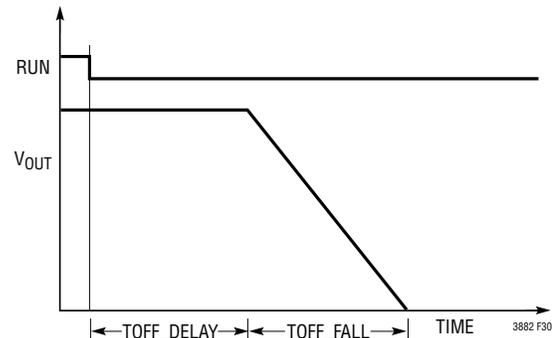


図30. 時間ベースのV_{OUT}ターンオフ

ン)の信号です。これにより、共有の入力電源状態(VIN_ONしきい値)、外部ハードウェア制御(RUNピン)、またはPMBusコマンド(場合によりグローバル・アドレス指定を使用)に基づいて、同期レール・シーケンシングのオンとオフが容易になります。

TON_DELAYを使用した出力電源シーケンシングの例を図32に示します。

この方式を使用すると、図33および図34に示すように、等価のターンオン/オフ遅延および適切な立ち上がり時間および立ち下がり時間を設定することにより、従来の同時トラッキングおよび比例トラッキングもエミュレートすることができます。

さらに、これらの方式を併用して適合させて必要なあらゆるランピング制御を作り出すことが容易に可能なので、一部の方式は、従来のアナログ専用コントローラでは実装するのが難しいことが判明する場合があります。最終製品の要件が発展していくのに応じて、ハードウェア変更なしでレールを

アプリケーション情報

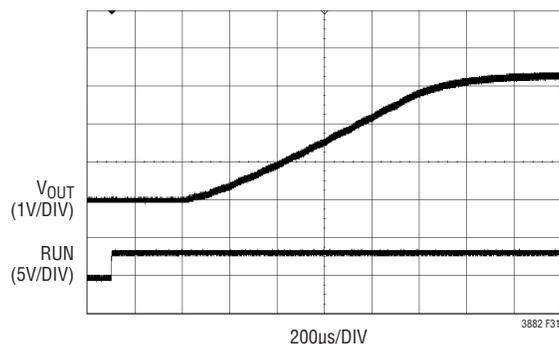


図 31. TON_RISE = 1ms の例

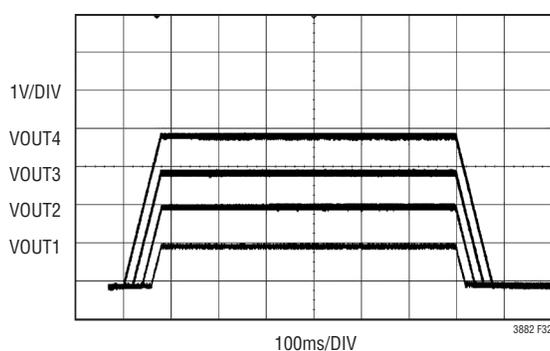


図 32. LTC3882 の時間ベースの電源シーケンシング

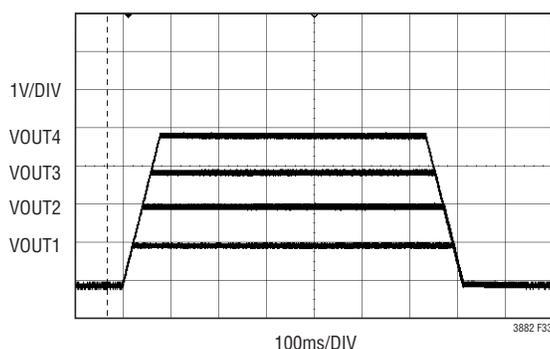


図 33. LTC3882 の時間ベースの同時電源ランピング

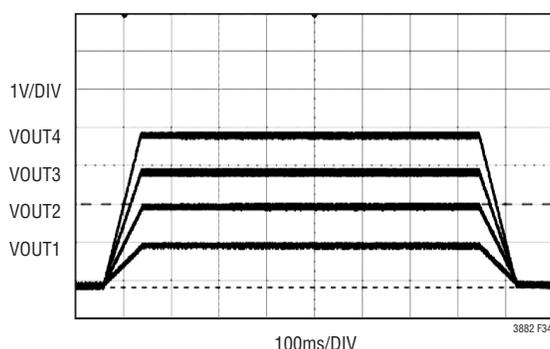


図 34. LTC3882 の時間ベースの比例ランピング

再度シーケンス制御できるので、これらのプログラム可能な機能により、実際のシステム開発は大幅に簡略化されます。LTpowerPlay GUI および LTC3882 内蔵の EEPROM をこのタスクに使用して、レール間でのターンオン/オフの関係を変更するのにファームウェア開発が必要にならないことができます。これにより、電源システム全体の規模拡大または縮小が容易に可能になるので、実績のあるハードウェア・マクロ設計の再利用が促進されます。

電圧ベースの出力シーケンシング

LTC3882 は、電圧ベースの出力シーケンシングが可能です。LTC388x ファミリのメンバー間での連続イベントでは、図 35 に示すように、ある 1 つの RUN ピンを別のコントローラの GPIO ピンから制御できます。VOUT_UV_UF だけを伝播するように GPIO 出力を構成 (MFR_GPIO_PROPAGATE を 0x1000 に設定) し、該当デバイスが MFR_GPIO_RESPONSE を「無視」(0x00) に設定しておく必要があります。出力が特定の UV しきい値より低いときはいつでも、この構成ハードウェアによって次の下流コントローラがディスエーブルされます。UV しきい値を超えてから GPIO ピンが解放されるまでの遅延はほとんどないので、フィルタ処理されていない VOUT UV フォルト制限値の使用を推奨します。この UV 伝播が選択されている場合は、TON_RISE/FALL の値が小さいときに、VOUT 上のノイズによって信号が繰り返し切り替わらないように、GPIO 出力に 250µs のデグリッチ処理フィルタがあります。ノイズや立ち上がり/立ち下りの長時間の設定が原因で、GPIO に好ましくない遷移がなお発生する場合は、GPIO ピンとグランドの間にコンデンサを接続して波形をフィルタリングします。このフィルタの RC 時定数は十分に小さくして、検知できるほどの遅延が発生しないようにします。値を 300µs ~ 500µs にすると、トリガ・イベントを著しく遅延させることなく、フィルタリングの効果のある程度増強できます。

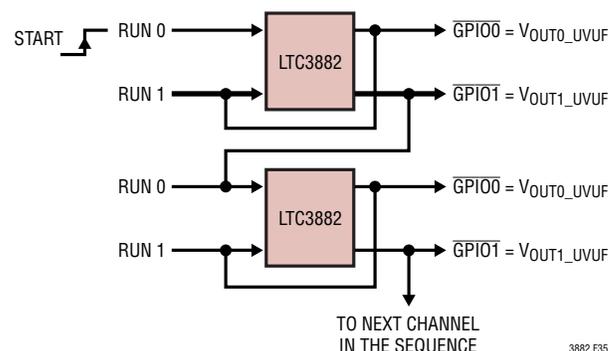


図 35. カスケード接続シーケンシングの構成

アプリケーション情報

システムをオフすると、図36に示すように、レールはシステムがオンするときと同じ順序でシャットダウンします。異なるシーケンスが必要な場合は、回路を配線し直すか、TON_DELAY または TOFF_DELAY をプログラミングすることにより遅延を加える必要があります。このアプリケーションの基本的な制約は、上流のレールが下流のレールの起動障害を検出できないことです。このため、下流のレールをモニタし、問題が発生した場合にシステム・フォルトをアサートする外部の高速スーパーバイザを使用しない場合は、カスケード接続シーケンシングを実装しないでください。

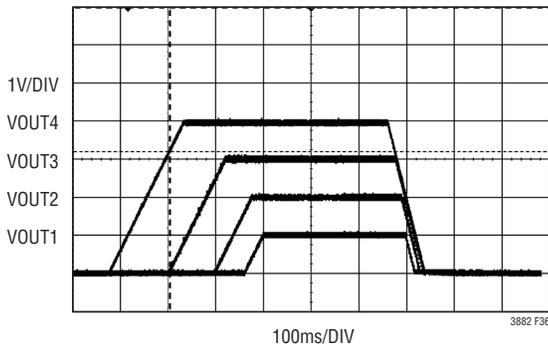


図36. カスケード接続シーケンシングの波形

出力電圧サーボの使用

出力電圧の精度を最高にするには、MFR_PWM_MODE LTC3882のビット6を設定することにより、マスタ位相でデジタル・サーボ・モードをイネーブルします。デジタル・サーボ・モードでは、LTC3882はA/Dコンバータによる関連の電圧測定値に基づいて安定化出力電圧を調整します。デジタル・サーボ・モードは、A/Dコンバータによる正確な測定値に出力が達するまで、100msごとにDACのLSB（電圧レンジ・ビットに応じて公称1.375mVまたは0.6875mV）だけ電圧を調整します。

マスタ・チャンネルがオンした場合は、以下のすべての条件が満たされた後にデジタル・サーボがイネーブルされます。

- MFR_PWM_MODE_LTC3882のビット6が設定される
- TON_RISEシーケンスが完了する
- VOUT_UV_FAULTが存在しない
- IOUT_OC_FAULTが存在しない
- MFR_AVP = 0%

デジタル・サーボ・モードは、TON_MAX_FAULT_LIMITの制限値を0（無限大）に設定しない限り、図29に示すように、

TON_MAX_FAULT_LIMITの経過後に起動します。その場合、このモードは上記の条件が満たされるとすぐに起動します。

AVPの使用

LTC3882は、デジタルでプログラム可能な能動電圧ポジショニング(AVP)機能を備えています。この機能により、出力電圧設定値はコンバータの全帯域幅で出力電流の関数として自動的に調整されます。AVPでは、通常、並列接続されているマスタ位相間で電圧モードのスイッチャが電流を分担できるように、出力負荷ラインを指定することが必要です。AVPをこの趣旨でLTC3882アプリケーションに使用してもかまいませんが、その場合はLTC3882のI_{AVG}電流シェアリング制御ループを使用することを推奨します。こうすると、電源の出力インピーダンスを低下させずに、より多くの位相数にわたってより正確な分担量を生成できます。

ただし、AVPを引き続き使用してLTC3882アプリケーションで大きく役立つことができます。予想される負荷範囲での一定の許容出力電圧変動に対して、AVPを適用して出力フィルタ容量を最小限に抑えることができます。AVPの一例を図37に示します。

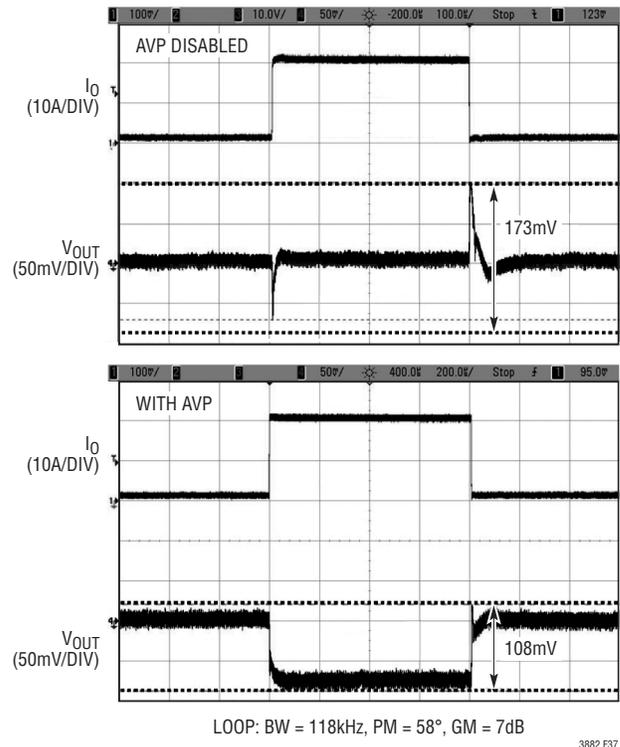


図37. 能動電圧ポジショニング

アプリケーション情報

MFR_VOUT_AVPは、出力電流値がIOUT_WARN_LIMITに等しいときのV_{OUT}の設定値が無負荷時からどの程度低下するかをパーセント値で指定します。LTC3882のAVPは、V_{OUT}の最大低下率である15%をサポートします。この値は、およそ50%の負荷での公称出力電圧の前後±7.5%の許容差に対応します。AVPを効果的に使用するには、以下の手順に従います。

1. IOUT_OC_WARN_LIMITを設定します。これにより、AVPの設定レベルが適用されるマスタ位相出力電流が指定されます。全負荷での疑似警告を回避するため、一般に、これは100%の負荷点を超えます。
2. VOUT_COMMANDは、出力が無負荷の場合に望ましいV_{OUT}の値に設定してください。VOUT_MARGIN_HIGH/LOWも、AVPをイネーブリングした場合の無負荷の値を指定します。LTC3882のAVPが可能なのは、これらのレベルから出力を低減することだけです。
3. MFR_VOUT_AVPを、目的の出力電圧変動を電流の関数として生成するパーセンテージに設定します。

たとえば、定格が120Aの3.3V、6相の電源で、20%から80%までの出力負荷ステップ時に2.5%の出力変動を許可することが目標である場合は、以下のパラメータを設定します。

最初に、マスタ(6相のうちいずれか1つ)の出力電流警告レベルを、定格の全負荷よりわずかに高い値に設定し、疑似警告を回避します。通常は、この同じ設定を5つのスレーブ位相にも適用します。

$$IOUT_OC_WARN_LIMIT = 1.1 \cdot 120A/6 = 22A$$

マスタ位相の開放出力電圧計算は、この場合のAVPの規格値がカバーするのは60%の出力負荷振幅に過ぎないことを反映する必要があります。

$$\begin{aligned} VOUT_COMMAND &= 3.3V(1 + 0.5 \cdot 0.025/0.6) \\ &= 3.3687V \end{aligned}$$

その後、AVP計算は、IOUT_OC_WARN_LEVELを100%の負荷点より高く設定されるという事実を考慮する必要があります。

$$\begin{aligned} MFR_VOUT_AVP &= \frac{100\% \cdot 1.1 \cdot 2 \cdot (3.3687 - 3.3)}{3.3687} \\ &= 4.487\% \end{aligned}$$

出力電圧が3.3Vで負荷が50%の場合、レールの出力負荷が24Aから96Aまで変化するとき、これらの設定では、V_{OUT}が約3.34Vから約3.26Vに変化します。この設計例ではV_{OUT}が全負荷で3.23Vまで低下することに注意してください。

マスタ位相でAVPをイネーブリングすると、デジタル出力サーボ・モードは自動的にディスエーブルされます。AVPは、イネーブリングにしたとき(たとえば、TON_RISEシーケンス)、すべての出力ランピング時にアクティブになります。MFR_VOUT_AVPを0.0% (工場出荷時のデフォルト)にプログラムすることにより、AVPはマスタ位相でディスエーブルされます。スレーブ(FBをV_{DD33}に接続)として構成された位相では、AVPが自動的にディスエーブルされます。

AVPが作動すると、関連のISENSEの入力オフセットにより、すべての動作電流で出力電圧誤差が大きくなる可能性があります。この誤差を最小限に抑えるため、全負荷の20%以上の既知の出力電流(READ_IOUT)で動作するときを得られるREAD_VOUTの値に基づいて、マスタ位相のVOUT_COMMANDの値に較正オフセットを加えることができます。必要な補正は、標準では無負荷時出力電圧の数パーセント未満になりますが、次式のように計算します。

$$\begin{aligned} VOS &= VOUT_COMMAND \\ &\cdot \left(1 - \frac{MFR_VOUT_AVP \cdot READ_IOUT}{100 \cdot IOUT_OC_WARN_LIMIT} \right) \\ &- READ_VOUT \end{aligned}$$

PWM周波数の同期

LTC3882は、両方のPWMチャンネル(TGの立ち下がりエッジ)を250kHz～1.25MHzの外部CMOSクロックと同期可能にするフェーズロック・ループ(PLL)を内蔵しています。PLLはSYNCピンのクロック信号の立ち下がりエッジに同期します。このPLLは、MFR_PWM_CONFIG_LTC3882コマンドによって選択できる非常に精度の高いチャンネル位相関係も生成します。PolyPhaseアプリケーションでは、最良の結果を得るために、すべての位相の間隔を位相特性図内で均一にします。たとえば、4相システムでは90°のチャンネル間分離を使用します。

PLLにはロック検出回路があります。動作中にPLLの同期が外れた場合は、STATUS_MFR_SPECIFICコマンドのビット4がアサートされ、マスクされていない限りALERTピンは“L”になります。このフォルトは、STATUS_MFR_SPECIFICのビット

アプリケーション情報

4に1を書き込むことでクリアできます。このフォルトがマスクされていない場合は、起動時またはリセット中に非同期のPLLに対する疑似ALERTが発生する可能性があります。

PLLの同期が示されるまでは、どちらのPWMチャンネルもオフ状態からRUN状態に移行しません。チャンネルをオフ状態からRUN状態に移行する場合、対象チャンネルのPWMラング発生器も目的のPLL出力周波数に同期していない場合は、STATUS_MFR_SPECIFICのビット4が設定されます。

SYNCピンがアプリケーションで外部クロックに同期しない場合、PWMはゼロ以外のFREQUENCY_SWITCHコマンドによって指定される周波数で動作します。そのコマンドがEEPROMで、またはRCONFIG (FREQ_CFGピンを接地)によって0x0000 (外部クロックのみ)に設定されている場合は、電源投入時、MFR_RESETの指定時、またはRESTORE_USER_ALLの指定時には、外部クロック入力がないとPWMは起動しなくなります。外部クロック専用としてプログラムされているときに外部クロックが失われた場合、または外部クロックが存在しない電源環境でPWMがこの設定に単純に切り替わった場合、PLLは内部VCOによって発生した最も低い自走周波数で起動/動作します。これはアプリケーションの所定のPWM周波数を大きく下回ることがあり、コンバータ動作に不具合を招く可能性があります。この理由から、その特定のLTC3882デバイスがクロック・マスタとして動作するかどうかにかかわらず、使用可能なPWM周波数をチャンネルごとにプログラムすることを通常は推奨します。

PolyPhaseレールのすべてのチャンネルはSYNCピンを共用するよう要求されます。レール間および他の構成の場合、こうした同期はオプションです。複数のLTC3882間でSYNCピンを共用する場合、SYNC出力を制御するためにプログラムするLTC3882は1つだけにしてください。

PolyPhase動作と負荷シェアリング

LTC3882をPolyPhaseアプリケーションで使用する場合は、スレーブのFBピンをV_{DD33}に接続することによりスレーブ位相を構成する必要があります。特に、この構成では、スレーブ位相のエラーアンプがディスエーブルされます。以下に示す他の5つのピンもPolyPhaseレールのすべてのチャンネル間で共有する必要があります。

- VINSNS
- COMP

- I_{AVG}
- I_{AVG_GND}
- SYNC

VINSNSの接続を共通にすると、電流ループによって要求されるダイナミックレンジが狭くなるので、十分に制御されたマスタ変調器の利得を維持するのに役立ちます。

COMP信号を共有すると、マスタ位相のエラーアンプがすべてのスレーブ位相のデューティ・サイクルを制御して、コマンドで指定の出力電圧を発生させることができます。

スレーブ位相は、マスタのCOMP (エラーアンプ)出力が高くなりすぎる原因であるシステム・フォルトを検出できます。この種のエラーアンプ・フォルトを検出するスレーブ位相は、そのPWM出力を直ちに遮断し、そのVOUT_OV Faultビットでフォルトを示して、対象チャンネルのVOUT_OV_FAULT_RESPONSEによって示される場合がある何らかの追加動作を行います。この応答がハードウェアレベルの応答(0x00)を実現するためにだけ設定されている場合は、フォルト状態が解消されると通常のチャンネル動作は自動的に再開されます。

共有されているI_{AVG}およびI_{AVG_GND}の信号は、2次電流分担ループを使用して、各チャンネルから供給された出力電流量のバランスを能動的に調整します。値が100pF~200pFのコンデンサをI_{AVG}とI_{AVG_GND}の間に配置します。この容量をLTC3882デバイス/ピン間で分散させることで、ノイズ耐性を向上することができます。PolyPhaseレールのすべてのI_{AVG_GND}ピンを互いに結線し、マスタ位相のパッケージ・パドルまたはその近くで、1箇所接地点に接続します。

負荷シェアリングの精度は、主に各位相の電流検出アンプのオフセット(I_{AVG_VOS})とスレーブ電流エラーアンプのオフセット(V_{SIOS})に基づいています。これらは「電気的特性」の表に記載されています。LTC3882のチャンネル間の電流検出利得誤差は無視できます。2次電流分担ループは、位相間のすべての誤差を平均化するように動作します。この誤差平均化とこれらの変数が持つランダム性により、「電気的特性」の表の制限値では、実際の位相ごとのオフセットは、ほとんどの設計の場合、全動作温度範囲で±300μV以下になることが保証されます。このことは、DCR起因の許容差などの外部要因を除いて、ΔI_{SENSE} = 15mVのときに整合性が±2%より優れていることを表しています。

アプリケーション情報

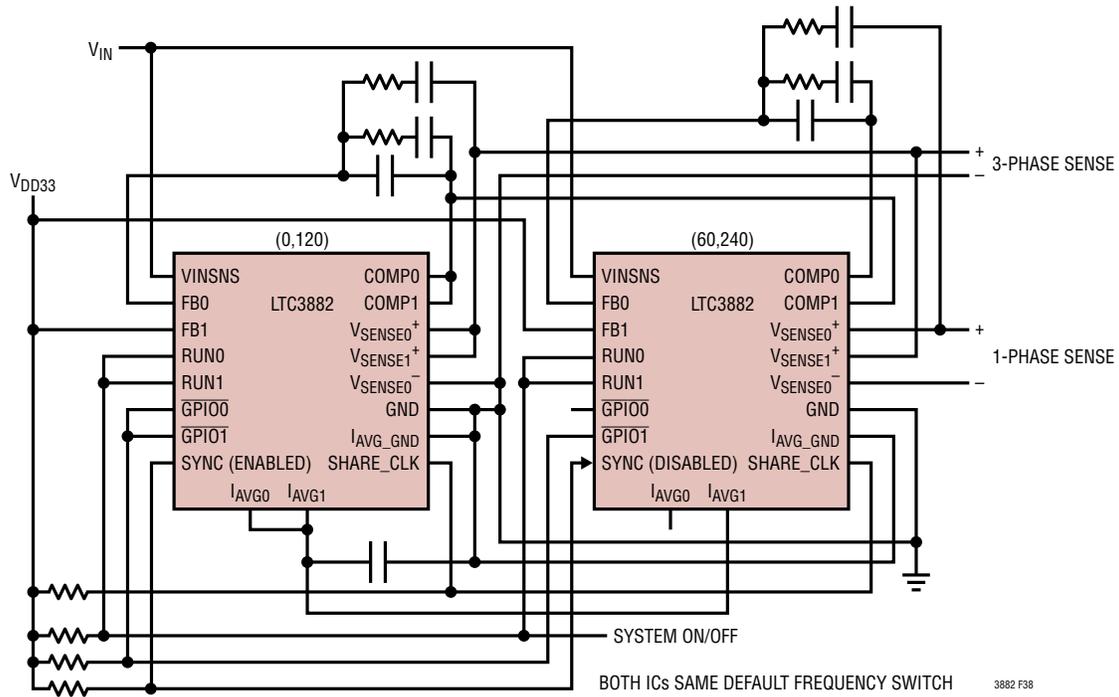


図 38. 3+1 位相アプリケーション

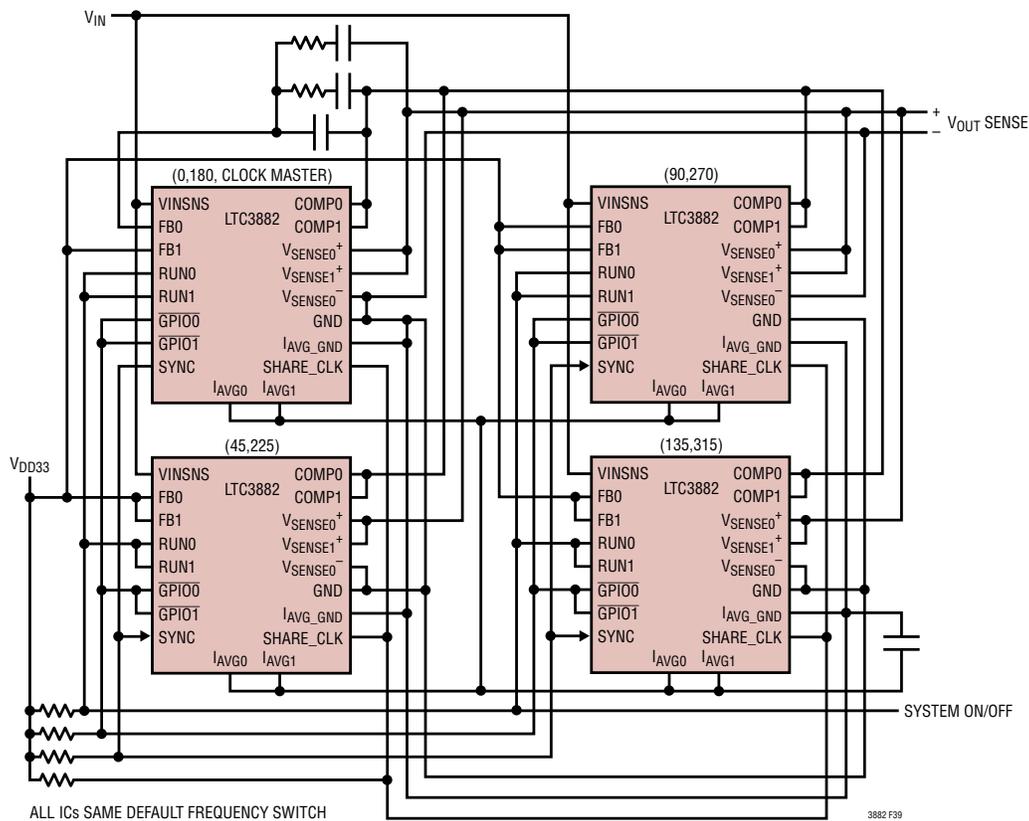


図 39. 8 相アプリケーション

アプリケーション情報

I_{OUT} の遠隔測定を高精度に行うには、スレーブ位相がPWM制御でこの情報を使用する必要がある場合でも、スレーブ位相側の V_{SENSE}^+ を適切に接続することが必要です。厳密には要求されていないものの、スレーブ位相の V_{SENSE}^{\pm} ラインをマスタと単純に共有すると、補助的な出力電圧遠隔測定機能を実現できます。唯一の懸念がスレーブの I_{OUT} の高精度の遠隔測定である場合は、対象チャンネルの V_{SENSE}^+ を近くで I_{SENSE}^- に結線できます。スレーブ位相の V_{SENSE}^- は、そのマスタ・チャンネルの V_{SENSE}^- に必ず短絡してください。 I_{OUT} のOC/ROC機能は V_{SENSE}^{\pm} の配線には影響を受けません。

すべての位相は同じ共有SYNCクロックに同期する必要があり、同じデフォルトのPWM周波数で動作するようにプログラムします。位相は 360° フェーズ図の周囲で等間隔になるように選択し、PolyPhaseレールの位相はその最大デューティ・サイクルがすべて同じになるように選択します。MFR_PWM_CONFIG_LTC3882の詳細を参照してください。図38は3相接続の例を示し、図39は8相レールの例を示します。これらの図での追加の共有信号は、位相とレールの間でフォルト状態を通信し、同期した時間ベースのレール・シーケンシングおよびトラッキングを行ない、すべての位相の正確な出力電流遠隔測定を報告するLTC3882の能力を浮き彫りにしています。

出力電流フォルトと警告の制限値は、それぞれ $I_{OUT_FAULT_LIMIT}$ と $I_{OUT_WARN_LIMIT}$ を使用して、すべてのPolyPhaseチャンネルにまたがって同じ値に設定します。高精度の I_{OUT} 遠隔測定と位相間での一貫したフォルト処理を実現するため、検出抵抗と関連の温度係数も位相($I_{OUT_CAL_GAIN}$ 、MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC)ごとに正しく設定することが必要です。LTC3882の電流分担ループは、検出した電圧と整合させることによって動作するので、十分に整合した検出素子をシステム内で使用することが重要です。LTC3882に対して指定されている電流整合パラメータには、インダクタのDCR許容差など、これらの外部誤差発生源は含まれていません。スレーブ位相に対しては、 V_{OUT} 関連のパラメータをプログラミングする必要はありません。

PolyPhase電源では、入力と出力のどちらのコンデンサのリップル電流の量も大幅に減少します。入力電圧が、使用される位相数×出力電圧より大きい限り、RMS入力リップル電流は使用される位相数で除算され、実効リップル周波数は乗算されます。出力リップルの振幅も使用される位相数によって減少します。図40にこの原理をグラフで示します。

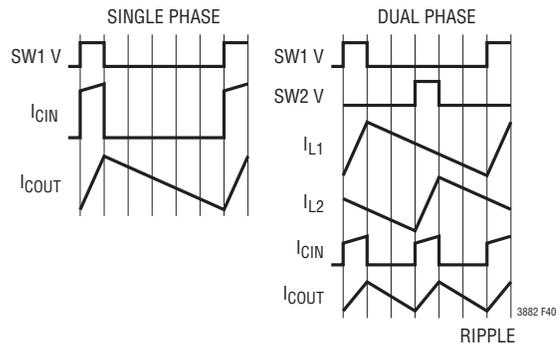


図40. 単相と2相の電流波形

1段の設計におけるワーストケースのRMSリップル電流は、入力電圧が出力電圧の2倍のときにピークになります。2相の設計におけるワーストケースのRMSリップル電流は、出力電圧が入力電圧の1/4および3/4のときにピークになります。RMS電流を計算する場合、各段の電流が均衡している限り、より大きな実効デューティ・ファクタが得られ、ピーク電流レベルが分割されます。1段のスイッチング・レギュレータのRMS電流の計算方法の詳細説明については、http://www.linear-tech.co.jp/designtools/app_notesでリニアテクノロジーの「アプリケーションノート19」を参照してください。図41および図42は、追加の位相を使用することにより、入力電流と出力電流がどのように減少するかを示します。2相のコンバータでは、入力電流のピークが半分に減少して周波数が2倍になります。このように、入力コンデンサの要件は理論的に1/4に低減されます。

外部温度検出

LTC3882では、いくつかのシリコン接合ベースの方法により、各チャンネルのパワー段の温度を外部から測定するのが簡単になります。リモート検出回路で発生した電圧は内部A/Dコンバータによってデジタル化され、ページ設定されたREAD_TEMPERATURE_1遠隔測定コマンドによって温度の計算値が返されます。

最も正確な外部温度測定は、図43に示すように、MMBT3906などのダイオード接続されたPNPトランジスタを使用し、MFR_PWM_MODE_LTC3882のビット5を0に設定して行うことができます(ΔV_{BE} 法)。BJTはパワー段のインダクタに接触させるか、すぐ近くに配置します。PNPトランジスタのエミッタ端子はTSNS $_n$ ピンに接続しますが、ベース端子とコレクタ端子はケルビン接続を使用してLTC3882のGNDパドルに戻

アプリケーション情報

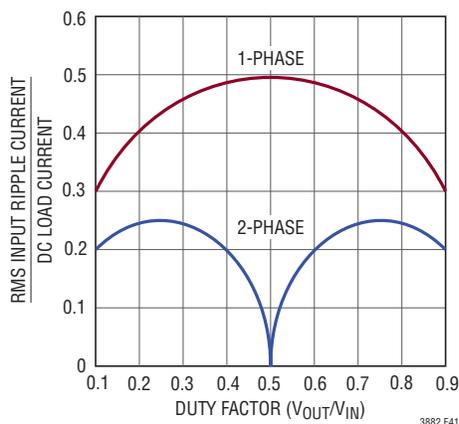
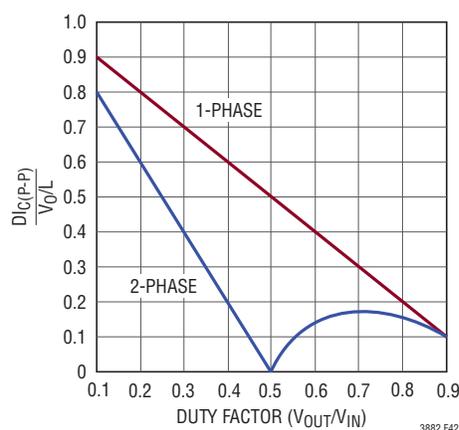


図41. 正規化されたRMS入力リップル電流

図42. 正規化された出力リップル電流[$I_{RMS} \sim 0.3(DI_C(PP))$]

す必要があります。ノイズ耐性を最大限に高めるには、これらの接続を差動配線し、ダイオード接続されたPNPトランジスタと並列に10nFのコンデンサを配置してください。

MFR_PWM_MODE_LTC3882のビット5を1に設定した場合、LTC3882は接合部電圧の直接測定もサポートします。工場出荷時のデフォルト設定では、図44に示すような抵抗調整型のデュアル・ダイオード回路網をサポートします。ただし、この測定法は、後述するように、パラメータ調整によって、図43に示すタイプの簡単な単一ダイオード回路に適用することができます。この2番目の測定法は、一般に最初の測定法ほど正確ではありませんが、従来型のパワー・ブロックをサポートします。あるいは、高ノイズ環境のために ΔV_{BE} 法を低信号レベルで使用できない場合に、この方法が必要であると分かる場合があります。

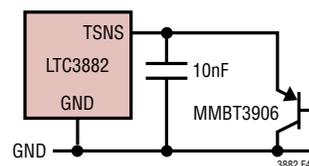
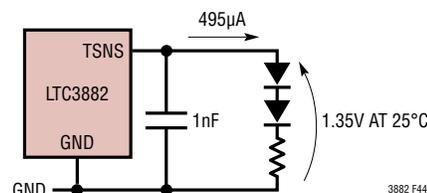
図43. 外部の ΔV_{BE} による温度検出

図44. 2D+Rによる温度検出

いずれの方法の場合も、外付け温度センサの温度勾配は、MFR_TEMP_1_GAINに格納された温度係数を使用して変更できます。 ΔV_{BE} 法を使用する場合、標準的なPNPでは、温度勾配を調整して1よりわずかに小さくすることが必要になります。MMBT3906におけるこのコマンド(MFR_TEMP_1_GAIN)の推奨値は、理想係数が1.01であることから、およそ0.991になります。MFR_TEMP_1_GAINの値は、単純に理想係数の逆数から計算できます。理想係数は、メーカーごと、ロットごとに異なる場合があります。この値を設定する際は、メーカーに問い合わせてください。MFR_TEMP_1_GAINを調整してPN接合を直接測定する場合は、全温度範囲でのベンチ特性評価を推奨します。

外付け温度センサのオフセットは、MFR_TEMP_1_OFFSETによって調整できます。 ΔV_{BE} 法では、このレジスタの値を0にすると、温度オフセットが -273.15°C に設定されます。PN接合を直接測定する場合は、このパラメータによって 25°C での公称の回路電圧が調整され、図44に示す電圧からは離れた値になります。

これらの温度調整パラメータを確実に正しく使用するには、PMBusコマンドの詳細を説明する後のセクションでMFR_PWM_MODE_LTC3882コマンドによって前述の2つの方法に対して与えられた特定の式、ならびにアプリケーションノート137を参照してください。

アプリケーション情報

抵抗構成ピン

工場出荷時のデフォルト設定として、LTC3882は外付け抵抗による構成を使用するようプログラムされているので、シリアル・インタフェースを介してデバイスをプログラミングすることなく、あるいはEEPROMの内容をカスタム設定したデバイスを購入することなく、出力電圧、PWMの周波数と位相調整、PMBusアドレスを設定できます。RCONFIGピンには、必ずV_{DD25}とGNDの間に抵抗分割器が必要です。RCONFIGピンに応答指令信号が送られるのは、最初の電源投入時およびリセット時なので、実行時に値を変更するのは推奨されません。同一のプログラミングが必要な場合は、同じデバイスのRCONFIGピンを1個の抵抗分割器で共有することができます。許容差が1%以内の抵抗を使用して正常な動作を保証する必要があります。以下の表では、R_{TOP}をV_{DD25}ピンとRCONFIGピンの間に接続し、一方でR_{BOT}をRCONFIGピンとGNDの間に接続します。また、これらのピンの近くにノイズの大きいクロック信号を配線しないでください。

表8. V_{OUTn_CFG}の抵抗プログラミング

R _{TOP} (kΩ)	R _{BOT} (kΩ)	V _{OUT} (V)
0または開放	開放	EEPROMから
10	23.2	5.0
10	15.8	3.3
16.2	20.5	2.5
16.2	17.4	1.8
20	17.8	1.5
20	15	1.35
20	12.7	1.25
20	11	1.2
24.9	11.3	1.15
24.9	9.09	1.1
24.9	7.32	1.05
24.9	5.76	0.9
24.9	4.32	0.75
30.1	3.57	0.65
30.1	1.96	0.6
開放	0	出力オフ* (EEPROMからのV _{OUT})

*OPERATIONの値とRUNnピンからの命令は、どちらもチャネルがこの構成から起動する命令にする必要があります。

出力電圧は表8に示すように設定できます。たとえば、R_{TOP}を16.2kΩに設定してR_{BOT}を17.4kΩに設定することは、V_{OUT_COMMAND}の値を1.8Vにプログラムするのと同じです。抵抗

構成ピンを使用して出力電圧を決定している場合は、V_{OUT}設定値のパーセンテージとしても自動的に設定される関連のパラメータについては、「動作」のセクションを参照してください。

表9. FREQ_CFGの抵抗プログラミング

R _{TOP} (kΩ)	R _{BOT} (kΩ)	スイッチング周波数 (kHz)
0または開放	開放	EEPROMから
20	17.8	1250
20	15	1000
20	12.7	900
20	11	750
24.9	11.3	600
24.9	9.09	500
24.9	7.32	450
24.9	5.76	400
24.9	4.32	350
30.1	3.57	300
30.1	1.96	250
開放	0	外部同期のみ

SYNCピンを複数のLTC3882の間で共有する場合は、1つのSYNC出力だけをイネーブルする必要があることに注意してください。それ以外のSYNC出力はディスエーブルしてください。たとえば、2つのLTC3882を600kHzの周波数で動作する4相のレールとして構成する場合は、両方のデバイスのFREQ_CFGピンでR_{TOP}を24.9kΩに、R_{BOT}を11.3kΩにします。この場合、最初のデバイス(クロック・マスタ)のPHAS_CFGピンでR_{TOP}に24.9kΩを、R_{BOT}に9.09kΩを選択すると、位相を180°離す余裕が得られ、SYNC出力がイネーブルされます。2番目のデバイスのPHAS_CFGピンでR_{TOP}を20kΩに、R_{BOT}を12.7kΩにしてそのSYNC出力をディスエーブルし、最初のデバイスとは直交位相で180°離して動作させます。位相を混合して選択する場合は、最大デューティ・サイクルが同じ位相だけを指定します。表9および10を参照してください。

LTC3882のアドレス選択は、表11に従って2つの構成ピンASEL0およびASEL1をプログラミングすることに基づきます。ASEL0はLTC3882のデバイス・アドレスの下位4ビットをプログラムし、ASEL1は最上位3ビットをプログラムします。アドレスのどの部分も、EEPROM内にあるMFR_ADDRESSの値から取り出すことができます。両方のピンを開放状態のままにすると、EEPROMに格納されている7ビットのMFR_ADDRESS値は、すべてデバイス・アドレスを決定するために使用されます。前述した4相の例では、2つのデバイスの一方または両方

アプリケーション情報

表 10. PHAS_CFG の抵抗によるプログラミング

R _{TOP} (kΩ)	R _{BOT} (kΩ)	θ _{SYNC} ~ θ ₀ 位相差	θ _{SYNC} ~ θ ₁ 位相差	最大デューティ・サイクル	同期出力のディスエーブル
0または開放	開放	EEPROMから	EEPROMから	MFR_PWM_CONFIGを参照	EEPROMから
20	15	135°	315°	87.5%	あり
20	12.7	90°	270°		
20	11	45°	225°		
24.9	11.3	0°	180°		
24.9	9.09	0°	180°	83.3%	なし
24.9	7.32	120°	300°		あり
24.9	5.76	60°	240°		
24.9	4.32	0°	180°		
30.1	3.57	0°	120°		
30.1	1.96	0°	180°		
開放	0	0°	120°		

のASEL_nピンをプログラムして2つの固有アドレスを作成することを推奨します。LTC3882は、7ビットのグローバル・アドレス(0x5Aおよび0x5B)にも応答します。MFR_ADDRESSおよびMFR_RAIL_ADDRESSは、これらの値のどちらにも設定しないでください。

表 11. ASEL_n 抵抗のプログラミング

R _{TOP} (kΩ)	R _{BOT} (kΩ)	ASEL1		ASEL0	
		LTC3882のデバイス・アドレス・ビット [6:4]		LTC3882のデバイス・アドレス・ビット [3:0]	
		2進	16進	2進	16進
0または開放	開放	EEPROMから		EEPROMから	
10	23.2			1111	F
10	15.8			1110	E
16.2	20.5			1101	D
16.2	17.4			1100	C
20	17.8			1011	B
20	15			1010	A
20	12.7			1001	9
20	11			1000	8
24.9	11.3	111	7	0111	7
24.9	9.09	110	6	0110	6
24.9	7.32	101	5	0101	5
24.9	5.76	100	4	0100	4
24.9	4.32	011	3	0011	3
30.1	3.57	010	2	0010	2
30.1	1.96	001	1	0001	1
開放	0	000	0	0000	0

内部レギュレータ出力

V_{DD33}ピンは、公称値の3.3V時に、LTC3882内部のアナログ回路の大半の電源電流を供給します。LTC3882は内部リニア・レギュレータを内蔵しており、これを使用して高い電圧のV_{CC}電源(公称値は最大12V)から3.3V ~ V_{DD33}の範囲の電圧を供給できます。このLDOの使用はオプションです。V_{CC}とV_{DD33}を短絡している場合、LTC3882はこのピンに接続されている外部3.3V電源も受け入れます。内部の3.3V LDOを使用する場合は、85mA(内部の消費電力を含む)のピーク電流を供給できます。また、値が2.2μFで低ESRのX5RまたはX7Rセラミック・コンデンサを使用して、V_{DD33}レギュレータの出力をGNDにバイパスする必要があります。外部電源がV_{DD33}を供給する場合は、値の範囲が0.01μF ~ 0.1μFの低ESRバイパス・コンデンサをV_{DD33}ピンとGNDピンの間に直接接続します。

次のセクションで説明するように、デバイスの電力損失の影響を受けるので、内部の3.3Vレギュレータからホスト・システムには20mAを超える電流を流さないでください。この制限値には、V_{DD33}に終端するLTC3882の外付けプルアップ抵抗に必要な電流が含まれています。

V_{DD33}は、出力がV_{DD25}に現れる2番目の内部2.5V LDOに電力を供給します。この2.5V電源は、LTC3882の内部プロセッサ・ロジックの多くに電力を供給します。V_{DD25}出力は、値が1μF以上で低ESRのX5RまたはX7Rセラミック・コンデンサを使用して、GNDに直接バイパスする必要があります。LTC3882の特定の構成抵抗分割器に必要な電流を超える外部システム電流をこの電源から流さないでください。

アプリケーション情報

デバイスの接合部温度

すべての動作条件で接合部温度の最大定格を超えないよう徹底する必要があります。LTC3882パッケージの熱抵抗 (θ_{JA}) は $33^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ですが、露出パッドとPCBとの熱的接触が十分であることが前提になっています。アプリケーションでの実際の熱抵抗は、強制空冷やその他の放熱方法と、特にLTC3882を取り付けるPCBの銅箔の量に依存します。 V_{CC} を外部から供給する場合は、次式を使用して、LTC3882の平均電力損失 P_D (単位: W) の最大値を概算できます。

$$P_D = V_{CC} (0.024 + f_{PWM} \cdot 1.6e-5 + I_{EXT} + I_{RC25})$$

ここで、

I_{EXT} = V_{DD33} から流れる全外部負荷、デバイス付近のプルアップ抵抗を含む (単位: A)

I_{RC25} = LTC3882の構成抵抗分割器によって V_{DD25} から流れる全電流 (単位: A)

さらに、PWM周波数 f_{PWM} の単位はkHzです。

外部電源が V_{DD33} を直接供給する場合は、次式を使用してLTC3882の平均電力損失 P_D (単位: W) の最大値を概算できます。

$$P_D = V_{DD33} (0.024 + f_{PWM} \cdot 1.6e-5 + I_{RC25})$$

その後、LTC3882の最大接合部温度 (単位: $^{\circ}\text{C}$) を次式から求めることができます。

$$T_J = T_A + 33 \cdot P_D$$

T_A は $^{\circ}\text{C}$ で表した周囲温度です。

温度によるEEPROM保持特性のディレーティング

85°C と 125°C の間のEEPROM読み出し動作はデータ記憶に影響しません。ただし、 85°C より高い温度でEEPROMが書き込まれるか、 125°C より高い温度で保存された場合、保持特性は劣化します。 85°C より高い温度で不定期のフォルト・ログが生成された場合、EEPROMフォルト・ログ領域でのデータ保持率のわずかな減少が、この機能の使用や他のEEPROMの記憶に影響することはありません。その他の高温でのEEPROM機能の詳細については、「動作」のセクションを参照してください。次式を使用して無次元の加速係数を計算することにより、データの劣化を近似できます。

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

ここで、

AF = 加速係数

E_a = 活性化エネルギー = 1.4eV

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

T_{USE} = 規定の接合部温度

T_{STRESS} = 実際の接合部温度 ($^{\circ}\text{C}$)

一例として、デバイスを 130°C で10時間にわたって保存した場合、

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

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

これはデバイスを 125°C で $10 \cdot 1.66 = 16.6$ 時間動作させるのと同じ効果があることを示しており、6.6時間の保持特性ディレーティングになります。

オープン・ドレイン・ピンの構成

LTC3882には、次のオープンドレイン・ピンがあります。

3.3Vピン

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

5V対応ピン

(これらのピンは3.3Vに低下した場合も正常に動作します。)

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

$\overline{\text{GPIO}}$ ピンは、マスタ位相に関して最も役立つ、パワーグッド・インジケータ出力としてプログラムすることができます。電源投入時またはその直後に有効な表示 (ピンを“L”にすること) が必要な場合は、関連するRUNピンとその $\overline{\text{GPIO}}$ 出力の間にショットキ・ダイオードを追加し、ダイオードのカソードをRUNピンの信号に接続してください。

アプリケーション情報

上記のピンには、いずれも0.4Vで3mAのシンク電流が可能な内蔵のプルダウン・トランジスタが接続されています。これらのピンの“L”状態のしきい値は1.4Vなので、電流が3mAの場合は広いノイズ・マージンが存在します。3.3Vピンの場合、3mAの電流は1.1kのプルアップ抵抗によって発生します。この回路網のRC時定数に伴うトランジエント速度が問題にならない限り、通常は10k以上の抵抗を推奨します。

SDA、SCL、SYNCなどの高速の信号では、より小さな値の抵抗が必要になる可能性があります。タイミングの問題を避けるために、RC時定数は必要な立ち上がり時間の1/3～1/5にしてください。100pFの負荷と400kHzのPMBusの通信速度では、時定数を立ち上がり時間の1/3に設定すると、SDAピンとSCLピンのプルアップ抵抗は次のようになります。

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

最も近い1%精度の抵抗値は1kです。

通信の問題を防ぐために、SDAとSCLラインの寄生容量は可能な限り小さくするように注意してください。負荷容量を見積もるには、対象となる信号をモニタし、目的の信号が出力値の約63%に達するまでにどれくらいの時間がかかるかを測定します。これが時定数の1単位になります。

SYNCピンには内蔵のプルダウン・トランジスタが接続されており、LTC3882で駆動する場合、出力を“L”に保持する時間は公称250nsです。内部発振器が500kHzに設定され、負荷が100pFで、立ち上がり時間の1/3が必要な場合、抵抗の計算は次のようになります。

$$R_{\text{PULLUP}} = \frac{2\mu\text{s} - 250\text{ns}}{3 \cdot 100\text{pF}} = 5.83\text{k}$$

最も近い1%精度の抵抗は5.76kです。

タイミング誤差が発生する場合、またはSYNCの振幅が要求される大きさにならない場合は、波形をモニタし、RC時定数がアプリケーションに対して長すぎないかを判断します。可能ならば、寄生容量を低減します。相しない場合は、プルアップ抵抗を十分に低減して適切な動作を保証します。

SHARE_CLK出力の公称の周期は10μsであり、“L”になる期間は約1μsです。この共有ラインでのシステム負荷が100pFの場合、立ち上がり時間が1/3のときのこのラインの抵抗計算は次のとおりです。

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

最も近い1%精度の抵抗は30.1kです。

PMBusの通信とコマンド処理

LTC3882は、図45に示すように深さ1のバッファを備えており、サポートされているコマンドごとに書き込まれた最後のデータを処理前に保持します。LTC3882の2つの独立した並列部分がコマンドのバッファ処理とコマンド処理を管理して、コマンドに最後に書き込まれたデータが決して失われないようにします。デバイスがバスから新しいコマンドを受信すると、コマンド・データ・バッファ処理により、データは書き込みコマンド・データ・バッファにコピーされ、そのコマンドのデータが処理対象であることが内部プロセッサに示されます。内部プロセッサは並列で動作し、処理対象としてマークされているコマンドのフェッチ、(内部形式への)変換、および実行という低速化する場合があるタスクを実行します。

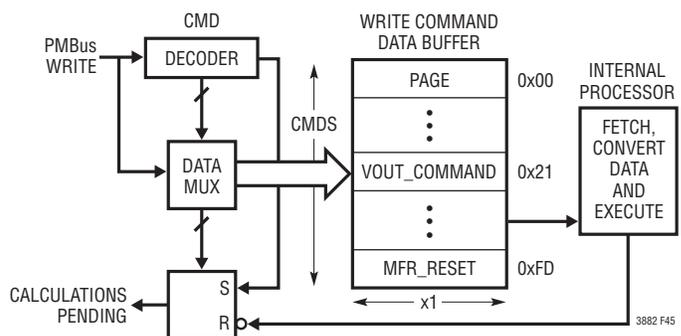


図45. コマンド・データ書き込み処理

計算の比重が大きいコマンド(例: タイミング・パラメータ、温度、電圧と電流)の一部では、内部プロセッサの処理時間がPMBusのタイミングに比べて長くなる場合があります。デバイスがコマンドの処理でビジー状態になっているときに新しいコマンド届くと、実行が遅れたり、受信の順番とは異なる順番で実行されたりすることがあります。デバイスは、内部計算が処理中であることを、MFR_COMMONのビット5 (LTC3882の計算は保留中ではない)によって示します。内部プロセッサが計算でビジー状態になっているとき、ビット5はクリアされます。このビットが設定された時点で、デバイスは新たなコマンドを実行できるようになります。図46にポーリング・ループの例を示します。コマンドが確実に順序どおり処理されるように

アプリケーション情報

```
// 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 46. VOUT_COMMAND を書き込むポーリング・ループの例

するとともに、エラー処理ルーチンを簡素化するループです。MFR_COMMON は、有効なデータを 10kHz と 400kHz の間の PMBus 速度で必ず返します。

デバイスはビジー中に新しいコマンドを受信すると、ビジー状態であることを標準 PMBus プロトコルによって知らせます。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。BUSY フォルトと ALERT 通知の生成、または SCL クロックの“L”期間の長時間化も行うことができます。詳細については、『PMBus Specification V1.2, Part II, Section 10.8.7』および『SMBus V2.0 section 4.3.3』を参照してください。クロック・ストレッチは、MFR_CONFIG_ALL_LTC3882 のビット 1 をアサートすることによってイネーブルできます。クロック・ストレッチが行われるのは、この機能がイネーブルされ、かつバス通信速度が 100kHz を超えている場合だけです。

ビジー・デバイスの PMBus プロトコルは広く受け入れられた規格ですが、書き込みのシステム・レベル・ソフトウェアがある程度複雑化する可能性があります。このデバイスには 3 つのハンドシェイク・ステータス・ビットがあり、これによって堅牢なシステム・レベルの通信が可能になる一方で、この複雑さが軽減されます。これら 3 つのハンドシェイク・ステータス・ビットは MFR_COMMON レジスタ内にあります。内部動作の実行によってビジー状態のとき、デバイスは MFR_COMMON のビット 6 (LTC3882 はビジーではない) をクリアします。内部計算が進行中の場合、デバイスは MFR_COMMON のビット 5 (LTC3882 の計算は保留中ではない) をクリアします。特に VOUT が遷移状態 (マージニング、オフ/オン、新しい VOUT_COMMAND への移行など) であるためにデバイスがビジーである場合、デバイスは MFR_COMMON のビット 4 (LTC3882 の出力は遷移中でない) をクリアします。これら 3 つのステータス・ビットは、3 つのビットすべてが設定されるまで、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。これらのすべてのステータス・ビットが設定された直後のコマンドは、NACK、BUSY フォルト、または ALERT 通知なしで受け付けられます。ただし、PMBus 仕

様が要求する他の理由によってコマンドに NACK 応答が返される可能性があります (たとえば、無効なコマンドやデータなど)。VOUT_COMMAND レジスタに対する信頼性の高いコマンド書き込みアルゴリズムの例を図 46 に示します。

ビジー動作や不要な ALERT 通知の処理がより複雑になるのを避けるため、すべてのコマンド書き込みの前には、ポーリング・ループなどを使用することを推奨します。これを達成する簡単な方法は、サブルーチン内のポーリングを書き込みコマンド・バイトおよびワードに組み込むことです。このポーリング・メカニズムにより、ソフトウェアをクリーンかつシンプルに保ちながら、デバイスとの堅牢な通信を実現できます。これらのトピックやその他の個々のケースに関する詳細な検討については、www.linear-tech.co.jp/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・スピードで通信する場合、前述したポーリング・メカニズムは、クロック・ストレッチなしで堅牢な通信を確保する、簡単な解決策となります。バス・スピードが 100kHz を超える場合は、デバイスをクロック・ストレッチの使用に対応できるようにして、この機能をサポートする PMBus マスタを要求することを強く推奨します。クロック・ストレッチでは、400kHz より高速で動作するバスで LTC3882 が信頼性の高い通信を実現できません。400kHz を超える PMBus SCL レートで LTC3882 を動作させることは推奨しません。100kHz を超える速度でクロック・ストレッチなしの通信を行うには、「PMBus Specification V1.2, Part II, Section 10.8.7」に記載されている標準の PMBus NACK 応答または BUSY フォルトを検出して、正常状態に回復できるシステム・ソフトウェアが必要です。

堅牢な PMBus インタフェースを LTC3882 に実装するために適用できる技術については、アプリケーションノート 135 を参照してください。

ステータス・ログとフォルト・ログの管理

内部動作が原因で、きわめてまれに STATUS_WORD の LS バイトが MS バイトのビットの状態と一致しないことがあります。この状態はかなり一時的なことから、通常は STATUS_WORD を再度読み出すだけで解決できます。

フォルト・ログの EEPROM への内部記憶中に電源が失われると、ログが部分的に書き込まれる可能性があります。この状況では、次に適切な電源電圧が加わったとき、LTC3882 はフォルト・ログが存在することを示しません (STATUS_MFR_SPECIFIC のビット 3)。部分的なフォルト・ログが存在するかどうかは、ログ (MFR_FAULT_LOG) のヘッダを調べること

3882f

アプリケーション情報

で検出できます。表2で規定されているように、フォルト・ログの前書きの最初の2ワードに有効なデータが含まれており、STATUS_MFR_SPECIFICが完全なフォルト・ログの存在を示さない場合は、部分的なログが起動時にEEPROMに存在し、RAMに読み込まれています。その後、ログがどの程度実際に有効であるかを調べるには、各ログ・イベント・レコードの内容を主観的に評価する以外に方法はありません。MFR_CLEAR_FAULT_LOGは、部分的なフォルト・ログを恒久的に消去するので、その後にログを書き込むことができます。フォルト・ログ記録をイネーブルする場合(MFR_CONFIG_ALL_LTC3882のビット7)は、電源投入時に部分的なフォルト・ログの有無を常にチェックするのが実践的です。

LTpowerPlay – 対話型のデジタル・パワー GUI

LTpowerPlayは、LTC3882などのリニアテクノロジーのパワーシステム・マネージメントICをサポートする、Windowsベースの強力な開発環境です。リニアテクノロジーのデモ回路またはユーザー・アプリケーションに接続することにより、LTpowerPlayを使用してLTC製品を評価できます。LTpowerPlayはオフライン(ハードウェアなし)で使用して、複数のデバイスの構成ファイルを作成することもできます。このファイルは保存して後で再度読み込むことができます。LTpowerPlayは、USBとI²C/SMBus/PMBus間のコントローラであるDC1613を使用してシステムと通信し、評価、開発、またはデバッグに対応します。このソフトウェアは、最新のデバイス・ドライバおよび文書をリニアテクノロジーから入手可能にして最新の状態を維持する自動更新機能も備えています。LTpowerPlayでは、いくつかのチュートリアルを含む、充実したコンテキスト対応のヘルプを利用することができます。詳細な情報は、<http://www.linear-tech.co.jp/ltpowerplay>より入手可能です。

DC1613とのインタフェース

USBとI²C/SMBus/PMBus間のコントローラであるLTC DC1613は、任意の基板に実装されたLTC3882とインタフェースをとって、プログラミング、遠隔測定、およびシステムのデバッグに対応できます。これには、リニアテクノロジー製のDC1936や、あらゆる顧客ターゲット・システムが含まれます。このコントローラをLTpowerPlayと併用すると、電源システム全体の強力なデバッグ手段になります。遠隔測定、フォルト・ステータス・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。最終構成を短時間で開発し、LTC3882のEEPROMまたはLTpowerPlay構成ファイルあるいはその両方に格納できます。

DC1613は、1つまたは複数のLTC3882に対する通信、プログラミングが可能であり、さらにシステム電源が起動しているかどうかに関係なく、LTC3882に電源を供給することもできます。給電プログラミング・アダプタDC2086を使用して、DC1613の電力供給能力を増強することもできます。通常はV_{CC}システム電源(5V~12V)から電力が供給される複数のLTC3882のシステム内プログラミングのアプリケーション回路図を図47に示します。V_{CC}が印加されている場合、DC1613は基板上のLTC3882に電力を供給しません。DC2086を使用する場合は、SiA907EDJTなどのR_{DS(ON)}が小さいPFETをTP0101Kデバイスの代わりに使用します。通常時はシステムが3.3Vを直接LTC3882に供給する例を図48に示します。

これらの回路の一方でシステム電源が起動していない場合、DC1613はLTC3882のV_{DD33}電源に電力を供給するので、回路内構成または製造時のカスタマイズが可能です。これらの回路はLTC3882の遠隔診断、制御、および再プログラミングを円滑化する一方で、ホスト・システムは完全に動作可能なので、非常に柔軟なシステム内デバッグが可能です。

DC1613またはDC2086によって電力が引き続き供給されている間にシステム電源が回復すると、パワー段に対する電源バイアスが十分に確立される前に、LTC3882は出力ソフトスタートの開始準備を完了できることが多くなります。TON_DELAYによりLTC3882の遅延時間を長くするか、または図55に示すように、共通のシステムRUNラインを使用し、許容できる動作パラメータに基づいて、LTC3882とその関連のパワー段の両方を制御します。DC1613のI²C接続は、ホストPCのUSBから光遮断状態になっています。DC1613の3.3Vの電流制限値はわずか100mAなので、3.3V電源は1つまたは2つのLTC3882のシステム内に電力を供給するためだけに使用します。この電流供給能力は制限されているので、DC1613を電源とする絶縁型の3.3V電源の電力供給先は、LTC3882、その関連プルアップ抵抗、およびI²Cのプルアップ抵抗だけにします。DC2086を使用すると、通常システム電源を印加しなくても、数十個のLTC3882デバイスのシステム内プログラミングが可能になります。さらに、I²Cバス接続をLTC3882と共有しているその他のデバイスがある場合、それらのSDA/SCLピンとそれぞれのロジック電源の間にボディ・ダイオードが形成されないようにします。これは、システム電源が存在しない場合にバス通信に干渉するからです。外部からRUNピンを“L”に保持して、デバイスの構成が完了するまで負荷に電力が供給されないようにします。

アプリケーション情報

以上のバイパス・コンデンサを V_{DD33} に接続することがやはり必要です。

まず、EEPROM に格納されている $V_{OUT_COMMAND}$ を 3.3V にプログラミングすることにより、安定化出力を設定します。

周波数と位相も EEPROM の値によって設定されます。ソリューションの実装面積または縦方向の間隔が問題であると仮定すると、インダクタの値 (サイズ) を最小限に抑えるために動作周波数を高くする必要があります。このように選択したのは平均以上のトランジェント性能が必要なことにも起因しますが、効率はわずかに低下することがあります。FREQUENCY_SWITCH は 1.0MHz に設定します。2 位相系として、MFR_PWM_CONFIG_LTC3882 を 0x14 にプログラムして、チャンネル 0 の位相を 0° に、またチャンネル 1 の位相を 180° にします。これにより、この構成で可能な最小の入力リップルになるので、この出力は SHARE_CLK を介して他のレールと同期することができます。

設計は I_{OUT} の 70% の公称出力リップルにして磁気量を最小限に抑える計画です。また、インダクタンスの値はこの前提に基づいて選択します。各チャンネルは全負荷時に平均 20A を出力に供給するので、リップルは 14A_{p-p} になります。1 位相当りのインダクタを 200nH にすると、1.0MHz のときのリップルがこのピーク・トゥ・ピーク値になります。標準の DCR が 0.32m Ω の 210nH インダクタである Pulse 社製 PA0513.22LT を選択します。IOUT_FAULT_LIMIT を 1 位相当り 35A に設定すると、トランジェント状態のとき十分なヘッドルームを確保しつつ、全温度でのインダクタの定格飽和電流である 45A からなおも十分に保護することができます。

上側と下側のパワー FET については、40V 定格の Infineon 社製 BSC050N04LSG および BSC010N04LS をそれぞれ選択します。これらは低 $R_{DS(ON)}$ と低ゲート電荷 Q_G の両方をもたらします。これらの各 FET は、必要に応じて 2 つずつ並列接続して、全負荷時の効率を向上させることができます。

LTC4449 ゲート・ドライバを選択した理由は、その高速応答 (13ns)、適切なゲート駆動、 V_{IN} 性能 (38V)、および LTC3882 とのインタフェースの容易性です。両方のチャンネルの MFR_PWM_MODE_LTC3882 を 0xC0 にプログラムすることにより、基本的なスリーステート制御、CCM 動作、BOOST の高速リフレッシュ、低 V_{OUT} 範囲、およびデジタル出力電圧サーボを選択します。

入力フィルタリングについては、47 μ F の SUNCON コンデンサと 4 つの 22 μ F セラミック・コンデンサを選択して、コンバータのリップル電流設計値に対して許容できる AC インピーダンス

を実現します。出力には 4 つの 470 μ F、9m Ω POSCAP と 2 つの 100 μ F セラミック・コンデンサを選択して、過酷なトランジェント状態でも電源のレギュレーションを維持し、出力電圧リップルを最小限に抑えます。

ループのクロスオーバー周波数は 100kHz なので、優れたトランジェント性能を実現しながらコンバータのスイッチング周波数を十分に下回ります。R29、R30、および C25 ~ C27 の値は、公称のシステム位相余裕がこの帯域幅で約 65° になるように決定しました。

DCR による検出フィルタ回路網については、 $R = 3.09k$ と $C = 220nF$ を選択して、インダクタの L/DCR 時定数に整合させます。PolyPhase 接続 (I_{AVG} など) を回路図で示しているのは、2 つのパワー段間での良好な出力電流分担を保証するためです。

外部温度検出は高精度の ΔV_{BE} 法を採用しており、Q1 と Q2 は、それぞれ L1 と L2 の温度を検出する役割を果たします。これらの部品は、BJT と一緒に配置されたチョークおよび 10nF フィルタ・コンデンサのすぐ近くに配置します。

ASELn ピンには構成抵抗を使用して PMBus アドレス (MFR_ADDRESS) を 0x4C にプログラムします。各 LTC3882 は一意のアドレスになるように構成する必要があります。システム内プログラミングを最も簡単にするには、両方の ASELn ピンを使用してこのプログラミングを行うことを推奨します。選択したアドレスを検査して、グローバル・アドレスまたは他の特定のデバイスのアドレスとの衝突を回避します。両方のチャンネルの EEPROM に同一の MFR_RAIL_ADDRESS を設定すると、IOUT_OC_FAULT_LIMIT などの一般的なレール・パラメータを 1 回のコマンドで制御できます。LTC3882 は、7 ビットのグローバル・アドレス (0x5A および 0x5B) にも応答します。MFR_ADDRESS および MFR_RAIL_ADDRESS は、これらの値のどちらにも設定しないでください。

PMBus 接続 (3 信号)、ならびに共有 RUN 制御やフォルト伝播 (GPIO) が用意されています。必要な場合は、SYNC を使用して他の PWM をこのレールに同期させることができます。PMBus の書き込みは、WP ピンを接地すれば可能になります。

これらすべての共有オープンドレイン信号にはプルアップ回路が設けられており、最大 100pF の線路負荷と 100kHz の PMBus レートを想定しています。これらのピンはフロートのままにしないでください。3.3V に終端すると、対象ピンの絶対最大定格を超えないことが保証されます。ソフトスタート/ソフトストップなどの他のすべての動作パラメータおよび目的のフォルト応答は、LTC3882 内部の EEPROM に格納された PMBus コマンド値を介してプログラムされます。

PMBus コマンドの詳細 (機能グループ別)

アドレス指定および書き込み保護

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	デフォルト 値
PAGE	0x00	いずれかのページ設定コマンドに現在選択されているチャンネル(ページ)。	R/W Byte	N	Reg			0x00
PAGE_PLUS_WRITE	0x05	指定のページにコマンドを直接書き込む。	W Block	N				
PAGE_PLUS_READ	0x06	指定のページからコマンドを直接読み取る。	Block R/W Process	N				
WRITE_PROTECT	0x10	意図しないPMBus 変更からデバイスを保護する。	R/W Byte	N	Reg		●	0x00
MFR_ADDRESS	0xE6	右そろえした7ビットのデバイス・アドレスを指定する。	R/W Byte	N	Reg		●	0x4F
MFR_RAIL_ADDRESS	0xFA	PolyPhase出力を構成するチャンネルに対して、右そろえした独自の7ビット・アドレスを指定する。	R/W Byte	Y	Reg		●	0x80

関連コマンド:MFR_COMMON。

PAGE

PAGE コマンドには、MFR_ADDRESS または GLOBAL デバイス・アドレスのいずれか一方の物理アドレスだけで両方のPWMチャンネルの構成、制御、およびモニタを行う機能があります。各PAGEには、一方のPWMチャンネルの動作メモリが含まれます。

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

PAGEを0xFFに設定すると、以下のいずれかのページ設定コマンドが両方の出力に適用されます。PAGEを0xFFに設定したデバイスからの読み取りは推奨されません。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

PAGE_PLUS_WRITE

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

PAGE コマンドで保存された値は、PAGE_PLUS_WRITEによる影響を受けません。PAGE_PLUS_WRITEを使用してページ設定以外のコマンドを送信する場合、Page Numberバイトは無視されます。

このコマンドはWrite Blockプロトコルを使用します。2つのデータ・バイトがあるコマンドを送信するPAGE_PLUS_WRITEコマンドとPECの一例を図49に示します。

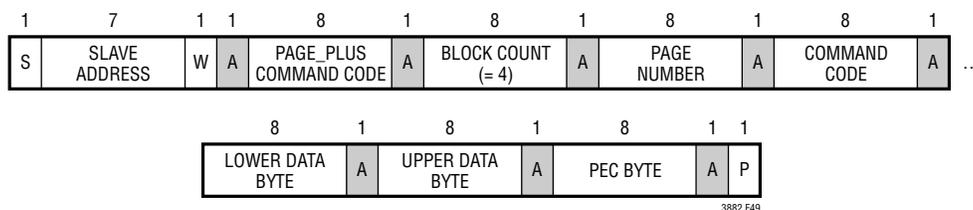


図 49. PAGE_PLUS_WRITE の例

PMBus コマンドの詳細 (アドレス指定および書き込み保護)

PAGE_PLUS_READ

PAGE_PLUS_READ コマンドは、デバイス内にページを設定し、コマンドを送信して、その後コマンドによって返されるデータを1つの通信パケットですべて読み取る機能を提供します。

PAGE コマンドで保存された値は、PAGE_PLUS_READ による影響を受けません。PAGE_PLUS_READ を使用してページ設定以外のコマンドによりデータにアクセスする場合、Page Number バイトは無視されます。

このコマンドは Block Write – Block Read Process Call を使用します。PAGE_PLUS_READ コマンドと PEC の一例を図 50 に示します。

注記：PAGE_PLUS コマンドをネストすることはできません。PAGE_PLUS コマンドは、別の PAGE_PLUS コマンドの読み取りまたは書き込みに使用することはできません。これを試行すると、LTC3882 は PAGE_PLUS パケット全体に NACK を返し、無効なデータ/サポートされていないデータに対して CML フォルトを出します。

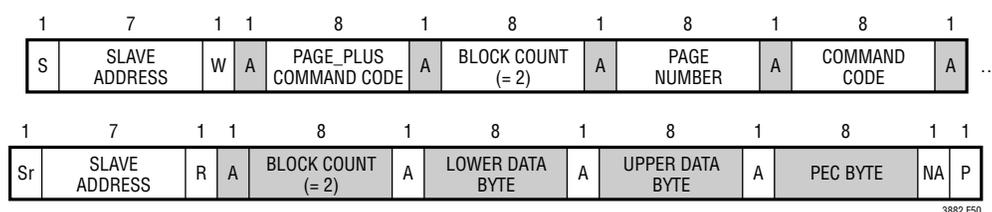


図 50. PAGE_PLUS_READ の例

WRITE_PROTECT

WRITE_PROTECT コマンドは、LTC3882 への PMBus 書き込みアクセスを制御するために使用します。

サポートされている値:

値	意味
0x80	WRITE_PROTECT、PAGE、STORE_USER_ALL、MFR_EE_UNLOCK コマンド以外のすべての書き込みをディスエーブルします。
0x40	WRITE_PROTECT、PAGE、STORE_USER_ALL、MFR_EE_UNLOCK、OPERATION、CLEAR_PEAKS、CLEAR_FAULTS コマンド以外のすべての書き込みをディスエーブルします。個々のフォルトは、対応するステータス・ビットに1を書き込むことでクリアすることもできます。
0x20	WRITE_PROTECT、PAGE、STORE_USER_ALL、MFR_EE_UNLOCK、OPERATION、CLEAR_PEAKS、CLEAR_FAULTS、ON_OFF_CONFIG、VOUT_COMMAND コマンド以外のすべての書き込みをディスエーブルします。個々のフォルトは、対応するステータス・ビットに1を書き込むことでクリアできます。
0x00	すべてのコマンドへの書き込みをイネーブルします。

このコマンドによって返された値は、WP ピンの状態を反映しません。強制的に“L”になっていない場合、WP ピンの状態が優先されます。WP ピンの状態は MFR_COMMON コマンドにより読み出すことができます。WP ピンが強制的に“L”になっていない場合は、PAGE、OPERATION、MFR_EE_UNLOCK、CLEAR_PEAKS、および CLEAR_FAULTS コマンドがサポートされ、個々のフォルトはそれぞれのステータス・ビットに1を書き込むことによりクリアできます。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細 (アドレス指定および書き込み保護)

MFR_ADDRESS

MFR_ADDRESS コマンドは、このデバイスの PMBus デバイス・アドレスの 7 ビットをセットします (右ぞろえ)。

このコマンドの値を 0x80 に設定すると、デバイスレベルのアドレス指定が無効になります。グローバル・デバイス・アドレス 0x5A および 0x5B を無効にすることはできません。LTC3882 はこれらのアドレスで常に応答します。MFR_CONFIG_ALL_LTC3882 のビット 6 がデバイス抵抗構成ピンを無視するよう設定されている場合でも、ASEL0 または ASEL1 の外付け抵抗によって指定されている任意の有効なアドレスまたはアドレスの一部が適用されます。これらのピンが両方とも開放の場合、デバイス・アドレスは EEPROM に格納されている MFR_ADDRESS の値によって厳密に決定されます。追加の詳細については、「動作」セクションの「抵抗構成ピン」を参照してください。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

MFR_RAIL_ADDRESS

MFR_RAIL_ADDRESS コマンドは、アクティブなチャンネルに対して、PAGE コマンドによる指定どおりに 7 ビットの PMBus アドレスを直接セットします (右ぞろえ)。このアドレスは、1 つの電源レールに接続されたすべてのチャンネルで共通にする必要があります。このコマンドの値を 0x80 に設定すると、選択チャンネルに対するレール・デバイス・アドレス指定がディスエーブルされます。レール・アドレスに対しては、コマンド書き込みだけを行うようにしてください。このアドレスから読み出しを実行すると、CML フォルトが生じる場合があります。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

一般的なデバイス構成

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	デフォルト 値
PMBUS_REVISION	0x98	サポート対象の PMBus バージョン。	R Byte	Y	Reg			0x22 V1.2
CAPABILITY	0x19	サポートされているオプションの PMBus 機能の要約。	R Byte	N	Reg			0xB0
MFR_CONFIG_ALL_LTC3882	0xD1	LTC3882 のデバイス・レベルの構成。	R/W Byte	N	Reg		●	0x01

PMBUS_REVISION

PMBUS_REVISION コマンドは、デバイスがサポートする PMBus Specification のリビジョンを返します。LTC3882 は、PMBus Specification Version 1.2 の Part I および Part II の両方に準拠しています。

この読み出し専用コマンドは 1 バイトのデータを伴います。

CAPABILITY

CAPABILITY コマンドは、いくつかの重要な LTC3882 の機能を PMBus ホスト・デバイスに報告します。

LTC3882 は、パケット・エラー検査、400kHz のバス・スピードをサポートし、 $\overline{\text{ALERT}}$ 出力を備えています。

この読み出し専用コマンドは 1 バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細 (一般的なデバイス構成)

MFR_CONFIG_ALL_LTC3882

MFR_CONFIG_ALL_LTC3882 コマンドは、複数の LTC PMBus 製品に共通するデバイスレベルの構成を実現します。

ビットの定義:

ビット	意味
7	フォルト・ログ記録をイネーブルする。
6	抵抗構成ピンを無視する。ASEL0 と ASEL1 には適用されない。
5	(予備)。
4	SYNC 出力をディスエーブルする。
3	255ms の PMBus タイムアウトをイネーブルする。
2	PMBus の書き込みに有効な PEC が必要。
1	PMBus クロックのストレッチングをイネーブルする。
0	いずれの RUN ピンの立ち上がりエッジで CLEAR_FAULTS を実行する。

LTC3882 は、無効な PEC が付加された正しいコマンドを受け取った場合、ビット 2 の状態に関係なく、そのコマンドを実行しません。クロック・ストレッチをイネーブルしている場合、LTC3882 がこれを使用するのは必要な場合だけで、通常は SCL レートが 100kHz より高い場合です。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

オン、オフ、およびマージン制御

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	ページ指定	データ形式	単位	NVM	デフォルト値
ON_OFF_CONFIG	0x02	RUN ピンおよび PMBus のオン/オフ・コマンドの構成。	R/W Byte	Y	Reg		●	0x1E
OPERATION	0x01	オン、オフ、およびマージン制御。	R/W Byte	Y	Reg		●	0x80
MFR_RESET	0xFD	電源を切らずに完全リセットを強制する。	Send Byte	N				

ON_OFF_CONFIG

ON_OFF_CONFIG コマンドは、PWM チャネルをオン/オフするのに必要な RUN_n ピンの入力状態と PMBus コマンドの組み合わせを指定します。

サポートされている値:

値	意味
0x1F	OPERATION の値と RUN _n ピンからの命令は、どちらもデバイスが起動/動作する命令にする必要があります。デバイスはオフするよう命令されると直ちにオフになります。
0x1E	OPERATION の値と RUN _n ピンからの命令は、どちらもデバイスが起動/動作する命令にする必要があります。デバイスは、オフするよう命令されると TOFF_ コマンドの値を使用します。
0x17	RUN _n ピンは、オフするよう命令されると、直ちにオフするよう制御します。OPERATION によるオン/オフ制御は無視されます。
0x16	RUN _n ピンは、オフするよう命令されると、TOFF_ コマンドの値を使用して制御します。OPERATION によるオン/オフ制御は無視されます。

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

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細 (オン、オフ、およびマージン制御)

OPERATION

OPERATION コマンドは、RUN ピンのハードウェア制御と組み合わせて、PWM チャネルをオン/オフするのに使用されます。このコマンドは出力電圧をマージン・レベルに移動させる目的にも使用できます。OPERATION マージン・コマンドによって命令された V_{OUT} の変更は、プログラムされた $V_{OUT_TRANSITION_RATE}$ で行われます。デバイスは命令された動作状態にとどまり、OPERATION コマンドまたは RUN ピンの電圧によって指示を受けてはじめて、別の状態に変化します。

TON_RISE または TOFF_FALL 出力シーケンス制御が進行中の場合は、完了するまでマージン・コマンドの実行は遅れます。マージン値は、有効にした場合、AVP 機能の影響を受けます。フォルトを無視するマージン動作は、LTC3882 ではサポートされません。

サポートされている値:

値	意味
0xA8	上方マージン
0x98	下方マージン
0x80	オン (ON_OFF_CONFIG のビット 3 がセットされていない場合でも V_{OUT} は公称値に戻る)。
0x40*	ソフトオフ (シーケンス制御あり)
0x00*	即時オフ (シーケンス制御なし)

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

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

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

MFR_RESET

このコマンドは、シリアル・バスから LTC3882 をリセットする方法を与えます。このコマンドにより、LTC3882 は両方の PWM チャネルをオフにして、内部 EEPROM から動作メモリを読み込み、フォルトをすべてクリアして、両方の PWM チャネルのソフトスタートを実行します (イネーブルしている場合)。

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。

PMBus コマンドの詳細 (PWM 構成)

PWM 構成

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	デフォルト 値
FREQUENCY_SWITCH	0x33	PWM周波数制御。	R/W Word	N	L11	kHz	●	500kHz 0xFBE8
MFR_PWM_CONFIG_LTC3882	0xF5	両方のチャンネルに共通のLTC3882 PWM構成。	R/W Byte	N	Reg		●	0x14
MFR_CHAN_CONFIG_LTC3882	0xD0	LTC3882のチャンネル固有の構成。	R/W Byte	Y	Reg		●	0x1D
MFR_PWM_MODE_LTC3882	0xD4	LTC3882のチャンネル固有のPWMモード制御。	R/W Byte	Y	Reg		●	0x48

関連コマンド: MFR_TEMP_1_GAIN_ADJUST、MFR_TEMP_1_OFFSET

FREQUENCY_SWITCH

FREQUENCY_SWITCH コマンドは、LTC3882の両方のPWMチャンネルのスイッチング周波数をkHz単位で設定します。SYNCを共有するデバイスをクロック・マスタとして設定しますが、最大でも1つだけにします。MFR_CONFIG_ALL_LTC3882のビット4を参照してください。予想される外部クロック信号源が存在しない場合、または外部フォルトや競合が原因でバス接続SYNCラインが固定状態になった場合は、FREQUENCY_SWITCHの値によってPWM動作の自走周波数が決まります。RUN_nピン、OPERATIONコマンド、またはその組み合わせによって両方のPWMチャンネルをオフにして、このコマンドを処理する必要があります。いずれかのPWMコントローラが動作しているときにこのコマンドが送信されると、LTC3882はコマンド・バイトにNACKを返し、コマンドとそのデータを無視して、BUSYフォルトをアサートします。このコマンドの値を変更した後は、新しい周波数が設定されるまでPLL非同期の状態が報告される場合があります。

対応する周波数:

値	PWM周波数(標準)
0x0A71	1.25MHz
0x03E8	1MHz
0x0384	900kHz
0x02EE	750kHz
0x0258	600kHz
0xFBE8	500kHz
0xFB84	450kHz
0xFB20	400kHz
0xFABC	350kHz
0XFA58	300kHz
0xF3E8	250kHz
0x0000	外部同期のみ

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

LTC3882

PMBusコマンドの詳細 (PWM構成)

MFR_PWM_CONFIG_LTC3882

MFR_PWM_CONFIG_LTC3882コマンドは、LTC3882のPWM関連のクロック生成を制御します。RUN_nピン、OPERATIONコマンド、またはその組み合わせによって両方のPWMチャンネルをオフにして、このコマンドを処理する必要があります。いずれかのPWMコントローラが動作しているときにこのコマンドが送信されると、LTC3882はコマンド・バイトにNACKを返し、コマンドとそのデータを無視して、BUSYフォルトをアサートします。

サポートされている値:

ビット	意味				
7	(予備、0と書き込む必要あり)。				
6	(予備、0と書き込む必要あり)。				
5	(予備)。				
4	SHARE_CLK構成: 0:SHARE_CLKは、初期化後、VINSNS ≥ VIN_ONになると連続してイネーブルされる。 1:SHARE_CLKはVINSNS ≤ VIN_OFFである場合、常に“L”を強制され、VINSNS ≥ VIN_ONになるまで“L”が保持される。				
3	(予備)。				
2:0	値	位相		最大デューティ・サイクル	
		チャンネル0	チャンネル1		
	111b	135°	315°		87.5%
	110b	90°	270°		
	101b	45°	225°		
	100b	0°	180°		
	011b	120°	300°		83.3%
	010b	60°	240°		
	001b	0°	180°		
000b	0°	120°			

位相は、SYNCの立ち下がりエッジからTG/PWMの立ち下がりエッジまでで表現されます。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細 (PWM 構成)

MFR_CHAN_CONFIG_LTC3882

MFR_CHAN_CONFIG_LTC3882 コマンドは、複数の LTC PMBus 製品に共通するチャンネルごとの構成を実現します。

ビットの定義:

ビット	意味
7:5	(予備)。
4	RUN ピン制御: 0: チャンネルがオフになるよう命令されると、ビット 3 の状態に関係なく、関連の RUN ピンには TOFF_DELAY + TOFF_FALL + 136ms (または MFR_RESTART_DELAY、その方が長い場合) の間“L”のパルスが入力されます。 1: チャンネルがオフになるよう命令された場合、RUN ピンに“L”のパルスが入力されません。
3	短絡サイクル制御: 0: 特殊な制御なし。デバイスは出されたオン/オフ・コマンドに正確に従おうとします。 1: TOFF_DELAY または TOFF_FALL の期限が切れるのを待っている間にオンに戻るよう命令されると、出力は直ちにディスエーブルされます。その後、チャンネルがオンに戻る前に、120ms の最小オフ時間が強制されます。ビット 4 がクリアされた場合は、遅延時間が追加されます。
2	SHARE_CLK の出力制御: 0: 特殊な制御なし。 1: SHARE_CLK が“L”に保持された場合、出力はディスエーブルされる。
1	(予備、0 と書き込む必要あり)。
0	MFR_RETRY_DELAY 制御: 0: レールをオフする何らかの動作後に再試行するために、設定値の 12.5% まで出力が低下することが必須。 1: 再試行するために出力の低下が必須ではない。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

LTC3882

PMBus コマンドの詳細 (PWM 構成)

MFR_PWM_MODE_LTC3882

MFR_PWM_MODE_LTC3882 コマンドは、重要な PWM 制御をチャンネルごとに設定します。このコマンドを出した場合は、アドレス指定チャンネルをその RUN ピン、OPERATION コマンド、またはその組み合わせによってオフにする必要があります。そうでない場合、LTC3882 はコマンド・バイトに NACK を返し、コマンドとそのデータを無視して、BUSY フォルトをアサートします。

ビット 5 がクリアされると、LTC3882 は TSNS_n ピンで A/D コンバータによって測定された ΔV_{BE} に基づいて温度 (°C) を次式で計算します。

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

ビット 5 が設定されると、LTC3882 は A/D コンバータによって測定された TSNS_n の電圧に基づいて温度 (°C) を次式で計算します。

$$T = (G \cdot (1.35 - V_{TSNSn} + O) / 4.3e-3) + 25$$

これら 2 つの式では、

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

$$O = \text{MFR_TEMP_1_OFFSET}$$

サポートされている値:

ビット	意味
7	出力電圧範囲の選択: 0: V _{OUT} の最大値 = 5.25V。 1: V _{OUT} の最大値 = 2.65V。
6*	V _{OUT} のサーボをイネーブルする。
5	外部温度の検出: 0: ΔV_{BE} の測定。 1: 電圧を直接測定。
4:3	BOOST のリフレッシュ幅: 11b: 250ns 10b: 125ns 01b: 50ns 00b: 25ns
2:1	PWM 制御プロトコル: 11b: 独立した TG/BG 制御出力。 10b: 2 ステート PWM 出力 (OD がアクティブ“L”、オープンドレイン)。 01b: 2 ステート PWM 出力 (EN がアクティブ“H”)。 00b: 3 ステート PWM 出力 (EN ピンがサブプロトコルを選択、「アプリケーション情報」を参照)。
0	PWM モード: 0: 強制連続インダクタ電流。 1: 不連続インダクタ電流。

* このチャンネルの MFR_VOUT_AVP を 0.0% より大きい値に設定すると、このビットは無視されます (サーボがディスエーブル状態)。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細 (入力電圧と制限値)

入力電圧と制限値

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	デフォルト 値
VIN_ON	0x35	電力変換を開始する最小入力電圧。	R/W Word	N	L11	V	●	6.5V 0xCB40
VIN_OFF	0x36	電力変換が停止する時点での減少中の 入力電圧。	R/W Word	N	L11	V	●	6.0V 0xCB00
VIN_OV_FAULT_LIMIT	0x55	V _{IN} の過電圧フォルト制限値。	R/W Word	N	L11	V	●	15.5V 0xD3E0
VIN_UV_WARN_LIMIT	0x58	V _{IN} の低電圧警告制限値。	R/W Word	N	L11	V	●	6.3V 0xCB26

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

VIN_ON

VIN_ON コマンドは、電力変換を開始するのに必要な入力電圧(V)を設定します。

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

VIN_OFF

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

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

VIN_OV_FAULT_LIMIT

VIN_OV_FAULT_LIMIT コマンドは、入力過電圧フォルトの原因となる、A/Dコンバータが測定した入力電圧の値をV単位で設定します。

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

VIN_UV_WARN_LIMIT

VIN_UV_WARN_LIMIT コマンドは、入力低電圧警告の原因となる、A/Dコンバータが測定した入力電圧の値を設定します。入力が、VIN_ONコマンドで設定した入力起動しきい値を超えてデバイスがイネーブル状態になるまで、この警告は無効です。その後、VIN_UV_WARN_LIMITを超えると、デバイスは以下のように動作します。

- STATUS_WORDのINPUTビットを設定する。
- STATUS_INPUTコマンドのV_{IN}低電圧警告ビットを設定する。
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートしてホストに通知する。

PMBus コマンドの詳細 (出力電圧と制限値)

出力電圧と制限値

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	デフォルト 値
VOUT_MODE	0x20	出力電圧の形式および指数。	R Byte	Y	Reg			2 ⁻¹² 0x14
VOUT_COMMAND	0x21	V _{OUT} の公称値。	R/W Word	Y	L16	V	●	1.0V 0x1000
MFR_VOUT_MAX	0xA5	任意のV _{OUT} 関連コマンドの最大値。	R Word	Y	L16	V	●	5.6V 0x599A
VOUT_MAX	0x24	任意のコマンドによって設定できるV _{OUT} の最大値、マージンを含む。	R/W Word	Y	L16	V	●	5.5V 0x5800
MFR_VOUT_AVP	0xD3	V _{OUT} 負荷線を指定する。	R/W Word	Y	L11	%	●	0% 0x8000
VOUT_MARGIN_HIGH	0x25	高いマージンのV _{OUT} 、VOUT_COMMANDより 大きい必要がある。	R/W Word	Y	L16	V	●	1.05V 0x10CD
VOUT_MARGIN_LOW	0x26	低いマージンのV _{OUT} 、VOUT_COMMANDより 小さい必要がある。	R/W Word	Y	L16	V	●	0.95V 0x0F33
VOUT_OV_FAULT_LIMIT	0x40	V _{OUT} の過電圧フォルト制限値。	R/W Word	Y	L16	V	●	1.1V 0x119A
VOUT_OV_WARN_LIMIT	0x42	V _{OUT} の過電圧警告制限値。	R/W Word	Y	L16	V	●	1.075V 0x1133
VOUT_UV_WARN_LIMIT	0x43	V _{OUT} の低電圧警告制限値。	R/W Word	Y	L16	V	●	0.925V 0x0ECD
VOUT_UV_FAULT_LIMIT	0x44	V _{OUT} の低電圧フォルト制限値。	R/W Word	Y	L16	V	●	0.9V 0x0E66

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

VOUT_MODE

VOUT_MODE コマンドは、LTC3882が出力電圧関連コマンドに対して使用する形式を指定します。Linear Modeだけがサポートされ、仮数はμV単位で表されます。書き込みプロトコルを使用してVOUT_MODE コマンドをLTC3882に送るとCMLフォルトが発生します。

この読み出し専用コマンドは1バイトのデータを伴います。

VOUT_COMMAND

VOUT_COMMANDは、出力電圧(V)を設定するときに使用します(AVPをイネーブルしている場合は負荷の値なし)。TON_RISEまたはTOFF_FALLの進行中の出力シーケンシングがある場合は、これが完了するまでこのコマンドの実行は遅れます。それ以外の場合、出力電圧はVOUT_TRANSITION_RATEの速度で新しい値に変更されます。

このコマンドは、Linear_16u形式の2バイトのデータを伴います。

MFR_VOUT_MAX

MFR_VOUT_MAX コマンドは、VOUT_OV_FAULT_LIMITなど、いずれかのV_{OUT}関連コマンドで許容される最大値(単位:V)を返します。この値は、選択されたチャンネルが生成できる最大の安定化電圧を表わします。

この読み出し専用コマンドは、Linear_16u形式の2バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細 (出力電圧と制限値)

VOUT_MAX

VOUT_MAX コマンドは、VOUT_MARGIN_HIGH など、出力電圧を設定する任意のコマンドの許容値の上限(単位:V)を設定します。VOUT_MAX を MFR_VOUT_MAX より大きな値に設定すると、CML フォルトが発生し、VOUT_MAX は MFR_VOUT_MAX の値に設定されます。VOUT_MAX を出力範囲0の5.5Vより高い値、または出力範囲1の2.75Vより高い値に設定すると、VOUT_MAX 警告も生成される場合があります。このコマンドは、V_{OUT} を VOUT_MAX より高い値に設定しようとするコマンドをどのように組み合わせても、警告が生じて出力は VOUT_MAX でクランプされることを保証します。VOUT_MAX 警告が発生した場合、デバイスは以下のように動作します。

- 問題が発生しているコマンドの値を VOUT_MAX で指定されている電圧に設定する
- STATUS_WORD の VOUT ビットを設定する
- STATUS_VOUT コマンドの VOUT_MAX 警告ビットを設定する
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートしてホストに通知する。

このコマンドは、Linear_16u 形式の2バイトのデータを伴います。

MFR_VOUT_AVP

MFR_VOUT_AVP コマンドは、出力電流がフルスケールで変化したときの出力電圧の変化をパーセント単位で設定します。MFR_VOUT_AVP は、能動電圧ポジショニング (AVP) 要件または受動電流分担方式に使用することができます。LTC3882 は、IOUT_OC_WARN_LIMIT の値を AVP のフルスケール電流として解釈します。MFR_VOUT_AVP が 0 以外の場合、VOUT_COMMAND は無負荷時の最大出力電圧を設定し、該当チャネルのサーボ・モードは自動的にディスエーブルされます。MFR_VOUT_AVP を 0.0% に設定すると、AVP 機能は自動的にディスエーブルされます。MFR_VOUT_AVP を使用した場合の範囲および分解能の追加の詳細については、「アプリケーション情報」のセクションを参照してください。

このコマンドは、Linear_5s_11s 形式の2バイトのデータを伴います。

VOUT_MARGIN_HIGH

VOUT_MARGIN_HIGH コマンドは、OPERATION コマンドで上方マージンを設定した場合に生成される出力電圧(単位:V)をプログラムします (AVP をイネーブルしている場合は負荷の値なし)。この値は VOUT_COMMAND より大きくなければなりません。

このコマンドは、Linear_16u 形式の2バイトのデータを伴います。

VOUT_MARGIN_LOW

VOUT_MARGIN_LOW コマンドは、OPERATION コマンドで下方マージンを設定した場合に生成される出力電圧(単位:V)をプログラムします (AVP をイネーブルしている場合は負荷の値なし)。この値は VOUT_COMMAND より小さくなければなりません。

このコマンドは、Linear_16u 形式の2バイトのデータを伴います。

VOUT_OV_FAULT_LIMIT

VOUT_OV_FAULT_LIMIT コマンドは、出力過電圧フォルトの原因となる測定値で、OV スーパーバイザが V_{SENSE}[±] ピンで測定した出力電圧の値を V 単位で設定します。対象チャネルがオンしているときに VOUT_OV_FAULT_LIMIT を変更する場合は、新しい値が有効になるまでに 10ms の余裕を見込む必要があります。その時間内に V_{OUT} を変更すると誤った OV フォルトが発生します。LTC3882 は、VOUT_OV_FAULT_LIMIT の設定値を新たに設定している間、MFR_COMMON ビット [6:5] を “L” に設定します。

このコマンドは、Linear_16u 形式の2バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細 (出力電圧と制限値)

VOUT_OV_WARN_LIMIT

VOUT_OV_WARN_LIMIT コマンドは、出力過電圧警告の原因となる測定値で、A/D コンバータが V_{SENSE}^+ ピンで測定した出力電圧の値を V 単位で設定します。VOUT_OV_WARN_LIMIT を超えると、デバイスは以下のように動作します。

- STATUS_WORD の VOUT ビットを設定する
- STATUS_VOUT コマンドの V_{OUT} 過電圧警告ビットを設定する
- マスクされていない限り、 \overline{ALERT} をアサートしてホストに通知する。

このコマンドは、Linear_16u 形式の 2 バイトのデータを伴います。

VOUT_UV_WARN_LIMIT

VOUT_UV_WARN_LIMIT コマンドは、出力低電圧警告の原因となる測定値で、A/D コンバータが V_{SENSE}^+ ピンで測定した出力電圧の値を V 単位で設定します。VOUT_UV_WARN_LIMIT を超えると、デバイスは以下のように動作します。

- STATUS_WORD の VOUT ビットを設定する
- STATUS_VOUT コマンドの V_{OUT} 低電圧警告ビットを設定する
- マスクされていない限り、 \overline{ALERT} をアサートしてホストに通知する。

このコマンドは、Linear_16u 形式の 2 バイトのデータを伴います。

VOUT_UV_FAULT_LIMIT

VOUT_UV_FAULT_LIMIT コマンドは、出力低電圧フォルトの原因となる測定値で、UV スーパーバイザが V_{SENSE}^+ ピンで測定した出力電圧の値を V 単位で設定します。

このコマンドは、Linear_16u 形式の 2 バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細 (出力電流と制限値)

出力電流と制限値

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	デフォルト 値
IOUT_CAL_GAIN	0x38	I _{SENSE} [±] 電圧と検出電流の比。	R/W Word	Y	L11	mΩ	●	0.63mΩ 0xB285
MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC	0xF6	出力電流検出素子の温度係数。	R/W Word	Y	CF	ppm/°C	●	3900ppm/°C 0x0F3C
IOUT_OC_FAULT_LIMIT	0x46	出力の過電流フォルト制限値。	R/W Word	Y	L11	A	●	29.75A 0xDBB8
IOUT_OC_WARN_LIMIT	0x4A	出力の過電流警告制限値。	R/W Word	Y	L11	A	●	20.0A 0xDA80

関連コマンド: STATUS_IOUT、SMBALERT_MASK、READ_IOUT、MFR_IOUT_PEAK、READ_POUT、IOUT_OC_FAULT_RESPONSE、MFR_VOUT_AVP

IOUT_CAL_GAIN

IOUT_CAL_GAIN コマンドは、出力電流検出素子の抵抗値を mΩ 単位で設定します。

このコマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC

MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC コマンドは、出力電流検出素子の温度係数 (ppm/°C) を設定します。有効な検出抵抗 (mΩ) は、LTC3882 により次式で計算されます。

$$R_{\text{SENSE}} = \text{IOUT_CAL_GAIN} \cdot (1 + 1\text{E-}6 \cdot \text{MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC} \cdot (\text{READ_TEMPERATURE_1} - 27))$$

このコマンドには 2 の補数整数を表わす 2 つのデータ・バイトがあります。

IOUT_OC_FAULT_LIMIT

IOUT_OC_FAULT_LIMIT コマンドは、OC スーパーバイザが出力電流フォルトを検出する原因となる瞬時のピーク出力電流の値 (A) を設定します。LTC3882 は、有効な検出抵抗計算値および I_{SENSE}[±] 入力間の電圧を使用して、出力電流を決定します。制限電圧の設定値は、0.0mV ~ 80.0mV の範囲内で最も近い 0.4mV 刻みの値に切り上げられます。出力過電流フォルトは、TON_RISE および TOFF_FALL 出力シーケンシングの間は無視されます。

このコマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

IOUT_OC_WARN_LIMIT

IOUT_OC_WARN_LIMIT コマンドは、出力過電流警告の原因となる、A/D コンバータが測定した出力電流の値 (A) を設定します。有効な応答を得るには、この値を、IOUT_OC_FAULT_LIMIT から予想リップル電流の最大値の 1/2 を減じた値より低い値に設定します。IOUT_OC_WARN_LIMIT を超えると、デバイスは以下のように動作します。

- STATUS_WORD の IOUT ビットを設定する
- STATUS_IOUT コマンドの I_{OUT} 過電流警告ビットを設定する
- マスクされていない限り、ALERT をアサートしてホストに通知する。

出力過電流警告は、TON_RISE および TOFF_FALL 出力シーケンシングの間は無視されます。

このコマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細 (出力のタイミング、遅延、およびランピング)

出力のタイミング、遅延、およびランピング

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	デフォルト 値
MFR_RESTART_DELAY	0xDC	LTC3882がRUNピンを“L”に保持する最小時間。	R/W Word	Y	L11	ms	●	500ms 0xFBE8
TON_DELAY	0x60	RUNピンまたはOPERATION ONコマンドからTON_RISEランプ開始までの遅延。	R/W Word	Y	L11	ms	●	0.0ms 0x8000
TON_RISE	0x61	TON_DELAY後にV _{OUT} が0VからV _{OUT_COMMAND} まで上昇する時間。	R/W Word	Y	L11	ms	●	8.0ms 0xD200
TON_MAX_FAULT_LIMIT	0x62	TON_DELAY後にV _{OUT} がV _{OUT_UV_FAULT_LIMIT} より高くなるまでの最大時間。	R/W Word	Y	L11	ms	●	10.0ms 0xD280
VOUT_TRANSITION_RATE	0x27	プログラムされている出力変化に合わせたV _{OUT} のスルーレート。	R/W Word	Y	L11	V/ms	●	0.25V/ms 0xAA00
TOFF_DELAY	0x64	RUNピンまたはOPERATION OFFコマンドからTOFF_FALLランプ開始までの遅延。	R/W Word	Y	L11	ms	●	0.0ms 0x8000
TOFF_FALL	0x65	TOFF_DELAY後にV _{OUT} がV _{OUT_COMMAND} から0Vまで下降する時間。	R/W Word	Y	L11	ms	●	8.0ms 0xD200
TOFF_MAX_WARN_LIMIT	0x66	TOFF_FALL経過後にV _{OUT} がV _{OUT_COMMAND} の12.5%より低くなるまでの最大時間。	R/W Word	Y	L11	ms	●	150ms 0xF258

関連コマンド: MFR_RETRY_DELAY、STATUS_VOUT、SMBALERT_MASK、TON_MAX_FAULT_RESPONSE、MFR_CHAN_CONFIG_LTC3882、MFR_PWM_MODE_LTC3882

これらのコマンドを使用して、任意の数のシステム電源レールについて必要なオン/オフ・シーケンシングを設定することができます。

MFR_RESTART_DELAY

MFR_RESTART_DELAY コマンドは、PWMの最小オフ時間(RUNピンが“L”)をms単位で指定します。RUNピンの立ち下がりエッジが検出された場合、LTC3882はこの長さの時間RUNピンをアクティブに“L”に保持します。この遅延時間後に、標準の起動シーケンスを開始できます。このコマンド値としては、TOFF_DELAY + TOFF_FALL + 136msを最小にすることを推奨します。有効な値の範囲は136ms ~ 65.52秒です。LTC3882は、このコマンドに対して16msの分解能を使用し、この範囲外の遅延を発生しません。

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

TON_DELAY

TON_DELAY コマンドは、起動状態から出力電圧の上昇開始までの遅延時間をms単位で設定します。0msから83秒までの値が有効とみなされ、LTC3882はこの範囲外の遅延を生成しません。

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

TON_RISE

TON_RISE コマンドは、出力が立ち上がり始めてからレギュレーション帯域に入るまでの所望の時間をms単位で設定します。0秒から1.3秒までの値が有効とみなされ、LTC3882はこの範囲外の立ち上がり時間を生成しません。TON_RISEの値を0.25ms未満にするか、得られる勾配が4V/msより大きくなると、出力ステップは、PWMアナログ・ループ応答によってのみ制限される指定の電圧になります。

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細 (出力のタイミング、遅延、およびランピング)

TON_MAX_FAULT_LIMIT

TON_MAX_FAULT_LIMIT コマンドは、最大時間を ms 単位で設定します。デバイスは、VOUT_UV_FAULT_LIMIT を通過せずに TON_RISE の最初から出力に電力を供給できます。値の 0ms は制限がないことを意味するので、デバイスは無期限に出力電圧を立ち上げようとする可能性があります。許容される最大の TON_MAX は 8 秒です。

このコマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

VOUT_TRANSITION_RATE

VOUT_TRANSITION_RATE コマンドは、VOUT_COMMAND コマンドまたは OPERATION (マージン) コマンドに対応した出力電圧の変化率を V/ms (または mV/ μ s) 単位で設定します。この変化率は、PWM チャネルを完全にオンまたはオフする動作には適用されません。1mV/ms から 4V/ms までの値が有効であるとみなされます。LTC3882 は 1mV/ms より低速で VOUT を遷移せず、値が 4V/ms を超えるとデバイスは出力をできるだけ迅速に遷移し、PWM アナログ・ループ応答によってのみ制限されます。

このコマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

TOFF_DELAY

TOFF_DELAY コマンドは、停止状態から出力電圧の下降開始までの遅延時間を ms 単位で設定します。0 から 16 までの値が有効であるとみなされます。

このコマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

TOFF_FALL

TOFF_FALL コマンドは、TOFF_DELAY の終了時点から、出力電圧を完全に 0 にすることを命令されるまでの時間を ms 単位で設定します。デバイスは、TOFF_FALL の間に指定の出力電圧を 0 まで直線的に低減しようとします。この期間が終了すると、PWM 出力はディスエーブルされます。

デバイスはその設定された PWM 動作モードを TOFF_FALL の間維持します。連続導通モードを使用すると、VOUT の明確なランプ・オフが生成されますが、負の出力電流が流れることがあります。サポートされている最小の立ち下がり時間は 0.25ms、または 4V/ms を超える立ち下がり率が得られる任意の値です。この値より小さい値を設定すると、コマンドで指定された 0.25ms ランプになります。場合によっては PWM アナログ・ループ応答によって制限されます。立ち下がり時間の最大値は 1.3 秒です。

不連続導通モードの場合、コントローラは負荷から電流を流すことができないため、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。

このコマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

TOFF_MAX_WARN_LIMIT

TOFF_MAX_WARN_LIMIT コマンドは、TOFF_FALL の経過後、警告が出される前に出力をオフするためにデバイスに割り当てられる時間を ms 単位で設定します。VOUT の電圧が VOUT_COMMAND の値の 12.5% より低くなった時点で出力がオフしたとみなします。

データ値の 0ms は制限がないことを意味するので、デバイスは無期限で出力をオフしようとする可能性があります。MFR_CHAN_CONFIG_LTC3882 のビット 0 を設定した場合は、強制される制限もなくなります。

このコマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細 (外部温度と制限値)

外部温度と制限値

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	デフォルト値
MFR_TEMP_1_GAIN	0xF8	外部温度計算のための勾配を設定する。	R/W Word	Y	CF		●	1.0 0x4000
MFR_TEMP_1_OFFSET	0xF9	外部温度計算のためのオフセット加数。	R/W Word	Y	L11	°Cまたは V	●	0.0 0x8000
OT_FAULT_LIMIT	0x4F	外部過熱フォルト制限値。	R/W Word	Y	L11	°C	●	100.0°C 0xEB20
OT_WARN_LIMIT	0x51	外部過熱警告制限値。	R/W Word	Y	L11	°C	●	85.0°C 0xEAA8
UT_FAULT_LIMIT	0x53	外部低温フォルト制限値。	R/W Word	Y	L11	°C	●	-40.0°C 0xE580

関連コマンド: STATUS_TEMPERATURE、SMBALERT_MASK、MFR_TEMPERATURE1_PEAK、OT_FAULT_RESPONSE、UT_FAULT_RESPONSE、STATUS_MFR_SPECIFIC、READ_TEMPERATURE_2、MFR_OT_FAULT_RESPONSE、MFR_PWM_MODE_LTC3882

MFR_TEMP_1_GAIN

MFR_TEMP_1_GAIN コマンドは、素子の非理想的特性とリモート検出誤差(存在する場合)を考慮するため、外部温度の計算で使用される勾配を設定します。式の詳細については、MFR_PWM_MODE_LTC3882 コマンドを参照してください。

このコマンドには2の補数整数を表わす2つのデータ・バイトがあります。

MFR_TEMP_1_OFFSET

MFR_TEMP_1_OFFSET コマンドは、素子の非理想的特性とリモート検出誤差(存在する場合)を考慮するため、外部温度の計算で使用されるオフセットを設定します。MFR_TEMP1_OFFSETの測定単位は、MFR_PWM_MODEのビット5により異なります。このビットを設定すると、MFR_TEMP1_OFFSETはVで表わされ、それ以外の場合は°Cで表されます。式の詳細については、MFR_PWM_MODE_LTC3882 コマンドを参照してください。

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

OT_FAULT_LIMIT

OT_FAULT_LIMIT コマンドは、過熱フォルトの原因となる外部検出温度の値を°C単位で設定します。

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

OT_WARN_LIMIT

OT_WARN_LIMIT コマンドは、過熱警告の原因となる外部検出温度の値を°C単位で設定します。OT_WARN_LIMITを超えると、デバイスは以下のように動作します。

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

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細 (外部温度制限値)

UT_FAULT_LIMIT

UT_FAULT_LIMIT コマンドは、低温フォルトの原因となる外部検出温度の値を°C単位で設定します。

このコマンドは、Linear_5s_11s形式の2バイトのデータを伴います。

状態報告

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	デフォルト値
STATUS_BYTE	0x78	1バイト・チャンネルの状態サマリー。	R/W Byte	Y	Reg			
STATUS_WORD	0x79	2バイト・チャンネルの状態サマリー。	R/W Word	Y	Reg			
STATUS_VOUT	0x7A	V _{OUT} のフォルトおよび警告の状態。	R/W Byte	Y	Reg			
STATUS_IOUT	0x7B	I _{OUT} のフォルトおよび警告の状態。	R/W Byte	Y	Reg			
STATUS_INPUT	0x7C	入力電源のフォルトおよび警告の状態。	R/W Byte	N	Reg			
STATUS_TEMPERATURE	0x7D	外部温度のフォルトおよび警告の状態。	R/W Byte	Y	Reg			
STATUS_CML	0x7E	通信、メモリ、およびロジックのフォルトおよび警告の状態。	R/W Byte	N	Reg			
STATUS_MFR_SPECIFIC	0x80	LTC3882固有の状態。	R/W Byte	Y	Reg			
MFR_PADS_LTC3882	0xE5	選択されているLTC3882パッドの状態。	R Word	N	Reg			
MFR_COMMON	0xEF	LTCの包括的なデバイス状態報告。	R Byte	N	Reg			
CLEAR_FAULTS	0x03	設定されているすべてのフォルト・ビットをクリアする。	Send Byte	N				

これらのレジスタ内容とそれらの関係の図表による表現については、図2を参照してください。

STATUS_BYTE

STATUS_BYTE コマンドは、最も重大なフォルトの1バイトの要約を返します。

STATUS_BYTEのメッセージの内容:

ビット	ステータス・ビット名	意味
7*	BUSY	LTC3882が応答できないので、フォルトが宣言された。
6	OFF	このビットは、単にイネーブルされていない場合も含めて、理由に関係なく、チャンネルが出力に電力を供給していない場合に設定される。
5	VOUT_OV	出力過電圧フォルトが生じている。
4	IOUT_OC	出力過電流フォルトが生じている。
3	VIN_UV	サポートされていない(LTC3882は0を返す)。
2	TEMPERATURE	温度フォルトまたは警告が生じている。
1	CML	通信、メモリ、またはロジック・フォルトが生じている。
0*	上記のいずれでもない	ビット [7:1] に記載されていないフォルトが生じている。

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

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細 (状態報告)

STATUS_WORD

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

STATUS_WORD 上位バイトのメッセージの内容:

ビット	ステータス・ビット名	意味
15	VOUT	出力電圧フォルトまたは警告が生じている。
14	IOUT	出力電流フォルトまたは警告が生じている。
13	INPUT	入力電圧フォルトまたは警告が生じている。
12	MFR_SPECIFIC	LTC3882 に固有のフォルトまたは警告が生じている。
11	POWER_GOOD#	このビットが設定されている場合、POWER_GOOD 状態は正しくない。
10	FANS	サポートされていない(LTC3882 は0を返す)。
9	OTHER	サポートされていない(LTC3882 は0を返す)。
8	UNKNOWN	サポートされていない(LTC3882 は0を返す)。

このコマンドは2バイトのデータを伴います。

STATUS_VOUT

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

STATUS_VOUT のメッセージの内容:

ビット	意味
7	V _{OUT} の過電圧フォルト。
6	V _{OUT} の過電圧警告。
5	V _{OUT} の低電圧警告。
4	V _{OUT} の低電圧フォルト。
3	V _{OUT_MAX} 警告。
2	TON_MAX フォルト。
1	TOFF_MAX 警告。
0	LTC3882 によってサポートされていない(0を返す)。

ビット [7:1] のいずれかを設定した場合は、ALERT をアサートできます。これらのビットは、CLEAR_FAULTS コマンドの代わりに、STATUS_VOUT 内でそれらのビット位置に 1 を書き込むことによりクリアできます。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細 (状態報告)

STATUS_IOUT

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

STATUS_IOUT のメッセージの内容:

ビット	意味
7	I _{OUT} の過電流フォルト。
6	サポートされていない(LTC3882は0を返す)。
5	I _{OUT} の過電流警告。
4:0	サポートされていない(LTC3882は0を返す)。

サポートされているいずれかのビットを設定した場合は、ALERT をアサートできます。サポートされているビットは、CLEAR_FAULTS コマンドの代わりに、STATUS_IOUT 内でそのビット位置に1を書き込むことによりクリアできます。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

STATUS_INPUT

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

STATUS_INPUT のメッセージの内容:

ビット	意味
7	V _{IN} の過電圧フォルト。
6	サポートされていない(LTC3882は0を返す)。
5	V _{IN} の低電圧警告。
4	サポートされていない(LTC3882は0を返す)。
3	V _{IN} が不十分なため、デバイスはオフ。
2:0	サポートされていない(LTC3882は0を返す)。

ビット7を設定した場合は、ALERT をアサートできます。ビット7は、CLEAR_FAULTS コマンドの代わりに、1を書き込むことによりクリアできます。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

STATUS_TEMPERATURE

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

STATUS_TEMPERATURE のメッセージの内容:

ビット	意味
7	外部過熱フォルト。
6	外部過熱警告。
5	サポートされていない(LTC3882は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(LTC3882は0を返す)。

サポートされているいずれかのビットを設定した場合は、ALERT をアサートできます。サポートされているビットは、CLEAR_FAULTS コマンドの代わりに、STATUS_TEMPERATURE 内でそのビット位置に1を書き込むことによりクリアできます。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

LTC3882

PMBus コマンドの詳細 (状態報告)

STATUS_CML

STATUS_CML コマンドは、受信したコマンド、内部メモリおよびロジックの1バイトのステータス情報を返します。

STATUS_CML のメッセージの内容:

ビット	意味
7	無効なコマンドまたはサポートされていないコマンドを受け取った。
6	無効なデータまたはサポートされていないデータを受け取った。
5	パケット・エラー検査が失敗した。
4	メモリ・フォルトが検出された。
3	プロセッサ・フォルトが検出された。
2	予備 (LTC3882 は 0 を返す)。
1	その他の通信フォルト。
0	その他のメモリ・フォルトまたはロジック・フォルト。

サポートされているいずれかのビットを設定した場合は、ALERT をアサートできます。サポートされているビットは、CLEAR_FAULTS コマンドの代わりに、STATUS_CML 内でそのビット位置に 1 を書き込むことによりクリアできます。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

STATUS_MFR_SPECIFIC

STATUS_MFR_SPECIFIC コマンドは、LTC3882 固有のステータス情報を1バイトで返します。

STATUS_MFR_SPECIFIC のメッセージの内容:

ビット	意味
7	内部温度フォルト (>160°C)。
6	内部温度警告 (>130°C)。
5	EEPROM の CRC エラー
4	内部 PLL 非同期。
3	フォルト・ログが存在する。
2	サポートされていない (LTC3882 は 0 を返す)。
1	出力短絡が繰り返されている。
0	GPIO が "L"。

サポートされているいずれかのビットを設定した場合は、STATUS_WORD の MFR ビットが設定され、ALERT をアサートできます。サポートされているビットは、CLEAR_FAULTS コマンドの代わりに、STATUS_MFR_SPECIFIC 内でそのビット位置に 1 を書き込むことによりクリアできます。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細 (状態報告)

MFR_PADS_LTC3882

MFR_PADS_LTC3882 コマンドは、一般的な出力電圧状態の他に、LTC3882 のデジタル I/O ピンおよび制御ピンの状態を示します。

MFR_PADS_LTC3882 のメッセージの内容:

ビット	意味
15	チャンネル1はスレープ。
14	チャンネル0はスレープ。
13:12	サポートされていない(LTC3882は0を返す)。
11	I _{OUT} に関する A/D コンバータの結果は無効の場合がある。
10	SYNC 出力は外部からディスエーブルされている。
9	チャンネル1が POWER_GOOD (スレープの場合、通常は1を返す)
8	チャンネル0が POWER_GOOD (スレープの場合、通常は1を返す)
7	LTC3882により RUN1 を“L”に強制。
6	LTC3882により RUN0 を“L”に強制。
5	RUN1 ピンの状態。
4	RUN0 ピンの状態。
3	LTC3882により GPIO1 を“L”に強制。
2	LTC3882により GPIO0 を“L”に強制。
1	GPIO1 ピンの状態。
0	GPIO0 ピンの状態。

この読み出し専用コマンドは2バイトのデータを伴います。

MFR_COMMON

MFR_COMMON コマンドには、LTC の複数の PMBus 製品に共通するステータス・ビットが含まれます。

MFR_COMMON のメッセージの内容:

ビット	意味
7	LTC3882はALERTを“L”に強制しない。
6	LTC3882はBUSYではない。
5	LTC3882の計算は保留中ではない。
4	LTC3882の出力は遷移中ではない。
3	LTC3882のEEPROMは初期化済み。
2	サポートされていない(LTC3882は0を返す)。
1	SHARE_CLKのタイムアウト。
0	WPピンの状態。

この読み出し専用コマンドは1バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細 (状態報告)

CLEAR_FAULTS

CLEAR_FAULTS コマンドは、設定されているすべてのフォルト・ビットをクリアし、 $\overline{\text{ALERT}}$ ピンをデアサート(解放)します。このコマンドは、すべてのステータス・コマンドに含まれるすべてのビットを同時にクリアします。

CLEAR_FAULTS コマンドは、フォルト状態のためにラッチ・オフしているチャンネルを再起動させることはありません。フォルト状態のためにラッチ・オフしているチャンネルが再起動するのは、OPERATION コマンドまたは RUN ピンにより出力をオフしてからオンするよう命令された場合か、IC の電源が入れ直された場合です。

CLEAR_FAULTS コマンドが実行されたときにフォルトが引き続き存在していた場合、そのフォルト・ビットは直ちに設定され、 $\overline{\text{ALERT}}$ は再び“L”にアサートされます。

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。

遠隔測定

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	デフォルト値
READ_VIN	0x88	V _{IN} の測定値。	R Word	N	L11	V		
MFR_VIN_PEAK	0xDE	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降最大の V _{IN} 測定値。	R Word	N	L11	V		
READ_VOUT	0x8B	V _{OUT} の測定値。	R Word	Y	L16	V		
MFR_VOUT_PEAK	0xDD	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降最大の V _{OUT} 測定値。	R Word	Y	L16	V		
READ_IOUT	0x8C	I _{OUT} の測定値。	R Word	Y	L11	A		
MFR_IOUT_PEAK	0xD7	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降最大の I _{OUT} 測定値。	R Word	Y	L11	A		
READ_POUT	0x96	出力電力の計算値。	R Word	Y	L11	W		
READ_TEMPERATURE_1	0x8D	外部温度の測定値。	R Word	Y	L11	°C		
MFR_TEMPERATURE_1_PEAK	0xDF	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降最大の外部温度測定値。	R Word	Y	L11	°C		
READ_TEMPERATURE_2	0x8E	内部温度の測定値。	R Word	N	L11	°C		
MFR_TEMPERATURE_2_PEAK	0xF4	最後の MFR_CLEAR_PEAKS 以降最大の内部温度測定値。	R Word	N	L11	°C		
READ_DUTY_CYCLE	0x94	コマンドで指定された PWM デューティ・サイクルの測定値。	R Word	Y	L11	%		
READ_FREQUENCY	0x95	PWM 入力クロック周波数の測定値。	R Word	Y	L11	kHz		
MFR_CLEAR_PEAKS	0xE3	すべてのピーク値をクリアする。	Send Byte	N				

関連コマンド: IOUT_CAL_GAIN, MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC, MFR_PWM_MODE_LTC3882

READ_VIN

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

この読み出し専用コマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細 (遠隔測定)

MFR_VIN_PEAK

MFR_VIN_PEAK コマンドは、READ_VIN で測定された最大電圧 (V) を報告します。このピーク値は MFR_CLEAR_PEAKS コマンドでリセットできます。

この読み出し専用コマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

READ_VOUT

READ_VOUT コマンドは、VSENSE[±] ピンで測定された出力電圧 (V) を返します。

この読み出し専用コマンドは、Linear_16u 形式の 2 バイトのデータを伴います。

MFR_VOUT_PEAK

MFR_VOUT_PEAK コマンドは、READ_VOUT で測定された最大電圧 (V) を報告します。このピーク値は MFR_CLEAR_PEAKS コマンドでリセットできます。

この読み出し専用コマンドは、Linear_16u 形式の 2 バイトのデータを伴います。

READ_IOUT

READ_IOUT コマンドは、出力電流 (A) を返します。この値は以下の値から計算されます。

- ISENSE[±] ピン間で測定された差動電圧
- IOUT_CAL_GAIN の値
- MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC の値
- READ_TEMPERATURE_1 の値
- MFR_TEMP_1_GAIN の値
- MFR_TEMP_1_OFFSET の値

この読み出し専用コマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

MFR_IOUT_PEAK

MFR_IOUT_PEAK コマンドは、READ_IOUT で計算された最大電流 (A) を報告します。このピーク値は MFR_CLEAR_PEAKS コマンドでリセットできます。

この読み出し専用コマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

READ_POUT

READ_POUT コマンドは、出力電力 (W) を報告します。この値は、最新の相関出力電圧と電流の測定値の積に基づいて計算されます。

この読み出し専用コマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細 (遠隔測定)

READ_TEMPERATURE_1

READ_TEMPERATURE_1 コマンドは、外付けの検出素子で測定される温度(°C)を返します。

この読み出し専用コマンドは、Linear_5s_11s 形式の2バイトのデータを伴います。

MFR_TEMPERATURE_1_PEAK

MFR_TEMPERATURE_1_PEAK コマンドは、READ_TEMPERATURE_1 で計算された最大温度(°C)を報告します。このピーク値はMFR_CLEAR_PEAKS コマンドでリセットできます。

この読み出し専用コマンドは、Linear_5s_11s 形式の2バイトのデータを伴います。

READ_TEMPERATURE_2

READ_TEMPERATURE_2 コマンドは、LTC3882 の内部温度(°C)を返します。

この読み出し専用コマンドは、Linear_5s_11s 形式の2バイトのデータを伴います。

MFR_TEMPERATURE_2_PEAK

MFR_TEMPERATURE_2_PEAK コマンドは、READ_TEMPERATURE_2 で計算された最大温度(°C)を報告します。このピーク値はMFR_CLEAR_PEAKS コマンドでリセットできます。

この読み出し専用コマンドは、Linear_5s_11s 形式の2バイトのデータを伴います。

READ_DUTY_CYCLE

READ_DUTY_CYCLE コマンドは、PWM/TG 制御のデューティ・サイクル(%)を返します。これはPWMスイッチ・ノードの厳密なデューティ・サイクルにはなりません。パワー段の効率損失とLTC3882自体の電流消費量があるからです。

この読み出し専用コマンドは、Linear_5s_11s 形式の2バイトのデータを伴います。

READ_FREQUENCY

READ_FREQUENCY コマンドは、内部PLLに供給されたスイッチング周波数(kHz)を返します。この信号が内部で生成されたか、外部クロックによってSYNCピンに入力されたかは関係ありません。これは、出力過電流状態のような特定の例外処理時には、実際のPWM出力スイッチング周波数ではない場合があります。

この読み出し専用コマンドは、Linear_5s_11s 形式の2バイトのデータを伴います。

MFR_CLEAR_PEAKS

MFR_CLEAR_PEAKS コマンドは、格納されているすべてすべてのPEAK値をリセットします。LTC3882は、このコマンドを受け取った後、新しいピーク値を決定します。

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。

PMBus コマンドの詳細 (フォルト応答および通信)

フォルト応答および通信

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	デフォルト値
VIN_OV_FAULT_RESPONSE	0x56	V _{IN} の過電圧フォルト応答。	R/W Byte	Y	Reg		●	0x80
VOV_OV_FAULT_RESPONSE	0x41	V _{OUT} の過電圧フォルト応答。	R/W Byte	Y	Reg		●	0xB8
VOV_UV_FAULT_RESPONSE	0x45	V _{OUT} の低電圧フォルト応答。	R/W Byte	Y	Reg		●	0xB8
IOUT_OC_FAULT_RESPONSE	0x47	出力の過電流フォルト応答。	R/W Byte	Y	Reg		●	0x00
OT_FAULT_RESPONSE	0x50	外部過熱フォルト応答。	R/W Byte	Y	Reg		●	0xB8
UT_FAULT_RESPONSE	0x54	外部低温フォルト応答。	R/W Byte	Y	Reg		●	0xB8
MFR_OT_FAULT_RESPONSE	0xD6	内部過熱フォルト応答。	R/W Byte	N	Reg		●	0xC0
TON_MAX_FAULT_RESPONSE	0x63	TON_MAX_FAULT_LIMITを超えた場合のフォルト応答。	R/W Byte	Y	Reg		●	0xB8
MFR_RETRY_DELAY	0xDB	フォルト後の再試行前の最小時間。	R/W Word	N	L11	ms	●	350ms 0xFABC
SMBALERT_MASK	0x1B	ALERT動作をマスクする。	ブロック R/W	Y	Reg		●	CMDの 詳細を参照
MFR_GPIO_PROPAGATE	0xD2	状態伝播をGPIO _n ピンを介して構成する。	R/W Word	Y	Reg		●	0x6993
MFR_GPIO_RESPONSE	0xD5	GPIO _n ピンが“L”の場合のPWM応答。	R/W Byte	Y	Reg		●	0xC0
MFR_FAULT_LOG	0xEE	フォルト・ログ・データを読み取る。	R Block	N	Reg			
MFR_FAULT_LOG_CLEAR	0xEC	既存のEEPROMフォルト・ログを消去する。	Send Byte	N				

関連コマンド: STATUS_BYTE、STATUS_WORD、MFR_PADS_LTC3882、MFR_RESTART_DELAY、MFR_CHAN_CONFIG_LTC3882、MFR_FAULT_LOG_STORE、CLEAR_FAULTS

これらのコマンドは、「動作」のセクションで説明したハードウェアレベルの動作を超える、検出されたフォルトに対するプログラム可能なデバイス応答を詳細に記述します。LTC3882のハードウェアレベルのフォルト応答は変更できません。フォルト・ログの内容の詳細については、表1～表4を参照してください。PMBus警告イベントの応答は、_WARN_LIMITコマンド詳細の下に示してあります。

VIN_OV_FAULT_RESPONSE

VIN_OV_FAULT_RESPONSEコマンドは、入力過電圧フォルトに対する応答としてデバイスが取るべきアクションを指示します。このコマンドの形式を表13に示します。デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- STATUS_WORDのINPUTビットを設定する。
- STATUS_INPUTコマンドのV_{IN}過電圧フォルト・ビットを設定する。
- マスクされていない限り、ALERTをアサートしてホストに通知する。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細 (フォルト応答および通信)

VOUT_OV_FAULT_RESPONSE

VOUT_OV_FAULT_RESPONSE コマンドは、出力の過電圧フォルトに対する応答としてデバイスが取るべきアクションを指示します。このコマンドの形式を表12に示します。デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- STATUS_BYTE の VOUT_OV ビットを設定する
- STATUS_WORD の VOUT ビットを設定する
- STATUS_VOUT コマンドの VOUT 過電圧フォルト・ビットを設定する
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートしてホストに通知する。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

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としてデバイスが取るべきアクションを指示します。このコマンドの形式を表12に示します。デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- STATUS_WORD の VOUT ビットを設定する
- STATUS_VOUT コマンドの VOUT 低電圧フォルト・ビットを設定する
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートしてホストに通知する。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

表12. VOUT_OV_FAULT_RESPONSE および VOUT_UV_FAULT_RESPONSE のデータ・バイトの内容

ビット	説明	値	意味
[7:6]	ビット [7:6] のすべての値に対して、LTC3882 は以下のように動作します。 <ul style="list-style-type: none"> • ステータス・コマンドの該当するフォルト・ビットを設定する。 • マスクされていない限り、$\overline{\text{ALERT}}$ をアサートしてホストに通知する。 フォルトはいったん設定されると、以下のイベントのうち1つまたは複数が発生するまでクリアされません。 <ul style="list-style-type: none"> • デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受け取る。 • 対応する STATUS_VOUT ビットに1が書き込まれる。 • RUN ピンまたは OPERATION コマンドにより、出力がオフになってからオンになるよう命令される。 • デバイスが RESTORE_USER_ALL コマンドを受け取る。 • デバイスが MFR_RESET コマンドを受け取る。 • デバイスの電源が入れ直される 	00	LTC3882 は無期限に動作し続け、「動作」のセクションで説明した通常のハードウェア応答を返します。
		01	LTC3882 は動作し続け、ビット [2:0] により指定された遅延時間で通常のハードウェア応答を返します。遅延時間中、フォルトが絶え間なく存在する場合、デバイスは出力をディスエーブルして再起動しようとします。
		10	LTC3882 は出力を直ちにディスエーブルし、ビット [5:3] の再試行設定に従って応答します。
		11	サポートされていない。この値を書き込むと CML フォルトが発生する。
[5:3]	再試行設定。	000-110	LTC3882 は再起動しようとしません。フォルトがクリアされるか、デバイスがオフの後にオンになるよう命令されるか、またはバイアス電源 (LTC3882 の電源入力) が入れ直されるまで、出力はディスエーブル状態のままです。
		111	LTC3882 は、MFR_RETRY_DELAY によって設定された間隔で制限なく継続的に再起動しようとします。デバイスがオフするよう命令されるか、バイアス電源が除去されるか、または別のフォルト応答によって再試行なしでシャットダウンを強制されるまで、この応答は持続します。
[2:0]	遅延時間。	xxx	10 μ s 刻みの応答遅延時間。ビット [7:6] の値に応じて、コントローラがディスエーブルされるまでにフォルトがどの程度持続する必要があるかがこの遅延時間によって決まります。ハードウェアレベルの応答 (存在する場合) がこの遅延時間内に返されます。ビット [7:6] を 0x2 に設定していない場合、これらのビットは常に0を返します。

PMBus コマンドの詳細 (フォルト応答および通信)

IOUT_OC_FAULT_RESPONSE

IOUT_OC_FAULT_RESPONSE コマンドは、出力の過電流フォルトに対する応答としてデバイスが取るべきアクションを指示します。デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- STATUS_BYTE の IOUT_OC ビットを設定する
- STATUS_WORD の IOUT ビットを設定する
- STATUS_IOUT コマンドの IOUT 過電流フォルト・ビットを設定する
- $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートしてホストに通知する

出力過電流フォルトは、TON_RISE および TOFF_FALL 出力シーケンシングの間は無視されます。

IOUT_OC_FAULT_RESPONSE のデータ・バイトの内容

ビット	説明	値	意味
[7:6]	ビット [7:6] のすべての値に対して、LTC3882 は以下のように動作します。 <ul style="list-style-type: none"> • ステータス・コマンドの該当するフォルト・ビットを設定する。 • マスクされていない限り、$\overline{\text{ALERT}}$ をアサートしてホストに通知する。 フォルトはいったん設定されると、以下のイベントのうち1つまたは複数が発生するまでクリアされません。 <ul style="list-style-type: none"> • デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受け取る。 • 対応する STATUS_IOUT ビットに1が書き込まれる。 • RUN ピンまたは OPERATION コマンドにより、出力がオフになってからオンになるよう命令される。 • デバイスが RESTORE_USER_ALL コマンドを受け取る。 • デバイスが MFR_RESET コマンドを受け取る。 • デバイスの電源が入れ直される 	0x	LTC3882 は無期限に動作し続け、「動作」のセクションで説明した通常のハードウェア応答を返します。
		10	LTC3882 は動作し続け、ビット [2:0] により指定された遅延時間で通常のハードウェア応答を返します。遅延時間中、フォルトが絶え間なく存在する場合、デバイスは出力をディスエーブルして再起動しようとしなくなります。
		11	LTC3882 はシャットダウン(出力をディスエーブル)し、ビット [5:3] の再試行設定に従って応答します。
[5:3]	再試行設定。	000-110	LTC3882 は再起動しようとしません。フォルトがクリアされるか、デバイスがオフの後にオンになるよう命令されるか、またはバイアス電源が入れ直されるまで、出力はディスエーブル状態のままです。
		111	LTC3882 は、MFR_RETRY_DELAY によって設定された間隔で制限なく継続的に再起動しようとし、デバイスがオフするよう命令されるか、バイアス電源が除去されるか、または別のフォルト応答によって再試行なしでシャットダウンを強制されるまで、この応答は持続します。
[2:0]	遅延時間。	xxx	16ms 刻みの応答遅延時間。ビット [7:6] の値に応じて、コントローラがディスエーブルされるまでにフォルトがどの程度持続する必要があるかがこの遅延時間によって決まります。ビット [7:6] を 0x2 に設定していない場合、これらのビットは常に0を返します。

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

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細 (フォルト応答および通信)

OT_FAULT_RESPONSE

OT_FAULT_RESPONSE コマンドは、過熱フォルトに対する応答としてデバイスが実行する動作を指示します。このコマンドの形式を表 13 に示します。デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- STATUS_BYTE の TEMPERATURE ビットを設定する
- STATUS_TEMPERATURE コマンドの過熱フォルト・ビットを設定する
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートしてホストに通知する。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

UT_FAULT_RESPONSE

UT_FAULT_RESPONSE コマンドは、低温フォルトに対する応答としてデバイスが実行する動作を指示します。このコマンドの形式を表 13 に示します。デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- STATUS_BYTE の TEMPERATURE ビットを設定する
- STATUS_TEMPERATURE コマンドの低温フォルト・ビットを設定する
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートしてホストに通知する。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

MFR_OT_FAULT_RESPONSE

MFR_OT_FAULT_RESPONSE コマンドは、内部過熱フォルト (150°C ~ 160°C) に対する応答としてデバイスが実行する動作を指示します。デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- STATUS_WORD の MFR ビットを設定する
- STATUS_MFR_SPECIFIC コマンドの過熱フォルト・ビットを設定する
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートしてホストに通知する。

サポートされている値:

値	意味
0xC0	LTC3882 は無期限に動作し続け、「動作」のセクションで説明した通常のハードウェア応答を返します。
0x80	LTC3882 は直ちにシャットダウンし、再起動しようとしません。フォルトがクリアされるか、デバイスがオフの後にオンになるよう命令されるか、またはバイアス電源 (LTC3882 の電源入力) が入れ直されるまで、出力はディスエーブル状態のままです。

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

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細 (フォルト応答および通信)

TON_MAX_FAULT_RESPONSE

TON_MAX_FAULT_RESPONSE コマンドは、TON_MAX フォルトに対する応答としてデバイスが取るべきアクションを指示します。このコマンドの形式を表 13 に示します。デバイスは、この設定に加えて以下の応答を示します。

- STATUS_WORD の VOUT ビットを設定する
- STATUS_VOUT コマンドの TON_MAX_FAULT ビットを設定する
- マスクされていない限り、ALERT をアサートしてホストに通知する。

このコマンドは 1 バイトのデータを伴います。

表 13. 以下の_FAULT_RESPONSE コマンドのデータ・バイトの内容: VIN_OV、OT、UT、および TON_MAX

ビット	説明	値	意味
[7:6]	ビット [7:6] のすべての値に対して、LTC3882 は以下のように動作します。 <ul style="list-style-type: none"> • ステータス・コマンドの該当するフォルト・ビットを設定する。 • マスクされていない限り、ALERT をアサートしてホストに通知する。 フォルトはいったん設定されると、以下のイベントのうち 1 つまたは複数が発生するまでクリアされません。 <ul style="list-style-type: none"> • デバイスが CLEAR_FAULTS コマンドを受け取る。 • 対応するフォルト・ビットに 1 が書き込まれる。 • RUN ピンまたは OPERATION コマンドにより、出力がオフになってからオンになるよう命令される。 • デバイスが RESTORE_USER_ALL コマンドを受け取る。 • デバイスが MFR_RESET コマンドを受け取る。 • デバイスの電源が入れ直される 	00	LTC3882 は中断せずに動作を続ける。
		01	サポートされていない。この値を書き込むと CML フォルトが発生する。
		10	LTC3882 は直ちにシャットダウン (出力をディスエーブル) し、ビット [5:3] の再試行設定に従って応答する。
		11	サポートされていない。この値を書き込むと CML フォルトが発生する。
[5:3]	再試行設定。	000-110	LTC3882 は再起動しようとしません。フォルトがクリアされるか、デバイスがオフの後にオンになるよう命令されるか、またはバイアス電源が入れ直されるまで、出力はディスエーブル状態のままです。
		111	LTC3882 は、MFR_RETRY_DELAY によって設定された間隔で制限なく継続的に再起動しようとし、デバイスがオフするよう命令されるか、バイアス電源が除去されるか、または別のフォルト応答によって再試行なしでシャットダウンを強制されるまで、この応答は持続します。
[2:0]	遅延時間。	xxx	サポートされていない。値は無視される。

MFR_RETRY_DELAY

MFR_RETRY_DELAY コマンドは、すべての再試行フォルト応答に対して再起動試行間の時間 (ms) を設定します。実際の再試行遅延時間は、MFR_RETRY_DELAY コマンド、または出力電圧が設定値の 12.5% 未満まで減衰するまでに要する時間のいずれか長い方になる可能性があります。減衰条件は MFR_CHAN_CONFIG_LTC3882 コマンドを使用して無効にすることができます。LTC3882 がフォルトを検出しなくなるか、LTC3882 の GPIO ピンが外部から解放されたら、遅延起動を再試行してください。正しい値では 120ms から 32.7 秒まで動作します。

このコマンドは、Linear_5s_11s 形式の 2 バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細 (フォルト応答および通信)

SMBALERT_MASK

SMBALERT_MASK コマンドを使用すると、単数または複数の特定のステータス・ビットが $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートしないようにすることができます。

図 51 は、 $\overline{\text{ALERT}}$ マスクを(この場合は PEC なしで)設定するときを使用されるワード書き込み形式の例を示します。マスク・バイト内のビットは、指定のステータス・レジスタ内のビットと一致します。たとえば、STATUS_TEMPERATURE コマンドが最初のデータ・バイトで送られ、マスク・バイトに 0x40 が含まれている場合、後続の外部過熱警告は引き続き STATUS_TEMPERATURE のビット 6 を設定しますが、 $\overline{\text{ALERT}}$ はアサートしません。サポートされているその他の STATUS_TEMPERATURE ビットがすべて設定されている場合は、これらのビットによって引き続き $\overline{\text{ALERT}}$ がアサートされます。

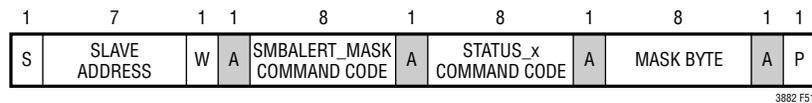


図 51. SMBALERT_MASK の設定例

図 52 は、サポートされている任意のステータス・レジスタの現在の状態を読み出すときに使用する「ブロック書き込み – ブロック読み出しプロセス呼び出し」プロトコルの例を示します。この場合もやはり PEC なしです。

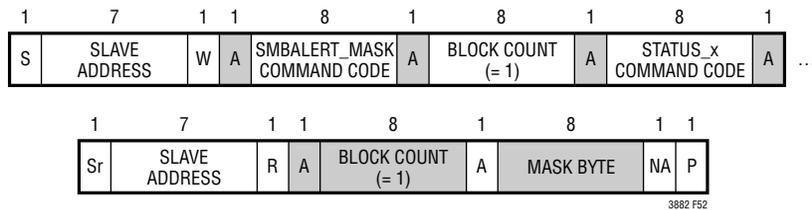


図 52. SMBALERT_MASK の読み出し例

SMBALERT_MASK は、STATUS_BYTE、STATUS_WORD、MFR_COMMON、MFR_PADS LTC3882 には適用できません。適用できるステータス・レジスタの工場出荷時のデフォルトのマスキング設定を以下に示します。サポートされていないコマンド・コードを SMBALERT_MASK に設定すると、無効なデータ/サポートされていないデータに対して CML が生成されます。

SMBALERT_MASK のデフォルト設定: (表 2 も参照)

ステータス・レジスタ	ALERT のマスク値	マスクされたビット
STATUS_VOUT	0x00	なし
STATUS_IOUT	0x00	なし
STATUS_TEMPERATURE	0x00	なし
STATUS_CML	0x00	なし
STATUS_INPUT	0x00	なし
STATUS_MFR_SPECIFIC	0x11	ビット 4 (内部 PLL 非同期)、ビット 0 (GPIO が "L")

PMBus コマンドの詳細 (フォルト応答および通信)

MFR_GPIO_PROPAGATE_LTC3882

MFR_GPIO_PROPAGATE_LTC3882 コマンドは、 $\overline{\text{GPIO}}$ をアサートする原因となるイベントを特定します。このレジスタのビットを1に設定すると、指定した条件によって対象チャネルの $\overline{\text{GPIO}}$ 出力をアサートできます。FAULT_RESPONSEを「無視」に設定している場合は、伝播を設定している場合でも、 $\overline{\text{GPIO}}$ がフォルトによってアサートされません。SMBLALERT_MASKの状態は $\overline{\text{GPIO}}$ の伝播に影響しません。

サポートされている値:

ビット	伝播状態
15	V _{OUT} の減衰を待ってから再起動。
14	V _{OUT} の短絡が繰り返される (V _{OUT} が完全にオフしてから 120ms 自動的にデアサートされる)。
13	TON_MAX_FAULT_LIMIT を超えた。
12	V _{OUT} が UV より低い (フィルタ処理なし)。
11	MFR_OT_FAULT_LIMIT を超えた。
10*	チャンネル1のPOWER_GOODは正しくない。
9*	チャンネル0のPOWER_GOODは正しくない。
8	UT_FAULT_LIMIT を超えた。
7	OT_FAULT_LIMIT を超えた。
6	(予備)。
5	(予備)。
4	VIN_OV_FAULT_LIMIT を超えた。
3	(予備)。
2	IOUT_OC_FAULT_LIMIT を超えた。
1	VOUT_UV_FAULT_LIMIT を超えた。
0	VOUT_OV_FAULT_LIMIT を超えた。

* このビットを設定した場合、MFR_GPIO_RESPONSEは無視するように設定する(0x00)必要があります。そうしないと、該当のチャネルは起動しません。

このコマンドは2バイトのデータを伴います。

MFR_GPIO_RESPONSE

MFR_GPIO_RESPONSE コマンドは、内部フォルト以外の原因で $\overline{\text{GPIO}}$ ピンが“L”になった場合の応答としてデバイスが実行する動作を指示します。

サポートされている値:

値	意味
0xC0	関連のPWM出力は直ちにディスエーブルされます。
0x00	入力は無視され、PWM動作は中断せずに続行されます。

GPIOピンが“L”になると、デバイスは以下の動作も行います。

- STATUS_WORD の MFR_SPECIFIC ビットを設定する
- STATUS_MFR_SPECIFIC コマンドのビット0を設定して、 $\overline{\text{GPIO}}$ が現在または以前から“L”であることを示す
- マスクされていない限り、 $\overline{\text{ALERT}}$ をアサートしてホストに通知する。

このコマンドは1バイトのデータを伴います。

PMBus コマンドの詳細 (フォルト応答および通信)

MFR_FAULT_LOG

MFR_FAULT_LOG コマンドを実行すると、フォルト・ログの内容を読み出すことができます。このログは、MFR_FAULT_LOG_STORE コマンドで作成するか、CLEAR_FAULTS コマンドまたは MFR_FAULT_LOG_CLEAR コマンド後、初めてフォルトが発生すると生成されます。電源印加後、最初の1秒以内にフォルトが発生した場合、ログの最初の方のページには有効なデータが格納されていない可能性があります。

この読み出し専用コマンドは、400kHz で 3.4ms の推定データ転送時間が必要な 147 バイトのデータを持つブロック・プロトコルを使用します。このコマンドが実行され、フォルト・ログが存在すると、tTIMEOUT パラメータは延長されます。

MFR_FAULT_LOG_CLEAR

MFR_FAULT_LOG_CLEAR コマンドは、格納されているフォルト・ログのすべての値を消去します。クリアの発行後、STATUS_MFR_SPECIFIC の関連ビット 3 をクリアするには最大 8ms が必要です。

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。

EEPROM のユーザー・アクセス

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	デフォルト値
STORE_USER_ALL	0x15	動作メモリ全体をEEPROMに格納する。	Send Byte	N				NA
RESTORE_USER_ALL	0x16	動作メモリ全体をEEPROMから復元する。	Send Byte	N				NA
MFR_COMPARE_USER_ALL	0xF0	動作メモリの内容をEEPROMの内容と比較する。	Send Byte	N				
MFR_FAULT_LOG_STORE	0xEA	フォルト・ログを動作メモリからEEPROMへ強制的に転送する。	Send Byte	N				
MFR_EE_UNLOCK	0xBD	(工場に問い合わせ)						
MFR_EE_ERASE	0xBE	(工場に問い合わせ)						
MFR_EE_DATA	0xBF	(工場に問い合わせ)						
USER_DATA_00	0xB0	LTpowerPlay用の予備のEEPROMワード。	R/W Word	N	Reg		●	
USER_DATA_01	0xB1	LTpowerPlay用の予備のEEPROMワード。	R/W Word	Y	Reg		●	
USER_DATA_02	0xB2	OEM用の予備のEEPROMワード。	R/W Word	N	Reg		●	
USER_DATA_03	0xB3	一般的なデータ記憶装置に使用可能なEEPROMワード。	R/W Word	Y	Reg		●	0x0000
USER_DATA_04	0xB4	一般的なデータ記憶装置に使用可能なEEPROMワード。	R/W Word	N	Reg		●	0x0000

関連コマンド: MFR_CONFIG_ALL_LTC3882

LTC3882のダイ温度が130°Cを超えると、上の表のRESTORE_USER_ALLとMFR_FAULT_LOG_STORE以外のコマンドは、デバイスの温度が125°Cより低くなるまで無効になります。RESTORE_USER_ALLは直ちに実行され、MFR_FAULT_LOG_STOREはデバイスの温度が125°Cより低くなった後に実行されます。フォルト・ログの内容の詳細については、表4を参照してください。**STATUS_MFR_SPECIFICのビット6が設定されている場合は、内部ダイ温度が85°Cより高いことを示しているので、EEPROMにデータを書き込むコマンドを一切使用しないことを強く推奨します。85°Cを超える接合部温度でEEPROMに書き込んだ場合、10年間のデータ保持特性は保証されません。**

PMBus コマンドの詳細 (EEPROM のユーザー・アクセス)

STORE_USER_ALL

STORE_USER_ALL コマンドは、動作メモリの全内容を内部 EEPROM の PMBus 構成空間にコピーするよう PMBus デバイスに指示します。

この書き込み専用コマンドにはデータ・バイトがありません。

RESTORE_USER_ALL

RESTORE_USER_ALL コマンドは、内部 EEPROM の全内容を動作メモリの対応する位置にコピーするよう PMBus デバイスに指示します。動作メモリの値は、EEPROM から読み出した値で上書きされます。どちらのチャンネルもこのコマンドを出す前にオフにしてください。LTC3882 は、両方の PWM チャンネルがオフであることを確認し、動作メモリを内部 EEPROM から読み込み、すべてのフォルトをクリアし、抵抗構成ピンを読み取って、両方の PWM チャンネルのソフトスタートを実行します (イネーブルしている場合)。

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_COMPARE_USER_ALL

MFR_COMPARE_USER_ALL コマンドは、現在の動作メモリ (RAM に格納されている PMBus コマンドの値) を内部 EEPROM の内容を比較するよう LTC3882 に指示します。比較したメモリの内容が異なる場合は、CML 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・バイトがありません。

MFR_FAULT_LOG_STORE

MFR_FAULT_LOG_STORE コマンドは、フォルト・イベントが発生したかのように、データ・ログを内部 EEPROM に強制的に書き込みます。このコマンドは、MFR_CONFIG_ALL_LTC3882 で「フォルト・ログ記録のイネーブル」ビットがクリアされると CML フォルトを発生させます。

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_EE_xxxx

MFR_EE_xxxx コマンドは、LTC3882 の内部 EEPROM の大量のプログラミングを促進します。詳細については、弊社にご連絡ください。

USER_DATA_0x

USER_DATA_0x コマンドは、システムのスクラッチパッド空間として適用できる不確定な EEPROM の場所を指定します。LTpowerPlay GUI を使用する場合、USER_DATA_00 と USER_DATA_01 は変更しないでください。また、委託メーカーによっては、USER_DATA_02 の用途を自社の在庫管理用に確保しています。

LTC3882

PMBus コマンドの詳細 (デバイス識別子)

デバイス識別子

コマンド名	CMD コード	説明	タイプ	ページ 指定	データ 形式	単位	NVM	デフォルト値
MFR_ID	0x99	メーカー識別子。	R String	N	ASC			LTC
MFR_MODEL	0x9A	LTCモデル番号。	R String	N	ASC			LTC3882
MFR_SERIAL	0x9E	デバイスのシリアル番号。	R Block	N	Reg			

MFR_ID

MFR_ID コマンドは、LTC3882 のメーカー ID を 8 ビットの ASCII 文字を使用して返します。

この読み出し専用コマンドはブロック形式です。

MFR_MODEL

MFR_MODEL コマンドは、リニアテクノロジーの製品番号を 8 ビットの ASCII 文字を使用して返します。

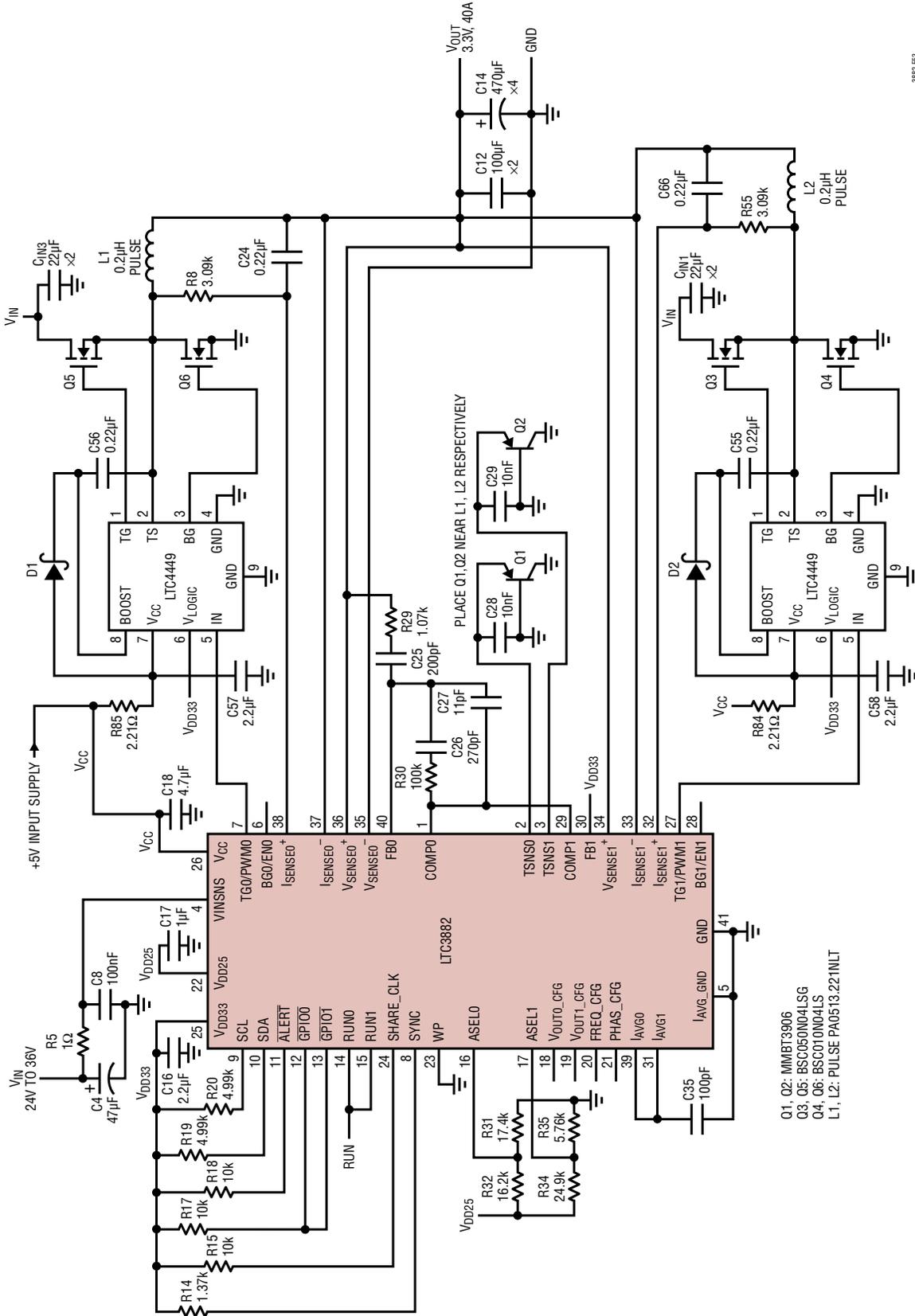
この読み出し専用コマンドはブロック形式です。

MFR_SERIAL

MFR_SERIAL コマンドは、8 ビット ASCII 文字を最大 14 文字使用して、この特定のデバイスのシリアル番号を返します。

この読み出し専用コマンドはブロック形式です。

標準的応用例



3882 F03

図53. ディスクリートのゲート・ドライバを付加した36V入力3.3V/40A出力の1.0MHzコンバータ

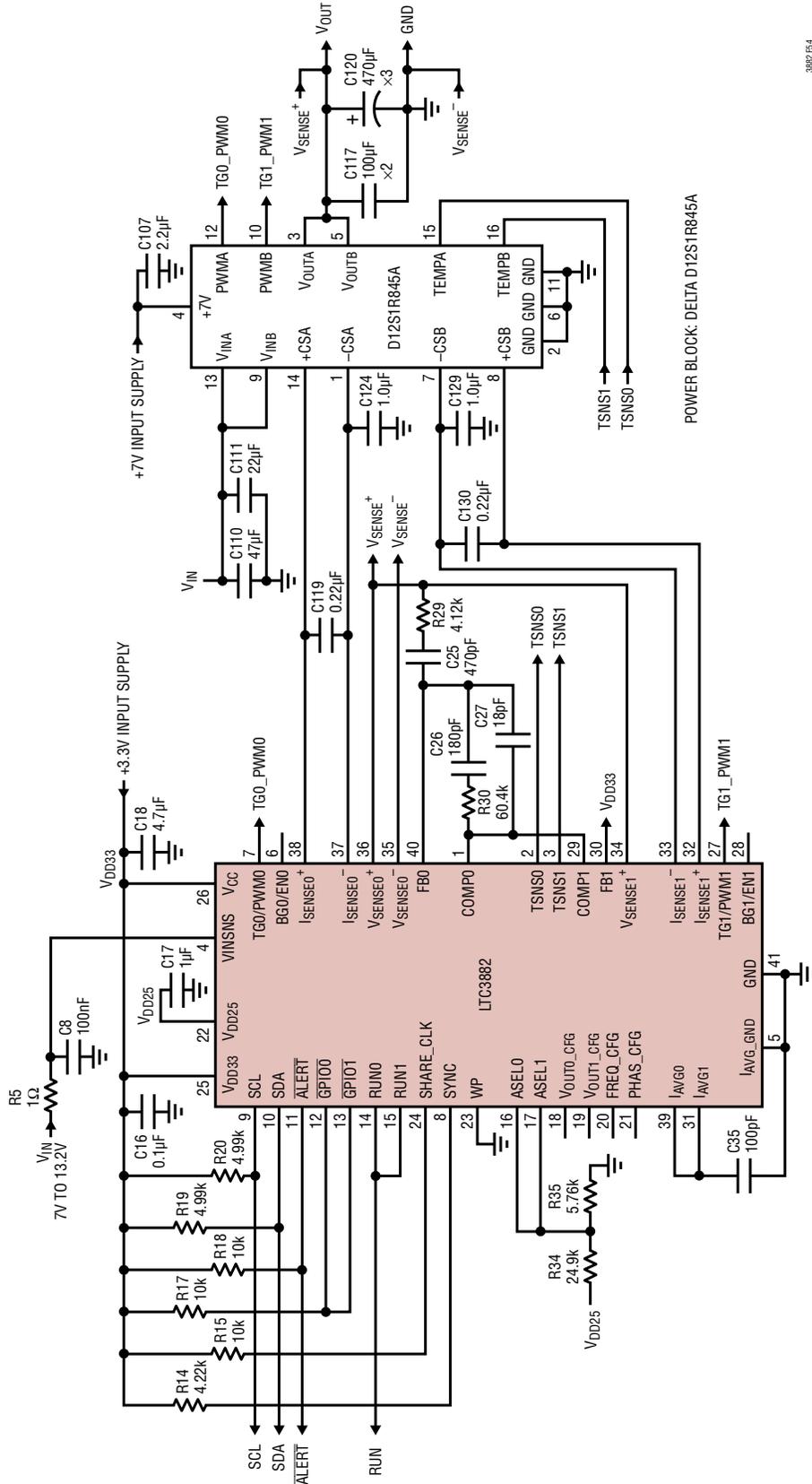


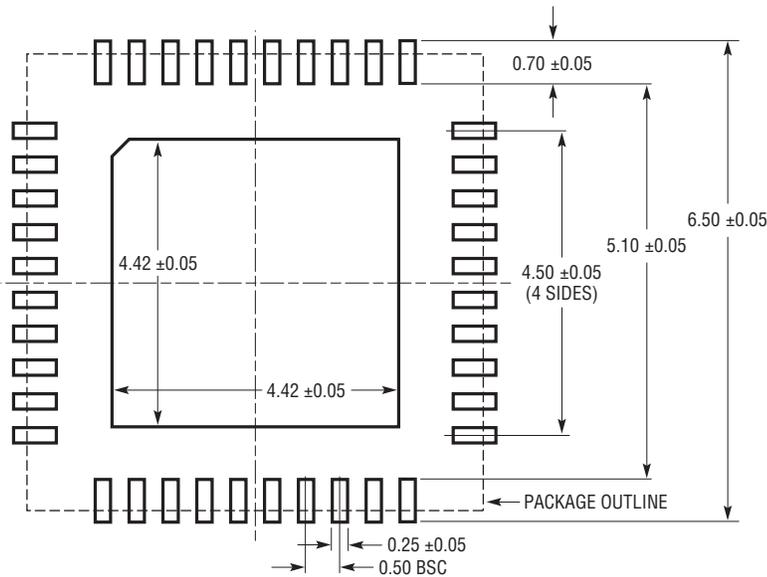
図 54. デュアル・パワーブロックを使用した高密度 1.5V/45A 650kHz コンバータ

3882F54

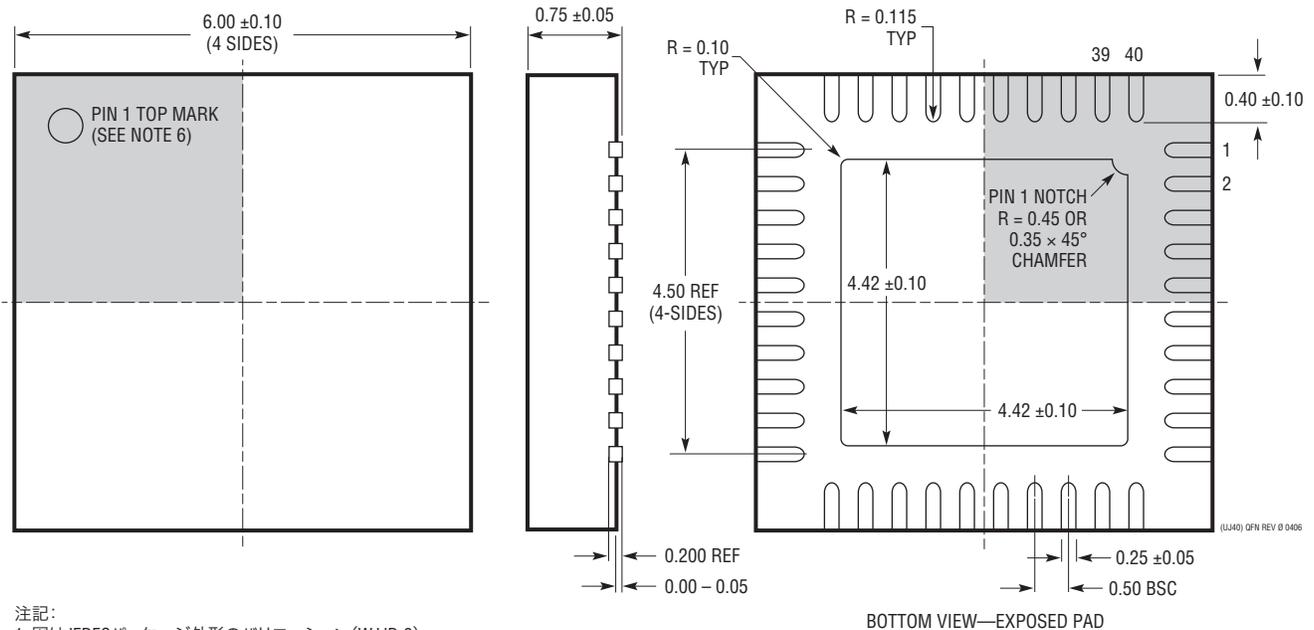
パッケージ

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

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



- 注記:
1. 図はJEDECパッケージ外形のバリエーション(WJJD-2)
 2. 図は実寸とは異なる
 3. すべ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. 灰色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

標準的応用例

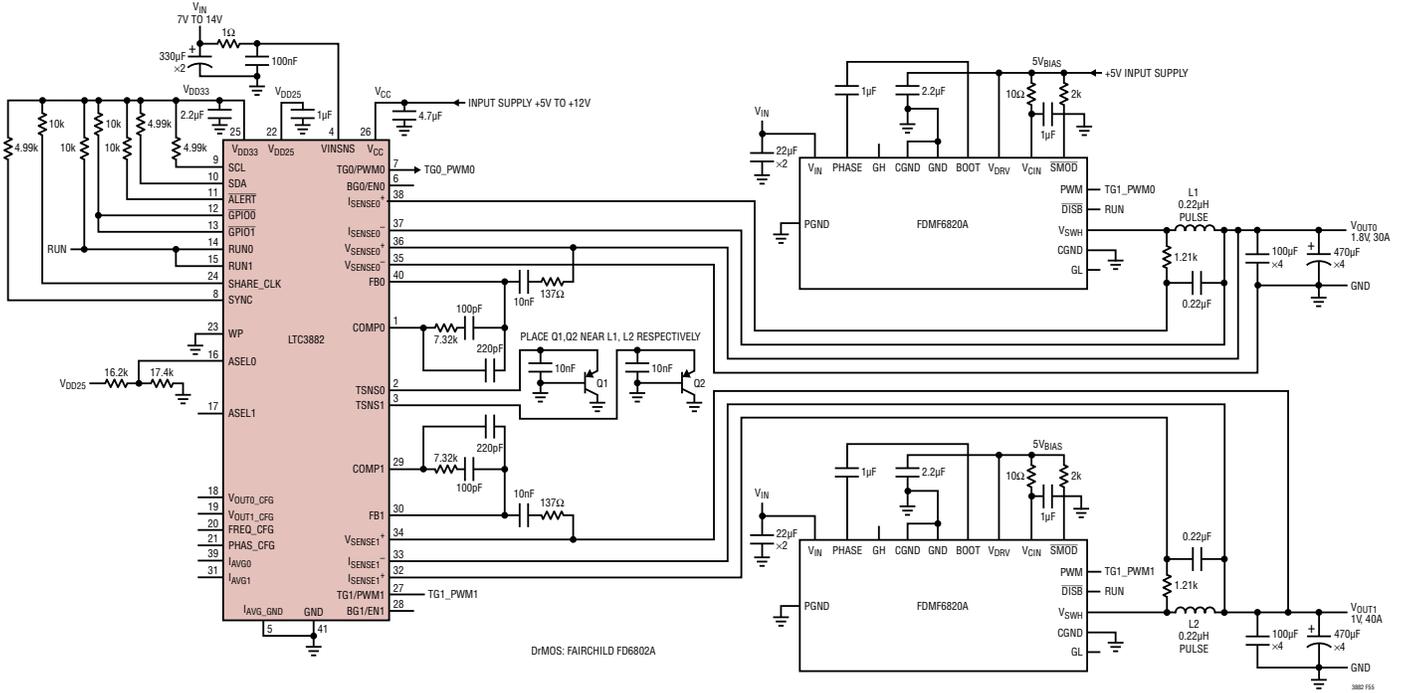


図55. DrMOSパワー段を備えた1V/40Aおよび1.8V/30Aの500kHzコンバータ

関連製品

製品番号	説明	注釈
LTM4676	デジタル・パワー・マネージメント機能と分解能の高い遠隔測定機能を備えたデュアル13A/シングル26A降圧DC/DCレギュレータ	V _{IN} :最大26.5V、0.5V ≤ V _{OUT} (±0.5%) ≤ 5.4V、ADCによるI _{OUT} の読み取り精度:±2%、フォルト・ログ機能、I ² C/PMBusインタフェース、16mm×16mm×5.01mm BGAパッケージ
LTC3880/ LTC3880-1	デジタル・パワーシステム・マネージメント搭載、デュアル出力、PolyPhase降圧DC/DCコントローラ	V _{IN} :最大24V、0.5V ≤ V _{OUT} ≤ 5.5V、アナログ制御ループ、EEPROMおよび16ビットADCとのI ² C/PMBusインタフェース
LTC3883/ LTC3883-1	デジタル・パワーシステム・マネージメント機能を備えた単相降圧DC/DCコントローラ	V _{IN} :最大24V、0.5V ≤ V _{OUT} ≤ 5.5V、入力電流検出アンプ、EEPROMおよび16ビットADCとのI ² C/PMBusインタフェース
LTC2977	正確な出力電圧測定を特長とする8チャンネルPMBusパワーシステム・マネージャ	内部EEPROMへのフォルト・ログ機能、8つの出力電圧および入力電圧、内部ダイ温度のモニタ
LTC2974	EEPROMを内蔵したクワッド・デジタル電源マネージャ	4つの出力の制御とモニタ、16ビットADC、差動入力、EEPROMへのフォルト・ログ記録
LTC3774	リモート出力検出により1mΩ未満のDCRで検出するためのデュアル、マルチフェーズ電流モード同期整流式コントローラ	パワーブロック、DrMOSデバイス、または外付けMOSFETと組み合わせて動作、4.5V ≤ V _{IN} ≤ 38V
LTC3855	差動アンプおよびDCRによる温度補償機能付き、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	4.5V ≤ V _{IN} ≤ 38V、0.8V ≤ V _{OUT} ≤ 12V、PLL固定周波数:250kHz ~ 770kHz
LTC3861	高精度の電流分担機能を備えた、デュアル、マルチフェーズ電圧モード降圧DC/DCコントローラ	パワーブロック、DrMOS外付けMOSFETで動作、3V ≤ V _{IN} ≤ 24V、t _{ON} (MIN) = 20ns、差動アンプ、スリーステート出力駆動
LTC4449	高速同期整流式NチャンネルMOSFETドライバ	V _{IN} :最大38V、4V ≤ V _{CC} ≤ 6.5V、適応型シュートスルー保護、2mm×3mm DFN-8パッケージ