

この製品のデータシートに間違いがありましたので、お詫びして訂正いたします。  
この正誤表は、2021年7月12日現在、アナログ・デバイセズ株式会社で確認した誤りを記したものです。  
なお、英語のデータシート改版時に、これらの誤りが訂正される場合があります。

**正誤表作成年月日：** 2021年7月12日

**製品名：** LTC4381

**対象となるデータシートのリビジョン(Rev)：** Rev. 0

**訂正箇所：**

P.16 左欄

英文データシートでは An external Zener diode from the input supply to the ON pin can be used to implement undervoltage lockout, as illustrated in Figure 7. とありますが、これは Figure 8 の誤りです。日本語データシートは原文のまま翻訳してありますので、ご注意ください。

# 9mΩ MOSFET 内蔵の 低静止電流サージ・ストップ

## 特長

- サージ耐圧: 最大 100V
- 9mΩ N チャンネル MOSFET 内蔵
- 確認済み安全動作領域: 70V、1A で 20ms
- 低静止電流: 6μA (動作時)
- 車両のコールド・クランク状態での動作
- 広い動作電圧範囲: 4V~72V
- 過電流保護
- 出力クランプ電圧は内部の 28.5V/47V または可変式を選択可能 (表 1)
- -60V までの逆入力保護機能
- 調整可能なターンオン閾値
- MOSFET ストレス印加に応じて調整可能な故障タイマー
- ラッチオフと再試行のオプション (表 1)
- 故障時の低再試行デューティ・サイクル (表 1)
- 32ピン DFN (7mm × 5mm) パッケージ

## アプリケーション

- 12V、24V、48V の車載システム
- アビオニクス (航空電子機器) / 工業用サージ保護
- ホット・スワップ / 活線挿入
- バッテリ駆動システムのハイサイド・スイッチ
- 車載用ロード・ダンパ保護

## 概要

LTC®4381 は、負荷を高電圧トランジエントから保護する、低静止電流サージ・ストップ・アプリケーション向けの統合型ソリューションです。内部の 9mΩ N チャンネル MOSFET のゲート電圧をクランプして、自動車のロード・ダンパなど過電圧発生時の出力電圧を安全な値に制限することにより、過電圧保護を実現します。MOSFET の安全動作領域は出荷テストが行われており、高電圧トランジエント発生時のストレスに耐えられることが確認されています。12V および 24V/28V のシステムに合わせて固定の出力クランプ電圧を選択できます。電圧が 80V までのシステムでは、可変出力クランプ電圧を使用します。

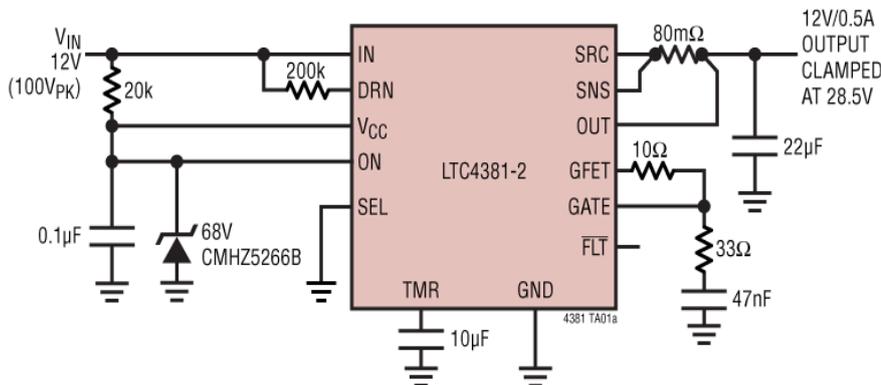
過電流保護の機能も備わっています。内部逓倍器により、 $V_{DS}$  と  $I_D$  に比例する TMR ピン電流が発生するため、過電流状態と過電圧状態のどちらの動作時間も MOSFET ストレスに応じて制限されます。

GATE ピンは、バックツースバック MOSFET を駆動して逆入力保護を実現し、ショットキー・ダイオード・ソリューションの電圧降下および消費電力を排除できます。6μA の低動作電流により、常時オンのバッテリー駆動アプリケーションで使用できます。

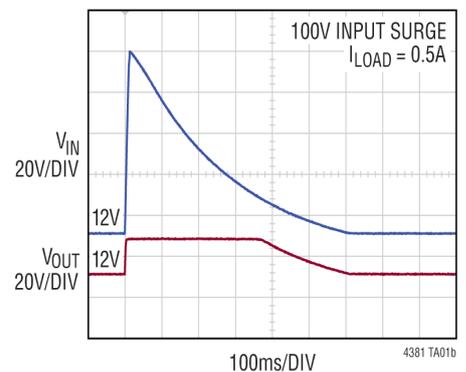
全ての登録商標および商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。

## 標準的応用例

100V/0.5A/400ms ロード・ダンパ過電圧保護機能付き 12V システム



100V 過電圧保護機能付き 12V、0.5A



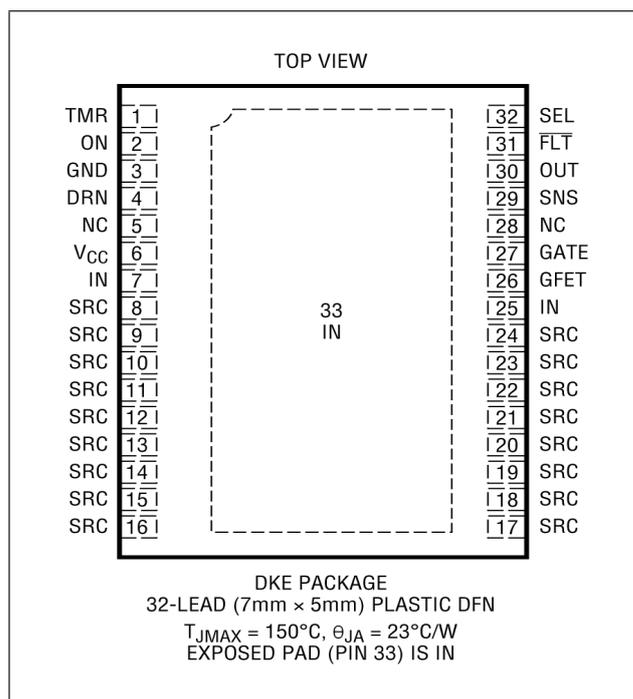
# LTC4381

## 絶対最大定格

(Note 1, 2)

IN (Note 5).....	-0.3V~100V
V <sub>CC</sub> 、ON、SEL.....	-60V~80V
DRN (Note 3)、SNS、OUT、SRC	
LTC4381-1/LTC4381-2.....	-0.3V~53V
LTC4381-3/LTC4381-4.....	-0.3V~80V
SNSからOUTまで.....	-5V~5V
GATE、GFET (Note 4)	
LTC4381-1/LTC4381-2.....	-0.3V~53V
LTC4381-3/LTC4381-4.....	-0.3V~86V
GATEからOUTまで、GATEからV <sub>CC</sub> まで、 GFETからSRCまで (Note 4).....	-0.3V~10V
TMR.....	-0.3V~5V
FLT.....	-0.3V~80V
I <sub>DRN</sub> .....	2.5mA
動作ジャンクション温度範囲 (Note 2)	
LTC4381C.....	0°C~70°C
LTC4381I.....	-40°C~85°C
LTC4381H.....	-40°C~125°C
保存温度範囲.....	-65°C~150°C

## ピン配置



## 発注情報

チューブ	テープ&リール	部品マーキング*	パッケージの説明	温度範囲
LTC4381CDKE-2#PBF	LTC4381CDKE-2#TRPBF	43812	32ピン(7mm × 5mm)プラスチックDFN	0°C~70°C
LTC4381IDKE-2#PBF	LTC4381IDKE-2#TRPBF	43812	32ピン(7mm × 5mm)プラスチックDFN	-40°C~85°C
LTC4381HDKE-2#PBF	LTC4381HDKE-2#TRPBF	43812	32ピン(7mm × 5mm)プラスチックDFN	-40°C~125°C
LTC4381CDKE-4#PBF	LTC4381CDKE-4#TRPBF	43814	32ピン(7mm × 5mm)プラスチックDFN	0°C~70°C
LTC4381IDKE-4#PBF	LTC4381IDKE-4#TRPBF	43814	32ピン(7mm × 5mm)プラスチックDFN	-40°C~85°C
LTC4381HDKE-4#PBF	LTC4381HDKE-4#TRPBF	43814	32ピン(7mm × 5mm)プラスチックDFN	-40°C~125°C

LTC4381-1/LTC4381-3のオプションについては、弊社担当営業までお問い合わせください。拡張動作温度範囲仕様の部品については、弊社担当営業までお問い合わせください。\*温度グレードは出荷容器のラベルに示されています。

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

## 電気的特性

- は全動作温度範囲での規格値を意味する。それ以外は、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。特に指定のない限り、 $V_{CC} = \text{OUT} = \text{SNS} = \text{DRN} = 12\text{V}$ 。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>DC Characteristics</b>							
$V_{IN}$	Input Voltage Range	(Note 7)	●	4		80	V
$V_{CC}$	Operating Voltage Range	LTC4381-1/LTC4381-2 (Note 7) LTC4381-3/LTC4381-4 (Note 7, 8)	● ●	4 4		80 72	V
$V_{OUT}$	Operating Voltage Range	$V_{CC} = \text{OUT} = \text{SNS} = \text{DRN} = 12\text{V}$	●			72	V
$I_Q$	Total Supply Current, ON (Note 6)	C-Grade and I-Grade	●		6	12	$\mu\text{A}$
		H-Grade	●			20	$\mu\text{A}$
$I_{CC}$	$V_{CC}$ Current, Shutdown	$V_{CC} = \text{OUT} = \text{SNS} = \text{DRN} = 4\text{V}$	●		18	35	$\mu\text{A}$
		ON = OUT = SNS = 0V	●		5	10	$\mu\text{A}$
		$V_{CC} = \text{OUT} = \text{SNS} = \text{DRN} = 12\text{V}$	●		4	12	$\mu\text{A}$
$I_{IN}$	IN pin Leakage Current	$V_{IN} = 24\text{V}$ , $V_{GFET} = V_{SRC} = 0\text{V}$ , ON = 0V	●			10	$\mu\text{A}$
		$V_{CC} = \text{OUT} = \text{SNS} = \text{DRN} = 4\text{V}$	●		16	30	$\mu\text{A}$
$I_R$	Reverse Input Current	$V_{CC} = -60\text{V}$ , ON Open, SEL = 0V	●		0	-2	$\text{mA}$
		$V_{CC} = \text{ON} = \text{SEL} = -60\text{V}$	●		-1	-5	$\text{mA}$
$R_{ON}$	MOSFET On-Resistance	IN = $V_{CC} = 8\text{V}$ , $12\text{V}$ , $I_{SRC} = -1\text{A}$ , $I_{GATE} = -1\mu\text{A}$	●		9	13	$\text{m}\Omega$
			●			28	
SOA	MOSFET Safe Operating Area	$V_{IN} - V_{SRC} = 70\text{V}$ , $1\text{A}$ , $10\text{W}/\text{s}$		20			ms
<b>SNS, OUT, SEL, ON, DRN</b>							
$I_{SNS}$	SNS Current, ON		●		0.5	1.4	$\mu\text{A}$
$I_{OUT, ON}$	OUT Current, ON		●		1.5	5.5	$\mu\text{A}$
$I_{OUT, SD}$	OUT Current, Shutdown	C-Grade and I-Grade	●		6	12	$\mu\text{A}$
		H-Grade	●			80	$\mu\text{A}$
$\Delta V_{SNS}$	Current Limit Sense Voltage (SNS – OUT)	$V_{CC} = 12\text{V}$ , $24\text{V}$ , OUT = 6V, 12V	●	45	50	55	mV
		$V_{CC} = 12\text{V}$ , $24\text{V}$ , OUT = 0V	●	40	62	95	mV
$I_{SEL}$	SEL Input Current	SEL = 0V to 80V	●			$\pm 0.1$	$\mu\text{A}$
$V_{SEL}$	SEL Input Threshold		●	0.4		3	V
$I_{ON}$	ON Input Current	$V_{ON} = 1\text{V}$	●	-1	-2	-4	$\mu\text{A}$
$V_{ON}$	ON Input Threshold	ON Rising	●	0.99	1.05	1.1	V
$V_{ON(HYST)}$	ON Input Hysteresis				45		mV
$\Delta V_{DRN}$	DRN Voltage (DRN – OUT)	$I_{DRN} = 0.1\text{mA}$	●	0.7	2.25	2.6	V
$V_{DS(MAX)}$	Overvoltage $V_{DS}$ Threshold (DRN – OUT)	TMR = 0.8V, $I_{DRN} = 2\mu\text{A}$	●	0.58	0.7	0.8	V
			●	0.3		1.0	V
<b>SRC, GATE, FLT, TMR</b>							
$V_{SRC}$	SRC Voltage Output Clamp	$V_{IN} = V_{CC} = 80\text{V}$ , SEL = 0V, $I_{OUT} = -10\text{mA}$ , LTC4381-1/LTC4381-2	●	25.5	28.5	31.5	V
		$V_{IN} = V_{CC} = 80\text{V}$ , SEL = $V_{CC}$ , $I_{OUT} = -10\text{mA}$ , LTC4381-1/LTC4381-2	●	43.5	47.0	50.5	V
		$V_{IN} = 80\text{V}$ , $V_{CC} = 12\text{V}$ , $I_{OUT} = -10\text{mA}$ , LTC4381-3/LTC4381-4	●	19.0	22.5	26.0	V
		$V_{IN} = 80\text{V}$ , $V_{CC} = 24\text{V}$ , $I_{OUT} = -10\text{mA}$ , LTC4381-3/LTC4381-4	●	31.0	34.5	38.0	V
$V_{GFET(TH)}$	MOSFET Threshold	$I_{SRC} = -10\text{mA}$	●	1	3	4.6	V
$\Delta V_{GATE}$	GATE Drive (GATE – OUT)	SEL = SNS = OUT = $V_{CC}$ , $8\text{V} \leq V_{CC} \leq 30\text{V}$	●	10	11.1	14	V
$\Delta V_{CLAMP}$	GATE Clamp to $V_{CC}$ (GATE – $V_{CC}$ )	SNS = OUT = 20V, $I_{GATE} = 0\mu\text{A}$	●	12	13.5	15.5	V

## 電気的特性

- は全動作温度範囲での規格値を意味する。それ以外は、 $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。特に指定のない限り、 $V_{CC} = \text{OUT} = \text{SNS} = \text{DRN} = 12\text{V}$ 。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
$V_{\text{GATE}}$	GATE Clamp to GND	$V_{\text{CC}} = 30\text{V}$ , SEL = 0V, LTC4381-1/LTC4381-2 $V_{\text{CC}} = 60\text{V}$ , SEL = $V_{\text{CC}}$ , LTC4381-1/LTC4381-2	● ●	30 47.5	31.5 50	33 52.5	V V
$I_{\text{GATE(UP)}}$	GATE Pull-Up Current	$V_{\text{CC}} = \text{GATE} = \text{OUT} = 12\text{V}$ , 24V	●	-8.5	-20	-35	$\mu\text{A}$
$I_{\text{GATE(DN)}}$	GATE Pull-Down Current	$\Delta V_{\text{SNS}} = 200\text{mV}$ , GATE = 12V, OUT = 0V ON = 0V, GATE = 20V $V_{\text{CC}} = 1.5\text{V}$ , GATE = 10V TMR = 2V, GATE = 10V	●	50	100		mA
	Overcurrent		●	0.3	5		mA
	Shutdown		●	2	5		mA
	Input UV Fault Time Out		●	1.5	3.5		mA
$I_{\text{FLT}}$	FLT Leakage Current	FLT = 80V	●			2	$\mu\text{A}$
$V_{\text{FLT(LOW)}}$	FLT Output Low	$I_{\text{SINK}} = 0.1\text{mA}$ $I_{\text{SINK}} = 3\text{mA}$	● ●		0.1 1	0.5 4	V V
$I_{\text{TMR(DN)}}$	TMR Pull-Down Current	TMR = 0.8V	●	1.2	1.6	2.75	$\mu\text{A}$
$I_{\text{TMR(UP, COOL)}}$	TMR Pull-Up Current, Cool Down	TMR = 2V	●	-1	-2	-3	$\mu\text{A}$
$I_{\text{TMR(UP)}}$	TMR Pull-Up Current, Overvoltage	TMR = 0.8V, OUT = 11V, $V_{\text{DS}} = 1.1\text{V}$ , $\Delta V_{\text{SNS}} = 0\text{mV}$ OUT = 28V, TMR = 0.8V	●	-0.7	-1.6	-2.4	$\mu\text{A}$
	Small OV, Light Load	$I_{\text{DRN}} = 0.1\text{mA}$ , $\Delta V_{\text{SNS}} = 10\text{mV}$	●	-3.5	-6.7	-12	$\mu\text{A}$
	High OV, Light Load	$I_{\text{DRN}} = 1\text{mA}$ , $\Delta V_{\text{SNS}} = 10\text{mV}$	●	-13	-30	-61	$\mu\text{A}$
	Small OV, Heavy Load	$I_{\text{DRN}} = 0.1\text{mA}$ , $\Delta V_{\text{SNS}} = 40\text{mV}$	●	-10	-20	-30	$\mu\text{A}$
	High OV, Heavy Load	$I_{\text{DRN}} = 1\text{mA}$ , $\Delta V_{\text{SNS}} = 40\text{mV}$	●	-60	-120	-180	$\mu\text{A}$
	TMR Pull-Up Current, Overcurrent	TMR = 0.8V $I_{\text{DRN}} = 0\text{mA}$ , OUT = 11V $I_{\text{DRN}} = 0\text{mA}$ , OUT = 0V	● ●	-3 -16	-6 -24	-9 -36	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$
	Small OV, Light Load	$I_{\text{DRN}} = 0.1\text{mA}$ , OUT = 11V	●	-16	-27	-38	$\mu\text{A}$
	High OV, Light Load	$I_{\text{DRN}} = 1\text{mA}$ , OUT = 11V	●	-80	-142	-206	$\mu\text{A}$
	Small OV, Heavy Load	$I_{\text{DRN}} = 0.1\text{mA}$ , OUT = 0V	●	-35	-50	-60	$\mu\text{A}$
	High OV, Heavy Load	$I_{\text{DRN}} = 1\text{mA}$ , OUT = 0V	●	-130	-170	-220	$\mu\text{A}$
$V_{\text{TMR(F)}}$	TMR Gate Off Threshold	TMR Rising	●	1.178	1.215	1.251	V

### AC Characteristics

D	Retry Duty Cycle; Overvoltage, LTC4381-2/LTC4381-4	$\Delta V_{\text{SNS}} = 40\text{mV}$ , $I_{\text{DRN}} = 5\mu\text{A}$ , OUT = 28V, $V_{\text{CC}} = 29\text{V}$	●		2.8	4.2	%
		$\Delta V_{\text{SNS}} = 40\text{mV}$ , $I_{\text{DRN}} = 500\mu\text{A}$ , OUT = 28V, $V_{\text{CC}} = 80\text{V}$	●		0.1	0.2	%
	Retry Duty-Cycle; Overcurrent, LTC4381-2/LTC4381-4	$I_{\text{DRN}} = 500\mu\text{A}$ OUT = 0V	● ●		0.1 0.35	0.2 0.7	% %
		OUT = 6V	●				
$t_{\text{ON(ON)}}$	Turn-On Propagation Delay	ON Steps from 0V to 1.5V, OUT = SNS = 0V	●		7.5	25	ms
$t_{\text{OFF(ON)}}$	Turn-Off Propagation Delay	ON Steps from 1.5V to 0V, OUT = SNS = $V_{\text{CC}}$	●		1	5	$\mu\text{s}$
$t_{\text{OFF(OC)}}$	Overcurrent Turn-Off Propagation Delay	$\Delta V_{\text{SNS}}$ Steps from 0V to 250mV, OUT = 6V	●		2	4	$\mu\text{s}$
		$\Delta V_{\text{SNS}}$ Steps from 0V to 250mV, OUT = 0V	●		2	4	$\mu\text{s}$

**Note 1:** 上記の絶対最大定格を超えるストレスを加えるとデバイスに恒久的な損傷を与えることがあります。デバイスを長時間絶対最大定格状態に置くと、デバイスの信頼性と寿命に影響を与えることがあります。

**Note 2:** デバイス・ピンへの電流はすべて正です。デバイス・ピンからの電流はすべて負です。特に指定のない限り、すべての電圧はGNDを基準としています。

**Note 3:** 内部クランプは、DRNピンをOUTピンとSNSピンよりも10V以上高い値に制限します。

**Note 4:** 内部クランプは、GATEピンをOUTピンまたは $V_{\text{CC}}$ ピンより10V以上高い値、またはGNDピンより50V (SEL =  $V_{\text{CC}}$ ) または31.5V (SEL = GND) 高い値に制限します (LTC4381-1/LTC4381-2)。このピンをクランプを超える電圧で駆動すると、デバイスが損傷する可能性があります。

**Note 5:** IN ABS MAXの定格は $25^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$ に限定されます。

**Note 6:** 総電源電流は、 $V_{\text{CC}}$ 、OUT、SNS、およびDRNピンへの電流の合計です。

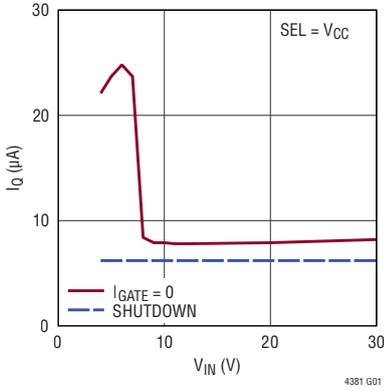
**Note 7:** LTC4381は、車載アプリケーションではコールド・クランク時に4Vまで動作できます。この場合、 $V_{\text{CC}}$ には最初は12V電源が供給され、コールド・クランク期間中は8Vを超えた電圧を維持します。

**Note 8:** 動作電圧は、86Vの最大GATE電圧によって制限されます。

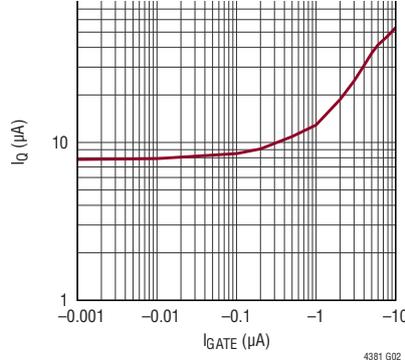
代表的な性能特性

特に指定のない限り、 $V_{CC} = 12V$ 。

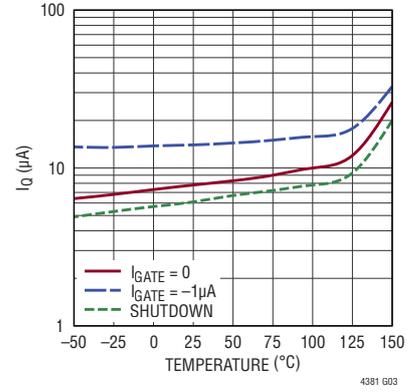
総電源電流 ( $I_Q$ ) と入力電圧の関係



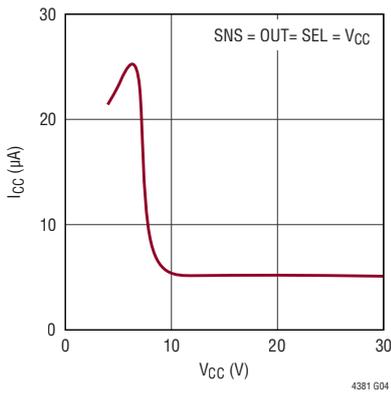
総電源電流 ( $I_Q$ ) とゲート・リークの関係



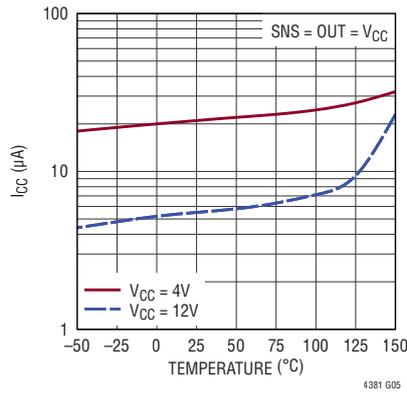
総電源電流 ( $I_Q$ ) の温度特性



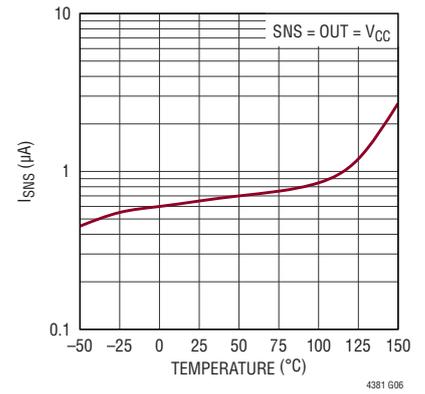
電源電流 ( $I_{CC}$ ) と電源電圧の関係



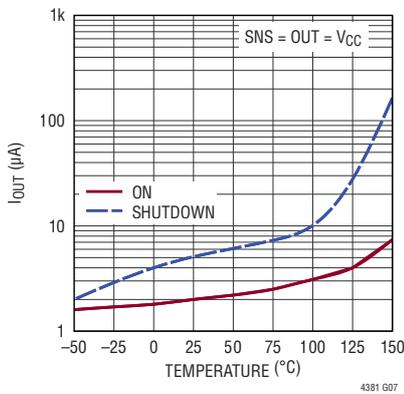
電源電流 ( $I_{CC}$ ) の温度特性



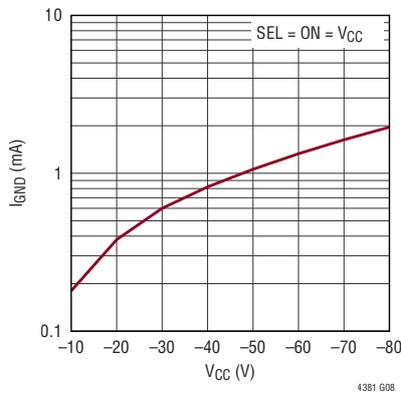
$I_{SNS}$  の温度特性



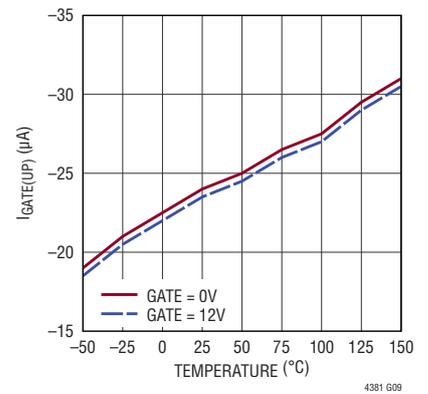
出力ピン電流の温度特性



逆電流と逆電圧の関係



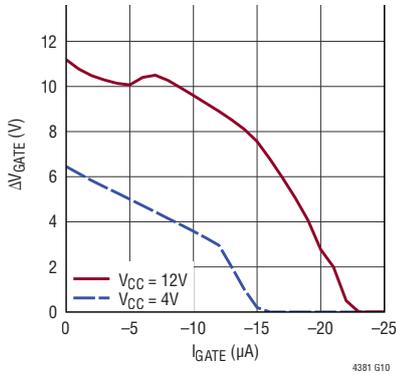
ゲート・プルアップ電流の温度特性



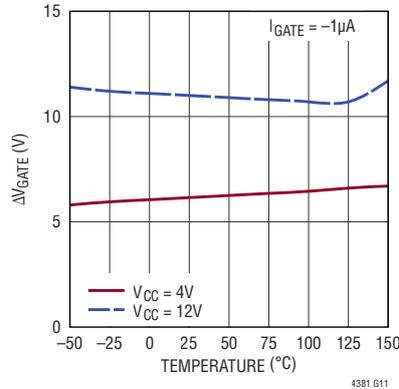
## 代表的な性能特性

特に指定のない限り、 $V_{CC} = 12V$ 。

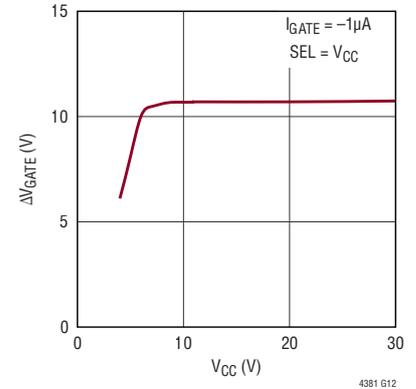
ゲート駆動とプルアップ電流の関係



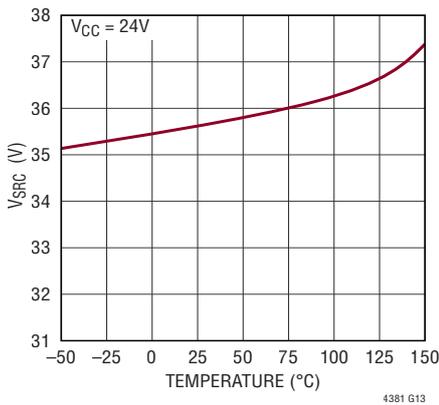
ゲート駆動の温度特性



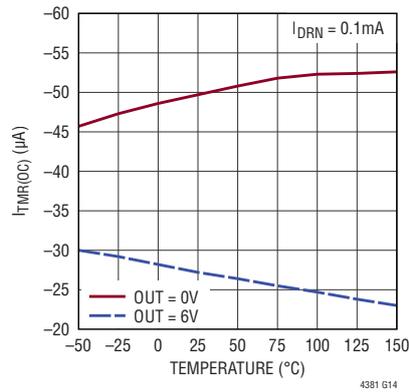
ゲート駆動と電源電圧の関係



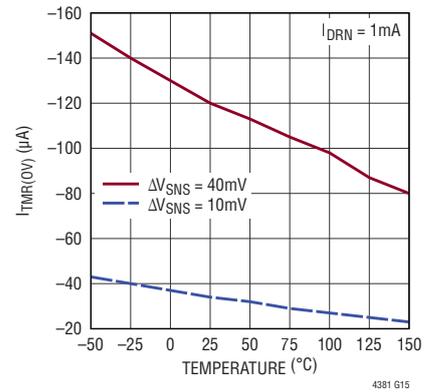
$V_{SRC}$ の温度特性



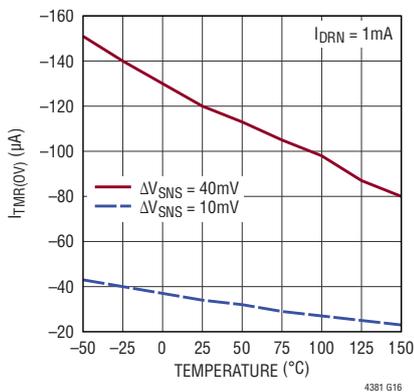
TMRピン電流の温度特性、  
過電流故障



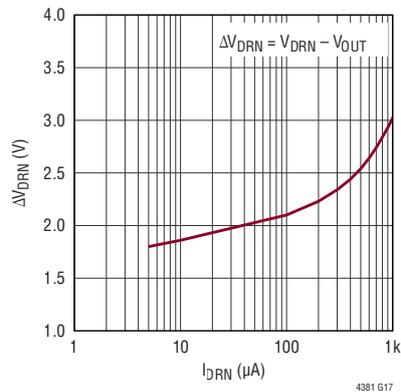
TMRピン電流の温度特性、  
過電圧故障



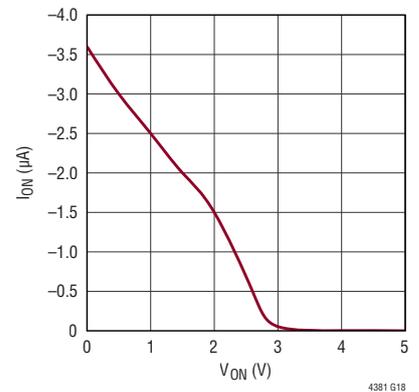
電流制限と出力電圧の関係



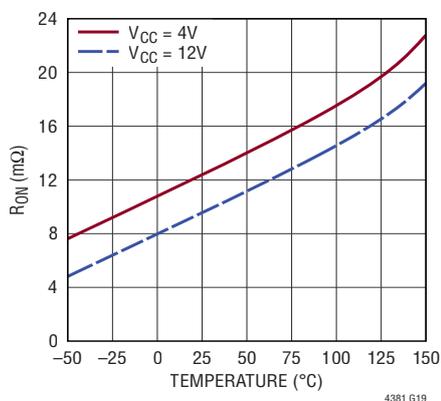
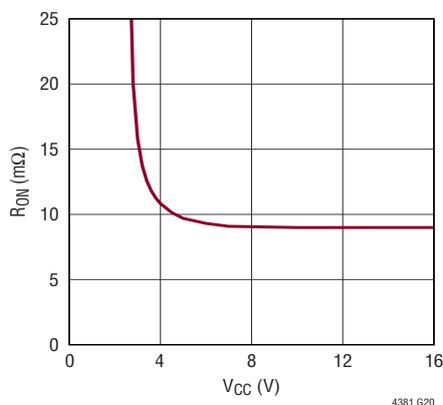
DRNの電圧と電流の関係



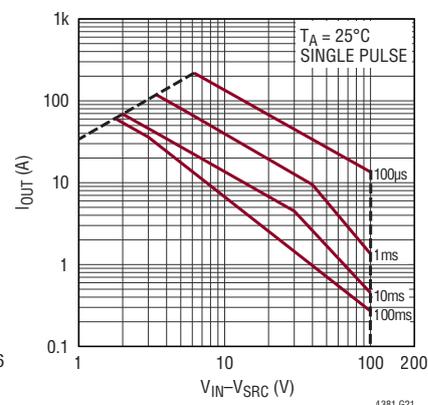
ONピンの電流と電圧の関係



## 代表的な性能特性

特に指定のない限り、 $V_{CC} = 12V$ 。R<sub>ON</sub>の温度特性R<sub>ON</sub>とV<sub>CC</sub>の関係

MOSFETのSOA曲線



## ピン機能

**DRN**: MOSFETのドレイン-ソース検出。DRNピンの電圧は、OUTピンに追従します。その結果、外付け抵抗R<sub>DRN</sub>を流れるDRNピン電流は、MOSFETのV<sub>DS</sub>に比例します。DRNピン電流と $\Delta V_{SNS}$  (SNS - OUT)は内部で乗算され、MOSFETの消費電力にほぼ比例するTMRピン電流を生成します。これにより、より深刻な故障時のタイムアウトが速くなり、MOSFETのSOA条件が緩和されます。ピーク入力電圧時に電流を1mAに制限するようにR<sub>DRN</sub>を選択してください。未使用の場合はOUTに接続します。

**FLT**: 故障出力。このオープンドレインのロジック出力ピンは、TMRピンの電圧が1.215Vの故障閾値に達した後にローになります。これは、電源電圧が長時間上昇したレベルに留まっている(電圧故障)か、デバイスが過電流状態にある(電流故障)ために、MOSFETがオフになっていることを示します。故障出力は最大3mAをシンクできます。未使用の場合は、オープンのままにするか、GNDに接続します。

**GATE**: 内部NチャンネルMOSFETのゲート駆動。GATEピンは、OUTピンの11.5V上にレギュレーションされた内部20 $\mu$ Aチャージ・ポンプによってプルアップされます。アンプはGATEピンを制御して、MOSFETを流れる電流を制限します。電流制限アンプを補償するには、このピンに最小47nFの容量と33 $\Omega$ の直列抵抗が必要です。出力短絡時に

MOSFETが損傷するのを防ぐために、GATEも内部でOUTより17V高い電圧でクランプされます。

**GFET**: 内部NチャンネルMOSFETのゲート。このピンは10 $\Omega$ 抵抗を介してGATEピンに接続します。

**GND**: デバイス・グラウンド。

**IN**: MOSFETの入力。これは内部MOSFETのドレイン端子です。このピンは電源入力に接続します。

**ON**: ターンオン制御入力。LTC4381は、このピンを1.05V以上にプルアップするかオープンのままにすると、内部1M $\Omega$ 抵抗によりオンにできます。このピンを閾値より下にプルダウンすると、デバイスがシャットダウン・モードになり、電源電流が5 $\mu$ Aに減少します。外付けのプルアップを使用しない場合は、ONリーク電流を1 $\mu$ A未満に制限します。ONピンは、最大80Vまでプルアップされても、またはGNDを60V下回っても、損傷することはありません。

**OUT**: 出力電圧の検出。このピンは、電流検出抵抗の出力端子で出力電圧を検出します。内部クランプは、GATEピンとOUTピンの間の電圧を17Vに制限します。OUTピンは、できるだけピンの近くで22 $\mu$ F以上でバイパスします。

## ピン機能

**SEL** : LTC4381-1 および LTC4381-2 の出力クランプ電圧選択。SEL ピンを GND に接続すると、内部出力のクランプ電圧を 28.5V に設定します。V<sub>CC</sub> または OUT に接続すると、出力クランプ電圧は 47V になります。SEL ピンは、最大 80V までプルアップされても、または GND を 60V 下回っても、損傷することはありません。LTC4381-3 および LTC4381-4 では、SEL を GND に接続します。

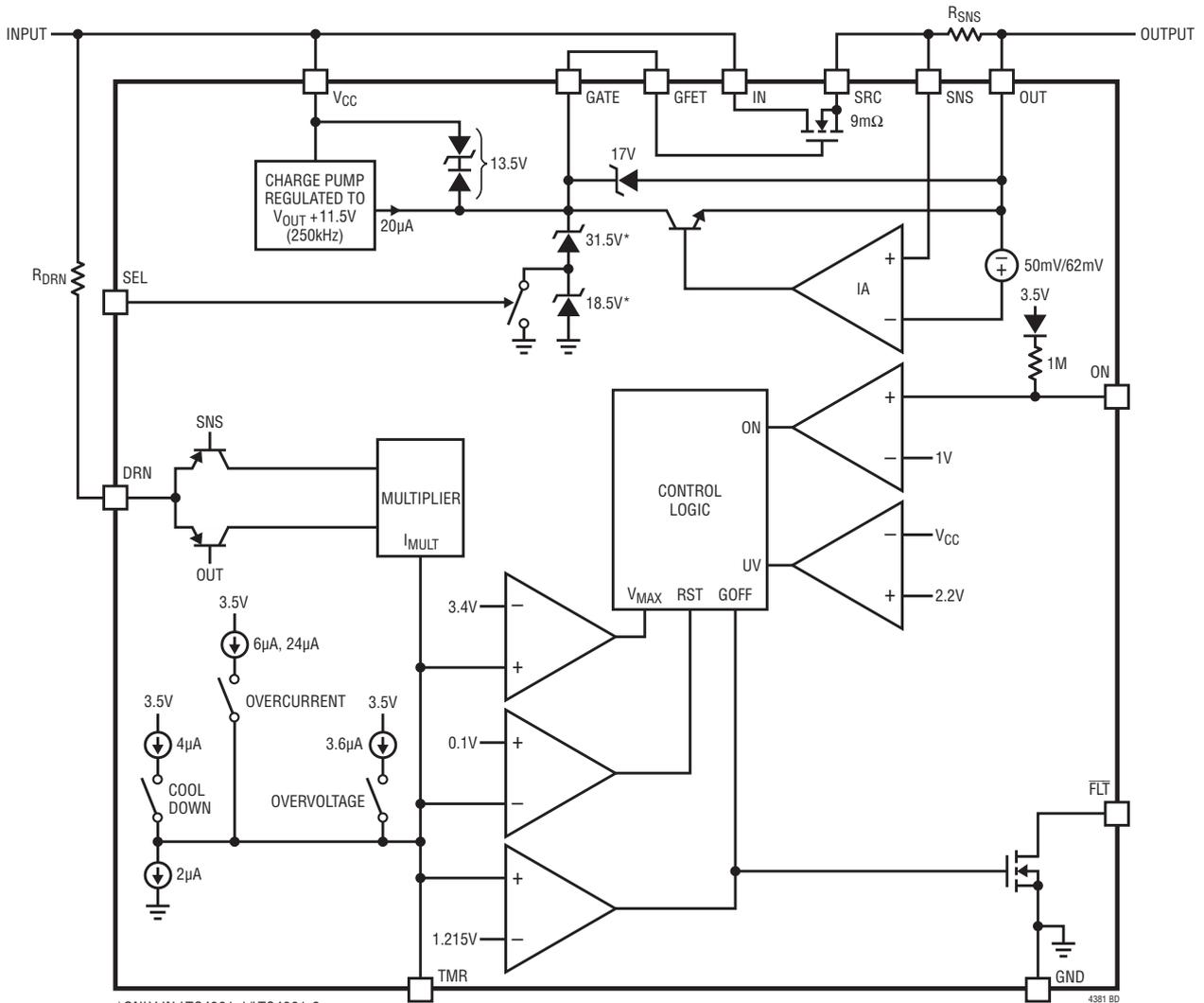
**SNS** : 電流検出の入力。電流検出抵抗の入力端子に接続します。電流制限アンプは、GATE ピンを制御して電流検出電圧を 50mV に制限します。OUT が 1.5V 未満になって深刻な故障時には、この電圧は 62mV に増加します。ターンオフ時間を短縮するために、過電流状態の間、TMR ピン電流に固定の 6 $\mu$ A が追加されます。出力電圧が 1.5V 未満の深刻な短絡状態では、追加電流は 24 $\mu$ A に増加して MOSFET の消費電力を削減します。 $\Delta V_{SNS}$  (SNS – OUT) は  $\pm 5V$  未満に制限する必要があります。未使用の場合は OUT に接続します。

**SRC** : MOSFET の出力。これは内部 MOSFET のソース端子です。このピンを検出抵抗に接続します。SRC ピンと出力は、過電圧イベント時に GATE ピンを介して間接的にクランプされます。LTC4381-1/LTC4381-2 の SRC ピンは、SEL = 0V の場合は GND より 28.5V 高い電圧で、SEL = V<sub>CC</sub> の場合は GND より 47V 高い電圧でクランプされます。また、V<sub>CC</sub> 電圧が低い場合は、V<sub>CC</sub> より 10.5V 高い電圧でクランプされます。LTC4381-3/LTC4381-4 の SRC ピンには GND への 28.5V/47V クランプがなく、V<sub>CC</sub> より 10.5V 高い電圧でのみクランプされます。

**TMR** : 故障タイマー入力。このピンとグラウンドの間にコンデンサを接続して、故障ターンオフ時間と冷却期間を設定します。故障時の充電電流は、MOSFET の消費電力によって異なります。TMR が 1.215V に達すると、MOSFET がオフになり、FLT がローになります。ゲートがオフになるとデバイスはすぐに冷却期間に入り、TMR ピンを 2 $\mu$ A の電流でプルアップおよびプルダウンします。冷却期間が終了すると、LTC4381-2 と LTC4381-4 はすぐに再起動しますが、LTC4381-1 と LTC4381-3 は、ON ピンが 100 $\mu$ s 以上一時的にローになるか、電源を入れ直すまではオフのままです。C<sub>TMR</sub> には定格 10V の X7R コンデンサを推奨します。

**V<sub>CC</sub>** : 正側の電源電圧入力。正側電源入力の範囲は 4V ~ 80V です。入力電圧が 80V を超えると予想されるアプリケーションの場合、V<sub>CC</sub> ピンはツェナー・ダイオードのクランプによって保護するか、短時間のスパイクの場合は単純な RC フィルタによって保護します。ツェナー・ダイオードによる V<sub>CC</sub> ピンのクランプは、LTC4381-1/LTC4381-2 内部の 28.5V/47V クランプよりも低い値に出力クランプ電圧を調整する手段としても使用できます。内部クランプのない調整可能なバージョンである LTC4381-3/LTC4381-4 の場合、出力の電圧を制限する唯一の方法は、V<sub>CC</sub> ピンへツェナー・ダイオードを接続することです。V<sub>CC</sub> ピンには V<sub>IN</sub> ピンとは別に給電することもできます。

ブロック図



\* ONLY IN LTC4381-1/LTC4381-2

4381 BD

## 動作

LTC4381は、パス・デバイスとして内部の9mΩ NチャンネルMOSFETを駆動する低静止電流のサージ・ストッパです。通常の動作では、20μAのチャージ・ポンプ(ブロック図を参照)がMOSFET M1を完全にオンに駆動し、入力から負荷への低インピーダンス・パスを提供します。MOSFETゲートは、ツェナー・スタックによってグラウンドにクランプされます。出力がゲート・クランプに近づくポイントまで入力電圧が上昇すると、出力は実質的にゲート・クランプ未満の1つの閾値電圧(通常は3V)に制限され、入力サージが負荷に到達しないようブロックされます。

LTC4381-1およびLTC4381-2では、グラウンドを基準とした2つの出力クランプ電圧を使用できます。12Vシステムで使用する場合は28.5V、24Vおよび28Vシステムで使用する場合は47Vです。クランプ電圧はSELピンで選択できます。グラウンドへのクランプに加えて、出力はV<sub>CC</sub>ピンより10.5V上の電圧にも制限されます。

LTC4381-3およびLTC4381-4にはグラウンドへのGATEクランプはなく、出力はV<sub>CC</sub>ピンの電圧より10.5V高い値に制限されます。したがって、V<sub>CC</sub>ピンからグラウンドに接続されたツェナー・ダイオードのクランプは、過電圧イベント時にV<sub>CC</sub>ピンとSRCピンの両方の電圧をクランプします。

負荷電流は電流制限アンプ(IA)によって制限され、MOSFETソースと直列の検出抵抗を用いて電流がモニタされます。電流制限閾値は50mVで、出力が1.5V未満になると62mVに上昇します。

MOSFETのストレスはタイマーによってモニタされ、その電流はMOSFETのV<sub>DS</sub>とI<sub>D</sub>の関数です。V<sub>DS</sub>はDRNピンのR<sub>DRN</sub>によってモニタされ、I<sub>D</sub>はR<sub>SNS</sub>の両端の電圧降下を検出することによってモニタされます。タイマーにより、車両のロード・ダンプや出力の過負荷または短絡などの持続的な過電圧によるMOSFETの損傷を防ぐ一方、短いトランジェント・イベント時も負荷が機能し続けることができます。

通倍器は、MOSFETの消費電力に応じてタイマー周期を設定します。消費電力が高くなるほどタイマー期間が短くなり、MOSFETをその安全動作領域(SOA)内に維持するのに役立ちます。

タイマーは、スタートアップ時および電圧と電流の制限時にストレスに応答します。TMRピンの電流はタイミング・コンデンサC<sub>TMR</sub>に統合されており、TMRが1.215Vまで充電されると、MOSFETがオフになります。この時点で、LTC4381-1とLTC4381-3はラッチオフし、電源を入れ直すか、ONピンを少なくとも100μsの間ローにすることでリセットできます。LTC4381-2とLTC4381-4では、TMRピンは冷却フェーズに入り、MOSFETの温度が周囲と等しくなるまで待つから自動的に再起動します。TMRピンは3.4Vから1.215Vの間で15回ゆるやかに上下に充電され、最後のサイクルでグラウンドに放電されます。TMRピンが100mVの閾値に達すると、MOSFETが再びオンになります。冷却間隔は、C<sub>TMR</sub>の少なくとも10ms/μFの間ONピンをローにすることによって短縮できます。

ONピンは、タイマーのリセットに加えて、オン/オフ制御と低電圧検出に使用されます。ONピンの閾値は1.05Vです。

オープンドレインのFLTピンは、タイマーがフォールト・オフすると常にローになり、電源を入れ直すことによってリセットされると再びハイになります。リセットは、ONピンを少なくとも100μsの間ローにするか、LTC4381-2およびLTC4381-4の場合はTMRピンが100mVまで放電した時に行われます。

表 1. LTC4381 のオプション

PART NUMBER	OUTPUT CLAMP	FAULT BEHAVIOR
LTC4381-1	Internal 28.5V/47V to GND	Latchoff
LTC4381-2	Internal 28.5V/47V to GND	Auto Retry
LTC4381-3	Externally Adjustable	Latchoff
LTC4381-4	Externally Adjustable	Auto Retry

LTC4381-1/LTC4381-3のオプションについては、弊社担当営業までお問い合わせください。

## アプリケーション情報

LTC4381は、電源トランジエント・イベント時または出力過負荷イベント時に負荷に供給される電圧と電流を制限します。NチャンネルMOSFETは、通常動作中は入力から負荷へ低抵抗パスを提供します。過電圧状態では、クランプされたゲート電圧より低い閾値電圧に出力を制限します。短期間の故障はライドスルーするように合計の故障タイマー期間が設定されていますが、イベントが長くなると、出力がシャット・オフされ、MOSFETが損傷するのを防ぎます。

### 起動

図1は、出力を約28.5Vに制限する12V、1Aのアプリケーションを示しています。最初に $V_{CC} \geq 4V$ および $ON \geq 1.05V$ で電源を供給する際、GATEピンが固定の20 $\mu$ A電流源でC2およびMOSFETのゲート・ピンの充電を開始するまでに約10msの遅延があります。内部MOSFETはソース・フォロワとして動作し、 $I_{GATE(UP)}/C2$ のレートで出力をランプアップします。負荷容量 $C_{OUT}$ の突入電流は式1で与えられます。

$$I_{INRUSH} = I_{GATE(UP)} \cdot \frac{C_{OUT}}{C2} \quad (1)$$

ここで、 $I_{GATE(UP)}$ は20 $\mu$ A(代表値)です。

最終的に、GATEピンは $V_{IN} \approx V_{OUT}$ のポイントまで充電され、 $\Delta V_{GATE}$  ( $V_{GATE} - V_{OUT}$ )が11.5Vのレギュレーション・ポイントに達した時にのみ停止し、MOSFETを完全に保護します。

### 過電流故障の保護

LTC4381は、短絡や過度の負荷電流から保護する調整可能な電流制限を備えています。過電流イベント時、OUTが3Vを超えると、SNSピンとOUTピン間の電流検出電圧( $\Delta V_{SNS}$ )が50mVに制限されるようにGATEピンが調整されます。出力で深刻な短絡が発生しOUTが1.5V未満となった場合、電流検出電圧は62mVです。これにより、出力電流は $\Delta V_{SNS}/R_{SNS}$ に制限されます。電流制限は、 $C_{OUT}$ が異常に大きい場合や電流制限が異常に低い値に設定されている場合など、極端な場合にスタートアップの上昇率を制御し、 $C_{OUT}$ の突入電流を前もって計算された値よりも意図的に減らします。

### 過電圧故障の保護

LTC4381は、入力の過電圧時に出力の電圧を制限します。図1に示すLTC4381-1/LTC4381-2の場合、内部クランプにより、SELピンの状態に応じて出力が28.5Vまたは47Vに制限されます。図のようにSELピンをグラウンドに接続すると、出力は28.5Vでクランプされます。SELピンをハイに接続すると、出力は47Vでクランプされます。

GATEピンは、内部20 $\mu$ A電流源の $V_{CC} + 13.5V$ へのコンプライアンスによっても制限される場合があります。LTC4381-3/LTC4381-4では、GATEピンのクランプが完全に切り離され、 $V_{CC} + 13.5V$ のコンプライアンス制限のみが残されます。このように、 $V_{CC}$ を4V~61.5Vにクランプすることにより、出力を14.5V~72Vの任意の電圧で効果的にクランプできます。

### V<sub>CC</sub>ピン

LTC4381は、最大100Vの入力サージ電圧に耐えることができます。予想される最大サージ電圧が80V未満の場合、 $V_{CC}$ ピンを入力電源に直接接続できます。サージ電圧が80V~100Vの場合、 $V_{CC}$ ピンの動作範囲はLTC4381-1/LTC4381-2では4V~80V、LTC4381-3/LTC4381-4では4V~72Vであるため、 $V_{CC}$ ピンはフィルタリングまたはクランプで保護する必要があります。短時間のスパイクと80Vを超えるトランジエントの場合、フィルタリングが $V_{CC}$ ピンを保護するための最も賢明な手段です。図1のR1とC1がフィルタリングを提供します。LTC4381の $I_{CC}$ が低いいため、R1に最大100kの値を使用しても、動作電圧範囲の下限を下回ることはありません。自動車のロード・ダンプなど、長時間のサージの場合、C1は非常に大きくなるため、D1のツェナー・ダイオードが $V_{CC}$ 電圧を制限する最も効果的な手段です。

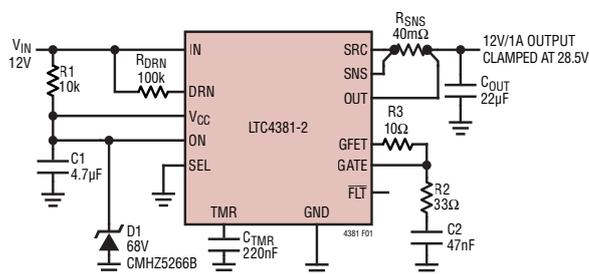


図1. 12V/1A、出力は28.5Vに制限

## アプリケーション情報

68V ツェナーを使用すると、D1 による LTC4381-1 および LTC4381-2 デバイスでの GATE ピンの内部クランプが無効にされません。LTC4381-3 および LTC4381-4 の場合、V<sub>CC</sub> の動作範囲は 4V から 72V に拡張されます。SRC ピンは V<sub>CC</sub> + 10.5V にレギュレーションされるため、V<sub>CC</sub> ピンを 4V ~ 72V の範囲内に維持しながら、目的の出力クランプ効果を実現するように D1 を選択します。LTC4381 は、車載アプリケーションではコールド・クランク時に 4V まで動作できます。この場合、V<sub>CC</sub> には最初は 12V 電源が供給され、コールド・クランク期間中は 8V を超えた電圧を維持します。

### 故障タイマーの概要

過電圧および過電流状態、および MOSFET の高 V<sub>DS</sub> 状態は、調整可能な故障タイマーによって持続時間が制限されます。TMR ピンのコンデンサ (C<sub>TMR</sub>) は、 $\overline{\text{FLT}}$  ピンで故障状態が報告されて MOSFET がオフになるまでの遅延時間を設定します。C<sub>TMR</sub> は、LTC4381-2 および LTC4381-4 の自動再試行バージョンで、MOSFET がオンに戻る事が許可されるまでの冷却時間も設定します。LTC4381-1 および LTC4381-3 は、タイマー遅延の終了時にラッチオフするだけです。C<sub>TMR</sub> には、温度と電圧の影響を最小限に抑えるために、定格 10V 以上の X7R コンデンサを推奨します。

故障タイミングは、デバイスがオンの状態で入力電源が投入されるとすぐに、または電源が投入された後にデバイスがオンになると開始します。MOSFET 両端の電圧が 0.7V を超えると、TMR ピンがプルアップされるように 1.5μA の電流が生成されます。タイマーは、MOSFET で消費される電力に応じて変化する追加の電流で高速化します。消費電力は、MOSFET 両端の電圧 (V<sub>DS</sub>) と MOSFET を流れる電流 (I<sub>D</sub>) の積です。V<sub>DS</sub> は、ドレイン・ピンの抵抗 R<sub>DRN</sub> の両端の電圧降下から推測され、ΔV<sub>SNS</sub> は I<sub>D</sub> を表します。

最初のパワーアップ時に、入力電源が少なくとも短時間、出力電圧より 0.7V 以上高いため、1.5μA のパイロット電流が TMR ピンのコンデンサを充電します。出力が入力電源電圧の 0.7V 以内にまで上昇すると、プルアップ電流が消失し、内部の 2μA 電流源が TMR ピンのコンデンサを放電します。コンデンサは、パワーアップを成功させるため、最初のスタートアップ間隔をライドスルー可能なサイズにする必要があります。

故障が持続している場合、タイマー電流は TMR ピンを 1.215V に充電します。この時点で、 $\overline{\text{FLT}}$  ピンがローになって故障状態を示し、GATE ピンがローになって MOSFET がシャット・オフします。故障の発生後、タイマーは冷却フェーズに入ります。冷却期間の終了時に、LTC4381-1/ LTC4381-3 は手動でリセットされるまでオフのままですが、LTC4381-2/ LTC4381-4 は自動的に再起動します。

### 過電圧または V<sub>DS</sub> が大きい場合の故障タイマーの動作

MOSFET の V<sub>DS</sub> が 0.7V を超えるスタートアップ時または過電圧状態では、TMR ピンは主に V<sub>DS</sub> と I<sub>D</sub> の関数として変化する電流で 0V から 1.215V まで充電されます。V<sub>DS</sub> は、DRN ピンの抵抗 R<sub>DRN</sub> に流れる電流から推測され、SNS ピンと OUT ピンの間の電圧差 (ΔV<sub>SNS</sub>) は MOSFET の電流 I<sub>D</sub> を表します。

TMR ピンの電流は式 2 で与えられます。

$$I_{\text{TMR}} = \left( 0.0917 \left[ \frac{\sqrt{\text{A}}}{\text{V}} \right] \cdot V_{\text{SNS}} \cdot \sqrt{I_{\text{DRN}} - 70} [\mu\text{A}] \right) \quad (2)$$

ここで、0.0917√A/V は通倍器のゲイン項です。I<sub>DRN</sub> が 70μA 未満の場合 (スタートアップ時など)、1.5μA の I<sub>TMR</sub> を使用します。

ΔV<sub>SNS</sub> と I<sub>DRN</sub> を置き換えると、式 3 になります。

$$I_{\text{TMR}} = \left( 0.0917 \left[ \frac{\sqrt{\text{A}}}{\text{V}} \right] \cdot I_{\text{D}} \cdot R_{\text{SNS}} \cdot \sqrt{\frac{V_{\text{DS}}}{R_{\text{DRN}}} - 70} [\mu\text{A}] \right) \quad (3)$$

I<sub>DRN</sub> が 70μA 未満の場合 (スタートアップ時など)、1.5μA の I<sub>TMR</sub> を使用します。

TMR が 1.215V に達すると、 $\overline{\text{FLT}}$  ピンがローになり、MOSFET がオフになって、長時間冷却できるようになります。出力クランプの開始からオフまでの合計経過時間は、式 4 で与えられます。

$$t_{\text{TMR}} = V_{\text{TMR(F)}} \cdot \frac{C_{\text{TMR}}}{I_{\text{TMR}}} \quad (4)$$

I<sub>TMR</sub> は V<sub>DS</sub> と I<sub>D</sub> の関数であるため、過電圧になってからオフになるまでの正確な時間は、入力波形と負荷電流によって異なります。

## アプリケーション情報

### 過電流での故障タイマーの動作

過電流時のTMRピンの動作は、過電圧時と実質的に同じです。LTC4381が出力電流をレギュレーションする際に過電流状態が存在する場合、TMRピンは主にMOSFETで消費される電力の関数として変化する電流で0Vから1.215Vまで充電されます。可変電流に加えて、追加の24 $\mu$ Aにより、出力が1.5V未満のロー・インピーダンスの短絡でタイムアウトが速くなります。V<sub>OUT</sub>が3Vを超えると、この追加電流は6 $\mu$ Aに減少します。

V<sub>OUT</sub>が1.5V未満でのTMRピン電流は式5で与えられます。

$$I_{TMR} = \left( 0.0917 \left[ \frac{\sqrt{A}}{V} \right] \cdot I_D \cdot R_{SNS} \cdot \sqrt{\frac{V_{DS}}{R_{DRN}} - 70} [\mu A] \right) + 24.5 [\mu A] \quad (5)$$

ここで、24.5 $\mu$ Aは過電流状態での追加のTMR電流です。I<sub>DRN</sub>が70 $\mu$ A未満の場合、I<sub>TMR</sub>は24 $\mu$ Aになります。

また、V<sub>OUT</sub>が3Vを超える場合は式6で与えられます。

$$I_{TMR} = \left( 0.0917 \left[ \frac{\sqrt{A}}{V} \right] \cdot I_D \cdot R_{SNS} \cdot \sqrt{\frac{V_{DS}}{R_{DRN}} - 70} [\mu A] \right) + 6 [\mu A] \quad (6)$$

ここで、6 $\mu$ Aは過電流状態での追加のTMR電流です。I<sub>DRN</sub>が70 $\mu$ A未満の場合、I<sub>TMR</sub>は6 $\mu$ Aになります。

TMRが1.215Vに達すると、 $\overline{FLT}$ ピンがローになり、MOSFETがオフになって、長時間冷却できるようになります。出力クランプの開始からオフまでの合計経過時間は、式7で与えられます。

$$t_{TMR} = V_{TMR(F)} \cdot \frac{C_{TMR}}{I_{TMR}} \quad (7)$$

I<sub>TMR</sub>はV<sub>DS</sub>とI<sub>D</sub>の関数であるため、過電流になってからオフになるまでの正確な時間は、入力波形と出力電圧、および出力電流がレギュレーションされるのに必要な時間によって異なります。

### 冷却フェーズ

冷却動作は、過電圧または過電流のどちらが開始しても同じです。冷却フェーズ中、タイマーは2 $\mu$ Aで1.215Vから3.4V

まで充電を継続し、その後2 $\mu$ Aで1.215Vまで放電します。このサイクルは14回繰り返され、15番目のサイクルでTMRピンが完全にグラウンドにプルダウンされます。合計の冷却時間は式8で与えられます。

$$t_{COOL} = C_{TMR} \cdot \frac{15 \cdot 4.37V + (1.215V - 0.1V)}{2 [\mu A]} = C_{TMR} \cdot 33.3 \left[ \frac{s}{\mu F} \right] \quad (8)$$

ここで、C<sub>TMR</sub>の単位は $\mu$ Fです。

この時点まで、LTC4381-1/LTC4381-3とLTC4381-2/LTC4381-4の動作は同じです。冷却フェーズ終了時の動作はまったく異なります。

冷却フェーズの終了時に、TMRが100mVのリセット閾値を超えると、LTC4381-1/LTC4381-3はラッチオフされたままになり、 $\overline{FLT}$ はローを維持します。これらは、ONピンを少なくとも100 $\mu$ sの間ローにするか、電源を入れ直すことによって再起動できます。冷却フェーズは、C<sub>TMR</sub>の少なくとも10ms/ $\mu$ Fの間ONピンをローにすることによっていつでも中断できます。LTC4381-1/LTC4381-3は、ONがハイになると再起動します。LTC4381-2/LTC4381-4は、ONピンをローにしなくても冷却フェーズの終了時に自動的に再試行し、冷却フェーズはC<sub>TMR</sub>の少なくとも10ms/ $\mu$ Fの間ONピンをローにすることによって中断できます。

どちらのバージョンでも、 $\overline{FLT}$ ピンはシャットダウン時にハイになり、V<sub>CC</sub>に最初に給電された時にハイにクリアされます。 $\overline{FLT}$ がローになった場合、C<sub>TMR</sub>の少なくとも10ms/ $\mu$ Fの間ONピンをローにすることにより、冷却フェーズ時にリセットできます。

### 電源トランジェント保護

LTC4381-1/LTC4381-2は80Vまで動作し、LTC4381-3/LTC4381-4は72Vまで動作することがテストされています。INピンは最大100V、V<sub>CC</sub>ピンは最大80Vの損傷から安全であることが確保されています。これらの電圧を超えるトランジェント電圧は、恒久的な損傷を引き起こす可能性があります。短絡状態では、電源トレースおよび関連する配線を流れる電流の大きな変化により、大きな誘導性電圧トランジェントが発生する可能性があります。電圧トランジェントを最小限に抑えるには、幅広の短いトレースを用いて、電源

## アプリケーション情報

トレースの寄生インダクタンスを最小限に抑えます。V<sub>CC</sub>ピンにRCフィルタを設けることは、電圧スパイク対策に有効です。

V<sub>CC</sub>ピンでトランジェントを80V未満に制限する別の方法は、図1に示すように小さなツェナー・ダイオードD1と抵抗R1を使用することです。ツェナー・ダイオードはピンの電圧を制限し、抵抗はサージ中にダイオードを流れる電流を安全なレベルに制限します。ただし、R1とC1によってV<sub>CC</sub>ピンでフィルタリングされる電圧が80V未満を維持する場合は、D1を省略できます。V<sub>CC</sub>ピンにR1を直列に接続すると、LTC4381の小さなV<sub>CC</sub>電流とD1のリーク電流による追加の電圧降下により、V<sub>IN</sub>に必要な最小電圧が若干増加します。

OUTピンの近くには、低ESR電解またはセラミックの合計容量が少なくとも22μF必要です。

### MOSFETでのトランジェント・ストレス

過電圧イベント時、LTC4381はパスMOSFETのゲートをクランプして、出力電圧を許容レベルに制限します。負荷回路はこの間隔を通して動作を継続できますが、MOSFETのパス・デバイスで電力を消費します。MOSFETの電力消費またはストレスは、入力電圧波形、出力電圧、および負荷電流の関数です。

ほとんどのトランジェント・イベント仕様は、図2に示す代表的な波形を使用していて、立上がり時間 $t_r$ の線形ランプから、V<sub>PK</sub>のピーク電圧に達し、時定数 $\tau$ で指数関数的にV<sub>IN</sub>に減衰します。一般的な車載向けトランジェント仕様の定数は、 $t_r = 10\mu\text{s}$ 、 $V_{PK} = 80\text{V}$ 、 $\tau = 1\text{ms}$ とされています。ロード・ダンプと呼ばれるサージ状態の定数は通常、 $t_r = 5\text{ms}$ 、 $V_{PK} = 60\text{V}$ 、 $\tau = 200\text{ms}$ です。

MOSFETのストレスは、デバイス内で消費される電力に起因します。100ms以上の長時間のサージの場合、ストレスはパッケージからの熱伝達の影響が大きくなります。これは、デバイスのパッケージングと取付方法、およびヒートシンクの熱質量に関連します。この解析には、MOSFET熱モデルを使用したシミュレーションが最適です。

100ms未満の短時間のトランジェント現象の場合、MOSFETの耐久性は、MOSFET固有の特性である安全動作領域(SOA)に関連します。SOAにより、MOSFETのジャンクション温度を定格最大値まで上昇するのにV<sub>DS</sub>とI<sub>D</sub>の所定の条件で必要な時間が定量化されます。MOSFETのSOAは、ワット・ルート・秒(P√t)の単位で表すことができます。これは、特定のデバイス・タイプでは100ms未満の間隔で基本的に一定であり、DC動作条件下で無限大に上昇します。バルク・ダイ温度以外の破壊メカニズムによって、正確に描かれたSOAグラフの線が歪められるため、P√tはI<sub>D</sub>とV<sub>DS</sub>のすべての組み合わせで同じではありません。特に、V<sub>DS</sub>が最大定格に近づくと、P√tが低下する傾向にあり、特定の電圧を超えるエネルギーを吸収するために一部のデバイスは使用できなくなります。LTC4381内部のMOSFETは、70Vおよび1Aで20msのSOAが確保されており、P√tは10W√sになります。より長い過電圧トランジェントに耐えるには、このP√t仕様に応じて負荷電流を減らします。

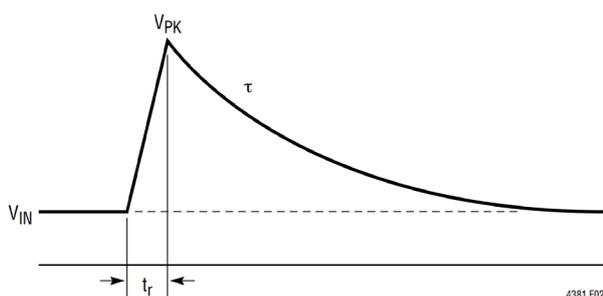


図2. プロトタイプの特ランジェント波形

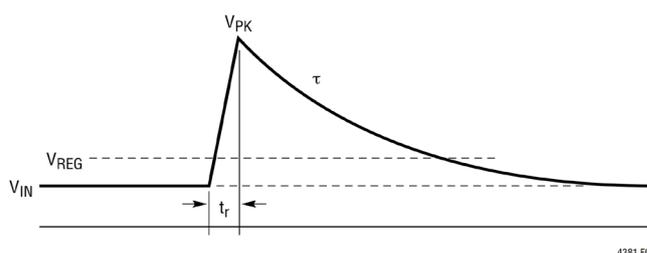


図3. プロトタイプの特ランジェント波形に耐えるのに必要な安全動作領域



## アプリケーション情報

電源電流 ( $I_{CC}$ ) を無視すると、コールド・クランクの終了時の  $V_{CC}$  電位は式 12 で与えられます。

$$V_{CC} = (V_{IN(NOM)} - V_{IN(LOW)}) \cdot e^{\frac{-t}{R1 \cdot C1}} + V_{IN(LOW)} \quad (12)$$

ここで、 $V_{IN(NOM)}$  はコールド・クランクが開始する前の入力電圧、 $V_{IN(LOW)}$  はコールド・クランク中の最低入力電圧、 $t$  はコールド・クランクの持続時間です。

$R1$  (10k $\Omega$ ) と  $C1$  (6.8 $\mu$ F) の組み合わせでは、40ms の間入力電圧が 12V から 3V に低下した後、 $V_{CC}$  が 8V に低下します。この間、GATE はハイのまま、MOSFET のオンを維持して、出力に電流を供給し続けます。

### シャットダウン

LTC4381 は、ON ピンをシャットダウン閾値の 1.05V 未満にすることにより、より低い電流モードにシャットダウンできます。静止電流は 5 $\mu$ A まで低下します。図 7 に示すように、入力電源から ON ピンへ外付けツェナー・ダイオードを接続して、低電圧ロックアウトを実装できます。UV 閾値は、ツェナー電圧に 1.05V を加えたものになります。

ON ピンは、最大 80V までプルアップされても、または GND を最大 60V 下回っても損傷することはありません。このピンは内部抵抗でプルアップされているため、オープンのままにしておくでデバイスオンにできます。デバイスの電源をオンにするためのプルアップ・デバイスを使用しない場合は、ピンでのリーク電流を 1 $\mu$ A 以下に制限する必要があります。

### レイアウト時の考慮事項

電流検出を正確なものにするには、電流検出抵抗 (図 5 の  $R_{SNS}$ ) ヘルピン接続します。トレースが妥当な温度に保たれるように、1 オンス銅箔の最小トレース幅はアンペアあたり 0.02 インチです。アンペアあたり 0.03 インチ以上を推奨します。1 オンスの銅は約 530 $\mu\Omega$ /平方のシート抵抗を示すことに注意してください。抵抗が小さい場合、大電流アプリケーションで大きな誤差が生じる可能性があります。過電圧イベント時、LTC4381 はパス MOSFET のゲートをクランプして、出力電圧を許容レベルに制限します。負荷回路はこの間隔を通して動作を継続できますが、MOSFET のパス・デバイスで電力を消費します。MOSFET で消費される電力は最大 140W になります。この熱を除去するには、IN の露出パッドをその下のビアを含む銅配線にハンダ付けします。SRC ピンも MOSFET からかなりの熱を伝導します。すべての SRC ピンを 1 オンスまたは 2 オンスの銅プレーンに接続します。

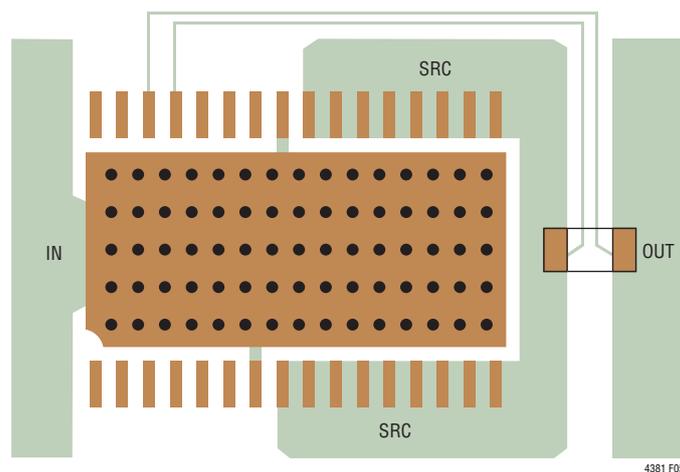


図5. 推奨されるPCBレイアウト

## アプリケーション情報

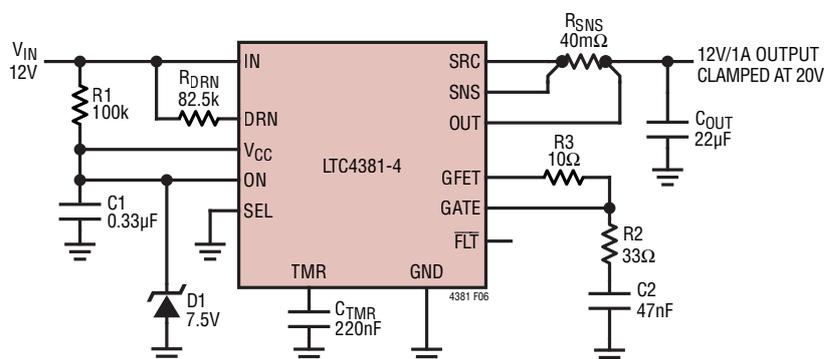


図6. 設計例1: 100V、2msのOVトランジェントに耐性のある12V/1Aアプリケーション

## 設計例1

設計例として、次の仕様のアプリケーションを取り上げます:  $V_{IN} = 10V \sim 14VDC$ 、トランジェント電圧が100Vで持続時間が2ms、 $V_{OUT} \leq 20V$ 、コールド・クランクが40msの間3V。最大負荷は1A。

$V_{OUT}$ を20V未満にクランプするには、必要な $V_{CC}$ クランプを式13で求めます。

$$\begin{aligned} V_{CC}(\text{Clamp}) &= V_{OUT} - 10.5V \\ &= 20V - 10.5V = 9.5V \end{aligned} \quad (13)$$

D1に7.5Vのツェナー・ダイオードを選択すると、100Vのサージ時に $V_{OUT}$ の電圧が20V未満に制限されます。 $V_{IN}$ が10Vの場合、 $V_{CC}$ ピンに必要な最小電圧は4Vです。 $V_{CC}$ ピンの入力電流は $30\mu A$ 未満です。適切な動作を確保するためのR1の最大値は、式14で与えられます。

$$R1 = \frac{\text{Min } V_{IN} - \text{Min } V_{CC}}{\text{Supply Current}} = \frac{10V - 4V}{30\mu A} = 200k\Omega \quad (14)$$

すべての条件に対応するために、R1に100kを使用しています。

トランジェント時にR1を介してD1に流れる最大電流は、式15で計算します。

$$I_{D1} = \frac{100V - 7.5V}{100k\Omega} = 0.925mA \quad (15)$$

CMHZ5236Bは500mWを無期限に、また1Wを1秒間処理できます。12Vから3Vまでのコールド・クランクで40ms動作するには、 $V_{CC}$ ピンに少なくとも4Vが必要です。C1の値は式16で計算できます。

$$C1 = \frac{-40ms}{100k\Omega \cdot \ln(4.5)} = 0.266\mu F \quad (16)$$

$0.33\mu F$ は、デバイスの電源電流およびその他の条件に対応するように選択しています。C1 =  $0.33\mu F$ およびR1 =  $100k\Omega$ の場合、2ms未満のパルス幅で最大100Vの高電圧トランジェントが $V_{CC}$ ピンでフィルタで除去されます。

$R_{DRN}$ は、最大過電圧トランジェント・イベント (式17) 時に、DRNピンに1mAの電流を生成するように選択します。 $V_{OUT}$ は $7.5V + 10.5V$ または18Vにクランプされます。

$$R_{DRN} = \frac{100V - 18V}{1mA} = 82k\Omega \quad (17)$$

次に大きい値として82.5kΩを選択します。GATEピンのプルアップ電流の代表値は $20\mu A$ であり、入力トランジェント時にGATEピンをハイにするにはしばらく時間がかかります。したがって、入力トランジェントの発生時は、MOSFETでは最

## アプリケーション情報

初に  $V_{DS}$  が大きくなり、 $V_{IN}$  が最小で負荷電流が最大の時に  $P\sqrt{t}$  が最も厳しい条件になります (式18)。

$$\begin{aligned} P\sqrt{t} &= I_{LOAD} \cdot V_{DS} \cdot \sqrt{t} \\ P\sqrt{t} &= (1A) \cdot (100V - 10V) \cdot \sqrt{2ms} \\ P\sqrt{t} &= 4.02W\sqrt{s} \end{aligned} \quad (18)$$

次に、10%の許容誤差で、1Aを超える電流制限での検出抵抗 ( $R_{SNS}$ ) の値を計算します (式19)。

$$R_{SNS} = \frac{45mV}{1.1 \cdot 1A} = 40.9m\Omega \quad (19)$$

電流制限を 1.25A とする 40m $\Omega$  を使用します。次に、1A の最大負荷で 100V のトランジェントが 2ms よりも長い場合に MOSFET をシャット・オフするように  $C_{TMR}$  を選択します (式20)。

$$\begin{aligned} I_{TMR} &= \left( 0.0917 \left[ \frac{\sqrt{A}}{V} \right] \cdot I_D \cdot R_{SNS} \cdot \sqrt{\frac{V_{DS} - 70[\mu A]}{R_{DRN}}} \right) \\ I_{TMR} &= \left( 0.0917 \left[ \frac{\sqrt{A}}{V} \right] \cdot 1A \cdot 0.04\Omega \cdot \sqrt{\frac{100V - 10V - 70[\mu A]}{82.5k}} \right) \\ &= 117.2\mu A \end{aligned} \quad (20)$$

次に、故障時間が 2ms を超える設定になるように式21 で値を計算します。

$$C_{TMR} = I_{TMR(UP)} \cdot \frac{t_{TMR}}{V_{TMR}} \quad (21)$$

$$C_{TMR} = 0.193\mu F$$

したがって、 $C_{TMR} = 0.22\mu F$  を選択します。次に、選択した  $C_{TMR}$  が出力をパワーアップするのに十分な時間を与えることを確認する必要があります (式22)。

$$C_{TMR} = \frac{I_{TMR(UP)} \cdot t_{INRUSH}}{V_{TMR}} \quad (22)$$

ここで (式23)、

$$\begin{aligned} t_{INRUSH} &= \frac{V_{IN} \cdot C_{OUT}}{I_{INRUSH}} \\ &= \frac{V_{IN} \cdot C_2}{I_{GATE(UP)}} \\ &= \frac{14V \cdot 47nF}{20\mu A} = 32.9ms \end{aligned} \quad (23)$$

$$I_{TMR(UP)} \approx 1.5\mu A \text{ at power up:}$$

$$V_{TMR} = 1.5\mu A \cdot \frac{32.9ms}{0.22\mu F} \approx 0.224V,$$

これは、1.215V のトリップオフ閾値よりもはるかに低い値です。

次に、 $V_{OUT} = 0V$  の深刻な出力短絡の場合に、MOSFET の消費電力が安全動作領域内にあることを確認する必要があります (式24)。

$$t_{OC} = 0.22\mu F \cdot \frac{1.215V}{80.8\mu A} = 3.31ms \quad (24)$$

MOSFET の消費電力は式25 で与えられます。

$$\begin{aligned} P &= 14V \cdot \frac{62mV}{40m\Omega} = 21.7W \\ P\sqrt{t} &= 1.248W\sqrt{s} \end{aligned} \quad (25)$$

出力過負荷時またはソフト短絡時、OUTピンの電圧は 3V 以上に留まる可能性があります。 $V_{OUT} = 3V$  の場合の合計過電流故障時間は、式26 で求められます。

$$t_{OC} = 0.22\mu F \cdot \frac{1.215V}{42.5\mu A} = 6.29ms \quad (26)$$

MOSFET の消費電力は式27 で与えられます。

$$\begin{aligned} P &= (14V - 3V) \cdot \frac{50mV}{40m\Omega} = 13.75W \\ P\sqrt{t} &= 1.09W\sqrt{s} \end{aligned} \quad (27)$$

これらの条件は、MOSFET の 10W $\sqrt{s}$  安全動作領域の範囲内です。

## アプリケーション情報

## 設計例2

第2の設計例は、次の仕様です： $V_{IN} = 24V_{DC}$ 、ロード・ダンプ波形に似た100Vピークのトランジェントで持続時間が400ms、 $V_{OUT} \leq 60V$ 、負荷が1A。

$V_{OUT}$ を60V未満にクランプする方法はいくつかあります。LTC4381-2を使用し、SELピンをINに接続すると、 $V_{OUT}$ を47Vにクランプできます。または、LTC4381-4を使用すると $V_{CC}$ を50V未満にクランプできます。3つ目の方法は、図7に示すように、56VツェナーとNPNを用いて $V_{OUT}$ を直接レギュレーションすることです。この方法では、外付け部品が増えますが、 $V_{OUT}$ のクランプを若干厳密に設定できます。

INは100Vまで上昇する可能性があるため、 $V_{CC}$ ピンをクランプして80V未満に制限する必要があります。 $V_{CC}$ を68V未満に制限するには、D1にツェナーCMZ5945Bを使用します。

トランジェント時にR1を介してD1に流れる最大電流は、式28によって計算します。

$$I_{D1} = \frac{100V - 68V}{100k\Omega} = 0.32mA \quad (28)$$

D1での消費電力は22mWです。

$R_{DRN}$ は、最大過電圧トランジェント・イベント時に、DRNピンに1mA未満の電流を生成するように選択します(式29)。

$$R_{DRN} = \frac{100V - 24V}{1mA} = 76k\Omega \quad (29)$$

十分なマージンを得るために100k $\Omega$ を選択します。

MOSFETストレスは、図3に示す代表的なトランジェント波形を用いて、 $t_r = 5ms$ 、 $V_{PK} = 100V$ 、 $\tau = 200ms$ として計算できます(式30)。

$$\begin{aligned} a &= V_{REG} - V_{IN} = 56.7V - 24V = 32.7V \\ b &= V_{PK} - V_{IN} = 100V - 24V = 76V \\ P\sqrt{t} &= I_{LOAD} \left[ \frac{1}{3} t_r \frac{(b-a)^3}{b} + \frac{1}{2} \tau \left( 2a^2 \ln \frac{b}{a} + 3a^2 + b^2 - 4ab \right) \right]^{1/2} \quad (30) \end{aligned}$$

$$P\sqrt{t} = 9.3W\sqrt{s}$$

これは、LTC4381のSOA制限である $10W\sqrt{s}$ の範囲内です。

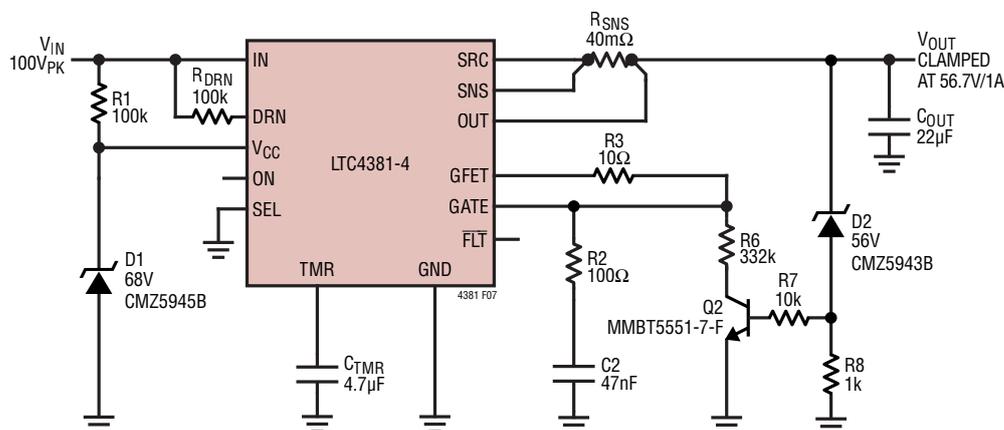


図7. 出力を60V未満にクランプし、100V/1A/400msの過電圧保護を備えたサージ・ストップパ

## アプリケーション情報

次に、20%の許容誤差で、1Aを超える電流制限での検出抵抗 ( $R_{SNS}$ ) の値を計算します(式31)。

$$R_{SNS} = \frac{50\text{mV}}{I_{LIM}} = \frac{50\text{mV}}{1.2\text{A}} = 41.67\text{m}\Omega \quad (31)$$

電流制限を1.25Aとする40mΩを使用します。

ロード・ダンプ波形は、0.2秒の時定数で指数関数的に減衰する波形として表すことができます(式32)。

$$V_{IN} = 100[\text{V}]e^{-t/0.2[\text{s}]} \quad (32)$$

LTC4381は $V_{OUT}$ を56.7Vにクランプします。つまり、 $V_{IN}$ が56.7Vに低下すると、 $V_{DS}$ と $I_{TMR}$ がゼロに低下します。これが生じる時間 $t_1$ を求めるには、式33を使用します。

$$t_1 = -0.2\text{s} \cdot \ln\left(\frac{56.7\text{V}}{100\text{V}}\right) = 0.113\text{s} \quad (33)$$

$V_{DS}$ は、100V - 56.7V、つまり43.3Vのピークと0.113秒のタイムベースを持った三角波として近似できます。ピークの半分である21.65Vを用いて $I_{TMR}$ を計算します(式34)。

$$I_{TMR} = \left(0.0917 \left[\frac{\sqrt{\text{A}}}{\text{V}}\right] \cdot I_D \cdot R_{SNS} \cdot \sqrt{\frac{V_{DS}}{R_{DRN}} - 70[\mu\text{A}]}\right)$$

$$I_{TMR} = \left(0.0917 \left[\frac{\sqrt{\text{A}}}{\text{V}}\right] \cdot 1\text{A} \cdot 0.04\Omega \cdot \sqrt{\frac{21.65\text{V}}{100\text{k}} - 70[\mu\text{A}]}\right)$$

$$I_{TMR} = 44\mu\text{A}$$

$$C_{TMR} = \frac{t_1 \cdot I_{TMR}}{V_{TMR}} \quad (34)$$

$$C_{TMR} = \frac{0.113\text{s} \cdot 44\mu\text{A}}{1.215\text{V}}$$

$$C_{TMR} = 4.1\mu\text{F}$$

マージンを大きくとるために4.7μFのコンデンサを使用します。次に、選択した $C_{TMR}$ が出力をパワーアップするのに十分な時間を与えることを確認する必要があります(式35)。

$$C_{TMR} = \frac{I_{TMR(UP)} \cdot t_{INRUSH}}{V_{TMR}}$$

$$t_{INRUSH} = \frac{V_{IN} \cdot C_{OUT}}{I_{INRUSH}}$$

$$= \frac{V_{IN} \cdot C_2}{I_{GATE(UP)}} \quad (35)$$

$$= \frac{24\text{V} \cdot 47\text{nF}}{20\mu\text{A}} = 56.4\text{ms}$$

$I_{TMR(UP)} \approx 1.5\mu\text{A}$  at power up:

$$V_{TMR} = \frac{1.5\mu\text{A} \cdot 56.4\text{ms}}{4.7\mu\text{F}} \approx 18\text{mV}$$

次に、 $V_{OUT} = 0\text{V}$ の深刻な出力短絡の場合に、MOSFETの消費電力が安全動作領域内にあることを確認する必要があります(式36)。

$$t_{OC} = \frac{4.7\mu\text{F} \cdot 1.215\text{V}}{98.1\mu\text{A}} = 58.2\text{ms} \quad (36)$$

MOSFETの消費電力は式37で与えられます。

$$P = 24\text{V} \cdot \frac{62\text{mV}}{40\text{m}\Omega} = 37.2\text{W}$$

$$P\sqrt{t} = 8.97\text{W}\sqrt{\text{s}} \quad (37)$$

出力過負荷またはソフト短絡時、OUTピンの電圧は3V以上に留まる可能性があります。 $V_{OUT} = 3\text{V}$ の場合の合計過電流故障時間は式38で求められます。

$$t_{OC} = 4.7\mu\text{F} \cdot \frac{1.215\text{V}}{60.3\mu\text{A}} = 94.8\text{ms} \quad (38)$$

MOSFETの消費電力は式39で与えられます。

$$P = (24\text{V} - 3) \cdot \frac{50\text{mV}}{40\text{m}\Omega} = 26.25\text{W}$$

$$P\sqrt{t} = 8.08\text{W}\sqrt{\text{s}} \quad (39)$$

これらの条件は、MOSFETの安全動作領域内にあります。

## 標準的応用例

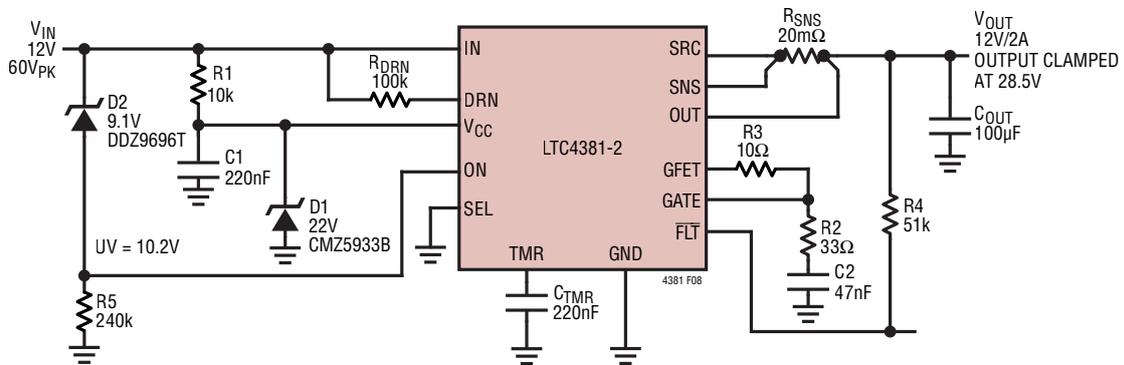


図8. 入力UV検出および60V/2A/3.5msの過電圧保護を備えた12Vホット・スワップ・コントローラ

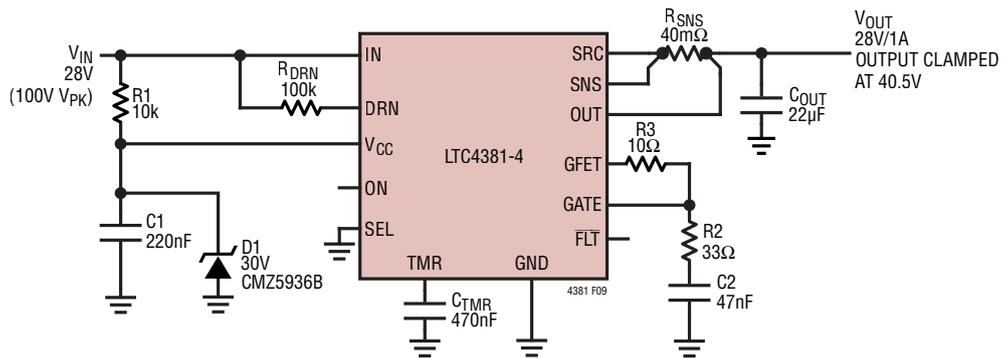


図9. 出力を40V未満にクランプし、100V/1A/6msの過電圧保護を備えた28Vサージ・ストップパ

## 標準的応用例

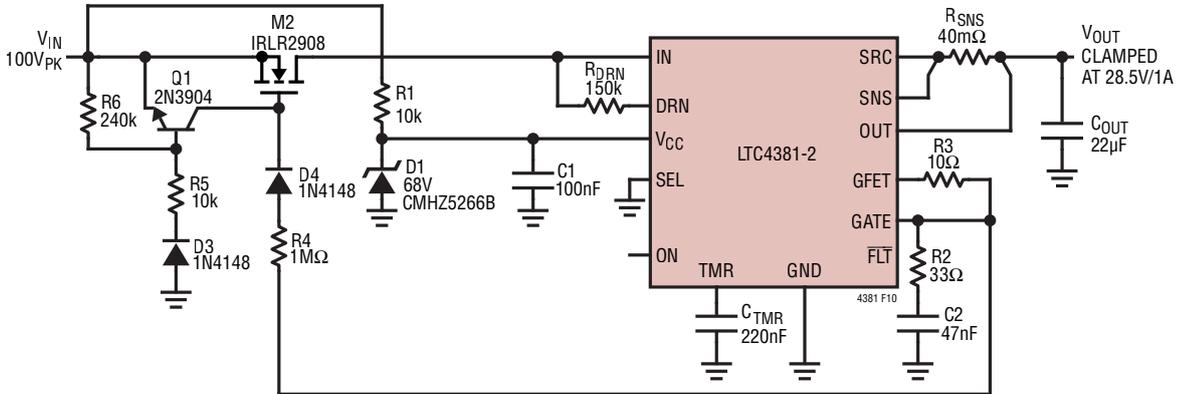
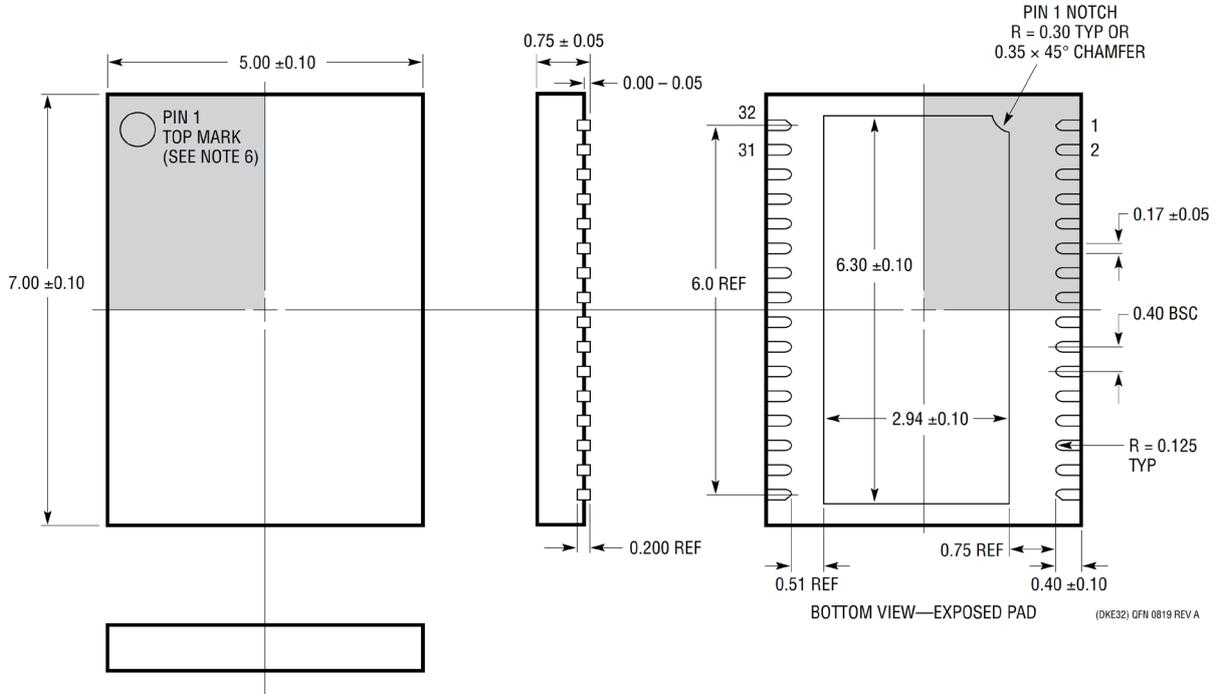


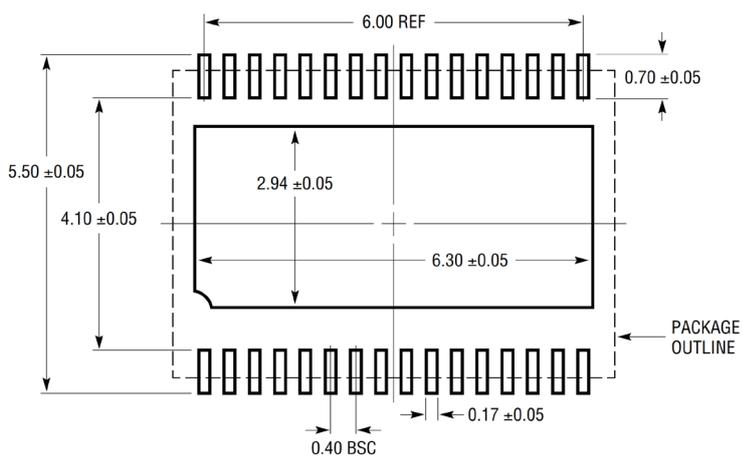
図 10. 100V/1A/3ms の過電圧保護を備えた -60V 逆バッテリー保護

パッケージ

**DKE Package**  
**32-Lead Plastic DFN (7mm × 5mm)**  
 (Reference LTC DWG # 05-08-1789 Rev A)



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



RECOMMENDED SOLDER PAD LAYOUT  
 APPLY SOLDER MASK TO AREAS THAT ARE NOT SOLDERED

Rev. 0

## 標準的応用例

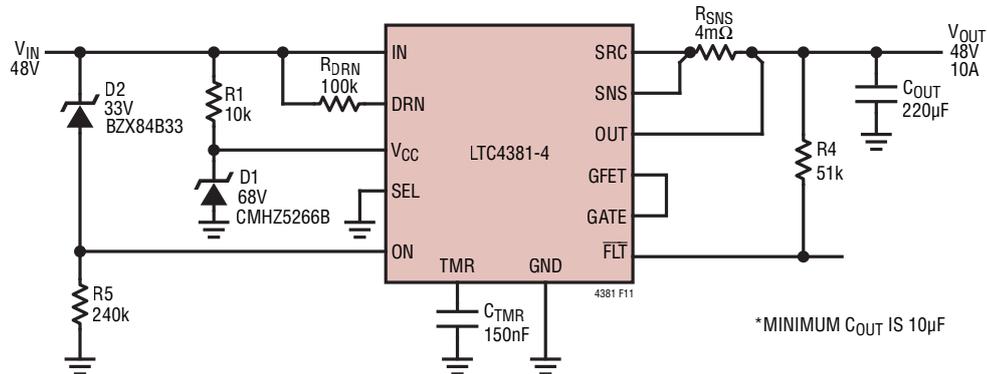


図 11. 48V、10A eFuse

## 関連製品

製品番号	概要	注釈
<a href="#">LT4356</a>	電流制限付きサージ・ストッパ	4V~80Vで動作。100V保護。DFN-12、MSOP-10、SO-16パッケージ
<a href="#">LTC4359</a>	理想ダイオード・コントローラ	4V~80Vで動作。-40V入力保護。DFN-8、MSOP-8パッケージ
<a href="#">LTC4361</a>	過電圧／過電流保護コントローラ	2.5V~5.5Vで動作。80V保護。TSOT-8、DFN-8パッケージ
<a href="#">LT4363</a>	電流制限付きサージ・ストッパ	4V~80Vで動作。>100V保護。DFN-12、MSOP-12、SO-16パッケージ
<a href="#">LTC4364</a>	理想ダイオードを備えたサージ・ストッパ	4V~80Vで動作。-40V~>100V保護。DFN-14、MSOP-16、SO-16パッケージ
<a href="#">LTC4365</a>	OV、UV、および逆入力保護コントローラ	2.5V~34Vで動作。-40V~60V保護。DFN-8、TSOT-8パッケージ
<a href="#">LTC4366</a>	高電圧サージ・ストッパ	9V~500V超で動作。フローティング構成。TSOT-8、DFN-8パッケージ
<a href="#">LTC4367</a>	OV、UV、および逆入力保護コントローラ	2.5V~60Vで動作。-40V~100V保護。DFN-8、MSOP-8パッケージ
<a href="#">LTC7860</a>	スイッチング・サージ・ストッパ	3.5V~60Vで動作。>100V保護。MSOPE-12パッケージ
<a href="#">LTC4380</a>	低静止電流サージ・ストッパ	4V~72Vで動作。-60V~>100V保護。DFN-10、MSOP-10パッケージ