

## 電流モニタを備えた 65V デュアル電子回路ブレーカ

### 特長

- 電流分担可能な高電圧デュアル SPST
- 精度 5% のアナログ電流モニタ出力
- 1.2A まで調整可能な回路ブレーカ閾値
- フィルタ処理された(50マイクロ秒)一次 OC 閾値
- 高速(2マイクロ秒)二次 OC 閾値
- 75mΩ の内蔵スイッチ
- 自動突入電流制御
- 短絡保護
- 高精度イネーブル入力
- オープンドレインのレディ・ステータス出力
- 16 ピン 3mm × 3mm LQFN および  
12 ピン(ピン省略)3mm × 4mm LQFN

### アプリケーション

- 5G mMIMO PA アレイの保護
- 産業安全
- 状態監視
- リレーからの置き換え
- 負荷スイッチング

### 概要

LTC<sup>®</sup>4249 デュアル電子回路ブレーカ(ECB)は、一組の負荷に対し個別に過電流保護機能を提供します。各チャンネルには高精度イネーブル入力、電流出力モニタ、レディ・ステータス出力が備わっています。ECBの閾値は1個の抵抗で設定できます。どちらかのチャンネルが過電流状態になった場合、対応するブレーカによって入力と負荷が切断されます。

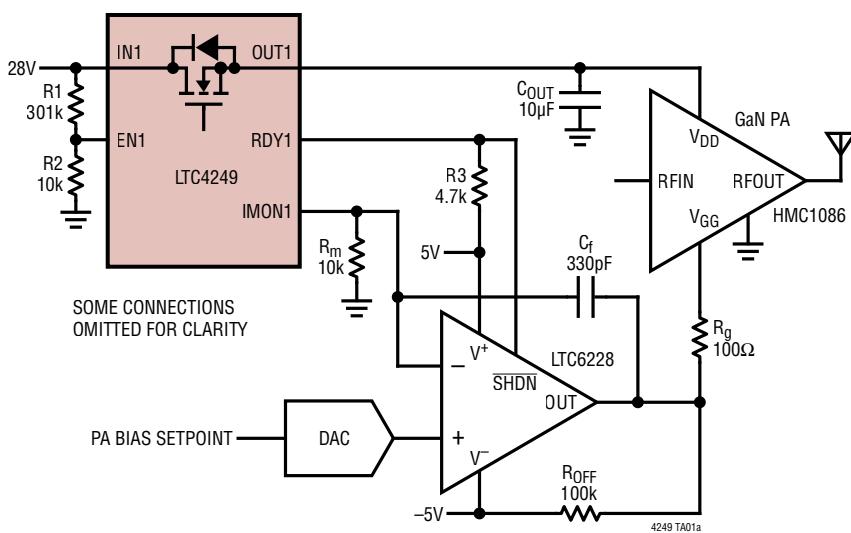
回路ブレーカの動作条件が発生すると、オープンドレイン RDY ステータス出力がローにプルダウンされ、ECB がオフにラッチされます。イネーブル入力を切り替えると、1 秒の冷却期間の後 ECB は復帰します。冷却タイマー、過電流センサー、短絡ディテクタ、および突入電流コントローラによって、回路ブレーカの安全動作領域外での動作が防止されています。

高精度イネーブル入力、レディ出力、アナログ電流モニタ出力が備わっているため、電圧シーケンシングやクローズドループのバイアス電流制御アプリケーションが可能となります。ECB チャンネルは必要に応じ並列接続できます。また、負荷アイソレーションや逆電流検出などのアプリケーションも可能です。

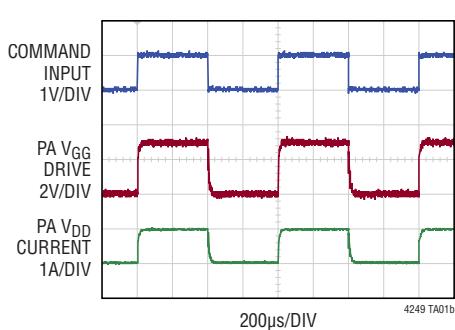
全ての登録商標および商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。

### 標準的応用例

#### 1.2A の保護機能を備えたバイアス・シーケンス化 GaN PA 1A サーボ



#### 1A のオン/オフ・サーボ応答



## 絶対最大定格 (Note 1, 2, 3, 4)

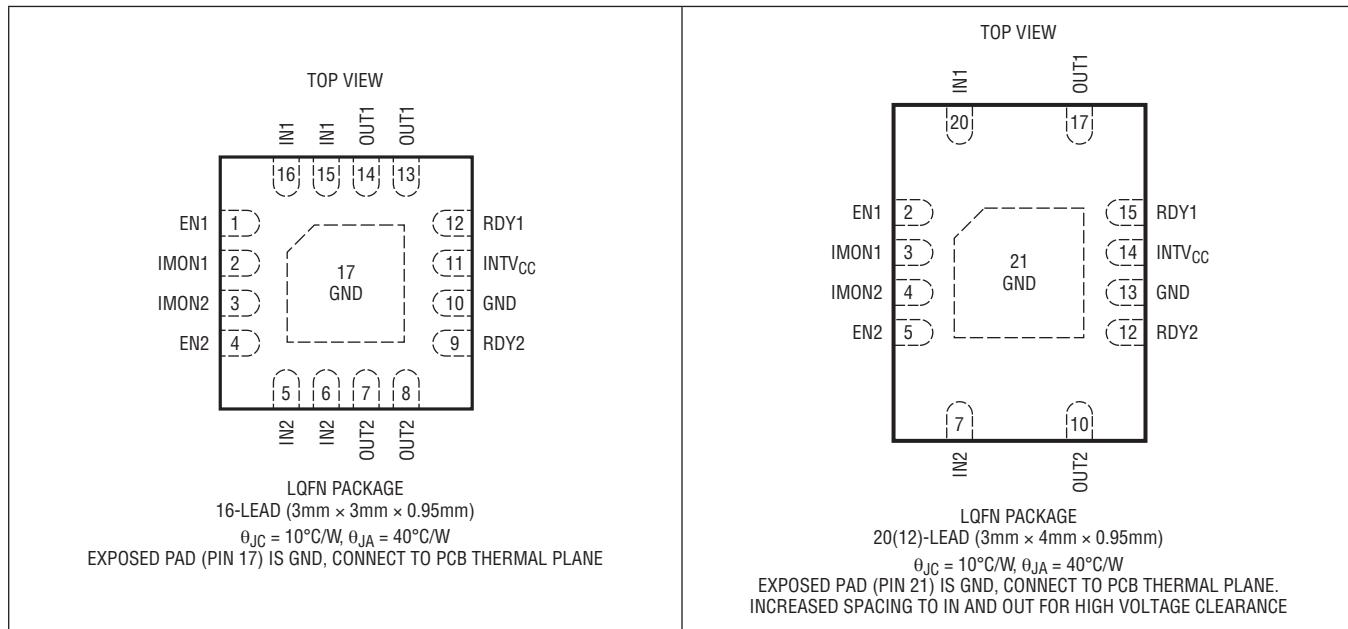
### 入力電圧

IN1、IN2	-0.3V～72V
EN1、EN2 (Note 5)	-0.3V～5.5V
出力電圧	
OUT1、OUT2	-0.3V～72V
RDY1、RDY2	-0.3V～5.5V
IMON1、IMON2	-0.3V～2.7V
INTV <sub>CC</sub>	-0.3V～5.5V

### 入力電流

IN1、IN2	3A
出力電流	
OUT1、OUT2	-3A
RDY1、RDY2	10mA
IMON1、IMON2	-1mA
動作ジャンクション温度範囲	-40°C～125°C
LTC4249A	
保管温度範囲	-65°C～150°C

## ピン配置



## 発注情報

トレイ	部品マーキング	パッケージの説明	フォールト応答	温度範囲
LTC4249AV-1#PBF	LHMZ	16 ピン (3mm × 3mm × 0.95mm) LQFN パッケージ	Latch Off	-40°C～125°C
LTC4249AV2-1#PBF	4249	20(12) ピン (3mm × 4mm × 0.95mm) LQFN パッケージ	Latch Off	-40°C～125°C

拡張動作温度範囲仕様の部品については工場までお問い合わせください。

## 電気的特性

●は、全動作温度範囲に適用される仕様であることを示します。それ以外の仕様は $T_A = 25^\circ\text{C}$ でのものです。また、特に指定のない限り、 $V_{IN1} = V_{IN2} = 52\text{V}$ 、 $R_{IMON} = 10\text{k}\Omega$ での値です。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>Channel Inputs (IN1, IN2)</b>						
$V_{IN1}$	IN1 Operating Range		●	6	65	V
$V_{IN2}$	IN2 Operating Range	$V_{IN1} \geq 6\text{V}$	●	1.5	65	V
$I_{MAX}$	IN1, IN2 Maximum Steady State ECB Current			1.2		A
$I_{IN1}$	IN1 Input Supply Current	$I_{OUT1} = I_{OUT2} = 0\text{A}$ ; $EN1 = EN2 = 3.3\text{V}$ $I_{OUT1} = I_{OUT2} = 0\text{A}$ ; $EN1 = EN2 = \text{GND}$	● ●	1 0.6	1.5 0.8	mA mA
$I_{IN2}$	IN2 Input Supply Current	$I_{OUT2} = 0\text{A}$ , $EN2 = 3.3\text{V}$ $I_{OUT2} = 0\text{A}$ , $EN2 = \text{GND}$	● ●	20 0.5	28 3	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$
$R_{ON}$	ECB On-Resistance	$I_{OUT} = -1\text{A}$	●	50	75	$\text{m}\Omega$
$R_{ONM}$	ECB Channel to Channel $R_{ON}$ Matching	$I_{OUT} = -1\text{A}$	●		$\pm 1$	$\pm 4$
<b>Channel Outputs (OUT1, OUT2)</b>						
$I_{CL}$	ECB Turn-On Inrush Current	$C_{OUT} = 100\mu\text{F}$	●	-0.8	-1	-1.2
$t_{CL}$	Inrush Current Limited Operating Time		●	8	10	12
$V_{SC}$	Short-Circuit Comparator Threshold		●	1.14	1.2	1.26
$t_{SC}$	Short-Circuit Evaluation Delay	EN rising to short-circuit fault	●	240	300	360
<b>Current Monitor and Electronic Circuit Breaker (ECB) Thresholds (IMON1, IMON2)</b>						
$G_{IMON}$	IMON Gain	$I_{OUT} = -30\text{mA}$ to $-1.2\text{A}$	●	95	100	105
$I_{OC}$	IMON Offset Current	$I_{OUT} = -30\text{mA}$			$\pm 1$	$\mu\text{A}$
$V_{IMON}$	IMON Output Voltage	$I_{OUT} = -1\text{A}$	●	950	1000	1050
$I_{ACC}$	IMON Output Current Accuracy	$I_{OUT} = -1\text{A}$ $I_{OUT} = -1\text{A}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	●		$\pm 5$ $\pm 2$	%
$V_{ECB1}$	$V_{IMON}$ at Primary ECB Threshold		●	1.17	1.20	1.23
$V_{ACC1}$	Primary ECB Accuracy		●		$\pm 2.5$	%
$V_{ECB2}$	$V_{IMON}$ at Secondary ECB Threshold		●	2.28	2.40	2.52
$V_{ACC2}$	Secondary ECB Accuracy		●		$\pm 5$	%
$t_{OC1}$	ECB Response Time to Primary OC	Step $I_{OUT}$ from $-1.15\text{A}$ to $-1.25\text{A}$ ; measure time from step to RDY Low	●	30	50	70
$t_{OC2}$	ECB Response Time to Secondary OC	Step $I_{OUT}$ from $-0.5\text{A}$ to $-2.5\text{A}$ ; measure time from step to RDY Low $T_A > 0^\circ\text{C}$ $T_A < 0^\circ\text{C}$			2 4 4	$\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$ $\mu\text{s}$
<b>Enable Inputs (EN1, EN2)</b>						
$V_{ENTH}$	EN Rising Threshold		●	780	800	820
$V_{ENHYS}$	EN Threshold Hysteresis	EN Falling			35	mV
$t_{ENMIN}$	Minimum EN Input Pulse Width		●	10		$\mu\text{s}$

## 電気的特性

●は、全動作温度範囲に適用される仕様であることを示します。それ以外の仕様は $T_A = 25^\circ\text{C}$ でのものです。また、特に指定のない限り、 $V_{IN1} = V_{IN2} = 52\text{V}$ 、 $R_{IMON} = 10\text{k}\Omega$ での値です。

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>Ready Outputs (RDY1 and RDY2)</b>						
$V_{OL}$	Output Low Voltage	$I_{RDY} = 3\text{mA}$	●	50	150	$\text{mV}$
$I_{OH}$	Open-Drain Output High Leakage Current	$RDY = 5\text{V}$	●		1	$\mu\text{A}$
$t_{COOL}$	ECB Cool-Down Time after Fault		●	0.8	1	1.2
<b>INTV<sub>CC</sub> Output</b>						
$V_{CCOR}$	INTV <sub>CC</sub> Operating Range	Decoupled with $0.1\mu\text{F}$ to GND	●	3.7	4.2	4.7
<b>V</b>						

**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:** ピンに流れ込む全ての電流は正です。また、特に指定のない限り全ての電圧はGND基準です。

**Note 3:** LTC4249は $T_J \approx T_A$ となるようなパルス負荷条件下でテストされています。ジャンクション温度( $T_J$ 、 $^\circ\text{C}$ )は、次式を使って周囲温度( $T_A$ 、 $^\circ\text{C}$ )と消費電力( $P_D$ 、ワット)から計算します。

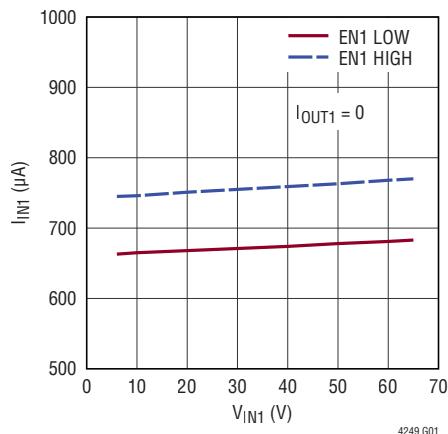
$$T_J = T_A + (P_D \cdot \theta_{JA})$$

**Note 4:** LTC4249は、一時的な過負荷状態からデバイスを保護すること目的とした過熱保護機能を内蔵しています。過熱保護機能が作動した場合、ジャンクション温度は $150^\circ\text{C}$ を超過しています。仕様規定の最大動作ジャンクション温度より上の連続動作はデバイスの信頼性を損なう可能性があります。

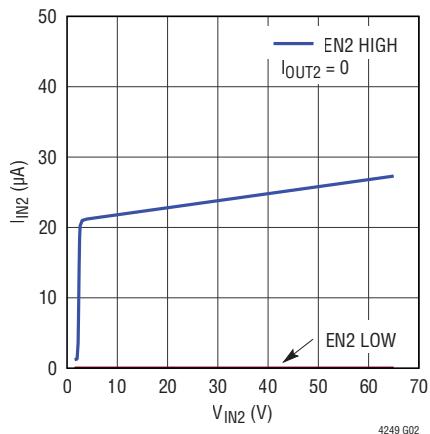
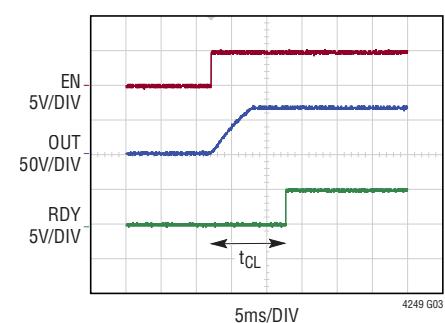
**Note 5:** これらのピンは、電流を  $1\text{mA}$  未満に制限する抵抗により、 $-0.3\text{V}$  未満にブレーカーします。

## 代表的な性能特性

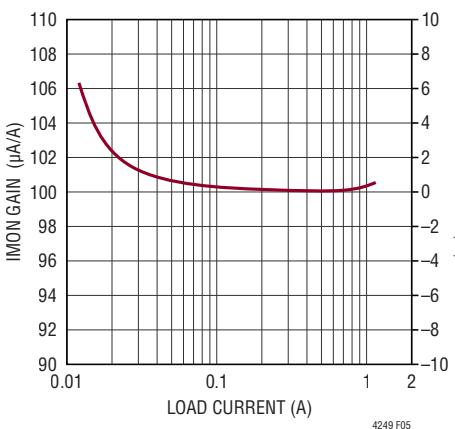
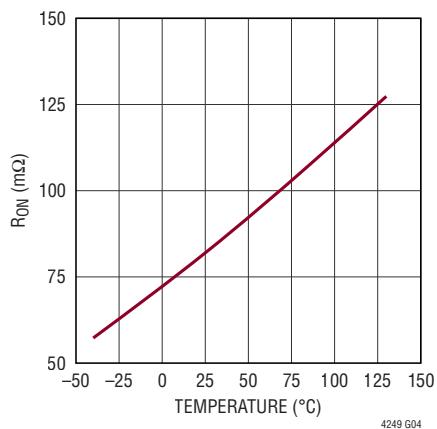
IN1電流とIN1電圧の関係



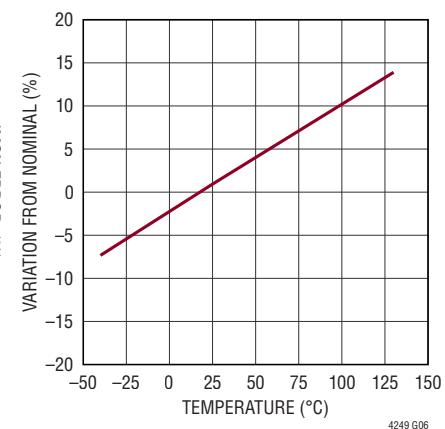
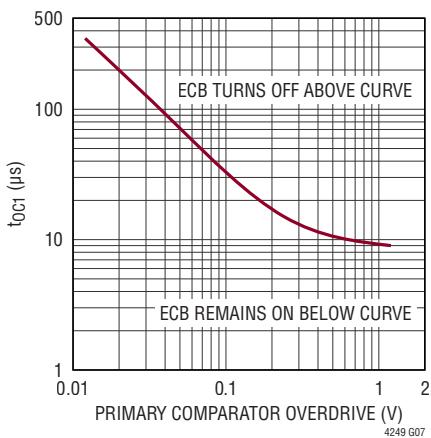
IN2電流とIN2電圧の関係

OUTが100μFを充電する様子  
(IN = 65V)

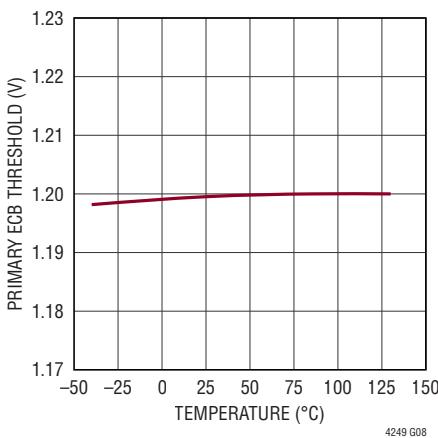
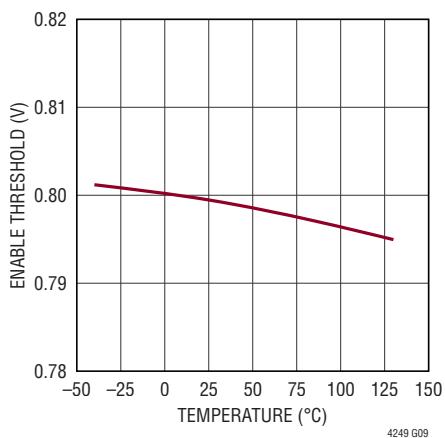
オン抵抗と温度の関係



tCL、tSC、tCOOLの変動と温度の関係

一次コンパレータの応答時間と  
オーバードライブの関係

一次ECB閾値と温度の関係

EN閾値およびプルアップ電流と  
温度の関係

## ピン機能

**EN1、EN2**：イネーブル入力。ENをハイにプルアップするとECBがオンになり、INがOUTに接続されます。ENをローにプルダウンするとECBはオフになり、INはOUTから切断されます。ECBがラッチ・オフ状態の場合、ENを切り替えるとECBをリセットできます。

**露出パッド**：露出サーマル・パッド。露出パッドは内部でグラウンドに接続されており、最適な熱放散経路を提供します。露出パッドをPCBのグラウンド・プレーンに接続すると熱性能を向上できます。

**GND**：デバイスのグラウンド。

**IMON1、IMON2**：アナログ電流モニタ出力。IMONとGNDの間に抵抗を配置すると、スケールダウンされた出力電流を電圧に変換できます。IMONの電圧が1.20V(一次OC閾値)を超えるとECBはオフになります。

過電流が大きい場合、IMONの電圧が2.4V(二次OC閾値)を超えるとECBは直ちにオフになります。

RDYがローの場合はIMON出力は電流を供給しません。

IMONを使用しない場合はグラウンドに接続してください。IMONを接地している場合は、一次および二次のOCコンパレータが機能しないため、注意が必要です。ただし、その場合でも短絡状態( $OUT < 1.2V$ )と加熱状態は検出され、ECBはオフになります。

**IN1、IN2**：ECB入力。両方の回路ブレーカは個別に動作します。ただし、IN1は、内部のロー電圧バイアス電源レールをバイアスするために使用されています。そのため、IN2はIN1  $\geq 6V$ でない場合は使用できません。特別な5V限定アプリケーションについては[アプリケーション情報](#)のセクションで説明します。

1 $\mu$ F(またはそれ以上)のバイパス・コンデンサを推奨します。入力電源とIN1およびIN2入力との間のレイアウトは低インピーダンスにする必要があります。短絡が生じた後のエネルギー消失を抑えるにはパターン・インダクタンスを400nH未満となるようにしてください。

**INTV<sub>CC</sub>**：内部動作電源。INTV<sub>CC</sub>は内部回路をバイアスするために使用されます。INTV<sub>CC</sub>はIN1から内部レギュレータを使用して生成されます。0.01 $\mu$ F(またはそれ以上)のバイパス・コンデンサを推奨します。

外部回路を使用してINTV<sub>CC</sub>を駆動したり、これを負荷にしたりすることはできません。ただし、特別な5V限定アプリケーションについては[アプリケーション情報](#)のセクションで説明します。

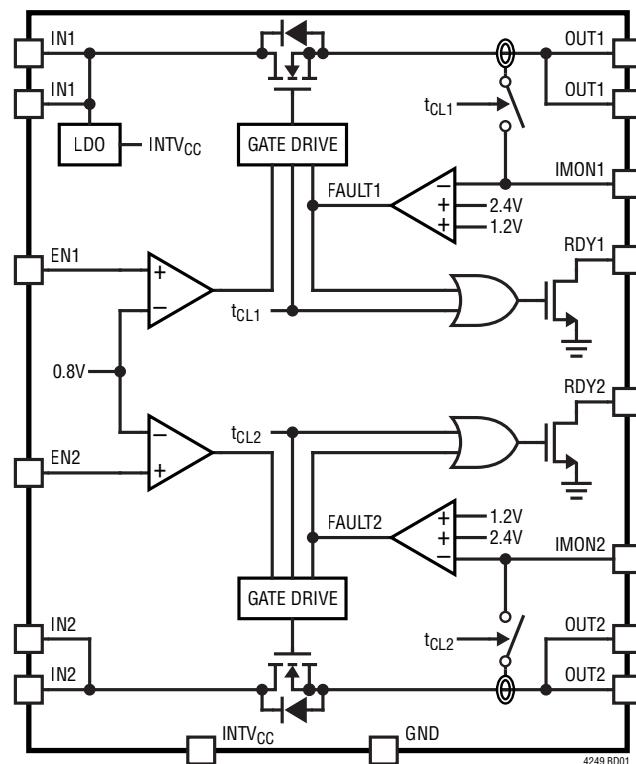
**OUT1、OUT2**：ECB出力。イネーブルの場合、OUTは高電圧NチャンネルMOSFETを通じてINに接続されます。推奨最大定常電流はチャンネルあたり1.2Aです。ECBを並列化すると電流負荷を増加できます。詳細については、[アプリケーション情報](#)を参照してください。

負荷とOUT1およびOUT2入力との間のレイアウトは低インピーダンスにする必要があります。短絡が生じた後のエネルギー消失を抑えるにはパターン・インダクタンスを400nH未満となるようにしてください。OUTの最大容量は100 $\mu$ Fに制限されています。

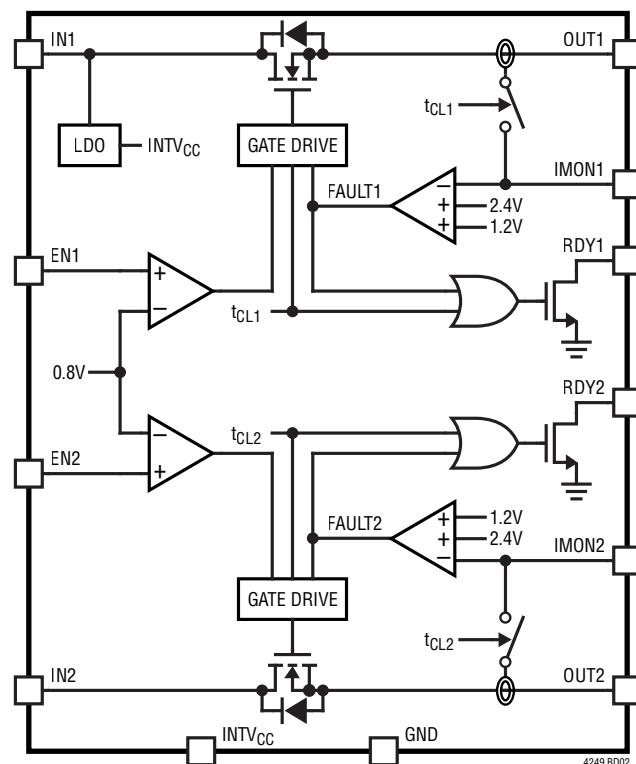
**RDY1、RDY2**：レディ出力。ENがローの場合は、またはECBフォールト後の場合は、RDYはローにプルダウンされます。あるチャンネルがイネーブルになると、電流制限動作フェーズが完了するまで(通常10ミリ秒)、RDY出力はローを維持します。電流制限動作フェーズ後は、RDY出力は解放され、その後の機能をイネーブルするために使用できます。例えば、RDYが解放された後、RFパワー・アンプにゲート・バイアスを印加できます。

RDYを使用しない場合は、オープンのままにするかグラウンドに接続します。

## ブロック図



3mm × 3mm パッケージ



3mm × 4mm パッケージ

## 動作

LTC4249は、電流モニタリング出力を備えた2チャンネル65V電子回路ブレーカ(ECB)です。回路ブレーカ入力IN1は入力範囲が6V～65Vで、LTC4249内でバイアス動作を行います。IN2の入力範囲は、IN1がバイアスされている場合、1.5V～65Vです。負荷回路は通常OUTに接続されます。回路ブレーカはENがハイの場合クローズに、ENがローの場合オーブンになります。レディ(RDY)出力は、ECBがオフの場合にローにプルダウンされ、ECBがオンの場合に解放されます。

RDYが解放されると出力負荷電流を正確にスケーリングした電流がIMON出力から供給されます。IMONとGND間に接続された抵抗により、このスケーリングされた電流は電圧に変換されます。IMON電圧が1.2Vを超えると過電流フォールトが生じているとみなされ、ECBがオフになりRDYはローにプルダウンされます。

各イネーブル入力は、0.8Vの内部リファレンスと比較され、それに応じて各チャンネルをイネーブルまたはディスエーブルします。標準的なGPIOを使用してこれらの入力を駆動できますが、高精度リファレンスを用いることで、外付けの抵抗分圧器を印加入力電圧に応じて調整可能なUVLO(低電圧ロックアウト)として使用できます。印加電圧がEN立下がり閾値を下回った場合、回路ブレーカはオフになります。[アプリケーション情報](#)のセクションでいくつかの例を説明します。

イネーブルされるとまずECBは電流制限動作フェーズに入ります。このフェーズでは、外付け部品を使用せずに突入電流を制限できます。電流制限動作フェーズの間、OUTは1Aの電流源で10ミリ秒の間充電されます。OUTの許容最大

容量は100 $\mu$ Fです。OUTがイネーブル後最初の300マイクロ秒内で1.2Vを超えて充電できない場合、出力は短絡しているとみなされ回路ブレーカはオフになります。電流制限動作フェーズが問題なく終了すると、ECBは低R<sub>ON</sub>動作(代表値:75m $\Omega$ )になります。

この時点ではアナログ電流モニタ機能がIMON出力に電流を供給し始めます。この5%の精度の電流モニタは出力負荷電流から100 $\mu$ A/Aの割合の電流を生成します。この電流はクローズドループ負荷バイアス制御やモニタリングに使用できます(詳細は[アプリケーション情報](#)のセクションを参照)。内部では、閾値の異なる2つのコンパレータが、IMON出力で生成された電圧を検出します。一次閾値コンパレータの閾値は1.2Vです。これにはフィルタリング機能が内蔵されており、一次閾値近傍での微小変動の原因となるグリッチを除去します。フィルタの特性は[アプリケーション情報](#)のセクションで示します。二次コンパレータの閾値は2.4V、応答時間は2 $\mu$ 秒で、過電流が大きい状態にあるECBを高速にオーブンにします。

過電流フォールト( $V_{IMON} > 1.2V$ )または短絡フォールト( $OUT < 1.2V$ )により回路ブレーカはオフにラッチされます。ENを切り替えるとラッチは解除され、回路ブレーカはオンになります。過熱フォールト後は両チャンネルがオフになります。ECBをオンに戻すには、それぞれのイネーブルを切り替える必要があります。

## アプリケーション情報

LTC4249はRFパワー・アンプ(PA)や産業安全のアプリケーションで非常に有用です。マッシブMIMOアレイの部品に欠陥が生じた場合は、そのアレイを共通パワー・バスから自動的に除去し、不要なバス・ローディングを防止することができます。LTC4249には、保護機能と電流モニタリング回路を組み込んだ2つの65V電子回路ブレーカが備わっています。イネーブル(EN)入力とレディ(RDY)出力により、バイアス・シーケンシング・アプリケーションは平易なものになります。

短絡保護と自動突入電流制御には外部部品が不要です。過電流(OC)閾値の精度が高い( $\pm 5\%$ )ため、入力電源の過剰設計を抑えることができます。

高精度イネーブル入力と電流モニタ閾値により、低電圧(UV)、過電圧(OV)、過電流(OC)、および短絡(SC)の検出と保護が可能となります。ECBを連結すれば、逆OC保護や絶縁アプリケーションが可能です。各OC閾値は1個の抵抗で設定できます。

ECBチャンネルを並列化すれば負荷電流の分担ができます。高電圧配置条件用に、ピン省略パッケージ・オプションも用意されています。プリント回路基板設計用に裏面に組込まれたサーマル・パッドにより、周囲温度が高いアプリケーションや大電流アプリケーションも可能となります。

### ECBチャンネルのイネーブル

コントローラから入力されるロジック信号を使用することで、回路ブレーカ・チャンネルをイネーブルできます。このEN入力閾値は0.8Vであるため、低電圧ロジック動作や抵抗で設定された低電圧ロックアウトに対応することができます。図1に、マイクロコントローラのオープンドレイン出力とフォトトランジスタを使用した、イネーブル・アプリケーションの簡略図を示します。スイッチがEN入力のプルダウンをリリースするとECBがオンになります。EN入力にある抵抗は、プルアップ機能を提供すると共に、ENの最大電圧を5.5Vの絶対最大定格以下に保ちます。

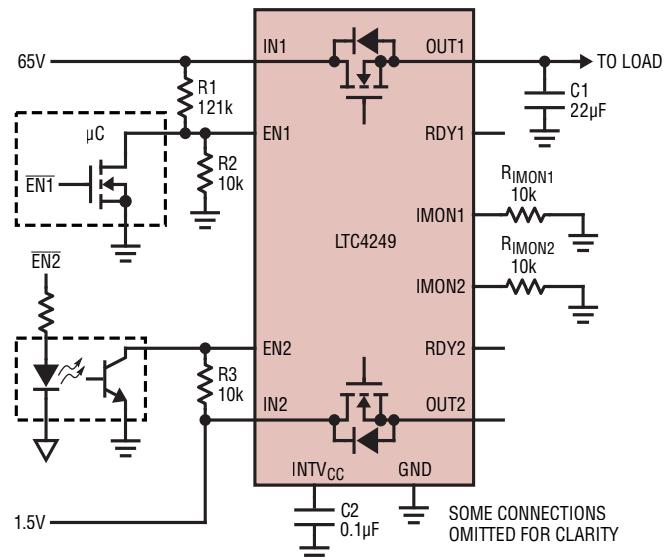


図1. スイッチ・ベースのイネーブル

EN入力閾値の精度は全温度で $\pm 2.5\%$ であるため、抵抗分圧器をENと電源に接続することで、低電圧(UV)ロックアウト機能を備えた電圧ベースのイネーブルを形成することができます。モニタ電圧が低い場合はECBチャンネルがディスエーブルされます。

図2に、1%誤差の抵抗を外付けした電圧ベースのイネーブルを示します。目的のUV閾値は10.8Vです。このアプリケーションではモニタ対象の電源電圧は公称12Vであることを前提にしています。

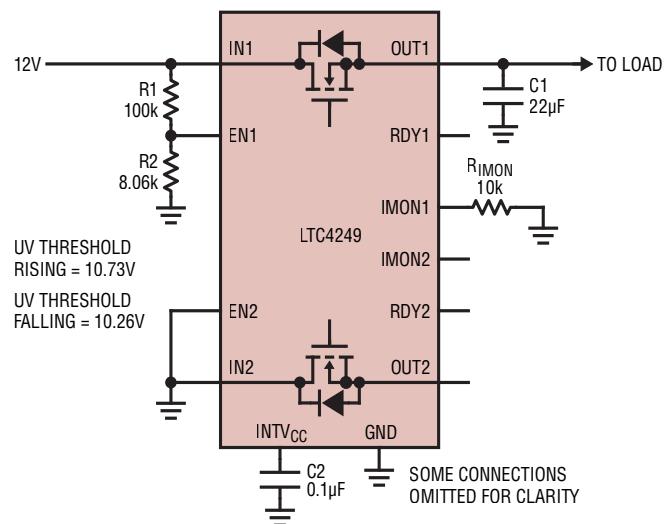


図2. 低電圧ロックアウトとヒステリシスを備えた電圧ベースのイネーブル

## アプリケーション情報

内部のEN閾値が0.8V、目的のUV閾値が10.8Vの場合、抵抗分圧器に必要な負荷電流を指定することでR1を求めることができます。開始点として100μAを採用すると、R1の関係式は次のようにになります。

$$R1 = \frac{10.8V - 0.8V}{100\mu A} = 100k\Omega$$

R2は0.8VのEN閾値を分圧器の負荷電流で除すことで次のように求まります。

$$R2 = \frac{0.8V}{100\mu A} = 8k\Omega$$

最も近い1%誤差抵抗は8.06kです。抵抗の誤差はUV閾値(10.73V)では大きな誤差を生じません。

モニタ対象電圧に雑音が多いためにECB微小な変動が生じることを避けるため、0.8VのEN閾値には35mVの立下がありヒステリシスがあります。電源換算のヒステリシスは、次のように単純に抵抗分圧器のゲインに関係します。

$$\text{Falling Hysteresis} = 35mV \cdot \left( 1 + \frac{R1}{R2} \right)$$

$$= 469mV$$

そのため、図2のアプリケーションではモニタ対象の電源が10.73Vを超えた後、立下がりUV閾値は10.26Vに低下します。モニタ対象電源が設定されたUV閾値を下回った場合、ECBチャンネルはオフになります。

### 自動突入電流制御

LTC4249は、ECBチャンネルがイネーブルされた際の突入電流を制御するよう設計されています。最初の10ミリ秒間では出力負荷の充電は1Aで行われます。容量性負荷の最大値は100μFです。100μFでは、出力は10V/msで充電されます。65Vの最大入力電圧で動作している場合、100μFのコンデンサは6.5ミリ秒で充電され、10ミリ秒の充電時間より十分短い値となります。図3に、最大の動作電圧および容量性負荷時の出力充電の様子を示します。

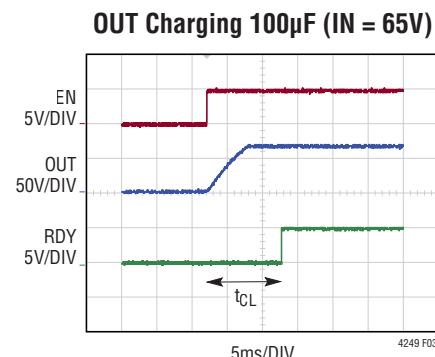


図3. 初期ターンオン時の出力充電

大きな容量を高速で充電するには大電流が必要です。突入電流制御がない場合、ECBの安全な動作領域を超えてしまいます。更に、突入電流制御がないと、入力電源の電圧低下が大きくなりブラウンアウトやシステム・リセットを引き起こす可能性があります。

全てのLTC4249アプリケーションでは、ECB出力が10ミリ秒以内に完全に充電される( $V_{OUT} \approx V_{IN}$ )必要があります。10ミリ秒の電流制限動作フェーズ( $t_{CL}$ )後、ECBはオンになり定格値の75mΩオン抵抗に達します。この時点で過電流保護が有効になりRDY出力がリリースされます。

### 高周囲温度時の電圧または容量スタートアップ・ディレーティング

LTC4249は、安全動作領域(SOA)外での動作をしないよう設計されています。消費電力が最大となるのは、両方のECBチャンネルが同時に始動するときです。電流突入動作の間、周囲温度が90°Cを超えている場合、入力電圧および出力容量によっては、ジャンクション温度が短時間の間にサーマル・シャットダウン閾値を超える可能性があります。サーマル・シャットダウン閾値を超えた場合、ECBは安全にラッチ・オフします。イネーブル入力を切り替えるとECBをオン状態に戻すことができます。

図4に、所定消費電力でサーマル・シャットダウンに達するまでの許容動作時間を示します。グラフの左側の領域で動作すればサーマル・シャットダウンを防止できます。電流突入後は、消費電力は通常0.5W未満に低下し、ジャンクション温度はサーマル・シャットダウンより十分低い値に保たれます。

## アプリケーション情報

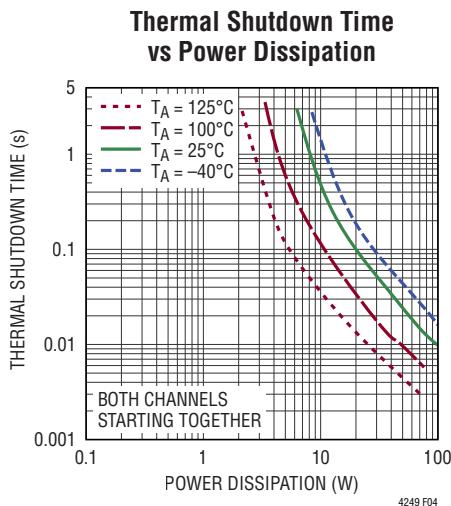


図4. サーマル・シャットダウン時間と消費電力の関係

図5は、電流突入動作時の温度ディレーティングと入力電圧および出力容量の関係を示すものです。出力容量が47 $\mu$ F (またはこれ未満)であれば、任意の許容周囲温度で65Vの動作が可能です。100 $\mu$ Fの場合は、周囲温度が90°Cを超えると入力電圧は-375mV/°Cの割合で低下します。熱を除去するために、裏面の露出パッドをグランド・プレーンに接続することを推奨します。



図5. 高温時の起動ディレーティング

### 短絡保護

10ミリ秒の電流制限動作フェーズの最初の300マイクロ秒では、OUTの電圧上昇がモニタされます。OUTの電圧が300マイクロ秒の時点で1.2Vを超えない場合、OUTは短絡しているとみなされECBはオフになります。

10ミリ秒の電流制限動作フェーズの最後では短絡ロジックは反転します。OUTが1.2V未満に低下している場合、OUTは再度短絡とみなされ、ECBはオフになります。短絡コンパレータの応答時間は2マイクロ秒(代表値)で、50mVのオーバードライブがあります。

短絡が生じた場合、アプリケーションでの重要な考慮事項は、ECB出力と負荷の間のインダクタンス量です。複数のRF PAを備えたアンテナ・アレイでは、ECBのチャンネル出力と各PAとの間で数インチのパターン・インダクタンスが存在する場合があります。負荷経路のインダクタンスは400nH未満に保つことを推奨します。

図6に示すように、ECBがオン状態で負荷の終端がインダクタンスを介して短絡している場合、ECB電流は急速に増加します。このピーク電流は出力電圧、パターン・インダクタンス、ECBターンオフ時間の関数です。二次OCと短絡コンパレータの帯域幅は限定されており(およそ2マイクロ秒の応答時間)、誘導性ハード短絡下では代表的なOC設定値までの電流ビルトアップを制限できるほど高速ではありません。ただし、ECB自体に電流コンプライアンスの制限があるため、OUT電圧を低下させ、ECBを安全動作領域内に維持することができます。ピーク電流に達した後、ECBはインダクタのエネルギーを消費しオフになります。これらの統合化された保護機能により、ハイパワーで高電圧の大きなショットキー・ダイオードをOUTピンに配置する必要がなくなります。

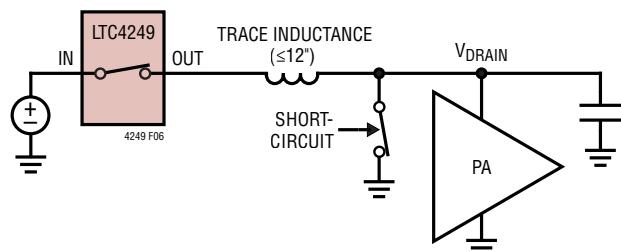


図6. インダクタンスのある負荷短絡

ECBの入力電圧側にも小さなインダクタンスが存在します。アレイ・アプリケーションの場合、入力電圧を分配するために低インピーダンスで大面積のレイアウトを推奨します。また、入力電源パスのインダクタンスを400nH未満にすることを推奨します。1 $\mu$ F(またはそれ以上)のバイパス・コンデンサをIN入力とグラウンドの付近に配置することも推奨します。

## アプリケーション情報

### RDY出力の適用

ECBが完全にオンになりOUTがアプリケーションに対して「レディ」となると、RDYオーブンドレイン出力が解放され、ハイにプルアップできます。RF PA回路では、OUTはPAのドレインに接続されているため、RDYを使用してPAのゲート・バイアスをイネーブルにできます。ENがローの場合や、過電流、短絡、サーマル・シャットダウンなどのフォールトが発生した場合は、RDYがローにプルダウンされます。

図7に、ENとそれに続く過電流フォールトに対するRDYの代表的な応答を示します。RDYは外部電源を使用して5.5Vにまでプルアップできます。1k~10kの抵抗を使用することを推奨します。RDYは、DC/DCコンバータなどの下段の負荷をイネーブルするために使用することもできます。

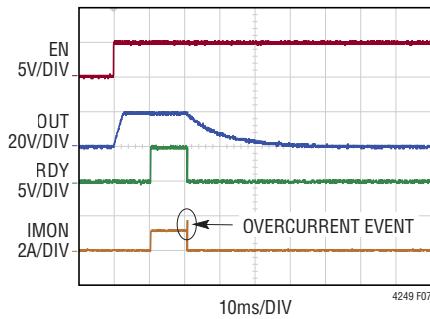


図7. RDYの代表的な応答

### 過電流(OC)閾値の設定

過電流閾値は、IMONとGND間に抵抗( $R_{IMON}$ )を1個配置することで簡単に設定できます。IMONは100μA/AのECB電流を供給します。IMON出力の一次(フィルタ処理)OC電圧閾値は1.2Vです。 $R_{IMON}$ は次式から簡単に求められます。

$$R_{IMON} = \frac{1.2V}{I_{ECB}} \cdot 10,000$$

ここで、 $I_{ECB}$ は必要とする回路ブレーカー閾値で、単位はアンペアです。回路ブレーカー閾値が1.2Aの場合、 $R_{IMON}$ は10kΩとなります。 $R_{IMON}$ の値を大きくすると回路ブレーカー閾値は小さくなります。二次(高速)OC閾値は、常に、設定した一次OC閾値の二倍となります。

一次OC閾値は細かい変動をフィルタリングするため、ECBはOC閾値に近い電流値で動作できます。一次OCコンパレータを動作させるために、必要な大きさと時間だけ1.2Vの閾値をオーバードライブする必要があります。一次コンパレータの代表的なオーバードライブと時間の関係を図8に示します。

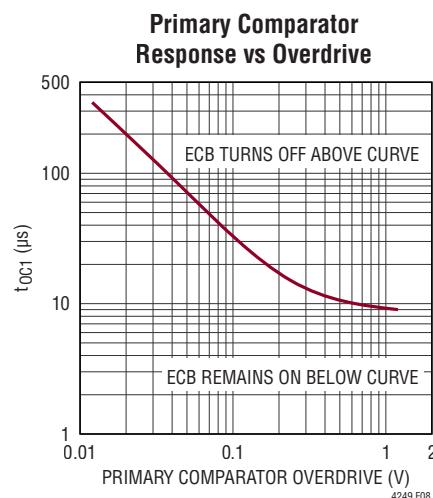


図8. 一次OCコンパレータのフィルタ特性

二次OC閾値コンパレータにはフィルタリング機能が加えられてはおらず、2.4VのIMON閾値を超えた場合の応答時間は2マイクロ秒(代表値)です

ECB遅延の追加やノイズ除去の向上を行うために、IMON出力電圧を外付け部品でフィルタリングするには、 $C_{IMON}$ のコンデンサを $R_{IMON}$ と並列に追加します。RCの組合せによりポールが形成されます。

### ECB電流のモニタリング

IMON出力電流は、OUT電流を正確にスケーリングした電流(100μA/A)を供給します。このIMON出力電流は全温度範囲で5%の精度(30mA~1.2A)です(図9)。なお、この優れた精度はECB電流が30mA未満の場合でも維持されています。IMONのこの精度により、ECB閾値の可変性が低いために入力電源電流機能を過剰設計する必要性を減らします。

## アプリケーション情報

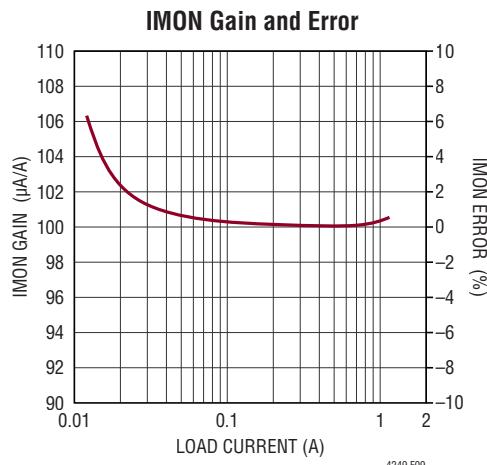


図9. IMONの代表的なゲインと負荷電流の関係

IMON出力には、ECB電流が約50kHzに追随できる帯域幅があります。この帯域幅は、OUTの負荷容量とIMON出力の容量の関数です。図10に、ECB電流の0.5Aから1Aへのステップ状変化にIMON出力電圧が追随する様子を示します。OUTの容量は100µFで、IMONへの意図的な追加容量はありません。

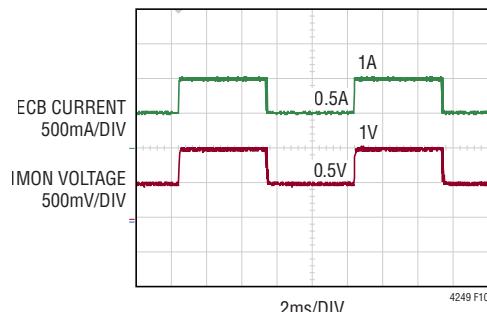


図10. IMONのステップ応答( $C_{OUT} = 100\mu F$ ,  $R_{IMON} = 10k\Omega$ )

ECBの電流情報を取得する必要のあるアプリケーションでは、A/Dコンバータを使用してIMON電圧をデジタル化することにより、スケーリングされたECB電流の履歴を外部メモリに保存することができます。

### 負荷電流サーボ制御

RF PAアプリケーションでは、IMON電圧をリファレンスと比較し、制御ループによってPAのゲート・バイアスをサーボ制御してドレン・バイアス電流を制御できます。1ページ目のアプリケーション図は、DACでPA BIAS電流を制御する方法を示しています。PAの処理や温度による $V_{GG}$ の閾値変動

はサーボ制御によって打ち消され、個別のバイアス調整はもはや必要ありません。

1ページ目のアプリケーションでは、IN1の入力電源(28V)は、EN1の電圧が0.8Vを超えるとRF PAの $V_{DD}$ に渡されます。抵抗 $R1$ および $R2$ は、24.88Vの低電圧(UV)閾値と1.09Vの立下がりヒステリシスを持つように選択されています。閾値未満では、RDY1はローになり、オペアンプはシャットダウンされています。オペアンプのシャットダウン中、RF PAの $V_{GG}$ はROFFを通じて負の電位(-5V)にプルダウンされ、PAはオフになります。

28Vの入力がUV閾値を超えるとPAの $V_{DD}$ の電圧がIN1の電圧まで増加します。RDY1は10ミリ秒後にハイにプルアップされ、オペアンプが動作します。この時点でオペアンプは、PA BIAS電流をオペアンプの非反転端子の制御入力に追随させるような電位に、RF PAの $V_{GG}$ を駆動します。例えば、制御入力が1Vの場合、PAの $V_{GG}$ バイアスはPA BIAS電流を1Aにするよう変化します。

PA BIAS電流が1.2Aを超えると、ECBは $V_{DD}$ バイアスを切断し、RDY1出力はローになります。RDY1がローになるとオペアンプはシャットダウンし、PAの $V_{GG}$ バイアスは負側レールにプルダウンされます。

ほとんどのクローズドループ・アプリケーションでは、コンデンサ $C_F$ を組み込むことでループ安定性が実現されています。 $C_{OUT}$ が $10\mu F$ より大きい場合は、進相遅相補償を行るために抵抗とコンデンサの組合せを追加することが必要となる場合があります。一般的な補償手法を以下に説明します。

### ループ解析

1ページ目の図のループ部分を抽出して図11に示します。ここには以下のように様々な重要な性質があります。

- $V_C$ : オペアンプの非反転端子への制御入力
- $R_{ON}$ : ECBのオン抵抗(75mΩ)
- $C_{OUT}$ : PAの $V_{DD}$ のドレンイン容量(10µF)
- $GM$ : LTC4249の電流モニタのトランスクンダクタンス(1.33mA/V)

## アプリケーション情報

- $R_M$ : IMON の検出および過電流設定抵抗 (10k $\Omega$ )
- $C_F$ : ループ安定化に用いられる帰還容量 (330pF)
- $R_G$ : PA の入力容量 (100 $\Omega$ ) によるオペアンプのオーバーシュートを制限するための抵抗
- $C_G$ : PA の入力容量 (150pF)

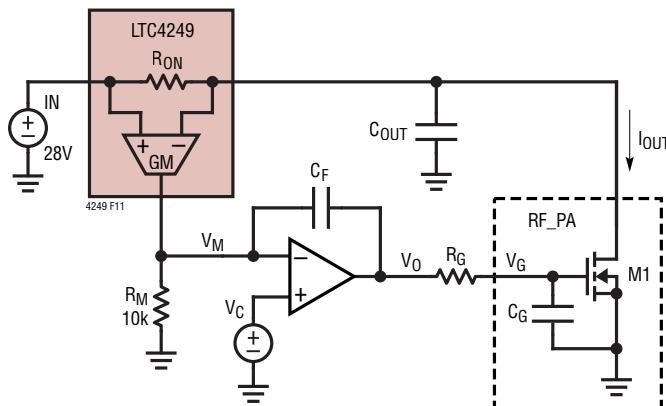


図11. PAのサーボ・ループ構成部品

ループ構成部品が安定性やクローズドループ応答  $I_{OUT}/V_C$  にどのように影響するかを把握しておくことが重要です。

LTC4249の電流モニタのGMと $R_M$ は、テブナンの等価回路に変換できます。 $C_F$ は解析のために一時的に取り除くことができます。 $GM_{PA}$ はPAのトランスクンダクタンスです。ループは図12に示す等価ブロック図に変換されます。ここで、 $A(s)$ はオペアンプのオープンループ伝達関数で、また、標準的な $G(s)$ と $H(s)$ の概要を示してあります。

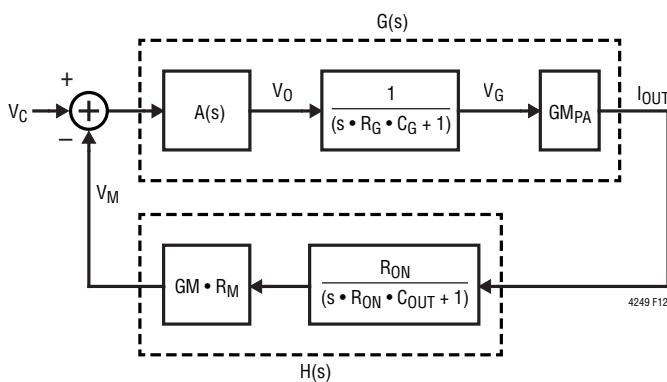
図12.  $C_F$ を取り除いたサーボ・ループのブロック図

図13に、未補償ループ・ゲイン $G(s)H(s)$ の大きさと位相を示します。クロスオーバー周波数での位相余裕が不適切(およそ0°)であることが容易にわかります。クロスオーバー付近の領域は $R_{ON} \cdot C_{OUT}$ 、 $R_G \cdot C_G$ 、および高周波数のオペアンプのポールによる影響を含め、複数の有害なポールを含んでいます。

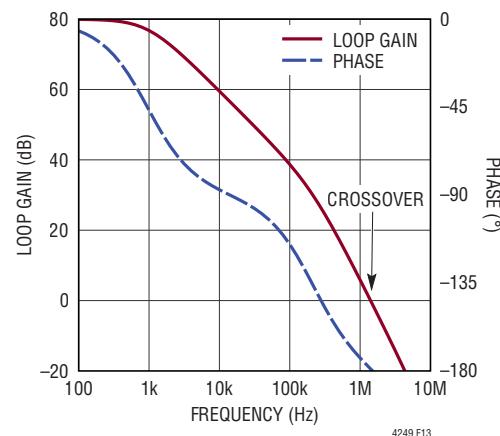
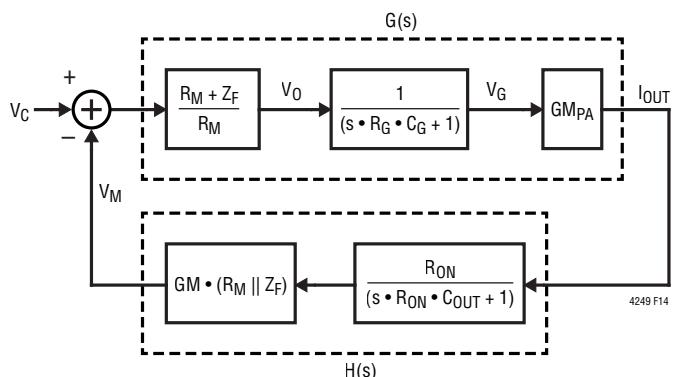


図13. 未補償のループ・ゲインと位相

システムのクロスオーバー周波数を下げるにはループ安定性を確保する助けとなります。これはオペアンプに帰還部品を追加することで容易に実行できます。汎用の帰還インピーダンス $Z_F$ をオペアンプ付近に配置すると、ループを安定化でき、また、オペアンプの伝達関数に対する感度を下げることができます。図14に、 $Z_F$ を追加した場合のブロック図を示します。

図14. オペアンプ付近に汎用インピーダンス $Z_F$ を追加したサーボ・ループのブロック図

$Z_F = 1/sC_F$  とすれば、図15に示すように、クロスオーバー周波数は低下し(約10kHz)、位相余裕はほぼ90°に向上しま

## アプリケーション情報

す。1ページ目に示したステップ応答は、立上がり時間が約10マイクロ秒のクリーンなものとなっています。

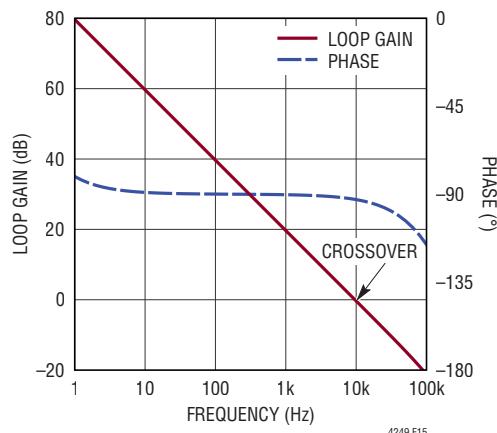


図15. 補償後のループ・ゲインと位相  
( $Z_F = 1/sC_F$ 、 $C_F = 330\text{pF}$ )

$C_{\text{OUT}}$ が大きい(100 $\mu\text{F}$ に近い)場合、位相余裕は10 $\mu\text{F}$ の例に比べ減少する可能性があります。大きな $C_{\text{OUT}}$ を使用する場合は、位相余裕に関し他のループ項を考慮する必要があります。負荷電流がステップ状に変化している場合、LTC4249の電流モニタ出力は負荷電流よりもわずかに遅れます。伝送の遅れは周波数の関数である位相の低下をもたらしますが、ループ・ゲインの大きさには影響しません。位相の遅れは $360^\circ \cdot f \cdot T$  ( $T \approx 2\mu\text{s}$ )となります。 $f = 10\text{kHz}$ のクロスオーバー周波数で、伝送の遅れによる位相余裕の低下は-7.2°です。

位相余裕が小さい状況では、ステップ応答を制御するために進相遅相ネットワークが必要となる場合があります。抵抗( $R_Z$ )を $C_F$ に直列に追加することで進相ゼロが生成され、 $R_Z$ の近くに小さい容量( $C_P$ )を追加すると高周波数のロールオフを復元する遅相ポールが生成されます(図16)。解析のためには、オペアンプ周辺の補償ネットワークを単純に $Z_F$ のインピーダンスとしてまとめ、図14のモデルを使用すれば新しいループ・ゲインと位相(および必要に応じ位相に対する伝送遅延低下の項)を求めることができます。

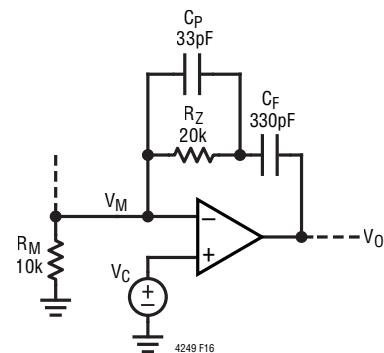


図16. 進相遅相ネットワーク例

## RF PAのバイアス・シーケンシング

一部のRF PAでは、バイアス・シーケンスの順序が厳格です。LTC4249のEN入力、RDY出力、IMON出力を使用することで、このシーケンシング・プロセスを簡略化できます。起動時の推奨バイアス・シーケンスは次のとおりです。

- 1) PAのV<sub>DD</sub>をグラウンド電位付近から立ち上げます。これを実行するには、まずENをロー( ECBオフ、OUTはグラウンド電位付近)にすることから始めます。PAのV<sub>GG</sub>を、PA BIAS電流=0を確保できる負電圧に駆動します。この時点ではRDYをローにプルダウンしておく必要があります。
- 2) ENを閾値(0.8V)以上にします。LTC4249は電流制限動作フェーズに入り、1Aの電流でOUTの容量を充電します。300マイクロ秒後、OUTが1.2V以上であるかどうかの確認が行われます。この値未満の場合、チャンネル出力が「短絡」とみなされ、対応するECBがオフになります。短絡がない場合、LTC4249は10ミリ秒後に電流動作フェーズを完了し、低R<sub>ON</sub>動作を開始します。RDYはこの時点で解放され、ハイにプルアップできます。OUTの電圧はINに近い値になっている必要があります。
- 3) RDYの解放後、目的のBIAS電流に達するまでPAのV<sub>GG</sub>電圧を増加します。BIASの電流はIMON出力の電圧から推定できます。
- 4) RFIN信号を加えます。

## アプリケーション情報

パワーダウン時の推奨バイアス・シーケンスは以下のとおりです。

- 1) RFIN信号を停止します。
- 2) PA BIASの電流がゼロになるまでPAの $V_{GG}$ の電圧を減少します。BIASの電流はIMON出力の電圧から推定できます。
- 3) ENを閾値未満にプルダウンします(OUTはINから切り離され、RDYはローにプルダウン)。

### 電流分担

アプリケーションによっては、1.2A以上の負荷電流での動作やOC検出が必要となります。2つのECBチャンネルを単純に並列化することで、2.4Aまでの動作が可能です(図17)。2つのチャンネルは、 $R_{ON}$ のマッチングにもよりますが、1%(代表値)の精度で負荷電流を分担します。

どちらかのチャンネルが1.2Aを超えるとそのECBはオフになります。この動作により負荷電流は他のチャンネルを流れることになるため、結果としてそのチャンネルもオフになります。複数のLTC4249を並列接続すれば更に大きな電流を流すことができます。この手法の効力は、デバイスごとの $R_{ON}$ のマッチング(代表値は $\pm 2\%$ 、ただし保証値ではありません)によって決まり、 $\pm 1\%$ のチャンネル・マッチング仕様より若干低下しています。

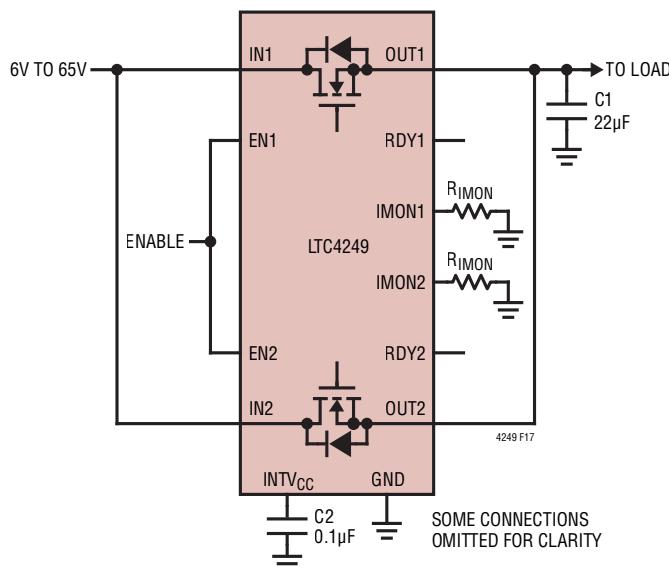


図17. 1.2Aを超えるアプリケーションでの電流分担

### 出力の過電流および過電圧

回路ブレーカの動作は、OUTとIMONの間に抵抗 $R_{OV}$ (図18)を1個加えることで、OUTノードの過電圧に基づいて行わせることもできます。抵抗 $R_{OV}$ の計算は、負荷が電流シンクか抵抗性の性質を持つものかによって異なります。このアプリケーションでは、OCの閾値とOVの閾値は依存関係を持ち、抵抗の計算は複数のステップからなります。

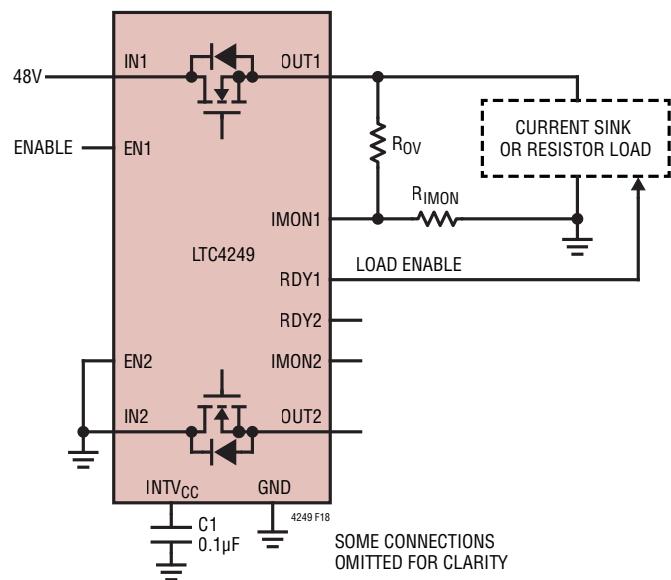


図18.1 個の抵抗を追加したOV/OC回路ブレーカ

図18の公称OUT1電圧( $V_{OUT}$ )は約48Vで、目的のOV閾値( $V_{OV}$ )は56.2Vです。公称650mAで動作し、目的の過電流閾値( $I_{OC}$ )が732mAである電流シンク負荷( $I_{OUT}$ )の場合、 $R_{OV}$ は次式で求められます。

$$R_{OV} = \frac{V_{OUT} - 1.2V}{\left( \left( \frac{1.2V}{R_{IMON}} \right) - (I_{OC} \cdot G_{IMON}) \right)}$$

ここで、 $G_{IMON} = 100\mu A/A$ 、 $R_{IMON} = 10k\Omega$ です。 $I_{OC} = 732mA$ を代入すると $R_{OV} = 1M\Omega$ となります。 $R_{OV}$ が $1M\Omega$ で $I_{OUT} = 650mA$ の場合、 $V_{OV}$ は次式から求められます。

$$V_{OV} = \left( \left( \frac{1.2V}{R_{IMON}} \right) - (I_{OUT} \cdot G_{IMON}) \right) \cdot R_{OV} + 1.2V$$

結果は $V_{OV} = 56.2V$ となります。

## アプリケーション情報

負荷が抵抗の場合でも、 $R_{OV}$ の計算は変わりません。 $V_{OUT} = 48V$ 、 $I_{OC} = 732mA$ の場合、 $R_{OV}$ は同じく $1M\Omega$ となります。ただし、OV閾値の計算には、抵抗性負荷に過剰な電圧が加わるため、次式のようにIMON出力電流の影響を追加する必要があります。

$$V_{OV} = 1.2V \cdot \frac{\left( \frac{1}{R_{IMON}} + \frac{1}{R_{OV}} \right)}{\left( \frac{I_{OUT} \cdot G_{IMON}}{V_{OUT}} + \frac{1}{R_{OV}} \right)}$$

ここで、 $I_{OUT}$ は $650mA$ の公称負荷で、その結果 $V_{OV} = 51.48V$ となります。OV閾値を更に高くするには $R_{OV}$ を増加する必要がありますが、その場合 $I_{OC}$ が増加します。例えば、 $R_{OV}$ を $1.21M\Omega$ に増加すると、 $V_{OV}$ は $55.48V$ となり $I_{OC}$ は $813mA$ に増加します。

### 逆電流回路ブレーカ

電力多重化回路など、ECB出力(負荷側)が入力よりも大きな値にプルアップされるアプリケーションでは、ECBのボディ・ダイオードが順方向にバイアスされるリスクや電流が入力側に流れるリスクがあります。こうした可能性をなくすために、2個のLTC4249チャンネルを図19に示すように連結することができます。連結することで2個のECBボディ・ダイオードは互いに逆方向に接続されるため、ECBがオフになっている場合にIN2の負荷接続からIN1に電流が流れることを防ぐことができます。

ただし、それでも、チャンネルがオンの場合は、電流はECBのどちらの方向にも流れることができます。幸いにも、チャンネル2の接続が逆方向であるため、IN2からOUT2への電流は、IMON2で検出できます。チャンネル2はIN2がOUT2より高

い場合に正常に動作するためです。 $R_{IMON2}$ を適切に選択すると、正確な「逆電流」閾値を選択し、チャンネル2をシャット・オフして過剰電流がIN2の負荷接続からIN1に流れることを防止できます。チャンネル1は通常動作を行い、 $R_{IMON1}$ で設定される過剰順方向電流でオフになります。

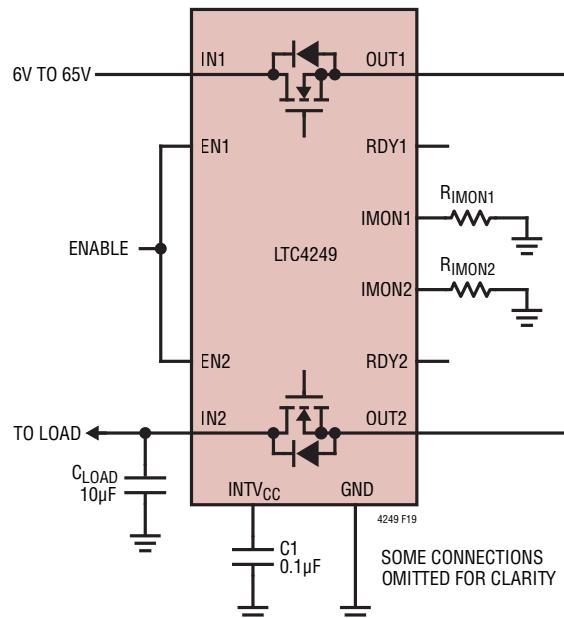


図19. 連結による負荷絶縁および順方向/逆方向電流回路ブレーカ

### 絶縁機能を備えた負荷スイッチ

図19に基づくと、このアプリケーションを複製し負荷に供給される入力電源( $V_1$ または $V_2$ )を選択できるようにすることで、リバース・アイソレーションを備えた負荷スイッチを実現できます(図20)。

## アプリケーション情報

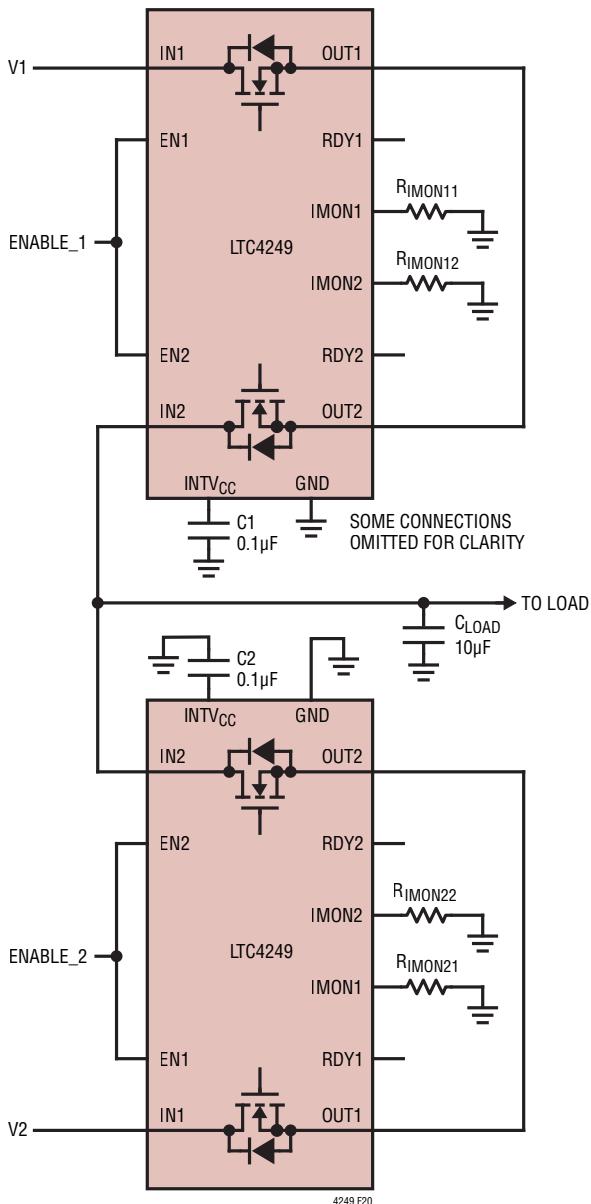


図20. 負荷スイッチ・アプリケーション

### 高電圧用の配置に関する考慮事項

最大65Vの沿面距離および空間距離の規格を満たす必要があるアプリケーションには、12ピンの3mm × 4mm LQFNパッケージを注文可能です。IN1、OUT1、IN2、OUT2の各ピンが、露出サーマル・パッドを含む他の全てのピンと適切な空間を置いて配置されています。

### 熱に対する考慮事項

露出サーマル・パッドは内部でグラウンドに接続されており、最適な熱放散経路を提供します。周囲温度が90°Cを超えるアプリケーションでは、チャンネルあたり1.2Aの最大電流能力(合計2.4A)で動作させる場合、露出パッドをPCB上の2インチ四方の1オンス銅面に接続し、ジャンクション温度の上昇を抑えます。

周囲温度が高い場合、10ミリ秒の電流制限動作フェーズの間の熱放散経路も重要となります。この場合、パルス状の電力が短時間ながら大きな温度上昇をもたらす可能性があるためです。

極度の熱的条件の場合、内蔵のサーマル・スイッチが動作して両方のチャンネルをオフにします。通常1秒間、およびそれぞれのイネーブル入力が切り替わるまで、ブレーカはオフのままになります。

### 工業用アプリケーション

これまで検討されてきた工業用アプリケーションの多くは、システムの問題を解決するために様々な方法で組み合わせることができます。工業用アプリケーションでは多くの場合回路ブレーカが必要とされます。最後のページには、LTC4249の機能を利用した工業用アプリケーションを示します。これは、抵抗性負荷電流が公称50mAの15Vシステム向けに、低電圧(UV)、過電圧(OV)、過電流(OC)、および逆電流保護を備えたものです。各抵抗の値は次の閾値を実現するよう計算されたものです。

UV閾値:12V

OV閾値:16.9V

順方向OC一次閾値: 193mA

逆方向OC一時閾値:1.2A

## アプリケーション情報

最初のターンオン時、負荷容量はECB2のボディ・ダイオードとECB1を通じて充電されます。ECB1が10ミリ秒の電流制限動作フェーズを終えた後、RDY1はECB2をイネーブルにします。その後ECB2がオンになりボディ・ダイオードの経路がシャントされます。

### 特別な「5V限定」アプリケーション

ほとんどの場合、動作に必要なIN1の最小電圧は6Vです。ただし、いくつかの条件が満たされた場合、IN1 = 5Vのアプリケーションがごくわずかですが可能となります。まず、IN1電源電圧は厳密に $\pm 5\%$ (4.75V~5.25V)にレギュレーションされている必要があります。次に、IN1は、INTV<sub>CC</sub>出力に接続されていない限りはなりません(図21)。そのため、ECB1がオンになると、OUT1はIN1の制限に制約されます。IN2は全範囲で正常に動作できます。

このアプリケーションは製品においてテストされており、全温度範囲で適格性が確保されています。なお、電気的特性の表ではIN1は6V未満には拡張されていませんが、このアプリケーションはV<sub>CCOR</sub>、V<sub>ECB2</sub>、V<sub>ACC2</sub>、t<sub>OC2</sub>を除き、その他全ての電気的特性の値に対応しています。1.8A以上では、二次過電流コンパレータが閾値または遅延の増加の影響を受ける可能性があります。しかし、一次の過電流コンパレータは、全範囲にわたってデータシートの仕様(1.2A)を満たすため、過電流条件でECBをシャット・オフします。

これらの特別な制約を超えた動作は推奨されません。また、動作も保証されません。

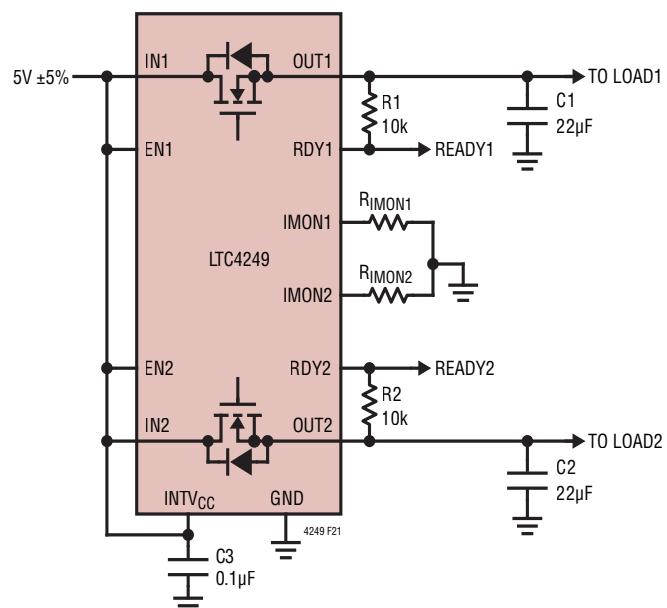
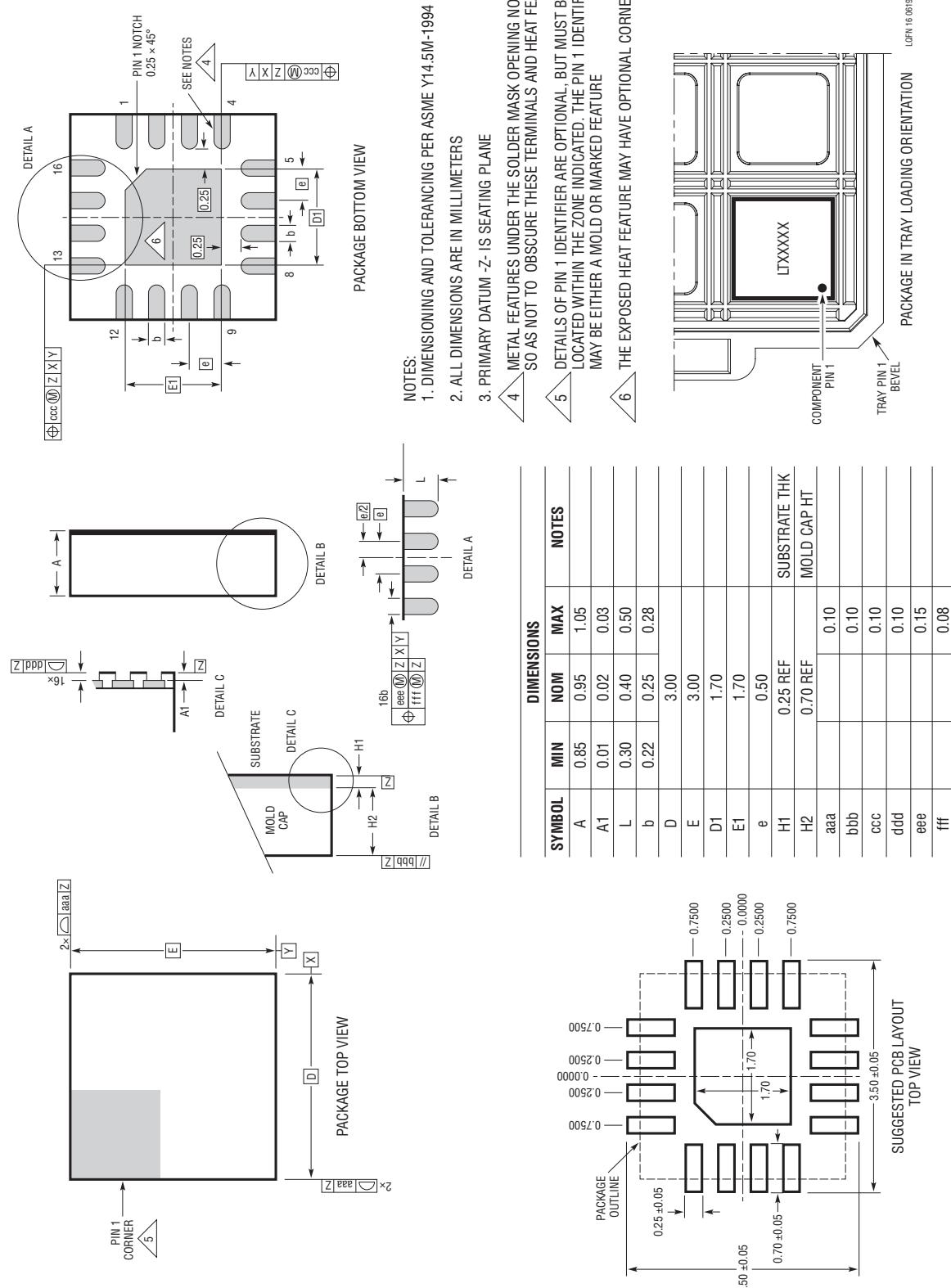


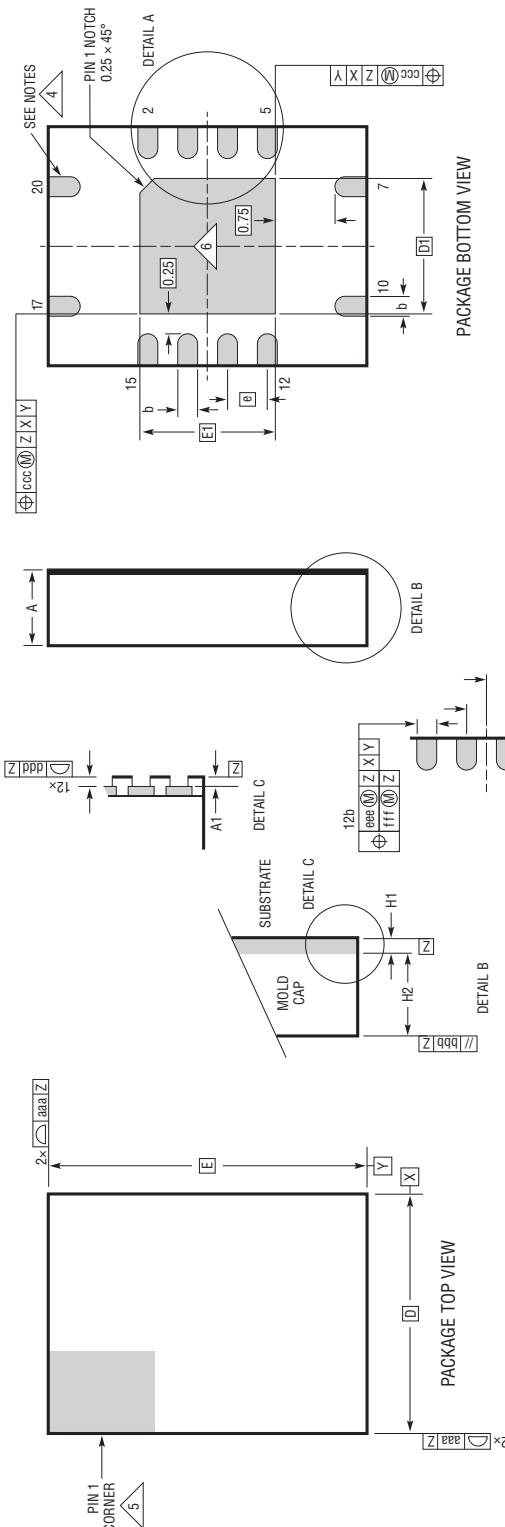
図21. 特別な「5V限定」アプリケーション

## パッケージの説明

### LQFN Package 16-Lead (3mm x 3mm x 0.95mm) (Reference LTC DWG # 05-08-1443 Rev 0)



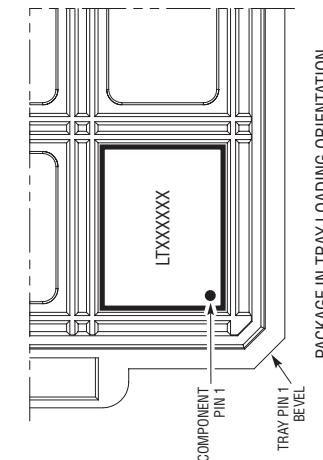
## パッケージの説明

**LQFN Package**  
**20 (12)-Lead (3mm × 4mm × 0.95mm)**  
 (Reference LTC DWG # 05-08-1441 Rev 0)


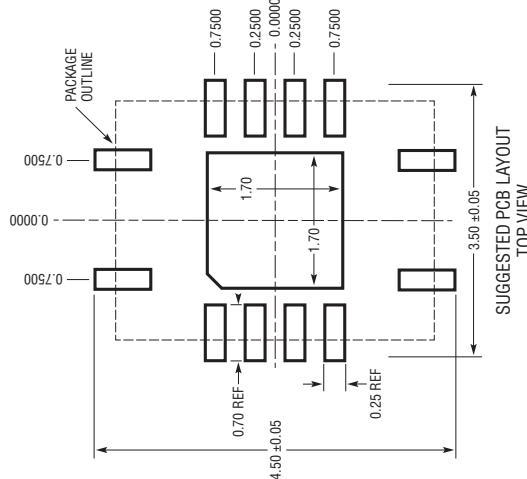
NOTES:  
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M-1994  
 2. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

3. PRIMARY DATUM -Z- IS SEATING PLANE

- 4 METAL FEATURES UNDER THE SOLDER MASK OPENING NOT SHOWN SO AS NOT TO OBSCURE THESE TERMINALS AND HEAT FEATURES
- 5 DETAILS OF PIN 1 IDENTIFIER ARE OPTIONAL, BUT MUST BE LOCATED WITHIN THE ZONE INDICATED. THE PIN 1 IDENTIFIER MAY BE EITHER A MOLD OR MARKED FEATURE
- 6 THE EXPOSED HEAT FEATURE MAY HAVE OPTIONAL CORNER RADII

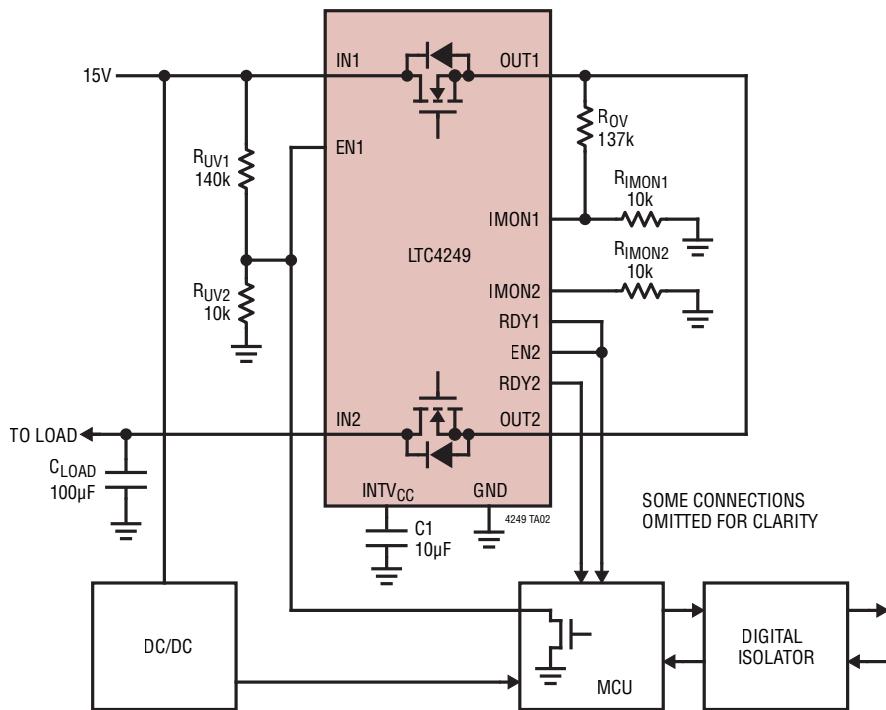


DIMENSIONS				
SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTES
A	0.85	0.95	1.05	
A1	0.01	0.02	0.03	
L	0.30	0.40	0.50	
b	0.22	0.25	0.28	
D	3.00			
E	4.00			
D1	1.70			
E1	1.70			
e	0.50			
H1	0.25 REF			SUBSTRATE THK
H2	0.70 REF			MOLD CAP HT
aaa			0.10	
bbb			0.10	
ccc			0.10	
ddd			0.10	
eee			0.15	
fff			0.08	



## 標準的応用例

UV、OV、OC、逆電流の保護機能を備えた工業用アプリケーション向けECB



## 関連製品

製品番号	概要	注釈
LTC4368	LTC4367 + 双方向回路ブレーカ	±50mV または 50mV/-3mV の回路ブレーカ閾値、MSOP-10 および DFN-10 パッケージ
LTC4367	100V 過電圧、低電圧、および逆電源保護コントローラ	広い動作電圧範囲: 2.5V ~ 60V、保護範囲: -40V ~ 100V、ほとんどのアプリケーションで TVS が不要
LTC4365	過電圧、低電圧、および逆電源保護コントローラ	広い動作電圧範囲: 2.5V ~ 34V、保護範囲: -40V ~ 60V、ほとんどのアプリケーションで TVS が不要
LTC4366	高電圧サージ・ストップ	9V ~ 500V 超の動作電圧、8 ピン TSOT パッケージおよび 3mm × 2mm DFN パッケージ
LTC4364	理想ダイオードを備えたサージ・ストップ	4V ~ 80V の動作電圧、-40V の逆入力、-20V の逆出力
LT4363	電流制限付き高電圧サージ・ストップ	広い動作電圧範囲: 4V ~ 80V、-60Vまでの逆電圧保護、調整可能な出力クランプ電圧
LTC4361	過電圧/過電流保護コントローラ	5.8V の過電圧閾値、85V の絶対最大定格
LTC4380	8μA の $I_Q$ サージ・ストップ	4V ~ 72V の動作電圧、ピン選択可能なクランプ電圧