

# 昇圧レギュレータ付き 圧電マイクロアクチュエータ・ドライバ

## 特長

### アンプ

- 電流制限:  $\pm 40\text{mA}$  (標準)
- 入力同相範囲:  $0\text{V} \sim 10\text{V}$
- 出力電圧範囲:  $1\text{V} \sim (V_{CC} - 1\text{V})$
- 高いインピーダンス出力を備えた差動利得段 ( $g_m$  段)
- $V_{CC}$  からの消費電流:  $2\text{mA}$
- 無負荷利得: 30,000 (標準)

### スイッチング・レギュレータ

- 最大  $35\text{V}$  の  $V_{CC}$  を発生
- 広い動作電源電圧範囲:  $2.5\text{V} \sim 16\text{V}$
- 高いスイッチング周波数:  $1.3\text{MHz}$
- ショットキー・ダイオード内蔵
- 小型の外付け部品を使用
- 内部補償付き電流モード・スイッチャ
- 高さの低い ( $1\text{mm}$ ) SOT-23パッケージ

## アプリケーション

- 圧電スピーカ
- 圧電マイクロアクチュエータ
- バラクタ・バイアス

## 概要

LT<sup>®</sup>3469は、 $5\text{V}$ または $12\text{V}$ 電源で最大 $33\text{V}$ の出力をドライブ可能なトランスコンダクタンス ( $g_m$ ) アンプです。内部スイッチング・レギュレータが  $g_m$  アンプ用の昇圧電源電圧を発生します。アンプは  $5\text{nF} \sim 300\text{nF}$  の範囲で容量性負荷をドライブ可能です。スルーレートは最大出力電流によってのみ制限されます。スイッチング・レギュレータが  $35\text{V}$  の出力電圧を供給可能なうえ、アンプの電源電圧が高いため、圧電セラミック・マイクロアクチュエータのドライブに必要な広い出力電圧範囲が可能です。

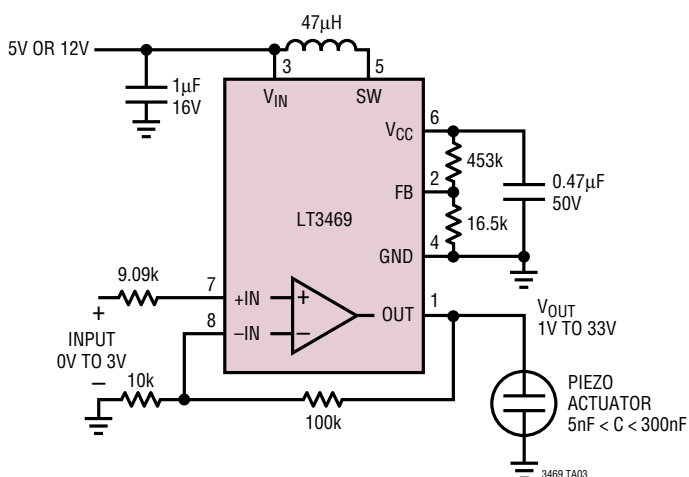
LT3469のスイッチング・レギュレータは $1.3\text{MHz}$ でスイッチングを行いますので、小型の外付け部品を使用できます。出力コンデンサは $0.22\mu\text{F}$ と小さいので、代替ソリューションに比べてスペースとコストを削減できます。

LT3469は高さの低いThinSOT<sup>™</sup>パッケージで供給されます。

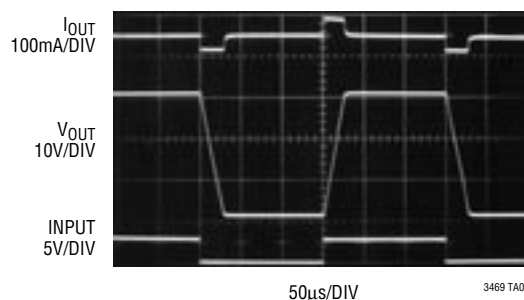
LT、LTC、LTはリニアテクノロジー社の登録商標です。  
ThinSOTはリニアテクノロジー社の商標です。

## 標準的応用例

圧電マイクロアクチュエータ・ドライバ



33nF負荷をドライブするときの応答



# LT3469

## 絶対最大定格

(Note 1)

$V_{IN}$ 電圧	16V
SW電圧	40V
$V_{CC}$ 電圧	38V
+IN、-INの電圧	10V
FB電圧	3V
SWピンへ流れ込む電流	1A
動作温度範囲 (Note 2)	-40°C~85°C
保存温度範囲	-65°C~150°C
リード温度 (半田付け、10秒)	300°C

## パッケージ/発注情報

	ORDER PART NUMBER
	LT3469ETS8
	TS8 PART MARKING
	LTACA

より広い動作温度範囲で規定されるデバイスについては、弊社へお問い合わせください。

## 電気的特性

●は全動作温度範囲の規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。(Note 2)注記がない限り、 $V_{IN} = 5\text{V}$ 、 $V_{CC} = 35\text{V}$ 。

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
<b><math>g_m</math> Amplifier</b>						
Input Offset Voltage	$V_{OUT} = V_{CC}/2$	●	3	10	mV	
Input Offset Current		●	10	100	nA	
Input Bias Current		●	150	500	nA	
Input Resistance—Differential Mode			1		M $\Omega$	
Input Resistance—Common Mode			200		M $\Omega$	
Common Mode Rejection Ratio	$V_{CM} = 0\text{V to }10\text{V}$		70	100	dB	
Power Supply Rejection Ratio— $V_{IN}$	$V_{IN} = 2.5\text{V to }16\text{V}$		80	120	dB	
Power Supply Rejection Ratio— $V_{CC}$	$V_{CC} = 15\text{V to }35\text{V}$		65	85	dB	
Gain	No Load, $V_{OUT} = 2\text{V to }33\text{V}$ $R_L = 200\text{k}\Omega$ , $V_{OUT} = 2\text{V to }33\text{V}$		15 10	30 20	V/mV V/mV	
Transconductance	$I_{OUT} = \pm 100\mu\text{A}$	●	160 140	220 300	$\mu\text{A/mV}$ $\mu\text{A/mV}$	
Maximum Output Current	$V_{OUT} = V_{CC}/2$	●	$\pm 30$ $\pm 23$	$\pm 40$ $\pm 55$ $\pm 58$	mA mA	
Maximum Output Voltage, Sourcing	$V_{CC} = 35\text{V}$ , $I_{OUT} = 10\text{mA}$ $V_{CC} = 35\text{V}$ , $I_{OUT} = 0\text{mA}$		34.0 34.5	34.5 34.9	V V	
Maximum Output Voltage, Sinking	$I_{OUT} = -10\text{mA}$ $I_{OUT} = 0\text{mA}$		200 10	1000 500	mV mV	
Output Resistance	$V_{CC} = 35\text{V}$ , $V_{OUT} = 2\text{V to }33\text{V}$		100		k $\Omega$	
Supply Current— $V_{CC}$	$V_{CC} = 35\text{V}$		1.5	2	2.5	mA
<b>Switching Regulator</b>						
Minimum Operating Voltage				2.5	V	
Maximum Operating Voltage			16		V	
Feedback Voltage		●	1.19	1.23	1.265	V
FB Pin Bias Current		●	45	200	nA	
FB Line Regulation	$2.5\text{V} < V_{IN} < 16\text{V}$		0.03		%/V	
Supply Current— $V_{IN}$			1.9	2.6	mA	
Switching Frequency		●	0.8	1.3	1.7	MHz
Maximum Duty Cycle		●	88	91	%	
Switch Current Limit (Note 3)		●	165	220	mA	
Switch $V_{CESAT}$	$I_{SW} = 100\text{mA}$			350	500	mV

3469f

## 電気的特性

●は全動作温度範囲の規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。(Note 2)注記がない限り、 $V_{IN} = 5\text{V}$ 、 $V_{CC} = 35\text{V}$ 。

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Switch Leakage Current	$V_{SW} = 5\text{V}$		0.01	1	$\mu\text{A}$
Diode $V_F$	$I_D = 100\text{mA}$		740	1100	mV
Diode Reverse Leakage Current	$V_R = 5\text{V}$		0.1	1	$\mu\text{A}$

Note 1: 絶対最大定格はそれを超えるとデバイスの寿命に影響を及ぼす値。

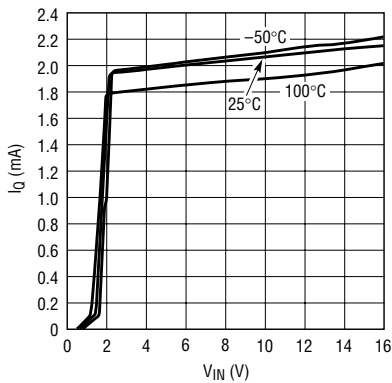
Note 3: 電流制限は設計および静的テストとの相関によって保証されている。高いデューティ・サイクルではスロープ補償により電流制限が低下する。

Note 2: LT3469E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。  
 $-40^\circ\text{C} \sim 85^\circ\text{C}$ の動作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。

## 標準的性能特性

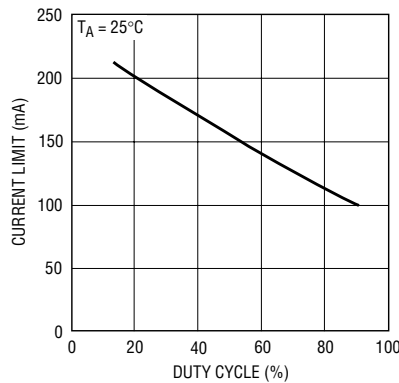
(スイッチング・レギュレータ)

$V_{IN}$ の消費電流



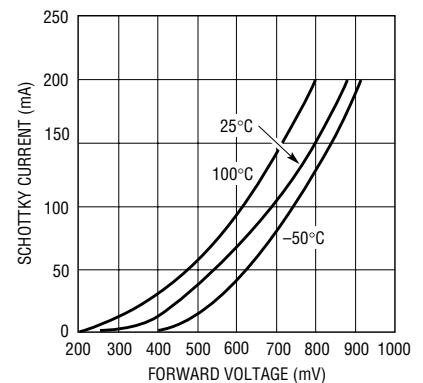
3469 G05

電流制限とデューティ・サイクル



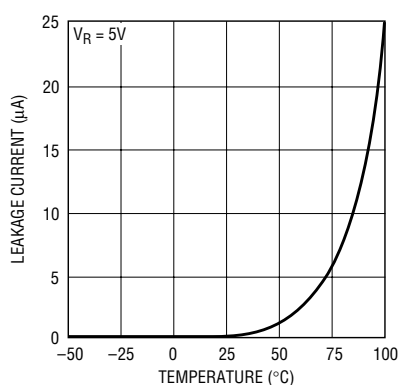
3469 G06

ショットキー・ダイオードの順方向電圧



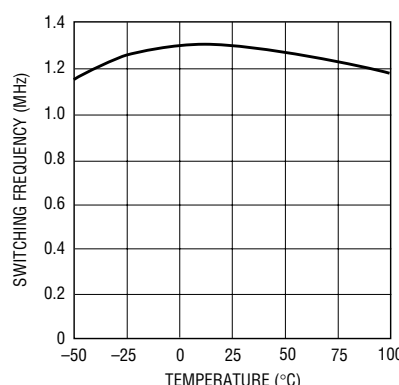
3469 G07

ショットキー・ダイオードの逆方向リーク電流



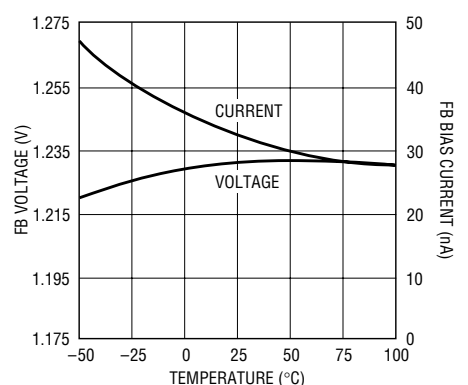
3469 G09

スイッチング周波数



3469 G10

FBピンの電圧とバイアス電流

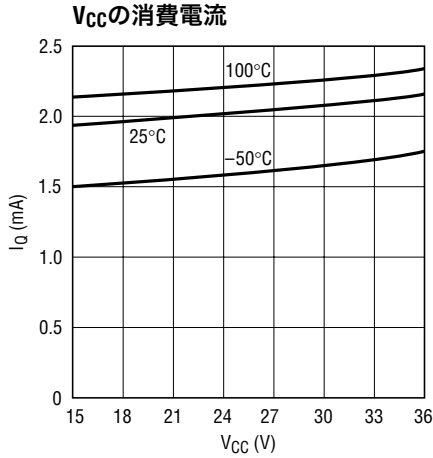


3469 G11

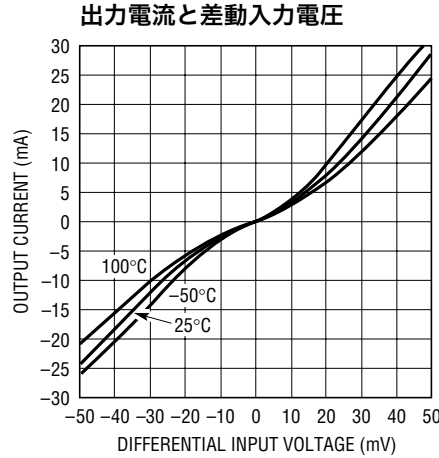
# LT3469

## 標準的性能特性

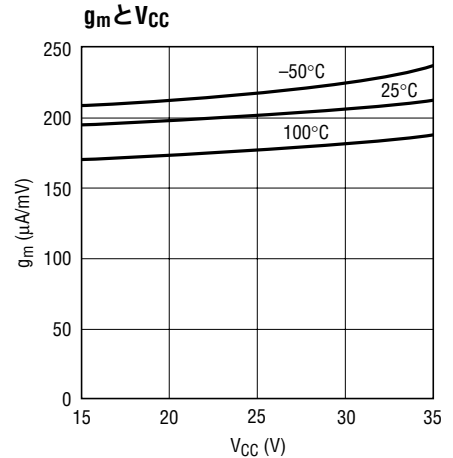
( $g_m$ アンプ)



3469 G01



3469 G02



3469 G14

## ピン機能

**OUT (ピン1):**  $g_m$ アンプの出力。10の利得設定では少なくとも5nFの容量性負荷が出力に必要です。このピンには最大300nFの容量性負荷を接続することができます。容量を並列に追加して全容量を5nFにすれば、5nF未満の圧電アクチュエータをドライブすることができます。

**FB (ピン2):** 帰還ピン。基準電圧は1.23Vです。帰還抵抗分割器をここに接続します。

**$V_{IN}$  (ピン3):** 入力電源ピン。ローカルにバイパスする必要があります。

**GND (ピン4):** グランド・ピン。ローカル・グランド・プレーンに直接接続します。

**SW (ピン5):** スイッチ・ピン。インダクタをここに接続します。このピンのトレース面積を小さくしてEMIを抑えます。

**$V_{CC}$  (ピン6):** スイッチング・レギュレータの出力および  $g_m$ アンプの電源レール。0.22 $\mu F$ 以上の容量がここに必要です。

**+IN (ピン7):**  $g_m$ アンプの非反転端子。

**-IN (ピン8):**  $g_m$ アンプの反転端子。

## ブロック図

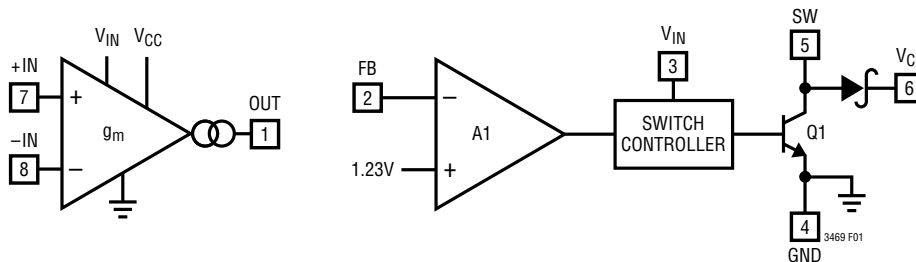


図1. LT3469のブロック図

3469f

## 動作

### g<sub>m</sub>アンプ

LT3469は出力電圧範囲の広いg<sub>m</sub>アンプで、容量性負荷をドライブするように設計されています。入力同相範囲は10Vからグランドまで達しています。出力電流は入力端子間の電圧差に比例します。出力電圧がセトリングすると、入力端子は同じ電圧になります。アンプの電源電流が低くなり、電力消費が低くなります。ただし、入力差が与えられると、出力電流は最大出力電流(標準40mA)までかなり増加することができます。出力電圧のスルーレートは最大出力電流と出力容量によって決まり、非常に高くなる場合があります。10nFの負荷では、出力のスルーレートは標準で4V/μsになります。容量性負荷はg<sub>m</sub>アンプを補償しますので、安定動作のために必要です。アンプの利得と容量の積は少なくとも50nFなければなりません。たとえば、10の利得設定でアンプを動作させる場合、最小5nFの容量が必要です。20の利得設定の場合、最小2.5nFが必要です。閉ループの-3dB帯域幅は出力の容量によって設定されます。標準的閉ループ帯域幅はおよそ次のとおりです。

$$\frac{g_m}{2\pi \cdot A_V \cdot C_{OUT}}$$

ここで、g<sub>m</sub> = 200μA/mV

たとえば、利得設定が10で、出力容量が10nFのアンプの閉ループ-3dB帯域幅は約300kHzになります。利得設定が10の場合の標準的帯域幅と出力容量の関係を図3に示します。

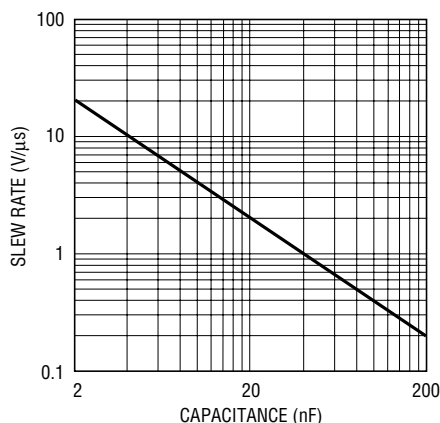


図2. スルーレートと容量

クロスオーバー周波数より下の負の位相の寄与を最小にする必要のあるアプリケーションでは、図4のように、位相ブースト・コンデンサを追加することができます。C<sub>BOOST</sub>の値を大きくすると、閉ループの負の位相の寄与がさらに減少しますが、アンプの位相マージンが減少します。アンプの位相マージンが約55°の場合、次のようにC<sub>BOOST</sub>を選択します。

$$C_{BOOST} = \frac{C_{OUT}(R1/R2 + 1)}{g_m(R1||R2)}$$

ここで、g<sub>m</sub> = 200μA/mVです。

利得設定が10の場合、上記のようにC<sub>BOOST</sub>を選択すると、C<sub>OUT</sub>の値が10nF~200nFのとき、3kHzでの閉ループの負の位相の寄与はほとんどゼロになります。C<sub>OUT</sub>が安定動作の最小値の2倍以下ならば、位相ブースト・コンデンサは使用しません。したがって、位相ブースト・コンデンサを使う場合、利得と容量の積は100nFより大きくします。

### スイッチング・レギュレータ

LT3469は固定周波数の電流モード制御方式を使って、優れたライン・レギュレーションとロード・レギュレーションを実現します。図1のブロック図を参照すると動作をよく理解できます。スイッチ・コントローラはその入力に比例したQ1のピーク電流を設定します。

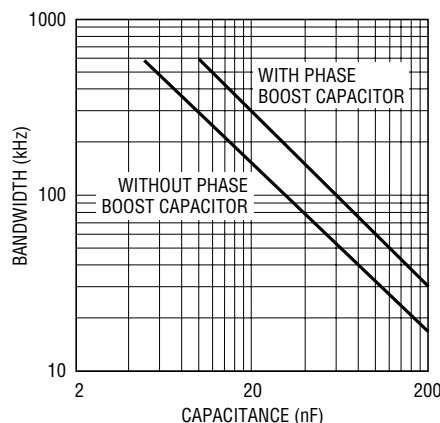


図3. 閉ループの-3dB帯域幅と10の利得設定の容量

## 動作

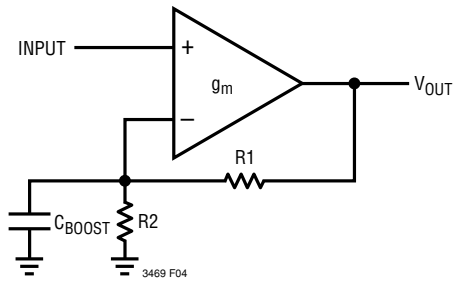


図4. 反転入力容量によるgmアンプの帯域幅のブースト

スイッチ・コントローラへの入力には誤差アンプA1によって設定され、帰還電圧と1.23Vのリファレンス電圧の差を単に増幅したものです。このようにして、誤差アンプは正しいピーク電流レベルを設定し、出力を安定化された状態に保ちます。誤差アンプの出力が増加すると出力に供給される電流が増加します。誤差アンプの出力が減少すると供給される電流が減少します。スイッチング・レギュレータはgmアンプ用の昇圧された電源電圧を供給します。

### インダクタの選択

LT3469のほとんどのアプリケーションには、47μHのインダクタを推奨します。用途に合った小型インダクタをいくつか表1に示します。異なったインダクタの効率の比較を図5に示します。

表1. 推奨インダクタ

PART NUMBER	DCR (Ω)	CURRENT RATING (mA)	MANUFACTURER
LQH32CN470	1.3	170	Murata 814-237-1431 www.murata.com
CMD4D11-470	2.8	180	Sumida 847-545-6700 www.Sumida.com
LBC2518T470M	1.9	150	Taiyo Yuden 408-573-4150 www.t-yuden.com

### コンデンサの選択

セラミック・コンデンサはサイズが小さいので、LT3469のアプリケーションに最適です。X5RとX7Rのタイプは、Y5VやZ5Uなど他のタイプに比べて広い電圧範囲と温度範囲で容量を維持するので推奨します。LT3469のほとんどのアプリケーションでは1μFの入力コンデンサで十分です。

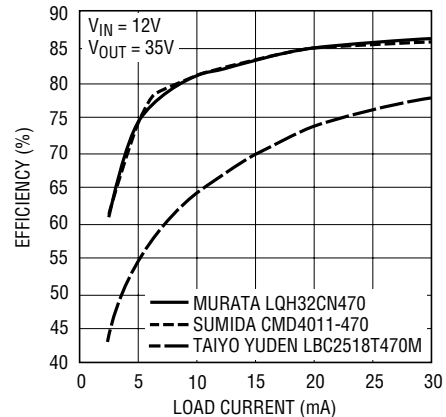


図5. 異なったインダクタの効率の比較

0.22μFの出力コンデンサは過渡応答を安定化するのに十分ですが、出力容量をもっと大きくすると、過渡時のVCC電圧の垂下を制限するのに役立ちます。

表2. 推奨セラミック・コンデンサ・メーカー

MANUFACTURER	PHONE	URL
Taiyo Yuden	408-573-4150	www.t-yuden.com
AVX	843-448-9411	www.avxcorp.com
Murata	814-237-1431	www.murata.com
Kemet	408-986-0424	www.kemet.com

### 活線挿入時の突入電流に関する検討事項

電源電圧がVINに加わると、VINとVCCの電圧差によって突入電流が発生し、入力からインダクタ、SWピンおよび内蔵ショットキー・ダイオードを通して流れ、出力コンデンサを充電します。LT3469の1Aの最大SWピン電流定格を超えないように注意が必要です。アプリケーション回路が出力容量の大きな電源に活線挿入されるとき、ワーストケースの突入電流が生じます。標準的なアプリケーション回路は、5V電源に活線挿入されるとき、SWピンのピーク電流を1A以下に保ちます。12V電源に活線挿入するときSWピンの電流を1A以下に保つには、電源とLT3469の入力コンデンサの間に4.7Ωを追加する必要があります。通常動作の間、SWピンの電流は1Aよりはるかに低いレベルに留まります。

### レイアウトのためのヒント

すべてのスイッチング・レギュレータの場合と同様、PCB基板のレイアウトと部品配置には細心の注意が必要です。効率を最大にするため、スイッチの立上り時間と立下り時間はできるだけ短くします。



## 動作

電磁干渉 (EMI) の問題を防ぐには、高周波数のスイッチング経路の適切なレイアウトが不可欠です。SWピンの電圧信号の立上りと立下りは鋭いエッジになります。VCCに接続されたメタルでSWピンの3方向を囲み、+INと-INをシールドします。SWピンに接続される全てのトレースの面積を最小にし、常にスイッチング・レギュレータの下にグランド・プレーンを使ってプレーン間の結合を最小に抑えます。さらに、帰還抵抗R1のグランド接続はGNDピンに直接接続し、他の部品と共有しないようにして、クリーンなノイズの無い接続とします。圧電セラミック・マイクロアクチュエータのグランド・リターンもGNDピンに直接、共有接続なしに、接続します。R5へのGND接続はINPUT信号を発生しているソースのグランドに直接接続し、GNDラインに沿った電圧降下に起因する誤差を防ぎます。推奨部品配置を図6に示します。

### 熱に関する検討事項と電力消費

LT3469は大きな出力ドライブを小さなパッケージで実現しています。電源電圧能力が高いので、デバイスを最大接合部温度を超える条件で動作させることができます。最大接合部温度 (T<sub>J</sub>) は周囲温度 (T<sub>A</sub>) および消費電力 (P<sub>D</sub>) から次のように計算されます。

$$T_J = T_A + (P_D \cdot 250^\circ\text{C/W})$$

ワーストケースの電力消費は、最大の出力振幅、周波数、容量およびV<sub>CC</sub>で生じます。矩形波入力の場合、電力消費はアンプの消費電流 (I<sub>Q</sub>)、入力周波数 (f)、出力振幅

(V<sub>OUT(P-P)</sub>)、容量性負荷 (C<sub>L</sub>)、アンプの電源電圧 (V<sub>CC</sub>) およびスイッチング・レギュレータの効率 (η) から次のように計算されます。

$$P_D = \frac{(I_Q + fV_{OUT(P-P)}C_L)(V_{CC})}{\eta}$$

例: T<sub>A</sub> = 70°C, V<sub>CC</sub> = 35V, C<sub>L</sub> = 200nF, f = 3kHz, V<sub>OUT(P-P)</sub> = 4V, η = 80%のときのLT3469:

$$P_D = \frac{(2.5\text{mA} + 3\text{kHz} \cdot 4\text{V} \cdot 200\text{nF})(35\text{V})}{0.80} = 214\text{mW}$$

$$T_J = 70^\circ\text{C} + (214\text{mW} \cdot 250^\circ\text{C/W}) = 124^\circ\text{C}$$

最大接合部温度の125°Cを超えません。

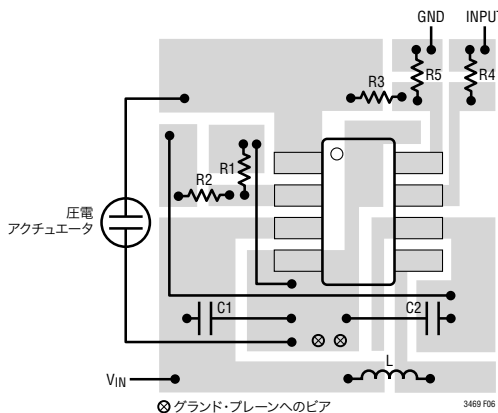
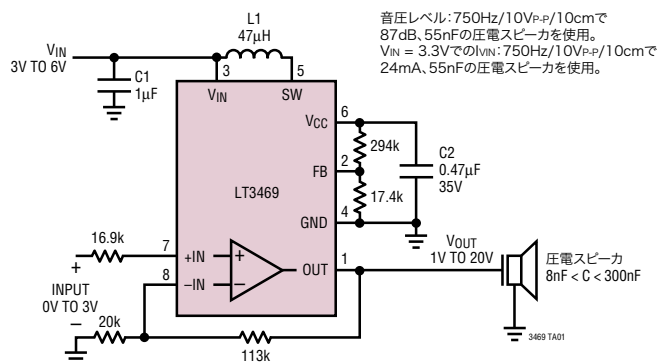


図6. 推奨部品配置

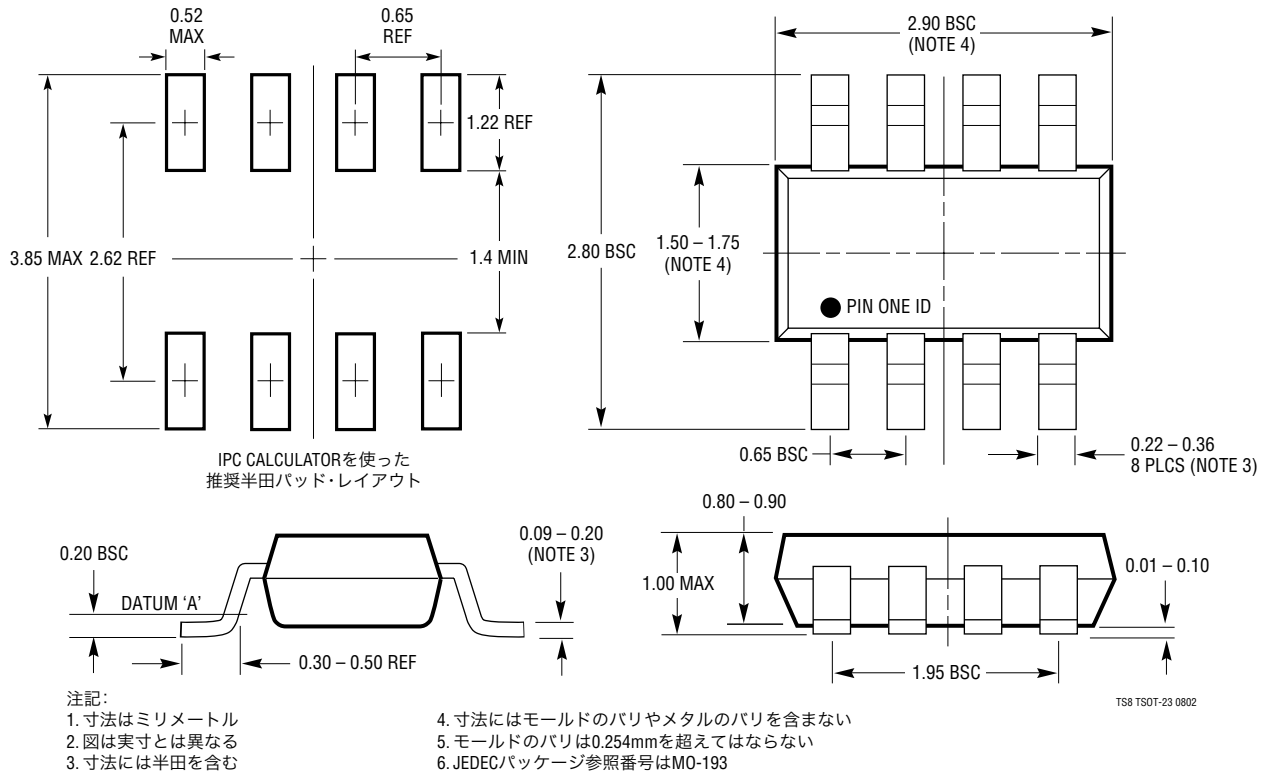
## 標準的応用例

### 圧電スピーカ・ドライバ



## パッケージ寸法

TS8パッケージ  
8ピン・プラスチックTSOT-23  
(Reference LTC DWG # 05-08-1637)



## 関連製品

製品番号	説明	注釈
LT1611	550mA (I <sub>SW</sub> )、1.4MHz、高効率反転DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> : 0.9V~10V、V <sub>OUT(MAX)</sub> : 34V、I <sub>Q</sub> : 3mA、I <sub>SD</sub> : <1μA、ThinSOT
LT1616	600mA (I <sub>OUT</sub> )、1.4MHz、高効率降圧DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> : 3.6V~25V、V <sub>OUT(MIN)</sub> : 1.25V、I <sub>Q</sub> : 1.9mA、I <sub>SD</sub> : <1μA、ThinSOT
LTC1772B	550kHz、電流モード降圧DC/DCコントローラ	V <sub>IN</sub> : 2.5V~9.8V、V <sub>OUT(MIN)</sub> : 0.8V、I <sub>Q</sub> : 270μA、I <sub>SD</sub> : <8μA、ThinSOT
LT1931/LT1931A	1A (I <sub>SW</sub> )、1.2MHz/2.2MHz、高効率反転DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> : 2.6V~16V、V <sub>OUT(MAX)</sub> : -34V、I <sub>Q</sub> : 4.2mA、I <sub>SD</sub> : <1μA、ThinSOT
LT1940 (デュアル)	デュアル出力1.4A (I <sub>OUT</sub> )、固定1.1MHz、高効率降圧DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> : 3V~25V、V <sub>OUT(MIN)</sub> : 1.2V、I <sub>Q</sub> : 2.5mA、I <sub>SD</sub> : <1μA、TSSOP-16E
LTC3411	1.25A (I <sub>OUT</sub> )、4MHz同期式降圧DC/DCコンバータ	V <sub>IN</sub> : 2.5V~5.5V、V <sub>OUT(MIN)</sub> : 0.8V、I <sub>Q</sub> : 60μA、I <sub>SD</sub> : <1μA、MS10、DFN
LT3464	85mA (I <sub>SW</sub> )、固定オフ時間、高効率昇圧DC/DCコンバータ、内蔵ショットキー・ダイオードおよび出力切断機能付き	V <sub>IN</sub> : 2.3V~10V、V <sub>OUT(MAX)</sub> : 34V、I <sub>Q</sub> : 25μA、I <sub>SD</sub> : <0.5μA、ThinSOT