

AD7745/AD7746

特長

- 容量デジタル・コンバータ (CDC)
 - シングルチップ・ソリューションの新標準
 - シングル/差動フローティング・センサーとのインターフェース
 - 最小分解能：4aF (最大有効ビット数：21)
 - 精度：4fF
 - 直線性：0.01%
 - コモン・モード容量：最大17pF
 - フルスケール容量入力範囲：±4pF
 - 寄生容量 (対グラウンド) に対する耐性：最大60pF
 - 更新レート：10~90Hz
 - 16Hzで50Hz、60Hz同時除去
- 温度センサー内蔵
 - 分解能：0.1°C、精度：±2°C
- 電圧入力チャンネル
- 内部クロック発振器
- 2線式シリアル・インターフェース (I²C[®]準拠)
- 電源
 - 単電源動作：2.7~5.25V
 - 消費電流：0.7mA
- 動作温度：-40~+125°C
- 16ピンTSSOPパッケージ

アプリケーション

- 下記用途に対応した自動車用、工業用、医療用システム
 - 圧力測定
 - 位置検知
 - レベル検知
 - 流量計
 - 湿度検知
 - 不純物検出

概要

AD7745/AD7746は、高分解能の $\Sigma\Delta$ (シグマ・デルタ) 容量デジタル・コンバータ (CDC) です。測定対象の容量は、デバイスの入力に直接接続します。高分解能 (24ビット・ノー・ミスコード、最大21ビットの有効分解能)、高直線性 ($\pm 0.01\%$)、高精度 ($\pm 4\text{fF}$ 、工場出荷時に校正) のアーキテクチャになっています。本製品の容量入力範囲は $\pm 4\text{pF}$ ですが、コモン・モードの容量は最大17pFであり、これは内蔵のプログラマブル・デジタル/容量コンバータ (CAPDAC) で調整できます。

容量入力チャンネルはAD7745が1個、AD7746は2個備えています。各チャンネルはシングルエンドまたは差動チャンネルとして構成できます。AD7745/AD7746は、フローティング容量センサー用として設計されています。プレート1枚をグラウンドに接続した容量センサーには、AD7747の使用を推奨します。

AD7745/AD7746は、分解能0.1°C、精度 $\pm 2^\circ\text{C}$ の温度センサーを内蔵しています。また、電圧リファレンスとクロック・ジェネレータを内蔵しているため、容量センサー・アプリケーションでは外部コンポーネントが不要です。本デバイスは標準電圧入力を備えており、この入力と差動リファレンス入力によって、RTD、サーミスタ、ダイオードなどの外部温度センサーと簡単にインターフェースをとることができます。

AD7745/AD7746は、I²C互換の2線式シリアル・インターフェースを備えており、いずれも2.7~5.25Vの単電源で動作します。これらは車載温度範囲-40~+125°Cで仕様規定されており、16ピンのTSSOPパッケージで提供されます。

機能ブロック図

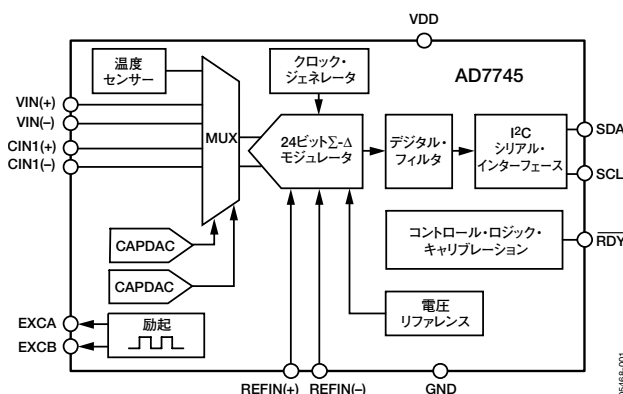


図1

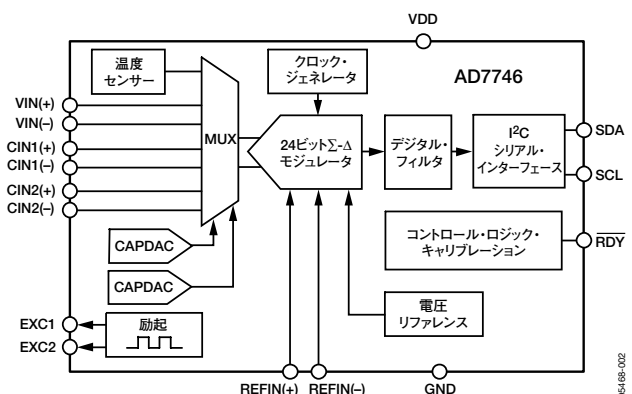


図2

アナログ・デバイセズ社は、提供する情報が正確で信頼できるものであることを期していますが、その情報の利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。また、アナログ・デバイセズ社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。仕様は、予告なく変更される場合があります。本紙記載の商標および登録商標は、各社の所有に属します。
※日本語データシートはREVISIONが古い場合があります。最新の内容については、英語版をご参照ください。
© 2005 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

REV. 0

AD7745/AD7746

目次

仕様	3	CAP GAIN CALIBRATION (容量ゲイン・キャリブレーション) レジスタ	19
タイミング仕様	5	VOLT GAIN CALIBRATION (電圧ゲイン・キャリブレーション) レジスタ	19
絶対最大定格	6	回路の説明	20
ピン配置と機能の説明	7	概要	20
代表的な性能特性	8	容量デジタル・コンバータ	20
出力ノイズと分解能の仕様	11	励起ソース	20
シリアル・インターフェース	12	CAPDAC	21
読み出し動作	12	シングルエンドの容量入力	21
書き込み動作	12	差動容量入力	21
AD7745/AD7746のリセット	13	グラウンドに対する寄生容量	22
汎用コール	13	グラウンドに対する寄生抵抗	22
レジスタの説明	14	寄生並列抵抗	22
STATUS (ステータス) レジスタ	15	寄生直列抵抗	23
CAP DATA (容量データ) レジスタ	15	容量ゲイン・キャリブレーション	23
VT DATA (電圧温度データ) レジスタ	15	容量システム・オフセット・キャリブレーション	23
CAP SETUP (容量設定) レジスタ	16	内部温度センサー	23
VT SETUP (電圧温度設定) レジスタ	16	外部温度センサー	24
EXC SETUP (励起設定) レジスタ	17	電圧入力	24
CONFIGURATION (構成) レジスタ	18	V _{DD} モニタ	24
CAPDAC A レジスタ	19	代表的なアプリケーション図	24
CAPDAC B レジスタ	19	外形寸法	25
CAP OFFSET CALIBRATION (容量オフセット・キャリブレーション) レジスタ	19	オーダー・ガイド	25

改訂履歴

2005年4月ーリビジョン0：初版

仕様

特に指定のない限り、 $V_{DD}=2.7\sim 3.6V$ または $4.75\sim 5.25V$ 、 $GND=0V$ 、 $EXC=32kHz$ 、 $EXC=\pm V_{DD}/2$ 、 $-40\sim +125^{\circ}C$ で仕様規定。

表1

パラメータ	Min	Typ	Max	単位	テスト条件/備考
容量入力					
変換入力範囲		± 4.096		pF ¹	工場出荷時に校正
積分非直線性 (INL) ²			± 0.01	FSRの%	
ノー・ミスコード ²	24			ビット	変換時間 $\geq 62ms$
分解能 (ピークtoピーク)		16.5		ビット	変換時間=62ms (表5を参照)
有効分解能		19		ビット	変換時間=62ms (表5を参照)
出力ノイズ (rms)		2		aF/ \sqrt{Hz}	表5を参照
絶対誤差 ³			± 4	fF ¹	25 $^{\circ}C$ 、 $V_{DD}=5V$ 、 オフセット・キャリブレーション後
オフセット誤差 ^{2, 4}			32	aF ¹	システム・オフセット・キャリブレーション後。ノイズの影響を除く ⁴
システム・オフセット・ キャリブレーション範囲 ²			± 1	pF	
オフセット・ドリフト 対 温度		-1		aF/ $^{\circ}C$	
ゲイン誤差 ⁵		0.02	0.08	FSの%	25 $^{\circ}C$ 、 $V_{DD}=5V$
ゲイン・ドリフト 対 温度 ²	-28	-26	-24	FS/ $^{\circ}C$ のppm	
GNDに対する許容量 ²			60	pF	図9と図10を参照
電源電圧変動除去比		0.3	1	fF/V	
ノーマル・モード除去比		65		dB	50Hz $\pm 1\%$ 、変換時間=62ms
		55		dB	60Hz $\pm 1\%$ 、変換時間=62ms
チャンネル間絶縁		70		dB	AD7746のみ
CAPDAC					
フルレンジ	17	21		pF	
分解能 ⁶		164		fF	7ビットCAPDAC
ドリフト 対 温度 ²	24	26	28	FS/ $^{\circ}C$ のppm	
励起					
周波数		32		kHz	
容量の両端の電圧		$\pm V_{DD}/8$		V	デジタル・インターフェース により設定可能
		$\pm V_{DD}/4$		V	
		$\pm V_{DD}\times 3/8$		V	
		$\pm V_{DD}/2$		V	
容量の両端の平均DC電圧			$< \pm 40$	mV	
GNDに対する許容量 ²			100	pF	図11を参照
温度センサー⁷					V_{REF} (内部)
分解能		0.1		$^{\circ}C$	
誤差 ²		± 0.5	± 2	$^{\circ}C$	内部の温度センサー 外部の温度検知ダイオード ⁸
		± 2		$^{\circ}C$	
電圧入力⁷					V_{REF} (内部) または $V_{REF}=2.5V$
差動VIN電圧範囲		$\pm V_{REF}$		V	
絶対VIN電圧 ²	$GND-0.03$		$V_{DD}+0.03$	V	
積分非直線性 (INL)		± 3	± 15	FSのppm	
ノー・ミスコード ²	24			ビット	変換時間=122.1ms
分解能 (ピークtoピーク)		16		ビット	変換時間=62ms
出力ノイズ		3		μV rms	表6と表7を参照 変換時間=62ms
オフセット誤差		± 3		μV	表6と表7を参照
オフセット・ドリフト 対 温度		15		nV/ $^{\circ}C$	
フルスケール誤差 ^{2, 9}		0.025	0.1	FSの%	

AD7745/AD7746

パラメータ	Min	Typ	Max	単位	テスト条件/備考
フルスケール・ドリフト 対 温度		5		FS/°Cのppm	内部リファレンス
平均VIN入力電流		0.5		FS/°Cのppm	外部リファレンス
アナログVIN入力電流ドリフト		300		nA/V	
電源電圧変動除去比		±50		pA/V/°C	
電源電圧変動除去比		80		dB	内部リファレンス、 $V_{IN}=V_{REF}/2$
ノーマル・モード除去比		90		dB	外部リファレンス、 $V_{IN}=V_{REF}/2$
同相ノイズ除去比		75		dB	50Hz±1%、変換時間=122.1ms
		50		dB	60Hz±1%、変換時間=122.1ms
		95		dB	$V_{IN}=1V$
内部リファレンス					
電圧	1.169	1.17	1.171	V	$T_A=25^\circ C$
ドリフト 対 温度		5		ppm/°C	
外部電圧リファレンス入力					
差動REFIN電圧 ²	0.1	2.5	V_{DD}	V	
絶対REFIN電圧 ²	GND-0.03		$V_{DD}+0.03$	V	
平均REFIN入力電流		400		nA/V	
平均REFIN入力電流ドリフト		±50		pA/V/°C	
同相ノイズ除去比		80		dB	
シリアル・インターフェース・ロジック入力 (SCL、SDA)					
ハイレベル入力電圧 (V_{IH})	2.1			V	
ローレベル入力電圧 (V_{IL})			0.8	V	
ヒステリシス		150		mV	
入力リーク電流 (SCL)		±0.1	±1	μA	
オープン・ドレイン出力 (SDA)					
ローレベル出力電圧 (V_{OL})			0.4	V	$I_{SINK}=-6.0mA$
ハイレベル出力リーク電流 (V_{OH})		0.1	1	μA	$V_{OUT}=V_{DD}$
ロジック出力 (RDY)					
ローレベル出力電圧 (V_{OL})			0.4	V	$I_{SINK}=1.6mA$ 、 $V_{DD}=5V$
ハイレベル出力電圧 (V_{OH})	4.0			V	$I_{SOURCE}=200\mu A$ 、 $V_{DD}=5V$
ローレベル出力電圧 (V_{OL})			0.4	V	$I_{SINK}=100\mu A$ 、 $V_{DD}=3V$
ハイレベル出力電圧 (V_{OH})	$V_{DD}-0.6$			V	$I_{SOURCE}=100\mu A$ 、 $V_{DD}=3V$
電源条件					
GNDに対する V_{DD} 電圧	4.75		5.25	V	$V_{DD}=5V$ 、公称
	2.7		3.6	V	$V_{DD}=3V$ 、公称
I_{DD} 電流			850	μA	V_{DD} または GNDに等しいデジタル入力
		750		μA	$V_{DD}=5V$
		700		μA	$V_{DD}=3.3V$
I_{DD} 電流パワーダウン・モード		0.5	2	μA	V_{DD} または GNDに等しいデジタル入力

¹ 容量の単位：1pF=10⁻¹²F、1fF=10⁻¹⁵F、1aF=10⁻¹⁸F

² これらの仕様については出荷テストを行っていませんが、量産開始時の特性評価データにより保証しています。

³ 工場出荷時に校正。絶対誤差はすべて25°Cにおける値で、工場出荷時のゲイン・キャリブレーション誤差、積分非直線性誤差、システム・オフセット・キャリブレーション後のオフセット誤差を含んでいます。他の温度については、温度変化に対しゲイン・ドリフトの補正が必要となります。

⁴ 容量入力オフセットは、システム・オフセット・キャリブレーションによって除去できます。システム・オフセット・キャリブレーションの精度は、オフセット・キャリブレーション・レジスタのLSBサイズ (32aF) またはシステム容量オフセット・キャリブレーション中のコンバータとシステムのピークtoピーク・ノイズのいずれか大きいほうによって制限されます。コンバータとシステムのノイズの影響を最小限に抑えるには、システム容量オフセット・キャリブレーションの変換時間を長くする必要があります。システム容量オフセット・キャリブレーションの範囲は±1pFですが、これより大きなオフセットはCAPDACで除去できます。

⁵ ゲイン誤差は、工場出荷時に25°Cで校正しています。これ以外の温度の場合は、温度変化に対しゲイン・ドリフトを補正する必要があります。

⁶ CAPDACの分解能はフルレンジで7ビットです。内蔵のオフセット・キャリブレーション機能を使用するか、容量オフセット・キャリブレーション・レジスタを調整して、CINオフセットまたは無変化のCIN成分を減らすことができます。

⁷ 仕様規定された温度センサーおよび電圧入力の性能を得るには、電圧温度設定レジスタのVTCHOPビットを1に設定する必要があります。

⁸ 非理想係数 (nf) =1.008の外部温度検知ダイオード2N3906 (全直列抵抗<100Ω) を図41のように接続して使用します。

⁹ 正側と負側のフルスケールの両方に当てはまります。

タイミング仕様

特に指定のない限り、 $V_{DD}=2.7\sim 3.6V$ または $4.75\sim 5.25V$ 、 $GND=0V$ 、入力ロジック0=0V、入力ロジック1= V_{DD} 、 $-40\sim +125^{\circ}C$ で仕様規定。

表2

パラメータ	Min	Typ	Max	単位	テスト条件/備考
シリアル・インターフェース ^{1,2}					図3を参照
SCL周波数	0		400	kHz	
SCLハイ・パルス幅 (t_{HIGH})	0.6			μs	
SCLロー・パルス幅 (t_{LOW})	1.3			μs	
SCL、SDA立上がり時間 (t_R)			0.3	μs	
SCL、SDA立下がり時間 (t_F)			0.3	μs	
ホールド時間 (開始条件) ($t_{HD:STA}$)	0.6			μs	この期間の後、最初のクロックが生成されます。
セットアップ時間 (開始条件) ($t_{SU:STA}$)	0.6			μs	反復開始条件に関連
データ・セットアップ時間 ($t_{SU:DAT}$)	0.25			μs	$V_{DD}\geq 3.0V$
データ・セットアップ時間 ($t_{SU:DAT}$)	0.35			μs	$V_{DD}< 3.0V$
セットアップ時間 (停止条件) ($t_{SU:STO}$)	0.6			μs	
データ・ホールド時間 ($t_{HD:DAT}$) (マスター)	0			μs	
バスフリー時間 (停止条件と開始条件の間、 t_{BUF})	1.3			μs	

¹ 量産開始時にサンプル・テストを実施して適合性を確認しています。

² すべての入力信号は、入力の立上がり/立下がり時間=3nsで仕様規定されており、10%と90%のポイント間で測定しています。タイミング基準点は入出力ともに50%のポイントです。出力負荷=10pF

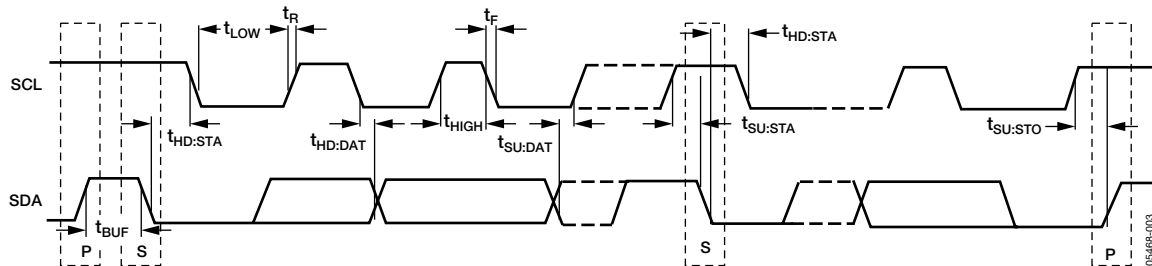


図3. シリアル・インターフェース・タイミング図

AD7745/AD7746

絶対最大定格

特に指定のない限り、 $T_A=25^{\circ}\text{C}$ で仕様規定。

表3

パラメータ	定格値
GNDに対する正の電源電圧 V_{DD}	-0.3~+6.5V
GNDに接続した入力ピンまたは出力ピンの電圧	-0.3V~ $V_{DD}+0.3\text{V}$
ESD定格 (ESD協会の規格S5.1 (人体モデル) に準拠)	2,000V
動作温度範囲	-40~+125 $^{\circ}\text{C}$
保存温度範囲	-65~+150 $^{\circ}\text{C}$
ジャンクション温度	150 $^{\circ}\text{C}$
TSSOPパッケージ θ_{JA} (空気との間の熱抵抗)	128 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$
TSSOPパッケージ θ_{JC} (ケースとの間の熱抵抗)	14 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$
リード温度範囲 (ハンダ処理)	
ベーキング時間 (60秒)	215 $^{\circ}\text{C}$
赤外線 (15秒)	220 $^{\circ}\text{C}$

左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。この規定はストレス定格のみを指定するものであり、この仕様の動作セクションに記載する規定値以上でのデバイス動作を定めたものではありません。デバイスを長時間絶対最大定格状態に置くと、デバイスの信頼性に影響を与えることがあります。

注意

ESD (静電放電) の影響を受けやすいデバイスです。人体や試験機器には4000Vもの高圧の静電気が容易に蓄積され、検知されないまま放電されることがあります。本製品は当社独自のESD保護回路を内蔵してはいますが、デバイスが高エネルギーの静電放電を被った場合、回復不能の損傷を生じる可能性があります。したがって、性能劣化や機能低下を防止するため、ESDに対する適切な予防措置を講じることをお勧めします。



ピン配置と機能の説明

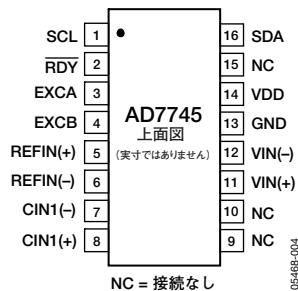


図4. AD7745のピン配置 (16ピンTSSOP)

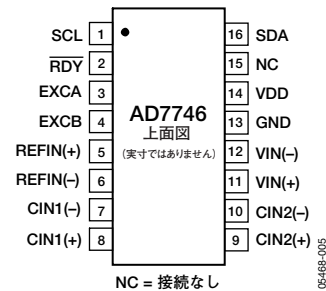


図5. AD7746のピン配置 (16ピンTSSOP)

表4. ピン機能の説明

ピン番号	記号	機能
1	SCL	シリアル・インターフェース・クロック入力。マスター・クロック・ラインに接続します。システムにブルアップ抵抗が搭載されていない場合は、実装する必要があります。
2	$\overline{\text{RDY}}$	ロジック出力。この出力の立下がりエッジで、イネーブルのチャンネルの変換が終了して新しいデータが使用可能になります。2線式のシリアル・インターフェースでステータス・レジスタを読み出し、関連ビットをデコードして終了した変換を確認することもできます。このピンを使用しない場合はオープンにしておきます。
3、4	EXCA、EXCB	CDCの励起出力。測定対象の容量はいずれかのEXCピンとCINピンの間に接続します。使用しない場合はオープンにしておきます。
5、6	REFIN (+) REFIN (-)	電圧チャンネル (ADC) 対応の差動リファレンス入力。オンチップの内部リファレンスを電圧チャンネルに使用することもできます。このリファレンス入力ピンは容量チャンネル (CDC) での変換には使用しません。使用しない場合は、オープンにしておくかGNDに接続します。
7	CIN1 (-)	差動モードにおけるCDCの負側容量入力。シングルエンドで構成する場合、このピンは内部的に非接続となります。使用しない場合は、オープンにしておくかGNDに接続します。
8	CIN1 (+)	CDCの容量入力 (シングルエンド・モードの場合) または正側の容量入力 (差動モードの場合)。測定対象の容量はいずれかのEXCピンとCINピンの間に接続します。使用しない場合は、オープンにしておくかGNDに接続します。
9、10 (AD7745)	NC	接続なし。ピンはオープンにしておきます。
9	CIN2 (+)	CDC第2容量入力 (シングルエンド・モードの場合) または正側の容量入力 (差動モードの場合)。使用しない場合は、オープンにしておくかGNDに接続します。
10	CIN2 (-)	差動モードにおけるCDCの負側容量入力。シングルエンドで構成する場合、このピンは内部的に非接続となります。使用しない場合は、オープンにしておくかGNDに接続します。
11、12	VIN (+)、VIN (-)	電圧チャンネル (ADC) 対応の差動電圧入力。このピンも、外部温度検知ダイオードとの接続に使用します。使用しない場合は、オープンにしておくかGNDに接続します。
13	GND	グラウンド・ピン
14	VDD	電源電圧。低インピーダンス・コンデンサを使って、たとえば10 μF のタンタル・コンデンサと0.1 μF の多層セラミック・コンデンサの並列組合わせを用いてこのピンをGNDにデカップリングする必要があります。
15	NC	接続なし。ピンはオープンにしておきます。
16	SDA	シリアル・インターフェース双方向データ。マスター・データラインに接続します。システムにブルアップ抵抗が搭載されていない場合は、実装する必要があります。

AD7745/AD7746

代表的な性能特性

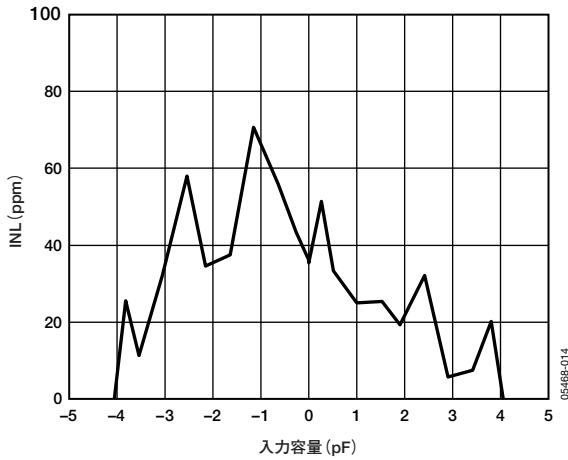


図6. 容量入力積分非直線性
($V_{DD}=5V$ 、図31と同じ構成)

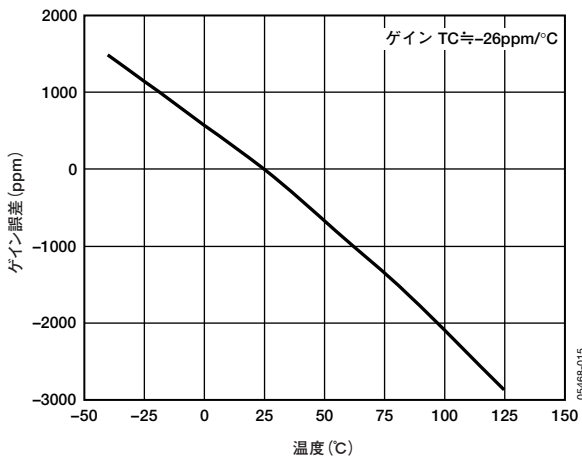


図7. 容量入力オフセット・ドリフトの温度特性
($V_{DD}=5V$ 、CINピンとEXCピンはオープン・サーキット)

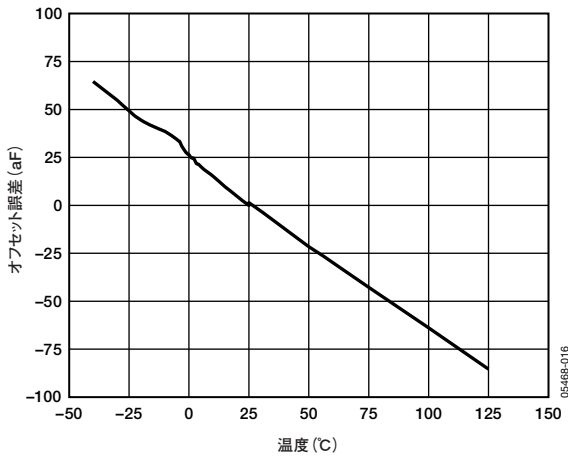


図8. 容量入力ゲイン・ドリフトの温度特性
($V_{DD}=5V$ 、CIN (+) \rightarrow EXC=4pF、
図30と同じ構成)

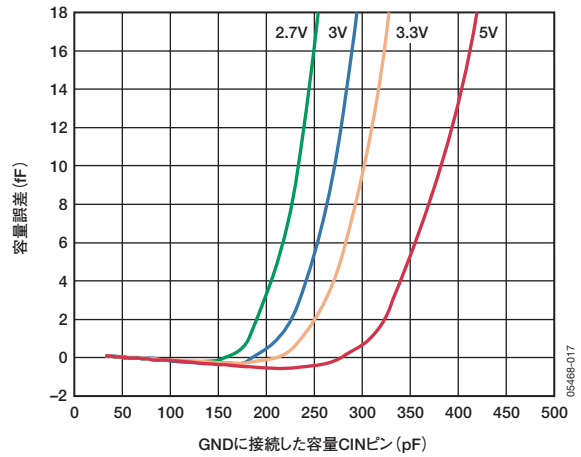


図9. CINとGND間の容量 対 容量入力誤差
(CIN (+) \rightarrow EXC=4pF、CIN (-) \rightarrow
EXC=0pF、 $V_{DD}=2.7V$ 、3V、3.3V、5V、
図33と同じ構成)

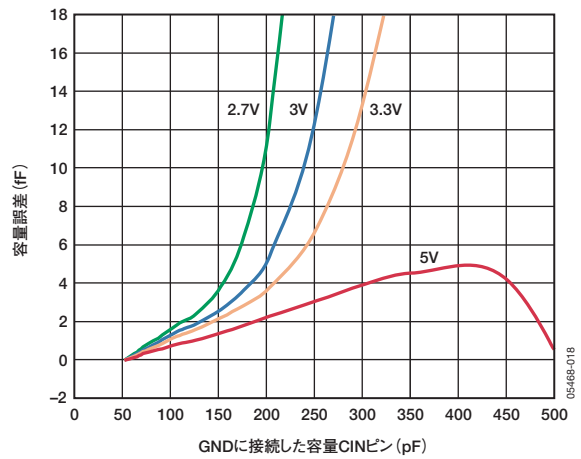


図10. CINとGND間の容量 対 容量入力誤差
(CIN (+) \rightarrow EXC=21pF、CIN (-) \rightarrow
EXC=23pF、 $V_{DD}=2.7V$ 、3V、3.3V、5V、
図34と同じ構成)

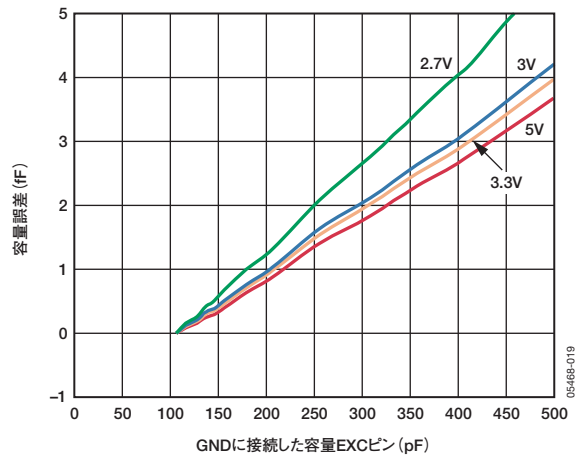


図11. EXCとGND間の容量 対 容量入力誤差
(CIN (+) \rightarrow EXC=21pF、CIN (-) \rightarrow
EXC=23pF、 $V_{DD}=2.7V$ 、3V、3.3V、5V、
図34と同じ構成)

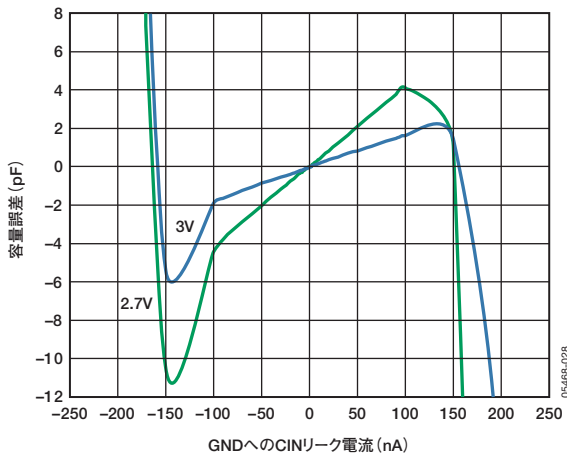


図12. GNDへのリーク電流 対 容量入力誤差 (CIN (+)→EXC=4pF、CIN (-)→EXC=0pF、 V_{DD} =2.7Vおよび3V)

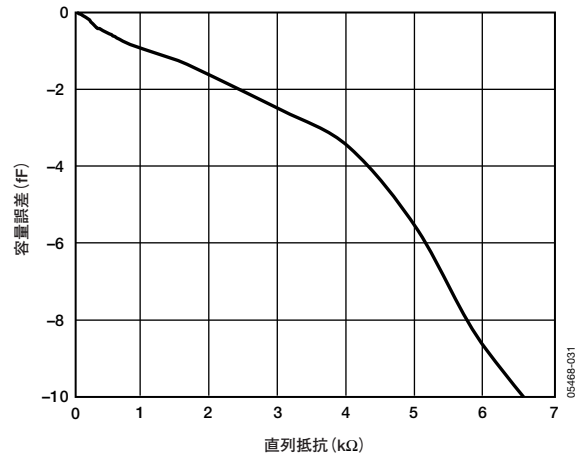


図15. 直列抵抗 対 容量入力誤差 (CIN (+)→EXC=21pF、CIN (-)→EXC=23pF、 V_{DD} =5V、図34と同じ構成)

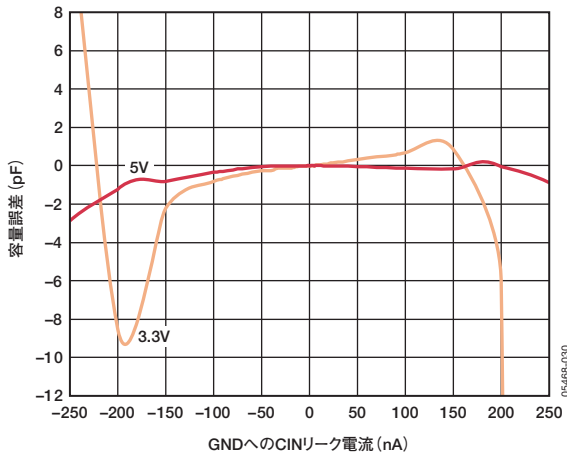


図13. GNDへのリーク電流 対 容量入力誤差 (CIN (+)→EXC=4pF、CIN (-)→EXC=0pF、 V_{DD} =3.3Vおよび5V)

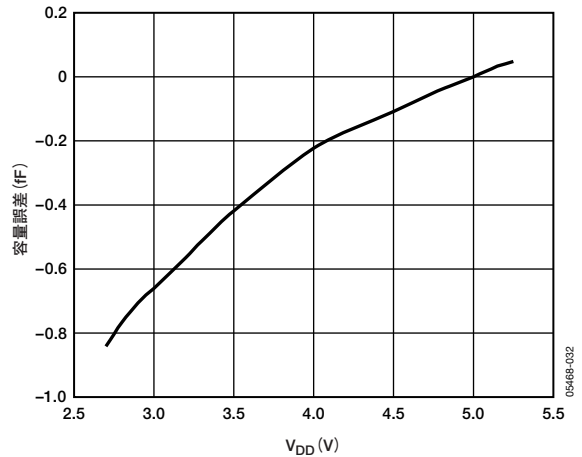


図16. 容量入力の電源電圧変動除去比 (PSR) (CIN (+)→EXC=4pF、図30と同じ構成)

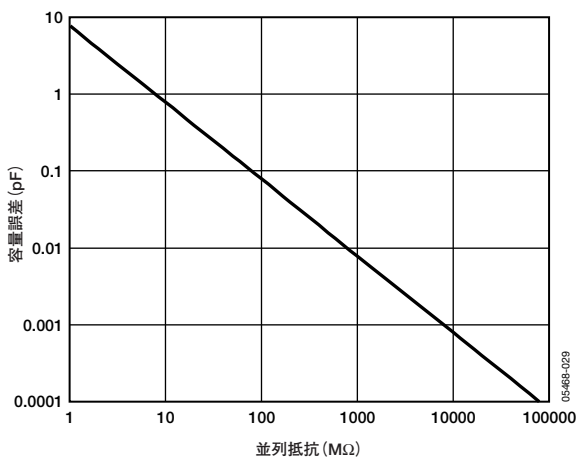


図14. 測定対象の容量と並列に接続した抵抗 対 容量入力誤差

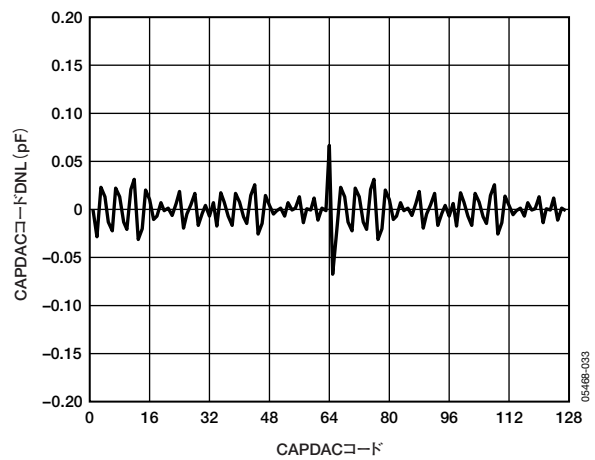


図17. CAPDAC微分非直線性 (DNL)

AD7745/AD7746

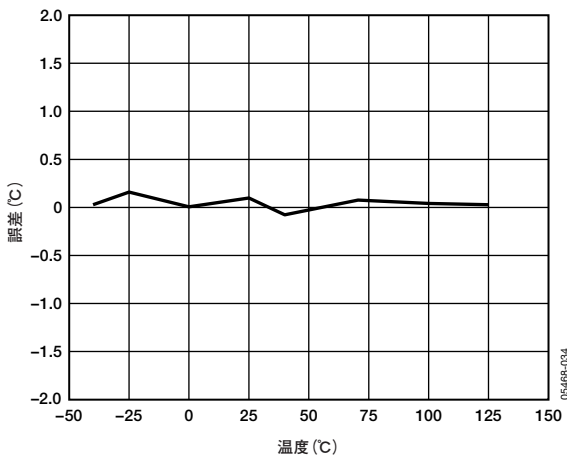


図18. 内部温度センサー誤差の温度特性

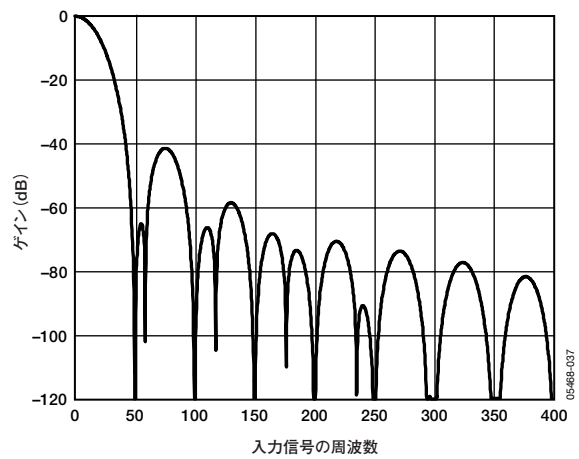


図21. 容量チャンネル周波数応答
(変換時間=62ms)

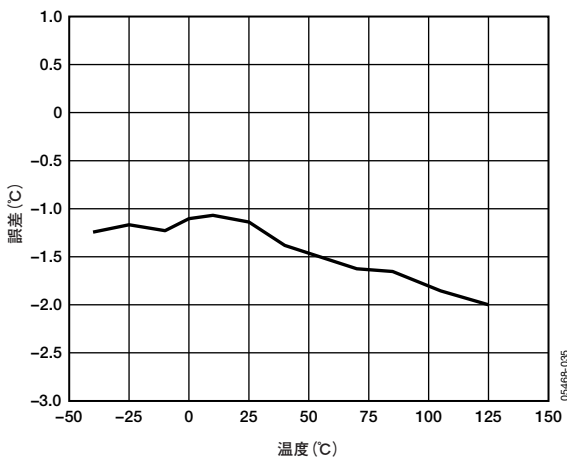


図19. 外部温度センサー誤差の温度特性

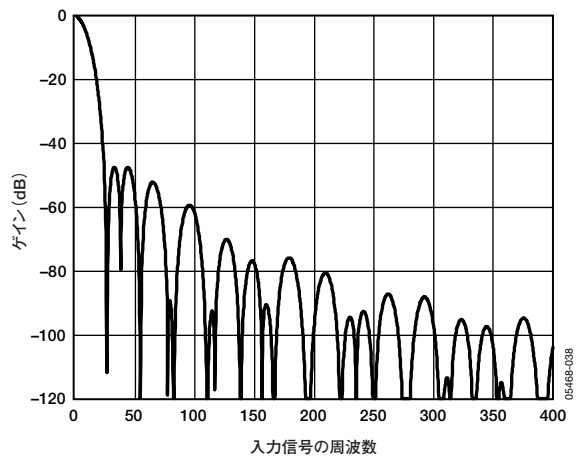


図22. 容量チャンネル周波数応答
(変換時間=109.6ms)

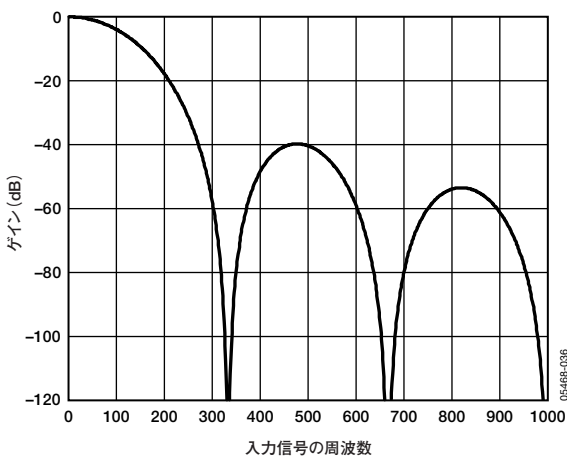


図20. 容量チャンネル周波数応答
(変換時間=11ms)

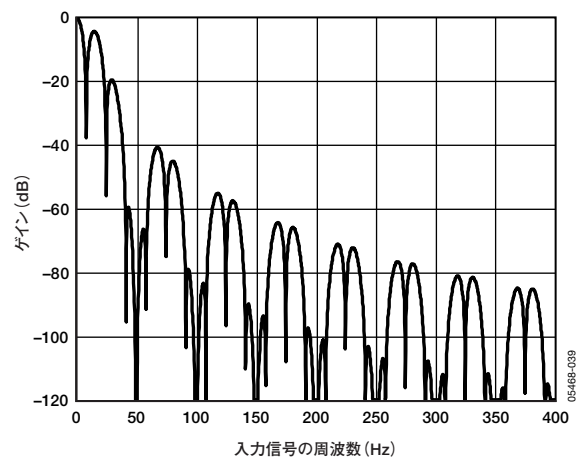


図23. 電圧チャンネル周波数応答
(変換時間=122.1ms)

出力ノイズと分解能の仕様

AD7745/AD7746の分解能はノイズにより制限され、ノイズ性能は選択した変換時間に応じて変動します。

表5に、容量チャンネルの代表的なノイズ性能と分解能を示します。表の数値は、連続変換モードで得た1000個のデータ・サンプルに基づいています。32kHzの励起、 $\pm V_{DD}/2$ を使用し、CINピンとEXCピンは評価用ボードのみに接続しました（外部コンデンサは不使用）。

表6と表7に、電圧チャンネルの代表的なノイズ性能と分解能を示します。この数値も、連続変換モードで得た1000個のデータ・サンプルに基づいています。VINピンはグラウンドに短絡しました。

rmsノイズは標準偏差を表し、ピークtoピーク・ノイズはデータにおける最小結果値と最大結果値との差を表しています。有効分解能はrmsノイズから、ピークtoピーク分解能はピークtoピーク・ノイズから算出しています。

表5. 代表的な容量入力ノイズと分解能 対 変換時間

変換時間 (ms)	出力データレート (Hz)	-3dB周波数 (Hz)	rmsノイズ (aF/√Hz)	rmsノイズ (aF)	ピークtoピーク・ノイズ (aF)	有効分解能 (ビット)	ピークtoピーク分解能 (ビット)
11.0	90.9	87.2	4.3	40.0	212.4	17.6	15.2
11.9	83.8	79.0	3.1	27.3	137.7	18.2	15.9
20.0	50.0	43.6	1.8	12.2	82.5	19.4	16.6
38.0	26.3	21.8	1.6	7.3	50.3	20.1	17.3
62.0	16.1	13.8	1.5	5.4	33.7	20.5	17.9
77.0	13.0	10.5	1.5	4.9	28.3	20.7	18.1
92.0	10.9	8.9	1.5	4.4	27.8	20.8	18.2
109.6	9.1	8.0	1.5	4.2	27.3	20.9	18.2

表6. 代表的な電圧入力ノイズと分解能 対 変換時間 (内部電圧リファレンス)

変換時間 (ms)	出力データレート (Hz)	-3dB周波数 (Hz)	rmsノイズ (μV)	ピークtoピーク・ノイズ (μV)	有効分解能 (ビット)	ピークtoピーク分解能 (ビット)
20.1	49.8	26.4	11.4	62	17.6	15.2
32.1	31.2	15.9	7.1	42	18.3	15.7
62.1	16.1	8.0	4.0	28	19.1	16.3
122.1	8.2	4.0	3.0	20	19.5	16.8

表7. 代表的な電圧入力ノイズと分解能 対 変換時間 (2.5Vの外部電圧リファレンス)

変換時間 (ms)	出力データレート (Hz)	-3dB周波数 (Hz)	rmsノイズ (μV)	ピークtoピーク・ノイズ (μV)	有効分解能 (ビット)	ピークtoピーク分解能 (ビット)
20.1	49.8	26.4	14.9	95	18.3	15.6
32.1	31.2	15.9	6.3	42	19.6	16.8
62.1	16.1	8.0	3.3	22	20.5	17.7
122.1	8.2	4.0	2.1	15	21.1	18.3

AD7745/AD7746

シリアル・インターフェース

AD7745/AD7746は、I²C互換の2線式シリアル・インターフェースを備えています。I²Cバスの2本のラインは、SCL（クロック）、SDA（データ）と呼ばれ、接続先のすべての周辺デバイスに、アドレス情報、制御情報、データ情報を1ビットずつ送信します。SDAラインがデータを送信し、SCLラインはデータ伝送時に送信と受信を同期させます。I²Cデバイスは、マスターまたはスレーブに分類されます。データ伝送メッセージを開始するデバイスがマスターであり、このメッセージに応答するのがスレーブです。

このバスでAD7745/AD7746デバイスを制御するには、次のプロトコルに従う必要があります。まず、マスターが開始条件を確立してデータ伝送を開始します。開始条件は、SCLがハイの間にSDAがハイからローに遷移することです。これによって後続がスタート・バイトであることがわかります。8ビットのスタート・バイトは、7ビットのアドレスと、読出し/書き込みを示すR/Wビットで構成されています。

バスに接続されている周辺デバイスはすべて、開始条件に 응답し、次の8ビット（7ビットのアドレスとR/Wビット）にシフトします。これらのビットはMSBファーストです。送信されたアドレスを認識した周辺デバイスは、9番目のクロック・パルス中にデータ・ラインをローに引き込むことで応答します。これは、アクノレッジ・ビット（ACK）と呼ばれます。この時点で他のデバイスはすべてこのバスから退いて、アイドル状態を維持します。汎用のコール・アドレスは例外ですが、このアドレスについては後で説明します。アイドル状態とは、デバイスがSDAラインとSCLラインを監視しながら開始条件と適正なアドレス・バイトを待っている状態のことです。また、R/Wビットはデータの伝送方向を決めます。スタート・バイトのLSBが0であれば、マスターはアドレス指定された周辺デバイスに情報を書き込みます。この場合、AD7745/AD7746はスレーブ・レシーバとなります。スタート・バイトのLSBが1なら、マスターはアドレス指定された周辺デバイスから情報を読み出します。この場合、AD7745/AD7746はスレーブ・トランスミッタとなります。いずれの場合も、AD7745/AD7746はI²Cバス上で標準的なスレーブ・デバイスとして動作します。

AD7745/AD7746のスタート・バイト・アドレスは、書き込みの場合0x90、読出しの場合0x91となります。

読出し動作

スタート・バイトで読出しが選択されている場合、AD7745/AD7746はアドレス・ポイントによってアドレス指定されているレジスタのデータをSDAラインに送信します。次に、マスター・デバイスはそのデータをクロック出力し、AD7745/AD7746はマスターからのアクノレッジを待ちます。

マスターからのアクノレッジを受信すると、自動アドレス・インクリメントによってアドレス・ポイント・レジスタが自動的にインクリメントされ、アドレス指定された次のレジスタの内容がSDAラインに出力され、マスターに送信されます。ノーアクノレッジを受信した場合、AD7745/AD7746はアイドル状態に戻り、アドレス・ポイントはインクリメントされません。

アドレス・ポイントの自動インクリメントでは、開始アドレスや後続のインクリメンタル・アドレスからのデータの書込み/読出しをブロックすることができます。

連続変換モードでは、変換結果を読み出すためにアドレス・ポイントの自動インクリメントを使用します。つまり3つ別々のシングルバイト・トランザクションではなく、1つのマルチバイト・リード・トランザクションを使って、3つのデータ・バイトを読み出します。シングルバイト・データ・リード・トランザクションを使用すると、2つの異なる結果のデータ・バイトが混ざってしまう場合があります。容量チャンネルと電圧/温度チャンネルの両方がイネーブルの場合は、6つのデータ・バイトに同じことが当てはまります。

すべてのレジスタを更新しなくても1対1ベースで任意の固有のレジスタ（アドレス）にアクセスすることもできます。アドレス・ポイント・レジスタの内容は読み出すことができません。

間違ったアドレス・ポイント位置にアクセスするか、あるいは自動インクリメントでレジスタのアドレスを必要以上にインクリメントすると、以下の状態になります。

- 読出しモードの場合、AD7745/AD7746はマスター・デバイスがノーアクノレッジ、開始条件、または停止条件を発行するまで内部レジスタのさまざまな内容を出力し続けます。アドレス・ポイントの自動インクリメントの内容は、読出し動作終了時に停止条件を受信するとアドレス0x00のステータス・レジスタを指し示すようリセットされます。これによって、アドレス・ポイントへの定期的な書込みを行わなくてもステータス・レジスタを継続的に読み出す（ポーリングする）ことができます。
- 書き込みモードでは、無効なアドレスのデータがAD7745/AD7746にロードされることはありませんが、アクノレッジは発行されます。

書込み動作

書込みが選択されているときは、スタート・バイトの後続バイトは必ずレジスタ・アドレス・ポイント（サブアドレス）バイトとなります。このバイトは、AD7745/AD7746の内部レジスタの1つを指し示します。アドレス・ポイント・バイトはアドレス・ポイント・レジスタに自動的にロードされ、AD7745/AD7746によってアクノレッジされます。アドレス・ポイント・バイトのアクノレッジ後に、マスターは停止条件、反復開始条件、または別のデータ・バイトを発行します。

停止条件は、SCLがハイの間にSDAがローからハイに遷移することです。停止条件を受信すると、AD7745/AD7746はアイドル状態に戻り、アドレス・ポイントはアドレス0x00にリセットされます。

レジスタ・アドレス・ポイント・バイトの後にデータ・バイトが送信されると、AD7745/AD7746は、アドレス・ポイント・レジスタでアドレス指定されているレジスタにこのバイトをロードし、アクノレッジを送信します。そして、アドレス・ポイントの自動インクリメントによってアドレス・ポイント・レジスタが次の内部レジスタ・アドレスへと自動的にインクリメントします。したがって、これ以降送信されるデータ・バイトは順次インクリメントされるアドレスにロードされます。

アドレス・ポインタ・バイトの後に反復開始条件を受信すると、バスに接続されている周辺デバイスはすべて、前述の開始条件のときとまったく同じように応答します。つまり、反復開始条件は開始条件と同様に扱われます。マスター・デバイスは、停止条件を発行するとバスの制御権を放棄し、他のマスター・デバイスがその制御権を取得できるようにします。したがって、バスの制御権を保持したいマスターは反復開始条件と呼ばれる連続的な開始条件を発行します。

AD7745/AD7746のリセット

I²Cバス全体をリセットせずにAD7745/AD7746をリセットするには、明示的なリセット・コマンドを用います。これには特定のアドレス・ポインタ・ワードをコマンド・ワードとして使用し、デバイスをリセットして、デフォルトのすべての設定をアップロードします。AD7745/AD7746は、デフォルト値をアップロードする約150μs（最大200μs）の間、I²Cバス・コマンドに応答しません（アクノレッジを発行しません）。

リセット・コマンド・アドレス・ワードは0xBFです。

汎用コール

マスターが7個の0からなるスレーブ・アドレス（8番目のR/Wビットは0に設定）を発行した場合、それは汎用コール・アドレスとみなされます。汎用コール・アドレスは、I²Cに接続されているすべてのデバイスをアドレス指定するためのものです。AD7745/AD7746はこのアドレスをアクノレッジし、次のデータ・バイトを読み出します。

2番目のバイトが0x06の場合、AD7745/AD7746はリセットされ、すべてのデフォルト値をアップロードします。AD7745/AD7746は、デフォルト値をアップロードする約150μs（最大200μs）の間、I²Cバス・コマンドに応答しません（アクノレッジを発行しません）。

AD7745/AD7746は、他の汎用コール・コマンドには応答しません。

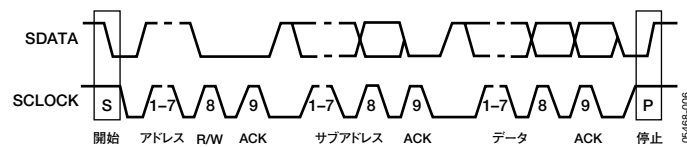


図24. バス・データの移転

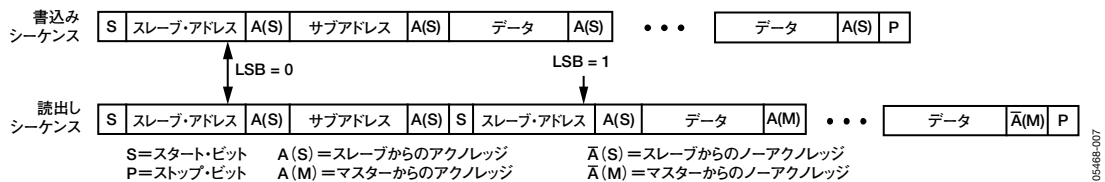


図25. 書込み／読出しシーケンス

AD7745/AD7746

レジスタの説明

マスターは、書き込み専用レジスタであるアドレス・ポインタ・レジスタ以外、AD7745/AD7746レジスタのすべてに対して書き込み/読出しを行うことができます。アドレス・ポインタ・レジスタは、どのレジスタに次の書き込み/読出し動作を行うか指定します。バスを介したデバイスとの通信はすべて、アドレス・ポインタ・レジスタへのアクセスから始まります。バスを

使ってデバイスへのアクセスを行い、読出しまたは書き込み動作を選択すると、アドレス・ポインタ・レジスタが設定されます。このレジスタによって、読出し/書き込み先のレジスタが決まります。読出し/書き込み動作はターゲットのアドレスに対して行われます。この後、バスを介して停止コマンドが実行されるまで次のアドレスへのインクリメントを行います。

表8. レジスタの概要

レジスタ	アドレス・ポインタ		動作	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
	(10進)	(16進)		デフォルト値							
STATUS (ステータス)	0	0x00	R	— 0	— 0	— 0	— 0	EXCERR 0	RDY 1	RDYVT 1	RDYCAP 1
CAP DATA (容量データ) H	1	0x01	R	容量チャンネル・データ (上位バイト、0x00)							
CAP DATA (容量データ) M	2	0x02	R	容量チャンネル・データ (中位バイト、0x00)							
CAP DATA (容量データ) L	3	0x03	R	容量チャンネル・データ (下位バイト、0x00)							
VT DATA (電圧温度データ) H	4	0x04	R	電圧/温度チャンネル・データ (上位バイト、0x00)							
VT DATA (電圧温度データ) M	5	0x05	R	電圧/温度チャンネル・データ (中位バイト、0x00)							
VT DATA (電圧温度データ) L	6	0x06	R	電圧/温度チャンネル・データ (下位バイト、0x00)							
CAP SETUP (容量設定)	7	0x07	R/W	CAPEN 0	CIN2 ¹ 0	CAPDIFF 0	— 0	— 0	— 0	— 0	CAPCHOP 0
VT SETUP (電圧温度設定)	8	0x08	R/W	VTEN 0	VTMD1 0	VTMD0 0	EXTREF 0	— 0	— 0	VTSHORT 0	VTCHOP 0
EXC SETUP (励起設定)	9	0x09	R/W	CLKCTRL 0	EXCON 0	EXCB 0	EXCB 0	EXCA 0	EXCA 0	EXCLVL1 1	EXCLVL0 1
CONFIGURATION (構成)	10	0x0A	R/W	VTFS1 1	VTFS0 0	CAPFS2 1	CAPFS1 0	CAPFS0 0	MD2 0	MD1 0	MD0 0
CAP (容量) DAC A	11	0x0B	R/W	DACAENA 0	DAC A (7ビット値) 0x00						
CAP (容量) DAC B	12	0x0C	R/W	DACBENB 0	DAC B (7ビット値) 0x00						
CAP OFFSET (容量オフセット) H	13	0x0D	R/W	容量オフセット・キャリブレーション (上位バイト、0x80)							
CAP OFFSET (容量オフセット) L	14	0x0E	R/W	容量オフセット・キャリブレーション (下位バイト、0x00)							
CAP GAIN (容量ゲイン) H	15	0x0F	R/W	容量ゲイン・キャリブレーション (上位バイト、工場出荷時に校正)							
CAP GAIN (容量ゲイン) L	16	0x10	R/W	容量ゲイン・キャリブレーション (下位バイト、工場出荷時に校正)							
VOLT GAIN (電圧ゲイン) H	17	0x11	R/W	電圧ゲイン・キャリブレーション (上位バイト、工場出荷時に校正)							
VOLT GAIN (電圧ゲイン) L	18	0x12	R/W	電圧ゲイン・キャリブレーション (下位バイト、工場出荷時に校正)							

¹ CIN2ビットはAD7746のみに関係します。AD7745では、CIN2ビットを必ず0にします。

STATUS (ステータス) レジスタ

アドレス・ポインタ0x00、読み専用、デフォルト値0x07

ステータス・レジスタはコンバータの状態を示します。変換の終了を照会するために、2線式のシリアル・インターフェースを介してこのレジスタを読み出すことができます。

$\overline{\text{RDY}}$ ピンはRDYビットの状態を反映しています。したがって、 $\overline{\text{RDY}}$ ピンのハイからローへの遷移を利用して変換の終了を知ることができます。

表9. ステータス・レジスタのビット・マップ

ビット	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
記号	—	—	—	—	EXCERR	RDY	RDYVT	RDYCAP
デフォルト	0	0	0	0	0	1	1	1

表10

ビット	記号	説明
7~4	—	未使用。常に読み出し0
3	EXCERR	EXCERR=1は励起出力を適正に駆動できないことを示しています。ショートしているか、励起ピンとグラウンド間の容量が大きすぎる可能性があります。
2	RDY	RDY=0は、イネーブルのチャンネル上での変換が終了し、読み出していない新しいデータがあることを示しています。容量チャンネルと電圧/温度チャンネルの両方がイネーブルの場合、RDYビット値は両チャンネル上での変換終了後に0に変わります。RDYビット値はデータの読み出し時または次の変換の終了前に1に戻ります。たとえば、容量チャンネルのみがイネーブルになっていれば、RDYビットはRDYCAPビットと同じ値になります。
1	RDYVT	RDYVT=0は、電圧/温度チャンネル上での変換が終了し、読み出していない新しいデータがあることを示しています。
0	RDYCAP	RDYCAP=0は、容量チャンネル上での変換が終了し、読み出していない新しいデータがあることを示しています。

CAP DATA (容量データ) レジスタ

24ビット、アドレス・ポインタ0x01、0x02、0x03、読み専用、デフォルト値0x000000

容量チャンネル出力データ。レジスタは、容量チャンネルで変換が終了すると更新されます。ただし唯一の例外として、シリアル・インターフェースで容量データ・レジスタの読み出しを行っている間はデータ・レジスタは更新されず、新しい容量変換結果は失われます。

シリアル・インターフェース上の停止条件は、読み出し動作の終了とみなされます。したがって、データの破損を防ぐには、シリアル・インターフェースのレジスタ・アドレス・ポインタの自動インクリメント機能を使って、データ・レジスタの3バイトを順次読み出す必要があります。

変換結果の一部が失われないよう、容量チャンネル上での次の変換の終了前に容量データ・レジスタを読み出す必要があります。

0x000000コードは負側のフルスケール (-4.096pF)、0x800000コードはゼロスケール (0pF)、0xFFFFFコードは正側のフルスケール (+4.096pF) を表します。

VT DATA (電圧温度データ) レジスタ

24ビット、アドレス・ポインタ0x04、0x05、0x06、読み専用、デフォルト値0x000000

電圧/温度チャンネル出力データ。レジスタは、電圧チャンネルまたは温度チャンネルで変換が終了すると更新されます。ただし唯一の例外として、シリアル・インターフェースで電圧温度データ・レジスタの読み出しを行っている間はデータ・レジスタは更新されず、新しい電圧/温度変換結果は失われます。

シリアル・インターフェース上の停止条件は、読み出し動作の終了とみなされます。したがって、データの破損を防ぐには、シリアル・インターフェースのレジスタ・アドレス・ポインタの自動インクリメント機能を使って、データ・レジスタの3バイトを順次読み出す必要があります。

電圧入力の場合、コード0は負側のフルスケール ($-V_{\text{REF}}$)、0x800000コードはゼロスケール (0V)、0xFFFFFコードは正側のフルスケール ($+V_{\text{REF}}$) を表します。

変換結果の一部が失われないよう、電圧/温度チャンネル上での次の変換の終了前に電圧温度データ・レジスタを読み出す必要があります。

温度センサーの場合は、次の式を使ってコードから温度を計算することができます。

$$\text{温度 (}^{\circ}\text{C)} = (\text{コード} / 2048) - 4096$$

AD7745/AD7746

CAP SETUP (容量設定) レジスタ

アドレス・ポインタ0x07、デフォルト値0x00

容量チャンネル設定

表11. 容量設定レジスタのビットマップ

ビット	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
記号	CAPEN	CIN2	CAPDIFF	—	—	—	—	CAPCHOP
デフォルト	0	0	0	0	0	0	0	0

表12

ビット	記号	説明
7	CAPEN	CAPEN=1は、シングル変換、連続変換、またはキャリブレーションのために容量チャンネルをイネーブルにします。
6	CIN2	CIN2=1は、AD7746で内部マルチプレクサを第2の容量入力に切り換えます。
5	CAPDIFF	DIFF=1は、選択した容量入力で差動モードを設定します。
4~1	—	適正な動作のためには0に設定します。
0	CAPCHOP	指定した容量チャンネル動作を行うには、CAPCHOPビットを0に設定する必要があります。CAPCHOP=1に設定すると、容量チャンネル変換時間が約2倍となり、最長変換時間の容量チャンネル・ノイズ性能がわずかに改善します。

VT SETUP (電圧温度設定) レジスタ

アドレス・ポインタ0x08、デフォルト値0x00

電圧/温度チャンネル設定

表13. 電圧温度設定レジスタのビットマップ

ビット	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
記号	VTEN	VTMD1	VTMD0	EXTREF	—	—	VTSHORT	VTCHOP
デフォルト	0	0	0	0	0	0	0	0

表14

ビット	記号	説明															
7	VTEN	VTEN=1は、シングル変換、連続変換、またはキャリブレーションのために電圧/温度チャンネルをイネーブルにします。															
6	VTMD1 VTMD0	電圧/温度チャンネル入力構成															
5		<table border="1"> <thead> <tr> <th>VTMD1</th> <th>VTMD0</th> <th>チャンネル入力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>内部温度センサー</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>外部温度センサー・ダイオード</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>V_{DD}モニタ</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>外部電圧入力 (VIN)</td> </tr> </tbody> </table>	VTMD1	VTMD0	チャンネル入力	0	0	内部温度センサー	0	1	外部温度センサー・ダイオード	1	0	V _{DD} モニタ	1	1	外部電圧入力 (VIN)
VTMD1		VTMD0	チャンネル入力														
0		0	内部温度センサー														
0		1	外部温度センサー・ダイオード														
1	0	V _{DD} モニタ															
1	1	外部電圧入力 (VIN)															
4	EXTREF	EXTREF=1は、電圧入力またはV _{DD} モニタ用のREFIN (+)、REFIN (-) に接続する外部リファレンス電圧を選択します。 EXTREF=0は、オンチップの内部リファレンスを選択します。適正な動作を行うには、内部温度センサーで内部リファレンスを使用する必要があります。															
3~2	—	適正な動作のためには0に設定します。															
1	VTSHORT	VTSHORT=1は、テスト用の設定であり、電圧/温度チャンネル入力を内部でショートさせます。															
0	VTCHOP=1	VTCHOP=1は、電圧/温度チャンネル上で内部チョッピングを設定します。 指定した電圧/温度チャンネル動作を行うには、VTCHOPビットを1に設定する必要があります。															

EXC SETUP (励起設定) レジスタ

アドレス・ポインタ0x09、デフォルト値0x03

容量チャンネル励起設定

表15. 励起設定レジスタのビットマップ

ビット	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
記号	CLKCTRL	EXCON	EXCB	$\overline{\text{EXCB}}$	EXCA	$\overline{\text{EXCA}}$	EXCLVL1	EXCLVL0
デフォルト	0	0	0	0	0	0	0	0

表16

ビット	記号	説明																									
7	CLKCTRL	CLKCTRLビットは、AD7745/AD7746の仕様規定された性能を得るために、0に設定してください。 CLKCTRL=1は、励起信号の周波数とモジュレータのクロック周波数を1/2に減らします。 また、すべてのチャンネル（容量、電圧、温度）の変換時間が2倍になります。																									
6	EXCON	EXCON=0のときは、容量チャンネル変換中のみ出力で励起信号が得られます。 EXCON=1のときは、容量チャンネル変換中も電圧/温度変換中も出力で励起信号が得られます。																									
5	EXCB	EXCB=1は、EXCBピンを励起出力としてイネーブルにします。																									
4	$\overline{\text{EXCB}}$	$\overline{\text{EXCB}}$ =1は、EXCBピンを反転励起出力としてイネーブルにします。 適正な動作のためには、EXCBまたは $\overline{\text{EXCB}}$ ビットの片方のみを設定します。																									
3	EXCA	EXCA=1は、EXCAピンを励起出力としてイネーブルにします。																									
2	$\overline{\text{EXCA}}$	$\overline{\text{EXCA}}$ =1は、EXCAピンを反転励起出力としてイネーブルにします。 適正な動作のためには、EXCAまたは $\overline{\text{EXCA}}$ ビットの片方のみを設定します。																									
1 0	EXCLV1、 EXCLVL0	励起電圧レベル																									
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>EXCLVL1</th> <th>EXCLVL0</th> <th>容量の電圧</th> <th>励起ピン (ローレベル)</th> <th>励起ピン (ハイレベル)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>$\pm V_{DD}/8$</td> <td>$V_{DD} \times 3/8$</td> <td>$V_{DD} \times 5/8$</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>$\pm V_{DD}/4$</td> <td>$V_{DD} \times 1/4$</td> <td>$V_{DD} \times 3/4$</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>$\pm V_{DD} \times 3/8$</td> <td>$V_{DD} \times 1/8$</td> <td>$V_{DD} \times 7/8$</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>$\pm V_{DD}/2$</td> <td>0</td> <td>V_{DD}</td> </tr> </tbody> </table>	EXCLVL1	EXCLVL0	容量の電圧	励起ピン (ローレベル)	励起ピン (ハイレベル)	0	0	$\pm V_{DD}/8$	$V_{DD} \times 3/8$	$V_{DD} \times 5/8$	0	1	$\pm V_{DD}/4$	$V_{DD} \times 1/4$	$V_{DD} \times 3/4$	1	0	$\pm V_{DD} \times 3/8$	$V_{DD} \times 1/8$	$V_{DD} \times 7/8$	1	1	$\pm V_{DD}/2$	0	V_{DD}
EXCLVL1	EXCLVL0	容量の電圧	励起ピン (ローレベル)	励起ピン (ハイレベル)																							
0	0	$\pm V_{DD}/8$	$V_{DD} \times 3/8$	$V_{DD} \times 5/8$																							
0	1	$\pm V_{DD}/4$	$V_{DD} \times 1/4$	$V_{DD} \times 3/4$																							
1	0	$\pm V_{DD} \times 3/8$	$V_{DD} \times 1/8$	$V_{DD} \times 7/8$																							
1	1	$\pm V_{DD}/2$	0	V_{DD}																							

AD7745/AD7746

CONFIGURATION (構成) レジスタ

アドレス・ポインタ0x0A、デフォルト値0xA0

コンバータの更新レートと動作設定のモード

表17. 構成レジスタのビットマップ

ビット	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
記号	VTF1	VTF0	CAPF2	CAPF1	CAPF0	MD2	MD1	MD0
デフォルト	0	0	0	0	0	0	0	0

表18

ビット	記号	説明					
7	VTF1	電圧/温度チャンネル・デジタル・フィルタの設定 (変換時間/更新レートの設定) この表の変換時間は、励起設定レジスタのCLKCTRLが0の場合に有効です。 CLKCTRL=1では、変換時間が2倍になります。					
6	VTF0						
			VTCHOP=1				
	VTF1		VTF0	変換時間 (ms)	更新レート (Hz)	-3dB周波数 (Hz)	
	0		0	20.1	49.8	26.4	
	0		1	32.1	31.2	15.9	
	1	0	62.1	16.1	8.0		
	1	1	122.1	8.2	4.0		
5	CAPF2	容量チャンネル・デジタル・フィルタの設定 (変換時間/更新レートの設定) この表の変換時間は、励起設定レジスタのCLKCTRLが0の場合に有効です。 CLKCTRL=1では、変換時間が2倍になります。					
4	CAPF1						
3	CAPF0						
			CAP CHOP=0				
	CAPF2		CAPF1	CAPF0	変換時間 (ms)	更新レート	-3dB周波数 (Hz)
	0		0	0	11.0	90.9	87.2
	0		0	1	11.9	83.8	79.0
	0		1	0	20.0	50.0	43.6
	0		1	1	38.0	26.3	21.8
	1		0	0	62.0	16.1	13.1
	1	0	1	77.0	13.0	10.5	
	1	1	0	92.0	10.9	8.9	
	1	1	1	109.6	9.1	8.0	
2	MD2	動作設定のコンバータ・モード					
1	MD1	MD2	MD1	MD0	モード		
0	MD0	0	0	0	アイドル		
		0	0	1	連続変換		
		0	1	0	シングル変換		
		0	1	1	パワーダウン		
		1	0	0	-		
		1	0	1	容量システム・オフセット・キャリブレーション		
		1	1	0	容量/電圧システム・ゲイン・キャリブレーション		
		1	1	1			

CAPDAC Aレジスタ

アドレス・ポインタ0x0B、デフォルト値0x00
容量DAC設定

表19. CAPDAC Aレジスタのビットマップ

ビット	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
記号	DACAENA	DAC A-7ビット値						
デフォルト	0	0x00						

表20

ビット	記号	説明
7	DACAENA	DACAENA=1は、容量DAC Aを正側の容量入力に接続します。
6~1	DACA	DACA値、コード0x00≐0pF、コード0x7F≐フルレンジ

CAPDAC Bレジスタ

アドレス・ポインタ0x0C、デフォルト値0x00
容量DAC設定

表21. CAPDAC Bレジスタのビットマップ

ビット	ビット7	ビット6	ビット5	ビット4	ビット3	ビット2	ビット1	ビット0
記号	DACBENB	DAC B-7ビット値						
デフォルト	0	0x00						

表22

ビット	記号	説明
7	DACBENB	DACBENB=1は、容量DAC Bを負側の容量入力に接続します。
6~1	DACB	DAC Bの値、コード0x00≐0pF、コード0x7F≐フルレンジ

CAP OFFSET CALIBRATION (容量オフセット・キャリブレーション) レジスタ

16ビット、アドレス・ポインタ0x0D、0x0E、
デフォルト値0x8000

容量オフセット・キャリブレーション・レジスタは、容量チャンネル・ゼロスケール・キャリブレーション係数を保持します。この係数は、容量チャンネル・オフセットをデジタル的に除去するために使用します。レジスタの値は、容量オフセット・キャリブレーション後に自動的に更新されます。このキャリブレーションの分解能 (容量オフセット・レジスタのLSB) は32aF未満となります。フルレンジは1pFです。

AD7746では、2つの容量チャンネルがレジスタを共有します。容量チャンネルごとにオフセット・キャリブレーションが必要な場合は、それぞれのチャンネルでオフセット・キャリブレーションを実行した後に、ホストのコントローラ・ソフトウェアでAD7746の容量オフセット・キャリブレーション・レジスタの値を読み出し、その値をAD7746に再ロードした後、もう一方のチャンネルで変換を実行します。

CAP GAIN CALIBRATION (容量ゲイン・キャリブレーション) レジスタ

16ビット、アドレス・ポインタ0x0F、0x10、
デフォルト値0xXXXX

容量ゲイン・キャリブレーション・レジスタは、容量チャンネル・フルスケール係数 (工場出荷時に校正) を保持します。AD7746では、レジスタを2つの容量チャンネルが共有します。

VOLT GAIN CALIBRATION (電圧ゲイン・キャリブレーション) レジスタ

16ビット、アドレス・ポインタ0x11、0x12、
デフォルト値0xXXXX

電圧ゲイン・キャリブレーション・レジスタは、電圧チャンネル・フルスケール係数 (工場出荷時に校正) を保持します。

AD7745/AD7746

回路の説明

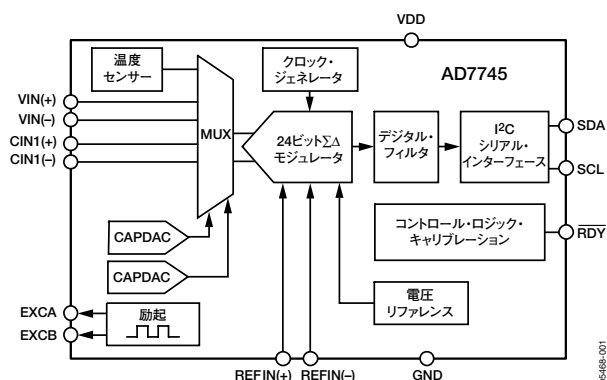


図26. AD7745のブロック図

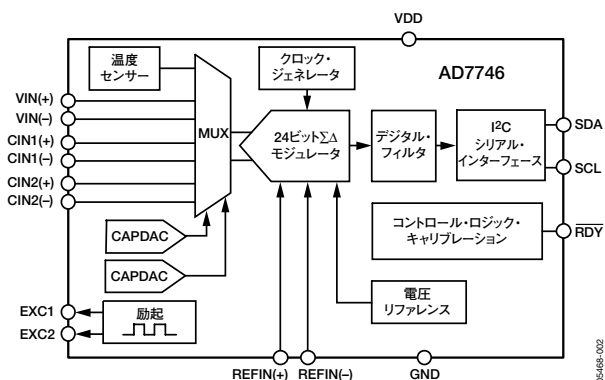


図27. AD7746のブロック図

概要

AD7745/AD7746のコアは、2次（ $\Sigma\Delta$ または電荷平衡）モジュレータと3次デジタル・フィルタで構成される高精度コンバータです。このコンバータは、容量入力に対してはCDCとして動作し、電圧入力または温度センサーからの電圧に対してはADCとして動作します。

AD7745/AD7746は、コンバータ以外に、マルチプレクサ、励起ソース、容量入力用のCAPDAC、温度センサー、電圧/温度入力用の電圧リファレンス、完全なクロック・ジェネレータ、コントロール/キャリブレーション・ロジック、I²C互換シリアル・インターフェースを内蔵しています。

容量入力はAD7745が1個、AD7746は2個備えています。AD7745とAD7746の他の機能や仕様はすべて同じです。

容量デジタル・コンバータ (CDC)

図28はCDC機能の簡略図です。測定対象の容量 C_x は、励起ソースと $\Sigma\Delta$ モジュレータ入力間に接続しています。方形波の励起信号は変換中に C_x に送信され、モジュレータが C_x を通る電荷を持続的にサンプリングします。モジュレータの出力は、デジタル・フィルタで処理されます。この出力は、0と1の情報を含む0と1のビット・ストリームです。デジタル・フィルタからのデータはスケールされており（キャリブレーション係数を適用）、最終的な結果はシリアル・インターフェースを介して読み出すことができます。

AD7745/AD7746は、フローティング容量センサー用として設計されています。そのため、 C_x の両端子はグラウンドから絶縁する必要があります。

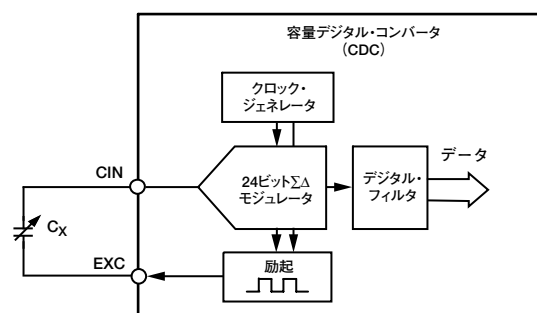


図28. CDCの簡略ブロック図

励起ソース

2本の励起ピンEXCAとEXCBは、個別にプログラミングできます。これらは同じように機能するため、どちらも容量センサーの励起に使用できます。

2チャンネルのAD7746の場合は、各容量チャンネルにそれぞれ別の励起ピンを使用することを推奨します。

CAPDAC

AD7745/AD7746CDCのフルスケール入力範囲は±4.096pFですが、計算を簡単にするために、以下の説明と図では±4pFを使用します。本デバイスは比較的高い容量を入力でき、内蔵のプログラマブルCAPDACによってコモン・モードまたはオフセット(変化しない成分)容量のバランスをとることができます。

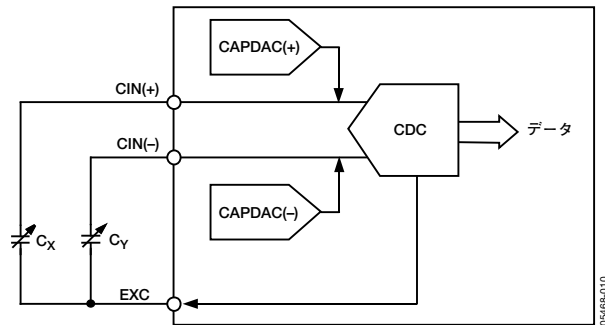


図29. CAPDACの使用

CAPDACは、CINピンに内部的に接続された負の容量とみなすことができます。2個の独立したCAPDACがあり、1つはCIN (+) に接続し、もう1つはCIN (-) に接続しています。容量入力データと容量出力データの関係は、次式で表すことができます。

$$DATA \div (C_x - CAPDAC(+)) - (C_y - CAPDAC(-))$$

CAPDACは7ビットの分解能、単調な伝達関数を提供します。これらは互いによくマッチングしており、温度係数が規定されています。CAPDACのフルレンジ(絶対値)は工場出荷時に校正されていないため、製造工程に応じて最大±20%のばらつきがあります。仕様と図17の代表的な性能特性を参照してください。

AD7746では、2つの容量チャンネルがCAPDACを共用します。CAPDACを個別に設定する必要がある場合は、別のチャンネルで変換を実行する前に、ホストのコントローラ・ソフトウェアでCAPDAC値をAD7746に再ロードします。

シングルエンドの容量入力

シングルエンド・モード(容量設定レジスタのCAPDIFFビットを0に設定)構成のときは、AD7745/AD7746のCIN (-) ピンは内部的に未接続の状態となります。CDC (CAPDAC不使用) は、0~4pFの範囲で正の入力容量のみを測定します(図30を参照)。

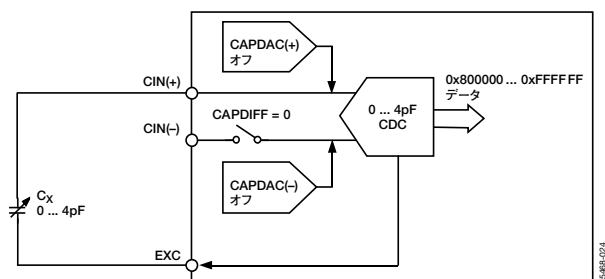


図30. CDCシングルエンド入力モード

CAPDACによって、入力範囲の設定変更を行うことができます。図31の例は、CDCのフルスケール±4pFを使って0~8pF間の容量を測定する方法を示しています。

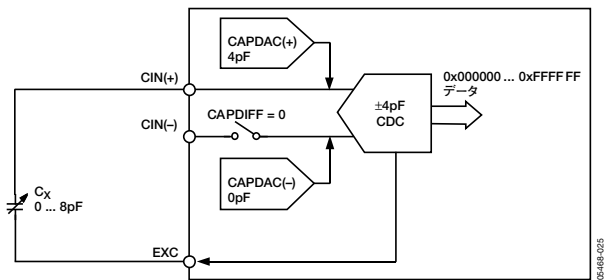


図31. シングルエンド・モードでのCAPDACの使用

図32は、入力範囲をさらに変更する方法を示しています。CIN (+) に接続された容量の最大絶対値は21pFです。

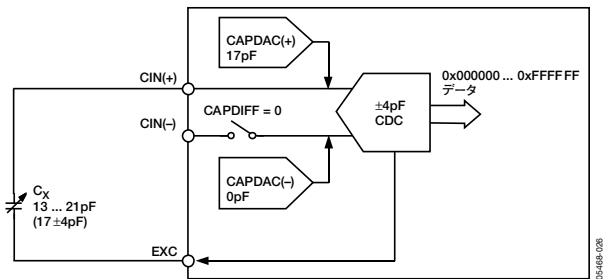


図32. シングルエンド・モードでのCAPDACの使用

差動容量入力

差動モード(容量設定レジスタのCAPDIFFビットを1に設定)構成のときは、AD7745/AD7746のCDCは正側の容量入力と負側の容量入力との差を測定します。

EXCピンとCINピン間にある2つの入力容量CxおよびCyは、それぞれ4pF未満とするか(CAPDAC不使用)、あるいは21pF未満とし、CAPDACで平衡化を行う必要があります。CAPDACによる平衡化とは、Cx-CAPDAC (+) とCy-CAPDAC (-) の両方が4pF未満になることを指します。

EXCピンとCINピンの間の不平衡な容量が4pFより大きいと、CDCではゲイン誤差、オフセット誤差、非直線性誤差が発生します。

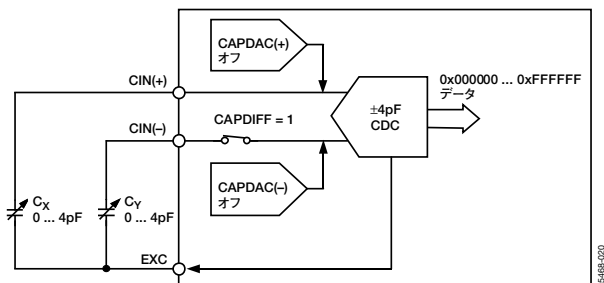


図33. CDC差動入力モード

AD7745/AD7746

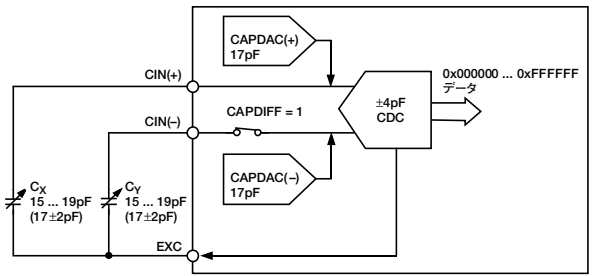


図34. 差動モードでのCAPDACの使用

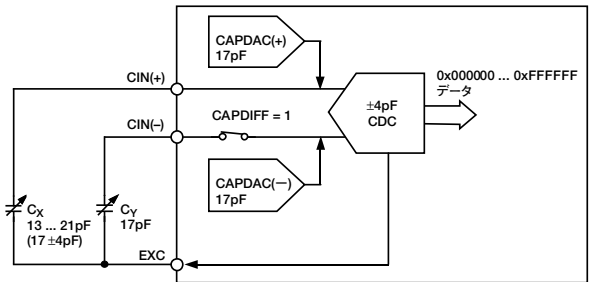


図35. 差動モードでのCAPDACの使用

グラウンドに対する寄生容量

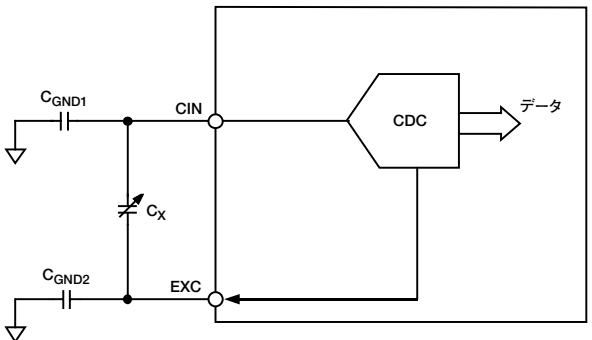


図36. グラウンドに対する寄生容量

AD7745/AD7746で使用するCDCアーキテクチャでは、EXCピンとCINピンの間に接続した容量 C_X を測定します。理論的には、グラウンドに対する容量 C_P がCDCの結果に影響を及ぼすことはありません (図36を参照)。

実際にはチップに回路を実装することによって何らかの制限が生じ、結果はグラウンドに対する容量の影響を次第に受けるようになります。仕様書の「容量入力」と「励起」の「GNDに対する許容容量」を参照してください。また、図9、図10、図11の代表的な性能特性も参照してください。

グラウンドに対する寄生抵抗

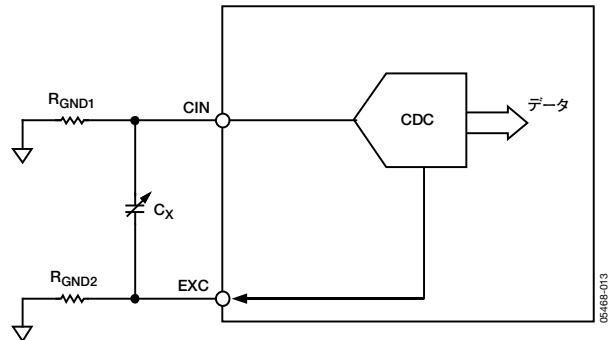


図37. グラウンドに対する寄生抵抗

AD7745/AD7746のCDCの結果は、 C_X からグラウンドに漏れるリーク電流の影響を受けるため、 C_X とグラウンドは絶縁する必要があります。リーク電流の影響は電源電圧に応じて異なります。下記の限界値は、 C_X とグラウンド間の許容リーク電流または等価抵抗の指針として使用してください (図37)。

$$V_{DD} \approx 5V: I_{GND} < 150nA \text{ (すなわち, } R_{GND} > 30M\Omega)$$

$$V_{DD} \approx 3V: I_{GND} < 60nA \text{ (すなわち, } R_{GND} > 50M\Omega)$$

$$V_{DD} \approx 2.7V: I_{GND} < 30nA \text{ (すなわち, } R_{GND} > 100M\Omega)$$

グラウンドに漏れるリーク電流が大きいと、ゲイン誤差、オフセット誤差、非線形誤差が発生します。図12、13の代表的な性能特性を参照してください。

寄生並列抵抗

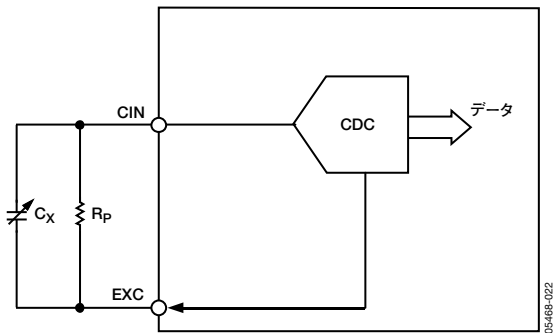


図38. 寄生並列抵抗

AD7745/AD7746のCDCは、EXCピンとCINピン間の電荷移動を測定します。測定対象の容量 C_X と並列に接続されている抵抗 (センサーの寄生抵抗など) もすべて電荷を移動させます (図38を参照)。したがって、並列抵抗は出力データに追加される容量とみなされます。等価の並列容量 (または並列抵抗に起因する誤差) は、次式で概算できます。

$$C_P = \frac{1}{R_P \times F_{EXC} \times 4}$$

ここで、 R_P は並列抵抗、 C_{EXC} は励起周波数です。図14の代表的な性能特性を参照してください。

寄生直列抵抗

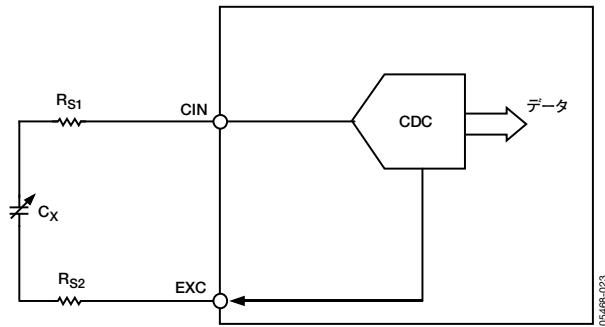


図39. 寄生直列抵抗

AD7745/AD7746のCDCの結果は、測定対象の容量に直列に接続された抵抗の影響を受けます。図39の全直列抵抗 $R_{S1} + R_{S2}$ を $1k\Omega$ 未満とすることで、指定の性能を実現できます。図15の代表的な性能特性を参照してください。

容量ゲイン・キャリブレーション

AD7745/AD7746のゲインは、各デバイスを個別に生産する段階で $\pm 4.096pF$ のフルスケールに校正されています。工場出荷時のゲイン係数は、ワнтаイム・プログラマブル (OTP) メモリに保存されており、パワーアップ時またはリセット後に容量ゲイン・レジスタにコピーされます。

ゲインは、容量ゲイン・キャリブレーション・モードを実行して変更できます。そのためには、外部のフルスケール容量を容量入力に接続する必要があります。また、容量ゲイン・レジスタにユーザ値を書き込んでゲインを変更することもできます。この変更は一時的なもので、パワーアップ時またはリセット後に出荷時のゲイン係数が再ロードされます。デバイスは、デフォルト (出荷時) のキャリブレーション係数での使用についてのみ検査・仕様規定されています。

容量システム・オフセット・キャリブレーション

AD7745/AD7746では、センサーの初期容量、ボード上のトラックの寄生容量、センサーとCDC間に接続されている容量など、アプリケーション内の寄生オフセットのほうが容量オフセットよりも多いため、出荷時に容量オフセットに対して校正を行っていません。アプリケーションでは、ユーザがシステム容量オフセットについて校正する必要があります。

$\pm 1pF$ より大きな容量入力のオフセットは、まず、内蔵のCAPDACを使って取り除く必要があります。 $\pm 1pF$ 以内の小さなオフセットは、容量オフセット・キャリブレーション・レジスタを使って除去できます。

オフセットの調整方法には、ゼロスケール容量を入力に接続し、容量オフセット・キャリブレーション・モードを実行するという方法があります。キャリブレーションでは、 $\pm 4.096pF$ の範囲の中間点 (出力コード $0x800000$) をそのゼロスケール入力に設定します。

もう1つの調整方法は、オフセット・キャリブレーション・レジスタ値を計算して書き込む方法です。そのLSBは $31.25aF (4.096pF/2^{17})$ です。

オフセット・キャリブレーション・レジスタには、パワーオン時またはリセット後にデフォルト値が再ロードされます。したがって、システムをパワーアップするたびにオフセット・キャリブレーションを繰り返さなくても、キャリブレーション係数がホスト・コントローラによって格納され、AD7745/AD7746セットアップの一環として再ロードされます。

AD7746では、2つの容量チャンネルがこのレジスタを共有します。容量チャンネルごとにオフセット・キャリブレーションが必要な場合は、それぞれのチャンネルでオフセット・キャリブレーションを実行した後に、ホストのコントローラ・ソフトウェアでAD7746の容量オフセット・キャリブレーション・レジスタの値を読み出し、その値をAD7746に再ロードした後、もう一方のチャンネルで変換を実行します。

内部温度センサー

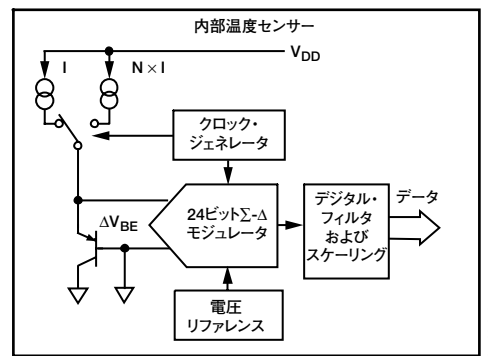


図40. 内部温度センサー

AD7745/AD7746による温度検知は、2つの異なる電流で動作するトランジスタの ΔV_{BE} 電圧で差を測定します (図40を参照)。 ΔV_{BE} は温度に応じて直線的に変化しますが、この変化は次式で表すことができます。

$$\Delta V_{BE} = (n_p) \frac{KT}{q} \times \ln(N)$$

ここで、

K はボルツマン定数 (1.38×10^{-23})

T はケルビン単位の絶対温度

q は電子の電荷 (1.6×10^{-19} クーロン)

N は2つの電流の比

n_p はサーマル・ダイオードの非理想係数

AD7745/AD7746は、内蔵のトランジスタを使ってパッケージ内のシリコンチップの温度を測定します。 $\Sigma\Delta A/D$ コンバータは ΔV_{BE} をデジタルに変換し、データは出荷時のキャリブレーション係数でスケールされます。出力コードは温度に比例します。

$$\text{温度 (}^\circ\text{C)} = \frac{\text{コード}}{2048} - 4096$$

AD7745/AD7746は低消費電力のデバイスのため、自己発熱による影響はごくわずかです ($V_{DD} = 5V$ で 0.5°C 未満)。

AD7745/AD7746

容量センサーがAD7745/AD7746チップと同じ温度のとき、内部温度センサーをシステム温度センサーとして使用できます。この場合は、外部部品を一切追加することなく、AD7745/AD7746の内部温度センサーによってシステムの温度ドリフト補正を行うことができます。図18の代表的な性能特性を参照してください。

外部温度センサー

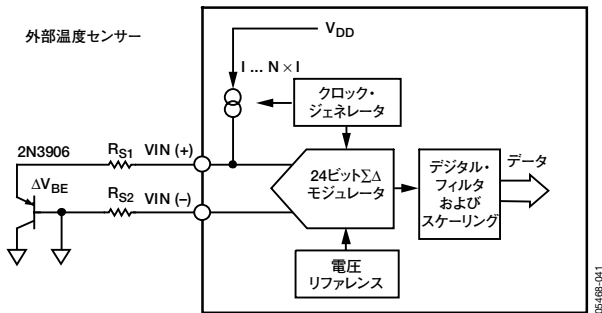


図41. 外部温度センサーとの接続

AD7745/AD7746では、システムの温度センサーに外部トランジスタを使用することもできます。内部温度センサーのときと同様に、 ΔV_{BE} 法を使用しますが、センサーに接続される直列抵抗を補正するよう修正されます。最大 100Ω の全直列抵抗 $R_{S1} + R_{S2}$ (図41)を補正します。外部温度センサーが正しく動作するように、VIN(-)ピンはグラウンドに接続する必要があります。

AD7745/AD7746は、トランジスタ2N3906に対し理想係数 $n_T = 1.008$ で出荷時に校正されています。図19の代表的な性能特性を参照してください

代表的なアプリケーション図

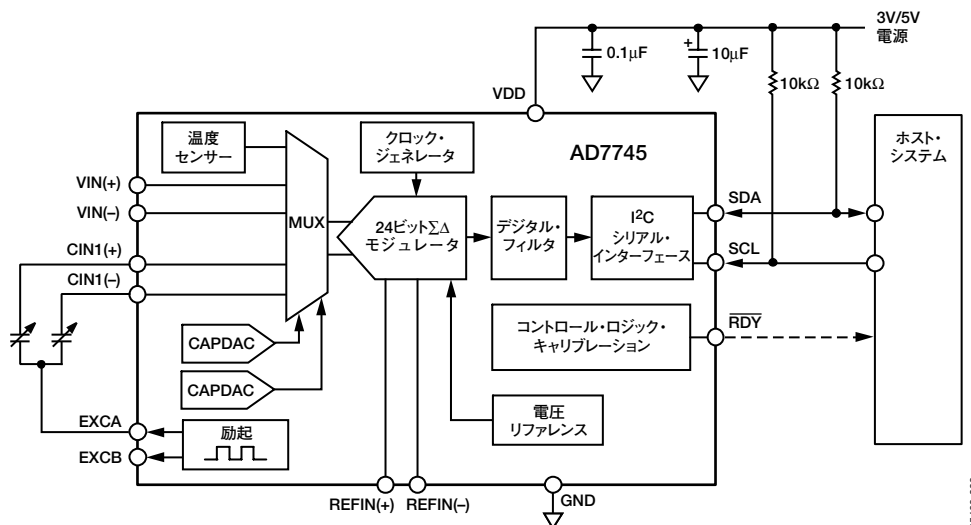


図43. 差動容量センサーの基本的なアプリケーション図

電圧入力

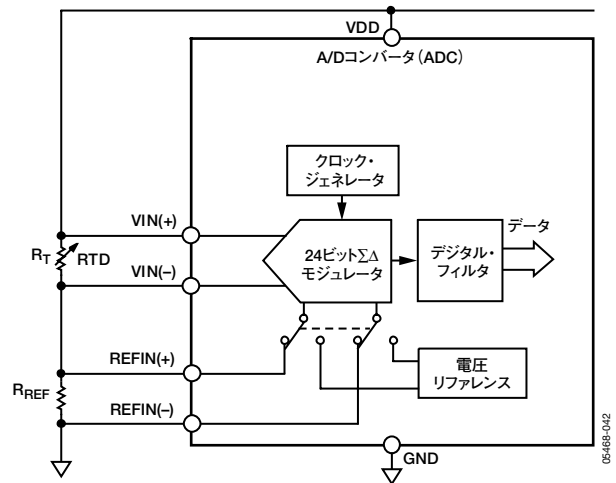


図42. 電圧入力に接続された抵抗温度センサー

AD7745/AD7746の $\Sigma\Delta$ コアは、完全差動電圧入力を備えた従来の高分解能 (最大21ENOB) ADCとして使用できます。ADCは、オンチップの高精度、低ドリフト、1.17Vのリファレンスか、または外部リファレンス (完全差動リファレンス入力ピンに接続) で使用できます。

電圧入力とリファレンス入力は、変換処理中に $\Sigma\Delta$ モジュレータによって連続的にサンプリングされます。したがって、入力源は低インピーダンスに保つ必要があります。図42のアプリケーション例を参照してください。

V_{DD} モニタ

AD7745/AD7746の $\Sigma\Delta$ A/Dコンバータは、外部電圧を変換するだけでなく、V_{DD}電圧をモニタすることもできます。V_{DD}ピンからの電圧は、内部的に6dB減衰されます。

外形寸法

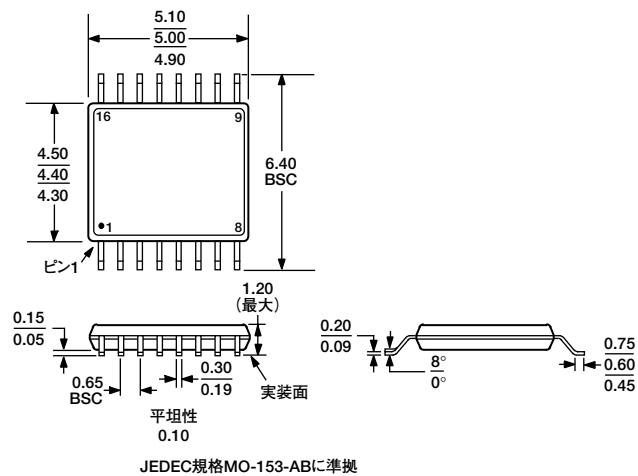


図44. 16ピン薄型シュリンク・スモール・アウトライン・パッケージ [TSSOP]
(RU-16)

寸法単位：mm

オーダー・ガイド

モデル	温度範囲	パッケージ	パッケージ・オプション
AD7745ARUZ ¹	-40～+125℃	16ピンTSSOP	RU-16
AD7745ARUZ-REEL ¹	-40～+125℃	16ピンTSSOP	RU-16
AD7745ARUZ-REEL7 ¹	-40～+125℃	16ピンTSSOP	RU-16
AD7746ARUZ ¹	-40～+125℃	16ピンTSSOP	RU-16
AD7746ARUZ-REEL ¹	-40～+125℃	16ピンTSSOP	RU-16
AD7746ARUZ-REEL7 ¹	-40～+125℃	16ピンTSSOP	RU-16
EVAL-AD7746EB		評価用ボード	

¹ Z=鉛フリー製品

AD7745/AD7746

AD7745/AD7746

C05468-0-4/05(0)-J

アナログ・デバイズ社またはその二次ライセンスを受けた関連会社からライセンスの対象となるPCコンポーネントを購入した場合、購入者にはこれらのコンポーネントをPCシステムで使用するフィリップス社のPCの特許権に基づくライセンスが許諾されます。ただし、フィリップス社が規定するPC規格仕様に準拠したシステムが必要です。