



# AK9223

## Dual 1-Bit, 10MHz, 2nd-Order, $\Delta\Sigma$ Modulator

### 概要

AK9223はダイナミックレンジ86dB, 5V電源の2ch、 $\Delta\Sigma$ モジュレータです。24ピンTSSOPパッケージに実装され、基板スペースを削減します。

### 特長

- 分解能 : 16ビット
- リニアリティ : 13ビット
- 入力電圧範囲 :  $\pm 2.3V$
- 高精度基準電圧内蔵 :  $\pm 1\%$  ( $2.5V \pm 0.025V$ )、 $\pm 20ppm/^{\circ}C$  (typ.)
- ゲインエラー: 0.5% (max.)
- 2ch  $\Delta\Sigma$ モジュレータ
- 2ch 入力リファレンス
- 20MHz OSC内蔵
- 外部クロック選択可能
- 消費電流: 67.5 mW (SEL=1, AVDD = DVDD = 5V)
- 電源電圧: AVDD = 4.5 to 5.5V、DVDD = 2.7 to 5.5V
- Ta = -40 to 105 $^{\circ}C$
- 小型パッケージ: 24-pin TSSOP (0.65mmピッチ)

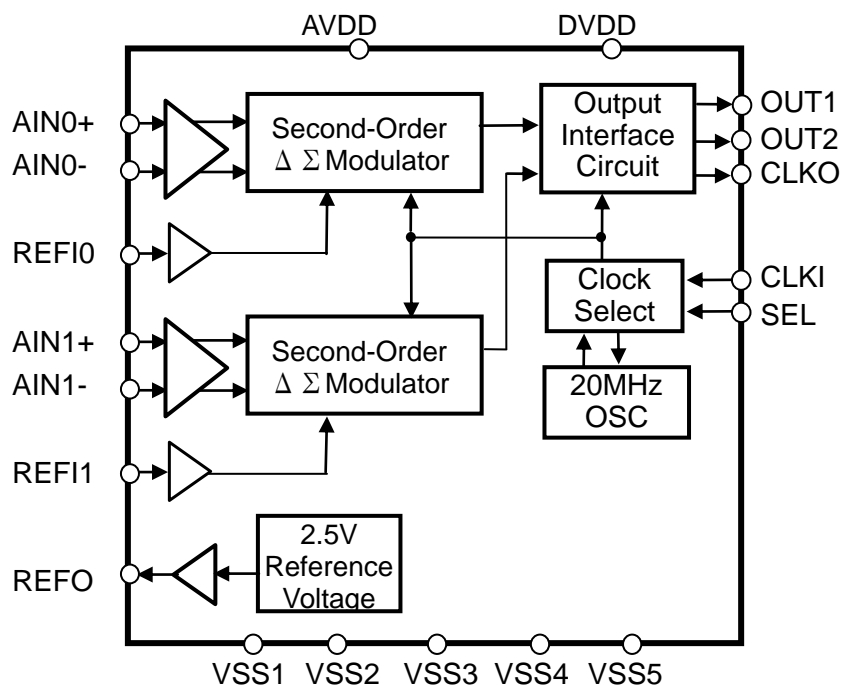
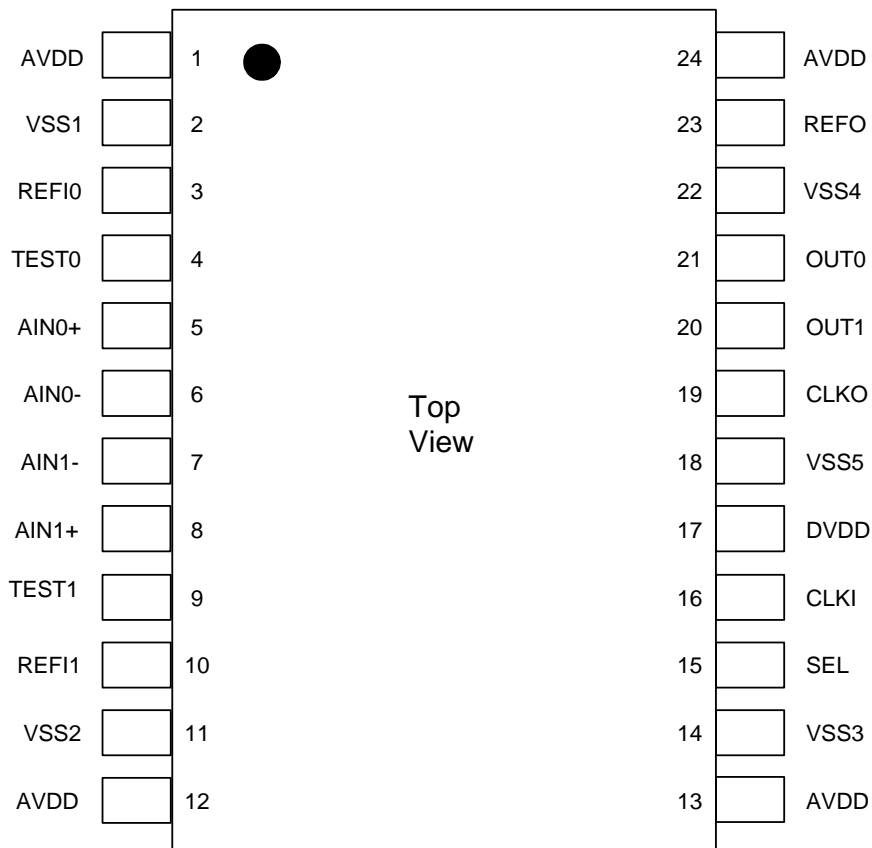


Figure 1. ブロック図

■ ピン配置



## ピン／機能

Pin No.	Pin Name	I/O	Function
1	AVDD	-	Analog Power Supply : 4.5V to 5.5V Connect to VSS1~VSS4 with a 0.1μF ceramic capacitor.
2	VSS1	-	Ground
3	REFI0	I	Reference Voltage input for Channel 0
4	TEST0	-	TEST Pin. This pin must be open.
5	AIN0+	I	Channel 0 Analog input+
6	AIN0-	I	Channel 0 Analog input-
7	AIN1-	I	Channel 1 Analog input-
8	AIN1+	I	Channel 1 Analog input+
9	TEST1	-	TEST Pin. This pin must be open.
10	REFI1	I	Reference Voltage input for Channel 1
11	VSS2	-	Ground
12	AVDD	-	Analog Power Supply : 4.5V to 5.5V Connect to VSS1~VSS4 with a 0.1μF ceramic capacitor.
13	AVDD	-	Analog Power Supply : 4.5V to 5.5V Connect to VSS1~VSS4 with a 0.1μF ceramic capacitor.
14	VSS3	-	Ground
15	SEL	I	Clock select input “H” : internal oscillator, “L” : external clock source
16	CLKI	I	External clock input If not used, must be tied to DVDD or VSS5
17	DVDD	-	Digital Power Supply : 2.7 V to 3.6V (or 4.5V to 5.5V) Connect to VSS5 with a 0.1μF ceramic capacitor.
18	VSS5	-	Ground
19	CLKO	O	Clock output
20	OUT1	O	Data output of Channel 1 modulator
21	OUT0	O	Data output of Channel 0 modulator
22	VSS4	-	Ground
23	REF0	I	Reference Voltage input for Channel 0
24	AVDD	-	Analog Power Supply : 4.5V to 5.5V Connect to VSS1~VSS4 with a 0.1μF ceramic capacitor.

Note 1. デジタル入力ピン(SEL, CLKI)はオープンにしないで下さい。

#### ■ 使用しないピンの処理について

使用しない入出力ピンは下記の設定を行い、適切に処理してください。

区分	ピン名	設定
Analog	AIN0+, AIN0-, AN1+, AIN1-, REFI0, REFI1	VSS

## 絶対最大定格

(VSS1~VSS5 = 0V; Note 2, Note 3)

Parameter	Symbol	min	max	Units
Power Supply	VDD	-0.3	+6.0	V
Analog Input Current (AIN0+, AIN0-, AIN1+, AIN1-, REFI0, REFI1)	AIIN	-	±10	mA
Analog Input Voltage (AIN0+, AIN0-, AIN1+, AIN1-, REFI0, REFI1)	AVIN	-0.3	AVDD+0.3	V
Digital Input Current (CLKI, SEL)	DIIN	-	±10	mA
Digital Input Voltage (CLKI, SEL)	DVIN	-0.3	DVDD+0.3	V
Storage Temperature	Tstg	-65	150	°C

注意: この値を超えた条件で使用した場合、デバイスを破壊することがあります。  
また通常の動作は保証されません。

## 推奨動作条件

(VSS1~VSS5 = 0V; Note 2, Note 3)

Parameter	Symbol	Min	typ	max	Units
Analog Power Supply	AVDD	4.5	5.0	5.5	V
Digital Power Supply	DVDD	3V logic level	3.0	3.6	V
		5V logic level	4.5	5.5	V
Input Reference Voltage	REFI	0.5	2.5	2.6	V
Analog Input	$V_{in} = (AIN+) - (AIN-)$	$-0.92 \times V_{REF}$		$+0.92 \times V_{REF}$	V
External clock		16	20	24	MHz
Ambient Operating Temperature	Ta	-40		105	°C

注意: 本データシートに記載されている条件以外のご使用に関しては、当社では責任負いかねますので十分ご注意ください。

Note 2. 電圧はすべてグランドピンに対する値です。

Note 3. VSS1, VSS2, VSS3, VSS4, VSS5 は同じアナロググランドに接続してください。

Note 4. 電源立ち上げ時、AVDDとDVDDの投入順序を考慮する必要はありません。

## アナログ特性

(特記なき場合は、 $T_a = -40^{\circ}\text{C}$  to  $105^{\circ}\text{C}$ ;  $\text{AVDD}=5\text{V}$ ,  $\text{DVDD}=3\text{V}$ ,  $\text{AIN}+=0.2\text{V}$  to  $4.8\text{V}$ ,  $\text{AIN}-=2.5\text{V}$ ,  $\text{REFI}=\text{REFO}=2.5\text{V}$  (internal),  $\text{CLKI}=20\text{MHz}$ , and 16bit Sinc<sup>3</sup> filter with  $\text{OSR}=256$ )

Parameter		Min	typ	max	Units
Resolution		16	-	-	Bits
Integral Nonlinearity (INL) Error (Note 5)	$\text{VIN} = \pm 2.3\text{Vpp}$	-8	$\pm 3.8$	+8	LSB
	$\text{VIN} = \pm 2.0\text{Vpp}$	-4	$\pm 1.8$	+4	LSB
Integral Nonlinearity match		-	1	4	LSB
Differential Nonlinearity (DNL) Error		-1	-	+1	LSB
Offset Error	$\text{REFI}=2.5\text{V}$	-3	$\pm 1.5$	+3	mV
Offset Error match		-	0.2	2	mV
Offset Error Drift	(Note 6)	-8	1	+8	$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
Gain Error	(Note 7) Referenced $\text{REFI} = 2.5\text{V}$	-0.5	$\pm 0.02$	+0.5	%FSR
Gain Error match		-	0.1	0.5	%FSR
Gain Error Drift	(Note 8)	-	$\pm 1.3$	-	$\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$
PSRR		-	82	-	dB
<b>Analog Input</b>					
Full scale differential input voltage range:	$(\text{AIN}+) - (\text{AIN}-)$ $\text{AIN}- = 2.5\text{V}$	$-\text{REFI}$	-	$+\text{REFI}$	V
Specified differential input Voltage range	$(\text{AIN}+) - (\text{AIN}-)$ $\text{AIN}- = 2.5\text{V}$	$-0.92 \times \text{REFI}$	-	$+0.92 \times \text{REFI}$	V
Absolute input voltage range		0	-	$\text{AVDD}$	V
Input Capacitance	$\text{AIN}$ to $\text{VSS}$	-	1	-	pF
Input Leakage current	Clock turned off (Note 9)	-1	-	+1	$\mu\text{A}$
Differential input resistance		80	100	120	$\text{k}\Omega$
Differential input capacitance		-	2.5	-	pF
CMRR	at dc	-	108	-	dB
	$\text{AIN}- = 2.5\text{V}$ $\text{VIN} = \pm 1.25\text{Vpp}$ at 40kHz	-	117	-	dB
<b>Sampling Dynamics</b>					
Internal clock frequency	$\text{SEL}=1$ , $-40^{\circ}\text{C}$ to $+105^{\circ}\text{C}$	9	10	11	MHz
External clock frequency	$\text{SEL}=0$ (Note 10)	1	20	24	MHz
<b>Dynamic Characteristics</b>					
THD	$\text{VIN} = \pm 2.3\text{Vpp}$ at 5kHz	-	-85	-80	dB
SFDR	$\text{VIN} = \pm 2.3\text{Vpp}$ at 5kHz	82	86	-	dB
S/N	$\text{VIN} = \pm 2.3\text{Vpp}$ at 5kHz	88	92	-	dB
	$\text{VIN} = \pm 2.0\text{Vpp}$ at 5kHz	87	91	-	dB
S/(N+D)	$\text{VIN} = \pm 2.3\text{Vpp}$ at 5kHz	80	84	-	dB
Channel to Channel Isolation	$\text{VIN} = \pm 2.3\text{Vpp}$ at 5kHz	-	100	-	dB

Note 5. 指定された入力レンジのエンドポイントを結んだ線と実際の遷移点の最大偏差。

Note 6.  $T_a = -40^{\circ}\text{C}$  to  $105^{\circ}\text{C}$ の温度範囲における、 $T_a = 25^{\circ}\text{C}$ 時のオフセットを基準にした場合の最大変動量。

Note 7.  $\text{REFI}$ ピンを基準にしたスペックです(内蔵 $\text{VREF}$ のバラツキは除外)。

Note 8. 内蔵 $\text{VREF}$ の温度ドリフトを除外したスペックです。

Note 9. -方向はICから電流が出ていく向き。

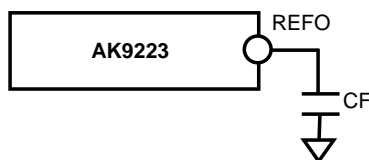
Note 10. External clockの推奨入力範囲は16MHz~24MHzです。1MHz~16MHz、24MHz~32MHzでも特性は劣化しますが使用可能です。

<b>アナログ特性</b>
---------------

(特記なき場合は、 $T_a = -40^{\circ}\text{C}$  to  $105^{\circ}\text{C}$ ; AVDD=5V, DVDD=3V, AIN+=0.2V to 4.8V, AIN-=2.5V, REFIx=REFO=2.5V (internal), CLKI= 20MHz, and 16bit Sinc<sup>3</sup> filter with OSR =256)

Parameter	Min	typ	max	Units	
<b>Reference Voltage Output</b>					
Reference output voltage	2.475	2.5	2.525	V	
Reference output voltage drift		±20		ppm/°C	
Output current		10		μA	
Short-circuit current		0.5		mA	
Turn-on settling time	CF = 0.1μF (Note 11)	500		μs	
<b>Reference Voltage Input</b>					
Reference input voltage	0.5	2.5	2.6	V	
Input resistance		100		MΩ	
Input capacitance		5		pF	
Input current			1	μA	
<b>Power Supplies</b>					
AIDD	SEL=1		12.2	17	mA
	SEL=0		11.8	16	mA
DIDD	DVDD=3V, CLKO = 10MHz		0.9	2	mA
	DVDD=5V, CLKO = 10MHz		1.3	3	mA

Note 11. To accuracy level of 0.1%, 40μs typ, no load



## DC特性

(Ta = -40°C to 105°C, AVDD=4.5V to 5.5V, DVDD=2.7V to 5.5V)

Parameter	Symbol	min	typ	max	Units
High-Level Input Voltage1, DVDD=2.7V to 3.6V	VIH1	2		-	V
Low-Level Input Voltage1, DVDD=2.7V to 3.6V	VIL1	-		0.8	V
High-Level Input Voltage2, DVDD=4.5V to 5.5V	VIH2	0.7 x DVDD	-	-	V
Low-Level Input Voltage2, DVDD=4.5V to 5.5V	VIL2	-	-	0.3 x DVDD	V
Input capacitance	Ic	-	5	-	pF
Input Leakage Current	Iin	-	-	±1	uA
High-Level Output Voltage , DVDD=4.5V (Iout = -100μA)	VOH2	4.44	-	-	V
Low-Level Output Voltage , DVDD=4.5V (Iout =100μA)	VOL2	-	-	0.5	V
High-Level Output Voltage , DVDD=2.7V (Iout = -100μA)	VOH1	DVDD-0.2	-	-	V
Low-Level Output Voltage , DVDD=2.7V (Iout =100μA)	VOL1	-	-	0.2	V
Output Capacitance	CO	-	5	-	pF
Load Capacitance	CL	-	-	30	pF

**スイッチング特性**

(Ta = -40°C to 105°C, AVDD=5V, DVDD=2.7V to 5.5V, CL=30pF)

Parameter	Symbol	min	typ	max	Units
CLKI period	tCKI	41.6		1000	ns
CLKI High Pulse Width	tCKH	10		tCKI-10	ns
CLKO period	SEL=0 tCKO1	2 x tCKI			ns
	SEL=1 tCKO2	91		111	ns
CLKO High Pulse Width	tCKOH	(tCKO/2) - 5		(tCKO/2) + 5	ns
CLKI “↑” to CLKO “↓” Delay	SEL=0 tPD1			10	ns
CLKI “↑” to CLKO “↑” Delay	SEL=0 tPD2			10	ns
CLKO “↑” to OUT data Delay	SEL=0 tPD3	tCKH-3		tCKH+7	ns
	SEL=1 tPD4	(tCKO/4)-8		(tCKO/4)+8	ns

■ タイミング波形

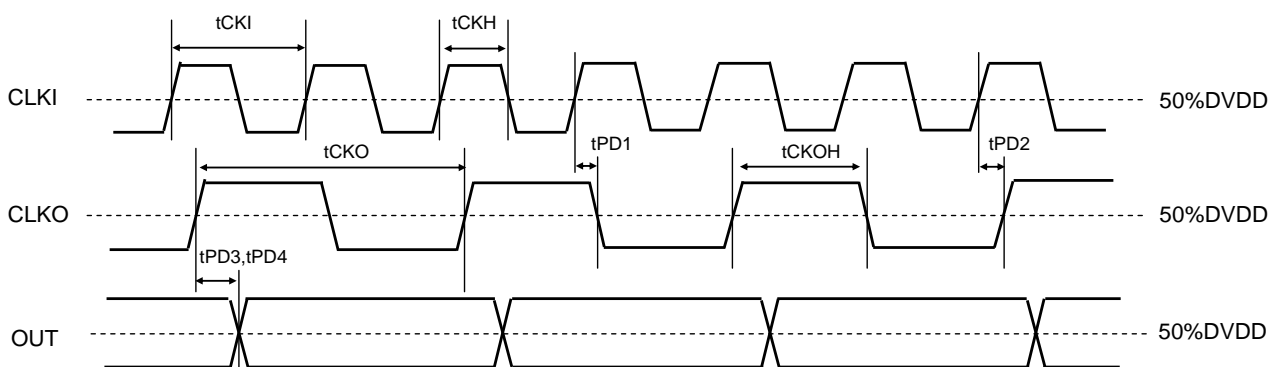


Figure 2. データ出力タイミング



## 機能説明

AK9223は2ch,  $\Delta\Sigma$  モジュレータです。OUTピンからは“0”, “1”のデータが出力され、“0”, “1”の密度によりアナログ入力信号レベルを表します。

$\Delta\Sigma$  モジュレータは量子化ノイズを高域へシフトさせます。AK9223の出力後にはローパスデジタルフィルタを使用します。このフィルタは、高域のノイズをフィルタし、高速サンプリングされた1ビットデータを低速の高ビットデータワードに変換します（ディシメーション）。このデジタルフィルタはFPGAなどにより構成することが可能です。Figure 3に構成例を示します。下記推奨外部部品はできるだけIC直近に接続して下さい。

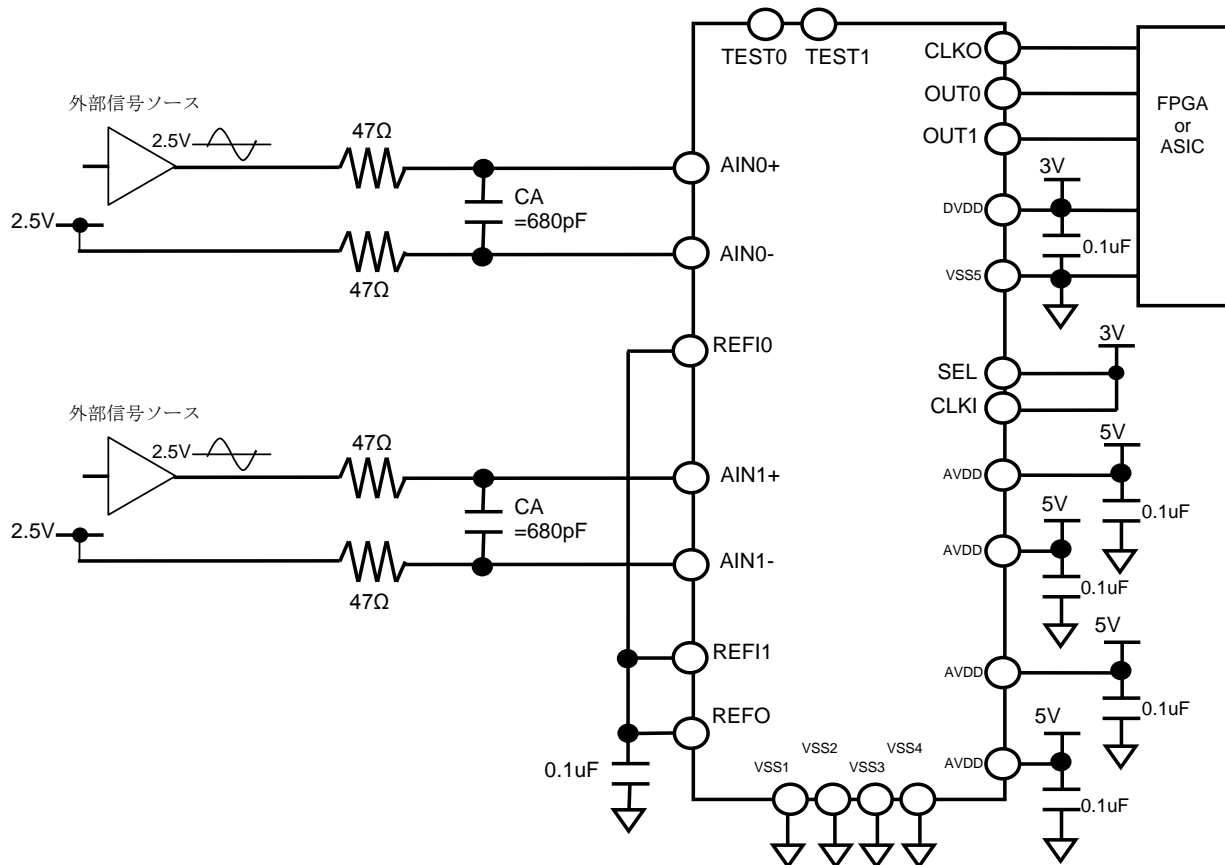


Figure 3. AK9223推奨外付け回路例

AD変換特性（速度と精度）はOSR（オーバーサンプリングレシオ）とデジタルフィルタのタイプに依存します。低い変換レートの場合、OSRを大きくし、高精度が実現できます。OSRが小さい場合、精度は低くなりますが、高速変換が実現できます。AK9223はアプリケーションに適したデジタルフィルタを構成することにより、OSR=256で86dBを超えるダイナミックレンジのAD変換を実現することが可能です。

## ■ 内部動作

AK9223のアナログ入力はSC (switched-capacitor) 回路で構成され、このモジュレータ部でアナログ入力を1ビットのデータ・ストリームにデジタル化します。クロックは外部から、もしくは内部の発振器出力を入力することができます。アナログ入力はモジュレータでサンプリングされ、REFIピンに入力されたリファレンス電圧と比較されます。時間軸でアナログ入力を表すデジタルストリームがAD変換出力になります。

## ■ モジュレータ

AK9223は2つのモードを持っています。SELピン=“H”の場合、内部発振器をクロックとして使います。この場合、クロックは20MHzに固定になります。SELピン=“L”の場合、モジュレータのクロックはCLKIピンから入力します。どちらの場合も入力されたクロックは1/2に分周されモジュレータのクロックに使われます。外部クロックを使う場合、1MHzから24MHzまで入力することが可能です。この場合、モジュレータは500kHzから12MHzで動作します。

## ■ デジタル I/F

アナログ入力信号はモジュレータに入力されるクロックを使い、AD変換されます。AD変換された結果はOUTピンから出力されます。2つのモジュレータで使う共通のクロックはCLKOピンから出力されます。SELピン=“H”の場合、CLKIピンはフローティングにせず、DVDD、もしくはVSS5に接続ください。

## ■ デジタルフィルタ

モジュレータからは“0”, “1”のデータ・ストリームが出力されます。アナログ入力と等価なデジタルデータにする為にデータ・ストリームはデジタルフィルタで処理ください。

シンプルな構成である3次Sincフィルタの伝達関数を示します。

$$H(z) = \left( \frac{1 - z^{-OSR}}{1 - z^{-1}} \right)^3$$

このフィルタの構成ゲート数は大きくはなく、比較的容易に高性能を実現することができます。このデータシートの特徴は3次Sincフィルタを用いた場合のデータになります(OSR=256、出力ビット数：16bit)。

このフィルタの特徴はFigure 4、Figure 5を参照ください。最初のノッチはfDATA (= fMOD / OSR) になります。-3dBポイントはナイキスト周波数の1/2、もしくはfDATA/4 になります。

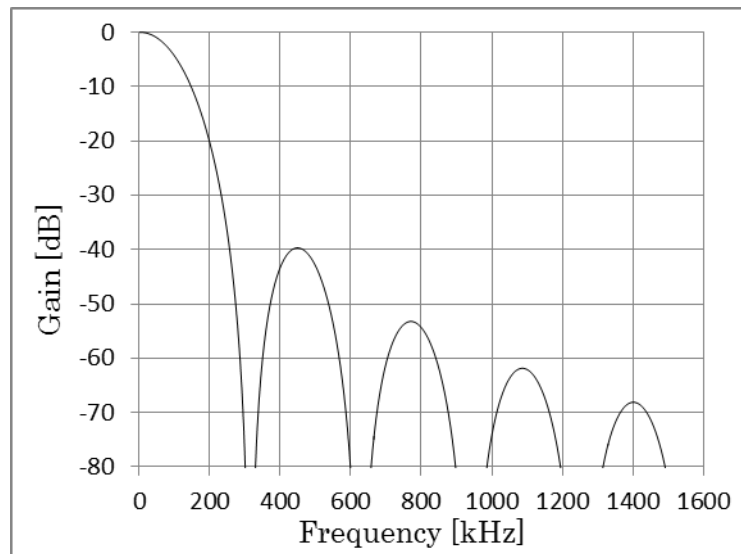


Figure 4. Sinc<sup>3</sup> 周波数特性 (OSR=32)

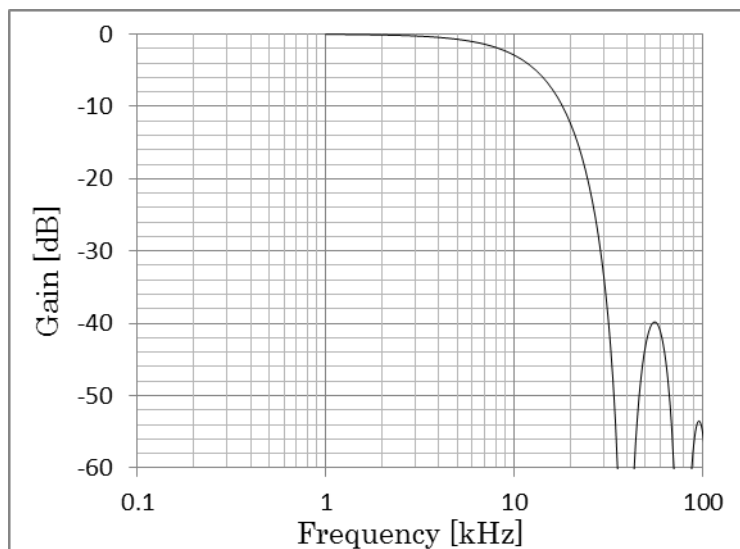


Figure 5. Sinc<sup>3</sup> 周波数特性 (OSR=256)

## システム設計

### ■ 電源電圧

デジタル電源はインターフェースの為にI/O電圧を設定します。2.7Vから5.5Vの間で設定できます。

電源電圧が印可される前にAIN+,AIN-,CLKIなどの入力ピンに電圧を加えないでください。

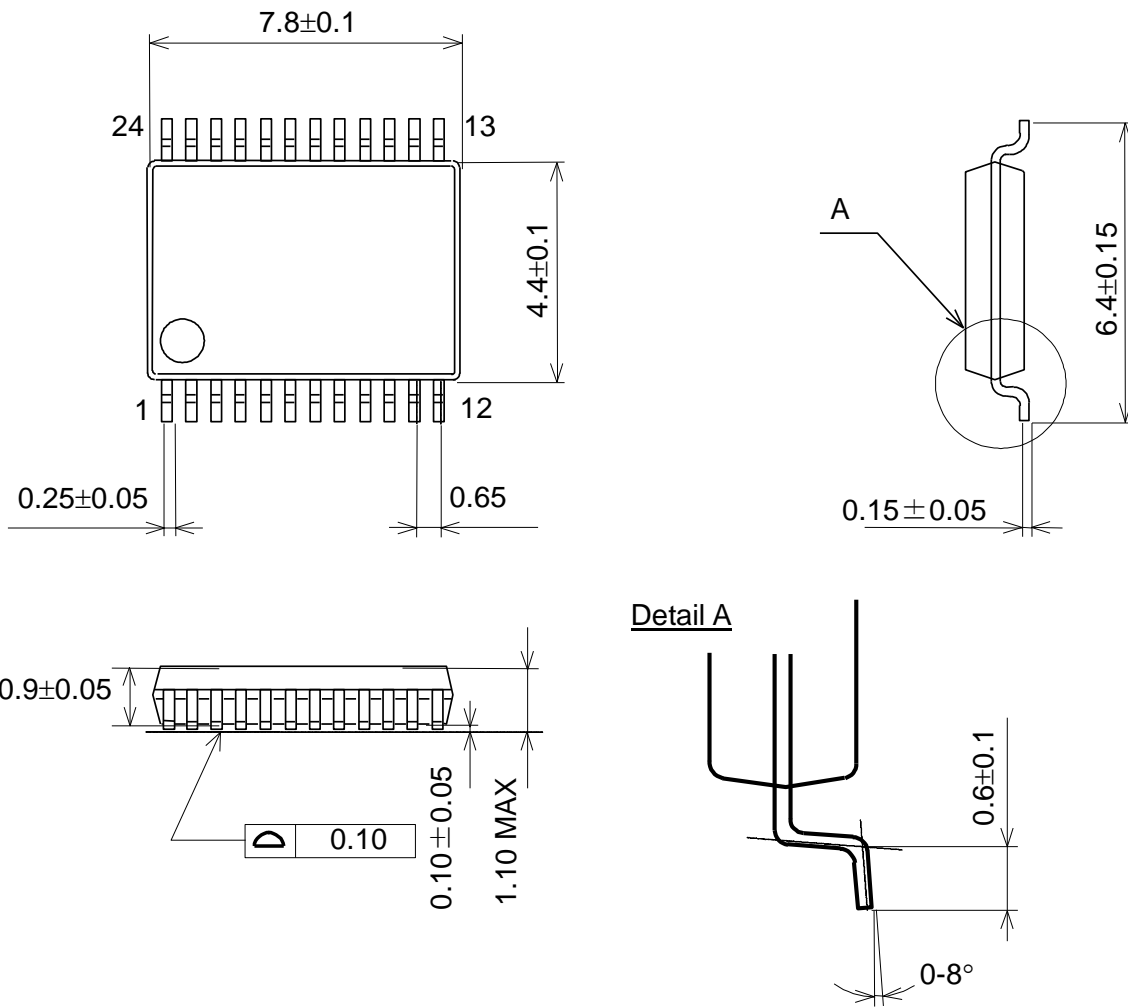
### ■ デカップリング

デカップリングコンデンサはデカップリングされるピンのできるだけ近くに置いてください。0.1 $\mu$ FセラミックコンデンサをAVDD(1番ピン)–VSS1間、AVDD(12番ピン)–VSS2間、AVDD(13番ピン)–VSS3間、AVDD(24番ピン)–VSS4間、DVDD–VSS5間のデカップリングの為に使用下さい。

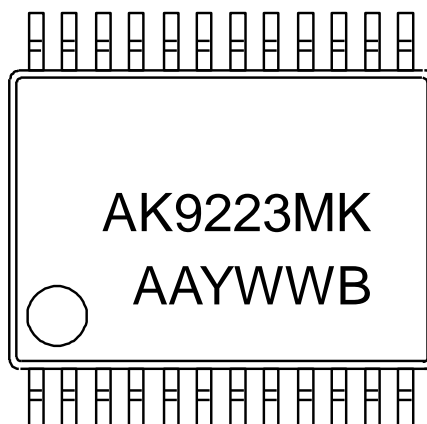
アナログとデジタルI/O電源が同じ電源ソースの場合、アナログ電源とデジタル電源間に10 $\Omega$ を挿入し、アナログ電源に電源ソースを接続して下さい。電源へのノイズを減少させる為、上記10 $\Omega$ とデカップリングコンデンサの0.1 $\mu$ FでRCフィルタを構成して下さい。

パッケージ

24pin TSSOP (Unit: mm)



マーキング



- a. 1ピン表示
- b. 製品番号： AK9223MK
- c. 日付コード：AAYWWB

AA : 管理コード2桁  
Y : 西暦年1桁  
WW : 週コード 2桁  
B : 管理コード1桁

## 重要な注意事項

0. 本書に記載された弊社製品（以下、「本製品」といいます。）および、本製品の仕様につきましては、本製品改善のために予告なく変更することがあります。従いまして、ご使用を検討の際には、本書に掲載した情報が最新のものであることを弊社営業担当、あるいは弊社特約店営業担当にご確認ください。
1. 本書に記載された情報は、本製品の動作例、応用例を説明するものであり、その使用に際して弊社および第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。お客様の機器設計において当該情報を使用される場合は、お客様の責任において行って頂くとともに、当該情報の使用に起因してお客様または第三者に生じた損害に対し、弊社はその責任を負うものではありません。
2. 本製品は、医療機器、航空宇宙用機器、輸送機器、交通信号機器、燃焼機器、原子力制御用機器、各種安全装置など、その装置・機器の故障や動作不良が、直接または間接を問わず、生命、身体、財産等へ重大な損害を及ぼすことが通常予想されるような極めて高い信頼性を要求される用途に使用されることを意図しておらず、保証もされていません。そのため、別途弊社より書面で許諾された場合を除き、これらの用途に本製品を使用しないでください。万が一、これらの用途に本製品を使用した場合、弊社は、当該使用から生ずる損害等の責任を一切負うものではありません。
3. 弊社は品質、信頼性の向上に努めておりますが、電子製品は一般に誤作動または故障する場合があります。本製品をご使用頂く場合は、本製品の誤作動や故障により、生命、身体、財産等が侵害されることのないよう、お客様の責任において、本製品を搭載されるお客様の製品に必要な安全設計を行うことをお願いします。
4. 本製品および本書記載の技術情報を、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍用途の目的で使用しないでください。本製品および本書記載の技術情報を輸出または非居住者に提供する場合は、「外国為替及び外国貿易法」その他の適用ある輸出関連法令を遵守し、必要な手続を行ってください。本製品および本書記載の技術情報を国内外の法令および規則により製造、使用、販売を禁止されている機器・システムに使用しないでください。
5. 本製品の環境適合性等の詳細につきましては、製品個別に必ず弊社営業担当までお問合せください。本製品のご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制するRoHS指令等、適用される環境関連法令を十分調査のうえ、かかる法令に適合するようにご使用ください。お客様がかかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、弊社は一切の責任を負いかねます。
6. お客様の転売等によりこの注意事項に反して本製品が使用され、その使用から損害等が生じた場合はお客様にて当該損害をご負担または補償して頂きますのでご了承ください。
7. 本書の全部または一部を、弊社の事前の書面による承諾なしに、転載または複製することを禁じます。