

### 特長

- 最大周波数100kHzのプログラマブルなピークtoピーク出力を持つ励起電圧
- シリアルI<sup>2</sup>C<sup>®</sup>インターフェースから設定可能な周波数掃引機能
- 周波数分解能：27ビット (<0.1Hz)
- インピーダンス測定範囲：100Ω～10MΩ
- 内部温度センサー：±2℃精度
- 内部システム・クロック・オプション
- 位相測定機能
- システム精度：0.5%
- 動作電源電圧：2.7～5.5V
- 温度範囲：-40～+125℃
- 16ピンSSOPパッケージ

### アプリケーション

- 電気化学的解析
- 生体インピーダンス解析
- インピーダンス分光法
- 複素インピーダンス測定
- 腐食解析/保護機器
- 生体医学および自動車用センサー
- 近接センシング
- 非破壊検査
- 材料特性解析
- 燃料電池/バッテリーの状態監視

### 概要

AD5933は、高精度インピーダンス・コンバータのシステム・ソリューションで、周波数発生器と1MSPSの12ビットA/Dコンバータ (ADC) を内蔵しています。周波数発生器では、既知の周波数で外部の複素インピーダンスを励起することができます。インピーダンスからの応答信号は内蔵のADCでサンプリングされ、内蔵のDSPエンジンで離散フーリエ変換 (DFT) が行われます。DFTアルゴリズムは、各出力周波数で実数 (R) と虚数 (I) のデータワードを返します。

掃引時の各周波数ポイントでのインピーダンスの大きさと相対位相は、次の2つの式を用いて容易に計算できます。

$$\text{インピーダンスの大きさ} = \sqrt{R^2 + I^2}$$

$$\text{位相} = \tan^{-1}(I/R)$$

表1. 関連デバイス

部品番号	説明
AD5934	2.7～5.5V、250kSPS、12ビット・インピーダンス・コンバータ、16ピンSSOPパッケージ

### 機能ブロック図

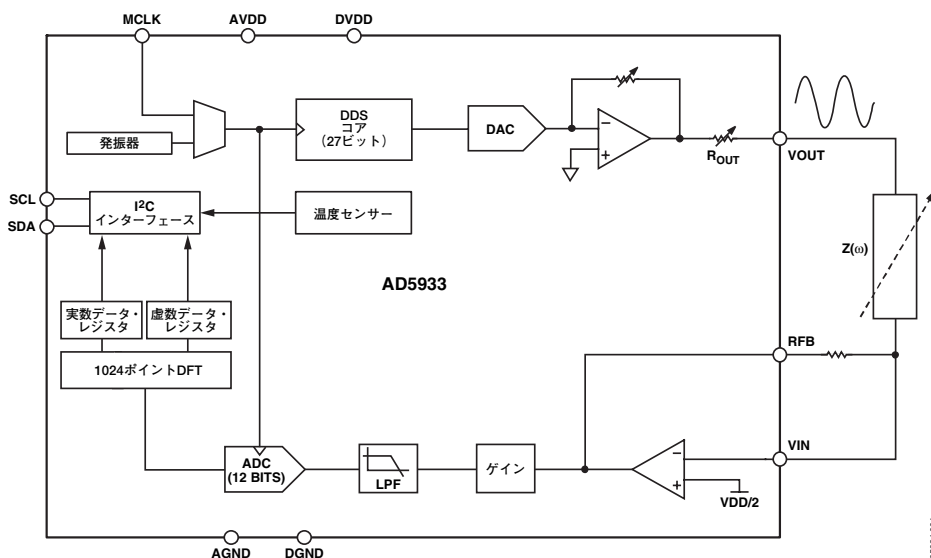


図1

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

# AD5933

## 目次

仕様	3	ゲイン係数の再計算	17
ICシリアル・インターフェースのタイミング特性	5	温度変化に伴うゲイン係数の変動	18
絶対最大定格	6	インピーダンス誤差	18
ESDに関する注意	6	周波数掃引の実行	20
ピン配置と機能の説明	7	レジスタ・マップ	21
代表的な性能特性	8	コントロール・レジスタ	21
用語の説明	11	スタート周波数レジスタ	22
システムの説明	12	周波数インクリメント・レジスタ	22
送信段	13	インクリメント数レジスタ	23
スタート周波数	13	セトリング・タイム・サイクル数レジスタ	23
周波数インクリメント	13	ステータス・レジスタ	24
インクリメント数	13	温度データ・レジスタ (16ビット)	24
周波数掃引コマンドのシーケンス	14	実数および虚数データ・レジスタ (16ビット)	24
受信段	14	シリアル・バス・インターフェース	25
DFTの動作	14	一般的なICタイミング	25
システム・クロック	15	AD5933の書込み/読出し	26
温度センサー	15	ブロック書込み	26
温度変換の詳細	15	AD5933の読出し動作	27
温度値レジスタ	15	代表的なアプリケーション	28
温度変換式	15	生体医学：血液インピーダンスの非侵襲的測定	28
インピーダンスの計算	16	センサー/複素インピーダンスの測定	28
インピーダンスの大きさの計算	16	電子インピーダンス分光法	29
ゲイン係数の計算	16	AD5933のリファレンスの選択	30
ゲイン係数を用いたインピーダンス計算	16	レイアウトと構成	31
周波数の変化に伴うゲイン係数の変動	16	電源のバイパスとグラウンディング	31
2ポイント・キャリブレーション	17	外形寸法	32
2ポイントのゲイン係数計算	17	オーダー・ガイド	32
ゲイン係数のセットアップ構成	17		

## 改訂履歴

9/06—Revision 0: Initial Version

## 仕様

特に指定のない限り次のテスト条件を適用。VDD=3.3V、MCLK=16.776MHz、出力励起電圧=2Vp-p (30kHz)、5番ピンと6番ピンとの間に200kΩ抵抗を接続、帰還抵抗=200kΩ (4番ピンと5番ピンとの間に接続)、PGAゲイン=1倍

表2

パラメータ	Yバージョン <sup>1</sup>			単位	テスト条件/備考
	Min	Typ	Max		
システム					
インピーダンス範囲	0.001		10	MΩ	
総合システム精度		0.5		%	
システム・インピーダンス誤差ドリフト		30		ppm/°C	
送信段					
出力周波数範囲 <sup>2</sup>	1		100	kHz	
出力周波数分解能		0.1		Hz	DDS技術により0.1Hz未満の分解能を達成可能
MCLK周波数			16.776	MHz	システム・クロック最大周波数
内部発振器周波数 <sup>3</sup>		16.776		MHz	内部発振器周波数
内部発振器の温度係数		30		ppm/°C	
送信出力電圧					
レンジ1					
AC出力励起電圧 <sup>4</sup>		1.98		Vp-p	出力電圧の分布については、図4を参照
DCバイアス <sup>5</sup>		1.48		V	AC励起信号のDCバイアス。図5を参照
DC出力インピーダンス		200		Ω	T <sub>A</sub> =25°C
VOUTにおけるグラウンドへの短絡電流		±5.8		mA	T <sub>A</sub> =25°C
レンジ2					
AC出力励起電圧 <sup>4</sup>		0.97		Vp-p	図6を参照
DCバイアス <sup>5</sup>		0.76		V	出力励起信号のDCバイアス。図7を参照
DC出力インピーダンス		2.4		kΩ	
VOUTにおけるグラウンドへの短絡電流		±0.25		mA	
レンジ3					
AC出力励起電圧 <sup>4</sup>		0.383		Vp-p	図8を参照
DCバイアス <sup>5</sup>		0.31		V	出力励起信号のDCバイアス。図9を参照
DC出力インピーダンス		1		kΩ	
VOUTにおけるグラウンドへの短絡電流		±0.20		mA	
レンジ4					
AC出力励起電圧 <sup>4</sup>		0.198		Vp-p	図10を参照
DCバイアス <sup>5</sup>		0.173		V	出力励起信号のDCバイアス。図11を参照
DC出力インピーダンス		600		Ω	
VOUTにおけるグラウンドへの短絡電流		±0.15		mA	
グラウンドへの短絡電流		±0.15		mA	
システムAC特性					
S/N比 (SNR)		60		dB	
全高調波歪み (THD)		-52		dB	
スプリアスフリー・ダイナミック・レンジ (SFDR)					
ワイドバンド (0~1MHz)		-56		dB	
ナローバンド (±5kHz)		-85		dB	

# AD5933

パラメータ	Yバージョン <sup>1</sup>			単位	テスト条件/備考
	Min	Typ	Max		
<b>受信段</b>					
入力リーク電流		1		nA	VINピンに漏洩
入力容量 <sup>6</sup>		0.01		fF	VOUTとGND間のピン容量
帰還容量 (C <sub>FB</sub> )		3		pF	I/V変換アンプ周辺の帰還容量。帰還抵抗と並列に現れます。
<b>ADC<sup>6</sup></b>					
分解能		12		ビット	
サンプリング・レート		250		kSPS	ADCのスループット・レート
<b>温度センサー</b>					
精度		±2.0		°C	-40~+125°C
分解能		0.03		°C	
温度変換時間		800		μs	1回の温度測定の変換時間
<b>ロジック入力</b>					
入力ハイレベル電圧 (V <sub>IH</sub> )	0.7×VDD				
入力ローレベル電圧 (V <sub>IL</sub> )					0.3×VDD
入力電流 <sup>7</sup>			1	μA	T <sub>A</sub> =25°C
入力容量			7	pF	T <sub>A</sub> =25°C
<b>電源条件</b>					
VDD	2.7		5.5	V	
IDD (ノーマル・モード)		10	15	mA	VDD=3.3V
		17	25	mA	VDD=5.5V
IDD (スタンバイ・モード)		11		mA	VDD=3.3V。「コントロール・レジスタ」を参照
		16		mA	VDD=5.5V
IDD (パワーダウン・モード)		0.7	5	μA	VDD=3.3V
		1	8	μA	VDD=5.5V

1. Yバージョンの温度範囲は-40~+125°C、+25°Cで測定。

2. AD5933に供給されるクロックのスケールリングによって、出力励起周波数の下限を下げる事が可能です。

3. 温度変化に伴う内部発振器周波数の分布については、図14、図15、図16を参照してください。

4. AC出力励起電圧のピークtoピーク値は、以下の式に従って電源電圧でスケールリングすることができます。VDDは電源電圧です。

$$\text{出力励起電圧}(V_{p-p}) = \frac{2}{3.3} \times VDD$$

5. 出力励起電圧のDCバイアス値は、以下の式に従って電源電圧でスケールリングすることができます。VDDは電源電圧です。

$$\text{出力励起バイアス電圧}(V) = \frac{2}{3.3} \times VDD$$

6. 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、設計または特性評価により保証しています。VOUTピンの入力容量は、ピン容量をI/V変換アンプのオープンループ・ゲインで除算した値に等しくなります。

7. 8番、15番、16番の各ピンに流入する合計電流。

## I<sup>2</sup>Cシリアル・インターフェースのタイミング特性

VDD=2.7~5.5V。特に指定のない限り、すべての仕様は $T_{MIN}$ ~ $T_{MAX}$ で規定。<sup>1</sup>

表3

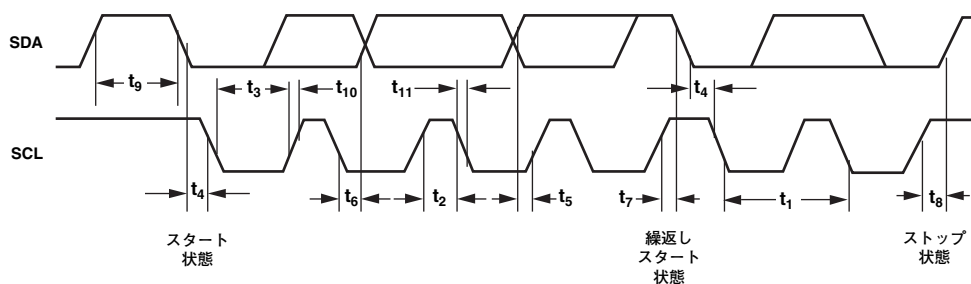
パラメータ <sup>2</sup>	$T_{MIN}$ 、 $T_{MAX}$ での限界値	単位	説明
$F_{SCL}$	400	kHz (max)	SCLクロック周波数
$t_1$	2.5	$\mu$ s (min)	SCLサイクル時間
$t_2$	0.6	$\mu$ s (min)	SCLハイレベル時間 ( $t_{HIGH}$ )
$t_3$	1.3	$\mu$ s (min)	SCLローレベル時間 ( $t_{LOW}$ )
$t_4$	0.6	$\mu$ s (min)	スタート/繰返しスタート状態のホールド時間 ( $t_{HD, STA}$ )
$t_5$	100	ns (min)	データのセットアップ時間 ( $t_{SU, DAT}$ )
$t_6^3$	0.9	$\mu$ s (max)	データのホールド時間 ( $t_{HD, DAT}$ )
	0	$\mu$ s (min)	データのホールド時間 ( $t_{HD, DAT}$ )
$t_7$	0.6	$\mu$ s (min)	繰返しスタートのセットアップ時間 ( $t_{SU, STA}$ )
$t_8$	0.6	$\mu$ s (min)	ストップ状態のセットアップ時間 ( $t_{SU, STO}$ )
$t_9$	1.3	$\mu$ s (min)	ストップ状態からスタート状態までの間のバス開放時間 ( $t_{BUF}$ )
$t_{10}$	300	ns (max)	送信時のSDAの立上がり時間 ( $t_F$ )
	0	ns (min)	受信時のSCLとSDAの立上がり時間 (CMOS互換) ( $t_R$ )
$t_{11}$	300	ns (max)	送信時のSCLとSDAの立下がり時間 ( $t_F$ )
	0	ns (min)	受信時のSDAの立下がり時間 (CMOS互換) ( $t_F$ )
	250	ns (max)	受信時のSDAの立下がり時間 ( $t_F$ )
	$20+0.1C_B^4$	ns (min)	送信時のSCLとSDAの立下がり時間 ( $t_F$ )
$C_B$	400	pF (max)	各バス・ラインの容量性負荷

1. 図2を参照。

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、設計および特性評価により保証しています。

3. SCLの立下がりエッジの不定を避けるために、マスター・デバイスはSDA信号に対して最低300ns (SCL信号の $V_{IH, MIN}$ を基準) のホールド時間を確保する必要があります。

4.  $C_B$ は、1つのバス・ラインの合計容量です (pFの単位)。 $t_R$ と $t_F$ は0.3~0.7VDDで測定されています。

図2. I<sup>2</sup>Cインターフェースのタイミング図

06324-002

## 絶対最大定格

特に指定のない限り、 $T_A=25^{\circ}\text{C}$ 。

表4

パラメータ	定格値
GNDに対するDVDD	-0.3~7.0V
GNDに対するAVDD1	-0.3~7.0V
GNDに対するAVDD2	-0.3~7.0V
GNDに対するSDA/SCL	-0.3V~VDD+0.3V
GNDに対するVOUT	-0.3V~VDD+0.3V
GNDに対するVIN	-0.3V~VDD+0.3V
GNDに対するMCLK	-0.3V~VDD+0.3V
動作温度範囲	
拡張工業用温度範囲 (Yグレード)	-40~+125°C
保存温度範囲	-65~+160°C
最大ジャンクション温度	150°C
SSOPパッケージ	
$\theta_{JA}$ 熱抵抗	139°C/W
$\theta_{JC}$ 熱抵抗	136°C/W
リフロー・ハンダ処理 (鉛フリー)	
ピーク温度	260°C
ピーク温度時間	10~40秒

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

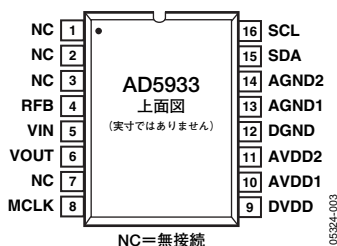


図3. ピン配置

すべての電源ピン（9番、10番、11番）を接続し、2.7～5.5Vの単電源で動作させてください。さらに、すべてのグラウンド信号（12番、13番、14番の各ピン）も相互に接続してください。

表5. ピン機能の説明

ピン番号	記号	説明／備考
1、2、3、7	NC	無接続
4	RFB	外部帰還抵抗。この抵抗を4番ピンと5番ピンの間に接続し、受信側のI/V変換アンプのゲイン設定用として使用します。
5	VIN	受信トランス・インピーダンス・アンプの入力。VDD/2の仮想グラウンドを提供。
6	VOUT	励起電圧信号出力
8	MCLK	システムのマスター・クロック。ユーザが入力
9	DVDD	デジタル電源電圧
10	AVDD1	アナログ電源電圧1
11	AVDD2	アナログ電源電圧2
12	DGND	デジタル・グラウンド
13	AGND1	アナログ・グラウンド1
14	AGND2	アナログ・グラウンド2
15	SDA	I <sup>2</sup> Cデータ入力。VDD間に10kΩのプルアップ抵抗を接続するオープン・ドレイン・ピンです。
16	SCL	I <sup>2</sup> Cクロック入力。VDD間に10kΩのプルアップ抵抗を接続するオープン・ドレイン・ピンです。

代表的な性能特性

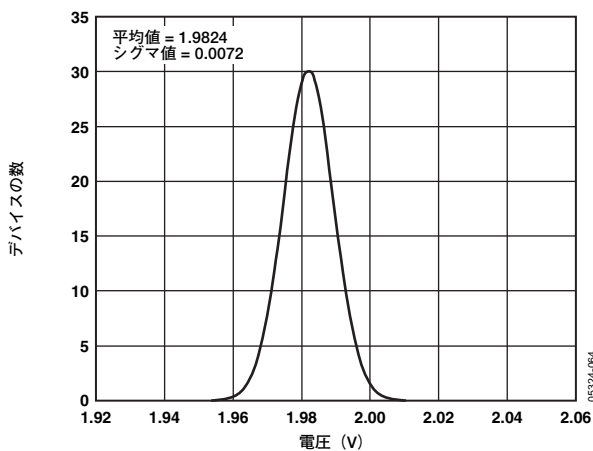


図4. レンジ1：出力励起電圧の分布 (VDD=3.3V)

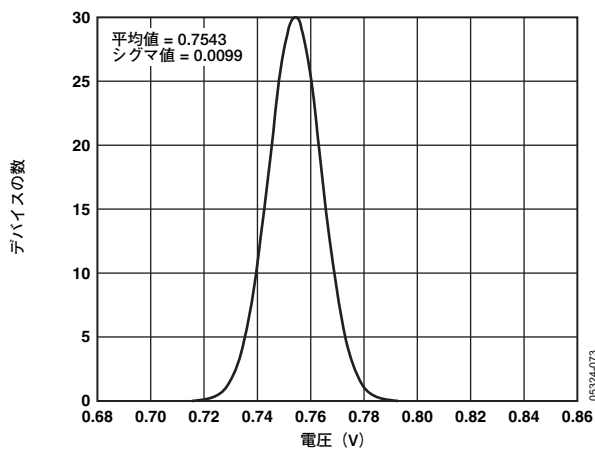


図7. レンジ2：DCバイアス電圧の分布 (VDD=3.3V)

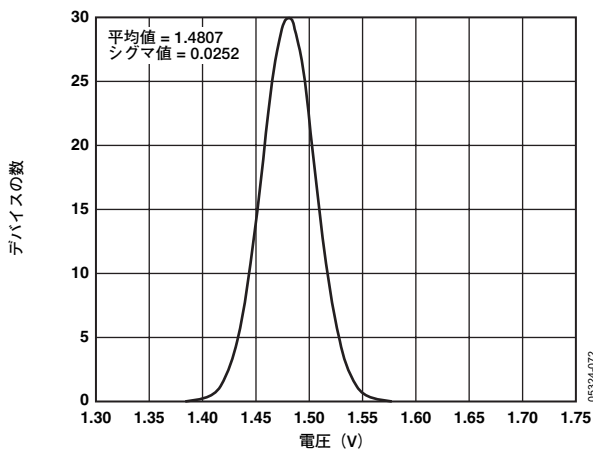


図5. レンジ1：DCバイアス電圧の分布 (VDD=3.3V)

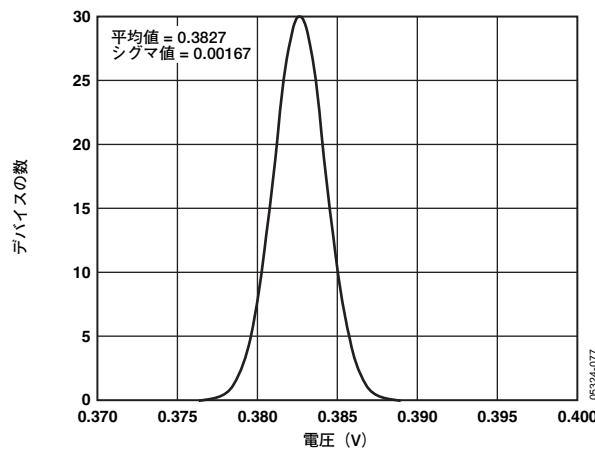


図8. レンジ3：出力励起電圧の分布 (VDD=3.3V)

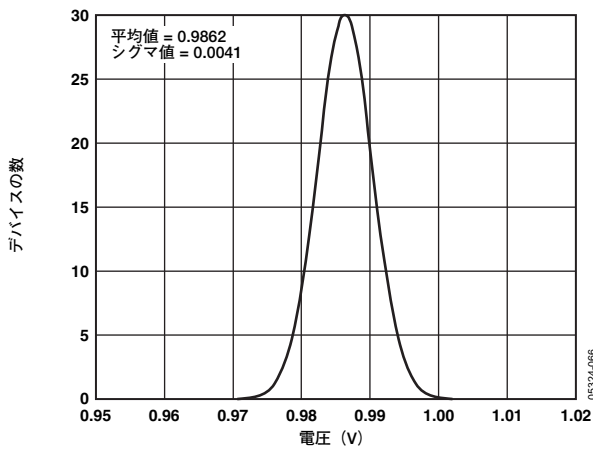


図6. レンジ2：出力励起電圧の分布 (VDD=3.3V)

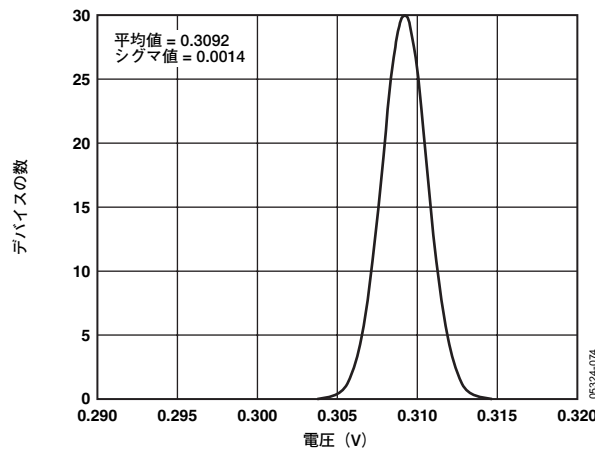


図9. レンジ3：DCバイアス電圧の分布 (VDD=3.3V)



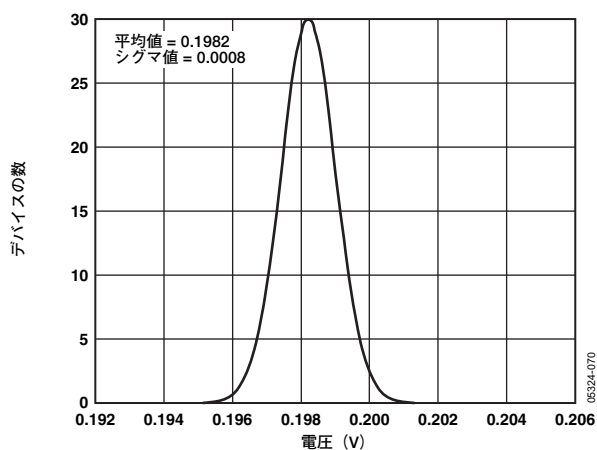


図10. レンジ4：出力励起電圧の分布 (VDD=3.3V)

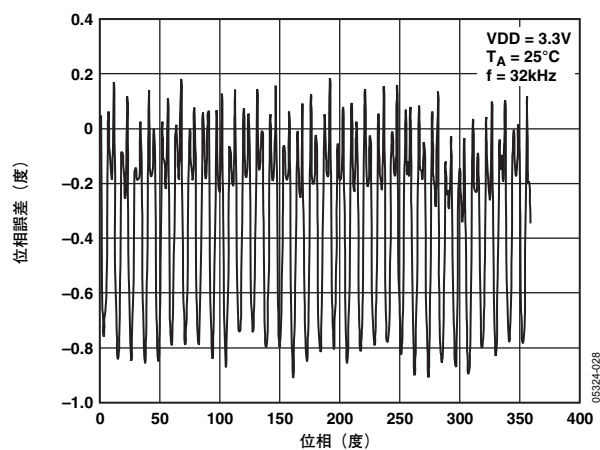


図13. 代表的な位相誤差

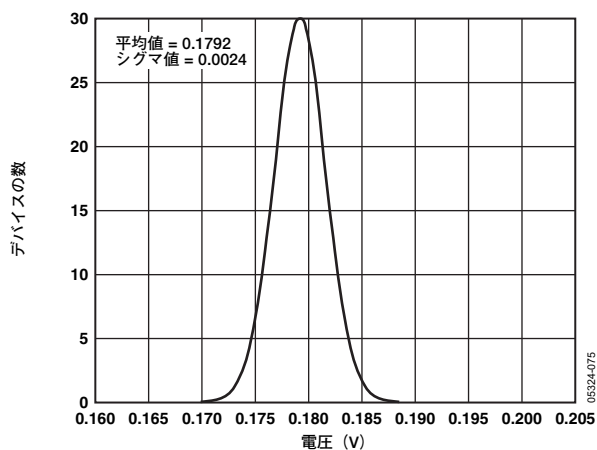


図11. レンジ4：DCバイアス電圧の分布 (VDD=3.3V)

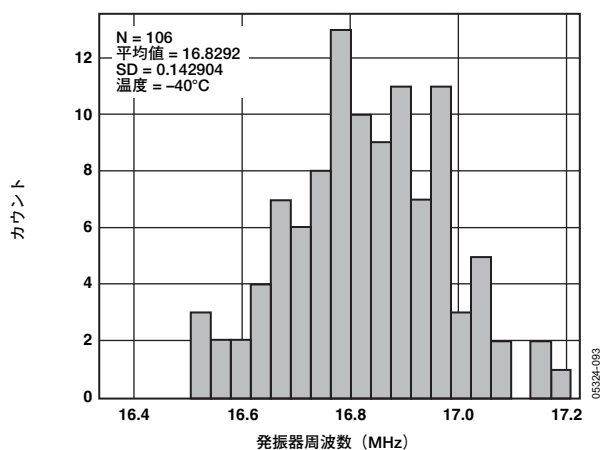


図14. 内部発振器の周波数分布 (-40°C)

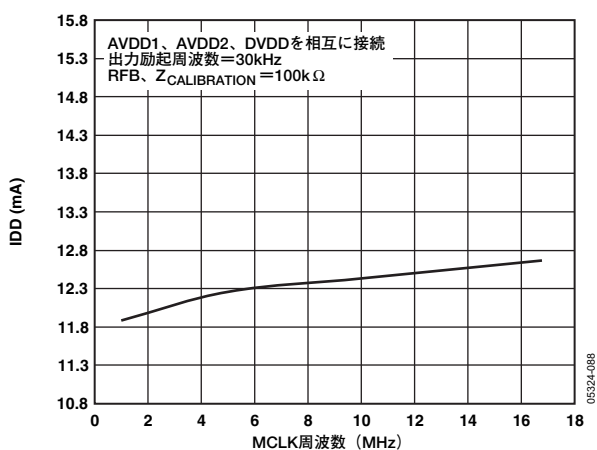


図12. 代表的なクロック周波数 対 電源電流

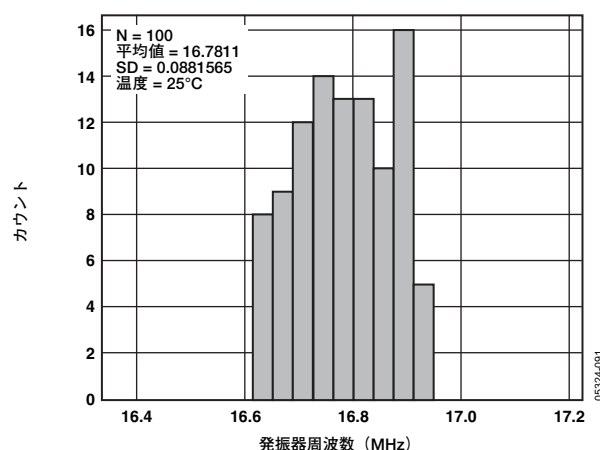


図15. 内部発振器の周波数分布 (+25°C)

# AD5933

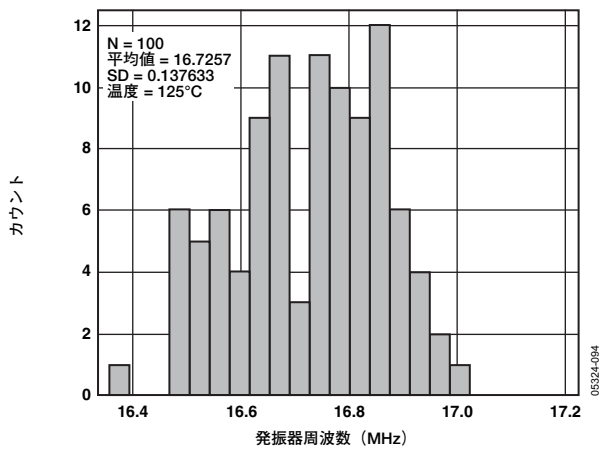


図16. 内部発振器の周波数分布 (+125°C)

## 用語の説明

### 総合システム精度

AD5933は、2.7～5.5Vの電源電圧で広範なインピーダンス値を0.5%未満の誤差で測定できます。

### スプリアスフリー・ダイナミック・レンジ (SFDR)

DDSデバイスの出力には、信号処理の対象となる周波数に加えて、基本周波数の高調波成分とこれらの周波数のイメージが現れます。スプリアスフリー・ダイナミック・レンジは、これらの周波数帯域内に現れる最大のスプリアスまたは高調波を指します。ワイドバンドSFDRは、基本周波数振幅を基準として、0からナイキスト帯域内での最大高調波または最大スプリアスの大きさを規定します。ナローバンドSFDRは、基本周波数を中心とする±200kHz帯域幅内での最大スプリアスまたは最大高調波の大きさを規定します。

### S/N比 (SNR)

測定された出力信号のrms値と、ナイキスト周波数より下の全スペクトル成分のrms値総和との比です。S/N比はdBの単位で表します。

### 全高調波歪み (THD)

THDは、高調波成分のrms合計値と基本波のrms値との比です。以下の式で、 $V_1$ は基本波のrms振幅、 $V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_4$ 、 $V_5$ 、 $V_6$ は2～6次までの高調波のrms振幅です。AD5933の場合、THDは以下の式のように定義されます。

$$THD(\text{db}) = 20 \log \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + V_5^2 + V_6^2}}{V_1}$$

システムの説明

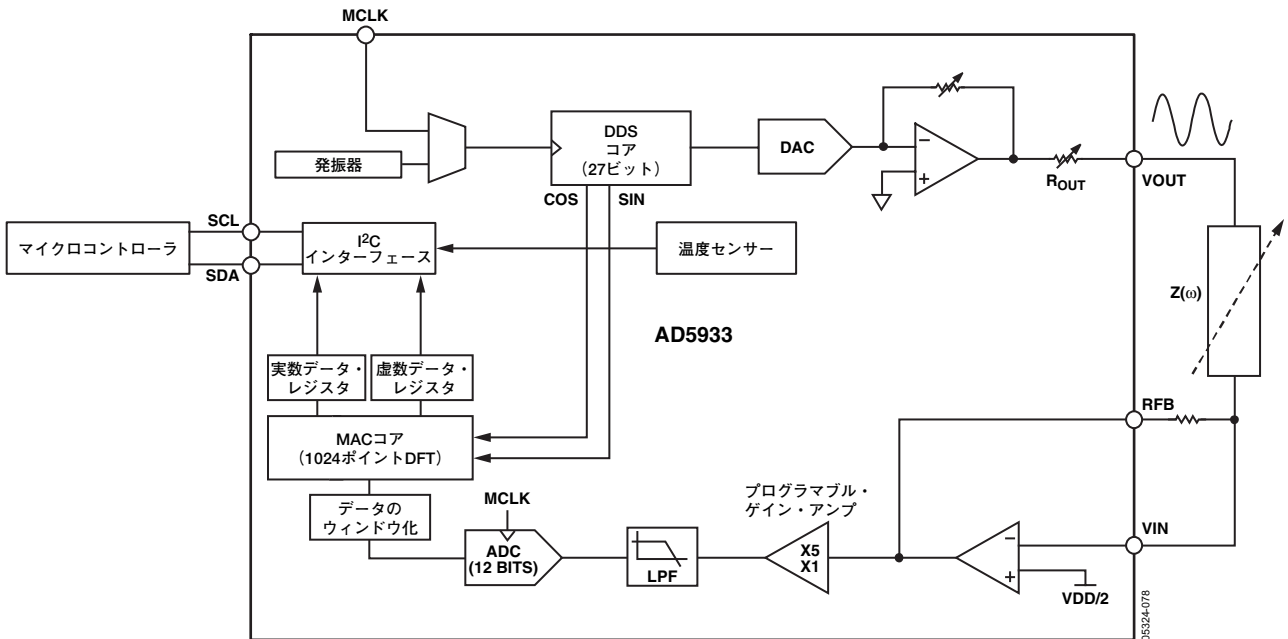


図17. ブロック概略図

AD5933は、高精度インピーダンス・コンバータのシステム・ソリューションで、周波数発生器と1MSPSの12ビットADCを内蔵しています。周波数発生器では、既知の周波数で外部の複素インピーダンスを励起できます。インピーダンスからの応答信号は、内蔵のADCでサンプリングされ、内蔵のDSPエンジンでDFT処理されます。DFTアルゴリズムは、掃引の各出力周波数ポイントで実数 (R) と虚数 (I) 両方のデータワードを返します。インピーダンスの大きさや位相は、次の2つの式を用いて容易に計算できます。

$$\text{インピーダンスの大きさ} = \sqrt{R^2 + I^2}$$

$$\text{位相} = \text{Tan}^{-1}(I/R)$$

インピーダンス  $Z(\omega)$  を特性化するには、通常図18に示すような結果を得るように周波数掃引を実行する必要があります。

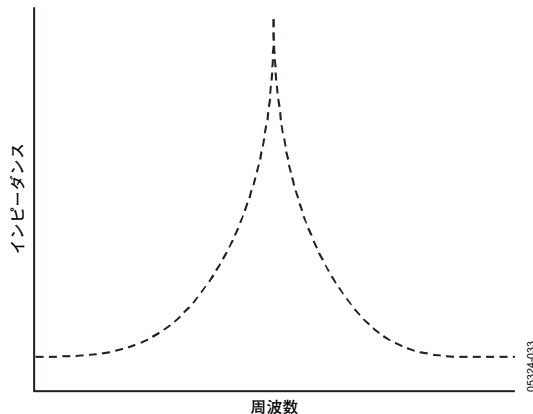


図18. インピーダンスの周波数特性

AD5933では、ユーザが定義するスタート周波数、周波数分解能、掃引ポイント数で周波数掃引を実行できます。さらに、VOUTとVINの各ピン間に外付けの未知インピーダンスを励起する出力正弦波信号のピークtoピーク値を設定することもできます。

表6に、設定可能な4つの出力ピークtoピーク電圧と、対応する各レンジのDCバイアス・レベルを示します。

表6.

出力励起電圧振幅	出力DCバイアス・レベル
レンジ1 : 1.98Vp-p	1.48V
レンジ2 : 0.97Vp-p	0.76V
レンジ3 : 383mVp-p	0.31V
レンジ4 : 198mVp-p	0.173V

送信段に対する励起信号は、1Hz未満の分解能が可能なDDS技術を使用して内部で生成されます。受信段では、未知インピーダンスからの入力信号電流を受信し、その信号処理を行った後で、この結果をデジタル信号に変換します。DDSのクロックは、MCLKに入力された外部のリファレンス・クロックまたは内部発振器から生成されます。DDSのクロックは、コントロール・レジスタのビットD3のステータスによって決まります（「レジスタ・マップ」の81 hを参照）。

## 送信段

AD5933の送信段は図19に示すように、特定の周波数で出力励起信号を供給する27ビットの位相アキュムレータDDSコアで構成されます。この位相アキュムレータへの入力は、START FREQUENCY（スタート周波数）レジスタのデータ内容から取り込まれます（RAMロケーション82 h、83 h、84 hを参照）。位相アキュムレータの分解能は27ビットですが、スタート周波数レジスタの上位3ビット（MSB）は内部で0に設定されているため、設定できるのはスタート周波数レジスタの下位24ビットのみです。

AD5933では、最小周波数分解能を0.1Hzまで下げることができます。この周波数分解能は、ICインターフェースを介してFREQUENCY INCREMENT（周波数インクリメント）レジスタにシリアルにロードされる24ビットワードにより設定されます。

周波数掃引は、スタート周波数、周波数インクリメント、インクリメント数の3つのパラメータで設定されます。

## スタート周波数

この24ビットワードは、内蔵RAMのアドレス82 h、83 h、84 hに書き込まれます（「レジスタ・マップ」を参照）。スタート周波数レジスタにロードされる必要なコードは式1から求められ、マスター・クロック周波数とDDSから出力される所要のスタート周波数に基づいて決定されます。

$$\text{スタート周波数のコード} = \left( \frac{\text{所要の出力スタート周波数}}{\left( \frac{MCLK}{4} \right)} \right) \times 2^{27} \quad (1)$$

たとえば、掃引を30kHzから開始し、MCLKに16MHzのクロック信号が接続されている場合、設定するコードは以下の式から求められます。

$$\text{スタート周波数のコード} = \left( \frac{30\text{kHz}}{\left( \frac{16\text{MHz}}{4} \right)} \right) \times 2^{27} = 0F5C28 \quad (16\text{進数値})$$

したがって、0F（16進数値）をレジスタ82 h、5C（16進数値）をレジスタ83 h、28（16進数値）をレジスタ84 hにそれぞれ設定します。

## 周波数インクリメント

この24ビットワードは、内蔵RAMのアドレス85 h、86 h、87 hに書き込まれます（「レジスタ・マップ」を参照）。周波数インクリメント・レジスタにロードされる必要なコードは式2から求められ、マスター・クロック周波数とDDSから出力される所要のインクリメント周波数に基づいて決定されます。

$$\text{周波数インクリメントのコード} = \left( \frac{\text{所要の周波数インクリメント}}{\left( \frac{MCLK}{4} \right)} \right) \times 2^{27} \quad (2)$$

たとえば、掃引分解能が10Hzで、MCLKに16MHzのクロック信号が接続されている場合、設定するコードは、以下の式から求められます。

$$\text{周波数インクリメントのコード} = \left( \frac{10\text{Hz}}{\left( \frac{16\text{MHz}}{4} \right)} \right) = 00014F \quad (16\text{進数値})$$

したがって、00（16進数値）をレジスタ85 h、01（16進数値）をレジスタ86 h、4F（16進数値）をレジスタ87 hにそれぞれ設定してください。

## インクリメント数

これは9ビットワード長で、掃引の周波数ポイント数を表します。この値は内蔵RAMのアドレス88 hと89 hに書き込まれます（「レジスタ・マップ」を参照）。設定可能な最大ポイント数は511です。

たとえば、掃引が150ポイントの場合、00（16進数値）をレジスタ88 h、96（16進数値）をレジスタ89 hにそれぞれ設定してください。

3つのパラメータ値の設定が完了したら、アドレス80 hおよび81 hのCONTROL（コントロール）レジスタにスタート周波数掃引コマンドを発行して、掃引を開始します（「レジスタ・マップ」を参照）。STATUS（ステータス）レジスタ（レジスタ8F h）のビット2で、各掃引ポイントの周波数測定の完了を示します。次の周波数掃引ポイントへのインクリメントは、ユーザが制御します。測定結果は、4個のレジスタ（94 h、95 h、96 h、97 h）に格納されるので、これらの測定結果を読み出してから、コントロール・レジスタに周波数インクリメント・コマンドを発行して次の掃引ポイントに移動してください。コントロール・レジスタで繰返し周波数コマンドを発行することによって、現在の周波数ポイントの測定を繰り返すことも可能です。この機能は、連続した読出し値の平均をとる場合に便利です。すべての周波数ポイントの掃引が完了すると、掃引の終了を示すステータス・レジスタのビット3がセットされます。このビットがセットされると、それ以降のインクリメントがディスエーブルになります。

## 周波数掃引コマンドのシーケンス

以下の手順を行うことによって、周波数掃引が実行されます。

- スタンバイ・モードを発行します。  
スタート周波数掃引コマンドを発行する前に、コントロール・レジスタ（レジスタ80 h）にスタンバイ・モード・コマンドを発行して、AD5933をスタンバイ・モードにする必要があります。スタンバイ・モードでは、VOUTとVINの各ピンがグラウンドに内部接続されるので、外部インピーダンスの両端またはインピーダンスとグラウンド間にDCバイアスが発生しません。
- 初期化モードを発行します。  
通常、高いQの複素回路は、安定状態に達するには長い時間が必要です。このようなインピーダンスの測定を容易にするために、このモードでは、実際のインピーダンス測定を行う周波数掃引モードが開始される前に、必要なセトリング時間が完全に制御されます。  
コントロール・レジスタにスタート周波数による初期化コマンドを発行すると、初期化モードに入ります。このモードでは、設定されたスタート周波数でインピーダンスが励起されますが、測定は行いません。必要なセトリング時間がタイムアウトしてから、コントロール・レジスタにスタート周波数掃引コマンドが発行され、スタート周波数掃引モードが開始します。
- スタート周波数掃引モードを発行します。  
コントロール・レジスタにスタート周波数掃引コマンドを発行して、このモードを開始します。このモードでは、設定されたセトリング時間サイクル数が経過した後、ADCが測定を開始します。各周波数ポイントで測定が開始される前に必要なセトリング時間は、出力周波数サイクルの整数値（セトリング時間サイクル数）となり、この値はレジスタ8A hおよび8B hに設定することができます（図32を参照）。

表6に示す4種類のレンジのピークtoピーク出力励起信号を生成するために、DDS出力信号はプログラマブルなゲイン段に渡されます。ピークtoピーク出力励起電圧は、コントロール・レジスタのビットD10とビットD9をセットすることにより選択され（「コントロール・レジスタ」を参照）、VOUTピンから出力されます。

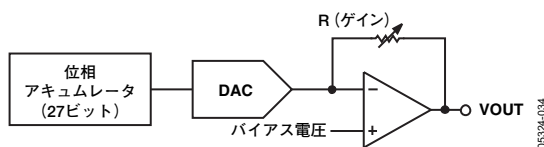


図19. 送信段

## 受信段

受信段は、I/V変換アンプ、プログラマブル・ゲイン・アンプ（PGA）、アンチエイリアシング・フィルタ、ADCの順に構成されています。受信段の回路図を図20に示します。未知インピーダンスがVOUTピンとVINピンの間に接続されます。初段のI/V変換アンプの構成では、VINピン上の電圧がVDD/2に設定されたDC値を持つ仮想グラウンドとなります。未知インピーダンスを流れる信号電流はVINピンに流入し、電流/電圧コンバータから電圧信号として出力されます。I/V変換アンプのゲインは、ユーザが選択できる帰還抵抗を4番ピン（RFB）と5番ピン（VIN）の間に接続して設定します。PGA段の選択ゲインと組み合わせて帰還抵抗値を選択し、信号をADCのリニア範囲内（0V～VDD）に維持することが重要です。

PGA段では、コントロール・レジスタのビットD8の設定に応じて、I/V変換アンプの出力をゲイン5または1に設定できます（「レジスタ・マップ」の「レジスタ81h」を参照）。その後、信号がローパス・フィルタ処理されて、12ビット、1MSPSのADCに入力されます。

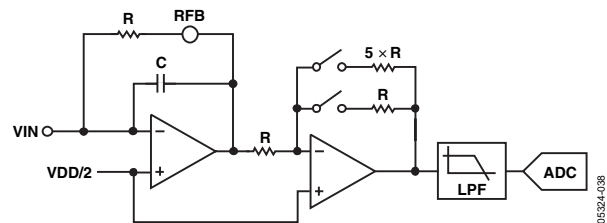


図20. 受信段

ADCから出力されるデジタル・データは、AD5933のDSPコアに直接渡され、そこでサンプリングされたデータに対してDFT処理が実行されます。

## DFTの動作

掃引の各周波数ポイントについてDFTが計算されます。AD5933のDFTアルゴリズムは、次式で表されます。

$$X(f) = \sum_{n=0}^{1023} (x(n)(\cos(n) - jsin(n)))$$

ここで、 $X(f)$ は周波数ポイントfの信号パワー、 $x(n)$ は周波数fでDDSコアによって提供されるサンプリング用テスト・ベクトルで、 $\cos(n)$ と $\sin(n)$ を含むADCの出力です。

この乗算は、各周波数ポイントで1,024回サンプルされたすべてが加算されます。この結果は実数部と虚数部を表す2個の16ビット・レジスタに格納され、データは2の補数フォーマットで保存されます。

## システム・クロック

AD5933のシステム・クロックは、次の2つのうちいずれかの方法で供給します。外部クロック・ピン (MCLK) に、高精度の安定したシステム・クロックを入力する方法と、内部発振器から周波数16.776MHz (typ値) のクロックを供給する方法です。

コントロール・レジスタ (アドレス81 h、表10を参照) のビットD3を設定して、上記のうちいずれか所望のシステム・クロックを選択できます。パワーアップ時のデフォルトのクロックは内部発振器です。

各種の温度時における内部クロックの周波数分布を図14、図15、図16に示します。

## 温度センサー

温度センサーの出力は、13ビットのデジタル・データで、14番目のビットが符号ビットとなっています。温度センサーがチップ上に内蔵されているので、デバイスの周辺温度を高精度に測定できます。

このセンサーの測定範囲は、 $-40\sim+125^{\circ}\text{C}$ です。 $+150^{\circ}\text{C}$ に達し仕様の最大電圧と最高温度で動作すると、デバイスの構造上の品質が劣化しはじめます。測定範囲内の精度は $\pm 2^{\circ}\text{C}$ です。

## 温度変換の詳細

AD5933の変換クロックは、内部で生成されます。したがって、シリアル・ポートの読み出しと書き込みの動作時を除いて、外部クロックは不要です。通常の動作モードでは、内部のクロック発振器によって変換シーケンスを自動的に実行します。

温度センサー・ブロックは、パワーダウン状態にデフォルト設定されています。測定を実行するには、コントロール・レジスタ (80 h) に温度測定コマンドを発行してください。温度測定動作 (通常はコマンドを発行して800 $\mu\text{s}$ 後に開始) が完了すると、次の温度測定コマンドが発行されるまで、このブロックは自動的にパワーダウンします。

有効な温度変換が実行されたかどうかを確認するために、ステータス・レジスタ (アドレス8F h) をポーリングできます。有効な温度データが92 hと93 hの各アドレスから読み出し可能であることが、このレジスタから確認できます。「レジスタ・マップ」を参照してください。

## 温度値レジスタ

温度値レジスタは16ビットの読み出し専用レジスタで、ADCからの出力温度値を14ビットの2の補数フォーマットで格納します。2個のMSBビットはドントケアです。DB13は符号ビットです。内部温度センサーは、 $-40\sim+150^{\circ}\text{C}$ での動作が保証されています。さまざまな温度について、92 hと93 hに格納されるデジタル出力を表7にまとめています。温度センサーの伝達関数を図21に示します。

表7. 温度データ・フォーマット

温度	デジタル出力DB13~DB0
$-40^{\circ}\text{C}$	11, 1011 0000 0000
$-30^{\circ}\text{C}$	11, 1100 0100 0000
$-25^{\circ}\text{C}$	11, 1100 1110 0000
$-10^{\circ}\text{C}$	11, 1110 1100 0000
$-0.03125^{\circ}\text{C}$	11, 1111 1111 1111
$0^{\circ}\text{C}$	00, 0000 0000 0000
$+0.03125^{\circ}\text{C}$	00, 0000 0000 0001
$+10^{\circ}\text{C}$	00, 0001 0100 0000
$+25^{\circ}\text{C}$	00, 0011 0010 0000
$+50^{\circ}\text{C}$	00, 0110 0100 0000
$+75^{\circ}\text{C}$	00, 1001 0110 0000
$+100^{\circ}\text{C}$	00, 1100 1000 0000
$+125^{\circ}\text{C}$	00, 1111 1010 0000
$+150^{\circ}\text{C}$	01, 0010 1100 0000

## 温度変換式

正の温度 = ADCコード(D) / 32

負の温度 = (ADCコード\*(D) - 16384) / 32  
(\* 符号ビットを含む14ビットすべてのデータバイトを使用)

負の温度 = (ADCコード(D) \* -8192) / 32  
(\* 符号ビットのD13をADCコードから除く)

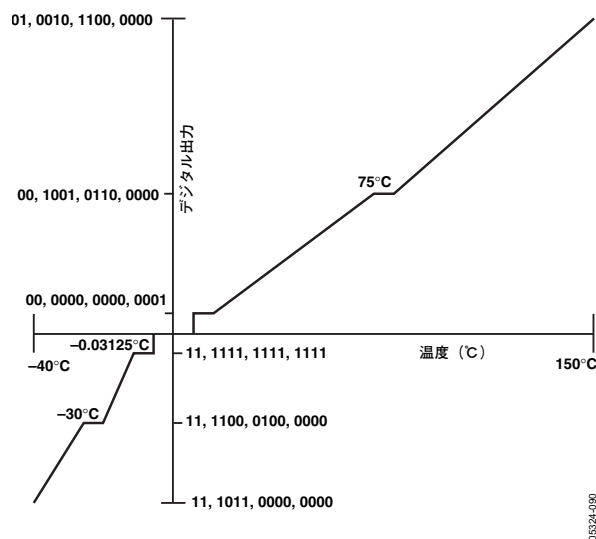


図21. 温度センサーの伝達関数

05324-090



## インピーダンスの計算

### インピーダンスの大きさの計算

各周波数ポイントにおけるインピーダンスを計算するには、最初にそのポイントにおけるDFTの大きさを計算します。

DFTの大きさは、以下の式から求められます。

$$\text{大きさ} = \sqrt{R^2 + I^2}$$

ここで、Rはレジスタ・アドレス94 hおよび95 hに格納されている実数値、そしてIはレジスタ・アドレス96 hおよび97 hに格納されている虚数値です。

たとえば、実数と虚数の各データ・レジスタに保存される結果が、ある周波数ポイントで以下のようになっていると仮定します。

実数データ・レジスタ：=038B h=907 (10進数値)

虚数データ・レジスタ：=0204 h=516 (10進数値)

$$\text{大きさ} = \sqrt{(907^2 + 516^2)} = 1043.506$$

この数値をインピーダンスに変換するには、ゲイン係数と呼ばれるスケーリング係数でこれを乗算します。ゲイン係数の計算は、既知インピーダンスをVOUTピンとVINピンの間に接続して、システムのキャリブレーション時に行います。

ゲイン係数は一度計算すると、VOUTピンとVINピンとの間に接続された未知のインピーダンス値の計算に利用できます。

### ゲイン係数の計算

ゲイン係数の計算例を以下に示します。次の条件を適用します。

出力励起電圧=2V(p-p)

キャリブレーション時のインピーダンス値

$Z_{\text{CALIBRATION}} = 200\text{k}\Omega$

PGAのゲイン=1倍

I/V変換アンプのゲイン設定抵抗の値=200k $\Omega$

キャリブレーション周波数=30kHz

特定の周波数ポイントにおける変換が終了した後で、実数と虚数の各データ・レジスタに保存される結果は通常以下ようになります。

実数データ・レジスタ：=F064 h=-3996 (10進数値)

虚数データ・レジスタ：=227E h=8830 (10進数値)

$$\text{大きさ} = \sqrt{(-3996)^2 + (8830)^2} = 9692.106$$

$$\text{ゲイン係数} = \left( \frac{\text{アドミタンス}}{\text{コード}} \right) = \frac{1}{\text{インピーダンス}} \times \frac{1}{\text{大きさ}}$$

$$\text{ゲイン係数} = \left( \frac{1}{\frac{200\text{k}\Omega}{9692.106}} \right) = 515.819\text{E}-12$$

### ゲイン係数を用いたインピーダンス計算

次の例では、すでに計算されたゲイン係数を使用して、未知のインピーダンス値を測定する方法を説明しています。この例では、未知のインピーダンス値を510k $\Omega$ と仮定しています。

30kHzの周波数で未知のインピーダンスを測定した後で、実数と虚数の各データ・レジスタに以下のデータが格納されていると想定します。

実数データ・レジスタ：=FA3F h=-1473 (10進数値)

虚数データ・レジスタ：=0DB3 h=3507 (10進数値)

$$\text{大きさ} = \sqrt{((-1473)^2 + (3507)^2)} = 3802.863$$

したがって、この周波数ポイントで測定されたインピーダンスは、以下の式から求められます。

$$\begin{aligned} \text{インピーダンス} &= \frac{1}{\text{ゲイン係数} \times \text{大きさ}} \\ &= \frac{1}{515.819273 \text{ E}-12 \times 3802.863} \Omega \\ &= 509.791\text{k}\Omega \end{aligned}$$

### 周波数の変化に伴うゲイン係数の変動

AD5933の周波数応答性は有限であるため、周波数が変わると、これに応じてゲイン係数も変動します。その結果、特定の周波数範囲でインピーダンス計算値に誤差が発生します。シングル・ポイントのゲイン係数計算に基づいたインピーダンスの変化を図22に示します。この誤差を最小限に抑えるには、周波数掃引を可能な限り小さい周波数範囲に制限してください。

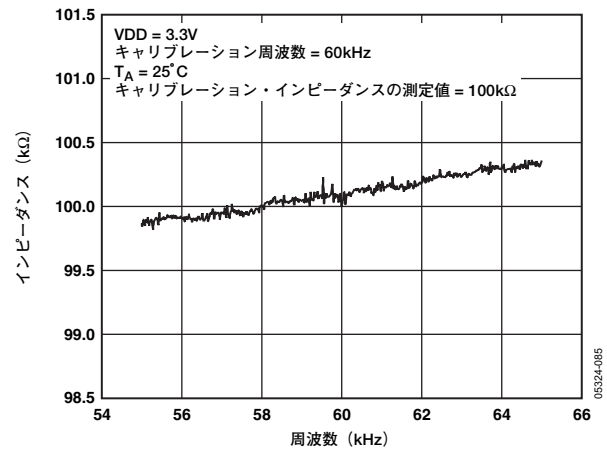


図22. シングル・ポイントのゲイン係数計算を使用した場合のインピーダンスの変化



## 2ポイント・キャリブレーション

誤差を最小限に抑えるには、周波数の変動がリニアであると仮定したうえで、2ポイント・キャリブレーションでゲイン係数を調整する方法もあります。2ポイントのゲイン係数計算に基づいたインピーダンスの変化を図23に示します。

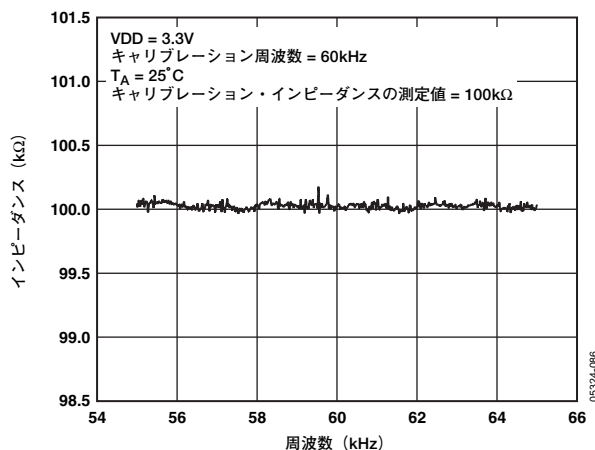


図23. 2ポイントのゲイン係数計算を使用した場合のインピーダンスの変化

## 2ポイントのゲイン係数計算

下記の仮定条件で2ポイントのゲイン係数計算を行う例を以下に紹介します。

- 出力励起電圧=2V(p-p)
- キャリブレーション時のインピーダンス値  
 $Z_{UNKNOWN} = 100.0k\Omega$
- PGAのゲイン=1倍
- 電源電圧=3.3V
- I/V変換アンプのゲイン設定抵抗の値=100k $\Omega$
- キャリブレーション周波数=55kHzおよび65kHz

2ポイントのキャリブレーション周波数で計算されたゲイン係数の代表値は、以下のようになります。

- 55kHz時に計算されたゲイン係数=1.031224E-09
- 65kHz時に計算されたゲイン係数=1.035682E-09
- ゲイン係数の差 ( $\Delta GF$ ) =1.035682E-09-1.031224E-09  
 =4.458000E-12
- 掃引周波数スパン ( $\Delta F$ ) =10kHz

したがって、60kHz時に必要なゲイン係数は、以下の式から求められます。

$$\left( \frac{4.458000E-12}{10kHz} \times 5kHz \right) + 1.031224E-09$$

必要なゲイン係数値=1.033453E-9

インピーダンス値は、前述した方法で計算します。

## ゲイン係数のセットアップ構成

ゲイン係数を計算するには、受信段がリニア領域で動作することが重要です。そのためには、励起信号範囲、I/V変換アンプのゲイン設定抵抗、PGAのゲインを慎重に選択してください。図24に示すシステム全体のゲインは、以下の式から求められます。

$$\frac{\text{励起電圧出力範囲} \times \text{ゲイン設定抵抗の値} \times \text{PGAのゲイン}}{Z_{UNKNOWN}}$$

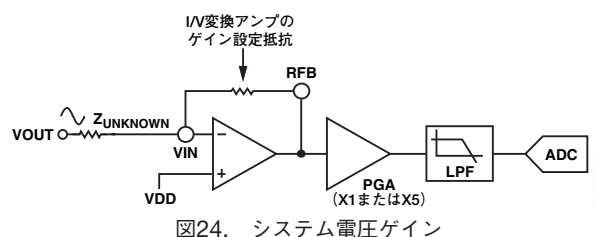


図24. システム電圧ゲイン

この例では、システム設定を以下のように仮定しています。

- VDD=3.3V
- ゲイン設定抵抗の値=200k $\Omega$
- $Z_{UNKNOWN} = 200k\Omega$
- PGAの設定ゲイン=1倍

ADCに入力されるピークtoピーク電圧は2Vp-pです。ただし、5倍のPGAゲインを選択すると、この電圧がADCを飽和させることとなります。

## ゲイン係数の再計算

以下に示すパラメータのどれかを変更する場合は、ゲイン係数の再計算が必要になります。

- I/V変換アンプのゲイン設定抵抗
- 出力励起電圧
- PGAのゲイン

## 温度変化に伴うゲイン係数の変動

温度変化に伴うインピーダンス誤差の代表的な変動値は、およそ30ppm/°C程度です。図25に、2ポイントのゲイン係数キャリブレーションを使用して100kΩのインピーダンスに対する温度変化によるインピーダンスの変動を示します。

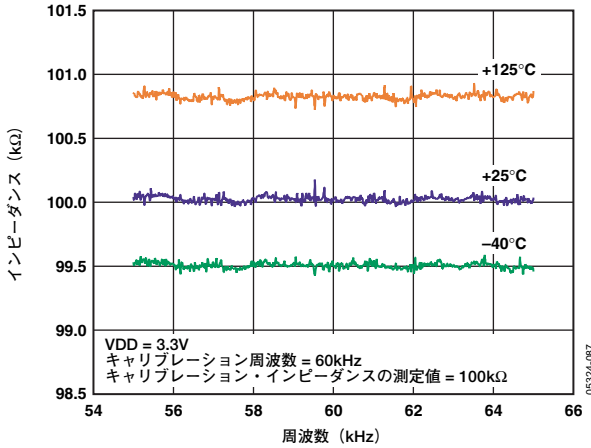


図25. 温度変化に伴うインピーダンスの変動 (2ポイントのゲイン係数計算を使用)

## インピーダンス誤差

測定するインピーダンス・レンジを最小にすると、AD5933の測定性能が最適化されます。6種類のインピーダンス・レンジで動作させたときのAD5933の性能例を以下に示します。いずれの場合も精度の高い抵抗を使用してゲイン係数を計算していません。

### レンジ1 (0.1~1kΩ)

出力励起電圧=2Vp-p  
 キャリブレーション時のインピーダンス値  
 $Z_{\text{CALIBRATION}} = 100\Omega$   
 PGAのゲイン=1倍  
 電源電圧=3.3V  
 I/V変換アンプのゲイン設定抵抗の値=100Ω

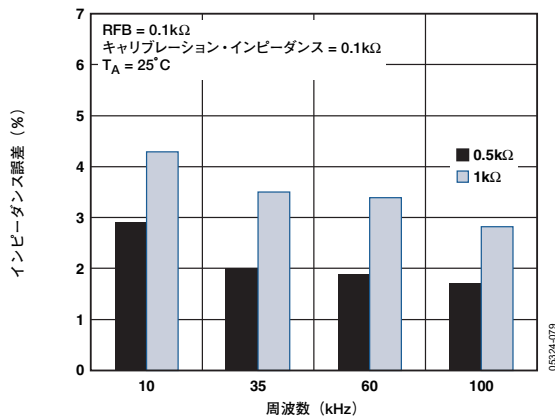


図26. レンジ1：周波数に対する標準的なインピーダンス誤差 (%)

### レンジ2 (1~10kΩ)

出力励起電圧=2Vp-p  
 キャリブレーション時のインピーダンス値  
 $Z_{\text{CALIBRATION}} = 1k\Omega$   
 PGAのゲイン=1倍  
 電源電圧=3.3V  
 I/V変換アンプのゲイン設定抵抗の値=1kΩ

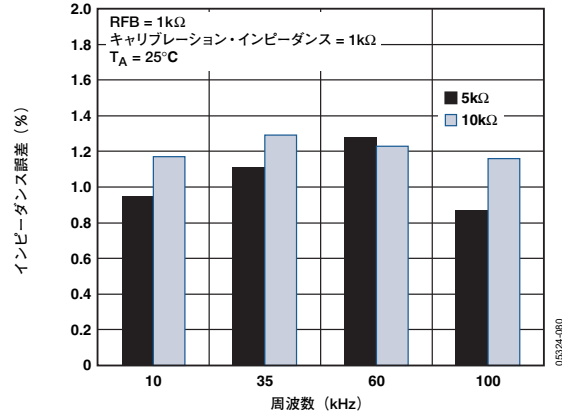


図27. レンジ2：インピーダンス誤差 (%) の代表的な周波数特性

### レンジ3 (10~100kΩ)

出力励起電圧=2Vp-p  
 キャリブレーション時のインピーダンス値  
 $Z_{\text{CALIBRATION}} = 10k\Omega$   
 PGAのゲイン=1倍  
 電源電圧=3.3V  
 I/V変換アンプのゲイン設定抵抗の値=10kΩ

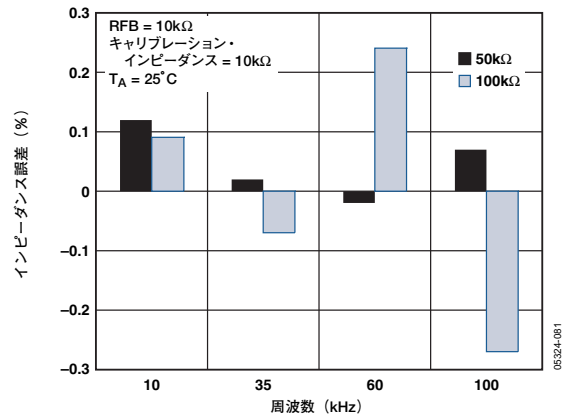


図28. レンジ3：インピーダンス誤差 (%) の代表的な周波数特性

## レンジ4 (100kΩ~1MΩ)

出力励起電圧=2Vp-p

キャリブレーション時のインピーダンス値

 $Z_{\text{CALIBRATION}} = 100\text{k}\Omega$ 

PGAのゲイン=1倍

電源電圧=3.3V

I/V変換アンプのゲイン設定抵抗の値=100kΩ

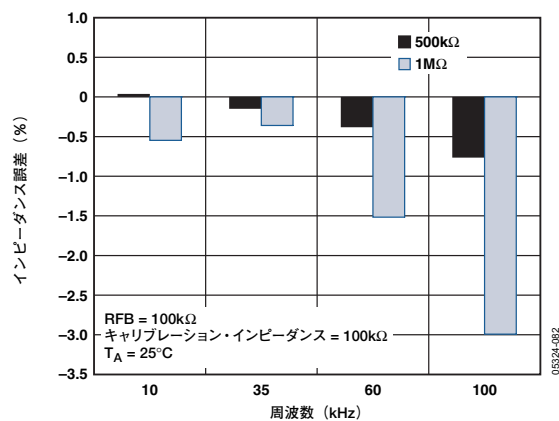


図29. レンジ4：インピーダンス誤差 (%) の代表的な周波数特性

## レンジ6 (9~10MΩ)

出力励起電圧=2Vp-p

キャリブレーション時のインピーダンス値

 $Z_{\text{CALIBRATION}} = 9\text{M}\Omega$ 

PGAのゲイン=1倍

電源電圧=3.3V

I/V変換アンプのゲイン設定抵抗の値=9MΩ

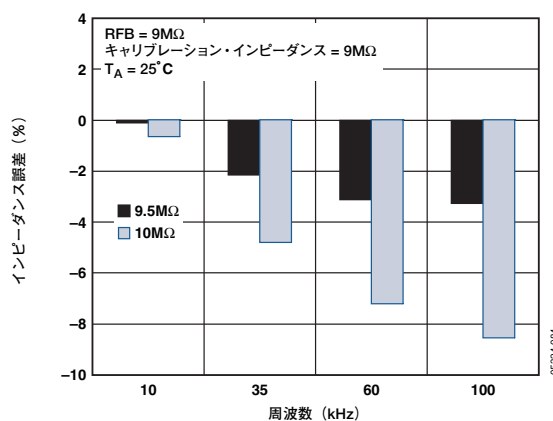


図31. レンジ6：インピーダンス誤差 (%) の代表的な周波数特性

## レンジ5 (1~2MΩ)

出力励起電圧=2Vp-p

キャリブレーション時のインピーダンス値

 $Z_{\text{CALIBRATION}} = 100\text{k}\Omega$ 

PGAのゲイン=1倍

電源電圧=3.3V

I/V変換アンプのゲイン設定抵抗の値=100kΩ

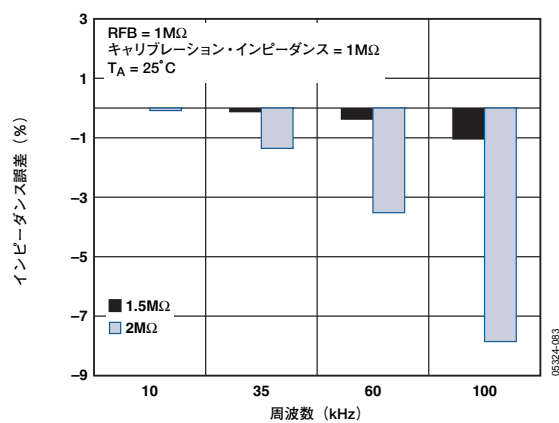


図30. レンジ5：インピーダンス誤差 (%) の代表的な周波数特性

## 周波数掃引の実行

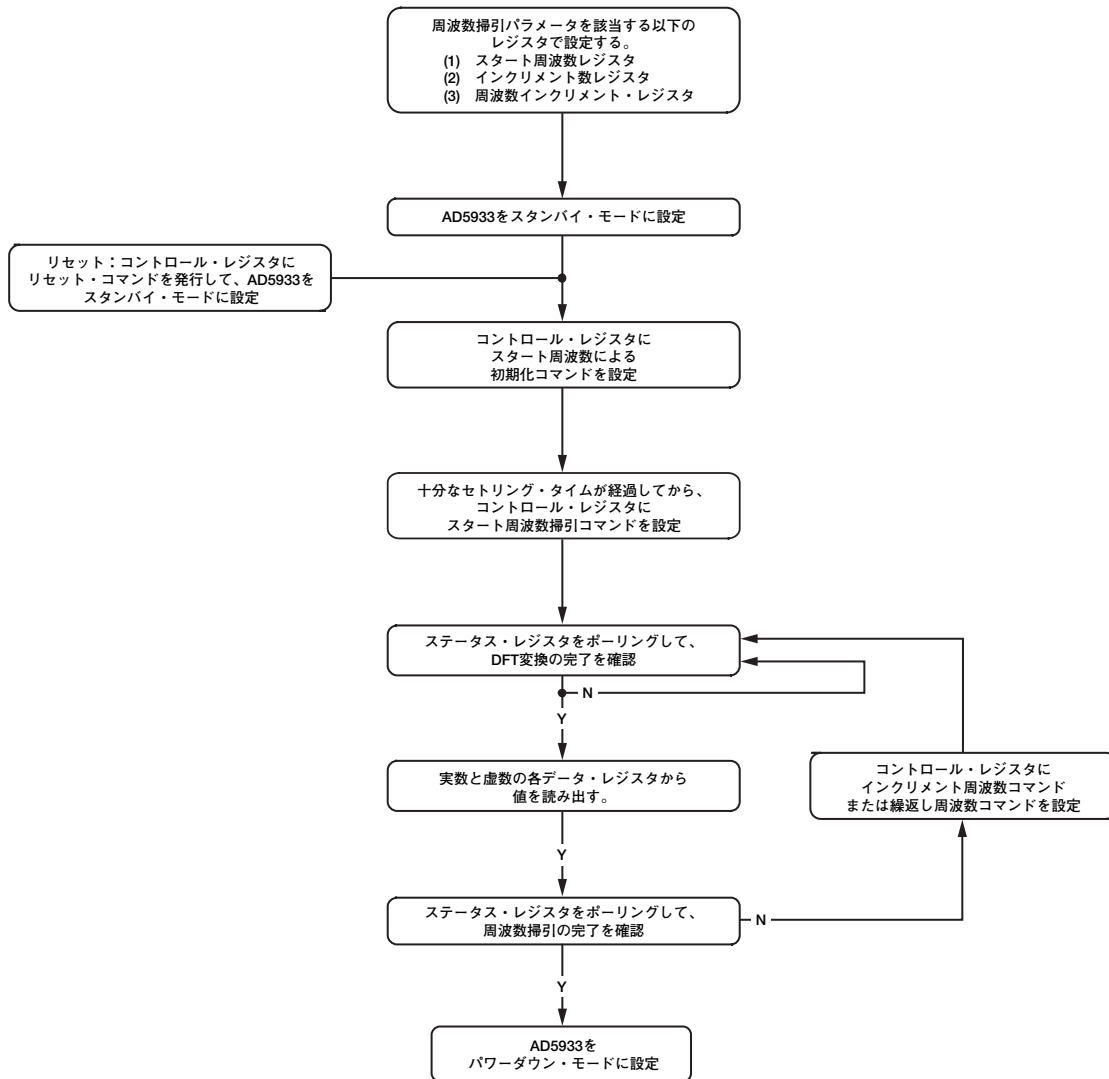


図32. 周波数掃引のフローチャート

06324-047

## レジスタ・マップ

表8

レジスタ名	レジスタ・アドレス	レジスタ・データ	書込み/読出しレジスタ
CONTROL (コントロール)	80 h 81 h	D15~D8 D7~D0	書込み/読出し 書込み/読出し
START FREQUENCY (スタート周波数)	82 h 83 h 84 h	D23~D16 D15~D8 D7~D0	書込み/読出し 書込み/読出し 書込み/読出し
FREQUENCY INCREMENT (周波数 インクリメント)	85 h 86 h 87 h	D23~D16 D15~D8 D7~D0	書込み/読出し 書込み/読出し 書込み/読出し
NUMBER OF INCREMENTS (インクリメント数)	88 h 89 h	D15~D8 D7~D0	書込み/読出し 書込み/読出し
NUMBER OF SETTLING TIME CYCLES (セトリング・ タイム・ サイクル数)	8A h 8B h	D15~D8 D7~D0	書込み/読出し 書込み/読出し
STATUS (ステータス)	8F h	D7~D0	読出し専用
TEMPERATURE DATA (温度データ)	92 h 93 h	D15~D8 D7~D0	読出し専用 読出し専用
REAL DATA (実数データ)	94 h 95 h	D15~D8 D7~D0	読出し専用 読出し専用
IMAGINARY DATA (虚数データ)	96 h 97 h	D15~D8 D7~D0	読出し専用 読出し専用

## コントロール・レジスタ

表9. 16ビット・レジスタ

80 h	D15~D8	書込み/読出し
81 h	D7~D0	書込み/読出し

コントロール・レジスタ（アドレス80 hおよび81 h）は、AD5933の制御モードを設定する16ビットのレジスタです。コントロール・レジスタの上位4ビットは、周波数掃引の実行、デバイスのパワーダウン、コントロール・レジスタ・マップで定義されるその他の各種制御機能を設定するようにデコードされています。

レジスタ・ロケーションの80 hを書込み専用にし、かつ81 hのデータを変更しないように選択できます。ブロック書込みコマンドの一环として、コントロール・レジスタに書込みを行ってはいけません。励起電圧とシステム・クロックをコントロール・レジスタで設定することもできます。コントロール・レジスタにリセット・コマンドを発行しても、掃引に関連する設定値（スタート周波数、インクリメント数、周波数インクリメント）はどれもリセットされません。リセット・コマンドの後、コントロール・レジスタにスタート周波数による初期化コマンドを発行し、周波数掃引シーケンスを再起動する必要があります（図32を参照）。

リセット時のデフォルト値：D15~D0はパワーアップ時にA0 00Hにリセットされます。

表10. コントロール・レジスタ・マップ

ビット	D15	D14	D13	D12	
	0	0	0	0	動作なし
	0	0	0	1	スタート周波数による初期化
	0	0	1	0	スタート周波数掃引
	0	0	1	1	インクリメント周波数
	0	1	0	0	繰返し周波数
	1	0	0	0	動作なし
	1	0	0	1	温度測定
	1	0	1	0	パワーダウン・モード
	1	0	1	1	スタンバイ・モード
	1	1	0	0	動作なし
	1	1	0	1	動作なし
D11					動作なし
		D10	D9		出力電圧範囲
		0	0		レンジ1 (2.0Vp-p (typ))
		0	1		レンジ4 (200mVp-p (typ))
		1	0		レンジ3 (400mVp-p (typ))
		1	1		レンジ2 (1.0Vp-p (typ))
D8					PGAゲイン 0=5倍、1=1倍
D7					予備。0に設定
D6					予備。0に設定
D5					予備。0に設定
D4					リセット
D3		1			外部クロック=1、ユーザがMCLKにクロックを入力
		0			内部発振器=0、外部クロックが不要
D2		0			必ず0に設定
D1					予備。0に設定
D0					予備。0に設定

## コントロール・レジスタのデコード

## スタート周波数による初期化

このコマンドにより、DDSは設定済みのスタート周波数を無制限に出力できます。未知のインピーダンスを最初に励起するときに、これを使用します。指定した時間が経過した後で、未知の出力インピーダンスがセトリングしたときに、スタート周波数掃引コマンドを起動して、周波数の掃引を開始してください。

## スタート周波数掃引

このモードでは、設定されたセトリング・タイム・サイクル数が経過した後、ADCが測定動作を開始します。各周波数ポイントで測定を開始する前に、レジスタ8A hおよび8B hで出力周波数サイクルの整数値（セトリング・タイム・サイクル数）を設定できます。図32を参照。

## AD5933

### インクリメント周波数

次の周波数掃引ポイントに移動するときに、インクリメント周波数コマンドを使用します。これは通常、その前のステップからのデータが転送され、そのデータがDSPによって検証された後で行います。AD5933がこのコマンドを受信すると、設定済みのセトリング・タイム・サイクル数が経過するまで待機してから、ADCの変換プロセスを開始します。

### 繰り返し周波数

コントロール・レジスタに繰り返し周波数コマンドを発行し、現在の周波数ポイントでの測定を繰り返すことができます。この機能は、連続した読出し値の平均をとる場合に便利です。

### 温度測定

温度測定コマンドを設定すると、AD5933からの温度の読出し動作が開始されます。温度の読出し動作を実行するために、AD5933をパワーアップ・モードにする必要はありません。このブロックが自動的にパワーアップし、読出し値を取り込んだ後で、再びパワーダウンします。読み出された温度は、14ビットの2の補数フォーマットでアドレス92 hおよび93 hに保存されます。

### パワーダウン・モード

AD5933のパワーアップ時の状態は、デフォルトでパワーダウン・モードに設定されています。コントロール・レジスタには、1010000000000000 (A000h) のコードが格納されています。このモードでは、VOUT出力ピンとVIN入力ピンの両方が内部でGNDに接続されます。

### スタンバイ・モード

通常の動作時に、AD5933をパワーアップします。(デバイスを通常動作向けに立ち上げます。) スタンバイ・モードでは、VINとVOUTの各ピンが内部でグラウンドに接続されます。

### リセット

リセット・コマンドを使用して掃引を中断できます。スタート周波数、インクリメント数、周波数インクリメントの各レジスタに格納されているデータは上書きされません。周波数掃引コマンド・シーケンスを再起動するには、その前にスタート周波数による初期化コマンドを発行してください。

### 出力電圧範囲

VOUTから出力される励起電圧範囲を設定できます。

### PGAゲイン

ADCへ入力する応答信号を5倍または1倍に増幅するように設定できます。

## スタート周波数レジスタ

表11. 24ビット・レジスタ

82 h	D23~D16	書込み/読出し
83 h	D15~D8	書込み/読出し
84 h	D7~D0	書込み/読出し

スタート周波数レジスタには起点となる周波数が24ビットのデジタル値で格納され、後続の周波数掃引はその周波数から開始されます。たとえば、30kHzの周波数から掃引を開始したい場合 (16.00MHzのクロックを使用)、レジスタ・ロケーション82 hに0F h、レジスタ・ロケーション83 hに5C h、レジスタ・ロケーション84 hに28 hをそれぞれ設定します。この設定によって、出力周波数が確実に30kHzから開始されます。

スタート周波数レジスタに設定されるコードは、以下の式から求められます。

$$\text{スタート周波数のコード} = \left( \frac{30\text{KHz}}{\left( \frac{16\text{MHz}}{4} \right)} \right) \times 2^{27} = 0F5C28 \text{ (16進数値)}$$

リセット時のデフォルト値：D23~D0はパワーアップ時にリセットされません。リセット・コマンドが発行されても、このレジスタのデータはリセットされません。

## 周波数インクリメント・レジスタ

表12.

85 h	D23~D16	書込み/読出し
86 h	D15~D8	書込み/読出し
87 h	D7~D0	書込み/読出し

周波数インクリメント・レジスタには、連続的な掃引周波数ポイント間の周波数インクリメントを表す24ビットのデジタル値が格納されます。たとえば、16.0MHzのクロックを使用して、10Hzのインクリメント・ステップを設定したい場合、レジスタ・ロケーション85 hに00 h、レジスタ・ロケーション86 hに01 h、レジスタ・ロケーション87 hに4F hをそれぞれ設定します。

インクリメント周波数は次式を使用して計算します。

$$\text{周波数インクリメント・コード} = \left( \frac{10\text{KHz}}{\left( \frac{16\text{MHz}}{4} \right)} \right) \times 2^{27} = 00014F h$$

レジスタ85 hに00 h、レジスタ86 hに01 h、レジスタ87 hに4F hをそれぞれ設定してください。

リセット時のデフォルト値：D23~D0はパワーアップ時にリセットされません。リセット・コマンドが発行されても、このレジスタのデータはリセットされません。

## インクリメント数レジスタ

表13. 16ビット・レジスタ

D15~D9=ドントケア	8h	D15~D8	書込み／読出し	整数値をバイナリ・フォーマットで格納
D8~D0=周波数インクリメント数	89h	D7~D0	書込み／読出し	

このレジスタでは、周波数掃引の周波数ポイントの数を指定します。ポイントの数は、D8~D0の9ビットワードで表されます。D9~D15はドントケア・ビットです。このレジスタをスタート周波数レジスタおよびインクリメント周波数レジスタと組み合わせて使用し、掃引動作の周波数掃引範囲を決定します。設定可能な最大インクリメント数は511です。

リセット時のデフォルト値：D8~D0はパワーアップ時にリセットされません。リセット・コマンドが発行されても、このレジスタのデータはリセットされません。

## セトリング・タイム・サイクル数レジスタ

表14. 16ビット・レジスタ

D15~D11=ドントケア D10~D9=2ビットのデコード D8=MSB セトリング・タイム・サイクル数 D10 D9 0 0 デフォルト 0 1 サイクル数×2 1 0 予備 1 1 サイクル数×4	8Ah	D15~D8	書込み／読出し	整数値をバイナリ・フォーマットで格納
セトリング・タイム・サイクル数	8Bh	D7~D0	書込み／読出し	

このレジスタでは、スタート周波数、周波数インクリメント、または繰り返し周波数の各コマンドを受信した後で、かつADCが応答信号の変換を開始する前に、未知のインピーダンスを通過することが可能な出力励起のサイクル数を設定します。このセトリング・タイム・サイクル数レジスタ値は、スタート周波数／周波数インクリメント／繰り返し周波数の各コマンドの受信と、ADC変換開始との間の遅延時間を決定します。サイクル数は、D8~D0の9ビットワードで表されます。D10とD9の各ビットのステータスに応じて、このレジスタの設定値を2倍または4倍にできます。D15~D11の上位5ビットはドントケアです。設定可能な最大出力サイクル数は、 $511 \times 4 = 2044$ サイクルです。たとえば、30kHzの励起信号を使用すると仮定します。この周波数を設定した後で、この信号がADCによって最初にサンプリングされるまでの最大遅延時間の概算値は、 $511 \times 4 \times 33.33 \mu\text{s} = 68.126 \text{ms}$ です。ADCは1024個のサンプルを取り込み、その結果は実数／虚数データとして94hから97hまでの各レジスタに格納されます。16.777MHzのクロックを使用する場合の変換プロセスの所要時間は、およそ1msです。

リセット時のデフォルト値：D10~D0はパワーアップ時にリセットされません。リセット・コマンドが発行されても、このレジスタのデータはリセットされません。



# AD5933

## ステータス・レジスタ

表15. 8ビット・レジスタ

8F h	D7~D0	読出し専用
------	-------	-------

ステータス・レジスタは、測定テストが正常に完了したことを確認するときに使用します。D7~D0の各ビットは、AD5933の特定機能のステータスを示します。

D0とD4~D7の各ビットはドントケアで、測定のステータスをまったく表しません。

ビットD1のステータスは、特定の周波数ポイントにおけるインピーダンス測定のステータスを示します。AD5933が現在の周波数ポイントのインピーダンス測定を完了したときに、このビットがセットされます。これは、93 hから97 hまでの各レジスタに有効な実数/虚数データが格納されていることを指示します。スタート周波数、周波数インクリメント、繰り返し周波数、リセットの各コマンドが受信される時点で、このビットはリセットされます。パワーアップ時にも同様にリセットされます。

ビットD2のステータスは、設定済みの周波数掃引のステータスを示します。インクリメント数レジスタで設定された周波数インクリメントがすべて完了したときに、このビットがセットされます。このビットはパワーアップ時、およびリセット・コマンドが受信されるときにリセットされます。

表16. ステータス・レジスタ

ステータス・レジスタのアドレス	コントロール・ワード	機能
8F h	0000 0001	有効な温度測定
8F h	0000 0010	有効な実数/虚数データ
8F h	0000 0100	周波数掃引の完了
8F h	0000 1000	予備
8F h	0001 0000	予備
8F h	0010 0000	予備
8F h	0100 0000	予備
8F h	1000 0000	予備

### 有効な温度測定

このビットは有効な温度変換が完了したときに設定され、92 hと93 hの各アドレスから有効な温度データの読出しが可能であることを示します。ユーザーがコントロール・レジスタ (80h) で温度測定コマンドを発行して、温度測定が実行されるときにリセットされます。

### 有効な実数/虚数データ

このビットは、現在の周波数ポイントのデータ処理が完了するとセットされ、実数/虚数データの読出しが可能であることを示します。DDSスタート/インクリメント/繰り返しコマンドが発行されると、リセットされます。このビットはさらに、コントロール・レジスタにリセット・コマンドが発行されるときにも同様に、0にリセットされます。

### 周波数掃引の完了

このビットは、掃引の最後の周波数ポイントのデータ処理が完了すると、セットされます。スタート周波数掃引コマンドがコントロール・レジスタに発行されると、リセットされます。さらに、コントロール・レジスタにリセット・コマンドが発行されるときにも同様にリセットされます。

## 温度データ・レジスタ (16ビット)

表17. 温度データ・レジスタ

92 h	D15~D8	読出し専用	2の補数データ
93 h	D7~D0	読出し専用	

これらのレジスタには、AD5933の温度データを表すデジタル値が格納されます。これらの値は、16ビットの2の補数フォーマットで保存されます。D15とD14の各ビットはドントケア・ビットです。ビット13は符号ビットです。この値を実際の温度に変換する方法については、「温度変換式」を参照してください。

## 実数および虚数データ・レジスタ (16ビット)

表18. 実数データ・レジスタ

94 h	D15~D8	読出し専用	2の補数データ
95 h	D7~D0	読出し専用	

表19. 虚数データ・レジスタ

96 h	D15~D8	読出し専用	2の補数データ
97 h	D7~D0	読出し専用	

これらのレジスタには、現在の周波数ポイントで測定されたインピーダンスの実数部と虚数部を表すデジタル値が格納されます。これらの値は、16ビットの2の補数フォーマットで保存されます。この値を実際のインピーダンス値に変換するには、大きさ、つまり $\sqrt{(\text{実数}^2 + \text{虚数}^2)}$ をアドミタンス/コード値 (ゲイン係数と呼ぶ) で乗算してアドミタンス値を求め、その計算結果の逆数をとってインピーダンス値を求めます。ゲイン係数は、AC励起電圧とゲインの組合わせに応じて変化します。

リセット時のデフォルト値：これらのレジスタはパワーアップ時、またはリセット・コマンドが受信されるときにリセットされません。両レジスタのデータが有効になるのは、ステータス・レジスタのビットD1がセットされて、現在の周波数ポイントのデータ処理が完了したことを示す場合に限られます。



## シリアル・バス・インターフェース

AD5933は、I<sup>2</sup>C互換のシリアル・インターフェース・プロトコルを介して制御されます。AD5933はマスター・デバイスから制御されるスレーブ・デバイスとして、このバスに接続されます。AD5933は、7ビットのシリアル・バス・スレーブ・アドレスをもっています。AD5933はパワーアップ時に、デフォルトのシリアル・バス・アドレス0001101 (0D h) をもちます。

### 一般的なI<sup>2</sup>Cタイミング

一般的なI<sup>2</sup>Cプロトコルは、以下に説明するように動作します。図33は、I<sup>2</sup>C互換インターフェースを使用した一般的な読出し/書き込み動作のタイミング図を示しています。

シリアル・クロック・ライン (SCL) がハイレベルのときに、シリアル・データライン (SDA) がハイレベルからローレベルに遷移してスタート状態が確立されると、マスターがデータ転送を開始します。このスタート状態は、データ・ストリームが後に続くことを示します。スレーブはスタート状態に対して応答し、7ビットのスレーブ・アドレス (MSBファースト) と1つのR/Wビットで構成される次の8ビットにシフトします。R/Wビットはデータ転送の方向、すなわちデータがスレーブ・デバイスに書き込まれるか、読み出されるかを決定します (0=書き込み、1=読出し)。

スレーブは、アクノレッジ (ACK) ビットと呼ばれる9番目のクロック・パルスが送られる前のローレベル期間中にデータラインをローレベルに引き込み、このクロック・パルスがハイレベルの間にデータラインをローレベルに保持する方法によって応答します。バス上の他のデバイスはすべて、選択されたデバイスがデータの読出しまたは書き込み動作を待っている間、アイドル状態に維持されます。R/Wビットが0のとき、マスターはスレーブ・デバイスにデータを書き込みます。R/Wビットが1のとき、マスターはスレーブ・デバイスからデータを読み出します。

データは9個のクロック・パルス、8ビットのデータの順でシリアル・バスを介して送信され、その後にはマスターまたはスレーブ・デバイスから1個のアクノレッジ・ビットが続きます。データライン上のデータ遷移は、クロック信号がハイレベルのときにデータラインがローレベルからハイレベルに遷移すると、ストップ信号として解釈されるので、クロック信号がローレベルの期間中に発生し、クロック信号がハイレベルの間はその状態で安定している必要があります。この動作が書き込みの場合、スレーブ・アドレスの後続の最初のデータバイトがコマンド・バイトになります。このコマンド・バイトは、次に予測される動作をスレーブ・デバイスに通知します。ブロック書き込みが行われることをスレーブ・デバイスに通知する命令であったり、後続のデータを書き込む場所をスレーブ・デバイスに知らせるレジスタ・アドレスの場合もあります。データはR/Wビットの指定に従って一方のみに流れるので、読出し動作中にスレーブ・デバイスにコマンドを送信することはできません。読出し動作を実行する前に書き込み動作を実行し、これから実行する読出し動作の種類、データを読み出すアドレスをスレーブ・デバイスに通知することが必要になる場合があります。

すべてのデータバイトの読出しまたは書き込み動作が完了すると、ストップ状態が確立されます。書き込みモードでは、マスターは10番目のクロック・パルス中にデータラインをハイレベルに引き込み、ストップ状態をアサートします。読出しモードでは、9番目のクロック・パルスの前のローレベル期間中にマスター・デバイスがSDAラインを解放しますが、スレーブ・デバイスはこれをローレベルに引き込むことはありません。これは、ノーアクノレッジ (NACK) と呼ばれます。次にマスターは10番目のクロック・パルスの前のローレベル期間中にデータラインをローレベルに引き込み、10番目のクロック・パルス中にハイレベルに遷移させることによって、ストップ状態をアサートします。

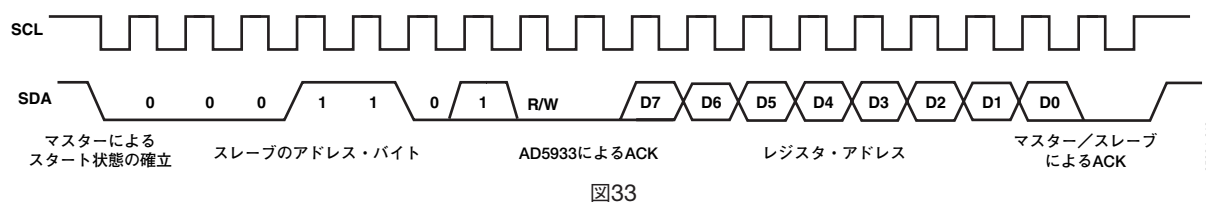


図33

05324-08

# AD5933

## AD5933の書込み／読出し

インターフェース仕様では、各種タイプの読出しおよび書込み動作に対応するプロトコルを規定しています。ここでは、AD5933で使用されるプロトコルについて説明します。以下の図では、次の省略記号を使用しています。

- S スタート
- P ストップ
- R 読出し
- W 書込み
- A アクノレッジ
- A ノーアクノレッジの書込みバイト／コマンド・バイト

### ユーザ・コマンド・コード

表20に記載するコマンド・コードは、インターフェースの読出し／書込みに使用します。ここではこれらのコードを詳細に説明しますが、参照しやすいようにグループ化しています。

表20

コマンド・コード	コード名	コードの説明
1010 0000	ブロック書込み	複数のバイトをRAMに書き込むときに、このコマンドを使用します。「ブロック書込み」を参照。
1010 0001	ブロック読出し	複数のバイトをRAM／メモリから読み出すときに、このコマンドを使用します。「ブロック読出し」を参照。
1011 0000	アドレス・ポインタ	このコマンドを使用して、アドレス・ポインタをメモリ内の任意のロケーションに設定できます。データには、ポインタが指示するレジスタのアドレスが格納されます。

### 書込みバイト／コマンド・バイト

この動作では、マスター・デバイスがスレーブ・デバイスに対してデータバイトを送信します。書込みバイトとしては、RAMロケーションへのデータバイトの書込み、またはコマンド動作が可能です。レジスタにデータを書き込むときのコマンド・シーケンスは、以下のとおりです。

1. マスター・デバイスがSDA上でスタート状態をアサートします。
2. マスターが7ビットのスレーブ・アドレスと、その後に書込みビット（ローレベル）を送信します。
3. アドレス指定されたスレーブ・デバイスがSDA上でACKをアサートします。
4. マスターがレジスタ・アドレスを送信します。
5. スレーブがSDA上でACKをアサートします。
6. マスターがデータバイトを送信します。
7. スレーブがSDA上でACKをアサートします。
8. マスターがSDA上でストップ状態をアサートし、トランザクションを終了します。

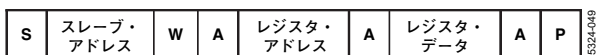


図34. レジスタ・アドレスへのレジスタ・データの書込み

AD5933では、レジスタ・ロケーションへのポインタの設定にも同様に、書込みバイト・プロトコルを使用します。これは、同じアドレスからその後実行されるシングル・バイトの読出し、あるいはそのアドレスで開始されるブロック読出し／書込み動作に使用します。

レジスタ・ポインタを設定するときのコマンド・シーケンスは、以下のとおりです。

1. マスター・デバイスがSDA上でスタート状態をアサートします。
2. マスターが7ビットのスレーブ・アドレスと、その後に書込みビット（ローレベル）を送信します。
3. アドレス指定されたスレーブ・デバイスが、SDA上でACKをアサートします。
4. マスターがポインタ・コマンド・コードを送信します（表20を参照。ポインタ・コマンド=1011 0000）。
5. スレーブがSDA上でACKをアサートします。
6. マスターがデータバイト（ポインタが指示するレジスタ・ロケーション）を送信します。
7. スレーブがSDA上でACKをアサートします。
8. マスターがSDA上でストップ状態をアサートし、トランザクションを終了します。

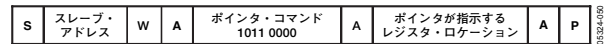


図35. レジスタ・アドレスへのポインタの設定

### ブロック書込み

この動作では、マスター・デバイスがスレーブ・デバイスに対してデータ・ブロックの書込みを行います。ブロック書込みのスタート・アドレスを事前に設定しておく必要があります。AD5933では、ポインタの設定によってレジスタ・アドレスを指定します。

1. マスター・デバイスがSDA上でスタート状態をアサートします。
2. マスターが7ビットのスレーブ・アドレスと、その後に書込みビット（ローレベル）を送信します。
3. アドレス指定されたスレーブ・デバイスが、SDA上でACKをアサートします。
4. マスターが8ビットのコマンド・コード（1010 0000）を送信し、ブロック書込みが行われることをスレーブ・デバイスに通知します。
5. スレーブがSDA上でACKをアサートします。
6. マスターがデータバイトを送信し、送信されるデータバイト数をスレーブ・デバイスに通知します。
7. スレーブがSDA上でACKをアサートします。
8. マスターがデータバイトを送信します。
9. データバイトが送信されるたびに、スレーブがSDA上でACKをアサートします。
10. マスターがSDA上でストップ状態をアサートし、トランザクションを終了します。

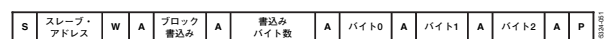


図36. ブロック書込み

## AD5933の読出し動作

AD5933では、以下に説明するI<sup>2</sup>C読出しプロトコルを使用します。

### 受信バイト

AD5933では受信バイト・プロトコルを使用し、アドレス・ポインタの設定によってアドレスがすでに指定されているレジスタ・ロケーションからシングル・バイトのデータを読み出します。

この動作では、マスター・デバイスが以下の手順でスレーブ・デバイスからシングル・バイトを受信します。

1. マスター・デバイスがSDA上でスタート状態をアサートします。
2. マスターが7ビットのスレーブ・アドレスと、その後に読出しビット（ハイレベル）を送信します。
3. アドレス指定されたスレーブ・デバイスがSDA上でACKをアサートします。
4. マスターがデータバイトを受信します。
5. マスターがSDA上でNACKをアサートします（スレーブは、マスターがデータを受信したことをチェックする必要があります）。
6. マスターがSDA上でストップ状態をアサートし、トランザクションを終了します。

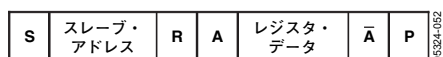


図37. レジスタ・データの読出し

### ブロック読出し

この動作では、マスター・デバイスがスレーブ・デバイスからデータ・ブロックを読み出します。ポインタを設定して、ブロック読出しのスタート・アドレスを事前に設定しておく必要があります。

1. マスター・デバイスがSDA上でスタート状態をアサートします。
2. マスターが7ビットのスレーブ・アドレスと、その後に書込みビット（ローレベル）を送信します。
3. アドレス指定されたスレーブ・デバイスが、SDA上でACKをアサートします。
4. マスターがコマンド・コード（1010 0001）を送信し、ブロック読出しが行われることをスレーブ・デバイスに通知します。
5. スレーブがSDA上でACKをアサートします。
6. マスターがバイト・カウント・データバイトを送信し、送信するデータバイト数をスレーブ・デバイスに通知します。
7. スレーブがSDA上でACKをアサートします。
8. マスターがSDA上で繰返しスタート状態をアサートします。これは、読出しビットをハイレベルに設定するために必要です。
9. マスターが7ビットのスレーブ・アドレスと、その後に読出しビット（ハイレベル）を送信します。
10. スレーブがSDA上でACKをアサートします。
11. マスターが複数のデータバイトを受信します。
12. データバイトが受信されるたびに、マスターがSDA上でACKをアサートします。
13. 最後のバイトの後にNACKが生成されて、読出し動作の終了を知らせます。
14. マスターがSDA上でストップ状態をアサートし、トランザクションを終了します。

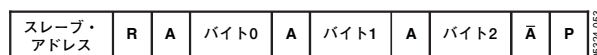
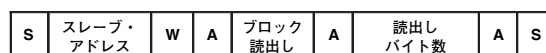


図38. ブロック読出しの実行

## 代表的なアプリケーション

ここでは、AD5933の代表的なアプリケーションについて説明します。

### 生体医学：血液インピーダンスの非侵襲的測定

すでにウイルスが侵入している血液サンプルに既知のウイルス菌株を加えると化学反応が起き、そのために特定の条件下における血液のインピーダンスが変化します。種々の周波数でこの作用を特性評価すると、特定のウイルス菌株を検出できます。たとえば、特定の病原菌はある周波数で一定の特性インピーダンスを示しますが、他の周波数では示しません。したがって、種々のウイルスを検出するためには、さまざまな周波数で掃引を行う必要があります。AD5933は27ビットの位相アキュムレータを内蔵しているため、1Hz未満の精度で周波数チューニングが可能になります。

AD5933を利用して、プローブで刺激信号を血液サンプルに注入できます。この応答信号を解析し、血液の実効インピーダンスを集計します。各テストで要求される特定の周波数にチューニングできるので、AD5933はこのアプリケーションに最適です。

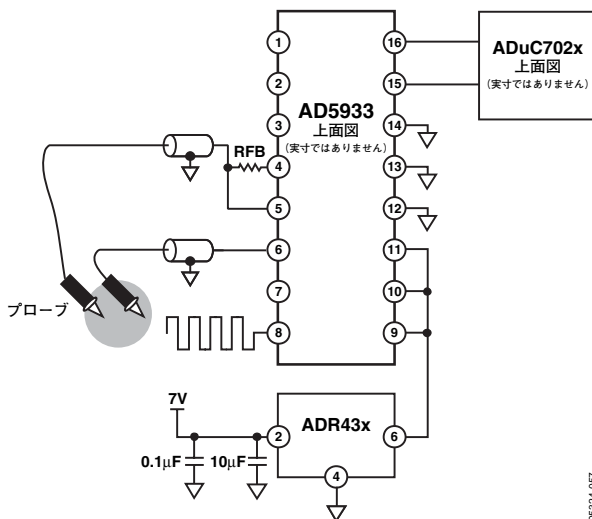


図39. ウィルス菌株検出のための血液サンプル測定

### センサー／複素インピーダンスの測定

容量性近接センサーの動作原理は、RLC共振回路における容量の変化に基づいています。容量が変化すると、これに伴ってRLC回路の共振周波数が変化しますが、この変化は図40に示すように評価することができます。

最初に、RLC回路を共振領域にチューニングさせる必要があります。RLC回路のインピーダンスは、共振周波数で最大になります。したがって、AD5933が備えているプログラマブルな周波数掃引およびチューニング機能が必要になります。

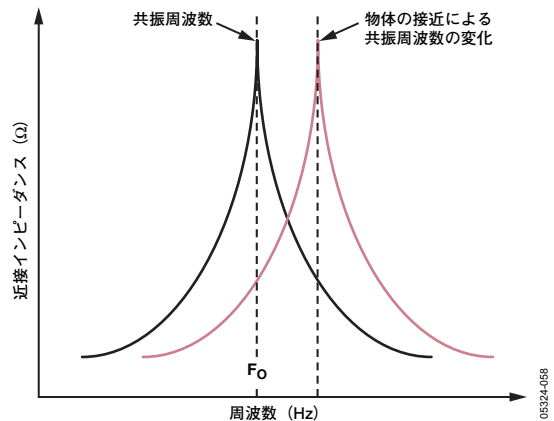


図40. 共振周波数の変化の検出

このようなタイプのセンサーを利用する一例として、列車の接近測定システムが挙げられます。軌道上を接近してくる列車の磁界は、共振周波数を特性評価が可能な程度にまで変化させます。この情報をメインフレーム・システムに送り返して、ネットワーク上に列車の位置を表示できます。

AD5933のもう1つのアプリケーションとして、駐車車両の検出が挙げられます。組込み型ユニットにAD5933を実装し、駐車位置の真下に設置されたコイルに接続します。AD5933は、配線構成に応じて80~100kHzの範囲の単一周波数を出力します。この配線は、1つの共振回路としてモデル化できます。既知のインピーダンス値と周波数でコイルのキャリブレーションを実施します。ループのインピーダンスが常時モニタされます。車両がこのコイルの上の場所に駐車すると、コイルのインピーダンスが変化するため、AD5933は車両の存在を検出します。

## 電子インピーダンス分光法

AD5933を腐食モニタの分野に利用できます。アルミニウムや銅鉄などの金属の腐食は、工業インフラや航空機、船舶、車両などの輸送手段に損傷を及ぼすおそれがあります。このような損傷を放置すれば、早期故障を引き起こし、コストのかさむ修理や交換作業が必要になる場合があります。多くの場合、腐食の発生を検出できれば、その進行を防いだり遅らせたりするなどして、修理や交換を回避することができます。現在では、腐食の検出に目視検査が用いられていますが、時間や費用がかさむことと、アクセスが難しい場所には使えないという難点があります。

目視検査に代わる方法は、腐食センサーを利用した自動化モニタリングです。モニタリングはコストが低く、所要時間も短く、さらに目視検査が不可能な場所にも使用できます。腐食センサーのチェックには、これまで電気化学式のインピーダンス分光法 (EIS) が利用されてきましたが、現在では大型の実験室用テスト測定装置が必要とされています。AD5933はこの種の測定に対して、高精度でコンパクトなソリューションを提供し、腐食率を自動的に測定できるフィールド配備が可能なセンサー・システムの開発を可能にします。

アルミニウムの腐食は、並列に接続された抵抗 ( $R_p$ ) とコンデンサ ( $C_p$ ) に抵抗 ( $R_s$ ) を直列に接続したRC回路を使用して、数学的にモデル化できます。システム金属は、 $R_s=10\Omega\sim 10k\Omega$ 、 $R_p=1k\Omega\sim 1M\Omega$ 、 $C_p=5\sim 70\mu F$ の値を持ちます。図41は、アルミニウム腐食センサーの代表的なボーデ線図、およびインピーダンス係数と位相角度の周波数特性を示しています。

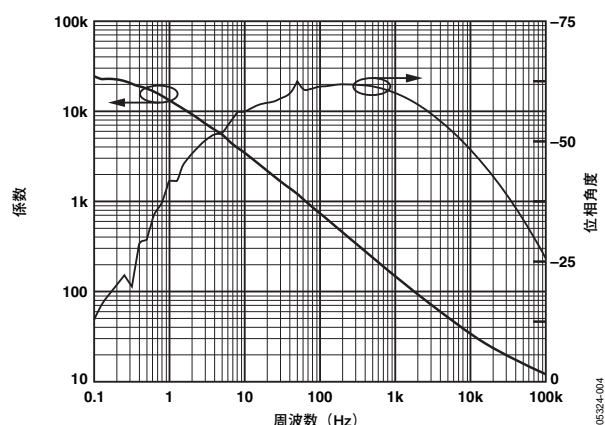


図41. アルミニウム腐食センサーのボーデ線図

これらの数値を正確に測定するためには、0.1~100kHzまでの周波数範囲でインピーダンスを測定する必要があります。この測定自体が腐食作用を発生しないようにするために、通常は±20mVの領域内の最小電圧で金属を励起しなければなりません。近接して実装されるAduC702xなどのプロセッサまたはコントロール・ユニットが、10分ごとに0.1~100kHzの周波数範囲の単一のインピーダンス掃引を記録し、その結果をコントロール・ユニットにダウンロードしてフィードバックします。0.1~1kHzの周波数領域でシステム精度を実現するには、システム・クロックを16.776MHzの公称クロック周波数から500kHz (typ値) に分周することが必要です。クロック分周は、AD9834などのDDC (ダイレクト・デジタル・シンセサイザ) をプログラマブル分周器として外付けし、デジタル的に行うことができます。この分周器はMCLKにクロック信号を供給し、近接して実装されるマイクロプロセッサからデジタル的に制御できます。

## AD5933

### AD5933のリファレンスの選択

AD5933から最適な性能を得るためには、高精度の電圧リファレンスを注意して選ぶ必要があります。AD5933には、3つのリファレンス入力（AVDD1、AVDD2、DVDD）があります。これらのリファレンス入力の電圧は、同じ電源電圧から得ることを推奨します。

高精度アプリケーション向けの電圧リファレンスの選択に際しては、誤差源として初期精度、ppmドリフト、長期ドリフト、出力電圧ノイズを考慮します。これらの誤差を最小限に抑えるために、初期精度の高いリファレンスの使用を推奨します。また、ADR43xファミリなどの出力調整機能付きのリファレンスを選択すれば、リファレンス電圧をその公称値以外の電圧に設定することにより、システム誤差を調節できます。この調整機能は、温度に対しても使用できるので、他の誤差も抑えられます。

AD5933は、必要とする電源電流が非常に小さいため、低消費電力アプリケーションに最適です。低消費電力アプリケーションに使用する場合は、電圧リファレンスとしてADR395の使用を推奨します。無負荷時静止電流が100 $\mu$ A未満と小さく、またノイズ性能も、0.1~10Hzの範囲で8 $\mu$ Vp-pと非常に優れています。

長期ドリフトは、リファレンスの経時変化を測定した値です。優れた長期ドリフト仕様を備えたリファレンスは、製品寿命を通じて安定した状態に精度が維持されています。周囲条件下でシステム出力電圧の温度依存性を低く抑えるために、優れた温度係数仕様を備えたリファレンスを選択してください。

比較的低いノイズが求められる高精度のアプリケーションでは、リファレンスの出力電圧ノイズを考慮に入れる必要があります。要求されるシステム・ノイズ分解能に対して、可能な限り出力ノイズ電圧が低いリファレンスを選択することが重要です。ADR433などの高精度電圧リファレンスは、0.1~10Hzの範囲で出力ノイズが低く抑えられています。AD5933の電源として推奨する高精度リファレンスの例を表21に示します。

表21. AD5933用の高精度リファレンス一覧

製品番号	初期精度 (mV max)	出力電圧 (V)	温度ドリフト (ppm/°C max)	0.1~10Hzのノイズ ( $\mu$ Vp-p typ)
ADR433B	$\pm 1.4$	3.0	3	3.75
ADR433A	$\pm 4.0$	3.0	10	3.75
ADR434B	$\pm 1.5$	4.096	3	6.25
ADR434A	$\pm 5$	4.096	10	6.25
ADR435B	$\pm 2$	5.0	3	8
ADR435A	$\pm 6$	5.0	10	8
ADR439B	$\pm 2$	4.5	3	7.5
ADR439A	$\pm 5.4$	4.5	10	7.5



## レイアウトと構成

### 電源のバイパスとグラウンディング

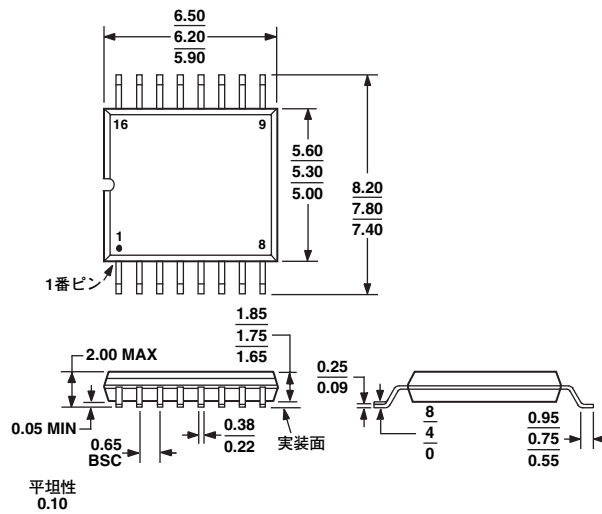
精度が重視される回路では、ボード上の電源とグラウンド・リターンのレイアウトに注意してください。AD5933を実装するPCボードは、アナログ部とデジタル部を分離し、ボード内でそれぞれまとめて配置するように設計してください。複数のデバイスがAGNDとDGNDの接続を必要とするシステムでAD5933を使用する場合は、必ず1ヵ所のみでこの接続を行ってください。グラウンド・ポイントはAD5933のできるかぎり近くに配置してください。

AD5933の電源は、10 $\mu$ Fと0.1 $\mu$ Fのコンデンサを使用してバイパスします。コンデンサはデバイスのできるだけ近くに配置し、0.1 $\mu$ Fのコンデンサは理想的にはデバイスの直近に配置することが望まれます。10 $\mu$ Fのコンデンサはタンタル・ビード型を使います。0.1 $\mu$ Fのコンデンサは、セラミック型の等価直列抵抗(ESR)が小さく、かつ等価直列インダクタンス(ESL)が小さいものを使うことが重要です。この0.1 $\mu$ Fのコンデンサは、内部ロジックのスイッチングによる過渡電流によって発生する高周波に対して、グラウンドへの低インピーダンス・パスを提供します。

電源ラインはできるだけ太いパターンにしてインピーダンスを下げ、電源ライン上のグリッチによる影響を低減させます。クロックなどの高速なスイッチング・デジタル信号は、デジタル・グラウンドを用いてボード上の他の部分からシールドします。デジタル信号とアナログ信号は、できるだけ交差しないようにしてください。ボードの両側のパターンは、互いに直角になるように配線し、ボードを通過するフィードスルーの影響を削減します。最適なボード・レイアウト技術は、ボードの部品側をグラウンド・プレーン専用として使い、信号パターンをハンダ面に配置するマイクロストリップ技術ですが、両面ボードでは必ずしもこの方法が使用できるとは限りません。

# AD5933

## 外形寸法



JEDEC規格MO-150-ACに準拠  
 図42. 16ピン・シュリンク・スモール・アウトライン・パッケージ [SSOP]  
 (RS-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
AD5933YRSZ <sup>1</sup>	-40~+125°C	16ピン・シュリンク・スモール・アウトライン・パッケージ (SSOP)	RS-16
AD5933YRSZ-REEL7 <sup>1</sup>	-40~+125°C	16ピン・シュリンク・スモール・アウトライン・パッケージ (SSOP)	RS-16
EVAL-AD5933EB	-40~+125°C	評価用ボード	

<sup>1</sup> Z=鉛フリー製品

アナログ・デバイゼス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IC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FCシステムで使用するフィリップス社のIC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FC規格仕様に準拠したシステムが必要です。