Smart Analog IC 300

ゲイン誤差・オフセット電圧の自己測定方法と補正方法

R02AN0019JJ0100
Rev.1.00
2014.01.31

要旨

本アプリケーションノートでは、Smart Analog IC 300 のコンフィギュラブル・アンプが持つ誤差（ゲイン誤差、オフセット電圧）を、内蔵の D/A コンバータと制御用マイクロコントローラの A/D コンバータで測定し、補正する方法について説明します。

動作確認デバイス

Smart Analog IC 300（品名：RAA730300）

目次

1. 概要 2
2. 誤差の要因 3
3. 誤差の測定手順 4
4. 実施例 38

1.　概要

1.1　はじめに

Smart Analog IC 300 では、コンフィギュラブル・アンプを 3 チャネル内蔵しています。これらのアンプは、IC の製造ばらつき、また、温度などの周囲環境によって、ゲイン誤差、およびオフセット電圧が発生します。微小な電圧を増幅する場合、もしくは、センシング精度が必要な場合、これらの誤差を補正する必要があります。Smart Analog IC 300 では、これらの誤差を、内蔵の D/A コンバータと制御用マイクロコントローラの A/D コンバータで測定し（自己測定）、制御用マイクロコントローラで補正することが可能です。

本アプリケーションノートでは、主に、ゲイン誤差とオフセット電圧を、内蔵の D/A コンバータと制御用マイクロコントローラの A/D コンバータを用いて測定する方法を示します。

測定で得られたゲイン誤差とオフセット電圧は、コンフィギュラブル・アンプの出力電圧から入力電圧を逆算するために用います。算出された入力電圧は、ゲイン誤差とオフセット電圧がキャンセルされた状態のセンシング信号となります。そのため、より正確なセンシング信号に順応するシステムを構築することが可能となります。この補正を、制御用マイクロコントローラを用いて実施します。

補正方法については、関連アプリケーションノート（Smart Analog IC 300 自己測定方法と補正方法 MCU ソフトウェア説明（R02AN0020J））にて、詳細を示します。

1.2　関連アプリケーションノート

関連するアプリケーションノートを以下に示します。併せてご参照ください。

- Smart Analog IC 300　センサタイプ別によるアンプ構成選択方法（R02AN0016J）アプリケーションノート
- Smart Analog　Smart Analog Easy Starter（Ver. 2.0）を用いたセンサ評価（R02AN0017J）アプリケーションノート
- Smart Analog IC 300/301　機能特長と使用例（Smart Analog IC 500 シリーズとの比較）（R02AN0018J）アプリケーションノート
- Smart Analog IC 300 自己測定方法と補正方法 MCU ソフトウェア説明（R02AN0020J）アプリケーションノート

2.　誤差の要因

本章では、Smart Analog IC 300 のコンフィギュラブル・アンプで発生する誤差とその要因について説明します。

2.1　コンフィギュラブル・アンプのゲイン誤差

Smart Analog IC 300 のコンフィギュラブル・アンプでは、反転増幅アンプ、非反転増幅アンプ、差動増幅アンプなどの、アンプ構成を取ることが可能です。いずれのアンプ構成でも、ゲインは、入力端の抵抗、および帰還抵抗との、抵抗値の比などで計算されます。

Smart Analog IC 300 では、これらの抵抗は、全て、IC 自身に内蔵されています。そのため、抵抗値には、IC 製造過程で発生する IC 自身の個体差が影響します。また、周囲温度の影響を受けて、抵抗値が変動することも、半導体プロセス上、避けられない現象です。

Smart Analog IC 300 のゲイン誤差は仕様値にて規定されています。しかしながら、適用するシステムのセンシング感度に応じ、ゲイン誤差を補正する必要性も生じます。

2.2　コンフィギュラブル・アンプのオフセット電圧

Smart Analog IC 300 のコンフィギュラブル・アンプは、広義のオペアンプでありますので、オフセット電圧が発生します。オフセット電圧とは、オペアンプの反転入力側と非反転入力側の入力差電圧が 0 の時に、出力側でみられる電圧のことをいいます。

理想的なオペアンプでは、オフセット電圧は 0 であると仮定されますが、実際のオペアンプでは、オフセット電圧が発生します。オフセット電圧の発生は、オペアンプ入力部の回路に起因します。

オペアンプの入力部である、反転入力と非反転入力は、1 対のトランジスタで構成されています。オフセット電圧は、この 1 対のトランジスタ間に生じる電気的特性の差によって生じます。特性の差は、IC 製造過程で発生する素子間の個体差や、レイアウト設計の影響などが複雑に絡み、根絶することが困難な現象です。

Smart Analog IC 300 のオフセット電圧は仕様値にて規定されています。しかしながら、補正によりキャンセルすることが可能となれば、より理想的な状態でオペアンプを使用することができます。

3.　誤差の測定手順

本章では、コンフィギュラブル・アンプの、ゲイン誤差の測定手順、および（入力換算）オフセット電圧の測定手順について、アンプ構成ごとに説明します。

一般的に、ゲイン誤差やオフセット電圧の測定は、校正された電源電圧や測定器を用いて行われますが、本アプリケーションノートでは、Smart Analog IC 及びマイクロコントローラに内蔵された機能で自己測定／補正する方法を提案します。そのうえで、測定精度の確保は重要な課題となります。本アプリケーションノートで提案する測定手順では、測定精度の向上と確保に注力しています。

3.1　共通事項

アンプ構成やコンフィギュラブル・アンプのチャネルにかかわらず、共通の内容について説明します。本アプリケーションノートでは、Smart Analog IC 300 のコンフィギュラブル・アンプの出力電圧、および D/A コンバータの出力電圧を測定するために、それぞれの端子をマイクロコントローラの A/D コンバータ入力端子に接続しています。

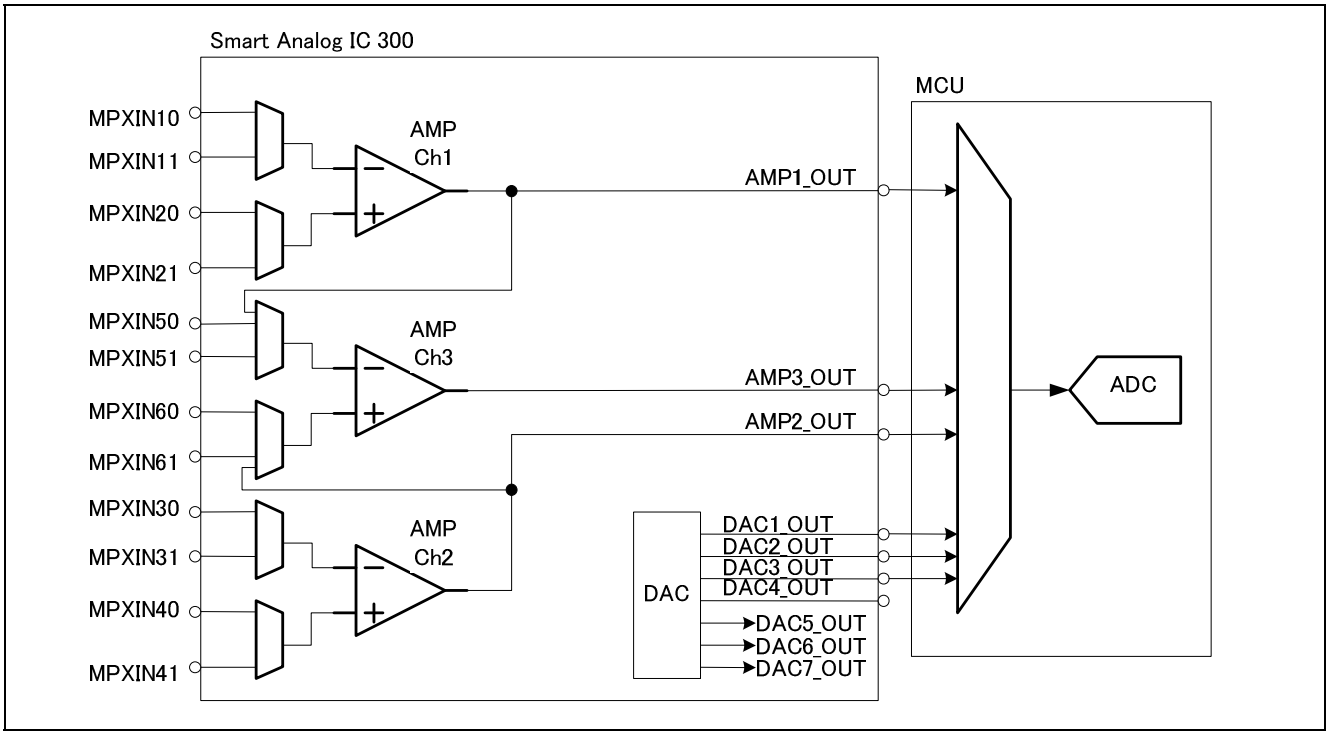


図 3-1　Smart Analog IC 300 とマイクロコントローラの結線図

3.2　差動アンプ構成時の測定手順

本節では、コンフィギュラブル・アンプを差動アンプ構成に設定した時の、ゲイン誤差の測定手順と入力換算オフセット電圧の測定手順について説明します。

3.2.1　ゲイン誤差の測定手順

コンフィギュラブル・アンプの入力電圧には、D/A コンバータを使用します。そして、コンフィギュラブル・アンプの出力電圧を A/D コンバータで測定し、入力電圧と出力電圧の除算によりゲインを算出します。この時、オフセット電圧の除去、および測定精度の向上のために、異なる入力電圧を用い、測定値を 2 点求めます。1 点目の測定を最小値測定、2 点目の測定を最大値測定とし、この異なる入力電圧での出力電圧の差を用いてゲインを算出します。図 3-2にゲイン誤差の測定フローを示します。

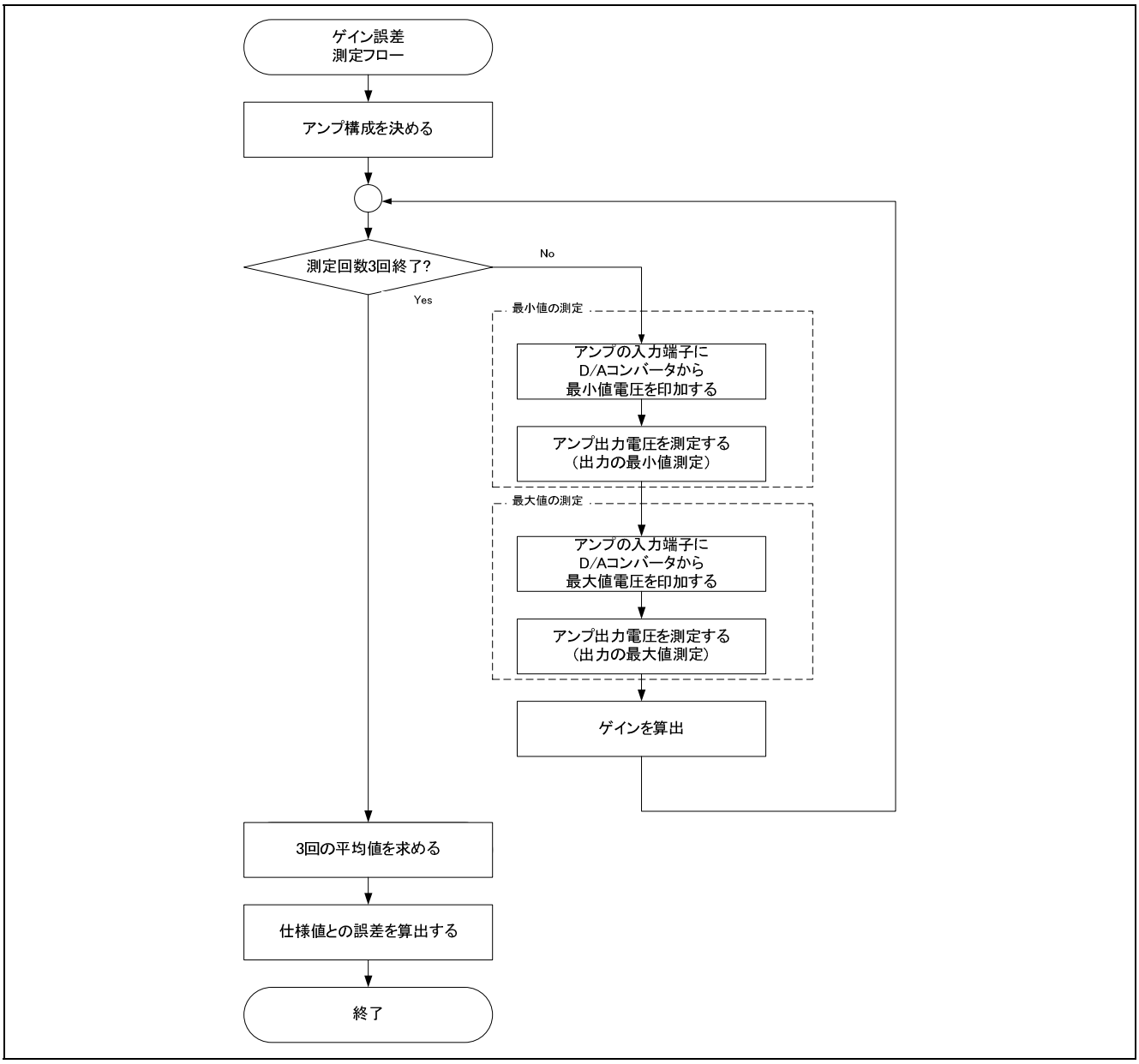


図 3-2　ゲイン誤差の測定フロー

以下、詳細を説明します。

(1)　コンフィギュラブル・アンプの入力電圧（D/A コンバータの出力電圧）の決定

Smart Analog IC 300 が内蔵している D/A コンバータの分解能は 8 ビットであり、原理上、ある程度の誤差が内在します。上述したように、測定点を 2 点求め、その差分を取ることで、微分直線性誤差以外の影響を排除します。また、微分直線性誤差に関しては、コンフィギュラブル・アンプに入力する D/A コンバータの出力電圧の選択方法によって軽減することができます。

図 3-3に、Smart Analog IC 300 内蔵の D/A コンバータ Ch1 の微分直線性誤差を示します。なお、図 3-3の横軸は、D/A コンバータの設定値（デジタル入力値）を示しており、16 LSB ごとに補助線を表示しています。

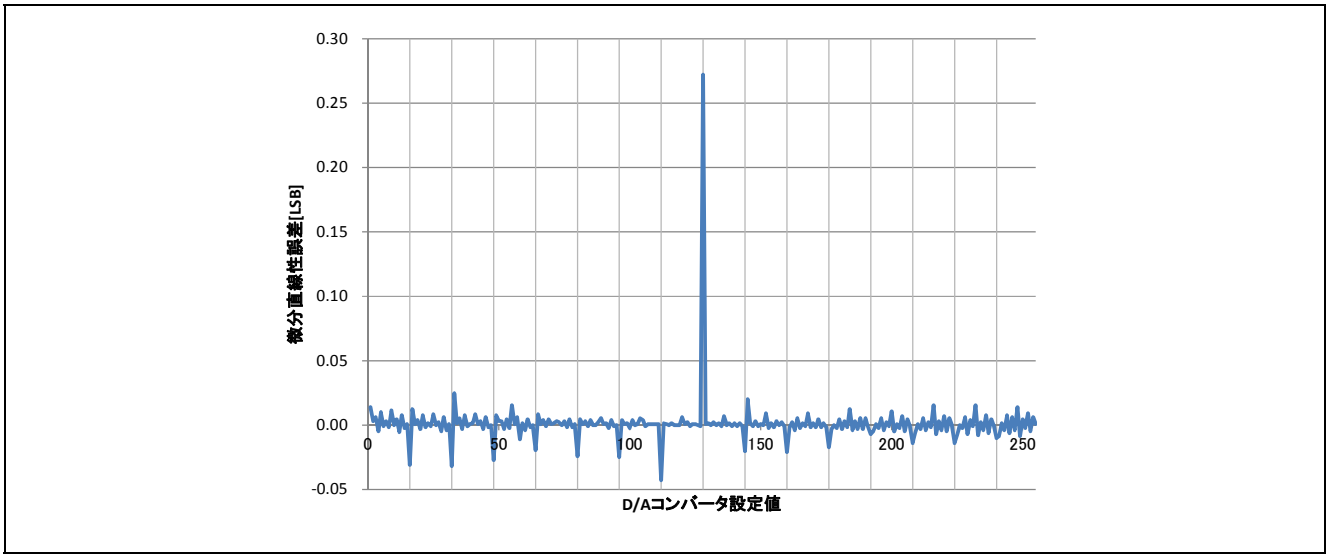


図 3-3　D/A コンバータ Ch1 の微分直線性誤差

【注】本データは限定されたサンプル数のデータとなり、保証の範囲外です。あくまで参考値としてご確認ください。

図 3-3に示す通り、Smart Analog IC 300 内蔵の D/A コンバータは逐次比較型であるため、微分直線性誤差は上位側のビットが変化するところで大きくなります（8 ビット D/A コンバータの場合、値が 127 から 128 に変わる点で誤差が最大）。そのため、入力電圧として選択する 2 点の電圧値は、この誤差が大きくなる点をまたがないことが望ましいです。

しかし、2 点間の差が狭すぎると、かえって測定精度が低下します。コンフィギュラブル・アンプの入力電圧となる D/A コンバータの出力電圧の差が狭く、かつ、コンフィギュラブル・アンプのゲインが低ゲインの場合、A/D コンバータに入力される電圧幅が狭くなり、その電圧幅に対する量子化誤差の占める割合が大きくなるため、測定精度が低下します。

以上のことから、コンフィギュラブル・アンプのゲイン、および制御用マイクロコントローラの A/D コンバータの精度も考慮し、コンフィギュラブル・アンプに入力する D/A コンバータの出力電圧を決定します。

本アプリケーションノートでは､2 点の D/A コンバータの出力電圧を 16LSB の範囲内で選択します｡まず、1 点目は、D/A コンバータの設定値（デジタル入力値）を x0H（x = 0～F）にします。この測定を最小値測定と呼びます。次に、2 点目は、D/A コンバータの設定値（デジタル入力値）が、最小値測定の時に使用した設定値（デジタル入力値）に最大 16 を足した以下の値にします。この測定を最大値測定と呼びます。

コンフィギュラブル・アンプを差動アンプ構成で使用する場合、D/A コンバータを 3 ch 使用します。最小値測定時、D/A コンバータの設定値（デジタル入力値）は、3 ch とも x0H（x = 0～F）にします。最大値測定時、コンフィギュラブル・アンプの非反転入力側のみ、D/A コンバータの設定値（デジタル入力値）を最小値測定の時に使用した設定値（デジタル入力値）に最大 16 を足した以下の値にします。

続いて、具体的な設定値について、以下に示します。

(2)　最小値測定時

反転入力側の入力電圧、非反転入力側の入力電圧および基準電圧の供給に、それぞれ別の D/A コンバータを使用します。D/A コンバータから供給する電圧（V_{IN_min}）はすべて同じ設定とします。この状態で測定した結果（コンフィギュラブル・アンプの出力電圧）を最小値電圧（$V_{AMP_OUT_min}$）とします。

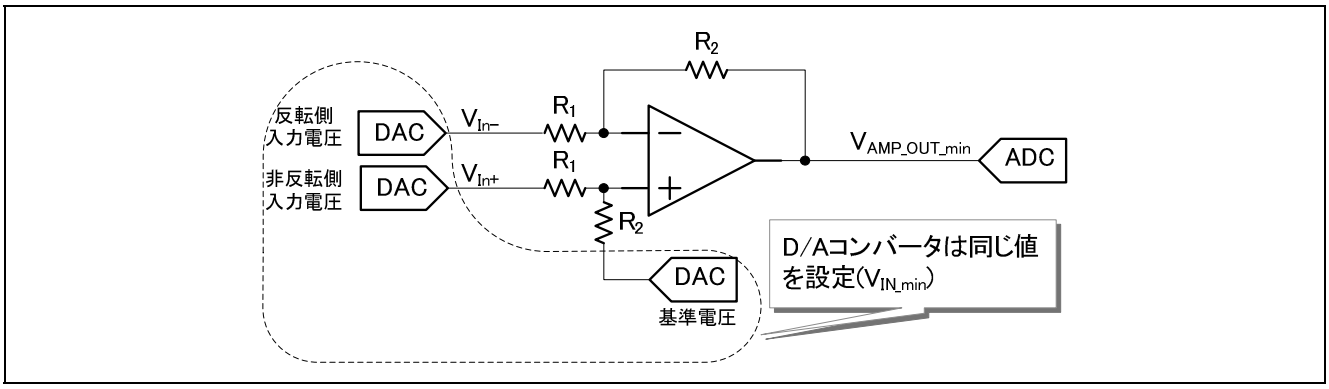


図 3-4　最小値測定

(3)　最大値測定時

非反転入力側の D/A コンバータの設定値を最小値測定で設定した値より大きい値に設定します。この時、設定する値は、表 3-1を参考に設定します。反転入力側の入力電圧および基準電圧は、最小値測定時から変更しません。なお、ここで非反転入力側に供給した電圧を V_{IN_max}、測定で得られたコンフィギュラブル・アンプの出力電圧を最大値電圧（$V_{AMP_OUT_max}$）とします。

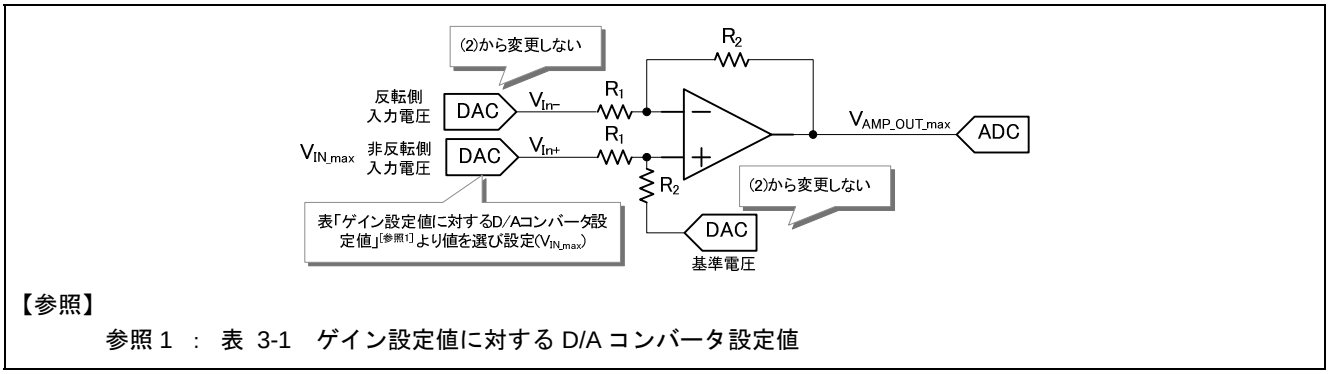


図 3-5　最大値測定

表 3-1　ゲイン設定値に対する D/A コンバータ設定値

平均化回数	基準電圧 反転入力側	非反転入力側（ゲイン設定値ごと）									
		0-7 (6-20dB)	8 (22dB)	9 (24dB)	10 (26dB)	11 (28dB)	12 (30dB)	13 (32dB)	14 (34dB)	15 (36dB)	16-17 38,40dB)
1 回目	20H	2FH	2DH	2AH	28H	26H	25H	24H	23H	22H	21H
2 回目	30H	3FH	3DH	3AH	38H	36H	35H	34H	33H	32H	31H
3 回目	40H	4FH	4DH	4AH	48H	46H	45H	44H	43H	42H	41H

【注】最大値測定時の非反転入力側の設定は、反転入力側との電圧差が最大になり、かつ A/D コンバータの入力範囲を超えない値に設定しています。また、3 回の測定で平均化を行います。

(4)　ゲインの算出

測定で得られた最小値電圧と最大値電圧、および非反転入力側に供給した電圧（D/A コンバータの出力電圧）からゲインを算出します。一般的に、ゲインは出力電圧を入力電圧で除算することで求まりますが、除算だけでは、算出されたゲインにオフセット電圧が含まれます。そこで、本アプリケーションノートではオフセット電圧を除去するため、相対値で算出を行います。したがって、ゲイン G は、式 1で表します。

$$G = \frac{V_{AMP_OUT_\max} - V_{AMP_OUT_\min}}{V_{IN_\max} - V_{IN_\min}} \quad \cdots \quad \text{式 1}$$

(5)　平均化

更なる測定精度の向上のため、D/A コンバータから供給する電圧レベルを変更し、(1)～(4)の手順を繰り返し、複数回（本アプリケーションノートの実施例では 3 回）測定を行います。その後、取得したデータの平均化を行い、ゲインを算出します。

(6)　ゲイン誤差の算出

(5)で平均化した実測値を用い、仕様に記載された値との差分から、ゲイン誤差を算出します。詳細は、4. 1. 1　ゲイン誤差の算出を参照してください。

3.2.2　入力換算オフセット電圧の測定手順

コンフィギュラブル･アンプの反転入力端子および非反転入力端子に同電位の電圧を入力し、コンフィギュラブル･アンプの出力電圧を A/D コンバータで測定します。入力電圧と出力電圧の差を測定することにより、オフセット電圧を算出します。オフセット電圧をアンプのゲインで割ると、入力換算オフセット電圧となります。入力換算オフセット電圧の測定フローを図 3-6に示します。

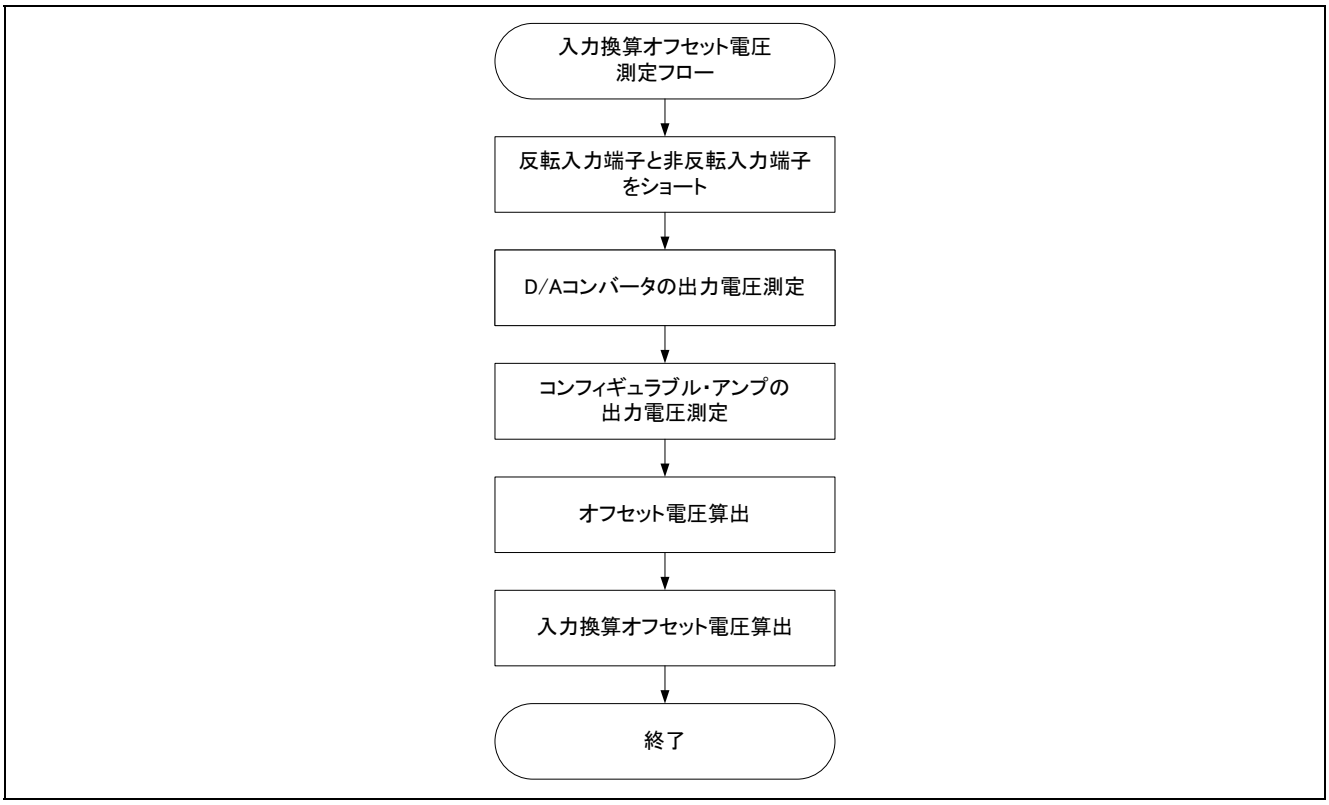


図 3-6　入力換算オフセット電圧の測定フロー

次に、図 3-6のフローを元に、各手順の詳細について説明します。

(1)　反転入力端子と非反転入力端子のショート

図 3-7に、差動アンプ構成時の、オフセット電圧測定ブロック図を示します。図 3-7のように、反転入力端子と非反転入力端子をショート接続し、コンフィギュラブル・アンプに入力する電圧を同電位にします。

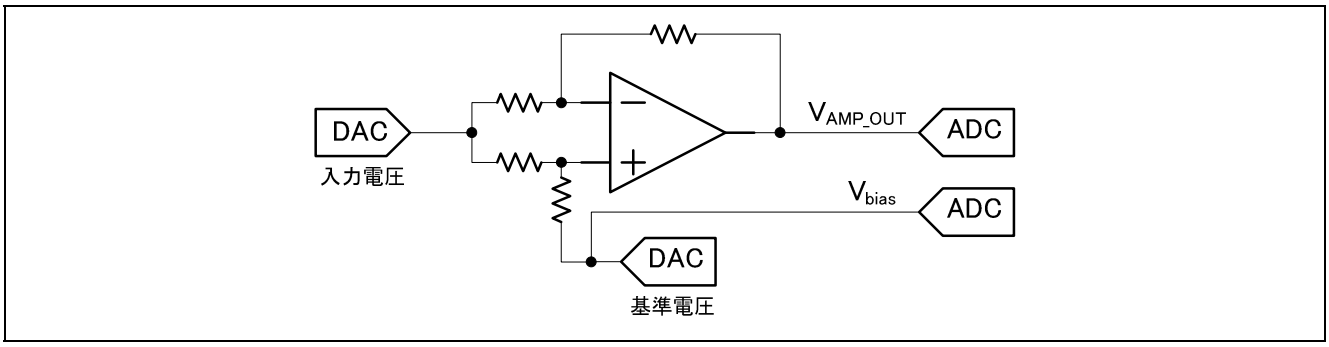


図 3-7　差動アンプ構成時のオフセット電圧測定

(2)　D/A コンバータ出力電圧の測定

コンフィギュラブル・アンプの基準電圧として使用する D/A コンバータの出力電圧を測定します。図 3-7 では、D/A コンバータを 2 ch 使用していますが、入力電圧供給用の D/A コンバータの出力電圧は、差動信号として相殺されるため、測定は不要です。そのため、基準電圧供給用の D/A コンバータの出力電圧のみ、A/D コンバータで測定します。

この時、2 ch の D/A コンバータの出力電圧は、実際のシステムで使用するコンフィギュラブル・アンプの入力電圧、基準電圧と同じ値、もしくは近しい値を設定してください。オペアンプの特性上、オフセット電圧は、入力電圧や基準電圧に依存することがあります。

【注】測定に用いる A/D コンバータは、D/A コンバータの分解能 8 ビットより高い分解能を有するものを選択します。

(3)　コンフィギュラブル・アンプ出力電圧の測定

コンフィギュラブル・アンプに入力電圧、基準電圧を印加した後、コンフィギュラブル・アンプの出力電圧を A/D コンバータで測定します。この時、差動アンプのゲインは、実際のシステムで使用するゲインを設定してください。

(4)　オフセット電圧の算出

A/D コンバータで測定した電圧値から、オフセット電圧を算出します。

差動アンプ構成時の出力電圧（V_{AMP_OUT}）は、非反転入力端子の電圧（V_{IN+}）、反転入力端子の電圧（V_{IN-}）、基準電圧（V_{bias}）、差動アンプのゲイン（G_{diff}）より、式 2で表せます。

$$V_{AMP_OUT} = (V_{IN+} - V_{IN-}) \cdot G_{diff} + V_{bias} \quad \cdots \quad \text{式 2}$$

式 2 は、オフセット電圧を含まない理想アンプの状態であり、実際のアンプの出力電圧にはオフセット電圧が含まれます。オフセット電圧を V_{offset_output} とすると、式 2は、式 3に変形されます。

$$V_{AMP_OUT} = (V_{IN+} - V_{IN-}) \cdot G_{diff} + V_{bias} + V_{offset_output} \quad \cdots \quad \text{式 3}$$

なお、非反転入力端子の電圧 V_{IN+}および反転入力端子の電圧 V_{IN-} には同電位が供給されるため、式 3から V_{IN+}と V_{IN-}の項が相殺され、式 4となります。

$$V_{offset_output} = V_{AMP_OUT} - V_{bias} \quad \cdots \quad \text{式 4}$$

したがって、式 4の V_{bias}、V_{AMP_OUT} に測定した値を代入すると、オフセット電圧を算出することができます。

(5)　入力換算オフセット電圧の算出

オフセット電圧（V_{offset_output}）から入力換算オフセット電圧（V_{offset_input}）を算出します。オフセット電圧をゲインで除算すると、入力換算オフセット電圧が求められます。式 5で表されます。

$$V_{offset_input} = \frac{V_{offset_output}}{G_{diff}} \quad \cdots \quad \text{式 5}$$

3.2.3　Smart Analog IC 300 を用いたゲイン誤差の測定

本節では、3.2.1節で説明した内容に関し、実際に Smart Analog IC 300 を用いた場合の回路構成方法、およびゲイン誤差の算出方法などについて説明します。なお、Smart Analog IC 300 とマイクロコントローラの接続に関しては、図 3-1を参照してください。

(1)　最小値測定時

最小値測定時の、回路構成方法、および回路設定条件を図 3-8～図 3-10に示します。

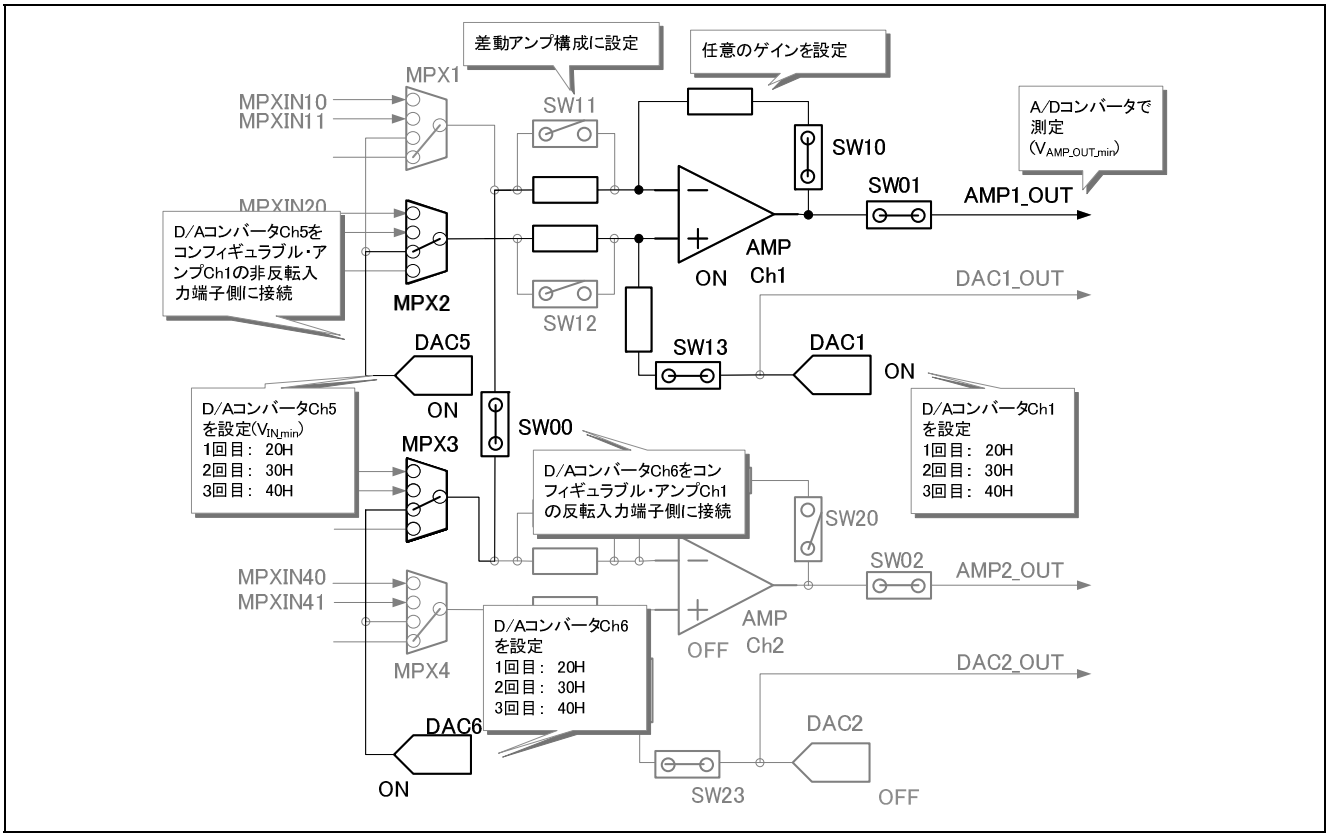


図 3-8　コンフィギュラブル・アンプ Ch1 の最小値測定

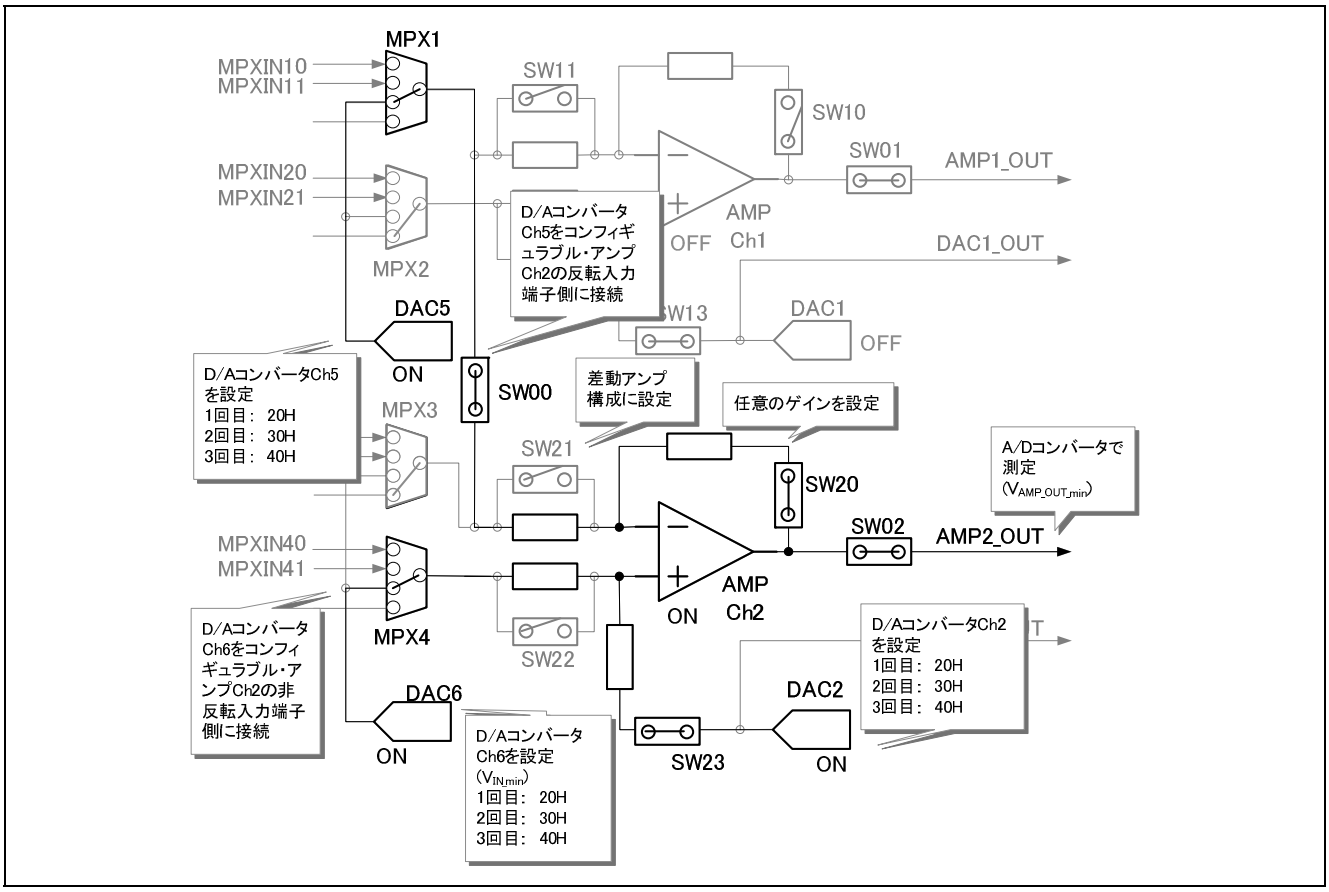


図 3-9　コンフィギュラブル・アンプ Ch2 の最小値測定

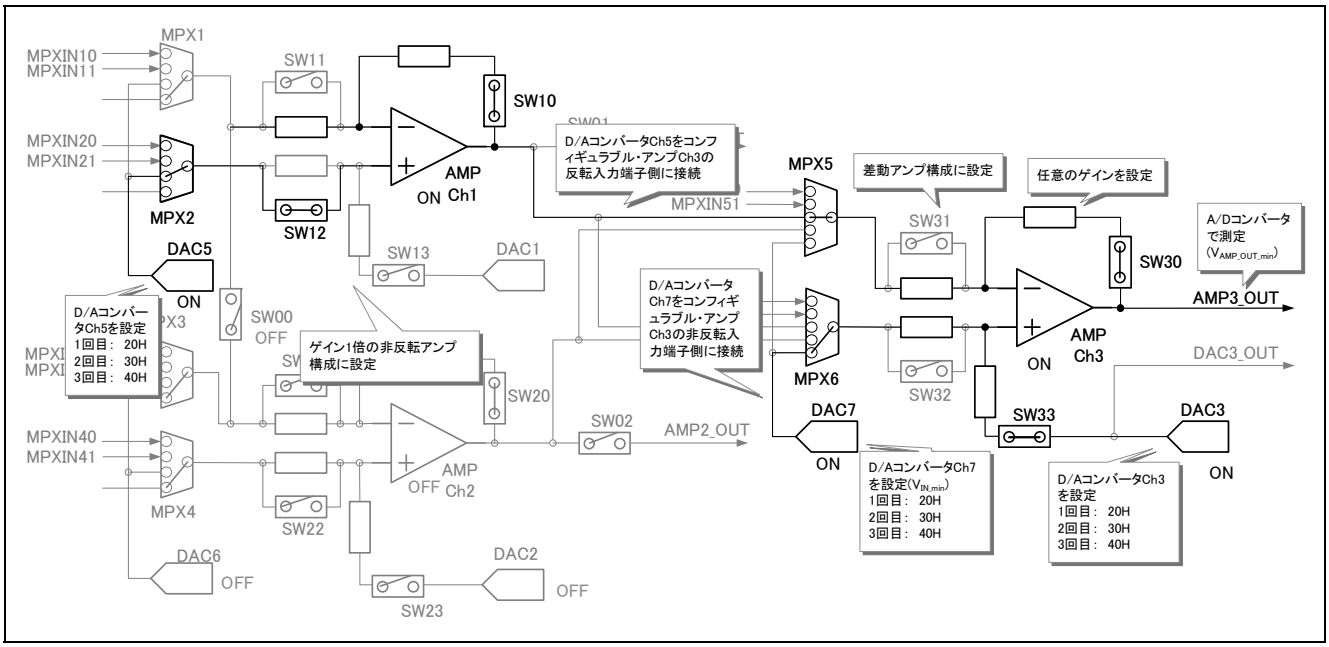
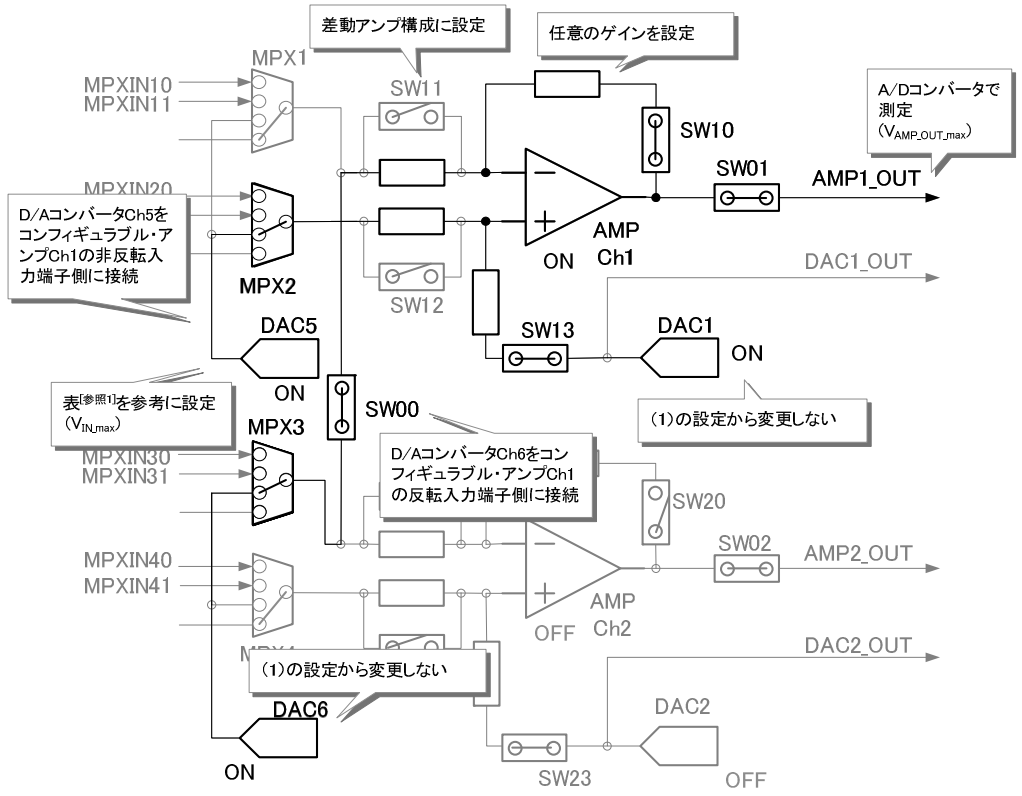


図 3-10　コンフィギュラブル・アンプ Ch3 の最小値測定

(2)　最大値測定時

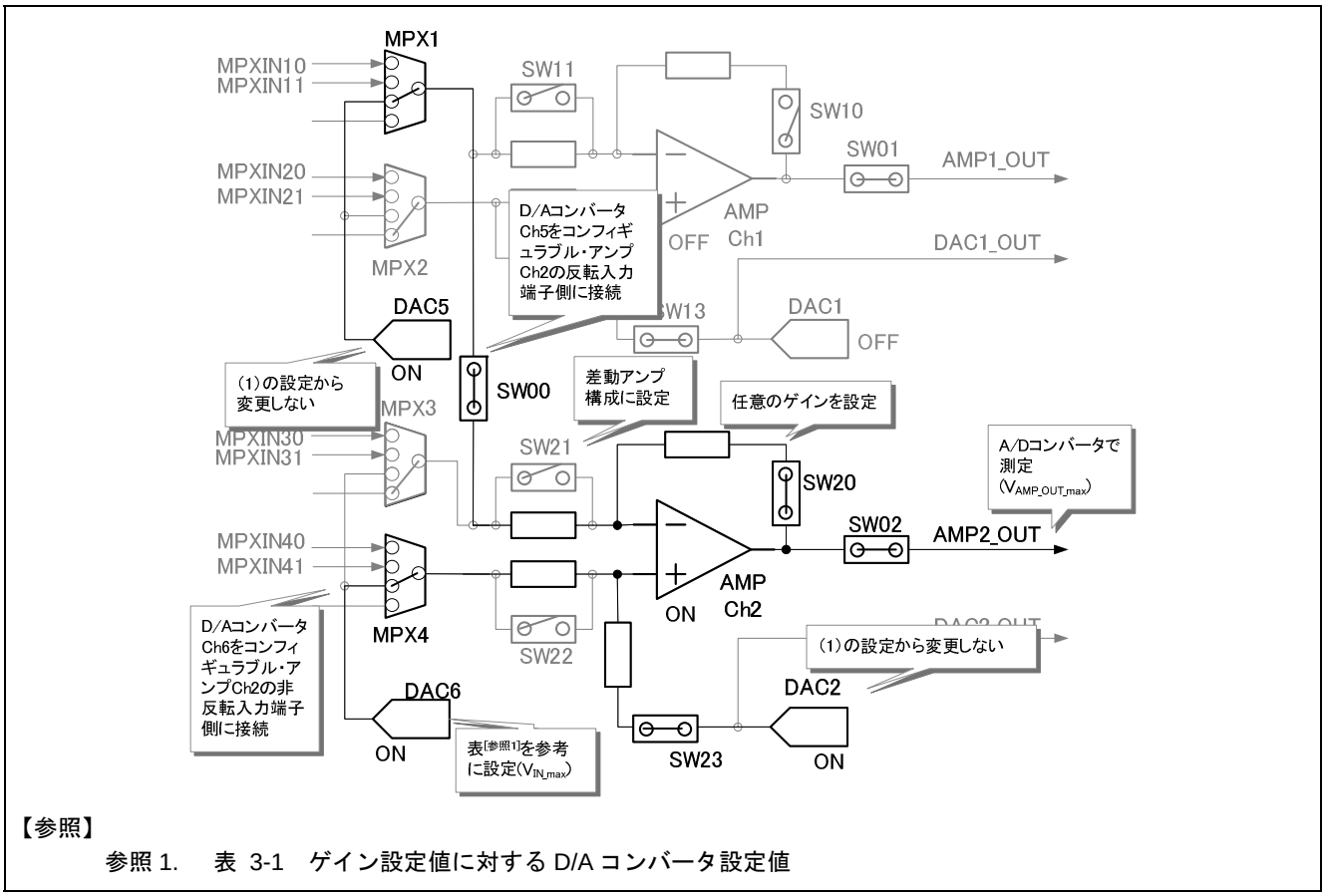
最大値測定時の、回路構成方法、および回路設定条件を図 3-11～図 3-13 に示します。反転入力側の入力電圧、および基準電圧は、(1)最小値測定時で設定した値から変更しないでください。



【参照】

参照 1.　表 3-1　ゲイン設定値に対する D/A コンバータ設定値

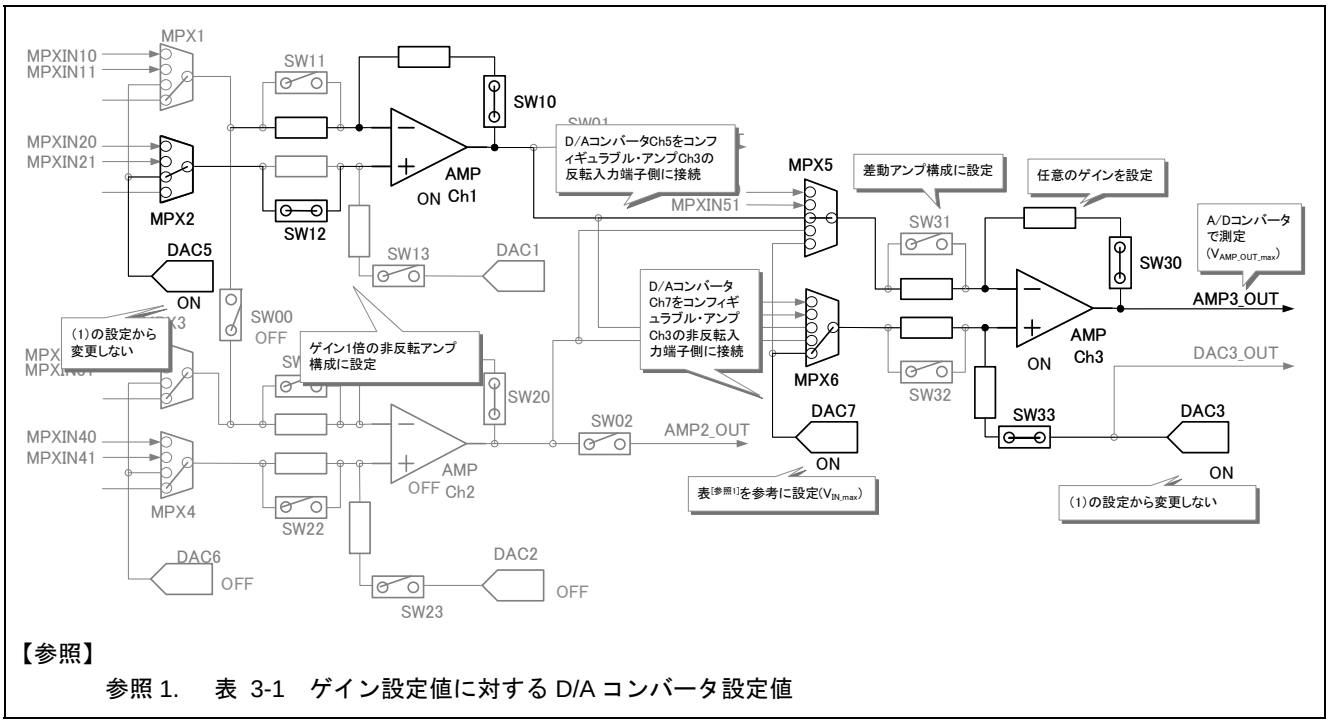
図 3-11　コンフィギュラブル・アンプ Ch1 の最大値測定



【参照】

参照 1.　表 3-1　ゲイン設定値に対する D/A コンバータ設定値

図 3-12　コンフィギュラブル・アンプ Ch2 の最大測定



【参照】

参照 1.　表 3-1　ゲイン設定値に対する D/A コンバータ設定値

図 3-13　コンフィギュラブル・アンプ Ch3 の最大値測定

(3)　ゲインの算出

A/D コンバータの測定結果（A/D 変換値）から、コンフィギュラブル・アンプ出力電圧（V_{AMP_OUT}）を求めます。A/D コンバータの測定結果（N_{AMP_OUT}）、電源電圧（AV_{DD}）を用い、式 6から求めます。

$$V_{AMP_OUT} = \frac{N_{AMP_OUT}}{2^n} \cdot AV_{DD} \quad \cdots \quad 式\ 6$$

【注】n は、A/D コンバータ分解能となります。

式 6より、最小値電圧（$V_{AMP_OUT_min}$）と最大値電圧（$V_{AMP_OUT_max}$）が算出されます。

また、入力電圧（V_{IN}）は、D/A コンバータの設定値（N_{DAC}）、基準電圧上限値（V_{VRT}）、基準電圧下限値（V_{VRB}）より、式 7で表されます。

$$V_{IN} = \left((V_{VRT} - V_{VRB}) \cdot 2 \cdot \frac{N_{DAC}}{2^8} \right) + 2 \cdot V_{VRB} \quad \cdots \quad 式\ 7$$

【注】8 は、D/A コンバータのビット数を表しています。

よって、ゲイン G は、式 1、式 6、および式 7より、式 8で表されます。

$$G = \frac{\left(N_{AMP_OUT_Max} - N_{AMP_OUT_Min}\right) \cdot \frac{AV_{DD}}{2^n}}{\left((V_{VRT} - V_{VRB}) \cdot 2 \cdot \frac{(N_{IN_Max} - N_{IN_Min})}{2^8} \right) + 2 \cdot V_{VRB}} \quad \cdots \quad 式\ 8$$

(4)　平均化

平均化のためのそれぞれの測定結果（本アプリケーションノードでは 3 回の測定を実施）を G_{First}、G_{Second}、G_{Third} とおくと、その平均値 $G_{Average}$ は、式 9 で表されます。

$$G_{Average} = \frac{G_{First} + G_{Second} + G_{Third}}{3} \quad \cdots \quad 式\ 9$$

(5)　ゲイン誤差の算出

(4)で平均化した実測値を用い、仕様に記載された値との差分から、ゲイン誤差を算出します。詳細は、4. 1. 1　ゲイン誤差の算出を参照してください。

3.2.4　Smart Analog IC 300 を用いた入力換算オフセット電圧の測定

本節では、3. 2. 2 節で説明した内容に関し、実際に Smart Analog IC 300 を用いた場合の回路構成方法、および入力換算オフセット電圧の算出方法などについて説明します。なお、Smart Analog IC 300 とマイクロコントローラの接続に関しては、図 3-1を参照してください。

(1)　D/A コンバータ（外部端子あり）出力電圧の測定

Smart Analog IC 300 に内蔵の、各 D/A コンバータ出力電圧の測定例を図 3-14～図 3-16に示します。

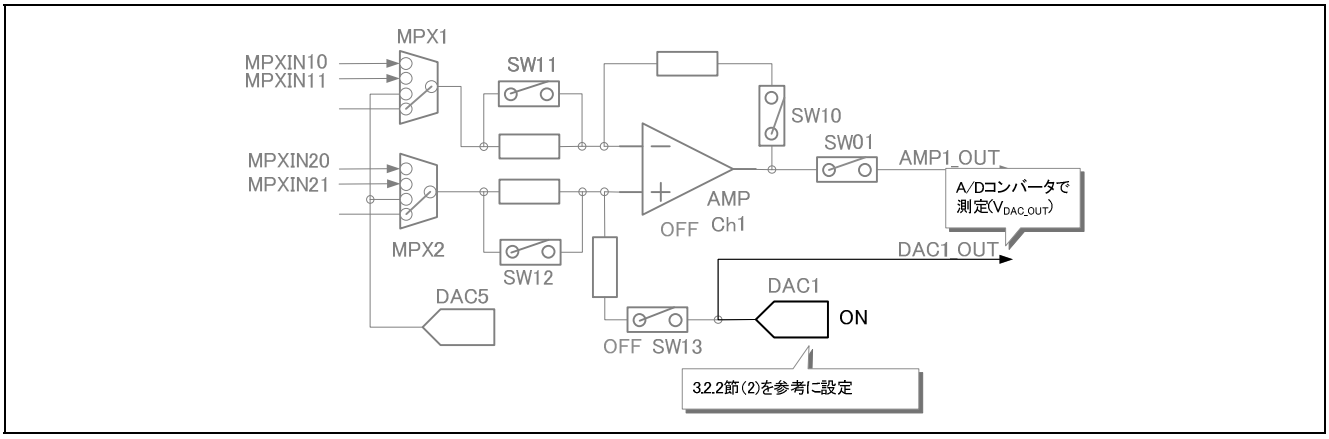


図 3-14　D/A コンバータ Ch1 の出力電圧測定

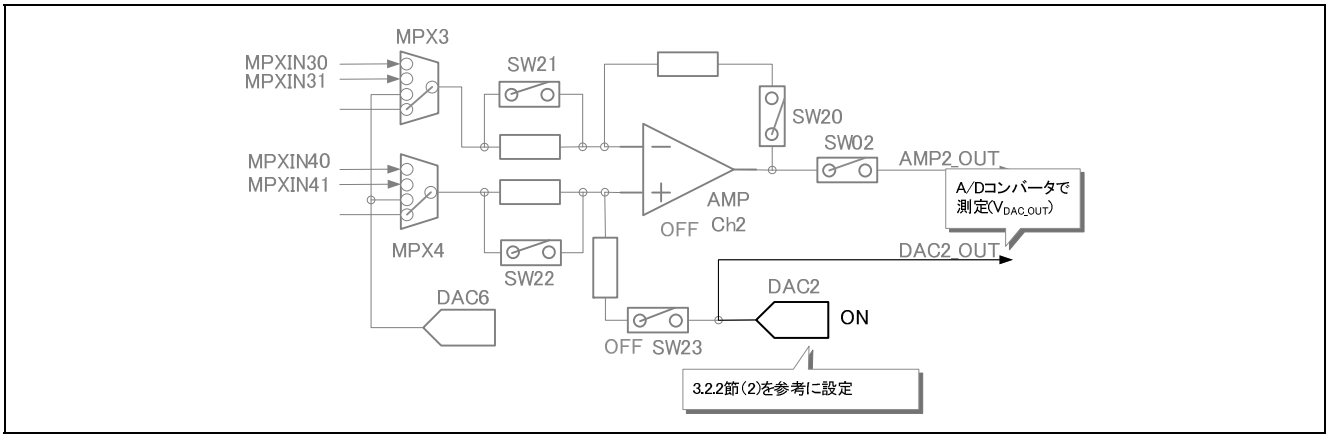


図 3-15　D/A コンバータ Ch2 の出力電圧測定

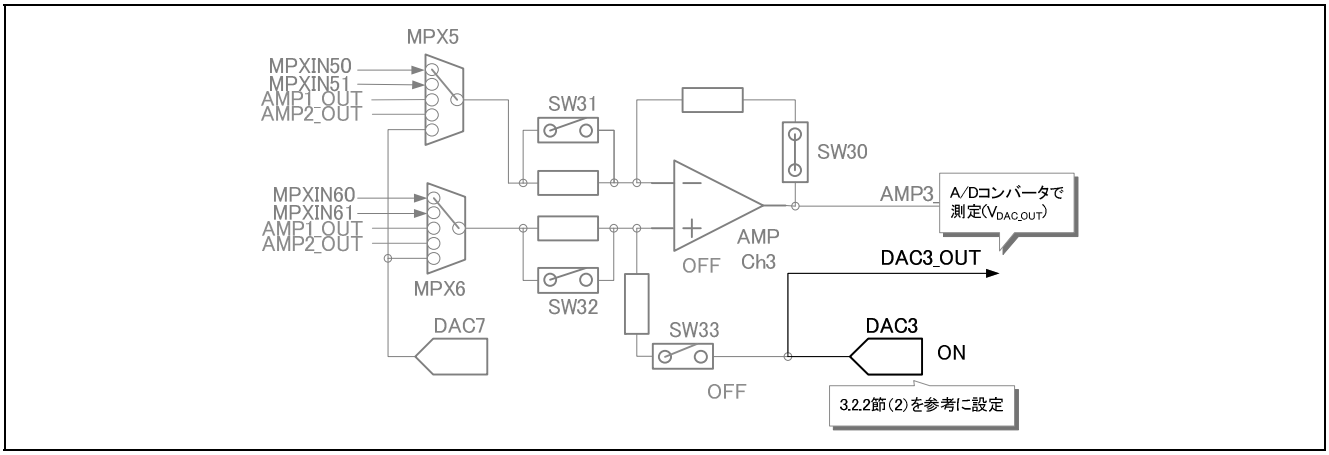


図 3-16　D/A コンバータ Ch3 の出力電圧測定

A/D コンバータの測定結果（A/D 変換値）から、D/A コンバータ出力電圧（V_{DAC_OUT}）を求めるには、A/D コンバータの測定結果（N_{DAC_OUT}）、電源電圧（AV_{DD}）を用い、式 10より求めます。

$$V_{DAC_OUT} = \frac{N_{DAC_OUT}}{2^n} \cdot AV_{DD} \quad \cdots \quad 式\ 10$$

【注】n は、A/D コンバータ分解能となります。

(2)　コンフィギュラブル・アンプ出力電圧の測定

コンフィギュラブル･アンプの反転入力端子および非反転入力端子に同電位の電圧を入力し、コンフィギュラブル・アンプの出力電圧を測定します。

Smart Analog IC 300 のコンフィギュラブル・アンプの各出力電圧の測定例を図 3-17～図 3-19に示します。

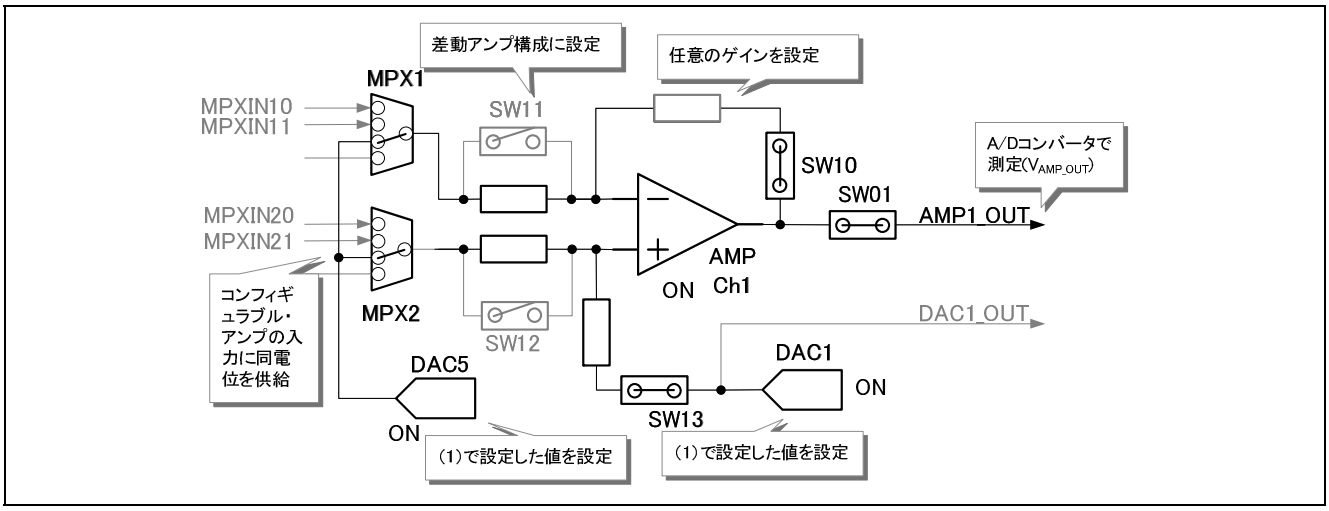


図 3-17　コンフィギュラブル・アンプ Ch1 の出力電圧測定

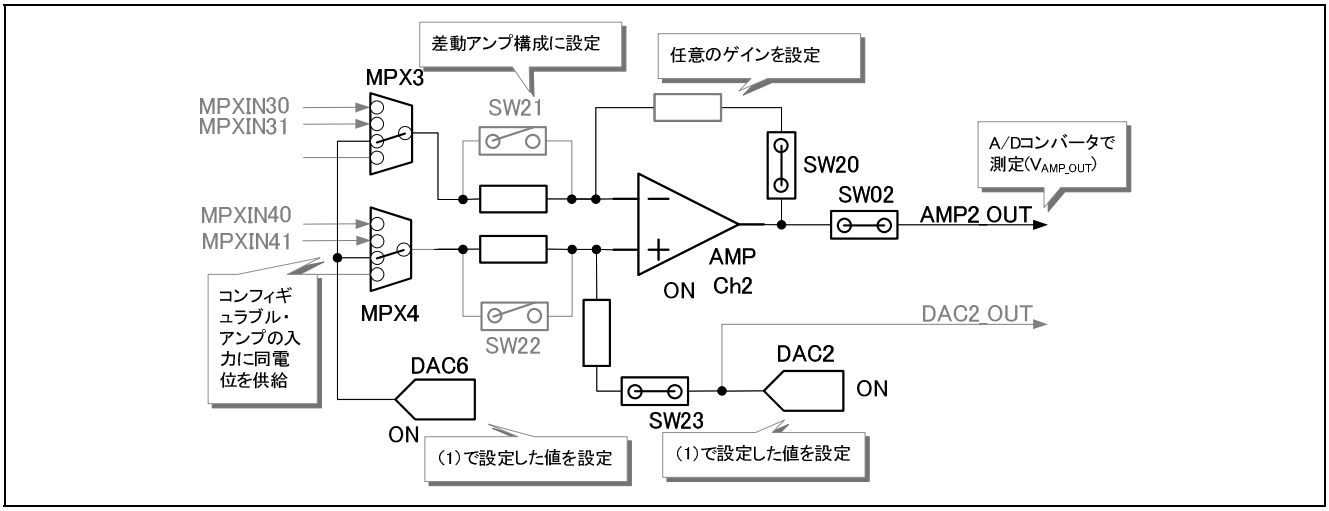


図 3-18　コンフィギュラブル・アンプ Ch2 の出力電圧測定

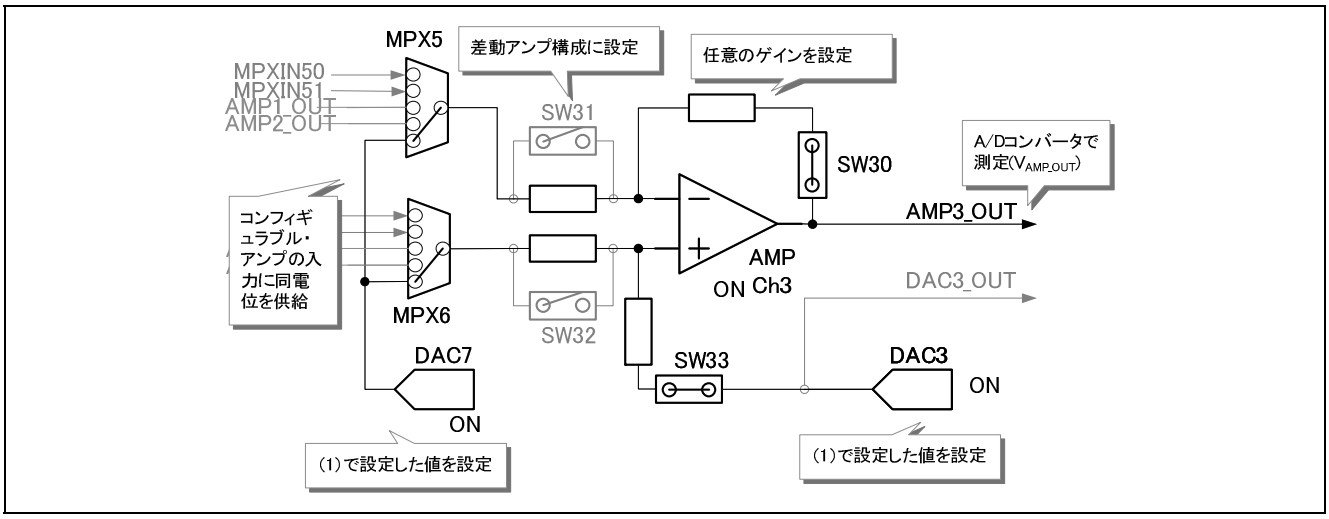


図 3-19　コンフィギュラブル・アンプ Ch3 の出力電圧測定

A/D コンバータの測定結果（A/D 変換値）から、コンフィギュラブル・アンプ出力電圧（V_{AMP_OUT}）求めるには、式 6を用います。

$$V_{AMP_OUT} = \frac{N_{AMP_OUT}}{2^n} \cdot AV_{DD} \qquad \cdots \qquad 式\ 6$$

【注】n は、A/D コンバータ分解能となります。

(3)　オフセット電圧の算出

オフセット電圧は、(1) D/A コンバータ（外部端子あり）出力電圧の測定、および(2) コンフィギュラブル・アンプ出力電圧の測定にて求められた値を、式 4に代入して算出します。式 4に、式 6および式 10を代入すると、式 11となります。

$$V_{offset_output} = \frac{\mathrm{N}_{\mathrm{AMP_OUT}}}{2^{\mathrm{n}}} \cdot AV_{DD} - \frac{\mathrm{N}_{\mathrm{DAC_OUT}}}{2^{\mathrm{n}}} \cdot AV_{DD} \qquad \cdots \qquad 式\ 11$$

(4)　入力換算オフセット電圧の算出

オフセット電圧から入力換算オフセット電圧を算出します。入力換算オフセット電圧は、式 5と式 11から算出することができ、式 12となります。なお、G_{diff} は測定で使用したゲインとなります。

$$V_{Offset} = \frac{\dfrac{ADC_{AMP_OUT}}{2^{\mathrm{n}}\text{-}1} \cdot AV_{DD} - \dfrac{\mathrm{ADC}_{\mathrm{DAC_OUT}}}{2^{\mathrm{n}}\text{-}1} \cdot AV_{DD}}{G_{diff}} \qquad \cdots \qquad 式\ 12$$

3.3　反転アンプ構成または非反転アンプ構成時の測定手順

本節では、コンフィギュラブル・アンプを反転アンプ構成または非反転アンプ構成に設定した時の、ゲイン誤差の測定手順と入力換算オフセット電圧の測定手順について説明します。なお、反転アンプ構成と非反転アンプ構成では、コンフィギュラブル・アンプに入力する D/A コンバータの出力電圧が異なるのみで、それ以外の設定は同じとなります。

3.3.1　ゲイン誤差の測定手順

ゲイン誤差の測定手順は、差動アンプ構成時の測定手順（3.2.1節）と同じです。図 3-2に示した測定フローとその説明に関しては、3.2.1節を参照してください。

(1)　コンフィギュラブル・アンプの入力電圧（D/A コンバータの出力電圧）の決定

3.2.1節の(1)で前述した考え方に基づき、コンフィギュラブル・アンプの入力電圧（D/A コンバータの出力電圧）を決定します。

コンフィギュラブル・アンプを反転アンプ構成、または非反転アンプ構成で使用する場合は、D/A コンバータを 2 ch 使用します。各 D/A コンバータの設定値（デジタル入力値）は、最小値測定時、反転アンプ構成の場合は xFH（x = 2～4）を、非反転アンプ構成の場合は x0H（x = 2～4）にします。なお、最大値測定時は、表 3-2または表 3-3の組み合わせを参考に設定します。

(2)　最小値測定時

反転入力側の入力電圧、非反転入力側の入力電圧の供給に、それぞれ別の D/A コンバータを使用します。D/A コンバータから供給する電圧（V_{IN_min}）はすべて同じ設定とします。この状態で測定した結果（コンフィギュラブル・アンプの出力電圧）を最小値電圧（$V_{AMP_OUT_min}$）とします。反転アンプ構成時と非反転アンプ構成時では、設定すべき V_{IN_min} が異なります。詳細は表 3-2または表 3-3を参照してください。

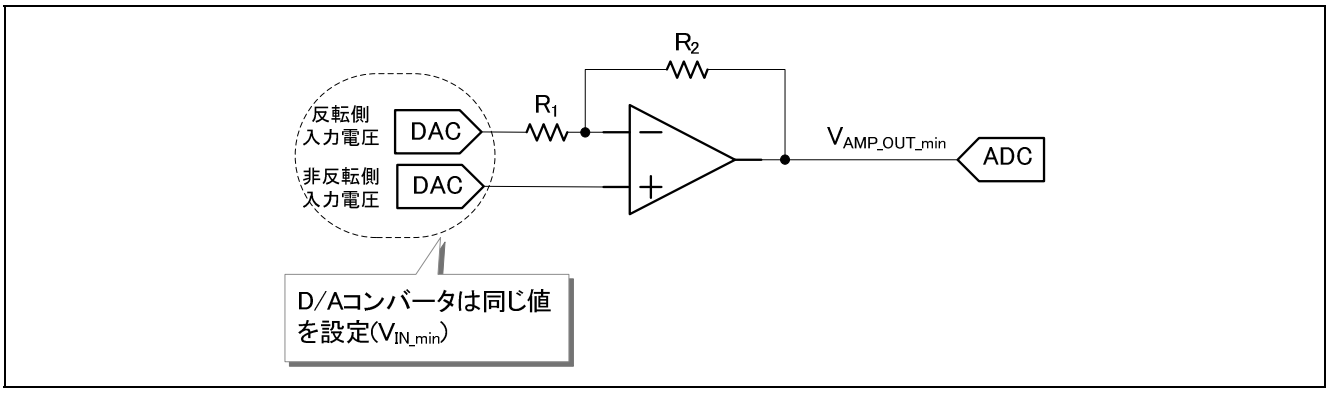
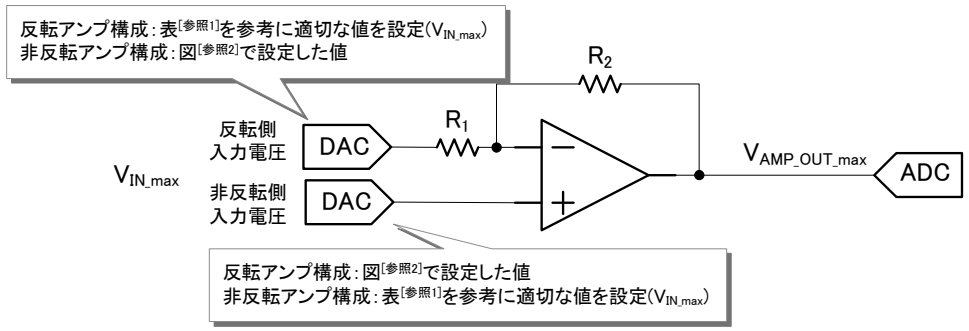


図 3-20　最小値測定

(3)　最大値測定時

反転入力側と非反転入力側に差電圧が生じるよう、D/A コンバータの設定値を変更します。この時、反転アンプ構成と非反転アンプ構成では、設定を変更する D/A コンバータが異なります。設定すべき値は、表 3-2または表 3-3を参照してください。ここで反転入力側、もしくは非反転入力側供給した電圧を V_{IN_max}、測定で得られたコンフィギュラブル・アンプの出力電圧を最大値電圧（$V_{AMP_OUT_max}$）します。



【参照】

参照 1.　表 3-2　ゲイン設定値に対する反転アンプ構成の D/A コンバータ設定値

参照 2.　図 3-20　最小値測定

図 3-21　最大値測定

表 3-2　ゲイン設定値に対する反転アンプ構成の D/A コンバータ設定値

平均化回数	非反転入力側	反転入力側(ゲイン設定値ごと)									
		0-7 (6-20dB)	8 (22dB)	9 (24dB)	10 (26dB)	11 (28dB)	12 (30dB)	13 (32dB)	14 (34dB)	15 (36dB)	16-17 (38,40dB)
1 回目	2FH	20H	22H	25H	27H	29H	2AH	2BH	2CH	2DH	2EH
2 回目	3FH	30H	32H	35H	37H	39H	3AH	3BH	3CH	3DH	3EH
3 回目	4FH	40H	42H	45H	47H	49H	4AH	4BH	4CH	4DH	4EH

【注】最大値測定時の反転入力側の設定は、非反転入力側との電圧差が最大になり、かつ A/D コンバータの入力範囲を超えない値になるよう設定しています。また、3 回の測定で平均化を行います。

表 3-3　ゲイン設定値に対する非反転アンプ構成の D/A コンバータ設定値

平均化回数	反転入力側	非反転入力側(ゲイン設定値ごと)									
		0-7 (9.5-20.8dB)	8 (22.7dB)	9 (24.5dB)	10 (26.4dB)	11 (28.3dB)	12 (30.3dB)	13 (32.2dB)	14 (34.2dB)	15 (36.1dB)	16-17 (38.1, 40.1dB)
1 回目	20H	2FH	2DH	2AH	28H	26H	25H	24H	23H	22H	21H
2 回目	30H	3FH	3DH	3AH	38H	36H	35H	34H	33H	32H	31H
3 回目	40H	4FH	4DH	4AH	48H	46H	45H	44H	43H	42H	41H

【注】最大値測定時の非反転入力側の設定は、反転入力側との電圧差が最大になり、かつ A/D コンバータの入力範囲を超えない値になるよう設定しています。また、3 回の測定で平均化を行います。

(4)　ゲインの算出

測定で得られた最小値電圧と最大値電圧、および反転入力側、もしくは非反転入力側に供給した電圧（D/A コンバータの出力電圧）からゲインを算出します。一般的に、ゲインは出力電圧を入力電圧で除算することで求まりますが、除算だけでは、算出されたゲインにオフセット電圧が含まれます。そこで、本アプリケーションノートではオフセット電圧を除去するため、相対値で算出を行います。したがって、ゲイン G は、式 1で表します。

$$G = \frac{V_{AMP_OUT_\max} - V_{AMP_OUT_\min}}{V_{IN_\max} - V_{IN_\min}} \quad \cdots \quad 式\ 1$$

(5)　平均化

更なる測定精度の向上のため、D/A コンバータから供給する電圧レベルを変更し、(1)～(4)の手順を繰り返し、複数回（本アプリケーションノートの実施例では 3 回）測定を行います。その後、取得したデータの平均化を行い、ゲインを算出します。

(6)　ゲイン誤差の算出

(5)で平均化した実測値を用い、仕様に記載された値との差分から、ゲイン誤差を算出します。詳細は、4. 1. 1　ゲイン誤差の算出を参照してください。

3.3.2　入力換算オフセット電圧の測定手順

コンフィギュラブル･アンプの反転入力端子および非反転入力端子に同電位の電圧を入力し、コンフィギュラブル･アンプの出力電圧を A/D コンバータで測定します。入力電圧と出力電圧の差を測定することにより、オフセット電圧を算出します。オフセット電圧をアンプのゲインで割ると、入力換算オフセット電圧となります。入力換算オフセット電圧の測定フローを図 3-22に示します。

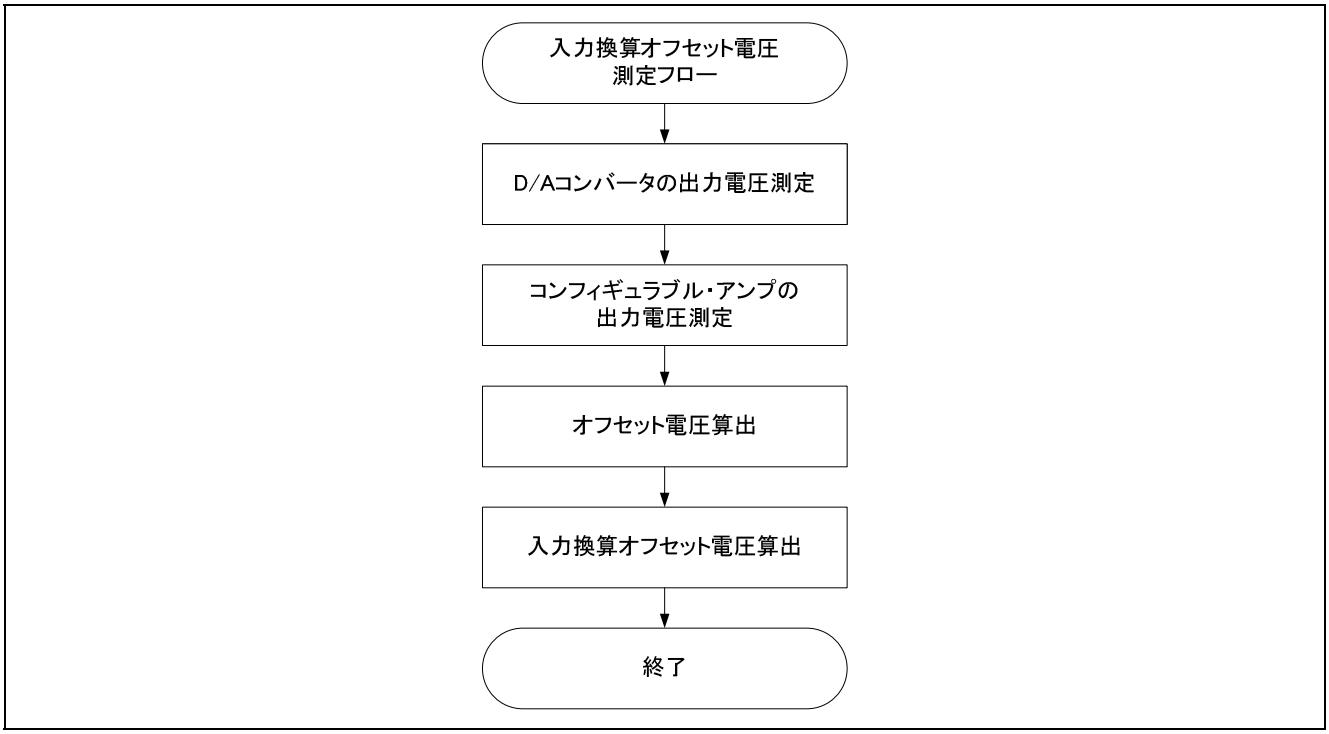


図 3-22　入力換算オフセット電圧の測定フロー

次に、図 3-22のフローを元に各手順の詳細について説明します。

(1)　D/A コンバータ出力電圧の測定

コンフィギュラブル・アンプの入力電圧として使用する D/A コンバータの出力電圧を測定します。図 3-23 に、測定のブロック図を示します。この際に使用する D/A コンバータは、IC 外部に出力端子を持たないため、D/A コンバータの出力電圧は、図 3-23のように、コンフィギュラブル・アンプの帰還抵抗を介し、A/D コンバータで測定を行います。なお、帰還抵抗の抵抗値は、可能な限り低抵抗に設定してください。

また、D/A コンバータの出力電圧は、実際のシステムで使用するコンフィギュラブル・アンプの入力電圧と同じ値、もしくは近しい値を設定してください。オペアンプの特性上、オフセット電圧は、入力電圧や基準電圧に依存することがあります。

【注】測定に用いる A/D コンバータは、D/A コンバータの分解能 8 ビットより高い分解能を有するものを選択します。

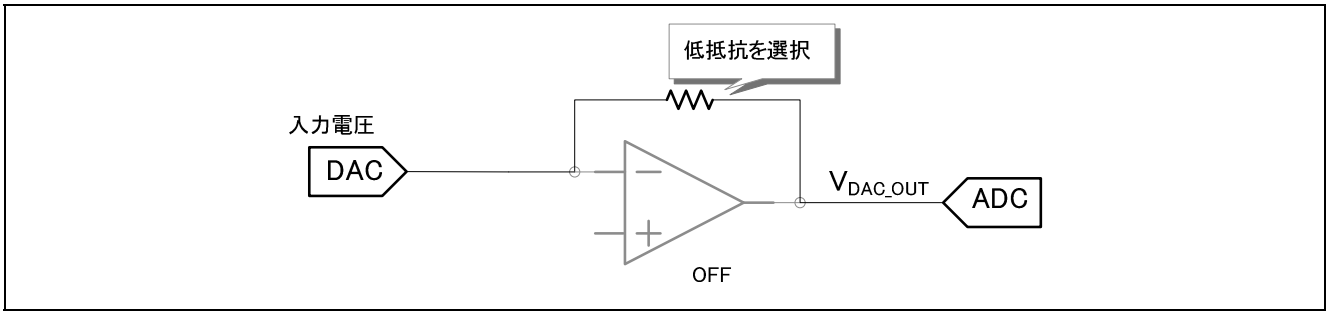


図 3-23　D/A コンバータ出力電圧の測定

【注】　Smart Analog IC 300 の帰還抵抗の最小値は 20kΩとなります。そのため、一般的な A/D コンバータの入力許容インピーダンス（1kΩ～10kΩ程度）を超えています。したがって、A/D コンバータの入力インピーダンスを下げるためのバッファアンプの取り付け、または A/D コンバータのサンプリング時間を長く設定する等の対策を行なってください。なお、詳細は使用するマイクロコントローラのマニュアルをご参照ください。

(2)　コンフィギュラブル・アンプ出力電圧の測定

コンフィギュラブル・アンプを図 3-24のように接続します。

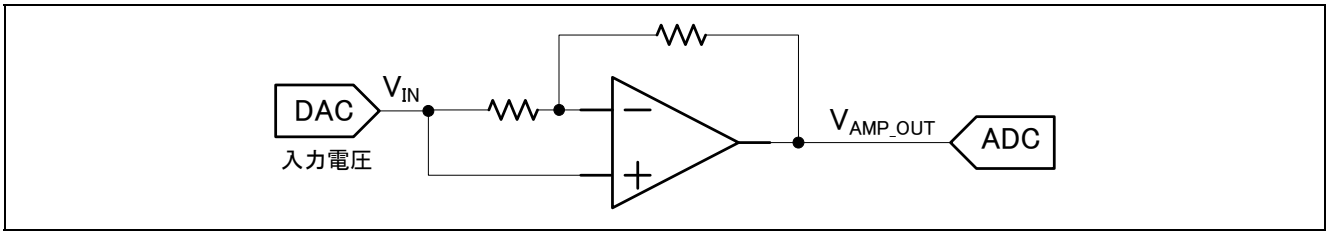


図 3-24　反転アンプ構成または非反転アンプ構成時のオフセット電圧測定

(1)で設定、測定した電圧を D/A コンバータから出力し、コンフィギュラブル・アンプに入力します。そして、コンフィギュラブル・アンプの出力電圧を A/D コンバータで測定します。この時、コンフィギュラブル・アンプのゲインは、実際のシステムで使用するゲインを設定してください。

(3)　オフセット電圧の算出

A/D コンバータで測定した電圧値から、オフセット電圧を算出します。

図 3-24の構成の時、コンフィギュラブル・アンプ出力電圧（V_{AMP_OUT}）は、入力電圧（V_{IN}）、反転アンプ構成時のゲイン（G_{Invert}）より、式 13で表されます。

$$\begin{aligned} V_{AMP_OUT} &= (G_{Invert}+1)\cdot V_{IN} - G_{Invert}\cdot V_{IN} \\ &= V_{IN} \end{aligned} \quad \cdots \quad 式\ 13$$

式 13は、オフセット電圧を含まない理想アンプの状態であり、実際のアンプの出力電圧にはオフセット電圧が含まれます。オフセット電圧を V_{offset_output} とすると、式 13は、式 14に変形され、さらに、式 15に変形されます。

$$V_{AMP_OUT} = V_{IN} + V_{offset_output} \quad \cdots \quad 式\ 14$$

$$V_{offset_output} = V_{AMP_OUT} - V_{IN} \quad \cdots \quad 式\ 15$$

したがって、式 15の V_{IN} には(1)で測定した V_{DAC_OUT} を、V_{AMP_OUT} には(2)で測定した値を代入すると、オフセット電圧を算出することができます。

(4)　入力換算オフセット電圧の算出

オフセット電圧（V_{offset_output}）から入力換算オフセット電圧（V_{offset_input}）を算出します。オフセット電圧をゲインで除算すると、入力換算オフセット電圧が求められます。式 16で表されます。

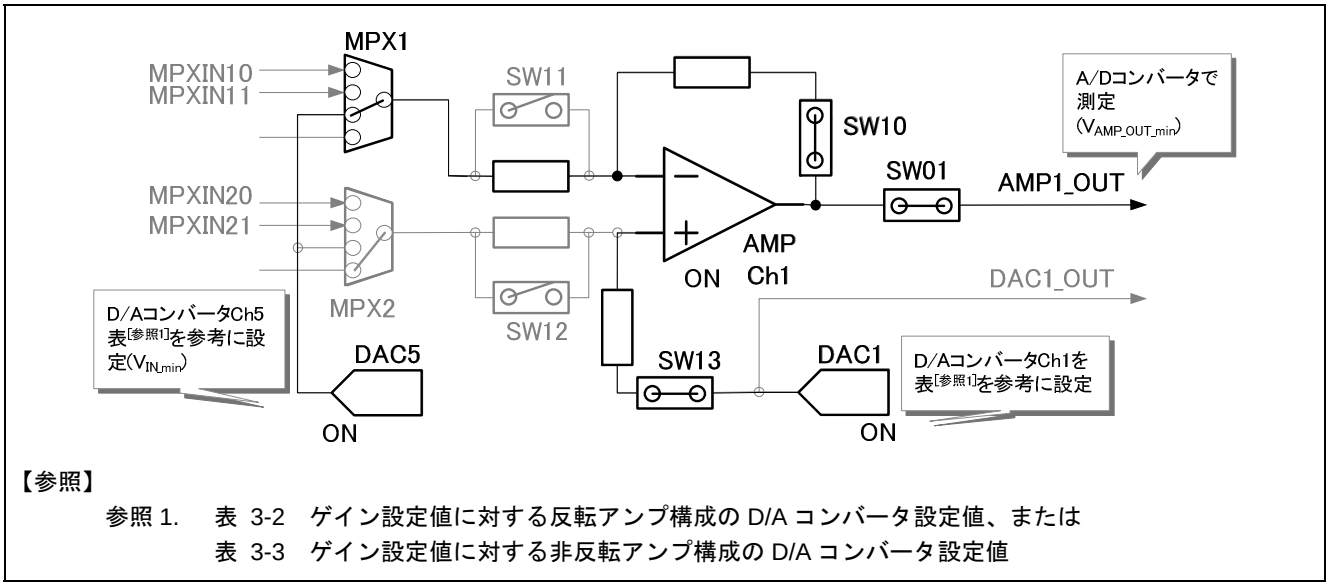
$$V_{offset_input} = \frac{V_{offset_output}}{G_{Invert}} \quad \cdots \quad 式\ 16$$

3.3.3　Smart Analog IC 300 を用いたゲイン誤差の測定

本節では、3.3.1節で説明した内容に関し、実際に Smart Analog IC 300 を用いた場合の回路構成方法、およびゲイン誤差の算出方法などについて説明します。なお、Smart Analog IC 300 とマイクロコントローラの接続に関しては、図 3-1を参照してください。

(1)　最小値測定時

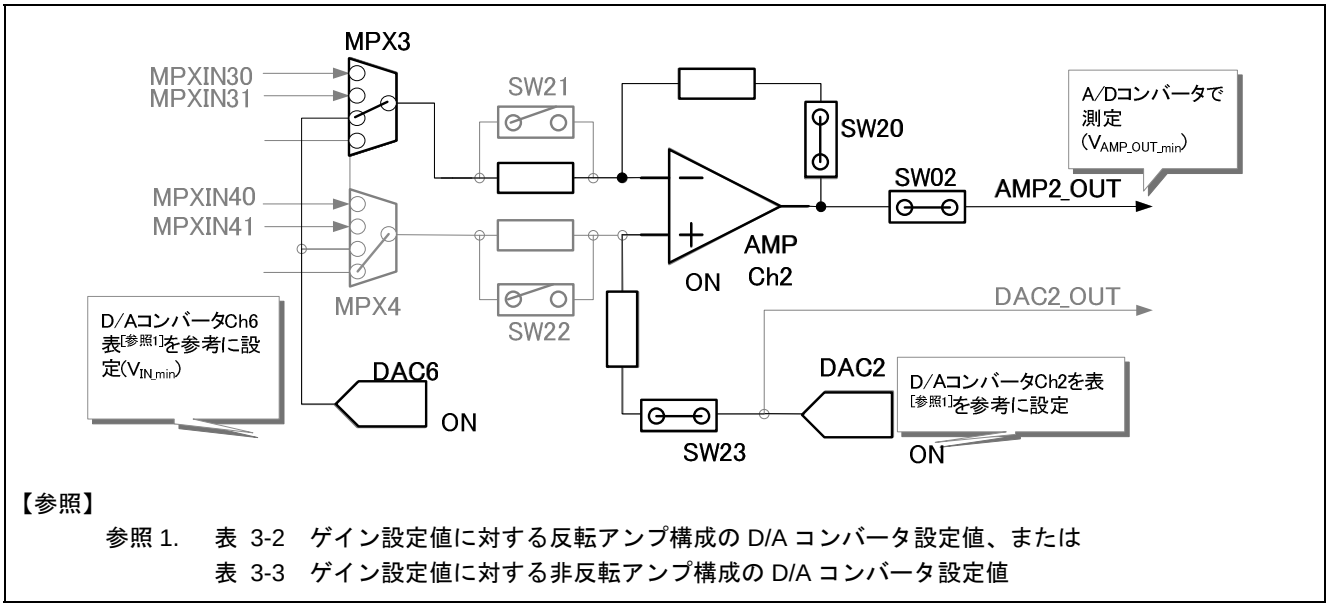
最小値測定時の、回路構成方法、および回路設定条件を図 3-25～図 3-27に示します。



【参照】

参照 1.　表 3-2　ゲイン設定値に対する反転アンプ構成の D/A コンバータ設定値、または
表 3-3　ゲイン設定値に対する非反転アンプ構成の D/A コンバータ設定値

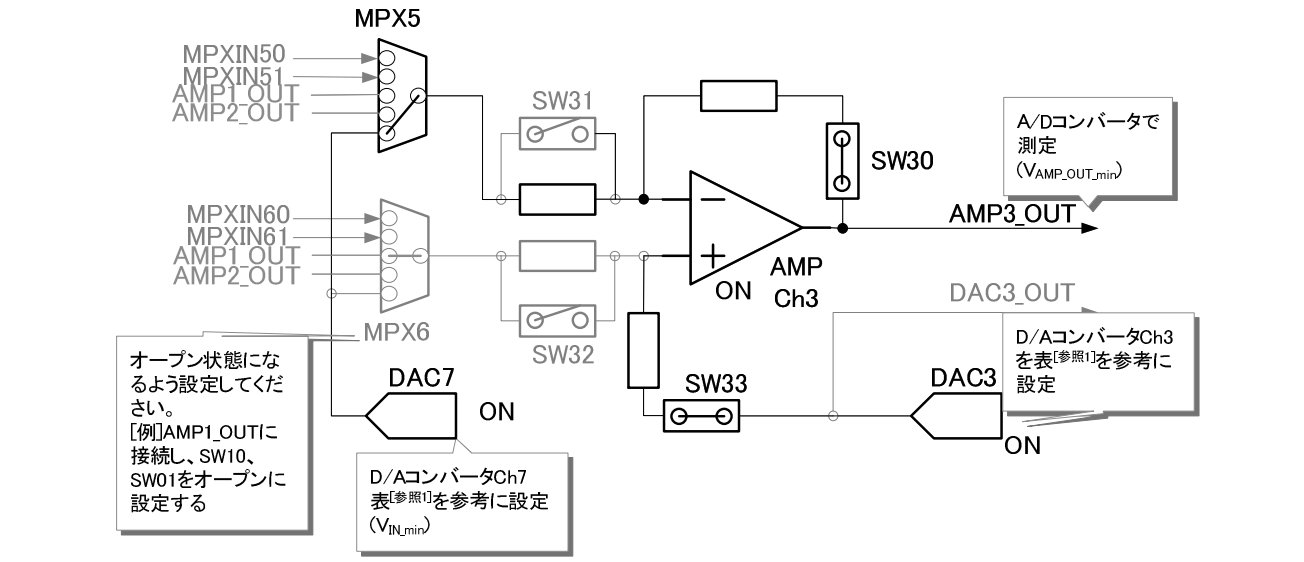
図 3-25　コンフィギュラブル・アンプ Ch1 の最小値測定



【参照】

参照 1.　表 3-2　ゲイン設定値に対する反転アンプ構成の D/A コンバータ設定値、または
表 3-3　ゲイン設定値に対する非反転アンプ構成の D/A コンバータ設定値

図 3-26　コンフィギュラブル・アンプ Ch2 の最小値測定



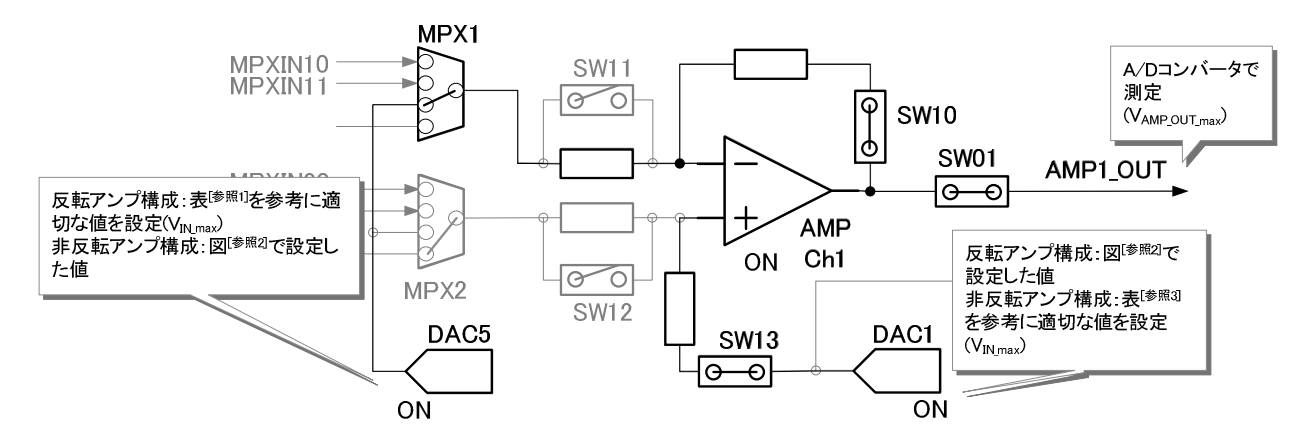
【参照】

参照 1.　表 3-2　ゲイン設定値に対する反転アンプ構成の D/A コンバータ設定値、または
表 3-3　ゲイン設定値に対する非反転アンプ構成の D/A コンバータ設定値

図 3-27　コンフィギュラブル・アンプ Ch3 の最小値測定

(2)　最大値測定時

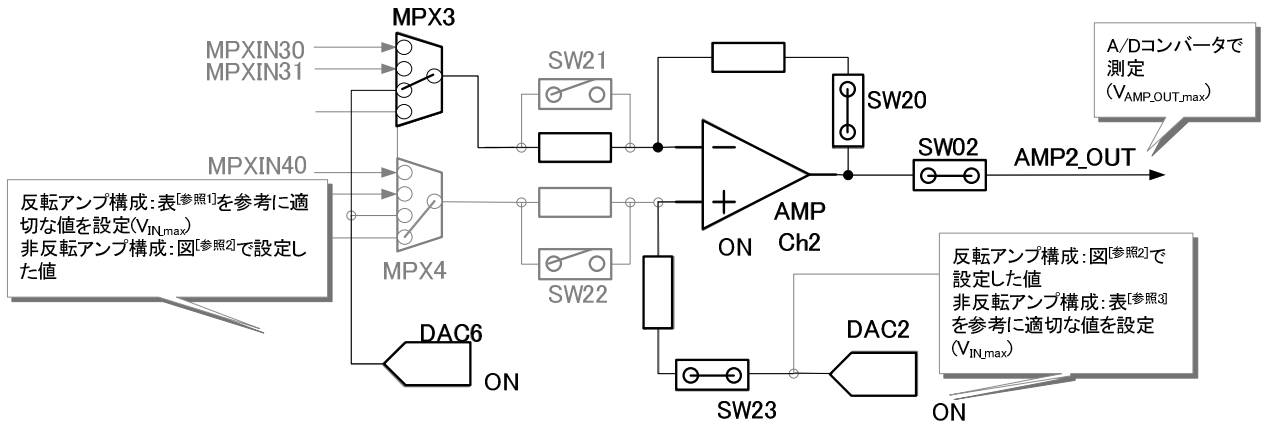
最大値測定時の、回路構成方法、および回路設定条件を図3-28～図3-29 に示します。反転入力側と非反転入力側に差電圧が生じるよう、D/A コンバータからの出力電圧を変更します。この時、反転アンプ構成と非反転アンプ構成では、設定を変更する D/A コンバータが異なります。設定すべき値は、表 3-2または表 3-3を参照してください。



【参照】

参照 1.　表 3-2　ゲイン設定値に対する反転アンプ構成の D/A コンバータ設定値
参照 2.　図 3-25　コンフィギュラブル・アンプ Ch1 の最小値測定
参照 3.　表 3-3　ゲイン設定値に対する非反転アンプ構成の D/A コンバータ設定値

図 3-28　コンフィギュラブル・アンプ Ch1 の最大値測定



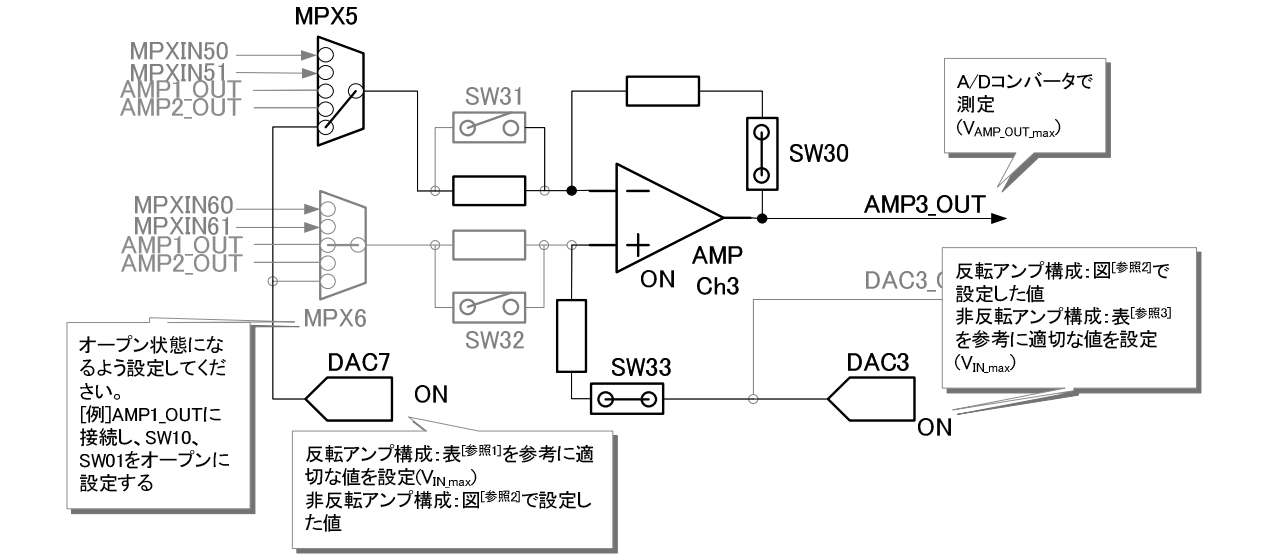
【参照】

参照 1.　表 3-2　ゲイン設定値に対する反転アンプ構成の D/A コンバータ設定値

参照 2.　図 3-26　コンフィギュラブル・アンプ Ch2 の最小値測定

参照 3.　表 3-3　ゲイン設定値に対する非反転アンプ構成の D/A コンバータ設定値

図 3-29　コンフィギュラブル・アンプ Ch2 の最大測定



【参照】

参照 1.　表 3-2　ゲイン設定値に対する反転アンプ構成の D/A コンバータ設定値

参照 2.　図 3-27　コンフィギュラブル・アンプ Ch3 の最小値測定

参照 3.　表 3-3　ゲイン設定値に対する非反転アンプ構成の D/A コンバータ設定値

図 3-30　コンフィギュラブル・アンプ Ch3 の最大値測定

(3)　ゲインの算出

A/D コンバータの測定結果（A/D 変換値）から、コンフィギュラブル・アンプ出力電圧（V_{AMP_OUT}）を求めます。A/D コンバータの測定結果（N_{AMP_OUT}）、電源電圧（AV_{DD}）を用い、式 6から求めます。

$$V_{AMP_OUT} = \frac{N_{AMP_OUT}}{2^n} \cdot AV_{DD} \quad \cdots \quad 式\ 6$$

【注】n は、A/D コンバータ分解能となります。

式 6より、最小値電圧（$V_{AMP_OUT_min}$）と最大値電圧（$V_{AMP_OUT_max}$）が算出されます。

また、入力電圧（V_{IN}）は、D/A コンバータの設定値（N_{DAC}）、基準電圧上限値（V_{VRT}）、基準電圧下限値（V_{VRB}）より、式 7で表されます。

$$V_{IN} = \left(\left(V_{VRT} - V_{VRB} \right) \cdot 2 \cdot \frac{N_{DAC}}{2^8} \right) + 2 \cdot V_{VRB} \quad \cdots \quad 式\ 7$$

【注】8 は D/A コンバータのビット数を表しています。

よって、ゲイン G は、式 1、式 6、および式 7より、式 8で表されます。

$$G = \frac{\left(N_{AMP_OUT_Max} - N_{AMP_OUT_Min} \right) \cdot \frac{AV_{DD}}{2^n}}{\left(\left(V_{VRT} - V_{VRB} \right) \cdot 2 \cdot \frac{\left(N_{IN_Max} - N_{IN_Min} \right)}{2^8} \right) + 2 \cdot V_{VRB}} \quad \cdots \quad 式\ 8$$

(4)　平均化

平均化のためのそれぞれの測定結果（本アプリケーションノードでは 3 回の測定を実施）を G_{First}、G_{Second}、G_{Third} とおくと、その平均値 $G_{Average}$ は、式 9 で表されます。

$$G_{Average} = \frac{G_{First} + G_{Second} + G_{Third}}{3} \quad \cdots \quad 式\ 9$$

(5)　ゲイン誤差の算出

(4)で平均化した実測値を用い、仕様に記載された値との差分から、ゲイン誤差を算出します。詳細は、4. 1. 1　ゲイン誤差の算出を参照してください。

3.3.4　Smart Analog IC 300 を用いた入力換算オフセット電圧の測定

本節では、3.3.2節で説明した内容に関し、実際に Smart Analog IC 300 を用いた場合の回路構成方法、および入力換算オフセット電圧の算出方法などについて説明します。なお、Smart Analog IC 300 とマイクロコントローラの接続に関しては、図 3-1を参照してください。

(1)　D/A コンバータの出力電圧の測定

Smart Analog IC 300 に内蔵の、各 D/A コンバータ出力電圧の測定例を図 3-31～図 3-33 に示します。

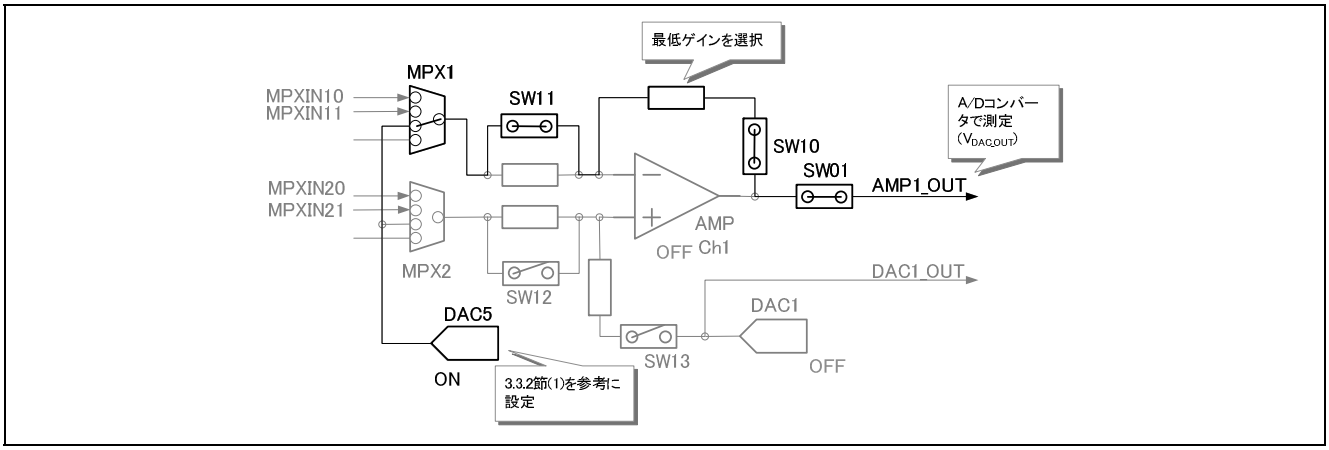


図 3-31　D/A コンバータ Ch5 の出力電圧測定

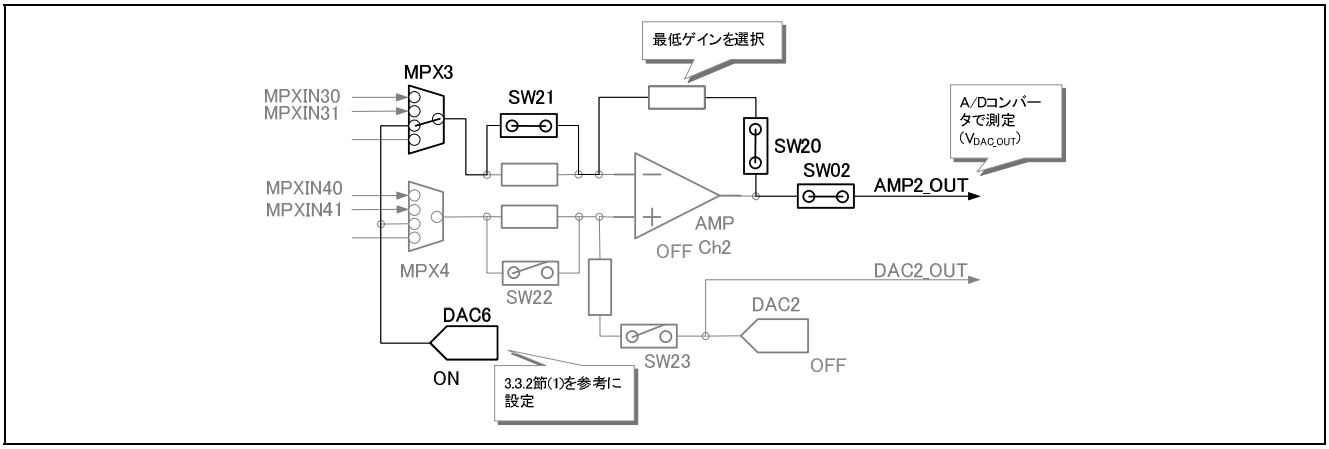


図 3-32　D/A コンバータ Ch6 の出力電圧測定

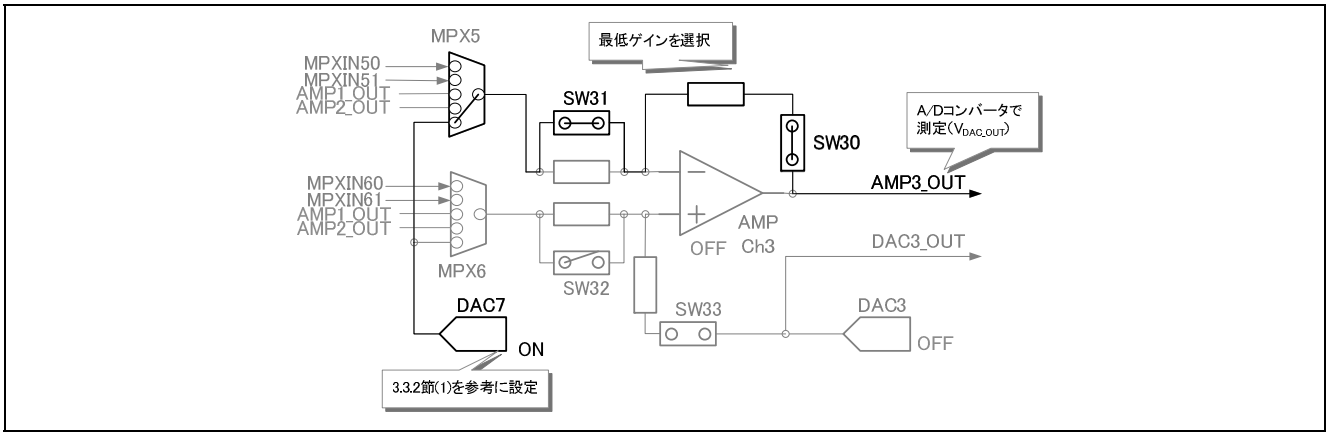


図 3-33　D/A コンバータ Ch7 の出力電圧測定

A/D コンバータの測定結果（A/D 変換値）から、D/A コンバータ出力電圧（V_{DAC_OUT}）を求めるには、A/D コンバータの測定結果（N_{DAC_OUT}）、電源電圧（AV_{DD}）を用い、式 10より求めます。

$$V_{DAC_OUT} = \frac{N_{DAC_OUT}}{2^n} \cdot AV_{DD} \quad \cdots \quad 式\ 10$$

【注】n は、A/D コンバータ分解能となります。

(2)　コンフィギュラブル・アンプ出力電圧の測定

コンフィギュラブル･アンプの反転入力端子および非反転入力端子に同電位の電圧を入力し、コンフィギュラブル・アンプの出力電圧を測定します。

Smart Analog IC 300 のコンフィギュラブル・アンプの各出力電圧の測定例を図 3-34～図 3-36 に示します。

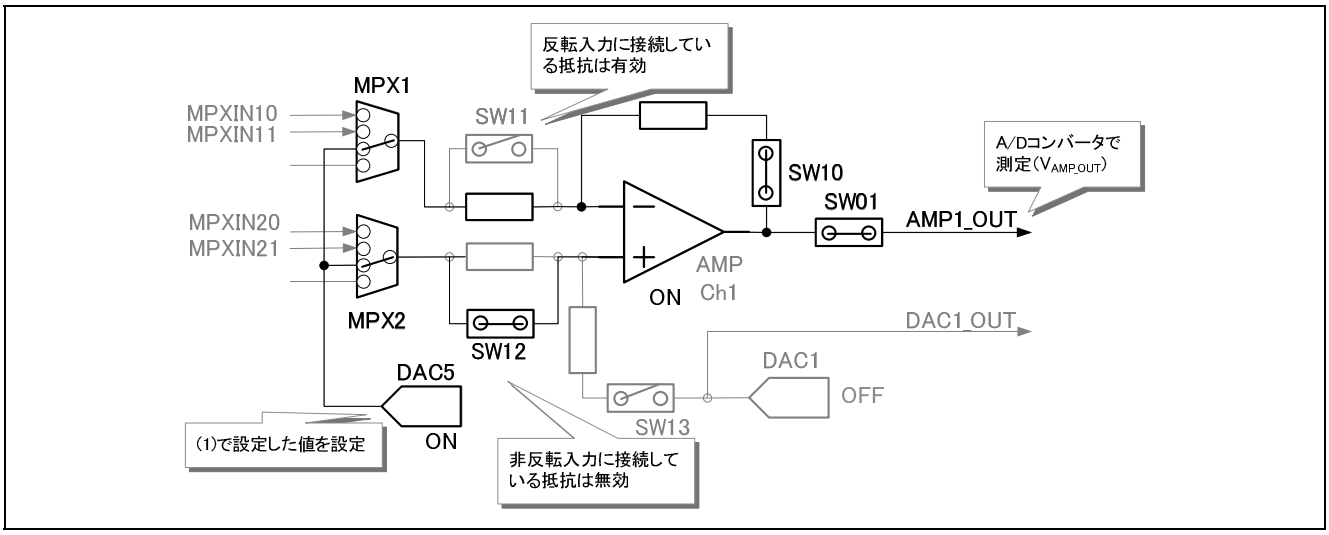


図 3-34　コンフィギュラブル・アンプ Ch1 の出力電圧測定

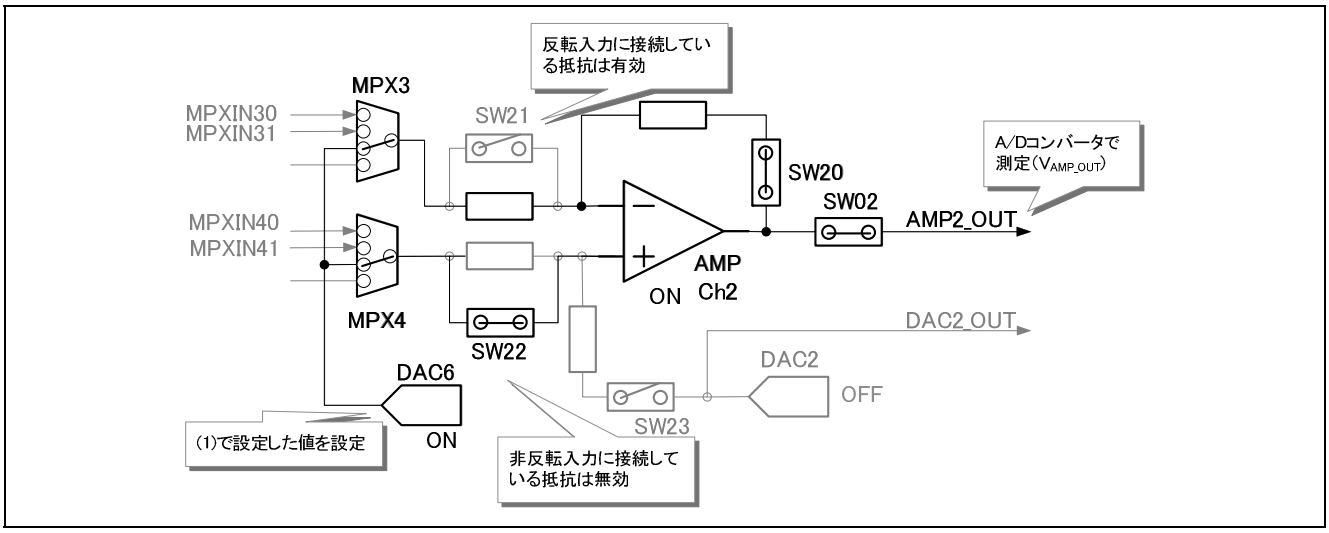


図 3-35　コンフィギュラブル・アンプ Ch2 の出力電圧測定

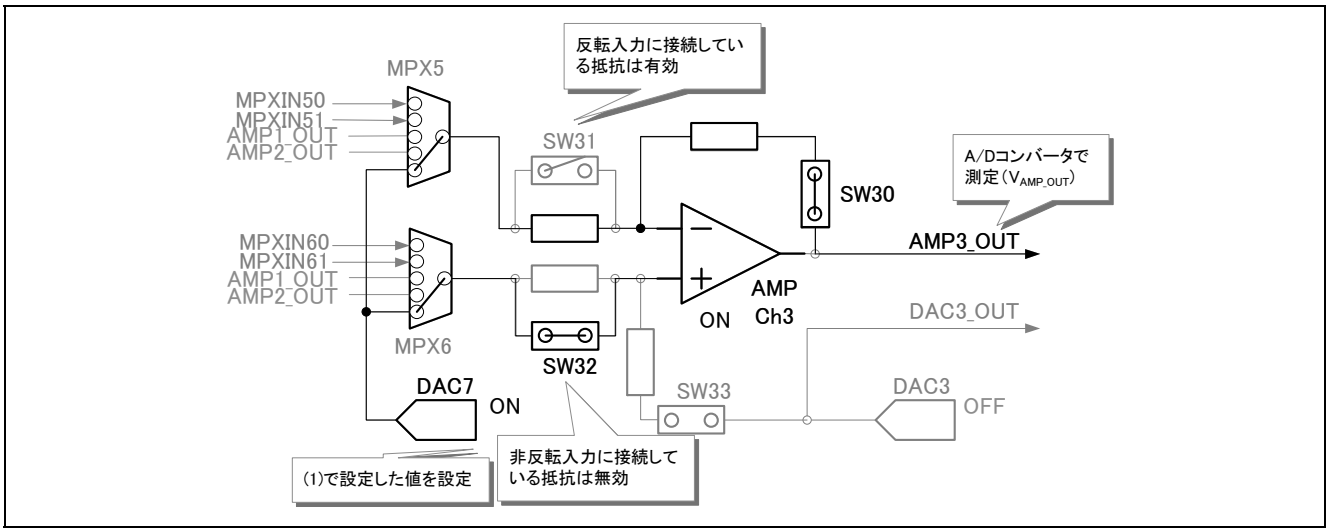


図 3-36　コンフィギュラブル・アンプ Ch3 の出力電圧測定

A/D コンバータの測定結果（A/D 変換値）から、コンフィギュラブル・アンプ出力電圧（V_{AMP_OUT}）求めるには、式 6を用います。

$$V_{AMP_OUT} = \frac{N_{AMP_OUT}}{2^n} \cdot AV_{DD} \qquad \cdots \qquad \text{式 6}$$

【注】n は、A/D コンバータ分解能となります。

(3)　オフセット電圧の算出

オフセット電圧は、(1) D/A コンバータ出力電圧の測定、および(2) コンフィギュラブル・アンプ出力電圧の測定にて求められた値を、式 15に代入して算出します。式 15に式 6および式 10を代入すると、式 11となります。

$$V_{offset_output} = \frac{\mathrm{N}_{\mathrm{AMP_OUT}}}{2^{\mathrm{n}}} \cdot AV_{DD} - \frac{\mathrm{N}_{\mathrm{DAC_OUT}}}{2^{\mathrm{n}}} \cdot AV_{DD} \qquad \cdots \qquad \text{式 11}$$

(4)　入力換算オフセット電圧の算出

オフセット電圧から入力換算オフセット電圧を算出します。入力換算オフセット電圧は、式 16と式 11から算出することができ、式 17となります。なお、G_{Invert} は測定で使用したゲインとなります。

$$V_{Offset} = \frac{\dfrac{N_{AMP_OUT}}{2^{\mathrm{n}}} \cdot AV_{DD} - \dfrac{\mathrm{N}_{\mathrm{DAC_OUT}}}{2^{\mathrm{n}}} \cdot AV_{DD}}{G_{Invert}} \qquad \cdots \qquad \text{式 17}$$

3.4　計装アンプ構成時の測定手順

本節では、コンフィギュラブル・アンプを計装アンプ構成に設定した時の、ゲイン誤差の測定手順と入力換算オフセット電圧の測定手について説明します。

3.4.1　ゲイン誤差の測定手順

ゲイン誤差の測定手順は、差動アンプ構成時の測定手順（3.2.1節）と同じです。図 3-2に示した測定フローとその説明に関しては、3.2.1節を参照してください。

(1)　コンフィギュラブル・アンプの入力電圧（D/A コンバータの出力電圧）の決定

3.2.1節の(1)で前述した考え方に基づき、コンフィギュラブル・アンプの入力電圧（D/A コンバータの出力電圧）を決定します。

コンフィギュラブル・アンプを計装アンプ構成で使用する場合は、D/A コンバータを 3 ch 使用します。最小値測定時、各 D/A コンバータの設定値（デジタル入力値）は、3 ch とも、x0H（x = 2～4）にします。最大値測定時は、表 3-4の組み合わせを参考に設定します。

(2)　最小値測定時

前段アンプの反転入力側の入力電圧、非反転入力側の入力電圧および基準電圧の供給に、それぞれ別の D/A コンバータを使用します。D/A コンバータから供給する電圧（V_{IN_min}）はすべて同じ設定とします。この状態で測定した結果（コンフィギュラブル・アンプの出力電圧）を最小値電圧（$V_{AMP_OUT_min}$）とします。

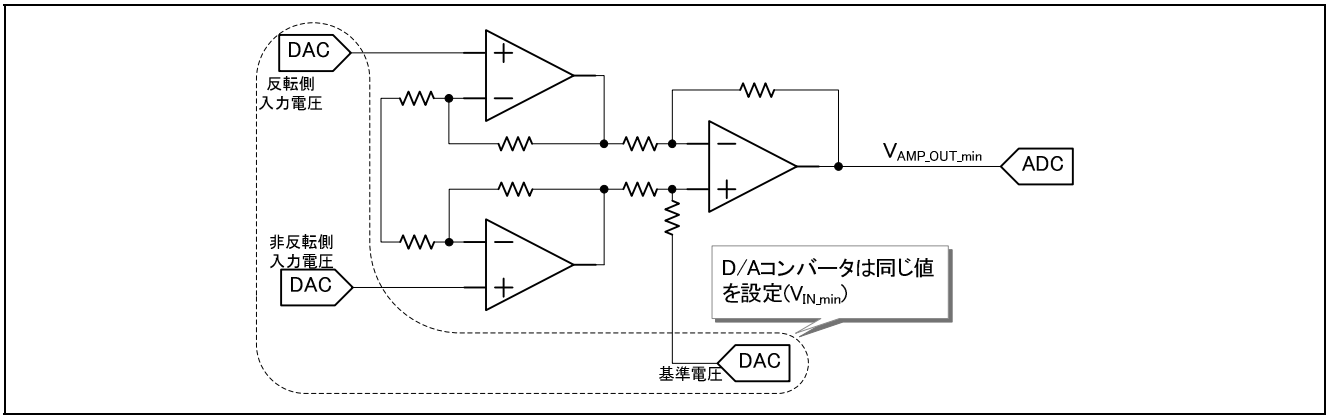
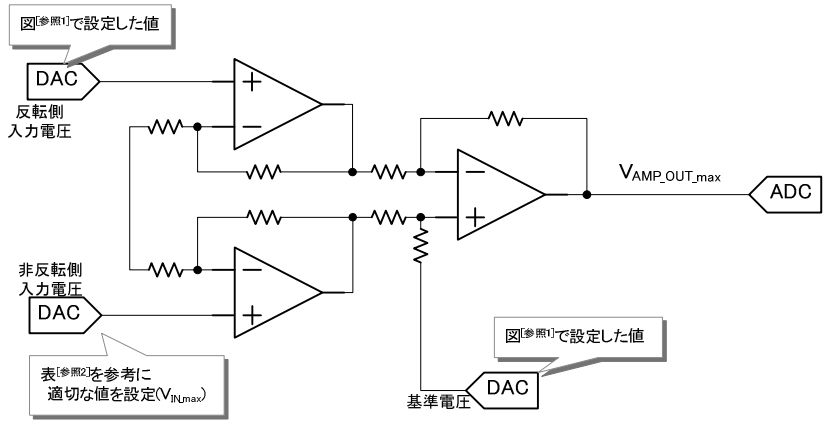


図 3-37　最小値測定

(3)　最大値測定時

前段アンプの非反転入力側の D/A コンバータの設定値を最小値測定で設定した値より大きい値に設定します。この時、設定する値は、表 3-4を参考に設定します。反転入力側の入力電圧および基準電圧は、最小値測定時から変更しません。なお、ここで非反転入力側に供給した電圧を V_{IN_max}、測定で得られたコンフィギュラブル・アンプの出力電圧を最大値電圧（$V_{AMP_OUT_max}$）します。



【参照】

参照 1.　図 3-37　最小値測定

参照 2.　表 3-4　ゲイン設定値に対する計装アンプ構成の D/A コンバータ設定値

図 3-38　最大値測定

表 3-4　ゲイン設定値に対する計装アンプ構成の D/A コンバータ設定値

平均化回数	基準電圧 反転入力側 （前段アンプ）	非反転入力側（前段アンプ）（ゲイン設定値ごと）						
		0-3 (15.5-21.5dB)	4 (23.5dB)	5 (25.5dB)	6 (27.5dB)	7 (29.5dB)	8 (31.5dB)	9 (33.5dB)
1 回目	20H	2FH	2CH	2AH	27H	26H	25H	23H
2 回目	30H	3FH	3CH	3AH	37H	36H	35H	33H
3 回目	40H	4FH	4CH	4AH	47H	46H	45H	43H

【注】最大値測定時の、前段アンプの非反転入力側の設定は、前段アンプの反転入力側との電圧差が最大になり、かつ A/D コンバータの入力範囲を超えない値に設定しています。また、3 回の測定で平均化を行います。

(4)　ゲインの算出

測定で得られた最小値電圧と最大値電圧、および非反転入力側に供給した電圧（D/A コンバータの出力電圧）からゲインを算出します。一般的に、ゲインは出力電圧を入力電圧で除算することで求まりますが、除算だけでは、算出されたゲインにオフセット電圧が含まれます。そこで、本アプリケーションノートではオフセット電圧を除去するため、相対値で算出を行います。したがって、ゲイン G は、式 1で表します。

$$G = \frac{V_{AMP_OUT_\max} - V_{AMP_OUT_\min}}{V_{IN_\max} - V_{IN_\min}} \quad \cdots \quad 式\ 1$$

(5)　平均化

更なる測定精度の向上のため、D/A コンバータから供給する電圧レベルを変更し、(1)～(4)の手順を繰り返し、複数回（本アプリケーションノートの実施例では 3 回）測定を行います。その後、取得したデータの平均化を行い、ゲインを算出します。

(6)　ゲイン誤差の算出

(5)で平均化した実測値を用い、仕様に記載された値との差分から、ゲイン誤差を算出します。詳細は、4. 1. 1　ゲイン誤差の算出を参照してください。

3.4.2　入力換算オフセット電圧の測定手順

コンフィギュラブル･アンプの反転入力端子および非反転入力端子に同電位の電圧を入力し、コンフィギュラブル･アンプの出力電圧を A/D コンバータで測定します。入力電圧と出力電圧の差を測定することにより、オフセット電圧を算出します。オフセット電圧をアンプのゲインで割ると、入力換算オフセット電圧となります。

コンフィギュラブル・アンプを計装アンプ構成として使用する場合は、複数のアンプを使用するため、まずは、個々のアンプのオフセット電圧を測定します。その後、個々のアンプのオフセット電圧を加算、除算することにより、計装アンプとしての入力換算オフセット電圧を算出します。入力換算オフセット電圧の測定フローを図 3–39 に示します。

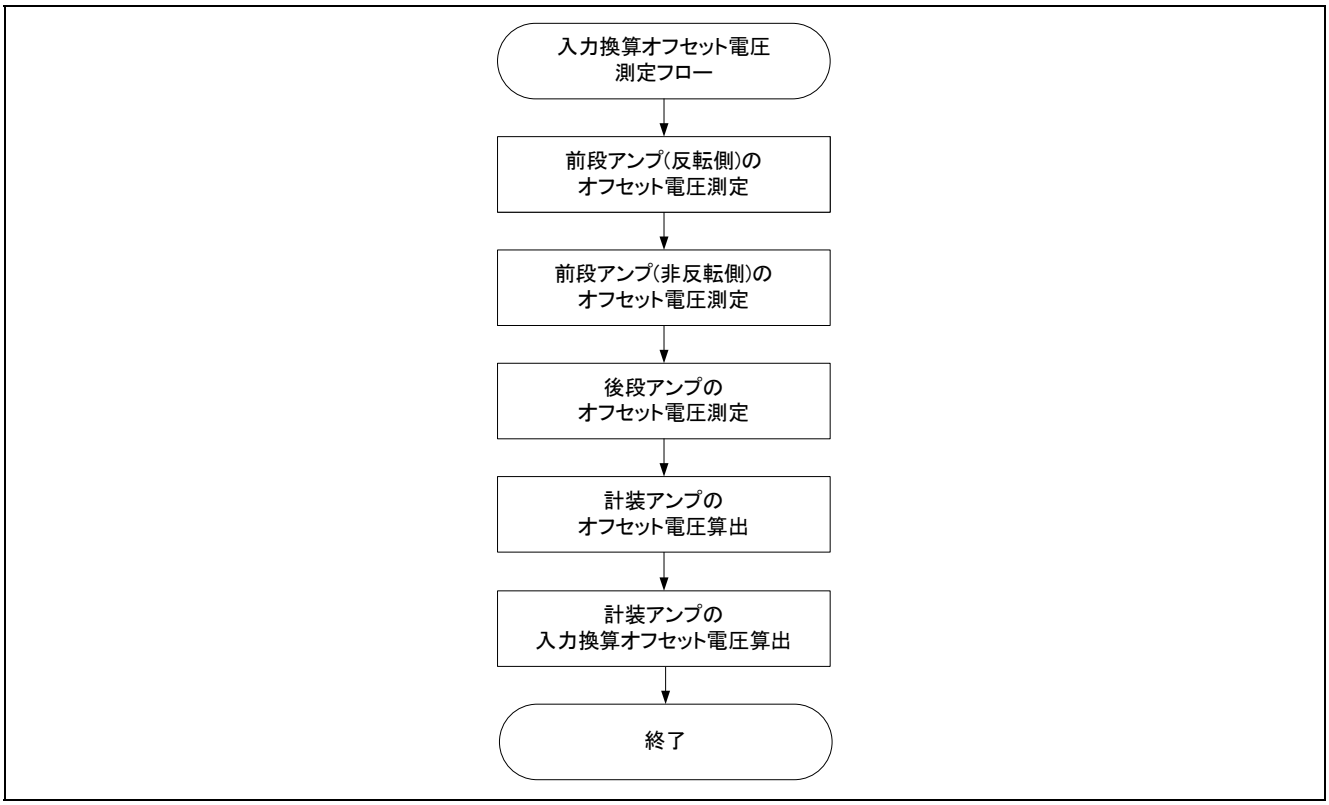


図 3-39　入力換算オフセット電圧の測定フロー

次に、図 3-39のフローを元に、各手順の詳細について説明します。

(1)　前段アンプ（反転入力側）のオフセット電圧

コンフィギュラブル・アンプを計装アンプ構成で使用する場合、前段アンプ（反転入力側）は、ゲイン 9.5 dB の非反転アンプ構成となります。そのため、3.3.2節の手順に従い、反転アンプ構成時のオフセット電圧（V_{offset_pre1}）を算出します。

(2)　前段アンプ（非反転入力側）のオフセット電圧

コンフィギュラブル・アンプを計装アンプ構成で使用する場合、前段アンプ（非反転入力側）は、ゲイン 9.5 dB の非反転アンプ構成となります。そのため、3.3.2節の手順に従い、反転アンプ構成時のオフセット電圧（V_{offset_pre2}）を算出します。

(3)　後段アンプのオフセット電圧

コンフィギュラブル・アンプを計装アンプ構成で使用する場合、後段アンプは、差動アンプ構成となります。そのため、3.2.2 節の手順に従い、オフセット電圧（V_{offset_post}）を算出します。この時、後段アンプのゲインは、実際のシステムで使用するゲインを設定してください。

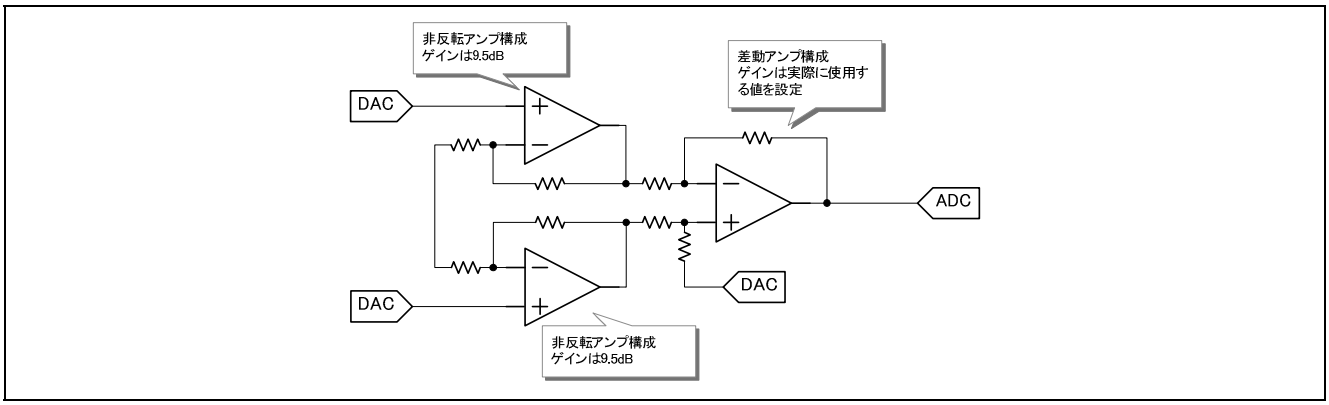


図 3-40　計装アンプ構成時のオフセット電圧測定

(4)　計装アンプのオフセット電圧

(1)～(3)で算出した値から、計装アンプのオフセット電圧を算出します。後段アンプのゲインを G_{diff} とおくと、計装アンプのオフセット電圧（$V_{offset_output_inst}$）は、式 18で表されます。

$$V_{offset_output_inst} = \left(V_{offset_pre2} - V_{offset_pre1} + \frac{V_{offset_post}}{G_{diff}} \right) \cdot G_{diff} \quad \cdots \quad 式\ 18$$

(5)　計装アンプの入力換算オフセット電圧

オフセット電圧（$V_{offset_output_inst}$）から入力換算オフセット電圧（V_{offset_inst}）を算出します。オフセット電圧をゲインで除算すると、入力換算オフセット電圧が求められます。計装アンプのゲイン（G_{inst}）より、入力換算オフセット電圧（V_{offset_inst}）は、式 19で表されます。

$$V_{offset_inst} = \frac{V_{offset_output_inst}}{G_{inst}} \quad \cdots \quad 式\ 19$$

3.4.3　Smart Analog IC 300 を用いたゲイン誤差の測定

本節では、3.4.1節で説明した内容に関し、実際に Smart Analog IC 300 を用いた場合の回路構成方法、およびゲイン誤差の算出方法などについて説明します。なお、Smart Analog IC 300 とマイクロコントローラの接続に関しては、図 3-1を参照してください。

(1)　最小値測定時

最小値測定時の、回路構成方法、および回路設定条件を図 3–41 に示します。

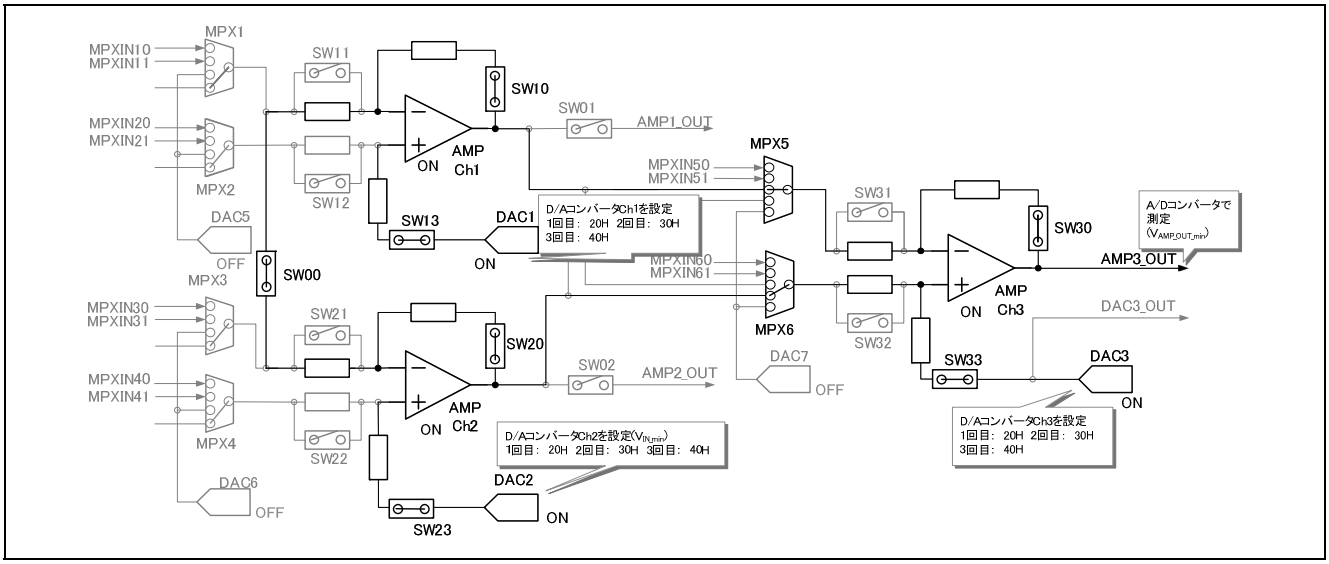
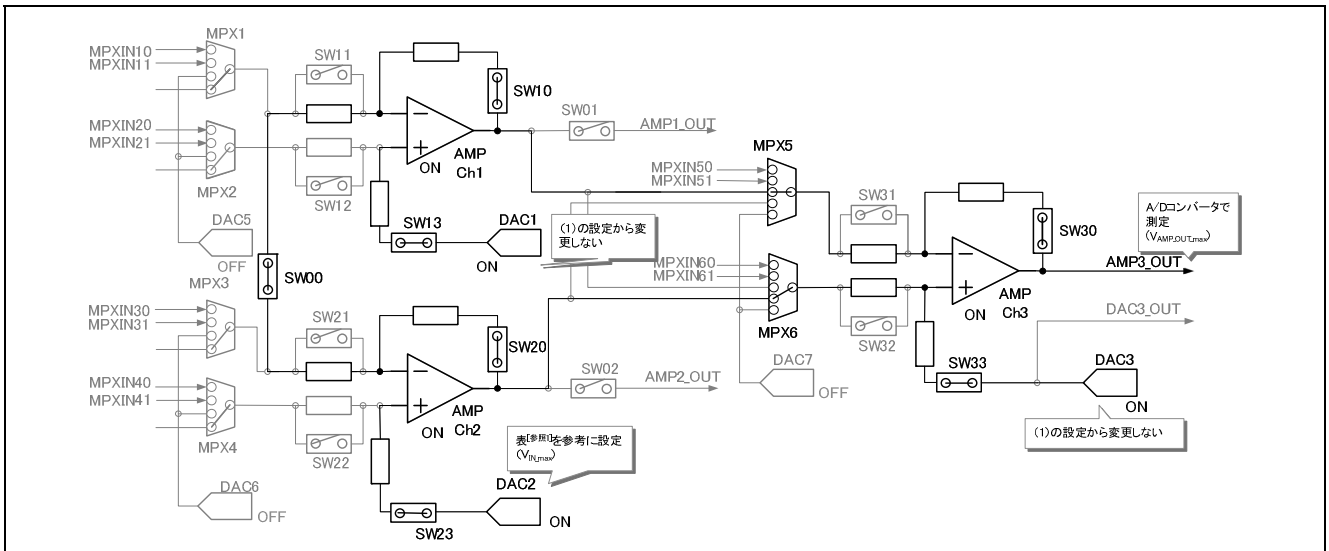


図 3-41　計装アンプ設定時の最小値測定

(2)　最大値測定時

最大値測定時の、回路構成方法、および回路設定条件を図 3-42 に示します。反転入力側の入力電圧、および基準電圧は、(1)最小値測定時で設定した値から変更しないでください。



【参照】

参照 1.　表 3-4　ゲイン設定値に対する計装アンプ構成の D/A コンバータ設定値

図 3-42　計装アンプ設定時の最大値測定

(3)　ゲインの算出

A/D コンバータの測定結果（A/D 変換値）から、コンフィギュラブル・アンプ出力電圧（V_{AMP_OUT}）を求めます。A/D コンバータの測定結果（N_{AMP_OUT}）、電源電圧（AV_{DD}）を用い、式 6から求めます。

$$V_{AMP_OUT} = \frac{N_{AMP_OUT}}{2^n} \cdot AV_{DD} \quad \cdots \quad 式\ 6$$

【注】n は、A/D コンバータ分解能となります。

式 6より、最小値電圧（$V_{AMP_OUT_min}$）と最大値電圧（$V_{AMP_OUT_max}$）が算出されます。

また、入力電圧（V_{IN}）は、D/A コンバータの設定値（N_{DAC}）、基準電圧上限値（V_{VRT}）、基準電圧下限値（V_{VRB}）より、式 7で表されます。

$$V_{IN} = \left(\left(V_{VRT} - V_{VRB} \right) \cdot 2 \cdot \frac{N_{DAC}}{2^8} \right) + 2 \cdot V_{VRB} \quad \cdots \quad 式\ 7$$

【注】8 は D/A コンバータのビット数を表しています。

よって、計装アンプのゲイン G は、式 1、式 6、および式 7より、式 8で表されます。

$$G = \frac{\left(N_{AMP_OUT_Max} - N_{AMP_OUT_Min} \right) \cdot \frac{AV_{DD}}{2^n}}{\left(\left(V_{VRT} - V_{VRB} \right) \cdot 2 \cdot \frac{\left(N_{IN_Max} - N_{IN_Min} \right)}{2^8} \right) + 2 \cdot V_{VRB}} \quad \cdots \quad 式\ 8$$

(4)　平均化

平均化のためのそれぞれの測定結果（本アプリケーションノードでは 3 回の測定を実施）を G_{First}、G_{Second}、G_{Third} とおくと、その平均値 $G_{Average}$ は、式 9 で表されます。

$$G_{Average} = \frac{G_{First} + G_{Second} + G_{Third}}{3} \quad \cdots \quad 式\ 9$$

(5)　ゲイン誤差の算出

(4)で平均化した実測値を用い、仕様に記載された値との差分から、ゲイン誤差を算出します。詳細は、4. 1. 1　ゲイン誤差の算出を参照してください。

3.4.4　Smart Analog IC 300 を用いた入力換算オフセット電圧の測定

本節では、3.4.2 節で説明した内容に関し、実際に Smart Analog IC 300 を用いた場合の回路構成方法、および入力換算オフセット電圧の算出方法などについて説明します。なお、Smart Analog IC 300 とマイクロコントローラの接続に関しては、図 3-1を参照してください。

(1)　前段アンプ（反転入力側）のオフセット電圧

Smart Analog IC 300 のコンフィギュラブル・アンプ Ch1 のオフセット電圧を算出します。アンプ Ch1 を非反転アンプ構成とし、ゲイン 9.5 dB で、コンフィギュラブル・アンプ Ch1 の出力電圧を測定します。測定手順、および回路結線図に関しては、3.3.4 節をご参照ください。

(2)　前段アンプ（非反転入力側）のオフセット電圧

Smart Analog IC 300 のコンフィギュラブル・アンプ Ch2 のオフセット電圧を算出します。アンプ Ch2 を非反転アンプ構成とし、ゲイン 9.5 dB で、コンフィギュラブル・アンプ Ch2 の出力電圧を測定します。測定手順、および回路結線図に関しては、3.3.4 節をご参照ください。

(3)　後段アンプのオフセット電圧

Smart Analog IC 300 のコンフィギュラブル・アンプ Ch3 のオフセット電圧を算出します。アンプ Ch3 を差動アンプ構成とし、コンフィギュラブル・アンプ Ch3 の出力電圧を測定します。この時、アンプ Ch3 のゲインは、実際のシステムで使用するゲインを設定してください。測定手順、および回路結線図に関しては、3.2.4 節をご参照ください。

(4)　計装アンプのオフセット電圧

(1)～(3)の手順で、各コンフィギュラブル・アンプのオフセット電圧を算出した後、計装アンプのオフセット電圧を、式 18を用いて算出します。

(5)　計装アンプの入力換算オフセット電圧

(4)で算出した値から、計装アンプの入力換算オフセット電圧を算出します。式 19を用いて求めます。

4.　実施例

3.2.3 節、および 3.2.4 節の手順を用いて、実施例を示します。本例では、表 4-1 で示した条件で、測定を行なっています。本例は、あくまでも参考値となります。実際にご使用になる際は、十分に評価を行なってからご使用ください。

表 4-1　動作確認条件

条件		設定値
コンフィギュラブル・アンプ	使用するチャネル	Ch1
	アンプ構成	差動アンプ
	設定ゲイン	20dB（10 倍）
D/A コンバータ	反転入力端子に接続するチャネル	Ch6
	非反転入力端子に接続するチャネル	Ch5
	オフセット電圧測定時の D/A コンバータ設定値	80H (128)
電源電圧		3.3 V
使用するマイクロコントローラ		RL78/G1A
A/D コンバータ分解能		12 bit

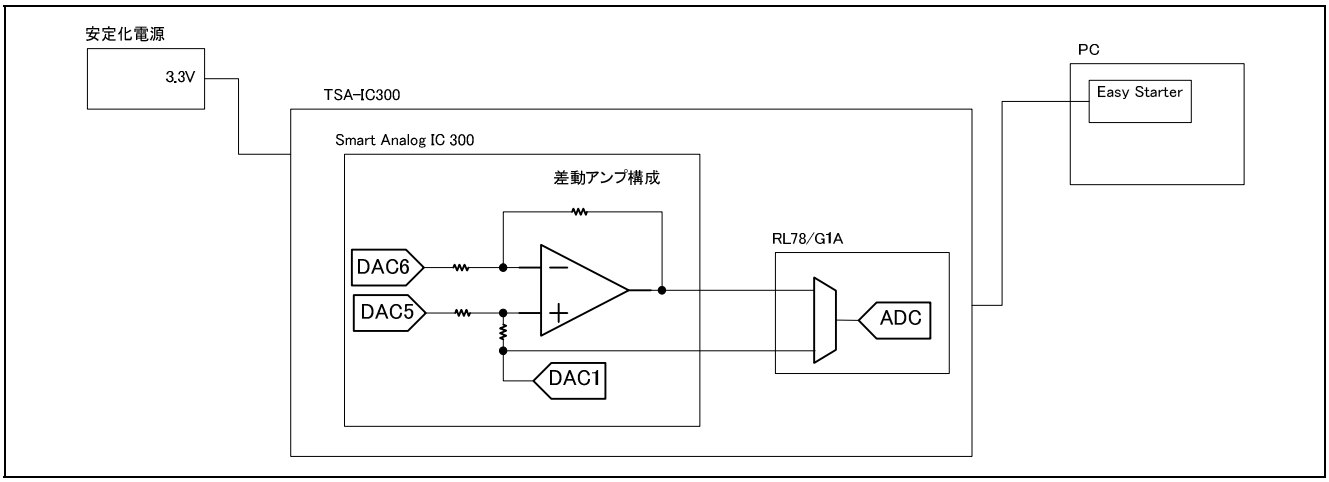


図 4-1　測定ブロック図

4.1　誤差の算出例

4.1.1　ゲイン誤差の算出

ゲイン誤差の算出例を示します。ゲイン誤差の測定は、3.2.3 節の手順に従います。

D/A コンバータの設定値は、表 4-2で示す値となります。

表 4-2　D/A コンバータの設定値

回数	D/A コンバータ Ch1、Ch6 の設定値		D/A コンバータ Ch5 の設定値	
	最小値 [LSB]	最大値 [LSB]	最小値 [LSB]	最大値 [LSB]
1 回目	20H	20H	20H	2FH
2 回目	30H	30H	30H	3FH
3 回目	40H	40H	40H	4FH

表 4-2で示した設定値での D/A コンバータの出力電圧を、コンフィギュラブル・アンプの入力電圧、基準電圧として印加します。この時の、コンフィギュラブル・アンプの出力電圧を測定した結果が、表 4-3となります。

表 4-3　コンフィギュラブル・アンプ Ch1 出力電圧の測定結果

回数	A/D コンバータ測定値	
	最小値印加時	最大値印加時
1 回目	520	2890
2 回目	776	3144
3 回目	1034	3403

式 8に、表 4-2で設定した値、および表 4-3で測定した値を代入すると、ゲインを算出することができます。表 4-4に、算出結果を示します。

表 4-4　コンフィギュラブル・アンプ Ch1 ゲインの算出結果

回数	ゲイン[倍]
1 回目	9.875
2 回目	9.867
3 回目	9.871

式 9に、表 4-4の測定結果を適用すると、式 20となります。

$$G_{Average} = \frac{9.875 + 9.867 + 9.871}{3} = 9.87\text{倍} \quad \cdots \quad \text{式 20}$$

本例のゲイン実測結果では、ゲインは 9.87 倍となりました。設定ゲインは 20 dB（10 倍）であったため、ゲイン誤差（仕様値との差分）は、–1.3%となります。

4.1.2　入力換算オフセット電圧の算出

入力換算オフセット電圧の算出例を示します。

3.2.4 節の(1)の手順に従い、D/A コンバータ Ch1 の出力電圧を測定します。表 4-5に、A/D コンバータで測定した結果を示します。

表 4-5　D/A コンバータ Ch1 出力電圧の測定結果

D/A コンバータ Ch1 の設定値	A/D 変換値 N_{DAC_OUT}
80H (128)	2047

次に、3.2.4 節の(2)の手順に従い、コンフィギュラブル・アンプ Ch1 の出力電圧を測定します。表 4-6 に、A/D コンバータで測定した結果を示します。

表 4-6　コンフィギュラブル・アンプ Ch1 出力電圧の測定結果

D/A コンバータ Ch1、Ch5 の設定値	A/D 変換値 N_{AMP_OUT}
80H (128)	2069

次に、測定結果から入力換算オフセット電圧を算出します。

表 4-5、および表 4-6の測定結果を、式 12に代入すると、入力換算オフセット電圧は、式 21となります。

$$V_{Offset} = \frac{\frac{N_{AMP_OUT}}{2^n} \cdot AV_{DD} - \frac{N_{DAC_OUT}}{2^n} \cdot AV_{DD}}{G} = \frac{3.3}{2^{12}} \cdot \frac{2069 - 2047}{9.87} \cong 1.80mV \quad \cdots \quad 式\ 21$$

4.2　入力電圧の算出例

4.1 で算出したゲインと入力換算オフセット電圧を用い、入力電圧を算出します。入力電圧の算出には、コンフィギュラブル･アンプからの出力電圧も必要となります。本実施例では、仮に、A/D 変換値にして 3000LSB の出力電圧が得られた場合について示します。

A/D 変換結果から、差動アンプに入力された差電圧を逆算する場合は、以下の式で表されます。

$$V_{IN+} - V_{IN-} = \frac{V_{AMP_OUT} - V_{bias}}{G} - V_{offset} \quad \cdots \quad 式\ 22$$

$$V_{IN+} - V_{IN-} = \frac{\frac{N_{AMP_OUT}}{2^{12}} \cdot AV_{DD} - \frac{N_{DAC_OUT}}{2^{8}} \cdot AV_{DD}}{G} - V_{offset} \quad \cdots \quad 式\ 23$$

4.1 での測定条件、算出した結果を以下にまとめます。

表 4-7　条件

測定条件	設定値		測定結果注	4.1 での自己測定結果	
AV_{DD}	設定ゲイン	基準電圧	A/D 変換値	算出ゲイン	オフセット電圧
3.3V	10 倍	80H (128)	3000LSB	9.87 倍	1.80 mV

注　コンフィギュラブル・アンプからの出力電圧の A/D 変換値です。

仮に、ゲイン誤差、オフセット電圧が算出できず、その影響が反映できないとすると（G = 10 倍、V_{offset} = 0)、式 23 より、差動アンプに入力された差電圧は、76.7 mV であると導かれます。

$$V_{IN+} - V_{IN-} = \frac{\frac{3000}{4096} \cdot 3.3 - \frac{128}{256} \cdot 3.3}{10} - 0 \quad \cdots \quad 式\ 24$$

$$V_{IN+} - V_{IN-} = 76.7mV \quad \cdots \quad 式\ 25$$

一方、ゲイン誤差、オフセット電圧の影響を反映できた場合（G = 9.87 倍、V_{offset} = 1.80 mV）、式 23 より、差動アンプに入力された差電圧は、75.9 mV であると導かれます。

$$V_{IN+} - V_{IN-} = \frac{\frac{3000}{4096} \cdot 3.3 - \frac{128}{256} \cdot 3.3}{9.87} - 1.80m \quad \cdots \quad 式\ 26$$

$$V_{IN+} - V_{IN-} = 75.9mV \quad \cdots \quad 式\ 27$$

式 25 と式 27 を比較すると、式 28となります。

$$V_{Error} = \frac{76.7mV - 75.9mV}{75.9mV} \cdot 100 = 1.05\% \quad \cdots \quad 式\ 28$$

本実施例では、ゲイン誤差、オフセット電圧の補正を行うことで、センシング信号に対し絶対値にして 0.8mV、相対精度として 1.05%の誤差を低減することができました。

ホームページとサポート窓口

ルネサス エレクトロニクスホームページ
http://japan.renesas.com/

お問合せ先
http://japan.renesas.com/contact/

改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	2014.1.31	–	初版発行

すべての商標および登録商標は，それぞれの所有者に帰属します。

製品ご使用上の注意事項

ここでは、マイコン製品全体に適用する「使用上の注意事項」について説明します。個別の使用上の注意事項については、本文を参照してください。なお、本マニュアルの本文と異なる記載がある場合は、本文の記載が優先するものとします。

1. 未使用端子の処理

【注意】未使用端子は、本文の「未使用端子の処理」に従って処理してください。

CMOS製品の入力端子のインピーダンスは、一般に、ハイインピーダンスとなっています。未使用端子を開放状態で動作させると、誘導現象により、LSI周辺のノイズが印加され、LSI内部で貫通電流が流れたり、入力信号と認識されて誤動作を起こす恐れがあります。未使用端子は、本文「未使用端子の処理」で説明する指示に従い処理してください。

2. 電源投入時の処置

【注意】電源投入時は，製品の状態は不定です。

電源投入時には、LSIの内部回路の状態は不確定であり、レジスタの設定や各端子の状態は不定です。

外部リセット端子でリセットする製品の場合、電源投入からリセットが有効になるまでの期間、端子の状態は保証できません。

同様に、内蔵パワーオンリセット機能を使用してリセットする製品の場合、電源投入からリセットのかかる一定電圧に達するまでの期間、端子の状態は保証できません。

3. リザーブアドレスのアクセス禁止

【注意】リザーブアドレスのアクセスを禁止します。

アドレス領域には、将来の機能拡張用に割り付けられているリザーブアドレスがあります。これらのアドレスをアクセスしたときの動作については、保証できませんので、アクセスしないようにしてください。

4. クロックについて

【注意】リセット時は、クロックが安定した後、リセットを解除してください。

プログラム実行中のクロック切り替え時は、切り替え先クロックが安定した後に切り替えてください。

リセット時、外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックで動作を開始するシステムでは、クロックが十分安定した後、リセットを解除してください。また、プログラムの途中で外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックに切り替える場合は、切り替え先のクロックが十分安定してから切り替えてください。

5. 製品間の相違について

【注意】型名の異なる製品に変更する場合は、事前に問題ないことをご確認下さい。

同じグループのマイコンでも型名が違うと、内部メモリ、レイアウトパターンの相違などにより、特性が異なる場合があります。型名の異なる製品に変更する場合は、製品型名ごとにシステム評価試験を実施してください。

ご注意書き

1. 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。お客様の機器・システムの設計において、回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報を使用する場合には、お客様の責任において行ってください。これらの使用に起因して、お客様または第三者に生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
2. 本資料に記載されている情報は、正確を期すため慎重に作成したものですが、誤りがないことを保証するものではありません。万一、本資料に記載されている情報の誤りに起因する損害がお客様に生じた場合においても、当社は、一切その責任を負いません。
3. 本資料に記載された製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズム、応用回路例等の情報の使用に起因して発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権に対する侵害に関し、当社は、何らの責任を負うものではありません。当社は、本資料に基づき当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。
4. 当社製品を改造、改変、複製等しないでください。かかる改造、改変、複製等により生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
5. 当社は、当社製品の品質水準を「標準水準」および「高品質水準」に分類しており、
   各品質水準は、以下に示す用途に製品が使用されることを意図しております。
   標準水準： コンピュータ、OA機器、通信機器、計測機器、AV機器、
   家電、工作機械、パーソナル機器、産業用ロボット等
   高品質水準：輸送機器（自動車、電車、船舶等）、交通用信号機器、
   防災・防犯装置、各種安全装置等
   当社製品は、直接生命・身体に危害を及ぼす可能性のある機器・システム（生命維持装置、人体に埋め込み使用するもの等）、もしくは多大な物的損害を発生させるおそれのある機器・システム（原子力制御システム、軍事機器等）に使用されることを意図しておらず、使用することはできません。たとえ、意図しない用途に当社製品を使用したことによりお客様または第三者に損害が生じても、当社は一切その責任を負いません。なお、ご不明点がある場合は、当社営業にお問い合わせください。
6. 当社製品をご使用の際は、当社が指定する最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他の保証範囲内でご使用ください。当社保証範囲を超えて当社製品をご使用された場合の故障および事故につきましては、当社は、一切その責任を負いません。
7. 当社は、当社製品の品質および信頼性の向上に努めていますが、半導体製品はある確率で故障が発生したり、使用条件によっては誤動作したりする場合があります。また、当社製品は耐放射線設計については行っておりません。当社製品の故障または誤動作が生じた場合も、人身事故、火災事故、社会的損害等を生じさせないよう、お客様の責任において、冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計等の安全設計およびエージング処理等、お客様の機器・システムとしての出荷保証を行ってください。特に、マイコンソフトウェアは、単独での検証は困難なため、お客様の機器・システムとしての安全検証をお客様の責任で行ってください。
8. 当社製品の環境適合性等の詳細につきましては、製品個別に必ず当社営業窓口までお問合せください。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、当社は、一切その責任を負いません。
9. 本資料に記載されている当社製品および技術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・システムに使用することはできません。また、当社製品および技術を大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的その他軍事用途に使用しないでください。当社製品または技術を輸出する場合は、「外国為替及び外国貿易法」その他輸出関連法令を遵守し、かかる法令の定めるところにより必要な手続を行ってください。
10. お客様の転売等により、本ご注意書き記載の諸条件に抵触して当社製品が使用され、その使用から損害が生じた場合、当社は何らの責任も負わず、お客様にてご負担して頂きますのでご了承ください。
11. 本資料の全部または一部を当社の文書による事前の承諾を得ることなく転載または複製することを禁じます。

注1. 本資料において使用されている「当社」とは、ルネサス エレクトロニクス株式会社およびルネサス エレクトロニクス株式会社がその総株主の議決権の過半数を直接または間接に保有する会社をいいます。
注2. 本資料において使用されている「当社製品」とは、注１において定義された当社の開発、製造製品をいいます。

RENESAS

ルネサス エレクトロニクス株式会社

■営業お問合せ窓口

http://www.renesas.com

※営業お問合せ窓口の住所は変更になることがあります。最新情報につきましては、弊社ホームページをご覧ください。

ルネサス エレクトロニクス株式会社　〒100-0004　千代田区大手町2-6-2（日本ビル）

■技術的なお問合せおよび資料のご請求は下記へどうぞ。
総合お問合せ窓口：http://japan.renesas.com/contact/

© 2014 Renesas Electronics Corporation. All rights reserved.
Colophon 3.0