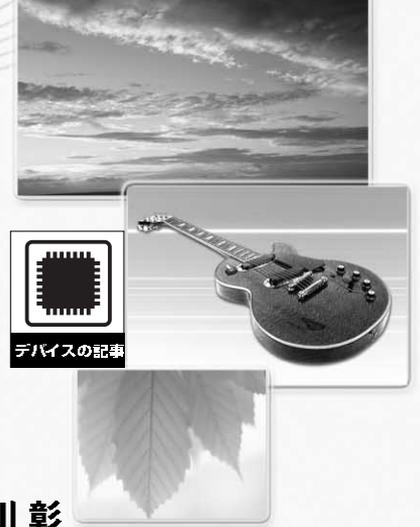


# ここからアナ・ディジ 始める混載設計



## 第1回 D-Aコンバータの仕様項目と方式の概要

湯川 彰

本連載は、本誌2004年10月号、pp.67-93に掲載した「特集2 ここから始めるアナ・ディジ混載設計」の続編です。

本連載では、ミックスド・シグナル(アナログ・デジタル混載)LSIの設計に必要な基礎知識について解説する。今回は、D-Aコンバータの特性を規定する仕様項目について説明する。これらの定義は、業界団体などによって標準化されている。また、ナイキスト・レート・コンバータと呼ばれる方式の概要を紹介する。(編集部)

人が情報を受け取る時の形態は、画像でも音でもアナログです。また、通信においても情報そのものはデジタル化されていますが、効率良く送るためにはアナログ信号にしなければなりません。D-Aコンバータ(D-A変換器)は、これらの応用においてデジタル値をアナログ量に変換する役割を果たします。また、アナログ量をデジタル値に変換するA-Dコンバータ(A-D変換器)においても、変換の基準となる量を作るために用いられます。そこで本連載では、まず、D-Aコンバータについて解説していきます。

### ● A-D/D-Aコンバータの仕様項目は標準化されている

電子回路において、とびとびの値(デジタル値)として定義できそうな対象には、電圧、電流、電荷量、時間、磁束が考えられます。また、集積回路で動員できそうな素子には抵抗、コンデンサ、MOSトランジスタ、ダイオードがあります。磁束については高温超伝導技術の進歩を待たなければなりません。それ以外のものは集積回路上で活用されており、さまざまな性能を持ったさまざまな方式のD-Aコンバータが開発されています。

本誌2004年10月号、pp.77-86、「ミックスド・シグナルLSI設計の手順と検証手法」のところでも強調しましたが、設計を行ううえで、仕様を明確にすることがたいせつです。D-Aコンバータを使う人は仕様を見て、そのD-Aコンバー

タが使用目的に合っているかどうかを判断します。一方、D-Aコンバータを設計する人にとって、仕様は、変換方式の選定を始め、あらゆる設計の局面に影響します。特に設計が完了したかどうかの判断は、仕様を満たしているかどうかを確認することによって行われます。

したがって、A-DコンバータやD-Aコンバータなどの仕様項目には普遍性が要求されます。世界的には米国SIA(Semiconductor Industry Association; 米国半導体工業会)で、日本国内ではJIS(Japan Industrial Standard; 日本工業規格)やJEITA(Japan Electronics and Information Technology Industries Association; 日本電子情報技術産業協会)で、定期的に仕様項目の見直しが行われています。

D-Aコンバータの主要な仕様のうち、アナログにかかわる項目を表1に示します。これらの項目は、あらゆる使用目的に対してすべて規定されなければならないわけではありません。しかし、項目の規格値を規定した場合は、設計の段階でその仕様項目を満たすことを検証しておかなければなりません。また、製品の出荷検査においても、仕様として挙げている項目はかならず検査するか、何らかの代替手段によって仕様を満たしていることを確認する習わしになっています。逆に緩和可能な項目があれば、その仕様値を記載することで、大幅なコストダウンが可能になることもあります。つまり、むやみに厳しい仕様を設定すると、コストアップにつながるようになるのです。

### ● D-Aコンバータの理解は仕様項目の定義から

それでは表1の順番に沿って、各仕様項目を説明します。

#### 1) 電源電圧範囲 $V_{DD}$ , $V_{CC}$

電源電圧の絶対的な上限は製造プロセスによって決まり、一般に高速性を追求したプロセスほど電源電圧が低くなり

表1 D-A コンバータの仕様項目

D-A コンバータの主要な特性項目と単位を示した。目的によって重視される仕様項目は変わる。これらの仕様のすべてを規定する必要はなく、特性を緩和できれば小面積化や低電力化などを図れる場合もある。

仕様項目	記号	単位	備考
電源電圧範囲( power supply voltage range )	$V_{DD}, V_{CC}$	V	-
基準電圧範囲( reference input voltage range )	$V_{REF}$	V	-
基準電源電流( reference input current )	$I_{REF}$	mA	-
出力電圧範囲( output voltage range )	$V_O$	V	-
出力電流( output current )	$I_O$	mA	-
出力コンプライアンス電圧( output compliance )	$V_{OC}$	V	電流値に対して定義される
出力抵抗( output resistance )	$R_{OUT}$	k	-
出力容量( output capacitance )	$C_{OUT}$	pF	-
分解能( resolution )	-	ビット	-
ゼロ・スケール誤差( zero scale error )	$E_{ZS}, E_0$	LSB, %	-
フル・スケール誤差( full scale error ), 利得誤差( gain error )	$E_{FS}, E_G$	LSB, %	-
微分直線性( differential non-linearity )	$E_D, DNL$	LSB	-
積分直線性( integral non-linearity )	$E_L, INL$	LSB, %	-
単調性( monotonicity )	-	-	-
電源電圧除去比( power supply rejection ratio )	$KSVS, KSVR$	%, dB	-
最大変換周波数( maximum conversion rate )	-	Hz	-
静定時間( settling time )	$t_s$	$\mu$ s	負荷条件 $R( )$ , $C( pF )$ を指定する
スルー・レート( slew rate )	$SR$	V/ $\mu$ s	-
信号対ノイズ比( signal-to-noise and distortion ratio )	$SNR, S/N$	dB	-
有効ビット数( effective number of bit )	$ENOB$	ビット	( 信号対ノイズ比の最大値 - 1.8 )/6.02で定義される
全高調波ひずみ( total harmonic distortion )	$THD$	dB, %	-
混変調ひずみ( inter-modulation distortion )	$IMD$	dB	-
スプリアス・フリー・ダイナミック・レンジ( spurious free dynamic range )	$SFDR$	dB	-
微分利得( differential gain )	$DG$	%	標準テスト信号について定義される
微分位相( differential phase )	$DP$	deg, °	標準テスト信号について定義される
チャンネル間アイソレーション( channel separation )	$CS$	dB	複数のチャンネルがある場合に定義される
グリッチ・エネルギー( glitch energy )	$GE$	pVs	-

ます。電源電圧範囲については、使用電圧の中心値と許容範囲の2種類の項目に注目する必要があります。

まず、許容範囲について述べます。通常の論理LSI( デジタルLSI )の電源電圧範囲は $\pm 10\%$ が普通ですが、高精度が要求されるアナログ回路は電圧変動範囲を $\pm 5\%$ に狭めることがあります。逆に、汎用のマイコンに搭載されるA-D/D-A変換回路では、動作電圧範囲を広くすることが要求されます。この電源電圧範囲と出力電圧範囲が決まると、使用できる変換方式が絞られます。

次に、使用電圧の中心値について述べます。最新のファイン・パターン・プロセス( 最小線幅の狭いプロセス )のトランジスタの耐圧は1V内外になってきています。しかし、アナログ回路の場合、電源より高いアナログ電圧出力は行えないので、高い電圧を扱うために耐圧の高いトランジスタを使える製造プロセスを選ばなければなりません。

論理LSIでも比較的速度の遅い入出力は、3.3Vでインターフェースすることが多くなっています。そのため、高耐圧用と通常用の2種類のトランジスタを形成するプロセス

が標準となっています( 場合によっては、3種類の耐圧のトランジスタを搭載することもある )。トランジスタの種類が増えれば、当然、製造コストは上がります。

## 2) 基準電圧範囲 $V_{REF}$

D-A コンバータでは、フル・スケール電圧や量子化レベルを決めるおもとの基準量として電圧を与える場合が多く、この電圧を分圧したり、電流に変換して、量子化ステップを作ります。そのため、基準電圧を変更することで1LSB<sup>注1</sup>( 最小量子化ビット )の値を変更できることが期待されます。

しかし、使う回路や電源によって可変範囲には限界があります。設計に際して、この範囲を広くすれば用途の拡大が期待できます。ただし、これを大きくしすぎると電源電圧の余裕( マージン )が減少し、小さくしすぎるとノイズや素子ばらつきの影響が顕在化するなど、用いる回路に制約が出てきます。また、出荷検査では測定項目が増加してしまい、コストアップにつながるという問題もあります。

注1: least significant bitの略で、分解能の最小単位。例えば、8ビットのD-A変換器では出力電圧幅の $1/256( 1/2^8 )$ が1LSBになる。