

デジタル・オーディオ用DACの ダイナミック特性テスト

概要

このアプリケーションノートは、デジタル・オーディオ・アプリケーションにおけるD/Aコンバータのダイナミック特性 (THD +N、S/N比、ダイナミック・レンジ、チャンネル・セパレーション) のテスト方法について記述しています。

実アプリケーション・セットにおいて、例えば、音楽CDプレーヤではそのテスト方法についてはEIAJで規格化されていますが、最近のマルチメディア・アプリケーションにおいては明確なテスト方法に関する規格が無いため、評価方法もアプリケーションによって異なります。また、デジタル・オーディオはアプリケーションの別に関係なく、既知のサンプリング理論の上に成立している技術であり、ナイキストの定理も含めてD/A変換における基本は忘れてはなりません。

特に最近では、CD-ROM、CD-I、VideoCD、DVD、セットトップボックス、PCサウンドカード等非常に広範囲なマルチメディア・アプリケーションにおいて、デジタル・オーディオ用DACが用いられるようになりましたが、その正しい評価、テスト法に関しては統一されておらず、測定条件も測定者によって異なるのが現状です。

こうした観点から、本アプリケーションノートにおいては、デジタル・オーディオ用DACの動作に対する理解とそのテスト方法、条件について解説しています。

サンプリング理論とナイキスト定理

デジタル・オーディオの基本要素には量子化と標準化がありますが、信号帯域とサンプリング・レート (標準化) の関係はナイキストの定理に基づいています。図1において、 $f_{a \max}$ は最高信号周波数、 f_s はサンプリング・レートであり、デジタル・データのスペクトラムは f_a (信号周波数スペクトラム) と $f_s \pm f_{a \max}$ (サンプリング・スペクトラム) とで構成されます。

ここで、 f_s と $f_{a \max}$ との関係は

$$f_s \geq 2 f_{a \max} \quad (1)$$

でなければならず、図1(a)の場合は問題ありませんが、図1(b)のように (1) 式を満足しない場合にはスペクトラムが交差し、エリアシング ϵ を発生します。これらの関係はナイキスト定理として広く知られていますが、D/Aコンバータのテストにおいてもこの定理は適用されますので特に正しく理解しておかなければなりません。

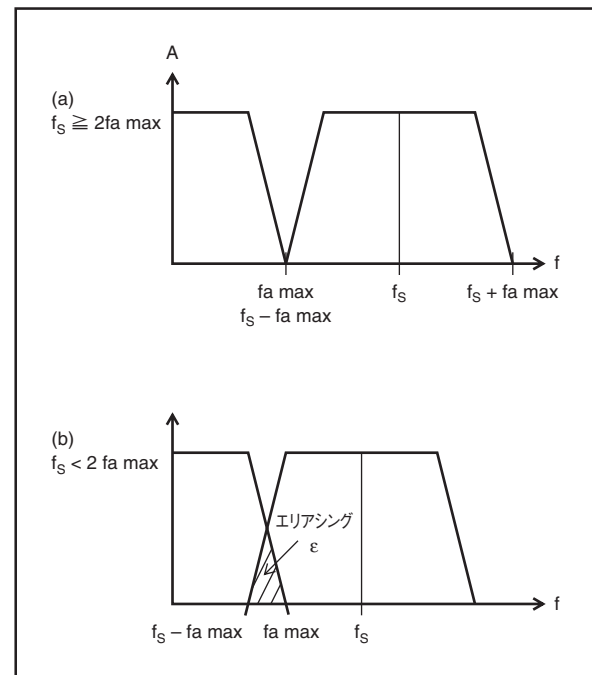


図1. サンプリング・スペクトラムとナイキスト定理

図1に示したスペクトラムは当然D/A変換した場合のアナログ信号にも適用されます。これらを考慮して、CDミDA (音楽CD) においては、

$$\begin{aligned} f_{a \max} &= 20\text{kHz} \\ f_s &= 44.1\text{kHz} \end{aligned}$$

D/Aコンバータの構造による出力スペクトラムの違い

最近のデジタル・オーディオ用D/Aコンバータ・アーキテクチャは、汎用アプリケーションにおいては、従来のR-2Rラダー型からDS (ノイズ・シェーパ、1ビットの呼称もあり) 型にその主流が変わってきています。また、D/A変換において、オーバー・サンプリング・デジタル・フィルタと組み合わせる変換が非常に多くなっていますが、これらの本来の目的と原理について解説します。

Conventional DAC の出力スペクトラム

R-2Rラダー、カレント・セグメント等のConventional DAC、(例えば、パー・ブラウン製品ではPCM56、61、63、1702等のモデル)は $\Delta\Sigma$ 型とその基本動作はまったく異なり、入力デジタルデータがそのままD/A変換スペクトラムとなります。DACから発生するノイズはICデバイスの残留ノイズのみで、通常このノイズレベルは-110dB以下であり、ほとんど無視できます。この様子を図2に示します。

Conventional DAC において、必要とするオーディオ・データを取り出し、必要としないサンプリング・スペクトラム $f_s \pm f_{a \max}$ を除去するには、図3に示すようにDAC出力にPost LPF(ローパスフィルタ)を接続します。Post LPFに要求される理想特性は、ナイキストの定理により $f_{a \max}$ では通過帯域特性で、 $f_s - f_{a \max}$ では $-\infty$ 減衰量となります。

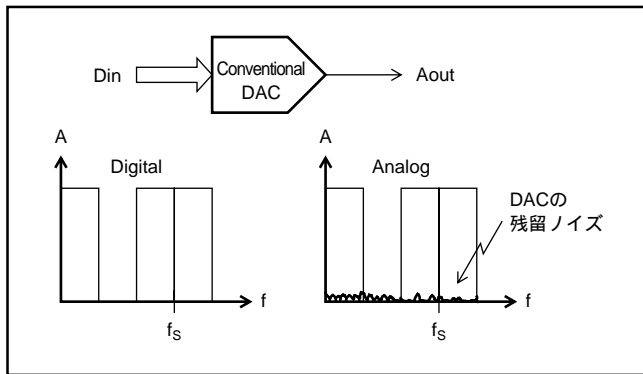


図2. 従来型DACの出力スペクトラム

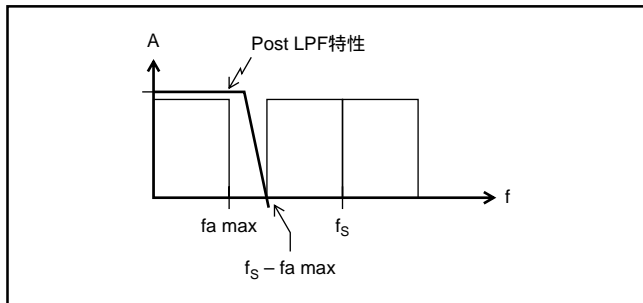


図3. Post LPFによる信号再現

オーバー・サンプリング・デジタル・フィルタのスペクトラム

最近のデジタル・オーディオでは、オーバー・サンプリング・デジタル・フィルタを組み合わせてD/A変換を行うことが一般的になっています。単にデジタル・フィルタと呼称することもあります。このデジタル・フィルタの本来の使用目的はPost LPFの要求減衰特性の軽減にあります。この機能と動作は出力スペクトラムとテスト条件の関係を理解する上で極めて重要なので、ここで改めて解説します。

デジタル・フィルタは正確には、インターポレート(オーバー・サンプリング)とデジタル・フィルタリングの機能により構成されており、その動作と各部のスペクトラムを2倍オーバー・サンプリングを例に図4に示します。まず、基準サンプリング・レート f_s のデータはインターポレート(オーバー・サンプリング)され、 f_s に対して $2f_s$ のデータを補間し f_s と $2f_s$ の両スペクトラムを出力します(図4b)。このままではPost LPFに要求される減衰特性は全く原サンプリングの場合と同じです。ここで、(b)のサンプリング・データはデジタル・フィルタ演算(ローパスフィルタ)により、原サンプリング・スペクトラムは抑圧(フィルタリング)され、デジタル・フィルタ出力は(c)のようになります。(c)において、原スペクトラム f_s 成分の抑圧レベルATT はデジタル・フィルタの構成次数(タップ数)でほぼ決定されます。ここで注意しなければならないのは、デジタル・フィルタの減衰量ATT(正しくは、阻止帯域減衰量)で、市販のデジタル・フィルタIC、またはDAC内蔵デジタル・フィルタのいずれもモデルによってその性能差は大きく、この減衰量は-30dB程度のものから-100dB以上のものであります。別の言い方をすれば、ATTレベルの再量子化ノイズを発生していることとなります。図4(c)において、仮に減衰量ATTレベルが-100dB以上あれば、Post LPFに要求される遮断特性はより軽減されることとなります。

ここでは2倍オーバー・サンプリングを例にしましたが、4倍、8倍オーバー・サンプリングにおいては図4の(インターポレート + デジタル・フィルタ)の構成をカスケード接続して目的のオーバー・サンプリング・レート($4f_s$ 、 $8f_s$)を得ます。

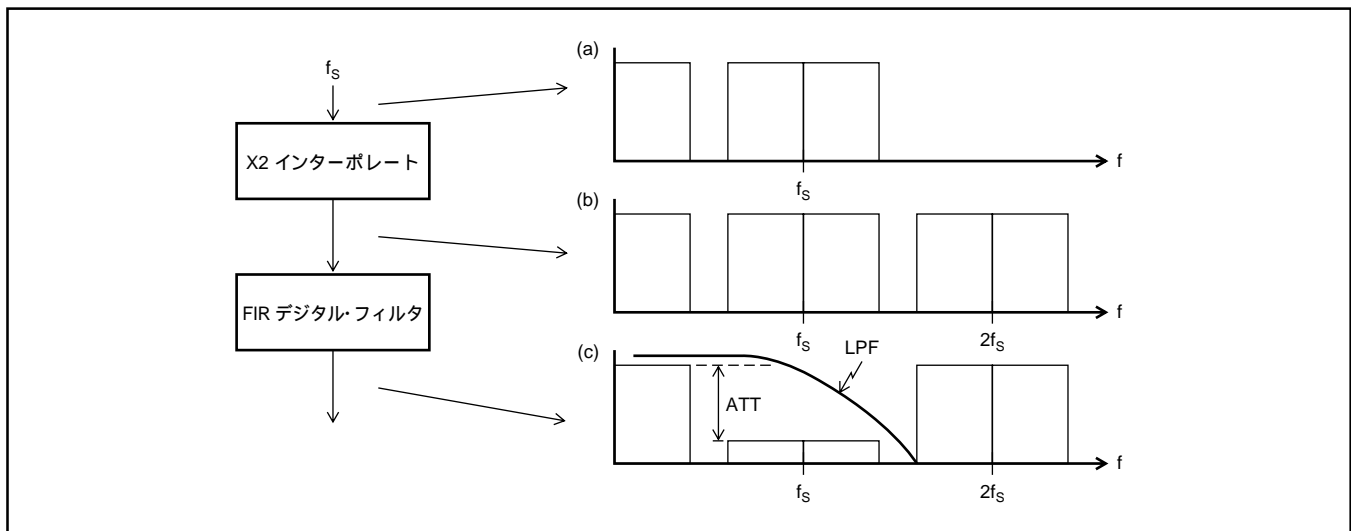


図4. デジタル・フィルタの機能と動作

ΔΣ型DAC出力スペクトラム

ΔΣ型(ノイズ・シェーピング、1ビット)DACにおいては従来型DACと異なり、帯域内量子化ノイズをΔΣ変調(ノイズ・シェーピング)で抑圧しているため、帯域外ノイズ・スペクトラムは非常に大きくなります。このノイズ・シェーピング特性はΔΣ変調器の構成(次数)とオーバー・サンプリング・レート nf_s で決まり、これにより帯域内(通常 $f_{a\max} = 20\text{kHz}$)のダイナミック・レンジ(DR)が決まります。この様子を図5に示します。

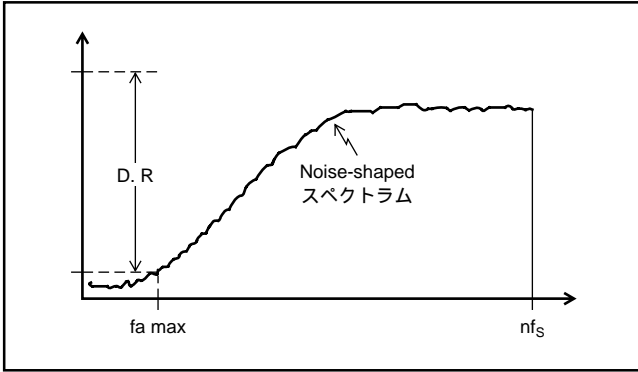


図5. ΔΣ DAC(変調)のスペクトラム

ΔΣ型DACにおいては、1チップにデジタル・フィルタと組み合わされているのがほとんどで、この場合、デジタル・フィルタ部のATT(阻止帯域減衰量)特性とΔΣ部のノイズ・シェーピング特性の総合でDAC出力スペクトラムが決まります。すなわち、デジタル・フィルタの阻止帯域減衰量(ATT = -p dB)にΔΣ変調のノイズ・シェーピング特性が重畳されて出力スペクトラムとなります。この様子を図6に示します。

ダイナミック特性テストの定義と目的

デジタル・オーディオ・アプリケーションにおいては、DACを評価する場合、そのダイナミック特性をテストするのが一般的ですが、ここでは改めて各ダイナミック特性テストの定義と目的について解説します。

THD + N特性

THD + N特性テストの目的は、DACの非直線性エラーに起因して発生する高調波の総合歪(THD)と実動作時の帯域内ノイズ(N)特性を把握することにあります。人間の聴感に影響するのは歪み感とノイズですから、このTHD + N特性は最も重要です。図7に示すように、オーディオ基本波の再生において、DACの非直線性によって発生する高調波は2次、3次、4次……と基本波周波数のn倍の関係で発生します。

この高調波のトータルを全高調波歪(Total Harmonic Distortion)で表わし、通常7次から9次程度までの歪量として測定されます。このTHDに帯域内ノイズを加味したのがTHD + N特性で定義され、あくまでもこのTHD + Nテストの目的は、DACの非直線性による歪量と動作時のノイズ量のテストです。したがって、前述のDAC出力スペクトラムで示したように帯域外(20k以上)にあるスペクトラムは完全に除去しなくてはなりません。

このことから、測定帯域は通常20kHzに設定されます。測定帯域が例えば、30k、80k等の場合、正確なTHD + Nではなく、帯域外スペクトラムを測定していることになり、本来の歪測定の意味

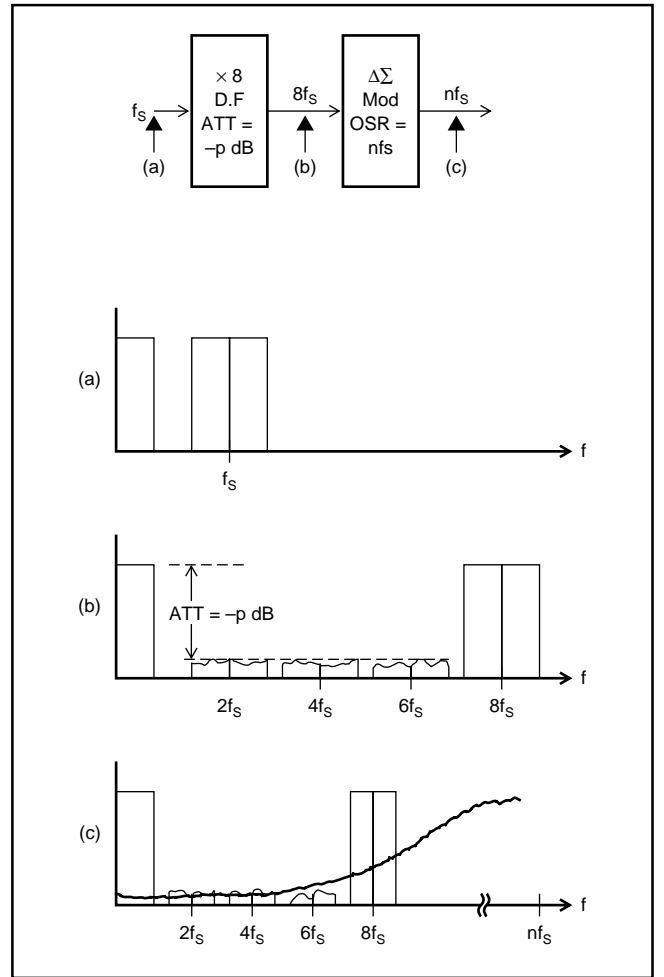


図6. デジタル・フィルタ付ΔΣ DACのスペクトラム

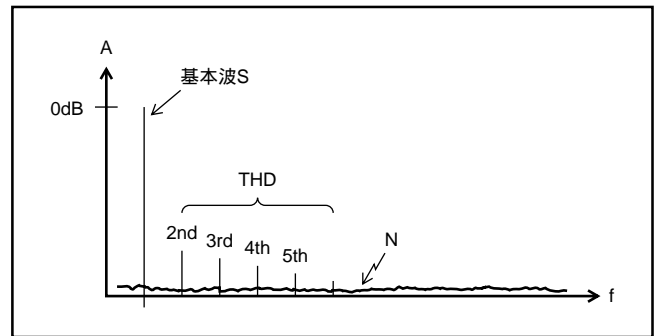


図7. 高調波のスペクトラム

と反することになります。

THD + Nテストは、DACの特定レベルでの誤差を見るために
THD + N対出力レベル
THD + N対信号周波数
のパラメータで行うことが一般的です。

ダイナミック・レンジ

コンシューマ・デジタル・オーディオにおける、特にCD - DA(音楽CD)アプリケーションでは、ダイナミック・レンジのテストは-60dB出力時のTHD + Nレベルによって定義されています。理論ダイナミック・レンジ(DR)はD/A変換の量子化分解能n(bit)によって決まり、次式で求めることができます。

$$DR = 6.02n + 1.78 \text{ (dB)}$$

(2)

16ビットでの理論ダイナミック・レンジは(2)式より98dBとなります。実際のDACにおいては、そのDACのTHDとノイズ、理論量子化ノイズによってダイナミック・レンジが決定されます。

ダイナミック・レンジ・テストの目的は、実際の再生でいかに広いレンジでいかに微小な信号まで信号を再生できるかを見るために行われます。一般的に、このテストは聴感補正を行って実施されます。

S/N比

S/N比の定義はDACの基準信号レベルと無音時のノイズレベルとの比で、無音時にいかに静粛(低ノイズ)かを判断する目的で行われます。S/N比テストでは、ダイナミックレンジ・テストと同様に聴感補正を行います。

ダイナミック・レンジとS/N比テストの結果を比較することにより、例えば図8に示すように動作状態によりノイズ・レベルの異なるDAC別の特長を見ることができます。

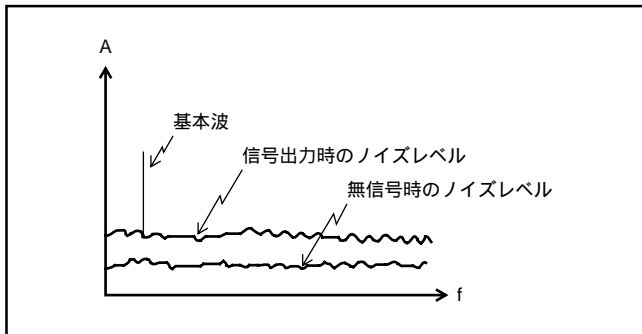


図8. 動作によるノイズの違い

チャンネル・セパレーション

チャンネル・セパレーションは信号チャンネルと無音チャンネル出力との比で定義され、ステレオ感を把握するために行われます。

正しいダイナミック特性のテスト方法

これまで解説した通り、DACのダイナミック特性テストはDACの方式や構成、デジタル・フィルタ特性の差異による帯域外スペクトラムの影響を考慮しなければなりません。

「全てのダイナミック特性テストにおける共通テスト条件はナイキストの定理に基づく帯域制限です。」

このことは一般的な全てのD/A変換に言えることですが、特にデジタル・オーディオ・アプリケーションでは誤った条件でテストされることがあり、十分理解しなければなりません。図9(a)は(テスト用20k LPF)によって帯域制限が十分な場合、図9(b)はテスト用LPFによる帯域制限が不十分な場合、それぞれのスペクトラムを示したものです。図9(a)では、信号帯域($f_{a \max} = 20\text{kHz}$)より高い周波数スペクトラムはテスト用20k LPFによって十分抑圧されているので、THD + N、S/N比、ダイナミック・レンジ等の特性は正しく測定することができます。一方、図9(b)の場合は、 $f_{a \max}$ より高い周波数に分布するスペクトラム(デジタル・フィルタの再量子化ノイズと $\Delta\Sigma$ 型DACのノイズ・シェーピング・スペクトラム)の抑圧が不十分で、例えば、THD + Nレベルよりも非常に大きな帯域外スペクトラムを測定していることになりま

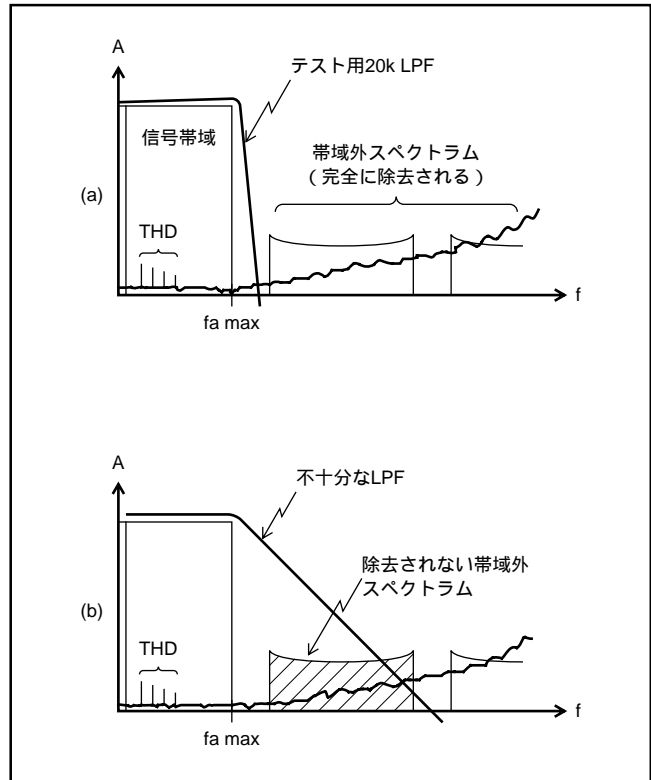


図9. 測定用 LPF の概念

す。この図9(b)条件でのテストは帯域外スペクトラム・レベル・テストになってしまいます。すなわち、テスト用20k LPFの使用はダイナミック特性テストにおける絶対条件となります。

テスト用20k LPFの条件

デジタル・オーディオ用DACのTHD + Nレベルは現在、 -80dB (0.01%) から -90dB (0.003%) 程度であり、このレベルの値を正しく測定するには、少なくとも -90dB 以上の帯域外スペクトラムの抑圧が必要です。図10にサンプリング・レート $f_s = 44.1\text{kHz}$ 、 $f_{a \max} = 20\text{kHz}$ の場合を例にテスト用LPFの必要条件についての考察を示します。

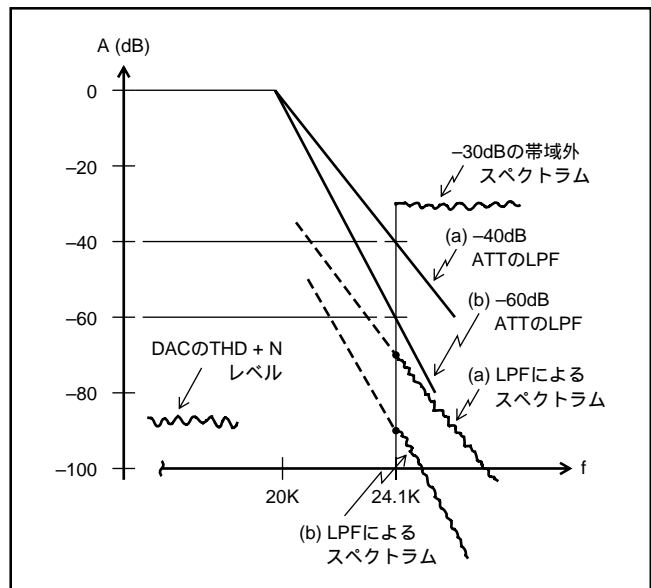


図10. テスト用 LPF の条件

ナイキストの定理により、サンプリング・スペクトラムの分布は、帯域外では $f_s - f_{a \max} = 44.1k - 20k = 24.1kHz$ となり、この 24.1k 以上のスペクトラムのレベルはデジタル・フィルタの ATT (阻止帯域減衰量) で決まり、ここでは、ATT = -30dB と設定します。ここで、24.1k におけるテスト用 LPF の減衰量を 2 つのケース、

$$(a) = -40dB$$

$$(b) = -60dB$$

とした場合、-30dB レベルに分布する帯域外スペクトラムはそれぞれ、24.1k において、

$$(a) = -30 - 40 = -70 \text{ dB}$$

$$(b) = -30 - 60 = -90 \text{ dB}$$

となります。したがって、-90dB レベルの THD を測定する場合、(a) の場合は、THD レベルよりも帯域外スペクトラム・レベルの方が大きく、正しい THD + N 測定は行えません。一方、(b) の場合はほぼ正しく THD + N 特性を測定することができます。このように、テスト用 20k LPF はある程度峻峻なカット・オフ特性が必要です。

EIAJ における CD プレーヤのテスト法

EIAJ (Electronic Industrial Association of Japan) においては、1985 年に CD プレーヤの測定方法 CP - 307 を制定して、後に CP - 2402 に改訂していますが、この中では CD プレーヤの測定方法を詳しく規格化しています。

この規格は CD プレーヤを対象としていますが、デジタル・オーディオ用 DAC においても主要ダイナミック特性のテストには全く同じ条件でテストするのが一般的です。EIAJ 規格ではテスト用 20k LPF の要求特性を次のように定めています。

通過帯域幅：4Hz - 20kHz

遮断特性：60 dB 以上、24.1kHz にて

すなわち、全てのダイナミック特性テストにおいては、上記条件を満足するテスト用 LPF を用いなくてはなりません。また、ダイナミック・レンジと S/N 比テストに用いる聴感補正フィルタに関しては、IEC publ.651 に規定された補正曲線 A 特性のものと規定されており、一般的には IHF - A、A - weighted 等で表示されています。

THD + N テスト

THD + N テストのブロック図を図 11 に示します。DAC 出力テスト信号は、テスト用 20k LPF で帯域外スペクトラムを十分抑圧してからオーディオ THD アナライザへ送られます。

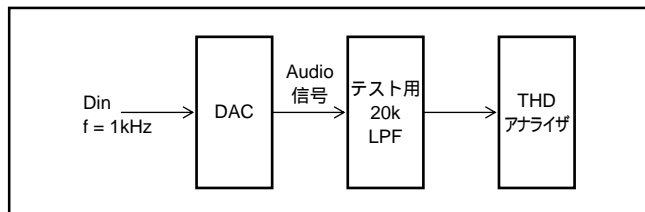


図 11. THD + N テスト・ブロック

テスト信号としては、 $f = 1kHz$ 、0dB が標準ですが、対レベル、対信号周波数のパラメータでのテストも可能です。ここで、例えば THD アナライザに LPF が内蔵されている場合は、その内蔵 LPF の特性が前述の要求特性を満足しているかどうかの確認が必要です。LPF によっては要求性能を満足しないものもあり、この場合は外部にテスト用 LPF が必要です。

ダイナミック・レンジ・テスト

ダイナミック・レンジのテスト・ブロック図を図 12 に示します。

DAC 出力 (入力レベル) は -60dB に設定し、この時の THD + N 特性をテスト用 20k LPF および聴感補正 A フィルタを介し、THD アナライザへの供給レベルを十分にするため 60dB のアンプを併用しています。ここで測定された THD + N 値を AdB とすれば、ダイナミック・レンジ (D・R) は

$$D \cdot R = 60 + A \text{ (dB)}$$

と表わすことができます。

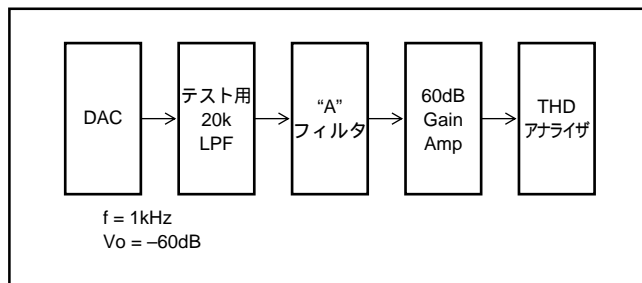


図 12. ダイナミック・レンジテスト・ブロック

S/N 比テスト

S/N 比テストのブロック図を図 13 に示します。S/N 比テストでは単純に 0 dB 信号レベル A と無信号時ノイズ・レベル B の差を測定することによって、

$$S/N \text{ 比} = A - B \text{ (dB)}$$

として測定できます。

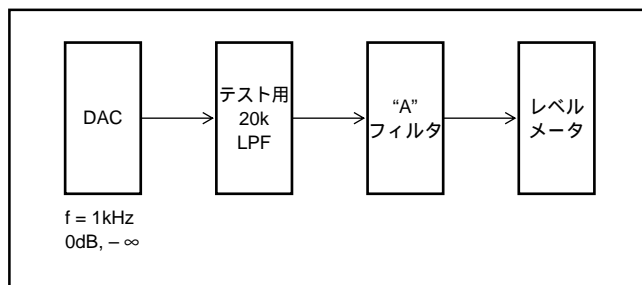


図 13. S/N 比テスト・ブロック

実アプリケーション・セットへの考察

実際のアプリケーション・セットにおいては、DAC出力に何らかの Post LPFを接続しAudio出力とするのが一般的です。この Post LPFの特性、構成に関しては、帯域外ノイズをある程度抑圧する簡単なフィルタで構成するのがほとんどです。

これは、実際のアプリケーション・セットにおいては帯域外ノイズは人間の聴感には反応しないと、実際に接続される後段のアンプ等の特性に影響を与えるレベル以下であることによります。図14に実アプリケーション・セットと測定系のブロック図を示します。図15に現在一般的に用いられている Post LPFの構成と特性を示します。

ここでは、カット・オフ周波数 $f_c = 24\text{kHz}$ として示しています。例えば、2次のアクティブLPFを用いても減衰特性は48kHzで-18dBであり、正しいTHD + Nテストにはテスト用20k LPFが必要です。すなわち、実アプリケーション・セットでの Post LPF条件とテスト時の測定用20k LPFは区別しなければなりません。

DAC出力スペクトラムの実測例

デジタル・フィルタ内蔵 $\Delta\Sigma$ 型DACの出力スペクトラムの実測例を図16に示します。

測定に用いたDACはPCM1717で、D・FのATTレベルは-35dB、 $f_s = 44.1\text{kHz}$ 動作によるものです。帯域外スペクトラムはノイズ・シェーピングによるものと、D・Fの再量子化サンプリングによるものとをそれぞれ確認することができます。

Post LPF、テスト条件差によるTHD + Nテスト実測例

ここでは、PCM1717のTHD + N特性が、測定器、テスト用20k LPFの有無、Post LPFの有無によってどう変化するか実測した例を示します。また、測定にはパー・ブラウンのデモボードDEM-DAI1717(DAC直接出力端子と2次LPF出力端子有り)を用いています。

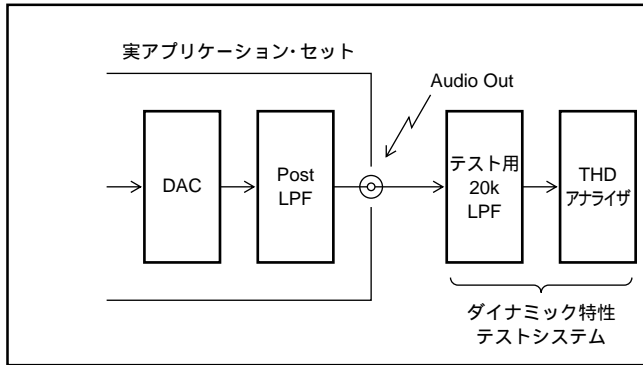


図14. 実セットと測定系

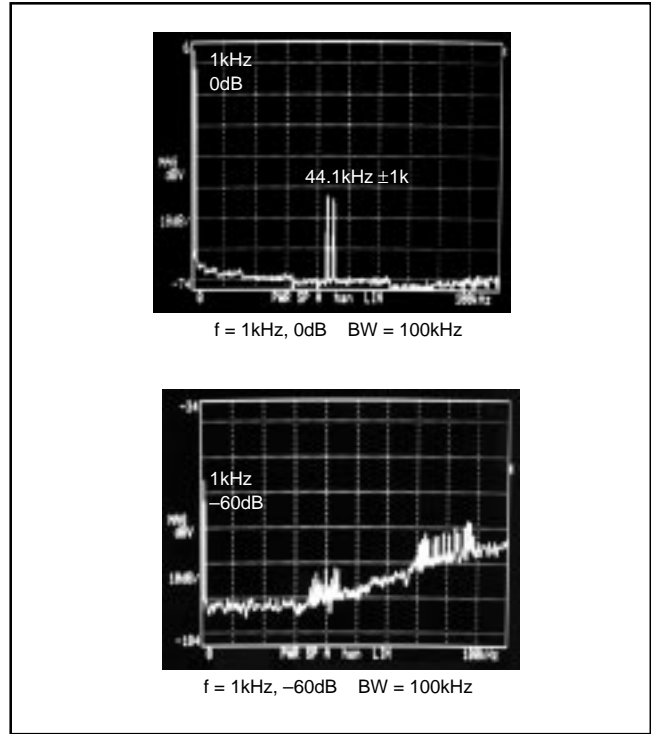


図16. PCM1717出力スペクトラム測定例

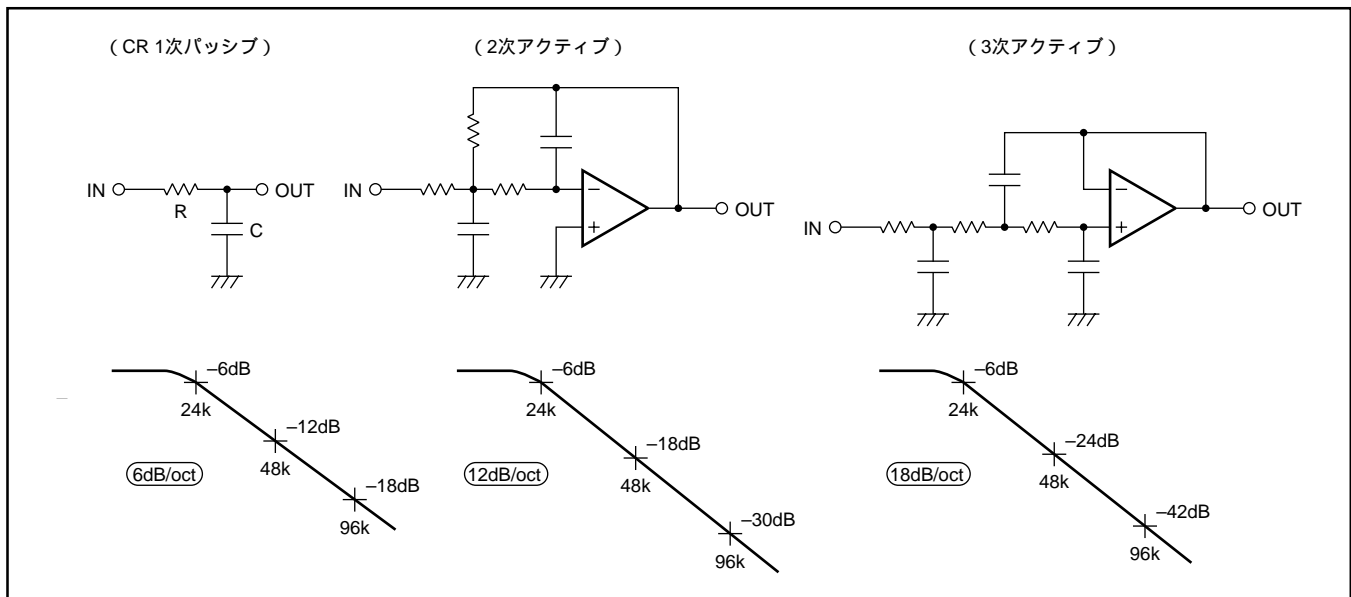


図15. 一般的なPost LPFの例

Audio Precision, 'system-one' による測定

'system-one' には内蔵フィルタとして22k、30k、80k等のカット・オフ特性を持つLPFが用意されていますが、これらのLPFは遮断特性が急峻でないため、テスト用20k LPFを用いないと正しいTHD+N測定はできません。図17と図18に測定例を示します。

シバソク #725による測定

#725においても内蔵の30k LPFのみでは不十分で、テスト用20k LPFが必要です。図19にTHDアナライザ波形の測定例を示します。

バー・ブラウンPCM171Xシリーズでの特長

#バー・ブラウンのPCM171XシリーズはそのマルチレベルDSアーキテクチャにおいて、特に帯域内ノイズの抑圧に重点をおいているため、その分帯域外スペクトラム量が他社のDACに比べて大きくなっています。これは、別の言い方をすれば、帯域内の聴感、特性は他社よりも優れていることを意味しています。

20k LPF以外の条件で、もし、バー・ブラウンのPCM171Xシリーズが他社のものより悪い評価となった場合、今一度見直しが必要です。この点、正しいダイナミック特性評価の意味とテスト方法の理解をお願いします。

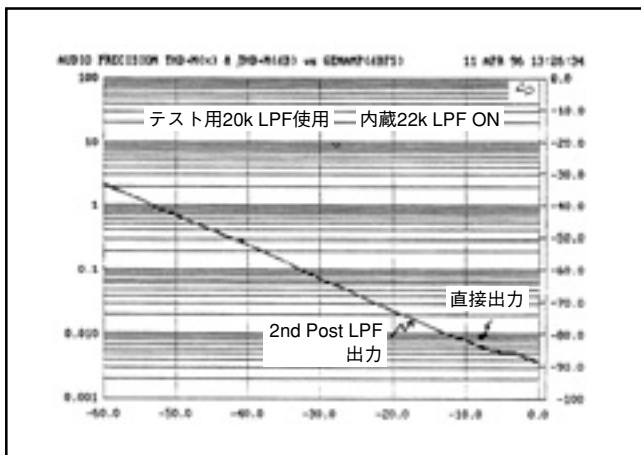


図17. THD + N実測例(1) (ほぼ正確にTHD + N値として測定)

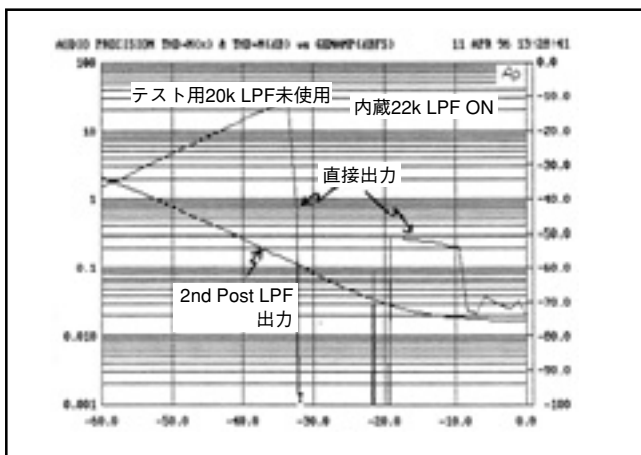


図18. THD + N実測例(2) (帯域外ノイズの影響で正確な測定ができない)

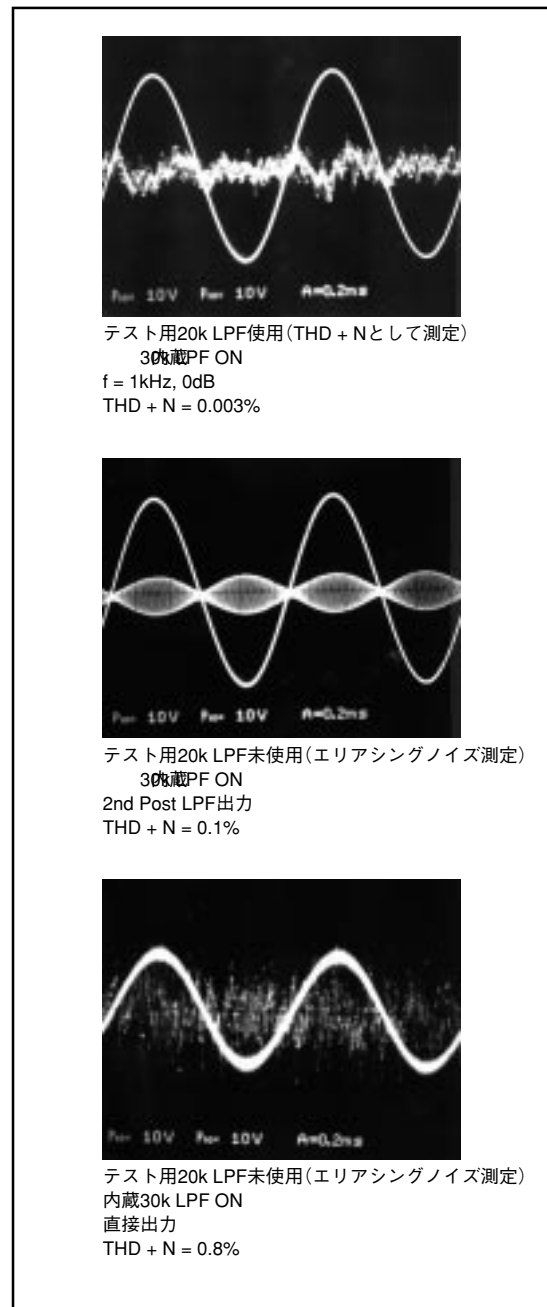


図19. THD + N実測例(3)

ご注意

日本テキサス・インスツルメンツ株式会社(以下TIJといひます)及びTexas Instruments Incorporated(TIJの親会社、以下TIJおよびTexas Instruments Incorporatedを総称してTIといひます)は、その製品及びサービスを任意に修正し、改善、改良、その他の変更をし、もしくは製品の製造中止またはサービスの提供を中止する権利を留保します。従ひまして、お客様は、発注される前に、関連する最新の情報を取得して頂き、その情報が現在有効かつ完全なものであるかどうかご確認下さい。全ての製品は、お客様とTIとの間に取引契約が締結されている場合は、当該契約条件に基づき、また当該取引契約が締結されていない場合は、ご注文の受諾の際に提示されるTIの標準契約約款に従って販売されます。

TIは、そのハードウェア製品が、TIの標準保証条件に従ひ販売時の仕様に対応した性能を有していること、またはお客様とTIとの間で合意された保証条件に従ひ合意された仕様に対応した性能を有していることを保証します。検査およびその他の品質管理技法は、TIが当該保証を支援するのに必要とみなす範囲で行なわれております。各デバイスの全てのパラメーターに関する固有の検査は、政府がそれ等の実行を義務づけている場合を除き、必ずしも行なわれておりません。

TIは、製品のアプリケーションに関する支援もしくはお客様の製品の設計について責任を負うことはありません。TI製部品を使用しているお客様の製品及びそのアプリケーションについての責任はお客様にあります。TI製部品を使用したお客様の製品及びアプリケーションについて想定される危険を最小のものとするため、適切な設計上および操作上の安全対策は、必ずお客様にてお取り下さい。

TIは、TIの製品もしくはサービスが使用されている組み合わせ、機械装置、もしくは方法に関連しているTIの特許権、著作権、回路

配置利用権、その他のTIの知的財産権に基づいて何らかのライセンスを許諾することは明示的にも黙示的にも保証も表明もしておりません。TIが第三者の製品もしくはサービスについて情報を提供することは、TIが当該製品もしくはサービスを使用することについてライセンスを与えるとか、保証もしくは是認することを意味しません。そのような情報を使用するには第三者の特許その他の知的財産権に基づき当該第三者からライセンスを得なければならない場合もあり、またTIの特許その他の知的財産権に基づきTIからライセンスを得て頂かなければならない場合もあります。

TIのデータ・ブックもしくはデータ・シートの中にある情報を複製することは、その情報に一切の変更を加えること無く、且つその情報と結び付けられた全ての保証、条件、制限及び通知と共に複製がなされる限りにおいて許されるものとします。当該情報に変更を加えて複製することは不公正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような変更された情報や複製については何の義務も責任も負いません。

TIの製品もしくはサービスについてTIにより示された数値、特性、条件その他のパラメーターと異なる、あるいは、それを超えてなされた説明で当該TI製品もしくはサービスを再販売することは、当該TI製品もしくはサービスに対する全ての明示的保証、及び何らかの黙示的保証を無効にし、且つ不公正で誤認を生じさせる行為です。TIは、そのような説明については何の義務も責任もありません。

なお、日本テキサス・インスツルメンツ株式会社半導体集積回路製品販売用標準契約約款もご覧下さい。

<http://www.tij.co.jp/jsc/docs/stdterms.htm>

Copyright © 2006, Texas Instruments Incorporated
日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社

弊社半導体製品の取り扱い・保管について

半導体製品は、取り扱い、保管・輸送環境、基板実装条件によっては、お客様での実装前後に破壊/劣化、または故障を起こすことがあります。

弊社半導体製品のお取り扱い、ご使用にあたっては下記の点を遵守して下さい。

1. 静電気

- 素手で半導体製品単体を触らないこと。どうしても触る必要がある場合は、リストストラップ等で人体からアースをとり、導電性手袋等をして取り扱うこと。
- 弊社出荷梱包単位(外装から取り出された内装及び個装)又は製品単品で取り扱いを行う場合は、接地された導電性のテーブル上で(導電性マットにアースをとったもの等)、アースをした作業者が行うこと。また、コンテナ等も、導電性のものを使うこと。
- マウンタやはんだ付け設備等、半導体の実装に関わる全ての装置類は、静電気の帯電を防止する措置を施すこと。
- 前記のリストストラップ・導電性手袋・テーブル表面及び実装装置類の接地等の静電気帯電防止措置は、常に管理されその機能が確認されていること。

2. 温・湿度環境

- 温度：0～40℃、相対湿度：40～85%で保管・輸送及び取り扱いを行うこと。(但し、結露しないこと。)

- 直射日光があたる状態で保管・輸送しないこと。
3. 防湿梱包
 - 防湿梱包品は、開封後は個別推奨保管環境及び期間に従ひ基板実装すること。
 4. 機械的衝撃
 - 梱包品(外装、内装、個装)及び製品単品を落下させたり、衝撃を与えないこと。
 5. 熱衝撃
 - はんだ付け時は、最低限260℃以上の高温状態に、10秒以上さらさないこと。(個別推奨条件がある時はそれに従うこと。)
 6. 汚染
 - はんだ付け性を損なう、又はアルミ配線腐食の原因となるような汚染物質(硫黄、塩素等ハロゲン)のある環境で保管・輸送しないこと。
 - はんだ付け後は十分にフラックスの洗浄を行うこと。(不純物含有率が一定以下に保証された無洗浄タイプのフラックスは除く。)

以上