



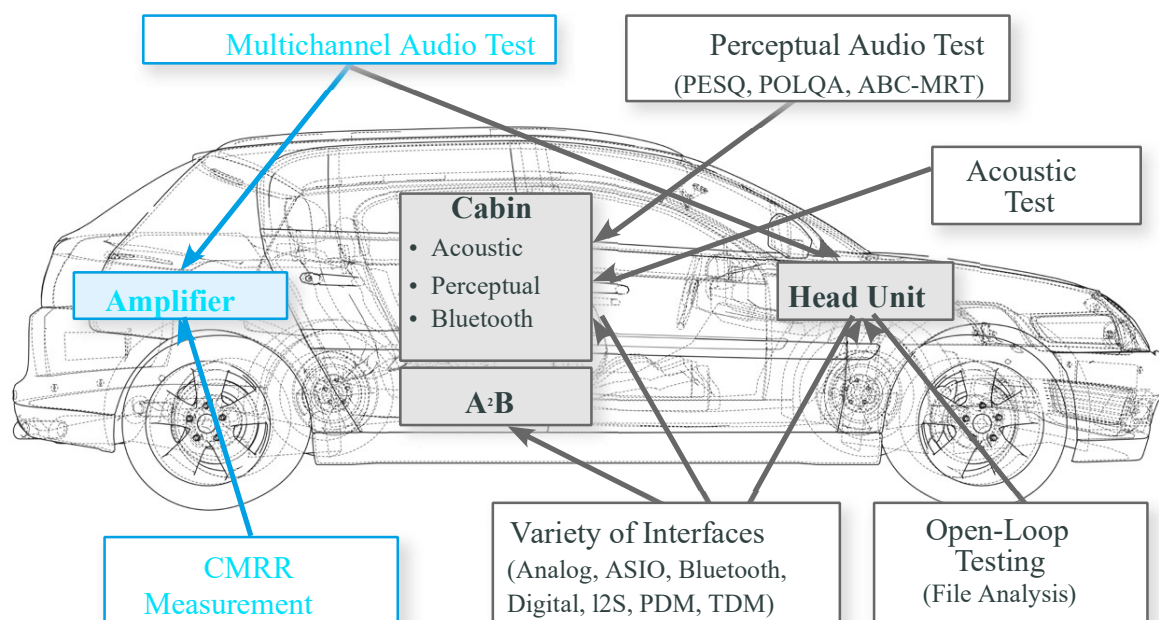
オートモーティブオーディオテスト (アンプ編)

APPLICATION NOTE

はじめに

「オーディオレンズ」を通して見ても、自動車は複雑なシステムであることに変わりはありません。したがって、テストに関するあらゆる議論を主要なサブシステムに分割することは理にかなっています。今回は、自動車オーディオ測定アプリケーションにフォーカス致します。

ここでは、車載オーディオアンプと、これらのデバイスに対して通常行われるテストの種類に焦点を当てます。



背景

現在のほとんどのカーオーディオアンプは、高出力と許容可能な(低)歪みレベルを維持しながら消費電力を最小限に抑えたいという要望により、クラス A/B または D です。自動車メーカーはアンプの性能を評価するために使用される独自のテスト方法を公開していませんが、車載オーディオアンプでどのような測定を行いたいかはすぐに特定できます。ここでは、行われた典型的な測定について説明し、自動車システムに関連する特定の懸念領域を特定します。

一般的なオーディオアンプのテストには、ゲインとレベル、コモンモード除去、電源除去、周波数応答、出力電力と高調波歪み、相互変調歪み、ノイズフロア、クロストーク、DC オフセット、およびクリックとポップが含まれます。

これらのテストを実行するために必要な機器には、オーディオ アナライザー、9 ~ 16 VDC 出力が可能な DC 電源、パワー メーター (効率測定に使用)、およびマルチメーター (負荷と電源電圧のチェックに使用) が含まれます。追加に必要なテスト項目には、テスト対象のアンプの定格インピーダンスと出力電力の無誘導負荷抵抗器、および DUT (被測定デバイス) とテスト装置を共通のグラウンドに接続するためのグラウンド ケーブルが含まれます。

「ブラック ボックス」の観点から見ると、このテストはオーディオ アンプのクラス間で一貫しています。ただし、これらのアンプに特有の帯域外ノイズに対処するには、D クラスアンプ出力の特別な調整が必要です。これについては、この文書の最後のセクションでさらに詳しく説明します。

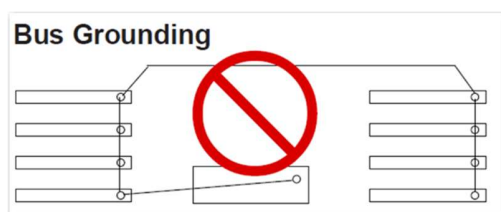
グランド(アース設置)

適切なアースの実践はオーディオアンプの性能を最適化するために重要ですが、最適な測定結果を得るためにも重要です。

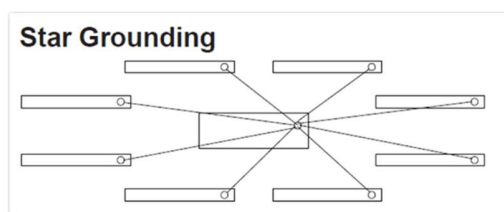
テストシステム内のデバイス（スイッチャー、テスト対象デバイス、テスト機器など）間の小さなグランド電位差が信号経路に結合し、信号導体とシャーシ間の固有の浮遊容量により、望ましくない干渉やノイズが発生する可能性があります。

バスの接地は便利な方法のように見えますが、この手法は多くの場合最悪の結果をもたらします。

チェーンの各脚の抵抗によってデバイスが異なる接地電位になるため、スター接地方法ほど効果的ではありません。



Bus Grounding — Not Recommended



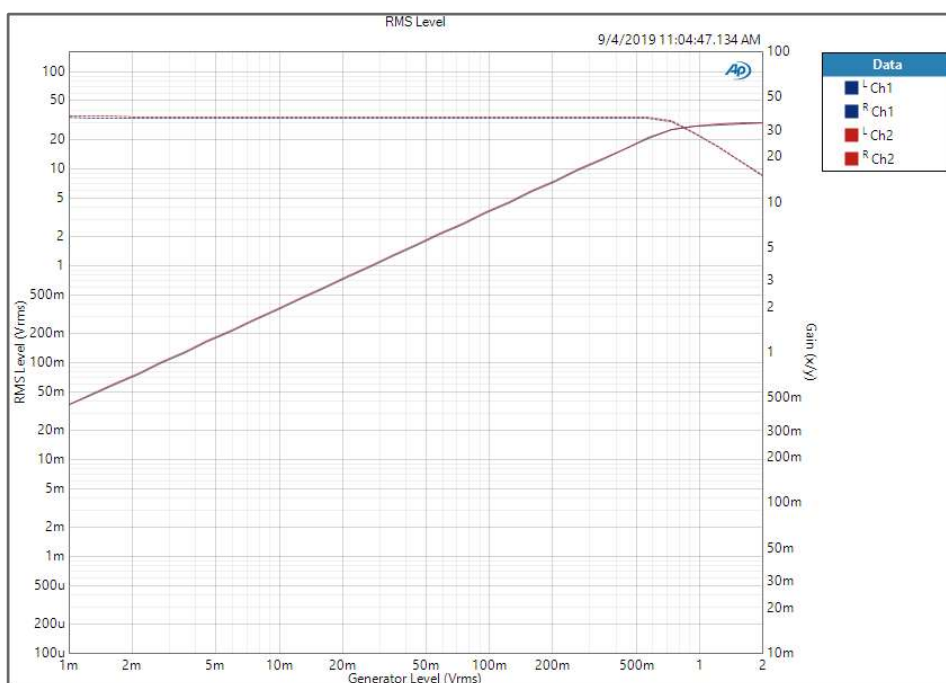
Star Grounding — Recommended

AP では、各デバイスのシャーシ グランドを低インピーダンス ワイヤを介してテスト機器のグランドに直接接続することを強くお勧めします。

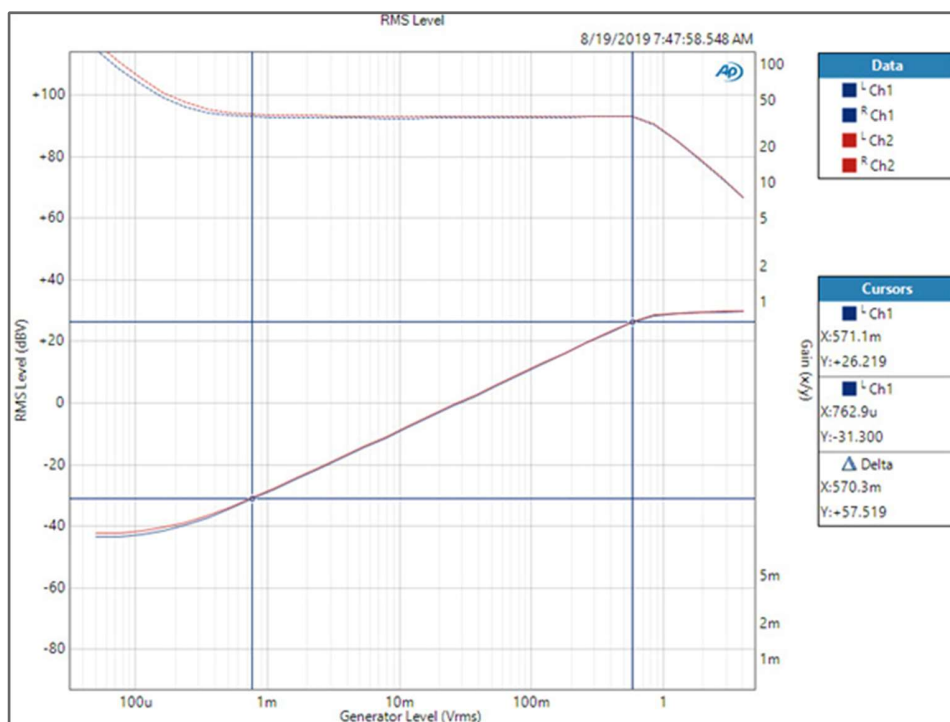
測定

ゲインとレベル

ゲインとレベルのテストは、2つのチャンネルで出力レベルとゲインを同時に測定しながら、段階的な入力レベル掃引を適用することで簡単に実行できます。下の図からわかるように、このアンプは上部のトレース（右側の縦軸を使用）に示されているように約 35 のゲインを持ち、2 mVrms 以下からの入力振幅（プロットの横軸）で線形応答を示します。出力でクリップが始まる前に、入力振幅が約 600 mVrms に達します。左軸は、測定された出力レベルを Vrms で示しています。この DUT の左チャンネルと右チャンネルは非常によく一致していることに注意してください。



DUT がより広い入力範囲でテストされる場合、これと同じ測定を使用して線形ダイナミック レンジを視覚化できます。次のグラフは、この DUT が下限と上限の両方で線形範囲を超えて掃引されたことを示しています。このデバイスは、約 35 のゲイン、約 57 dBV の線形ダイナミック レンジを示します。57 dB 範囲を示すカーソルの配置はやや曖昧であることに注意してください。このため、SNR 測定は一般に、単一値のダイナミック レンジ測定を生成するためにシステムに適用される最大振幅とともに使用されます。



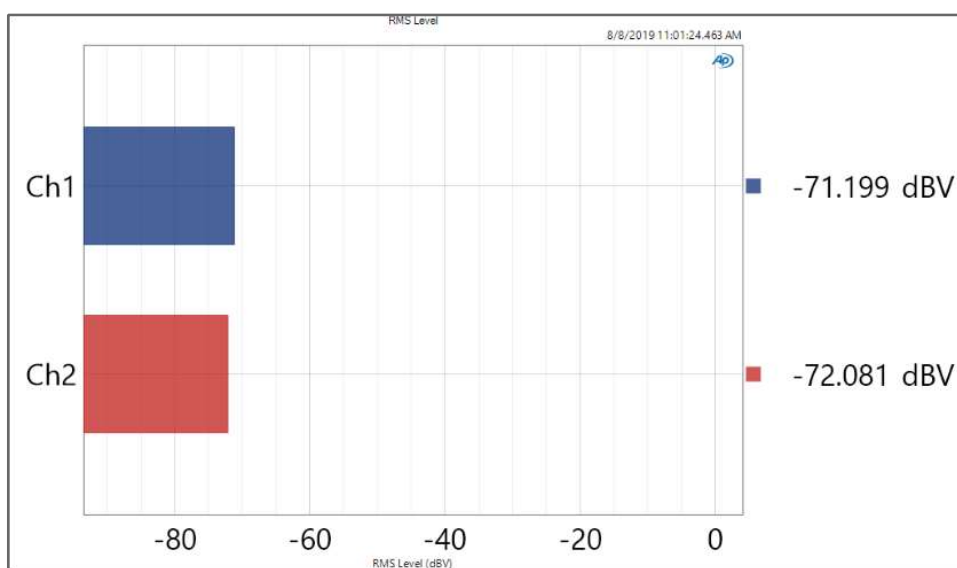
ノイズフロア

ノイズは優れたオーディオシステムの天敵です。チャンネル内の意図しない信号は、多くの場合ノイズと呼ばれます。これは、回路内に電流が流れるたびに発生するランダム ノイズである可能性があります。あるいは、クロストーク、適切な電源絶縁とフィルタリングの欠如、不適切な接地、または電気モーター（ワイパー、シート、サンルーフなど）または点火システムからの EMI として、放射によってチャンネルに現れる確定的な（非ランダムな）信号である可能性があります。このノイズがゲイン段の前で発生すると、ノイズが増幅されてしまいます。

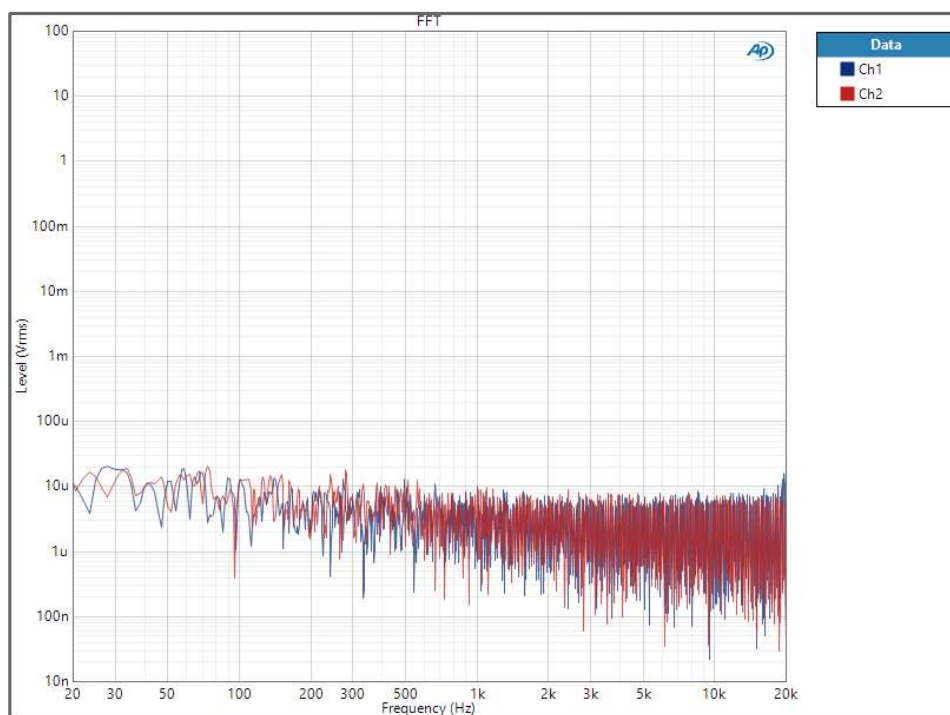
アンプのチャンネルにどれだけのノイズが存在し、どこからノイズが発生しているかを正確に知ることは、アンプの品質を評価したり、特定のユニットや設備のトラブルシューティングを行う際に重要な情報となります。

ノイズフロアを測定すると、信号が適用されていない状態でチャンネルがどの程度「静か」であるかがわかります。したがって、測定は通常、整合インピーダンスで DUT の入力を終端し、入力に信号を加えずに残留 RMS 振幅を測定することによって行われます。帯域幅が広いほど測定のノイズが増えるため、アナライザーの測定帯域幅を制限することが重要です。ほとんどの車載オーディオ アンプでは、20 Hz ~ 20 kHz が適切です。

以下は、車載オーディオパワーアンプで行われた測定の例です。



このデータのスペクトルビューを見ると、支配的な決定論的なノイズ源（スペクトル内の特定の線や突起として現れる）がなく、ノイズは主に本質的にランダムであることがわかります。入力が増大したときに確定的なスプリアスがスペクトルに現れる場合、これらのスプリアスの周波数は信号の性質とソースに対するヒントを提供することができ、これがシステムまたは設計のトラブルシューティングの最初のステップとなります。

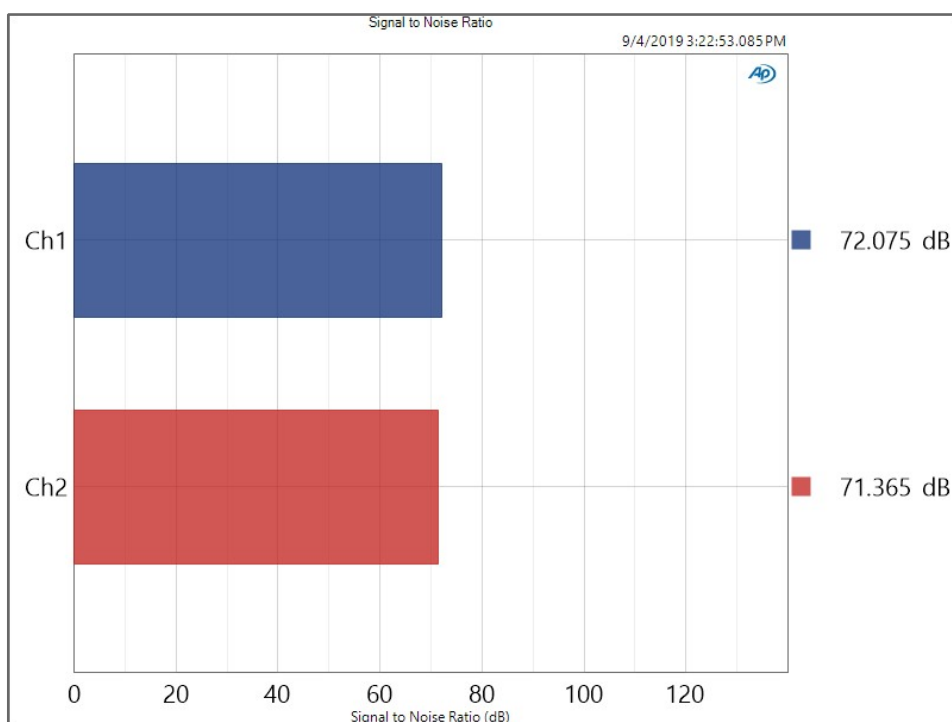


騒音は自動車のリスニング体験の重要な側面です。エンジンやその他のアクセサリがオフになっている静かな車内で聴く場合、リスナーは非常に敏感になることがあります。乗員は、システムをオンまたはオフにするときに、オーディオシステムのノイズフロアを強く意識することがあります。

騒音測定は、人間の聴覚反応を考慮に入れた A 重み付けフィルターを使用して行われることがあります。

SN 比とコモンモード除去比

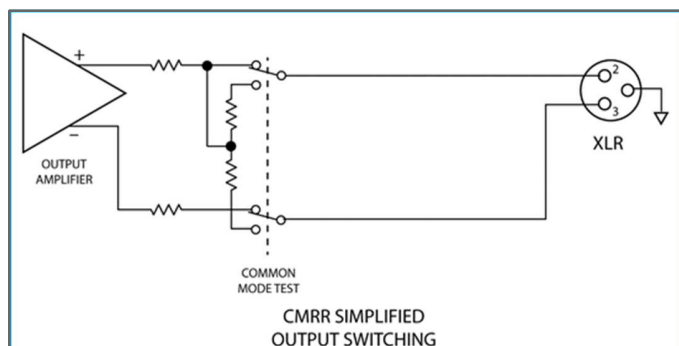
S/N 比の測定に使用される方法は、シングルトーンをアンプの入力 (DUT の指定された入力振幅で) に注入し、出力でのシングル トーンの振幅を測定し、次に入力信号を除去して測定します。その出力のノイズ フロアの振幅。これにより、SNR に必要なデータ ポイントが提供されます。次のグラフは、2 チャンネル アンプで測定された SNR を示しています。これは、出力において、適用された信号の振幅とノイズ フロアとの間に 70 dB を超える差があることを示しています。



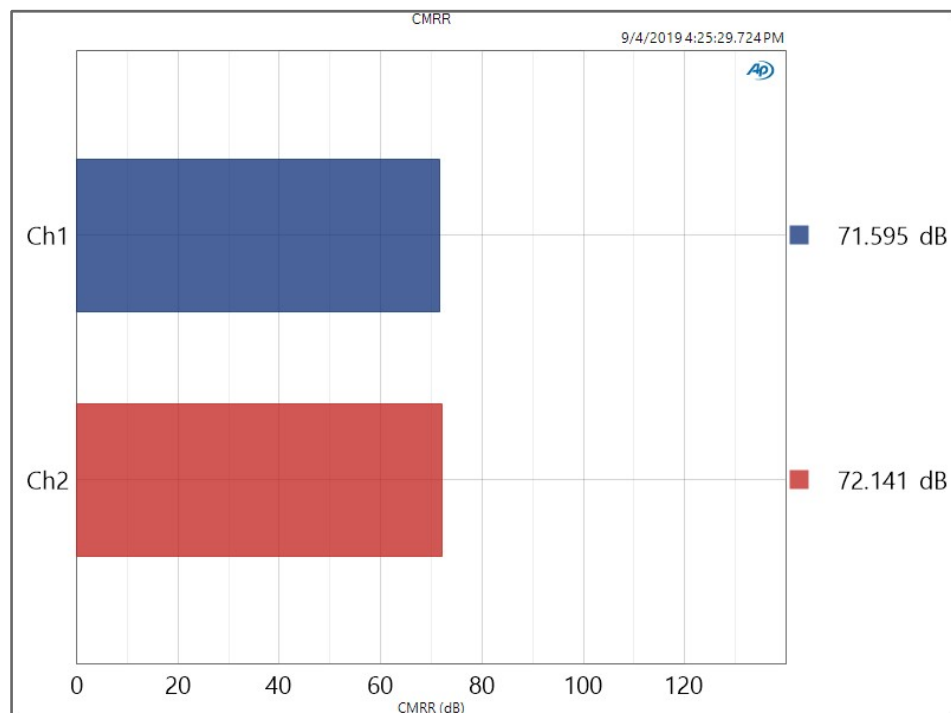
コモンモード除去比 (CMRR) は、平衡 (差動) 出力として構成されたアンプと、不平衡 (シングルエンド) 出力として構成された同じアンプの出力ノイズ振幅の比較です。このテストは、ランダム ノイズ キャンセリングを提供するバランス出力の有効性を実証します。CMRR は次のように計算されます。

$$\text{CMRR(dB)} = 20 * \log_{10} \frac{V_{\text{DM}}}{V_{\text{CM}}}$$

次のテスト回路は、2 チャンネル ジェネレーター (APx515、APx525、APx526、APx555、APx582 など) を備えた Audio Precision APx アナライザー内に実装されています。

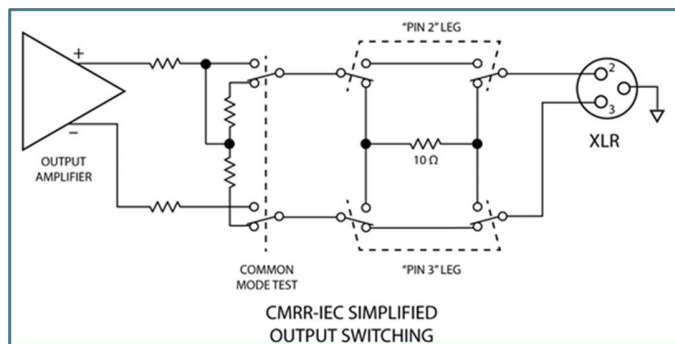


これは出力例になります。

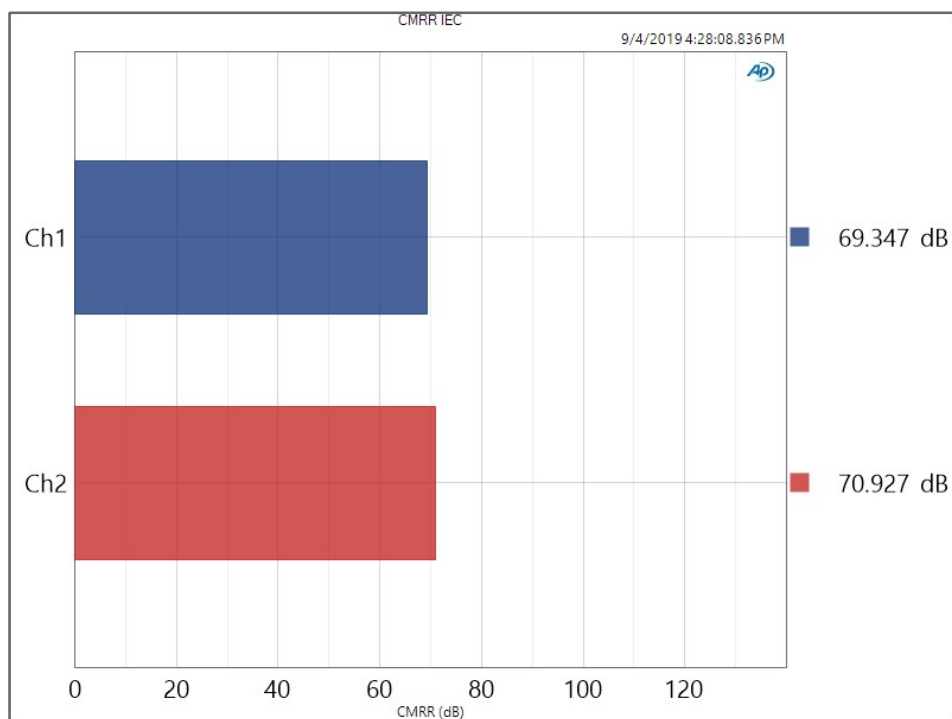


IEC 60268-3 規格では、CMRR テストの若干異なる実装が定義されています。最初に差動信号が測定され、その値が保存されます。次に、各出力レグは、IEC 60268-3 仕様で定義されているように、各レグと直列に 10 オームのソース抵抗を接続したコモン モード出力として個別に測定されます。2 つの出力のうち測定された高い方のコモンモードレベルがコモンモード値として使用され、最終的に前の段落で説明したように計算が実行されます。

以下は、IEC 60268-3 規格で規定されているテスト回路で、2 チャンネル ジェネレーターを備えた Audio Precision APx アナライザーにも実装されています。



以前の CMRR 測定でテストしたのと同じ DUT を使用した、このテストの出力例を次に示します。



適切に設計されたアンプの場合、これらの CMRR テスト結果は通常 60 dB 以上の範囲になります。IEC CMRR メソッドは、基本的な CMRR テストよりも若干悲観的であることがわかります。Audio Precision APx500 オーディオアナライザー (B シリーズまたはレガシー) は、利用可能な測定のリストから選択できるこれらの CMRR テストのいずれかを実行するように設計されています。

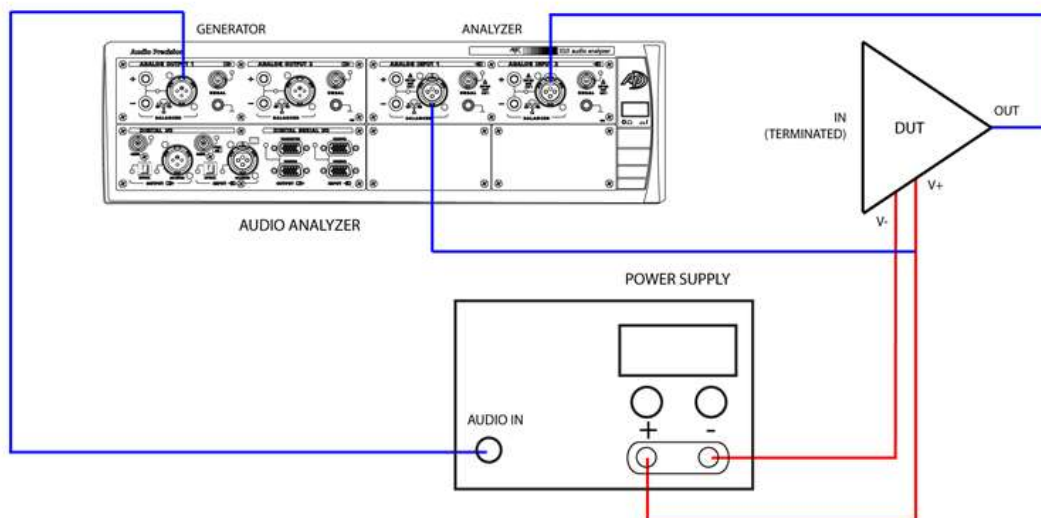
電源除去比 (PSRR)

車両の電源システムの電気ノイズがオーディオシステムに混入し、可聴ノイズが発生する可能性があります。電源除去比 (PSRR) テストは、電源システムのノイズがオーディオ出力に影響を与えるのを防ぐアンプの能力を測定します。これは、車両のバッテリーから直接電力を供給されるシステムでは重要です。スイッチモード電源から供給されるように設計されたシステムの場合、電源は通常、スイッチング電源に関連する高レベルの電源リップルを除去するフィルタを備えて設計されているため、より高いレベルの電源 AC 除去が実現されます。

ここでのテスト課題の 1 つは、DUT をフルパワー レベルで駆動できる DC 電源を構成することですが、DC レベルに乗って規定レベルの AC 信号によって供給ラインを変調することもできます。このタイプのテスト用に設計された機器グレードの電源の一例は、KEPCO BOP 20-20MC です。もう 1 つの DC 変調電源として考えられるのは、Accel TS200 です。Picotest J2121A は、PSRR 測定に使用できる電力線インジェクターで、外部固定 DC 電源と組み合わせて使用するように設計されています。DUT に適切に電力を供給するのに十分な電力がある場合、DC 結合パワーアンプを PSRR テストを実行するための電源として使用するように構成することもできます。

このテストの一般的な制限は、スイープ全体にわたって ≥ 60 dB です。

これは PSRR テストの一例です。

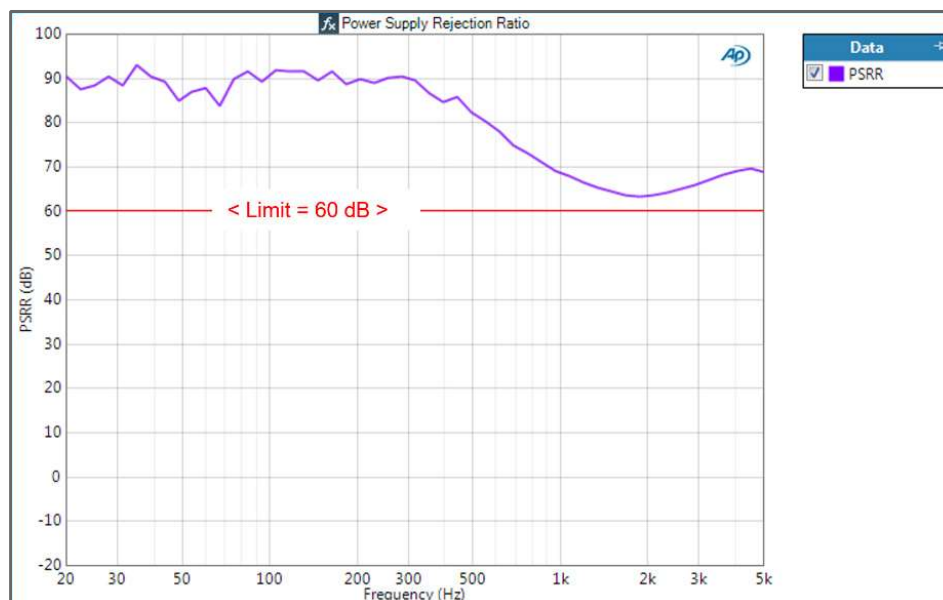


この図から、ジェネレータの 1 つの出力が電源の変調器入力 (図では AUDIO IN として示されている) に接続され、電源の出力に変調を提供していることがわかります。オーディオ アナライザでは 2 つの入力が使用されます。1 つは DC 電源出力の信号の振幅を測定するため、もう 1 つは DUT の出力で関連する周波数を測定するためです。このテストでは、DUT 入力は終端されています。

オーディオ アナライザは、シーケンス ナビゲーターの「バンドパス周波数スイープ」選択を使用して、ジェネレーターでスイープ シングルトーン出力を生成するように設定されています。シーケンスは「RMS レベル」測定から始まり、PSRR 測定が続きます。最終的なテスト データ セットは、PSRR の計算である派生出力を通じて生成されます。「ウィンドウ幅」の選択は、アナライザーで可能な限り狭いバンドパス フィルタを作成するために使用され、各ステップで DUT に適用される特定の入力周波数に基づいて出力レベルを最も正確に表現することに注意してください。この掃引出力は電源の変調入力に適用されます。

テストは、クリーンな（非変調）DC 電源を使用して DUT RMS 出力を測定することから始まります。これは、特定の周波数における PSRR の測定値「ノイズ フロア」になります。DUT 出力がそのノイズ フロアを超えない場合は、PSRR の下限のみを測定できます。真の PSRR 値はさらに高くなります。次に、ジェネレータの出力は、通常約 20 Hz ～ 5 kHz の範囲にわたってスイープするように設定されます。各周波数ステップで、RMS レベルが測定されます。

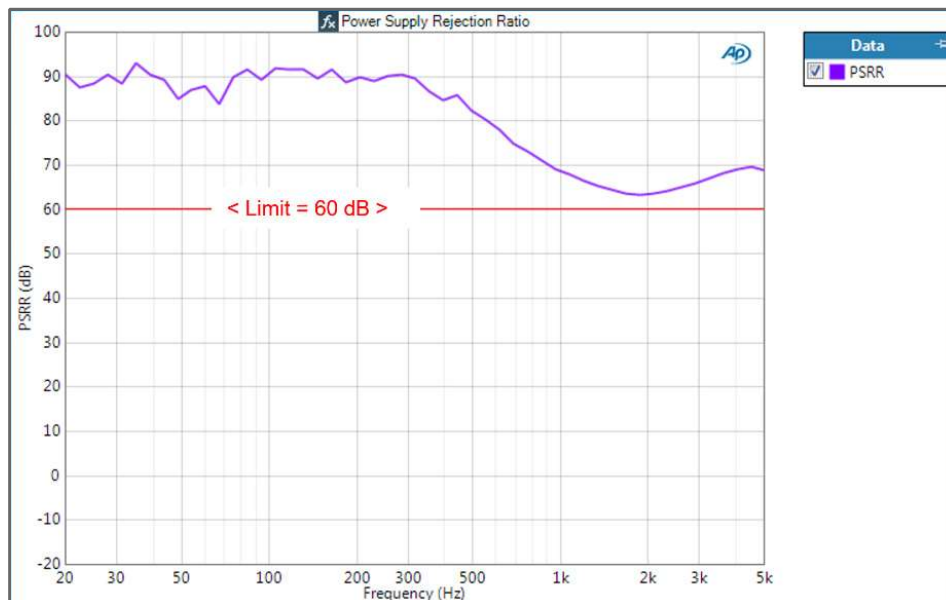
これはテストから得た生データ出力の一例です。



PSRR は以下のような計算式で得られます。

$$PSRR(f) = PowerSupply(f) - AmpOutCh1(f)$$

アナライザーによって計算された結果の派生データセットを以下に示します。

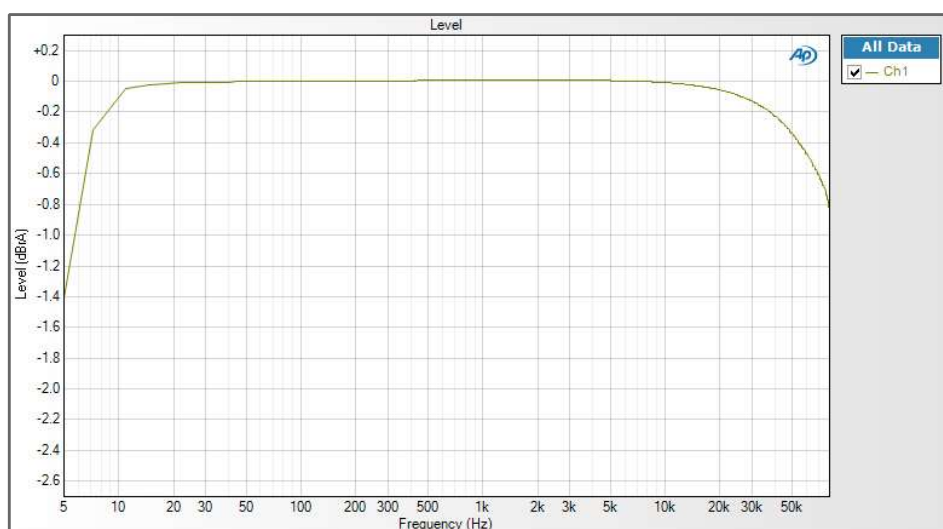


このプロットは、DUT が 20 Hz ~ 5 kHz の範囲にわたって 60 dB 以上のテスト制限を明らかに満たしていることを示しています。また、「Amp Out Ch1」レベルは 20 Hz ~ 約 70 Hz の範囲で「Amp No AC Power」よりも高くなかったため、DUT が性能と同等かそれ以上であったとしか言えないことにも注意してください。示されています。理想的には、電源の AC 電圧は、与えられたすべての刺激周波数で DUT 出力のピークを引き起こすのに十分な高さになります。これはすべての条件下で可能であるとは限りません。電源のセットアップ例には、13.8 V の DC レベルと約 2 Vrms の AC レベルが含まれる場合があります。

周波数応答

周波数応答は、既知のレベルの入力周波数範囲で刺激されたときの DUT の出力レベル変動の記録を提供します。オーディオ デバイスの場合、これは通常 20 Hz ~ 20 kHz の範囲で行われますが、「高解像度」オーディオの場合は 45 kHz または 90 kHz の帯域幅に拡張される場合があります。

以下は、周波数応答テストの出力例です。この DUT は、通過帯域全体にわたって非常に良好な振幅平坦性を示し、ハイエンドでは典型的なカットオフ応答を示します。



従来、このテストは段階的な周波数源を使用して行われてきました。ただし、特に生産テストなどの環境では、テスト時間を大幅に短縮するために、この作業の多くが対数掃引サイン（チャープ）信号を使用して行われるようになりました。たとえば、23 秒の段階的周波数テストを 4 秒のチャープ テストに置き換えることができ、同等の結果が得られます。

出力電力と高調波歪み

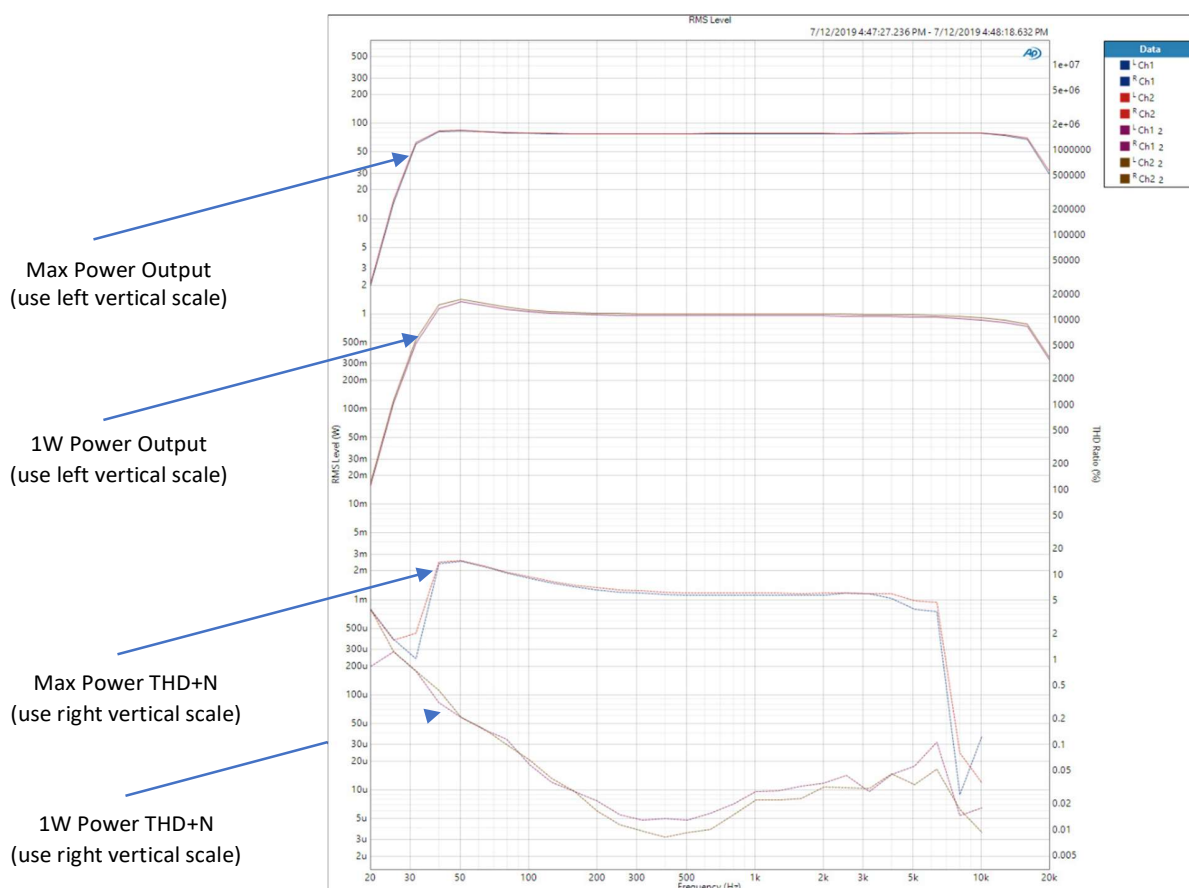
出力電力と高調波歪みは関連しています。一般に、出力電力が最大定格電力まで増加すると、歪みは増加します。

オーディオアンプをテストする場合、通常、2 つの THD+N 測定が行われます。1 つは 1 W の出力電力で行われ、すべてのチャンネルが同時に駆動されます。これは、アンプ全体の小さな信号歪みに焦点を当てています。もう 1 つは、1 つのチャンネルのみを駆動するフルパワー テストです。これにより、DUT が意図した最大電力レベルの設計目標に達し、同時に歪み性能の設計目標を満たしていることが検証されます。アンプの電力が 1 W 出力リファレンス レベルから最大定格電力出力まで増加すると、THD+N パーセンテージは最大 10 倍以上増加する可能性があります。以下は、目標の THD+N パフォーマンス仕様と機器のグレードの例です。

No.	Power Level	Channels Driven	Expected THD+N by Grade		
			Entry	Mid	Premium
1	1 W	all	≤ 1.0%	≤ 0.1%	≤ .01%
2	Rated power	1	≤ 10%	≤ 1.0%	≤ 0.1%

アナライザーの帯域幅を DUT の全帯域幅 (例: 20 Hz ~ 20 kHz) に設定して THD+N テストを実行するのが一般的ですが、それより広くはしないでください。無関係なノイズからの測定に追加のノイズが追加されるためです。スペクトルの一部。ただし、適用される範囲についてはさまざまな見解がある。使用する必要があるアナライザーソースからの周波数範囲。THD+N テストでは、入力が 20 Hz ~ 6 kHz の範囲をカバーするのが一般的です。ここでの理由は、6 kHz ではまだ帯域内に第一高調波と第二高調波しか存在しておらず、6 kHz を超えるテストでは有用なデータが得られにくいからです。

次のプロットは、DUT から測定された出力パワー（左側の縦スケールを使用して出力パワーを読み取る）と、対応する THD+N 測定結果（右側の縦スケールを使用して THD+N パーセンテージを読み取る）を示しています。出力電力曲線はグラフの上部にあり、THD+N 曲線は下部にあります。一番下に近い曲線は 1 W 出力レベルでの THD+N であり、その次の曲線は最大定格出力電力 75 ワットでの THD+N です。



ここでは、出力電力曲線の形状は電力レベル間で一貫していますが、THD+N 曲線は大幅に異なっていることがわかります。また、両方の THD+N 曲線が約 6 kHz で急激に低下していることにも注目してください。これは、高調波が帯域幅カットオフを超えると、この測定値が減少することを示しています。

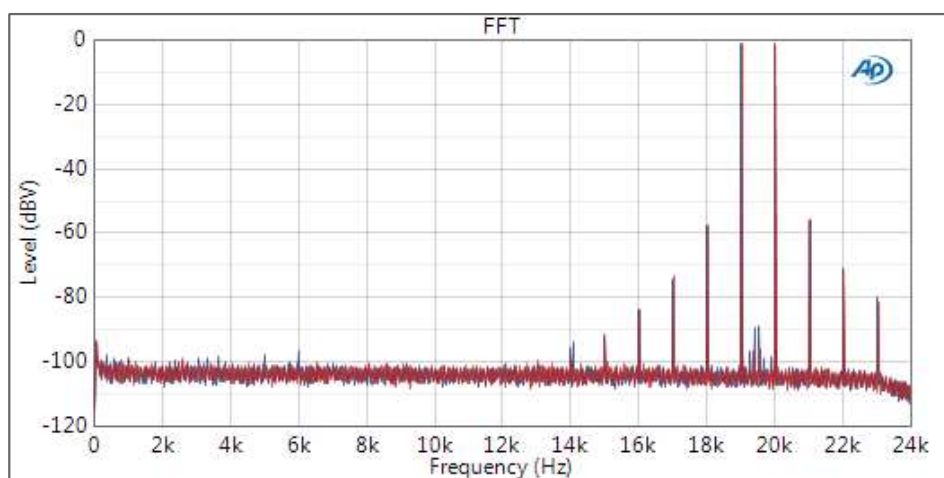
相互変調歪み

THD+N に関する前のセクションで説明したように、高調波積はオーディオ帯域幅を超え、多くの場合、一般的な THD+N 測定帯域幅を超えるため、10 kHz を超える高調波歪みに関する有用なデータを取得することは困難です。

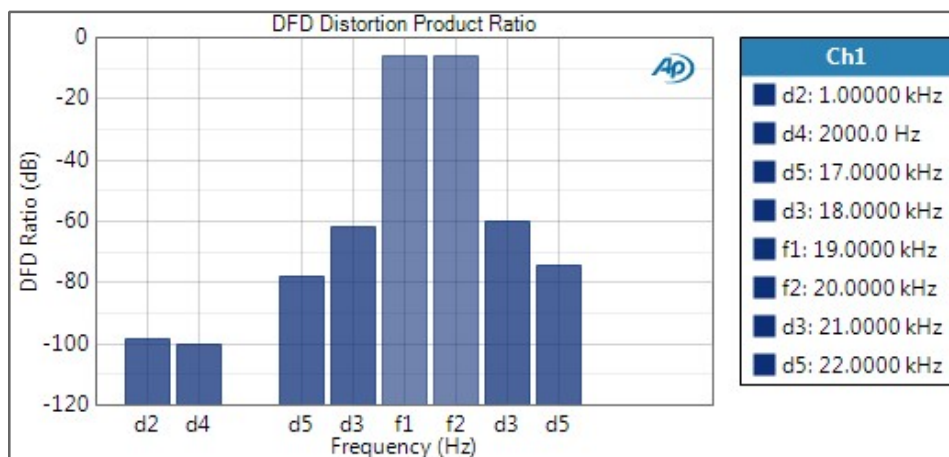
オーディオ帯域幅の上部範囲の歪みを調査するために使用される手法の 1 つは、2 つの比較的純粋なトーンを DUT に同時に適用することです。これにより、非線形デバイスにビート周波数（相互変調積）が生成されます。ほとんどのデバイスで IMD を生成する主なメカニズムは AM（振幅変調）であり、元のオーディオトーンの周波数の和と差にある側波帯を作成します。変調積は、相互に、または元のオーディオ信号とビートし、より多くの変調積が作成される場合もあります。

差周波歪み (DFD) は、IEC 60268-3 仕様で標準化された高周波ツートーン IMD テストの一例です。DFD テストは、AB 級アンプと D 級アンプの両方に適用されます。このテストは通常、設計および開発サイクルの一部として実行されますが、検証や実稼働テストの一部としては実行されません。

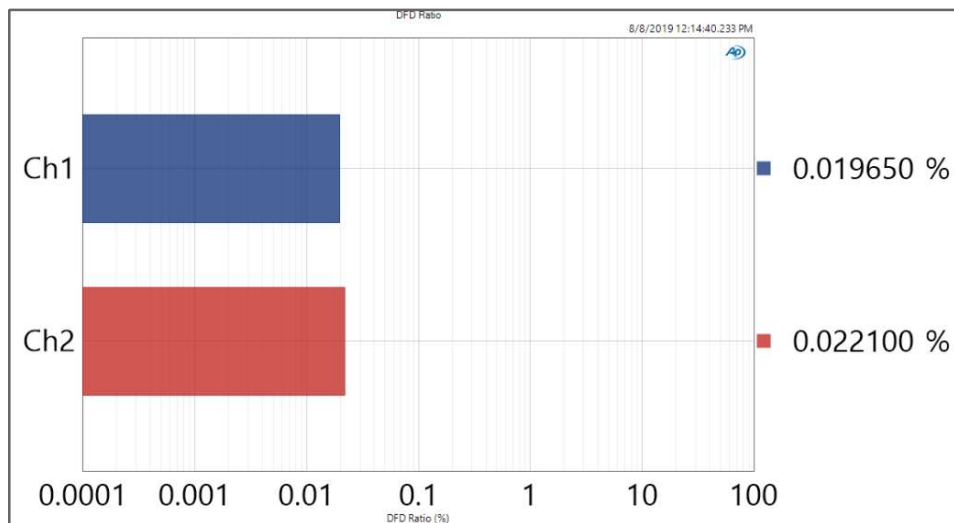
以下は、DFD テストの出力例です。この場合、DUT に適用される 2 つの等振幅トーンは 19 kHz と 20 kHz です。分析は、適用される 2 つの基本トーンの振幅の合計に対する相互変調高調波の振幅の合計の比率を計算することによって行われます。この比率では、2 次と 3 次の相互変調積のみが考慮されます。



DFD テストのテスト結果を次の図に示します。4 次および 5 次の積 (d4 および d5 として表示) は参考のためにプロットに表示されますが、計算された比率の一部ではありません。



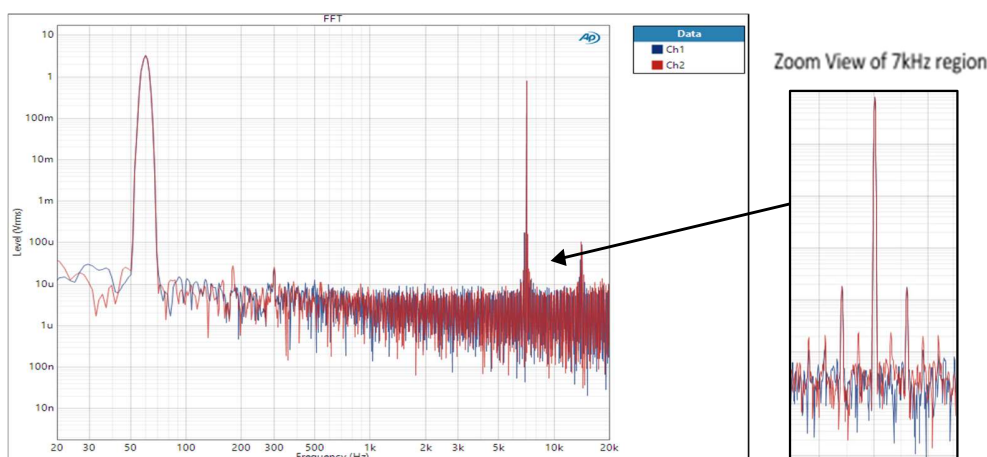
これは実測値になります。



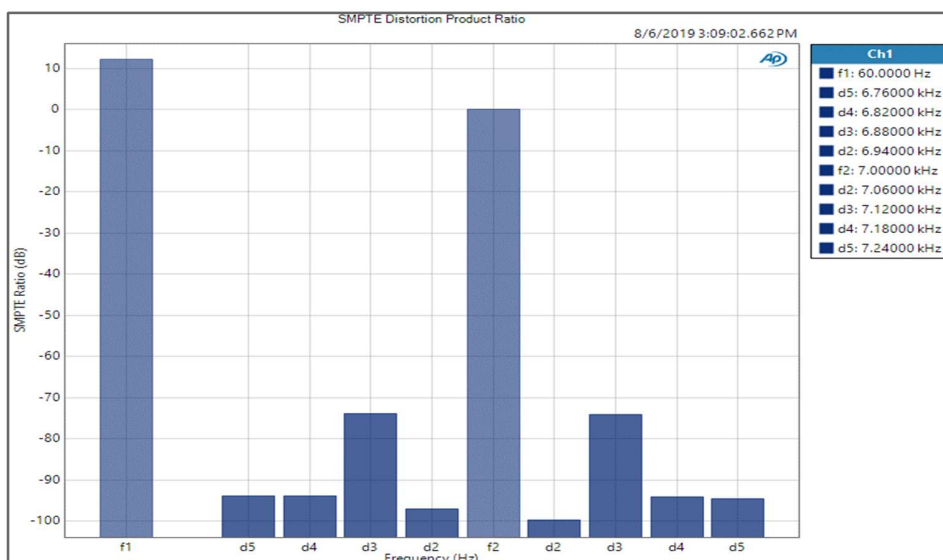
より広範な分析の場合、平均周波数または差周波数をスweepして、より高い DFD レベルを示す可能性のある特定の周波数の組み合わせに対する DUT の感度をチェックすることができます。

もう1つの相互変調テスト手法は、SMPTE IMD テストです。これは、元々は、米国映画テレビ技術者協会 (SMPTE) によって標準化されましたが、現在は IEEE によって管理されています。DFD テストと同様、これは製品テストではなく、設計および開発サイクルの一部として行われる可能性があります。

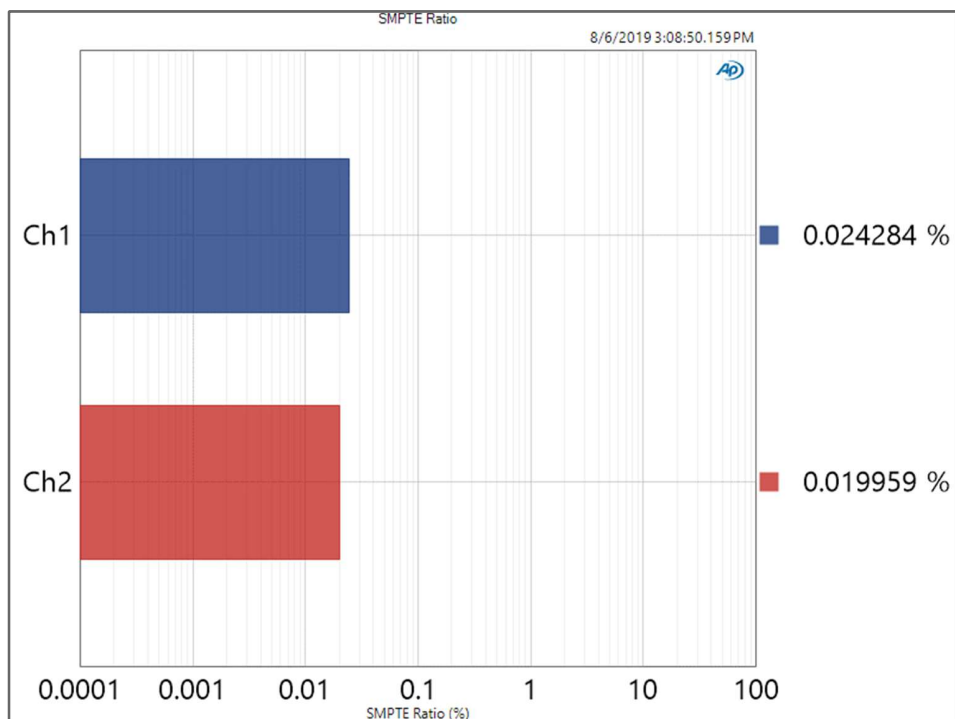
概念的には、これは上で説明した DFD テストとそれほど変わりません。2つのトーンが適用され、その結果生じる高調波が測定されます。ただし、この場合、1つのトーン (f1) は強力な低周波の干渉信号であり、通常はより弱い高周波 (f2) が対象の信号を表します。一般的な設定は、f1 が 60 Hz、f2 が 7 kHz で、振幅比は 4:1 です。



対象となる高調波は 7 kHz トーン付近に位置します。120 Hz、180 Hz などで見られる 60 Hz トーンの高調波は、このテストには関係ありません。次に、SMPTE IMD は、f2 の RMS レベルに対する比として表される IMD 製品の RMS レベルとして決定されます。以下は、SMPTE IMD テスト結果を示しています。



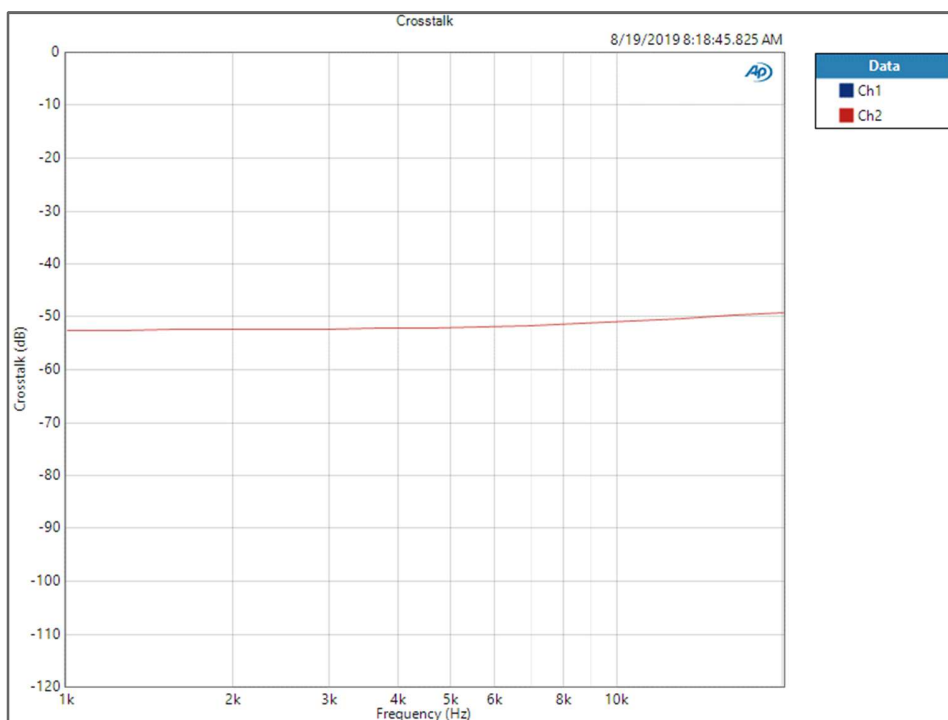
実際の測定値は次のグラフに示されています。標準パフォーマンスの製品では 0.5% 以下が良好なパフォーマンスとみなされ、プレミアム パフォーマンスの製品では 0.1% 以下が良好なパフォーマンスとみなされます。次のグラフに示すように、この DUT は約 0.02% で特に優れたパフォーマンスを示しています。



APx500 シリーズ アナライザーは、低周波干渉トーンを簡単に掃引して、f1 と f2 のさまざまな周波数の組み合わせで IMD 感度をチェックできます。

クロストーク

クロストークとは、マルチチャンネル システムにおいて、あるチャンネルから別のチャンネルに信号が意図せず結合することです。これは通常、浮遊容量、誘導結合、共有電源、共有グラウンドリターンによって発生します。クロストーク測定を実行すると、あるチャンネルの信号が他のチャンネルに大幅に漏れないようにすることができます。現在、車載用アンプのクロストーク テスト限界の性能目標は、標準性能の製品では ≤ -40 dB、プレミアム性能の製品では ≤ -50 dB の範囲にあります。多くの場合、パフォーマンスは 1 ワットの出力レベルでテストされるように指定されています。次のプロットは、1 つのプレミアム パフォーマンス オーディオ アンプのパフォーマンスを示しています。



クロストークは一般に周波数によって大幅に変化するため、周波数の関数として測定する必要があります。単一測定テストが必要な場合、通常は 10 KHz で測定されます。これには 2 つの理由があります。まず、A 重み付け曲線は、10 kHz では -3 dB ~ -5 dB の範囲で聴覚が減衰するのに対し、20 kHz では -10 dB ~ -12 dB の範囲で聴覚が減衰することを示しています。これは、10 kHz を超えるクロストークの影響が実質的に目立たなくなることを示唆しています。第 2 に、クロストークが単極の浮遊容量結合によって引き起こされ、他のインピーダンスが比較的一定である場合、クロストークの振幅はオクターブあたり 6 dB の割合で増加します。10 kHz で評価すると、クロストークがまだ聞こえる可能性がある時点で最高レベルのクロストークが示されます。

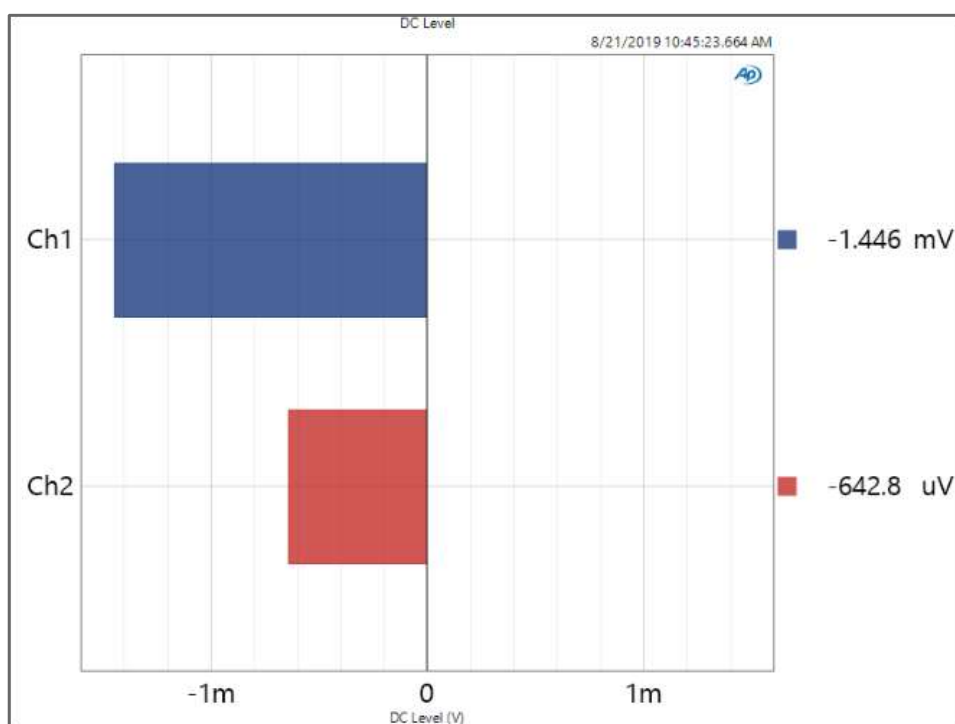
APx500 オーディオ測定ソフトウェアは、単一周波数測定、ステップ周波数掃引サイン波測定、連続掃引 (チャープ) サイン波測定など、いくつかのクロストーク テストを提供します。これらの各モードについて、ユーザーは 1 つのチャンネルを駆動して非駆動チャンネルを測定するか、測定中のチャンネルを除くすべてのチャンネルを駆動するかを選択できます。

DC オフセット、クリック&ポップ

アンプは通常、AC 結合されています。つまり、出力に DC 電圧があってはなりません。小さな DC オフセット電圧は許容されますが、測定して制限内であることを確認する必要があります。DC オフセットが大きいとシステムのパフォーマンスに影響し、コンポーネントが損傷する可能性があります。

DC オフセットのテストは、パワーアンプの DC オフセットのランプアップとランプダウンがサウンドの不快さに大きく寄与するため、出力ターンオン/オフのポップノイズテストに関連しています。

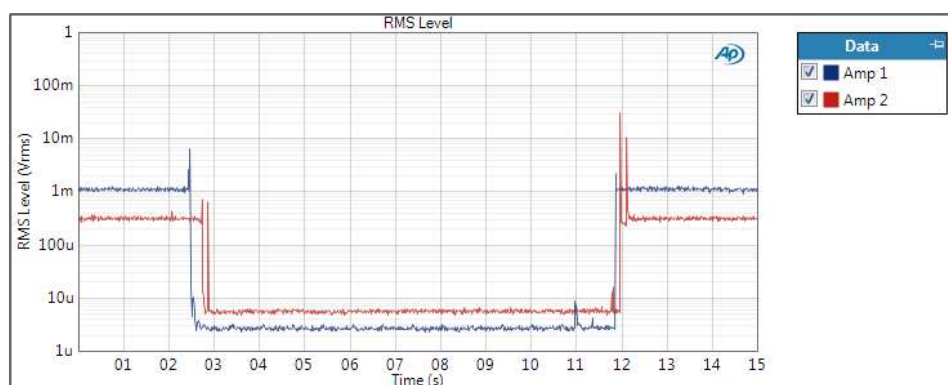
DC オフセットをテストする手順は、オーディオ アナライザーを使用すると比較的簡単です。負荷を接続した後、アンプがオンになり、DC レベル測定を使用して DC レベルが測定されます。これは、アンプの入力に適用される AC 信号を使用しません。次のプロットは、このテストの測定結果の例を示しています。



標準性能の製品では絶対値が 100 mV 以下が良好とみなされ、プレミアム性能の製品では絶対値が 10 mV 以下が良好とみなされます。

アンプがオンまたはオフになると、過渡的な電圧スパイクが発生する可能性があります。一時的なスパイクのレベルと持続時間によっては、不快なポップ音、クリック音、または衝撃音として聞こえる場合があります。分析ツールは過渡音が聞こえるかどうかを判断するのに役立ちますが、最終的な評価には車室内でのリスニングテストが含まれる可能性があります。

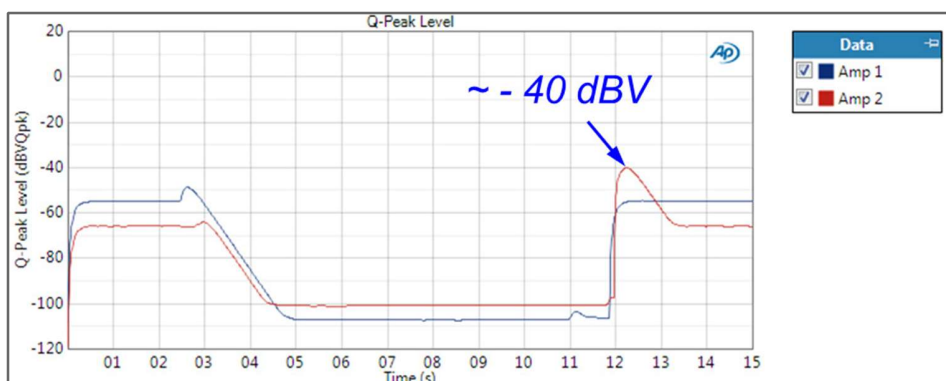
オーディオ アナライザーを適切にロードされたオーディオ アンプの出力に接続し、信号のオン時またはオフ時にスパイクが発生するかどうかを示す信号を取得することは比較的簡単です。以下は、APx500 アナライザーの測定レコーダを使用したそのような取得の例で、テストのターンオフ部分とターンオン部分で、またはその直後に発生する一時的なスパイクを示しています。



しかし、この取得された波形からは、それらのスパイクがリスナーにとってどれほど不快であるかどうかはわかりません。知覚される音量はイベントのレベル、スピーカーの感度、および人間の音の知覚に依存するため、評価ではこれらの項目を考慮する必要があります。

オーディオ アナライザーを使用して、この種のイベントをより現実的に評価するには、いくつかの方法を使用できます。音響測定を行う場合は、アナライザーとともに校正済みのマイクと A 重み付けフィルターを使用して、騒音計を模倣することができます。残念ながら、これはスピーカーをアンプに接続する必要があり、良好な測定結果を得るには無響室にいる必要があることを意味します。さらに、人間の耳はクリック音やランダム ノイズのバーストに対して異なる反応を示すことがわかっているため、A 重み付けフィルターは最適とは言えません。

ポップ音とクリック音を分析するためのより適切な方法は、ITU-R BS.468-4 アプローチを使用することです。これには、CCIR-468 重み付けフィルターと、慎重に定義されたアタック時間と減衰時間を備えた準尖頭値検出器が含まれており、ポップ音とクリック音をより適切に表現できます。人間の聴覚と比較した、衝撃的なノイズバーストの振幅。APx アナライザーは、ITU-R BS.468-4 Q ピーク フィルターを電気測定または音響測定に適用する機能を提供します。これは、電気信号を測定し、代表的なスピーカーにモデルを適用して、このイベントが表す音圧レベルの妥当な推定値を得ることができることを意味します。



この DUT は、最大 Q ピークレベルが -40 dBV であることを示しています（上のグラフ）。この測定から、音圧レベルの推定を進めることができます。

中音域のスピーカー（人間の聴覚が最も敏感な場所）に基づくと、典型的なスピーカーの感度は、1 メートルで 1 ワットに基づいて 90 dB SPL の範囲になります。これから、アンプに接続された代表的なスピーカーで予想される音圧レベルを示すいくつかの簡単な計算を行うことができます。

4 オームの負荷の場合、次の式を使用して電圧を計算できます。 $V = \sqrt{P \cdot R}$.

出力電力が 1 ワット、負荷が 4 オームの場合、90 dB SPL の電圧は 2 Vrms であることがわかります。Q-Peak レベルの測定は dBV 単位で行われ、dBV は 1 V を基準としているため、90 dB SPL 感度を 1 V を基準とした同等のレベルに変換する必要があります。1 V リファレンスの結果としての dB レベルの計算は次のとおりです。

$$\text{dB} = 20 \cdot \log(1 \text{ V} / 2 \text{ V})$$

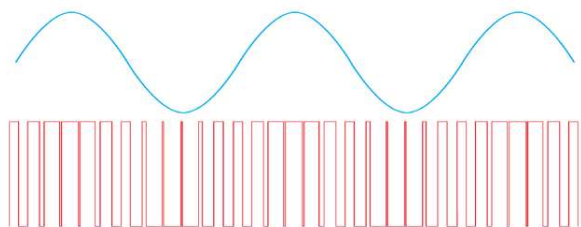
これは約 -6 dB で、値は約 84 dB SPL になります。この値と測定された ITU-R BS.468-4 Q ピークレベルを使用すると、可聴レベルは 84 dB ~ 40 dB となり、結果として音響レベルは 44 dB SPL になると判断できます。非常に静かな環境（エンジンを停止して駐車した車両など）では、騒音レベル 44 dB SPL の過渡音が聞こえる可能性があります。

クリック/ポップに対する特定の最大 dB 性能目標はありませんが、車室内の静かな環境ではクリック/ポップ音が聞こえないことが望ましいです。

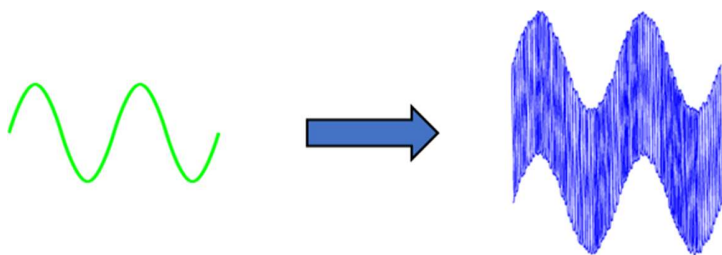
クラス D アンプ

「リニア」オーディオアンプはクラス A またはクラス AB です。通常、これらの忠実度は非常に優れていますが、効率は比較的低くなります。これらのアンプでは、アクティブコンポーネントが常に電力を消費しています。クラス D アンプは非常に忠実度が高いだけでなく、リニア アンプと比較して効率も大幅に高くなります。どちらも、このペーパーの前のセクションで説明したのと同じテストと手法を使用してテストされます。ただし、クラス D アンプでは、代表的なテスト結果を得るために少し異なる処理が必要です。

クラス D アンプ（スイッチング アンプと呼ばれることもあります）は、パルス幅変調（PWM）またはその他のタイプの変調を使用して、アンプの効率を最大化します。パルスあたりの最大オン時間は正のピークで発生し、最大オフ時間は負のピークで発生します。サイン波の振幅の中間点では、デューティ サイクルは約 50% になります。これを次の図に示します。

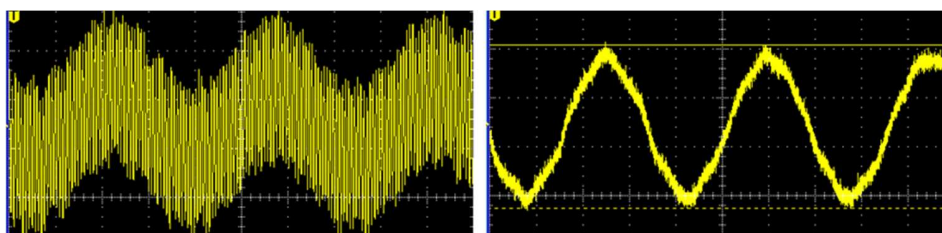


次の図に見られるように、出力信号は最大出力から最小出力まで非常に速くスイングします（その結果、出力に高周波成分が含まれます）。



これらのノイズ信号はスルー レート（SR）が非常に高いため、アナライザー測定で誤った歪みやノイズ読み取り値が発生する可能性があります。場合によっては、オーディオ アナライザー回路が不安定な状態に陥ったり、損傷を受けたりする可能性があります。

幸いなことに、この状況に対する強力な解決策があります。出力にフィルタリングを適用することにより、高周波成分が測定のためにアナライザーに到達する前にフィルタリングされ、高周波成分が大幅に低減されます。推奨されるフィルタリングは 2 段階で実行されます。最初のステージは、アンプ出力とアナライザー入力の間に接続された外部パッシブ フィルターです。これにより、信号がアナライザーに到達する前に、高周波成分の大部分が除去されます。次の信号キャプチャは、D 級アンプからのプレフィルタ信号とポストフィルタ信号を示しています。

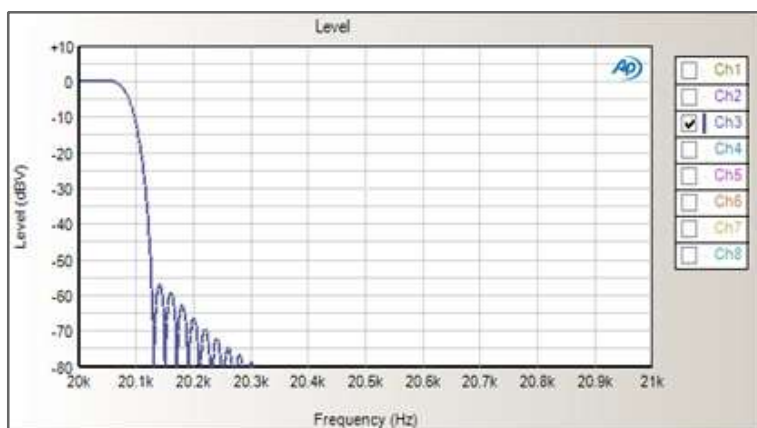


Pre-Filter Output

Post-Filter Output

たとえば、AP には、この目的のために設計された 3 つの異なる構成の外部フィルタがあります。これらには、AUX-0025 2 チャンネル 25 kHz ローパス フィルター、AUX-0100 8 チャンネル 25 kHz ローパス フィルター、および AUX-0040 2 チャンネル 40 kHz ローパス フィルターが含まれます。

2 番目に推奨されるフィルタリング ステージは、アナライザーのシャープ ロールオフ帯域幅制限フィルタです。AES17 規格では D/A コンバータ測定にこのようなフィルタを推奨しており、この AES17 フィルタは D 級アンプ測定の内部フィルタとして優れたオプションです。Audio Precision は、これを APx アナライザーのブリックウォール DSP フィルタとして実装します。このフィルタのカットオフ応答を以下に示します。



良好な測定品質を確保し、アナライザー入力への潜在的な損傷を回避するには、AES17 フィルタに加えてパッシブ外部フィルタを使用することが重要です。アナライザーの内部 AES17 フィルタは、クラス D 出力の高周波成分の影響からアナライザーの入力段を保護することはできません。

一部のクラス D アンプ メーカーでは、パイオニア クラス FD などの出力フィルタリングが組み込まれていることに注意してください。テスト機器に接続する前に、テスト対象のアンプの性質を正確に把握しておくことが最善です。

最後に

このペーパーでは、車載アンプで一般的に行われる測定の種類、一般的に期待される性能レベル、特定のテスト方法を規定するいくつかの業界標準、およびこれらの測定を容易にする AP オーディオ アナライザーの機能について説明しました。このシリーズの今後の論文に注目してください。今回は、今日の自動車の他のオーディオ コンポーネントのテストについて説明致しました。

詳細は以下のリンクを参照願います。

<https://www.ap.com/download/automotive-audio-testing-amplifiers/?wpdmdl=9320&ind=DQpBdXRvIEF1ZGlvIEFtcCBUZjN0aW5nIEFwcCBOb3RlLnBkZg>