



ヘッドフォンの電気音響測定に関して

今回のTechnote

2016年に公開されたAPアプリケーションノート [1] には、音楽やその他のフルバンドオーディオプログラム素材を聴くためのヘッドフォンやイヤホンの音質を特徴付けるために使用される主要な電気音響測定の概要が含まれています。ヘッドフォンテストにあまり慣れていないユーザーや、より多くの背景情報が必要なユーザーは、そのドキュメントから始めることをお勧めします。このテクニカルノートでは、ヘッドフォンテスト用のテスト機器の選択と、APxオーディオアナライザでテストを実施する方法に関する詳細な説明を提供します。

業界標準

理想的には、規格は、測定条件と推奨された慣行に関する業界の元関係者間のコンセンサスを表し、デバイスが有意義で反復可能な方法でテストされることを確実にするのに役立ちます。そのため、パフォーマンス測定を行う際には業界標準に従うか、少なくともガイドラインとして使用するのが最善です。ヘッドフォンとイヤホンのテストに使用されるテストフィクスチャに関して、最も重要な規格はIEC 60318シリーズのパート1、4、および7であり、「電気音響 - 人間の頭と耳のシミュレータ[2、3、4]」と題されています。パート1では、耳の上のイヤホンと耳の周りのイヤホンを測定するためのイヤースミュレーターを指定しています。パート4では、イヤースイッチによって耳に結合されたイヤホンを測定するための閉塞シミュレーターを指定しています。パート7では、頭部と胴体シミュレータ(HATS)を指定しています。

試験手順に関しては、測定をカバーする主要な国際規格はIEC 60268-7、サウンドシステム機器、パート7:ヘッドフォンとイヤホン[6]です。ここでは、この規格でカバーされている、関心のある可能性が最も高い次の電気音響測定に焦点を当てます。

- 電圧特性
- 周波数応答
- クロストーク負荷
- 振幅の線形、非線形性
- 電氣的インピーダンス

音の減衰に関しては、IEC 60268-7は、聴覚保護具のISO4869規格に従って測定を行う必要があると規定しています。このトピックは、アクティブノイズキャンセレーション(ANC)によるヘッドフォンのパフォーマンスの測定に関する別のTechNote[7]でまとめられています。ヘッドフォンテストにおけるもう1つの重要な規格はEN50332 [8]で、ポータブルミュージックプレーヤーで使用されるヘッドフォンやイヤホンで生成できる最大許容音圧レベルをカバーしています。このトピックについては、別のTechNote [9]でも説明されています。

Equipment for Headphone Testing

オーディオアナライザに加えて、ヘッドフォンとイヤホンを耳に密に結合しているため、ヘッドフォンのテストには音響テストフィクスチャーといくつかの追加アクセサリが必要です。

これらについては、以下で個別に説明します。

Acoustic Test Fixtures

イヤホンやヘッドホンのテストの際に利用する音響テスト

フィクスチャーは以下の3つの機能があります。

1. 測定マイクを内蔵し、ヘッドフォンによって生成されたサウンド信号を感知します。
2. マイクロホン、イヤースミュレーター(人間の耳の音響インピーダンスをシミュレートする小さな空洞)に埋め込んで、イヤホンに音響的に適切に負荷をかけることができます。

3. 一部のイヤースミュレータは、人間の耳介、また外耳の機械的特徴をシミュレートします。これはイヤホンとピンネの相互作用が測定された周波数応答に影響を与えるため、一部のヘッドフォンは非移植性です。

さまざまなヘッドフォンテストフィクスチャが利用可能であり(図1)、どちらを使用するかを選択は、主にヘッドフォンまたはイヤホンの種類(例えば、アラウンドザイヤ、オンイヤ、イヤホン、インサートフォンなど)とアプリケーション(R&D、品質管理または生産テスト)によって異なります。選択できるテストフィクスチャが多数あるだけでなく、各フィクスチャには、イヤースミュレータ(標準、高周波、高解像度、低感度または低ノイズ)、ピンナタイプ(従来型、人体測定)、測定マイクタイプ(外部偏波または予備偏波)に関して多くの追加オプションがあります。

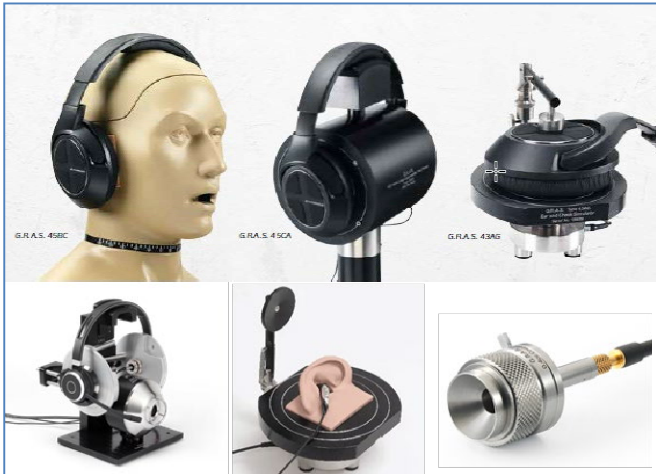


図1. 音響テクとフィクスチャー例

ヘッドホンテスト用のアクセサリ

ステレオヘッドホンテスト用に次のアクセサリが求められます。

- パワーアンプ(2チャンネル)
- マイク用パワーモジュール(2チャンネル)
- サウンドレベル校正器
- 電氣的インピーダンス測定用センス抵抗

今回は IEC 60318-4 (711カプラー内蔵)準拠の標準耳を搭載したテストフィクスチャー-Gras45CAを利用します。(図2)



図2. GRAS 45CA ヘッドホンテストフィクスチャー

オーディオアナライザの選択に関しては、内蔵ヘッドフォンアンプ、測定用マイクロホン用CCP電源、および4線式インピーダンス測定を備えたAPx517Bは、ヘッドフォンやイヤホンのテストに最適です。以下のアクセサリはAPx517Bには必要ありませんが、別のAPxアナライザでヘッドフォンをテストしたいユーザーのためにここで説明します。

パワーアンプ

ヘッドフォンテストのために各イヤホンを駆動するには、パワーアンプが必要です。所要電力は小さく(通常は数ミリワット~500ミリワットの範囲)、オーディオアナライザのアナログ出力は少量の電流しか供給しないように設計されています。したがって、通常、パワーアンプが必要です。パワーアンプの出力インピーダンスも考慮されてもよい。たとえば、EN50332 [8] などの一部の規格では、テスト信号源の出力インピーダンスが2.0オームを超えてはならないと規定されています。このような要件が存在する場合は、パワーアンプの出力インピーダンスを検証する必要があります。テストしたヘッドホンジャックを備えた一部の民生機器は、はるかに高い出力インピーダンスを持つことに注意してください。

マイクロホンパワーアンプモジュール

マイクロホンパワーモジュールは、音響テストフィクスチャーのイヤースミュレータ(または測定マイクロホン)のそれぞれに必要です。測定されるチャンネルごとに、パワーモジュールはマイクロホンとオーディオアナライザ入力の間接続されます。

その主な目的は、コンデンサーマイクに電力を供給することです。一部のパワーモジュールは、ゲインやフレクエンシー重み付けフィルタなどの追加のシグナルコンディショニングを採用しています。外部シグナル・コンディショニング機能エレメントは、非常に低レベルの入力信号を正確に測定する能力と、内蔵のハイパス、ローパス、周波数重み付けフィルタを備えているため、APxオーディオ・アナライザでは通常必要ありません。前述のように、測定マイクロホンは通常、外部偏波または事前偏波の2種類のいずれかです。外部三極マイクロホンは200ボルトのポラリザイオン電圧を必要とし、通常は7ピンLemoコネクタを備えています。前偏光マイクロホンは定電流電源(CCP)電源を必要とし、BNCまたは#10-32マイクロドットコネクタ付きの同軸ケーブルを使用します。イヤースミュレータマイクと同じタイプのマイクパワーモジュールがヘッドフォンテストに必要です。GRAS Sound & Vibrationは、CCPユニット(チャンネル数が1、4、8)、従来の200Vユニット(チャンネル数が1、2、4、8)、CCPと従来の200Vタイプの両方をサポートする2チャンネルユニットなど、さまざまな適切なマイクロホンパワーモジュールを提供しています。

サウンドレベル校正器

マイクロホンの感度は、通常mV/Paの単位で表され、その検出が音圧の単位あたりにマイクロフォンが出す電圧の量を示す特性です。製造上の公差により、測定用マイクロホンの感度は、ほとんどの場合、公称感度とわずかに異なります。サウンドレベルキャリブレーションまたはピストンフォンは、オーディオアナライザソフトウェアで測定マイクロホンの感度をキャップチャリングする便利な手段を提供し、入力信号をPaまたはdB SPLで直接解析することができます。これらのデバイスは通常、マイクロホンまたはイヤースミュレータを既知の正弦波音圧レベル(SPL)(例:250Hzで114dB SPL)にサブジェクトします。アナライザはマイクロホンの出力電圧を測定し、校正器の音圧レベルに基づいて感度を自動的に計算します。校正器は通常、250Hzまたは1kHzで正弦波圧力を生成します。耳シミュレータの場合、耳シミュレータ腔によって引き起こされる共振は250Hzで無視できるほどの影響しか及ぼさないため、250Hzのキャリブレーション周波数が好ましい。1 kHzで動作するキャリブレーションは引き続き使用できますが、1 kHzでの共振効果を補償するには、キャリブレーションのリファレンスレベルにオフセットを追加する必要があります。

GRAS 42AG多機能キャリブレーションは、250Hzおよび1kHzの選択可能なオペレーティング周波数を備え、2つのリファレンスSPL、94及び114dB SPLもサポートしています。



図 3. GRAS 42AG校正器

センス抵抗

インピーダンス測定では、ドライバを通過する電流とドライバ両端の電圧を同時に測定する必要があります。これを行う最も簡単な方法は、パワーアンプに電流センスが組み込まれたAPx517Bのようなアコースティックオーディオアナライザを使用することです。従来のオーディオアナライザを使用する場合、IMP1インピーダンスフィクスチャは、ドライバの電流と電圧を測定するのに便利なACセッソリです。0.1オームと1.0オームの検出抵抗から選択でき、パワーアンプ、ドライバ、オーディオアナライザ間のさまざまなパワーリード線とセンスリード線を簡単に接続できるコネクタを備えています。



図4. IMP1インピーダンスフィクスチャー

オーディオアナライザの選定

APx517B アコースティック オーディオ アナライザは、次の属性を備えているため、ヘッドフォンやイヤホンのテストに最適です。

- 標準ヘッドフォンジャックコネクタ付き2チャンネルヘッドフォンアンプ。
- CCP電源とTEDSをサポートする2つのアナログ入力チャンネルで、またはイヤースミュレーターをサポート。
- 4線式インピーダンス測定機能を備えた内蔵電流検出。
- 1つのオプションのデジタルオーディオIOモジュール(例えば、Bluetooth®, PDM, PDM 16、DSIO、DIO、HDMIなど)のサポート。

APx517Bは別として、APxのオーディオアナライザは、適切なアクセサリを装備していれば、ヘッドフォンやイヤホンのテストに使用できます。アナログステレオヘッドフォンをテストするには、少なくとも2つのアナログ出力チャンネルと2つのアナログ入力チャンネルを備えたオーディオアナライザが必要です。APx515はこの要件を満たしていますが、Bluetooth、PDM、I2S/TDM、HDMIなどのデジタルインターフェースでオーディオ品質をテストする必要がある場合は、APx517B、APx525などのモジュラー2チャンネルオーディオアナライザ、またはより高いAPx555を検討することをお勧めします。また、他のアプリケーションでより多いアナログチャンネル数が必要な場合は、APx526(出力チャンネル2 x 4入力チャンネル)、APx 582(2出力x 8インチ)、APx585(8出力x 8インチ)、またはAPx586(8出力x 16インチ)を検討してください。単一のイヤホンを含むヘッドフォンアプリケーションの場合、APx511補聴器アナライザも魅力的な選択肢になる可能性があります。その単一の出力チャンネルにはユニティゲインパワーアンプが組み込まれており、そのシングルアナログ入力チャンネルはCCPマイクロホンパワーをサポートしています。

APx517B以外のアナライザを使用している場合、APx1701トランスデューサテストインタフェースは、ヘッドフォンテストに非常に便利なアクセサリでもあります。電流検出抵抗を内蔵した2つのラボグレードのパワーアンプ、2つのCCPマイクロホン用のサポート(TEDSの有無にかかわらず)、および2つのファンタム電源マイクロホンのサポートを備えています。ISO 17025認定校正が付属しており、APx500オーディオアナライザソフトウェアで完全に固定されています。

測定を行う

APx517Bアコースティックアナライザと、CCPタイプIEC 60318-4イヤースミュレータと標準ピンシミュレータを搭載したGRAS 45CA-6ヘッドフォンテストフィクスチャを使用してヘッドフォン測定について説明します。ここでは、プロフェッショナルな放送業界で人気のある耳周り(ATE)ステレオヘッドフォンのセット用です。

接続

APx517Bアナライザを使用すると、図5のように、テストフィクスチャにCCPマイクロホンが装備されている場合、DUT、アナライザ、テストフィクスチャ間の接続は簡単です。ヘッドフォンはヘッドフォンアンプジャックに差し込まれ、テストフィクスチャの2本のCCPマイクケーブルはAPx517Bのフロントパネルのマイク入力BNCコネクタに接続されます。これらの接続は、音響測定と電気インピーダンス測定の両方で機能します。

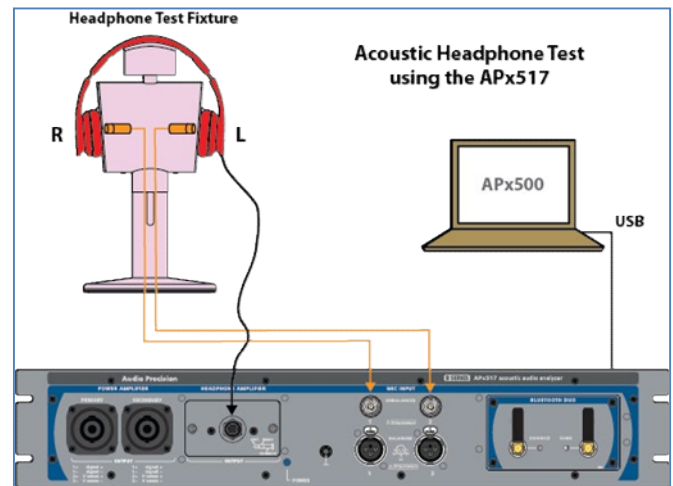


図5. APx517Bとヘッドフォンの接続図

APxプロジェクトファイル

今回利用するAPxプロジェクトファイルは、ヘッドフォンの測定に使用されます。プロジェクトファイルはAPx517Bオーディオアナライザ用に作成されましたが、適切なテストアクセサリを備えた他のAPxオーディオアナライザでの使用に簡単に適合させることができます。

プロジェクトファイルは4つのsignal pathがあります。:

1. Signal Path1 - Cal Ear Simulators: イヤーシミュレーターマイクを校正する際に利用します。
2. Signal Path2 - Acoustic: アコースティック測定の際に利用します。
3. Signal Path3 - Impedance-L: 左のイヤホンのインピーダンス測定の際に利用します。
4. Signal Path4 - Impedance-R: 右のイヤホンのインピーダンス測定の際に利用します。

プロジェクトファイルには5つのシーケンスがあります。APxのシーケンスは、チェックされた項目(信号パス、測定値、結果、シーケンスステップ)の集まりです。シーケンスを選択すると、ナビゲータの上部にある「シーケンスを実行」ボタンが、チェックされたすべての信号パスで、チェックされたすべての測定(チェックされたシーケンスステップを含む)を実行し、チェックされた結果をレポートします。レポートチェックボックスがオンの場合、レポートはシーケンスの最後に開きます。Cal & Regulateという名前の最初のシーケンスは、耳シミュレータを「校正」し、レギュレーションプロセスを使用して特性電圧を見つけるように構成します。2番目のシーケンスは残りの音響測定を実行するように構成され、3番目と4番目のシーケンスは電気インピーダンス測定を実行するように構成されています。「Sequence - All」という名前の5番目のシーケンスは、最初にオペレーターにデバイスIDの入力を求め、前の4つのシーケンスのすべての測定ステップとシーケンス・ステップを実行してから、テスト・レポートを開きます。次のセクションでは、シーケンスの実装方法について詳しく説明します。

Ear Simulator Calibration

音響測定を実施する前に、イヤーシミュレーターマイクロホン「校正」する必要があります。これは真の校正そのものではなく、入力信号をPaまたはdBSPLに適切にスケールできるように、マイクロホン感度を入力するプロセスです。APxソフトウェアでは、アコースティック入力モードを使用して実現され、Signal Path Setupの[Input Configuration]セクションの[acoustic]チェックボックスをオンにします(図6)。Acoustic チェックボックスがオンになると、その信号経路内で入力ユニットが電圧ユニットファミリーからPa/dBSPLに変更されます。

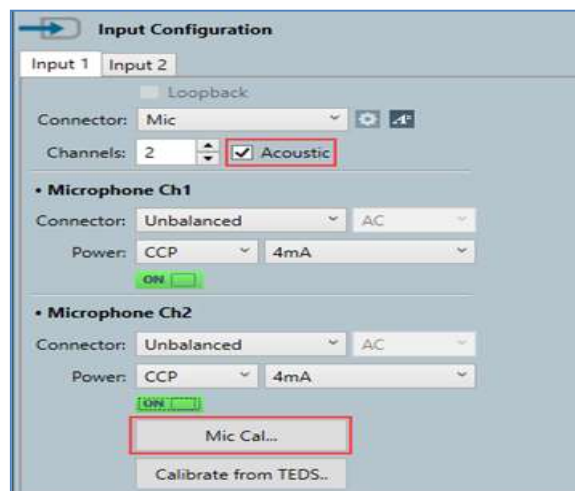


図6. APx Input Configuration

アコースティック入力モードでは、「mic cal...」というボタンは、Signal Path SetupのInput Configurationに表示されます。また、「reference」パネルの「input」セクションの「acoustic」タブからもアクセスできます。このボタンをクリックすると、図7に示す「Microphone Calibration」ダイアログが開きます。このダイアログは、接続されたマイクをサウンドレベル校正器で「校正」することを容易にします。まず、左上の適切なフィールドにキャリブレーションレベルを入力する必要があります。このダイアログの各チャンネルのレベルフィールドには、有効入力チャンネルで測定されたボルト単位の現在のrmsレベルが表示されます。マイクロホン「校正」するには、マイクロホン上で校正器をスライドさせ、レベル読み取り値が安定するまで固定します。次に、対応するチャンネル [calibration] ボタンをクリックします。システムはVrmsで測定されたrmsレベルをキャプチャし、指定された校正レベルとdBSPLから感度を計算するために使用します。

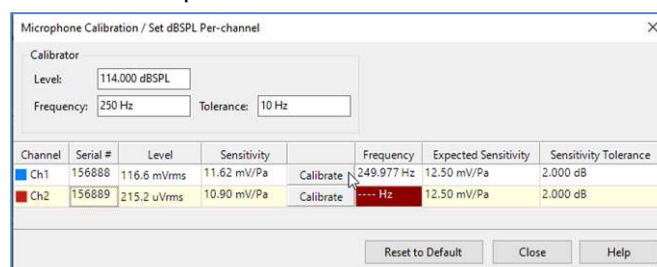


図7. チャンネル1のマイクの校正を行う際の校正ダイアログ

Microphone Calibrationダイアログのオプションを使用して、校正器の公称周波数と周波数許容値を指定できます。測定された周波数が公称周波数から指定された許容誤差を超える場合、図7のCh2に示すように、周波数は赤色で表示されます。各マイクロフォンチャンネルのオプションを使用して、シリアル数値、期待感度、および感度許容値を指定することもできます。calibrationボタンをクリックすると、測定された感度と予想される感度の差が感度許容値を超えると、感度フィールドが赤で表示されます。上記の処理に加えて、各チャンネルの「calibration」処理はSignal Path SetupのSequence Stepを介して実行できます。プロンプト・ステップを追加し、その「Message to Operator」を構成し、「dB SPL を設定」チェック・ボックスをオンにして、目的のチャンネルを選択するだけです（図8を参照）。図8のSequence Stepが実行されると、図9に示すプロンプトが表示されます。この場合、写真はわかりやすくするためにプロンプトの「外観」タブに追加されています。注：図7の「キャリブレーション周波数」フィールドと「予想される感度」フィールドに値を設定すると、プロンプトの許容範囲外の値が赤で表示され、シーケンスで測定が失敗します。

注意: APx517B CCP マイクロホン入力には TEDS 対応です。イヤースимуレータにTEDSでプログラム化されたCCPマイクロホンプリアンプがある場合、APxソフトウェアはプリアンプ内のチップから直接各マイクロフォンの感度(およびその他の重要な情報)を読み取り、その感度をアプロプリエートチャンネルに割り当てることができます。これは、手動で行うことも、シーケンスステップを介して行うこともできます。この目的のシーケンス手順は、付随するプロジェクトファイルに含まれていますが、チェックは外されています。

図8. Signal Path SetupのSequence Step内での指示図
校正器を左のイヤースимуレータ(Ch1)に挿入する指示

図9. Set dB SPL checkboxの図

電圧特性

イヤースимуレーターマイクが「calibration」されると、音響測定を行うことができます。IEC 60268-7 では、特性電圧を 500 Hz の正弦波信号のボルト年齢と定義しており、カプラまたはイヤースимуレータのイヤホンに印加すると、94 dBSPL の音圧レベルが生成されます。この電圧は、自動設定Genレベル機能を使用してAPxに実装できるレギュレーションプロセスを通じて検出されます。機能を使用するには、「Auto Gen Level...」というラベルのボタンをクリックします。Signal Path Setupの[reference]パネル(図10)の[Output reference]セクションにあります。これにより、ジェネレータレベルの自動設定ダイアログ(図11)が呼び出され、ジェネレータのRMSレベルを500Hzの周波数で94dBSPLの目標値に調整するように構成されます。

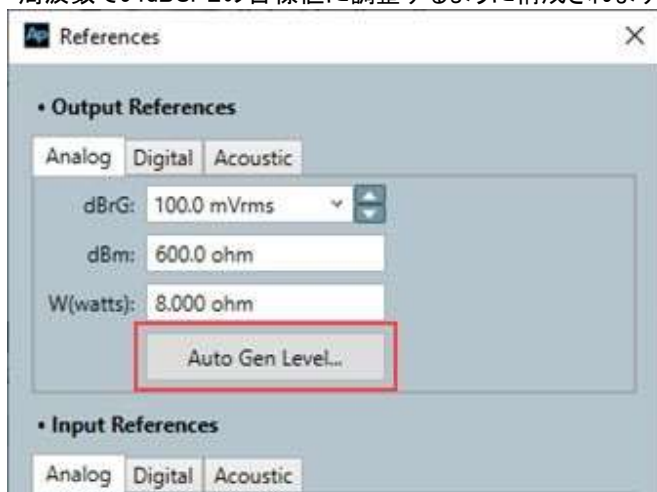


図10 Reference パネルの OutputReferences

ジェネレータ・レベルの自動設定プロセスが完了すると、アナログ出力dBrGリファレンスが、ターゲット・チャンネルのターゲット・レベル(500Hzで94dBSPL)をジェネレータ電圧に自動的に設定されます。その後、ジェネレータレベルを0dBrGに設定することで、同じ信号経路内の任意の測定でこのジェネレータレベルを設定できます。これは、付随するプロジェクトファイルがどのように構成されているかです。

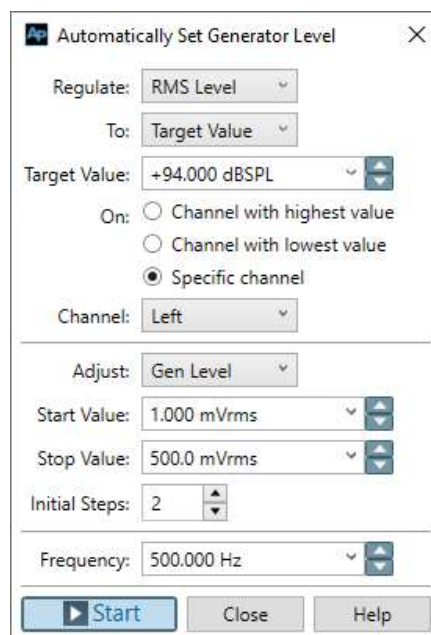


図11.Auto Set Generator Levelダイアログ

[Automatically Set generation level]ダイアログで、テスト対象のヘッドフォンに適したジェネレータレベルの開始値と停止値を入力する必要があります(図11)。これらは、Signal Path Setupの接続の確認パネルを使用して見つけるのが最適です。そこでジェネレータの電源を入れ、ターゲットチャンネルのdBSPLで測定されたrmsレベルをみながら、測定されたSPLが94dBSPLの目標値を下回ったり上回ったりするジェネレータレベルが見つかるまで、そのレベルを上下に調整することができます。したがって、ジェネレータレベルの自動設定機能を設定する前に、この接続の確認演習を完了することをお勧めします。.

Sequenceモードの自動ジェネレータ設定

ジェネレータレベルの自動設定機能は、Signal Path Setupの測定シーケンス設定ノードを使用して、シーケンスで自動で呼び出すことができます(図12)。ナビゲータでこのノードをクリックすると、「Measurement Sequence Settings」ダイアログが開きます。「Auto Set Generator Level」チェックボックスに注意してください。チェックすると、シーケンスが Sequence Stepの最後にあるSignal Path Setupに進むと、レギュレーションプロセスが実行されます。その結果、ピンネをインストールし、ヘッドフォンをテスト治具に配置するための図12に示すプロンプトは、自動セットジェネレータレベルの前に実行されます。

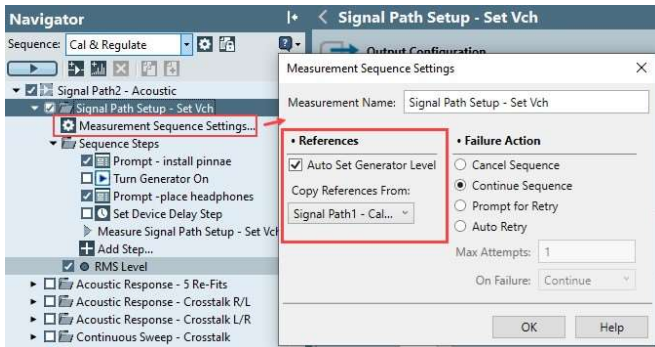


図12. Signal Path Setupの Measurement Sequence Settings

Signal Path間でのReferencesの複製

図12の[参照のコピー元]ドロップダウンコントロールは[Signal Path1 - Cal Ear Simulators]に設定されています。Signal Path1 - Cal Ear Simulatorから現在のSignal Path (Signal Path2 - Acoustic)にすべてのリファレンスをコピーするようにします。これにより、マイクロフォンの感度とジェネレータdBrGリファレンス電圧をある信号経路から別の信号経路に伝搬させることができます。

周波数応答とTHD

高調波歪みは、振幅の非線形性の1つの形態です。APxの音響応答測定と連続掃引測定はどちらも、対数掃引正弦波または「チャープ」測定技術を使用しており、周波数応答と全高調波歪み(THD)を同時に測定できます。音響応答は音響測定を目的としており、信号対雑音比を改善するための複数のスイープの平均化、RMSレベル、THDレベル、および2番目(H2)および3番目(H3)の高調波歪み積レベルを1つのグラフに示すレベルと歪みの結果などの機能を備えています。音響応答はまた、アコースティック測定は準無響スピーカー測定のためのインパルス応答をウィンドウ化します。この機能は、イヤシミュレータでのヘッドフォンテストには必要ありません。連続スイープ測定は、電気音響測定を目的としていますが、クロストーク測定を行う機能が組み込まれているため、プロジェクトファイルに含めました。高速および高精度モードを提供します。高速モードでは、チャンネル2のチャープ信号がチャンネル1に対して遅延するため、クロストークを1回のスイープで測定できます。高精度モードでは、測定チャンネルごとに個別の掃引が行われ、反対側のチャンネルではジェネレータが無効になります。

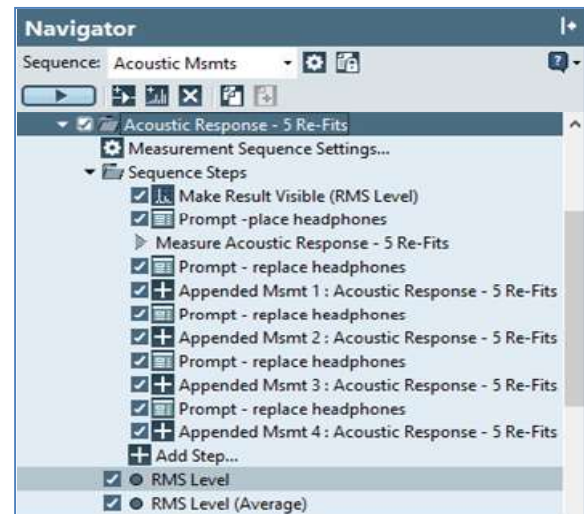


図13. アコースティック測定のSequence step

プロジェクトファイルでは、最初の音響応答測定の名前が“Acoustic Response - 5 Re-Fits”に変更されています。この測定には、5回の測定繰り返し用に構成するための一連のシーケンスステップが追加されています(図13)。各測定ステップの前にプロンプトが表示され、ヘッドフォンをテストフィクスチャ(最初の測定)に配置するか、ヘッドフォンを取り外してフィクスチャに交換するように指示しています。ここでの目的は、5つの同一の測定を行うことですが、ヘッドフォンは毎回テストフィクスチャに再フィットし、フィットによる応答変動を考慮して平均応答を計算できるようにすることです。これは、ヘッドフォンやイヤホンをテストするときに推奨される方法です。

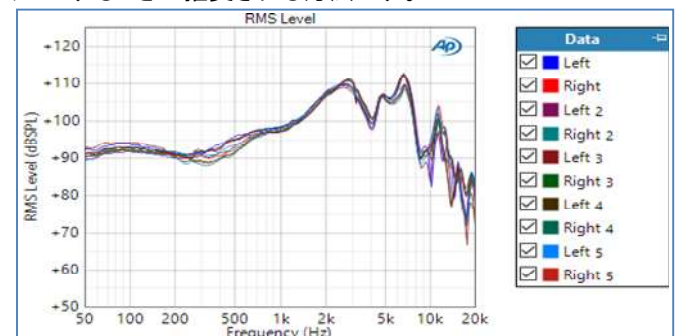


図14. 5回のヘッドフォンのRMSレベル応答

図14は、両方のチャンネルの5つの測定のrmsレベルの測定結果を示しています。この場合、ジェネレータレベルを0dBrGに設定し、上記で測定した特性電圧でヘッドフォンを駆動します。

APxソフトウェアの派生結果の表示

APxソフトウェアには、測定データに対して数学演算を実行するために使用できる多くの「派生結果」があり、製品の性能に関する洞察を得るのに役立ちます。これらのいくつかを以下に示します。APxでは、派生結果グラフはfxアイコンで示されます。

図15は、図14の5つのデータセットから導出されたPower Average結果を示し、5回のリフィット操作にわたって平均化された左右のイヤホンの応答を計算する。これにより、左右のイヤホンの再スポンスの違いをより簡単に確認でき、フィットによる変動をac-カウントできます。

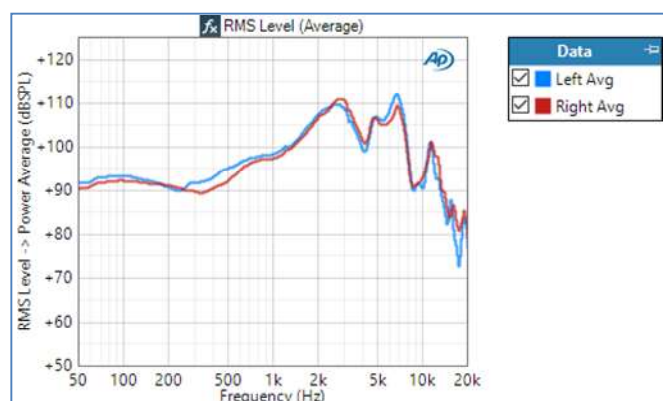


図15.5回の左右のイヤホンの応答の平均値

「左右トラッキング」と呼ばれるメトリックを使用すると、左右のイヤホンの応答が互いにどの程度一致しているかをより簡単に定量化できます。図16は、これらのヘッドフォンの左右のトラッキング結果を示しており、図15から導出された比較結果を使用して、周波数の関数としてチャンネル間のレベル応答比を計算します。この場合、完全に一致したイヤホンのペアの左右のトラッキングカーブは、0 dBで平坦なラインになります。図に示すように、100 Hzから10 kHzに制限が追加され、低周波でのリークや高周波でのイヤホンとピンネの機能との相互作用により、フィットの変動による応答の影響が少なくなります。

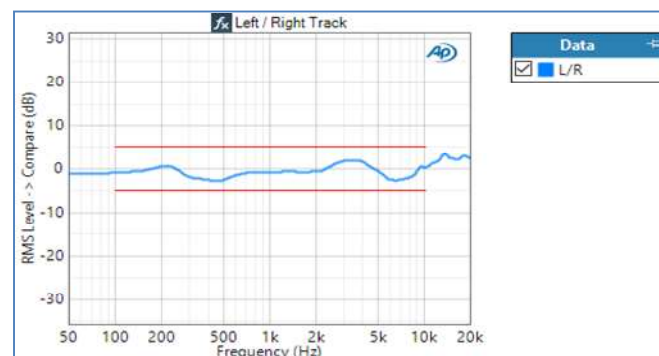


図16.左右のトラックの比較派生結果

このデータから導き出すことができるもう1つの有用なメトリックは、周波数範囲(500Hz~2kHz)内の平均応答です(図17)。この結果は、図15の空間平均データから派生したデータ・ポイントの指定結果から導出され、この周波数範囲内の応答曲線を取得しました。これは、特性電圧に等しい入力電圧による各イヤホンからの周波数出力レベルを表します。

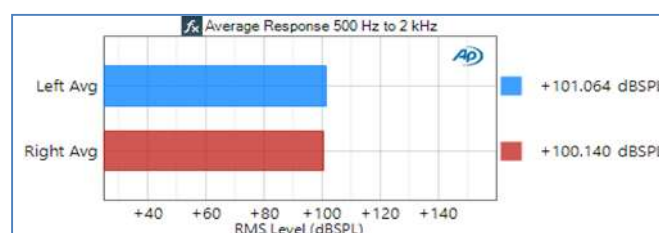


図17. 500 Hz ~ 2 kHzヘッドフォンの平均応答。

派生結果は、左右のイヤホン間の位相差を見つけるためにも使用され、5回の再フィットで平均化されています(図18)。この場合、算術平均XYの導出結果が使用されました。ヘッドフォンの導出結果のもう1つの用途は、周波数応答を設計ターゲット曲線と比較することです。これは、設計目標曲線の反転バージョンをEQ導出結果として測定された応答曲線に適用することによって実現できます。設計曲線と一致する測定曲線は、このEQの結果に0dBの平坦な線として表示されます。図19は、参考文献[10]で公開されているATEヘッドフォンの周波数応答設計ターゲット曲線を示しています。プロジェクトファイルでは、このカーブがインポートされ、反転され、EQカーブとして保存されました。図20は、テストしたヘッドフォンの左イヤホンの平均応答を、この設計目標曲線と比較した結果を示しています。

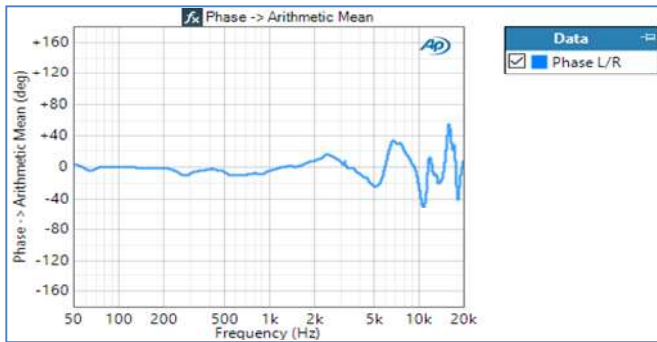


図18. 左右イヤホンの位相応答

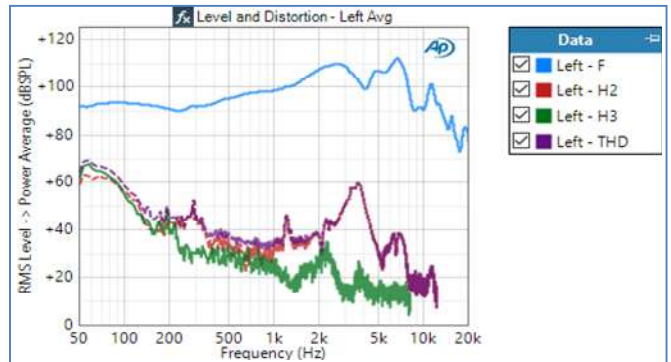


図 21. 左イヤホンの電力平均派生結果

レベルと歪みの結果では、THD、および歪み積H2とH3がdB SPLのそれらのレベルに基づいてプロットされるため、垂直軸をオーバーオールレベルと共有できます。THD比をパーセントで表した値を、図22の左イヤホンの周波数に対してプロットしたものです。電力平均の派生結果を使用して、左イヤホンの5回のリフィットに対する応答を平均化しました。

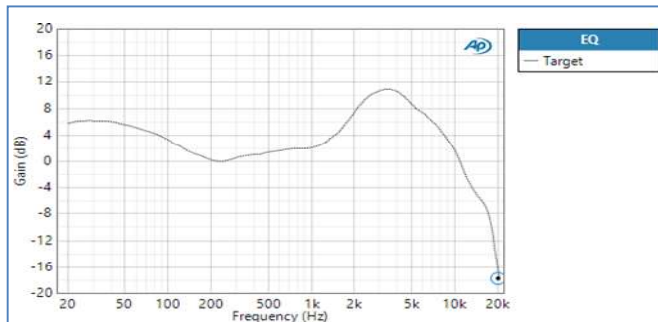


図19. AEとOEヘッドフォンのハーマンカーブ特性

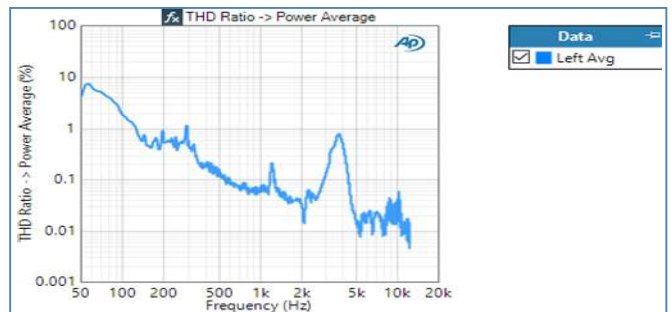


図22. 左イヤホンのTHD比応答

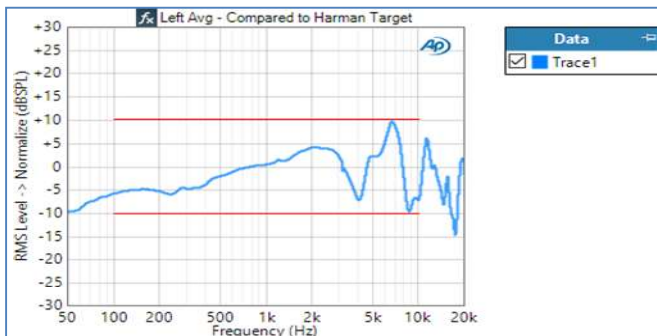


図20. イコライズした左のイヤホンの平均応答

前述のように、音響応答測定にはレベルと歪みの結果があり、全体的なrmsレベルと、周波数に対する合計、第2、第3高調波歪みのレベルが表示されます。5つの再適合によるこの測定の主な結果は、40トレース(4つのコンポーネントx 2チャンネルx 5データセット)です。左イヤホンの5つの再適合についてのみ一緒に平均化したデータを図21電力平均化導出結果に示します。

クロストーク

プロジェクトファイルの音響Signal Pathには、高精度モードクロストーク用に構成された連続スイープ測定が含まれています。このモードでは、測定は各出力チャンネルを無効にした状態で実行され、反対側のチャンネルの信号を測定して、チャンネル間のクロストークを決定します。図23は、ここでテストしたヘッドフォンのこの測定値の結果を示します。この測定のクロストーク結果は、各非駆動チャンネルに対して1つの結果しか持たないことに注意してください。同じグラフ上の左チャンネルと右チャンネルの両方のデータを取得するために、右軸がグラフに追加され、2番目のチャンネル用に構成されました。2つの垂直軸を持つグラフを使用する場合は、次に示すように、同じ範囲を持つように構成することをお勧めします。

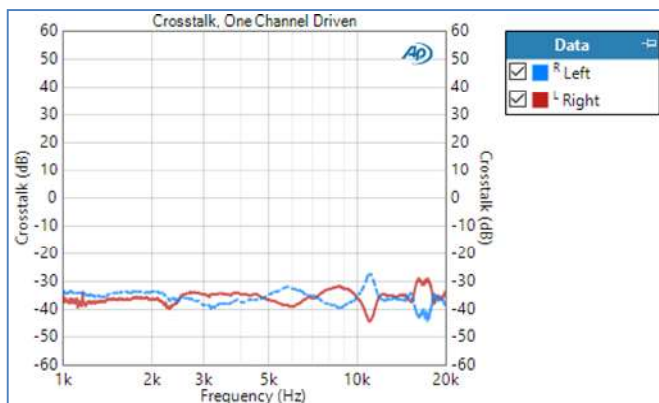


図23. Continuous Sweepを使った位相一周波数応答

クロストークを測定するための連続スイープ測定に代わる方法は、1つの発信チャンネルを無効にしてスイープを実行することです。次に、クロストークを決定するには、派生結果の比較を使用して、駆動チャンネルのレベルに対する非駆動チャンネルのレベルをトウインする比率を求めます。Signal Pathには、設定されたアコースティック応答測定(1つは左から右のクロストークを測定し、もう1つは右から左)も含まれています。

差分周波数歪み

差分周波数歪みは、相互変調歪み(IMD)の一種で、振幅の非線形性のもう1つの尺度です。IEC 60268-7で規定されていて、周波数が80Hz異なる2つの正弦波信号を等しいレベルで使用し、2次および3次(d2およびd3)の歪み特性がみれます。IMD測定は、歪み成分の一部が基本トーンよりも低い周波数で現れるのに対し、高調波歪み成分はデバイスの通過帯域を超える周波数で発生する可能性が高いため、帯域幅が制限されたシステムで特に役立ちます。シーケンスモードでは、APxソフトウェアはシングルトーンIMD(DFD)測定とIMD周波数スイープ測定を備えています。測定値は、歪み成分d2、d3、またはその両方を組み合わせた(d2+d3)ように構成することができます。図24は、今回テストした ATE ヘッドフォンの 300 Hz ~ 20 kHz の周波数に対する DFD 比 (d2+d3 構成) を示しています。



図24. ヘッドフォンのDFD Ratio (d2+d3)-周波数応答

電気インピーダンス

IEC 60268-7 では、イヤホンのインピーダンスのモジュールを 20 Hz ~ 20 kHz の範囲で測定および表示します。定格インピーダンスは、パワーアンプをデバイスにマッチングする目的でヘッドフォンメーカーによって指定された純粋な抵抗の値です。任意の周波数におけるインピーダンス曲線の最小値が定格インピーダンス値の80%以上になるように選択する必要があります。

インピーダンスを測定する場合、次の2つの方法があります。

1. **1-Channel Measurement:** 検出抵抗の両端の電圧を測定し、ドライバの両端の電圧をジェネレータ電圧から推測します。
2. **2-Channel Measurement:** 電流検出抵抗の両端の電圧とイヤホンドライバの両端の電圧を測定します。

オプション1は精度が低くても、1チャンネルを解放し、2チャンネルアナライザで音圧レベルとインピーダンスを同時に測定することができます。オプション1を使用する場合、出力インピーダンスが非常に低いパワーアンプを使用することが重要です。多くのヘッドフォンアンプの出力インピーダンスは数オーム以上であるため、インピーダンス計算に誤差が生じる可能性があります。オプション2が最も正確ですが、2つの入力チャンネルが必要です。これは APx517B で使用される方法です。ヘッドフォンコネクタの電圧を相互に検出し、ヘッドフォンパワーアンプの各チャンネルのフィードバックループに検出抵抗が組み込まれています。もう1つの考慮事項は、ほとんどのヘッドフォンでは、左右のイヤホンに共通のグランド接続があることです。したがって、インピーダンスを測定するときは、精度を確保するために各イヤホンを絶縁することが重要です。APx517は、信号経路ごとに片側のインピーダンス測定のみを可能にすることで、これを処理します。

APxプロジェクトファイルでは、インピーダンス測定用に2つの信号パス(1つは左イヤホン用、もう1つは右用)が追加されています。各Signal Pathには、インピーダンス/ティールスモール測定のインスタンスが1つ含まれています。これはAPx517Bのもう1つの便利な機能です:ヘッドフォンアンプでインピーダンス測定を行う場合、インピーダンス測定用に左または右のイヤホンを選択すると、測定中にシステムは反対側のヘッドフォンを切断します。これは、左右のイヤホンが通常、コモングラウンドを共有しているため、正確な測定のために回路から1つのイヤホンを取り外す必要があります。

図25は、テストしたヘッドフォンの左イヤホンについて測定されたインピーダンスを示しており、定格のインピーダンスは63Ωです。カーブには、Processed と Fit というラベルの付いた2つのトレースがあります。処理された曲線は、測定されたインピーダンス曲線のバージョンで、不要なデータを排除するために、最初の共振を超える周波数で対数点間隔に間引かれています。適合曲線は、Thiele-Small パラメータを見つける過程で処理されたデータに適合した曲線です。この例では、適合は、20 Hz ~ 1 kHz の周波数範囲で最も低い解像度の周囲の領域に制限されています。

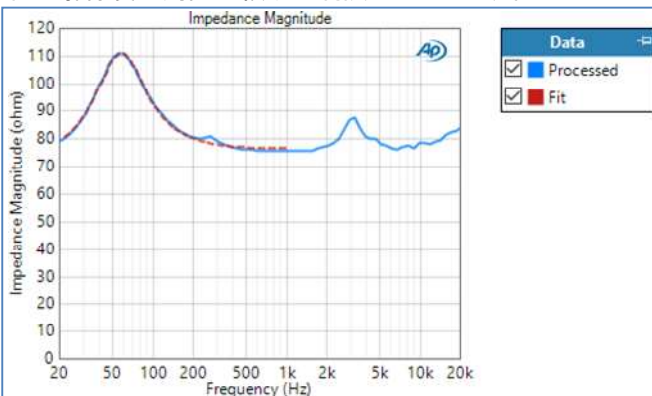


図25. 左イヤホンのインピーダンス振幅特性

プロジェクトファイルの利用

個々のシーケンスを実行するには、「ナビゲータ」の上部にある「シーケンス」ドロップダウンコントロールでシーケンスを選択し、「シーケンスを実行」ボタンをクリックします。前述のように、シーケンス - すべてのシーケンスを実行すると、プロジェクト全体が実行され、レポートが生成されます。