

とのちのオーディオルーム 補足資料

測定方法



2020/03/02

△1: 2019/08/12

記録用紙を使わず、直接 Excel シートにデータ入力

とのち流測定方法

とのちメソッドによる測定は、ANSI や JEITA などの規格で定められている業界標準の測定方法とは、若干異なる部分があります。アマチュアでも実施できる方法を自分なりに考えた結果です。全般的に精度がやや悪いですが、不具合や音質劣化要因の発見には有効と考えています。

測定項目によっては、業界標準よりも厳しい結果（性能が低い）になるものがあります。とのちメソッドでは、立派なデータを得ることが目的ではなく、音質劣化要因を見つけることを目的としているからです。一方、業界標準の測定方法はメーカーに有利になっていて、良好なデータが得やすくなっていると感じます。

自動車のカatalogに載っている燃費データは実燃費とかけ離れていますが、これは測定条件・方法が、良好なデータが得やすいように決められているからです。オーディオ業界でもこれと同じことが行われていると感じます（私の思い過ごしでしたら申し訳ありません）。

ここでは、とのち流オーディオ機器およびオーディオ・システムの測定方法について説明します。抵抗値や容量値の測定など、部品レベルの測定に関しては省略します。

内容

パワーアンプの測定	2
周波数特性	2
最大出力	3
残留ノイズ	4
チャンネル・セパレーション（クロストーク）	4
ダンピングファクター（DF）	5
リニアリティ	5
ひずみ率	6
方形波テスト	7
インパルス応答テスト	8
トーンバースト波テスト	8
消費電力	9
プリアンプの測定	10
周波数特性	10
最大出力	11
残留ノイズ	11
チャンネル・セパレーション（クロストーク）	12
リニアリティ	13
ひずみ率	14

方形波テスト	14
インパルス応答テスト	15
トーンバースト波テスト	16
消費電力	16
スピーカーの測定	17
インピーダンス特性	17
周波数特性	18
過渡特性	19
システム・レベル測定	20
タイムアライメント調整	20
周波数特性（スピーカー軸上 1mでの測定）	22
周波数特性（聴取位置での測定）	23
過渡特性	24
ひずみ率（THD、IMD）	25
部屋の音響特性の測定	26

パワーアンプの測定

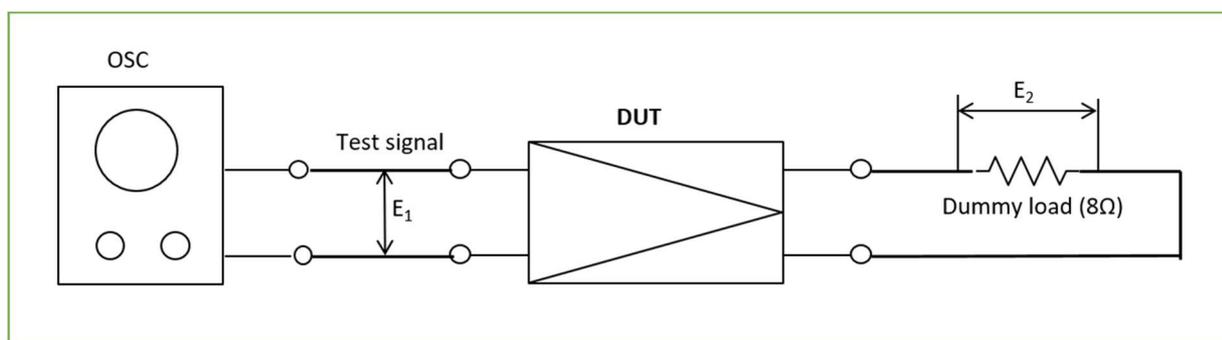
各項目で、DUT（Device Under Test）は、測定対象のパワーアンプを表します。

周波数特性

機器構成

デジタル・オシロで交流電圧（実効値）を測定します。DMMでは高周波領域を測定できないので、使用しません。

ダミーロードには、 8Ω 無誘導抵抗を用います。



条件

テスト信号には、1Hz～1MHzの正弦波を用います。

- 周波数ステップ：標準の 1.0, 1.25, 1.6, 2.0, 2.5, 3.15, 4.0, 5.0, 6.3, 8.0, 10, 12.5, ...
- 片チャンネルずつ測定：測定しないチャンネルは入力をグラウンドにショート
- DUTの入力アッテネーターは 0dB に合わせる（ゲイン最大）

- DUT の出力：1W（1kHz）

手順

1. DUT の電源を入れ、5分以上暖機運転をする。
2. DUT に 1kHz の正弦波を入力し、DUT の出力が 1W ($E_2=2.83V$) になるように、発振器の出力レベルを調節する。
3. 各周波数における E_2 を測定し、予め用意した測定シートにその値を書き込むする ($\Delta 1$)。この時、DC 電圧と波形を併せてチェックする。異常が見られるときは、波形を保存する。
4. ステップ 2、3 を出力が 0.01W ($E_2=0.283V$) および最大の 1/2 の時にも行う。
5. ~~測定が終わったら、測定値を予め用意した Excel シートに入力し、グラフ化する。~~ ($\Delta 1$)
6. 1kHz の測定値から、DUT のゲインを求める： $Gain[dB] = 20\log(E_2/E_1)$

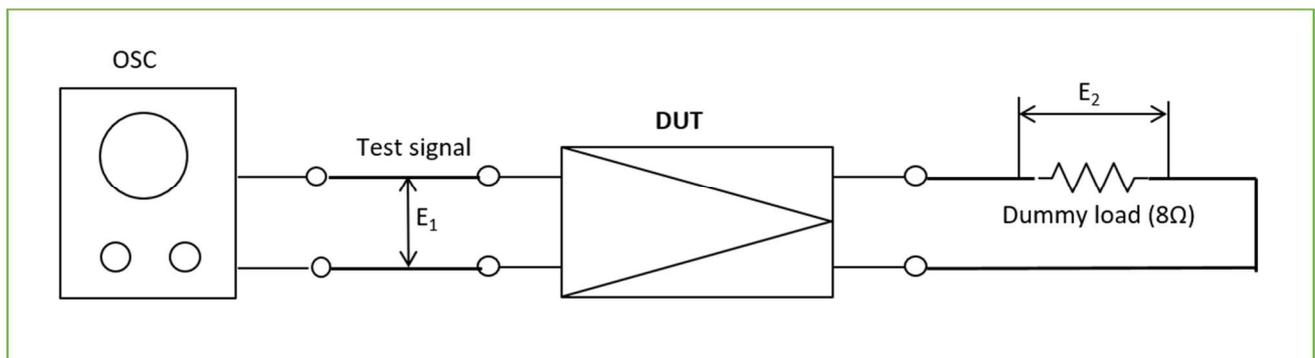
最大出力

機器構成

デジタル・オシロで交流電圧（実効値）を測定します。同時に波形を観測します。

ダミーロードには、 8Ω 無誘導抵抗を用います。

DMM で出力トランジスタの温度を測定します。出力トランジスタに温度プローブが届かない場合は、ヒートシンクの中央部分の温度を測定します。



条件

- テスト信号には 20Hz、100Hz、1kHz、10kHz、40kHz の正弦波を用いる
- 持続時間：1分間
- 片チャンネルずつと両チャンネル同時の、二つの条件で測定する
- 片チャンネルの測定では、もう片方のチャンネルの入力をグラウンドにショートする
- DUT の入力アッテネーターは 0dB に合わせる（ゲイン最大）

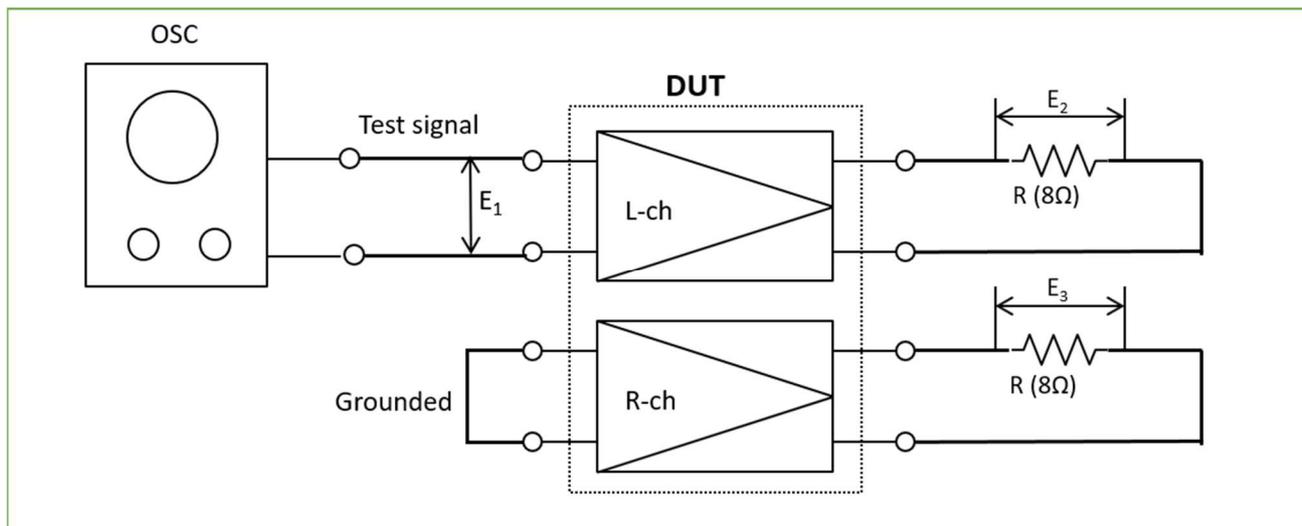
手順

1. DUT の電源を入れ、5分以上暖機運転する。
2. 波形を見ながら徐々に E_1 を上げ、 E_2 がクリップする寸前の出力レベルに固定する。
3. 波形と出力トランジスタの温度を監視しながら、1分間この状態を維持できることを確認する。
4. 1分経過時に波形と温度が安定していれば、その時の出力を最大出力とする ⇒ 測定値（電圧値）を記録
5. 1分経過時に波形が歪んでいれば、歪まないレベルまで出力を下げ、それを最大出力とする。
6. 1分経過時に波形が正常で、温度上昇が続いていて、かつ温度が許容値に近いときは、温度が安定するまで出力を下げ、それを最大出力とする。
7. 測定値を Excel シートに入力し、~~最大出力 [W]~~ を求める： $\Delta 1 P[W] = E_2^2/8$

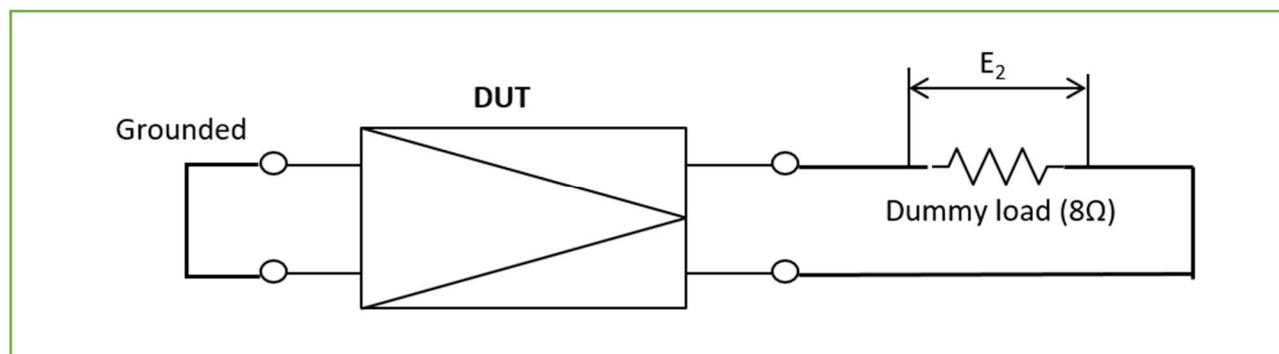
残留ノイズ

機器構成

デジタル・オシロで交流電圧（実効値）を測定します。同時に波形を観測します。
ダミーロードには、 8Ω 無誘導抵抗を用います。



業界標準の測定方法では、DUTの入力は 600Ω の抵抗でショートしますが、この方法では、市販のショートプラグでショートします。



条件

- A特性フィルターなどのフィルターは使わない
- DUTの入力アッテネーターは 0dB に合わせる（ゲイン最大）

手順

1. DUTの電源を入れ、5分間放置した後に測定する
2. 波形も記録する

チャンネル・セパレーション（クロストーク）

ステレオアンプのみの測定項目です。

機器構成

デジタル・オシロで交流電圧（実効値）を測定します。同時に波形を観測します。
ダミーロードには、 8Ω 無誘導抵抗を用います。

条件

- テスト信号には、 20Hz 、 1kHz 、 20kHz の正弦波を使用

- DUT の出力は 1W (2.83V) とする
- L→R、R→L の両方向を測定する
- DUT の入力アッテネーターは 0dB に合わせる (ゲイン最大)

手順

1. DUT を 5 分間暖機運転する
2. DUT の出力が 1W になるように (E_2 が 2.83V になるように)、 E_1 を調節する
3. E_2 を測定し、測定シートに記録する $\Delta 1$
4. Excel シートに入力し、チャンネル・セパレーションを計算する： $\Delta 1$ CS[dB] = $20\log(E_2/E_3)$

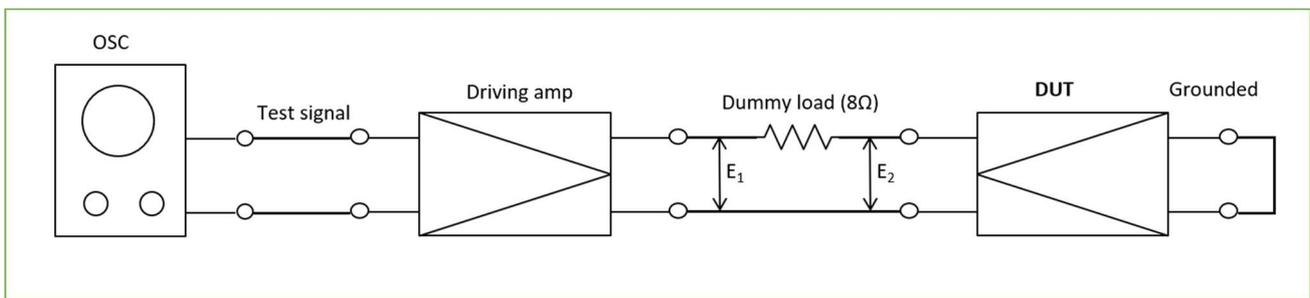
ダンピングファクター (DF)

機器構成

デジタル・オシロで交流電圧 (実効値) を測定します。

ダミーロードには、8Ω 無誘導抵抗を用います。

DUT 以外に、もう 1 台パワーアンプ (駆動アンプと呼びます) が必要です。



条件

- テスト信号には、20Hz、1kHz、20kHz の正弦波を使用
- 駆動アンプの出力は 1W (2.83V) とする
- DUT の入力アッテネーターは 0dB に合わせる (ゲイン最大)
- DUT がステレオアンプの場合は、片チャンネルずつ測定する
- DUT の入力はグラウンドに接続

手順

1. 2 台のパワーアンプを 5 分間暖機運転する
2. $E_1=2.83V$ (1W) になるように、発振器の出力を調整する
3. 電圧値 E_2 を測定し、記録する $\Delta 1$
4. E_1 、 E_2 を Excel シートに入力し、DF 値を求める： $\Delta 1$ DF = $E_1/E_2 - 1$

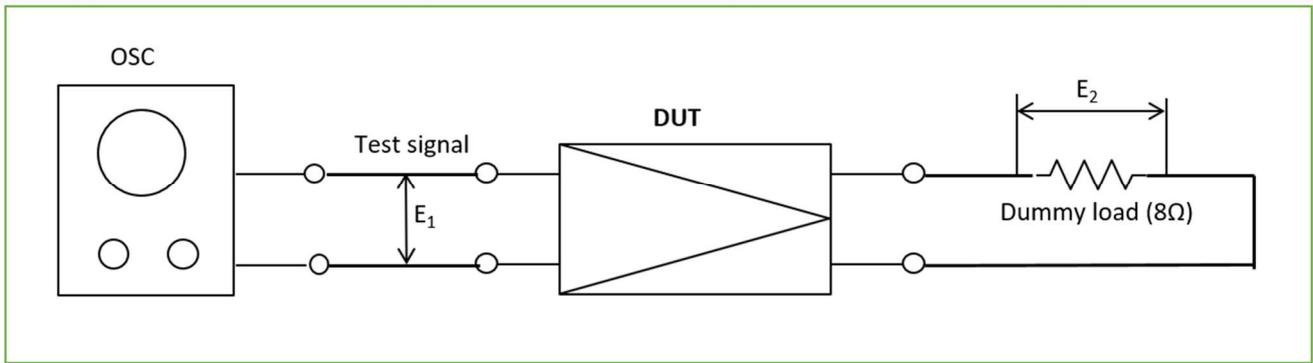
リニアリティ

出力 0.01W~最大までのゲインを測定します。

機器構成

デジタル・オシロで交流電圧 (実効値) を測定します。

ダミーロードには、8Ω 無誘導抵抗を用います。



条件

- テスト信号には、100Hz、1kHz、10kHz の正弦波を使用
- DUT の出力が、0.01W、0.1W、1W、10W、最大の時のゲインを測定
- DUT の入力アッテネーターは 0dB に合わせる（ゲイン最大）
- DUT がステレオアンプの場合は、片チャンネルずつ測定する
- 測定しないチャンネルの入力はグラウンドにショートする

手順

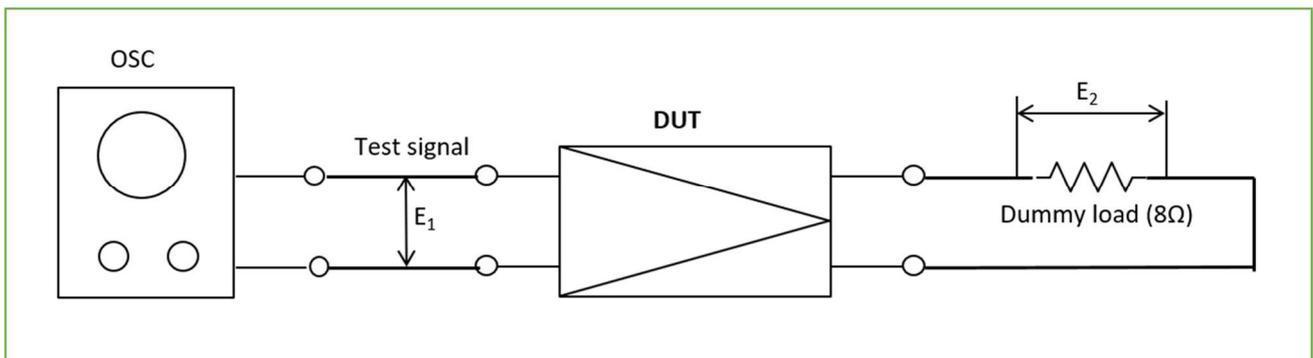
1. DUT を 5 分間暖機運転する
2. 発振器のアッテネーターを $E_2=2.83V$ (1W) になるように調整する
3. 電圧値 E_1 を測定し、記録する $\Delta 1$
4. $E_2=0.283V$ (0.01W)、0.894 (0.1W)、8.94V (10W) の時の E_1 を同様に測定し、記録する $\Delta 1$
5. DUT の出力が最大出力となるように発振器のアッテネーターを調整し、 E_1 、 E_2 を測定し、記録する $\Delta 1$
6. Excelシートに測定データを入力し、リニアリティのグラフを表示させる $\Delta 1$

ひずみ率

DUT に正弦波を入力したときの出力を FFT 解析し、歪率（THD、THD+N、IMD）と S/N 比（SNR）を求めます。

機器構成

デジタル・オシロで E_2 を測定するとともに、FFT 解析します。
ダミーロードには、8Ω無誘導抵抗を用います。



条件

- テスト信号には、100Hz、1kHz、10kHz の正弦波を使用
- DUT の出力が、1W、10W、および最大の時に測定
- DUT の入力アッテネーターは 0dB に合わせる（ゲイン最大）

- DUT がステレオアンプの場合は、片チャンネルずつ測定する
- 測定しないチャンネルの入力はグラウンドにショートする
- A 特性フィルターなどのフィルターは使わない

手順

1. DUT を 5 分間暖機運転する
2. 発振器の出力を 1kHz に調整する
3. E_1 を、 E_2 が 2.83V (1W) になるように調整する
4. E_2 を測定し、FFT 解析する
5. $E_2=8.94V$ (10W) と最大出力に対して、ステップ 4 を繰り返す
6. 周波数 100Hz および 10kHz に対して、ステップ 3-5 を繰り返す
7. 各測定値は、波形データとともに、ファイルとして保存する

方形波テスト

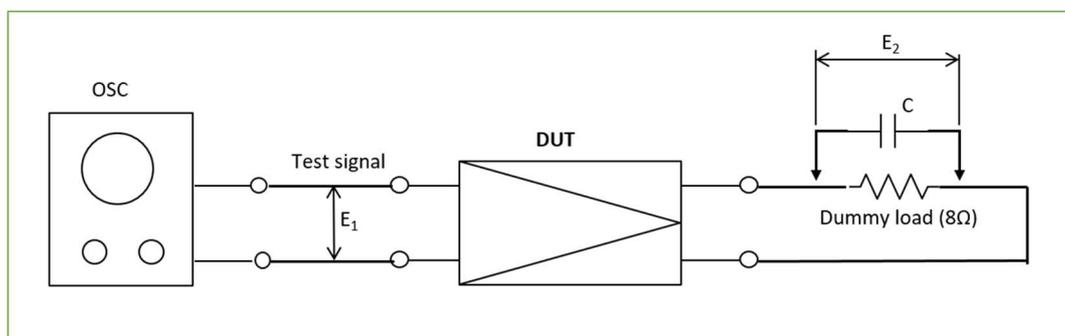
方形波を歪みなく増幅することができるかどうかを確認することで、アンプの過渡特性や安定度を確認します。

この項目は、測定だけでなく、オーバーシュートやリングングを最小にするように、回路定数を調整する作業も含まれます。

機器構成

デジタル・オシロで E_2 の波形を観測します。

ダミーロードには、 8Ω 無誘導抵抗とコンデンサ C ($=0.47\mu F$) を用います。



条件

- テスト信号には、100Hz、1kHz、10kHz の方形波を使用
- DUT の出力が、1W および 10W の時に測定
- C ($=0.47\mu F$) あり、C なしの両方の条件で測定
- DUT の入力アッテネーターは 0dB に合わせる (ゲイン最大)
- DUT がステレオアンプの場合は、片チャンネルずつ測定する
- 測定しないチャンネルの入力はグラウンドにショートする

手順

1. DUT を 5 分間暖機運転する
2. C を取り外す
3. 発振器の出力を 1kHz 方形波とする
4. E_1 を調整して E_2 が $2.83V_{peak}$ (1W) になるようにする
5. E_2 の波形を観測し、波形データをファイルとして保存する

6. $E_2=8.94V_{\text{peak}}$ (10W) となるように E_1 を調整し、ステップ 5 を繰り返す
7. 周波数 100Hz および 10kHz に対して、ステップ 4-6 を繰り返す
8. C を取り付け、ステップ 3-7 を繰り返す
9. 波形にオーバーシュートやリングングが見られるときは、位相補正回路の定数変更などの手段により、波形を整形する

インパルス応答テスト

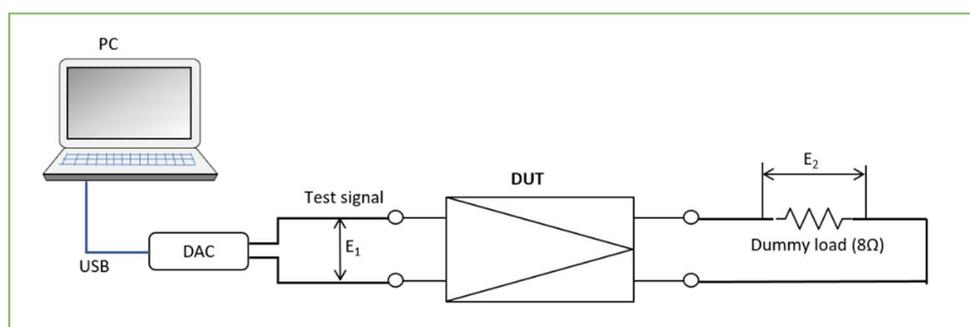
インパルス応答の波形を観測することで、アンプの過渡特性や安定度を確認します。

機器構成

デジタル・オシロで E_2 の波形を観測します。

ダミーロードには、 8Ω 無誘導抵抗を用います。

テスト信号は、予め PC を用いて生成します。解像度は 192 k Hz/24bit 以上とします。



条件

- テスト信号には、幅 50us のパルス波を使用
- DUT の出力が、正弦波を増幅した時に 1W になるように、DAC の出力レベルを調整する
- DUT の入力アッテネーターは 0dB に合わせる (ゲイン最大)
- DUT がステレオアンプの場合は、片チャンネルずつ測定する
- 測定しないチャンネルの入力はグラウンドにショートする

手順

1. DUT を 5 分間暖機運転する
2. DAC からパルス波の振幅と同じ波高値の方形波を出力させ、 E_2 が $2.83V$ ($=2.83V_{\text{peak}}$, 1W) になるように、出力レベルを調整する
3. DAC からパルス波を出力させ、 E_2 の波形を観測し、波形データをファイルとして保存する

トーンバースト波テスト

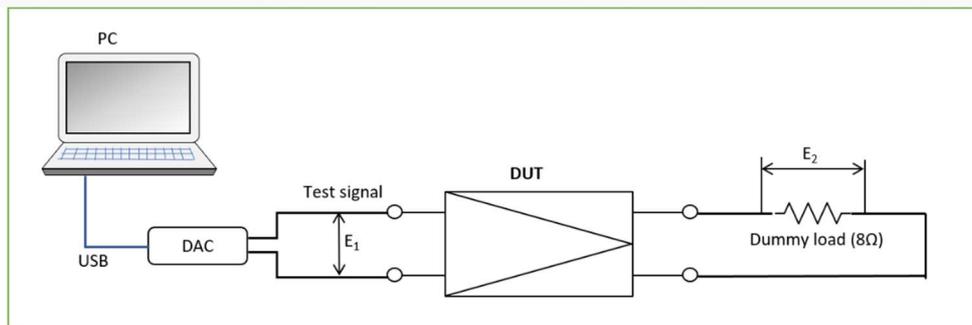
DUT に最大振幅のトーンバースト波を出力させ、波形を観測することで、DUT に動的なひずみがないことと、十分な安定度を持つことを確認します。

機器構成

デジタル・オシロで E_2 の波形を観測します。

ダミーロードには、 8Ω 無誘導抵抗を用います。

テスト信号は、予め PC を用いて生成します。解像度は 192 k Hz/24bit 以上とします。



条件

- テスト信号には、正弦波 1 周期で、デューティー比 1:12 のトーンバースト波を使用
- 正弦波の周波数は、20Hz、160Hz、800Hz、2.5kHz、6.8kHz、20kHz（800Hz と 6.8kHz は Gaudi II のクロスオーバー周波数）
- DUT の出力が、DUT の最大出力になるように、 E_1 を調整する
- DUT に入力アッテネーターがある場合は、0dB に合わせる（ゲイン最大）
- DUT がステレオアンプの場合は、片チャンネルずつ測定する
- 測定しないチャンネルの入力はグラウンドにショートする

手順

1. DUT を 5 分間暖機運転する
2. E_2 を、DUT の出力が最大になるように調整する
3. PC からトーンバースト波を出力させる
4. E_2 の波形を観測し、波形データをファイルとして保存する

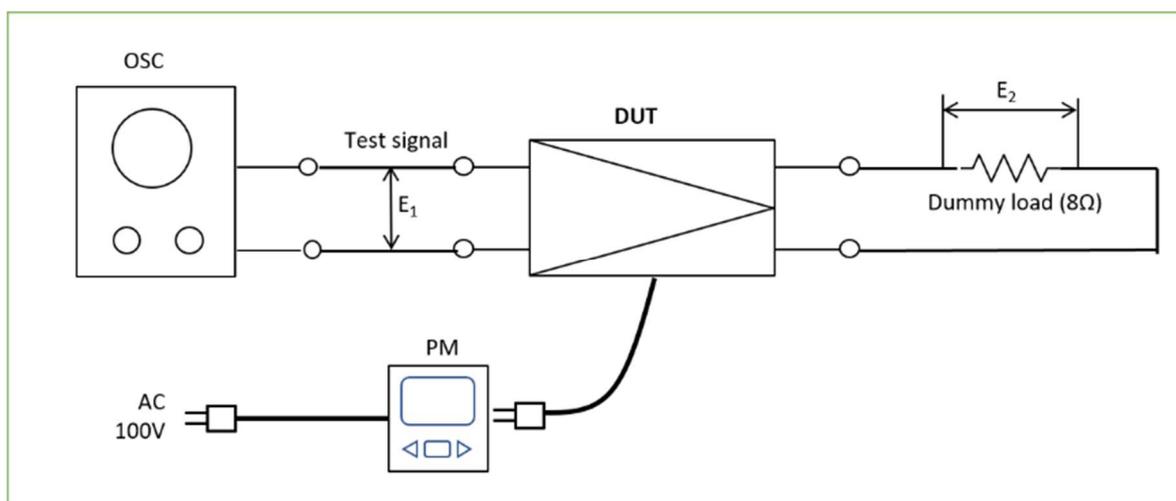
消費電力

機器構成

電力計で DUT の消費電力を測定します。

ダミーロードには、8Ω 無誘導抵抗を用います。

テスト信号には、正弦波を用います。



条件

- テスト信号には、20Hz、1kHz、20kHz の正弦波を使用
- DUT の出力 (E_2) がゼロ、1W、最大時の消費電力を測定、電源オフ時も併せて測定
- DUT に入力アッテネーターがある場合は、0dB に合わせる（ゲイン最大）

- DUT がステレオアンプの場合は、両チャンネル同時動作させる

手順

1. DUT を 5 分間暖機運転する
2. E_1 の周波数を 1kHz にセットする
3. E_1 の電圧を調整し、 E_2 が 2.83V (1W) になるようにする
4. 電力計の指示値を読み取る
5. ステップ 4 を繰り返し、DUT の出力がゼロおよび最大時の消費電力を測定する
6. ステップ 3-5 を繰り返して、周波数が 20Hz および 20kHz の時の消費電力を測定する
7. 電源オフ時の電力計の指示値を読み取る

プリアンプの測定

各項目の DUT (Device Under Test) は、測定対象であるプリアンプを表します。DUT には、プリアンプに加えて、チャンネル・デバイダー、フォノ EQ アンプ、デジタル・オーディオ・プレーヤーも含まれます。

周波数特性

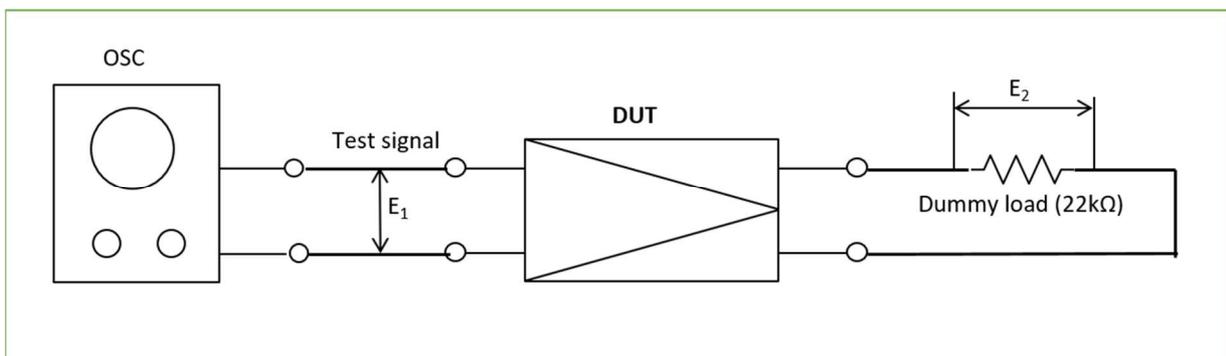
フォノ EQ を含むプリアンプの場合は、フォノ入力⇒プリ出力だけでなく、フォノ入力⇒EQ 出力の特性も測定します。

チャンネル・デバイダーの場合は、出力ごとに測定します (HIGH、MID、LOW)。

機器構成

デジタル・オシロで交流電圧 (実効値) を測定します。DMM は高周波領域を測定できないので、使用しません。

ダミーロードには、1 W、22k Ω の抵抗を用います (自作ダミーロード・ケーブル)。



条件

テスト信号には、1Hz～1MHz の正弦波を用います。

- 周波数ステップ：標準の 1.0, 1.25, 1.6, 2.0, 2.5, 3.15, 4.0, 5.0, 6.3, 8.0, 10, 12.5, ...
- 片チャンネルずつ測定：測定しないチャンネルは入力をグラウンドにショート
- DUT のボリュームは、最大、-20dB、-40dB、-60dB の 4 通り
- DUT の出力：1V (1kHz)

手順

1. DUT の電源を入れ、5 分以上暖機運転をする。

2. DUT に 1kHz の正弦波を入力し、DUT の出力 (E_2) が 1V になるように、発振器の出力レベルを調節する。
3. 各周波数における E_2 を測定し、記録する。 $\Delta 1$
4. 測定が終わったら、測定値を予め用意した Excel シートに入力し、グラフ化する。 $\Delta 1$
5. 1kHz の測定値から、DUT のゲインを求める： $\text{Gain}[\text{dB}] = 20\log(E_2/E_1)$

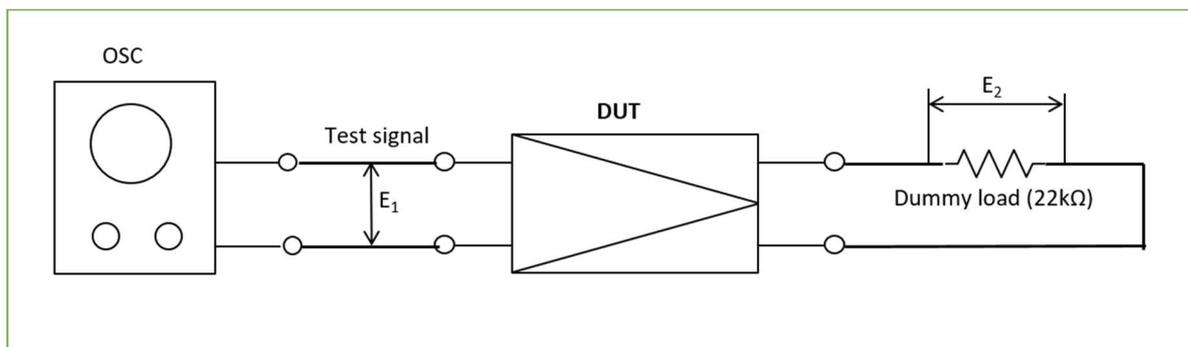
最大出力

プリアンプの最大出力は、システム設計上 2V (実効値) と規定されているので、2V 以上で出ることを確認すればよいだけなのですが、回路動作の妥当性や安定性を確認するために、実際にどれだけの出力を歪みなく出せるかを測定します。

機器構成

デジタル・オシロで交流電圧 (実効値) を測定します。同時に波形を観測します。

ダミーロードには、1W、22k Ω の抵抗を用います (自作ダミーロード・ケーブル)。



条件

- テスト信号には 20Hz、1kHz、20kHz の正弦波を用いる
- 片チャンネルずつと両チャンネル同時の、二つの条件で測定する
- 片チャンネルの測定では、もう片方のチャンネルの入力をグラウンドにショートする
- DUT のボリュームは最大とする

手順

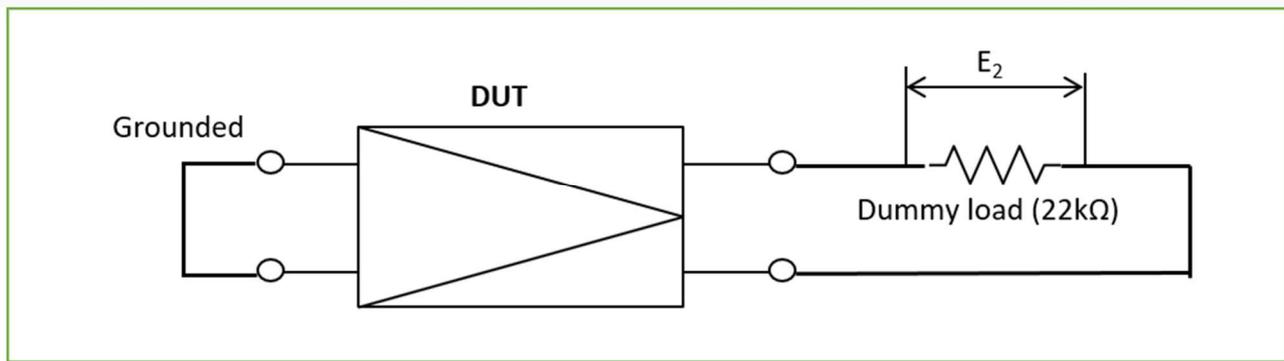
1. DUT の電源を入れ、5分以上暖機運転する
2. 波形を見ながら徐々に E_1 の電圧を上げ、 E_2 がクリップする寸前のレベルに固定する
3. 1分経過時に、測定値 (電圧値) を記録

残留ノイズ

機器構成

デジタル・オシロで交流電圧 (実効値) と直流電圧を測定します。同時に波形を観測します。

業界標準の測定方法では、DUT の入力は 600 Ω の抵抗でショートしますが、とのちメソッドでは、市販のショートプラグでショートします。



条件

- A 特性フィルターなどのフィルターは使わない
- DUT のボリュームは 0dB に合わせる (ゲイン最大)

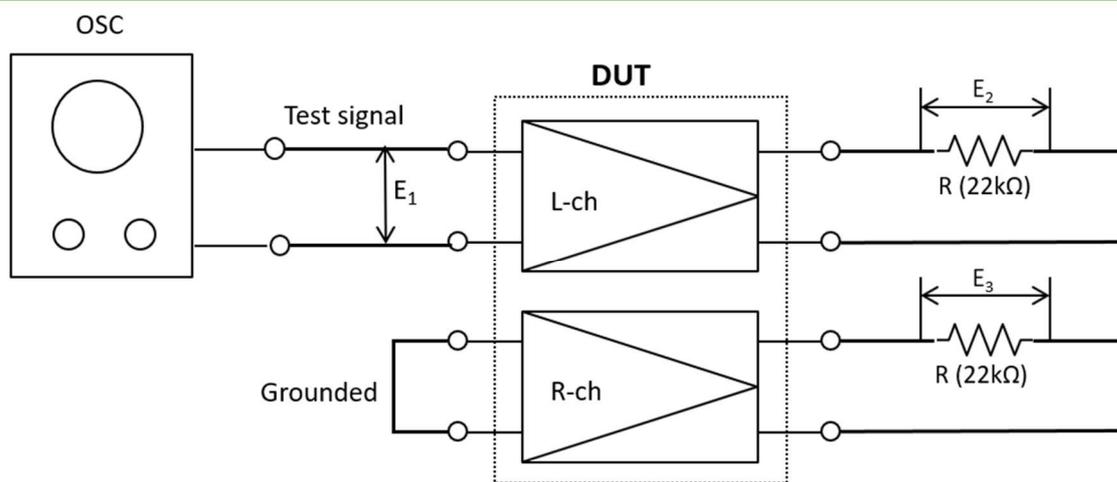
手順

1. DUT の電源を入れ、5 分間放置した後に測定する
2. E_2 の交流および直流電圧、および波形を測定→記録する ΔI

チャンネル・セパレーション (クロストーク)

機器構成

デジタル・オシロで交流電圧 (実効値) を測定します。同時に波形を観測します。



条件

- テスト信号には、20Hz、1kHz、20kHz の正弦波を使用
- DUT の出力は 1V とする
- L→R、R→L の両方向を測定する
- DUT のボリュームは 0dB に合わせる（ゲイン最大）

手順

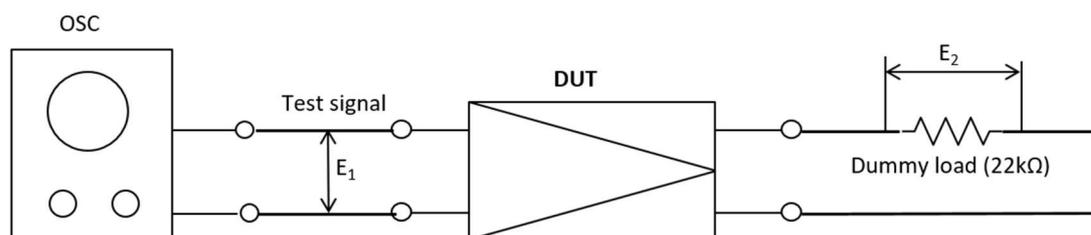
1. DUT を 5 分間暖機運転する
2. E_2 が 1V になるように、 E_1 を調節する
3. E_3 を測定し、測定シートに記録する ΔI
4. Excelシートに入力し、チャンネル・セパレーションを計算する： ΔI CS[dB] = $20\log(E_2/E_3)$

リニアリティ

出力-80dB (0.2mV) ~最大までのゲインを測定します。

機器構成

デジタル・オシロで交流電圧（実効値）を測定します。



条件

- テスト信号には、100Hz、1kHz、10kHz の正弦波を使用
- DUT の出力 E_2 が、0.2mV (-80dB)、2mV (-60dB)、20mV (-40dB)、200mV (-20dB)、2V (0dB)、最大出力時の E_1 を測定
- DUT のボリュームは最大
- 片チャンネルずつ測定し、測定しないチャンネルの入力はグラウンドにショートする

手順

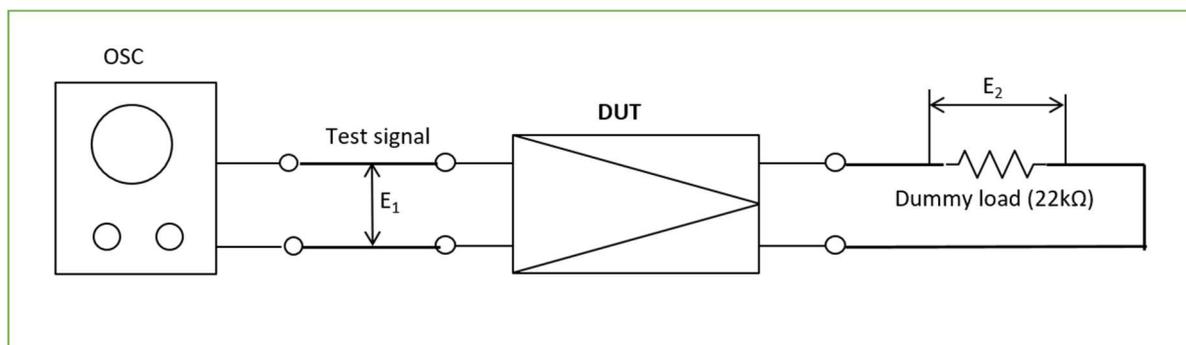
1. DUT を 5 分間暖機運転する
2. E_1 を調整し、 E_2 が所定の値になるようにする
3. 電圧値 E_1 を測定し、記録する $\Delta 1$
4. Excelシートに測定データを入力し、リニアリティのグラフを表示させる $\Delta 1$

ひずみ率

DUT に正弦波を入力したときの出力を FFT 解析し、歪率（THD、THD+N、IMD）と S/N 比（SNR）を求めます。

機器構成

デジタル・オシロで E_2 を測定するとともに、FFT 解析します。



条件

- テスト信号には、100Hz、1kHz、10kHz の正弦波を使用
- DUT の出力が、2V の時に測定
- DUT のボリュームは最大にする
- DUT がステレオアンプの場合は、片チャンネルずつ測定する
- 測定しないチャンネルの入力はグラウンドにショートする
- A 特性フィルターなどのフィルターは使わない

手順

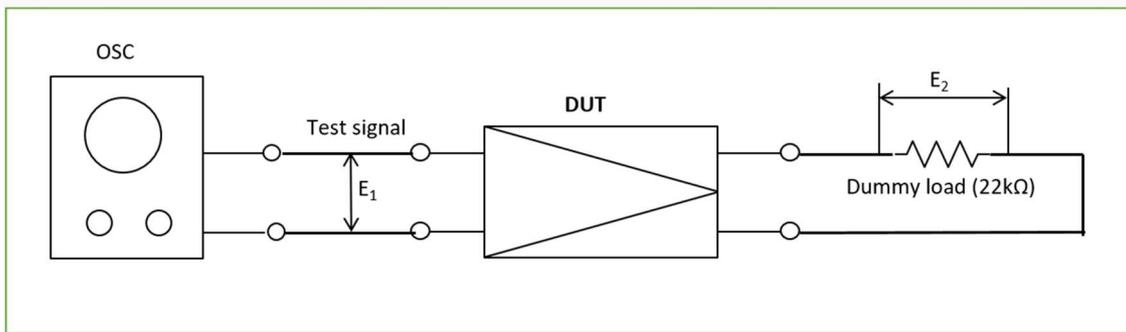
1. DUT を 5 分間暖機運転する
2. 発振器のアッテネーターを、DUT の出力が 2V になるように調整する
3. E_2 をデジタル・オシロスコープにより FFT 解析する
4. 各測定値は、波形データとともに、ファイルとして保存する

方形波テスト

方形波を歪みなく増幅することができるかどうかを確認することで、アンプの過渡特性や安定度を確認します。

機器構成

デジタル・オシロで E_2 の波形を観測します。



条件

- テスト信号には、100Hz、1kHz、10kHz の方形波を使用
- DUT の出力 (E_2) が、2V の時に測定
- DUT のボリュームは最大にする
- 測定しないチャンネルの入力はグラウンドにショートする

手順

1. DUT を 5 分間暖機運転する
2. E_2 が $2V_{rms}$ ($=2V_{peak}$) になるように、 E_1 を調整する
3. E_2 の波形を観測し、波形データをファイルとして保存する

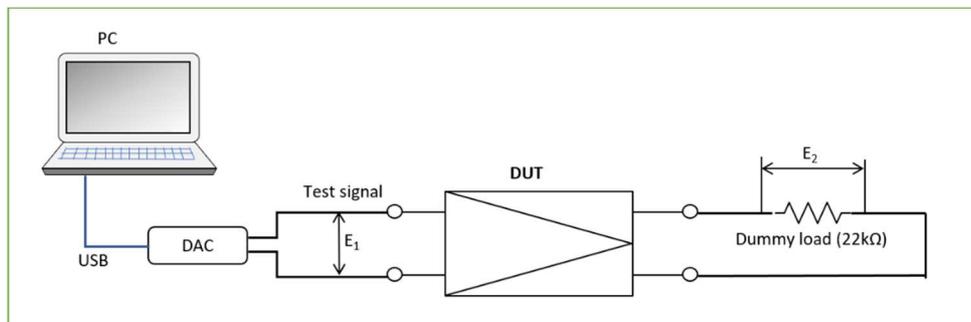
インパルス応答テスト

インパルス応答の波形を観測することで、アンプの過渡特性や安定度を確認します。

機器構成

デジタル・オシロで E_2 の波形を観測します。

テスト信号の生成には、PC と USB DAC を使用します。解像度は 192 k Hz/24bit 以上とします。



条件

- テスト信号には、幅 50us のパルス波を使用
- DUT の出力レベル (E_2) は $2V_{peak}$
- DUT のボリュームは最大とする
- 測定しないチャンネルの入力はグラウンドにショートする

手順

1. DUT を 5 分間暖機運転する
2. E_2 が 2V になるように、 E_1 のレベルを調整する
3. E_2 の波形を観測し、波形データをファイルとして保存する

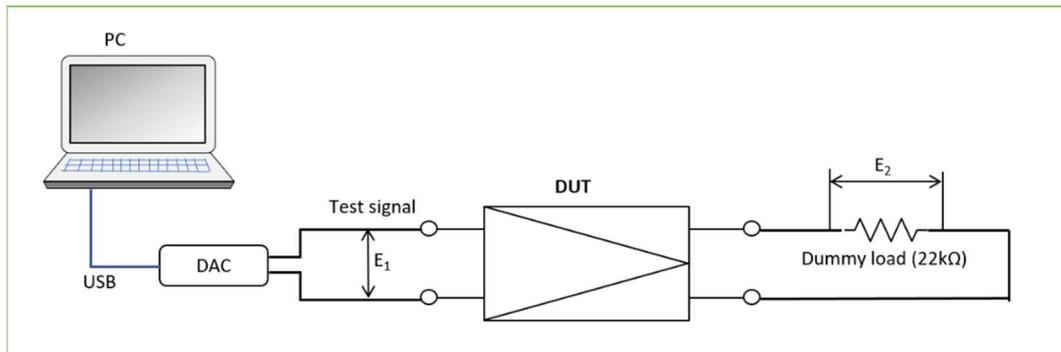
トーンバースト波テスト

DUTに最大振幅のトーンバースト波を出力させ、波形を観測することで、DUTに動的なひずみがないことと、十分な安定度を持つことを確認します。

機器構成

デジタル・オシロで E_2 の波形を観測します。

テスト信号は、PCとUSB DACを使って生成します。解像度は192kHz/24bit以上とします。



条件

- テスト信号には、正弦波1周期で、デューティ比1:12のトーンバースト波を使用
- 正弦波の周波数は、20Hz、1kHz、20kHz
- DUTの出力(E_2)が2V(=2.83V_{peak})になるように、DACの出力レベル(E_1)を調整する
- DUTがボリュームを備えている場合、最大にする
- 片チャンネルずつ測定し、測定しないチャンネルの入力はグラウンドにショートする

手順

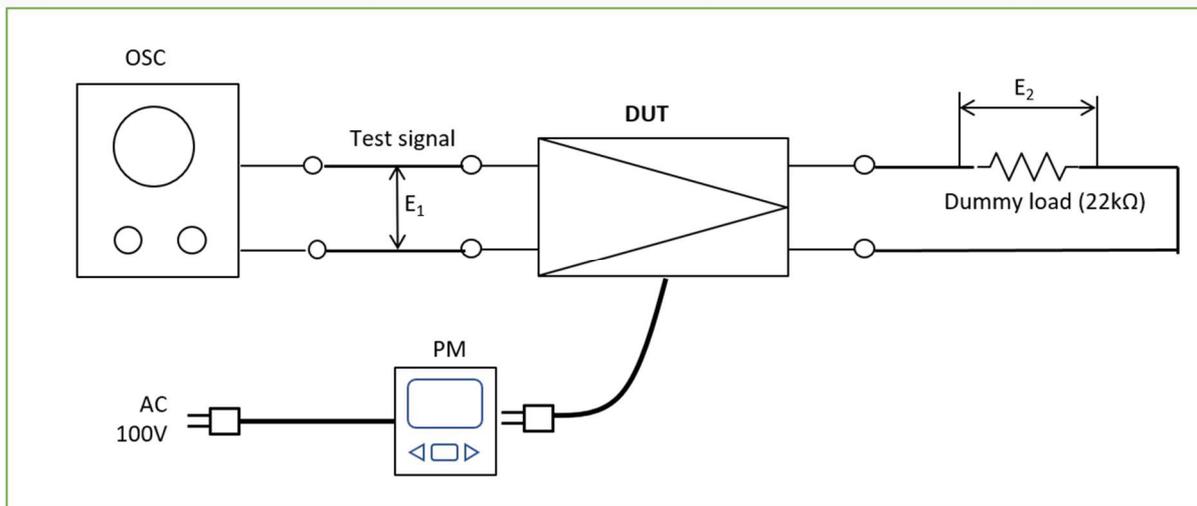
1. DUTを5分間暖機運転する
2. E_1 を、 E_2 が2.83V_{peak}になるように調整する
3. E_2 の波形を観測し、波形データをファイルとして保存する

消費電力

機器構成

電力計でDUTの消費電力を測定します。

テスト信号には、正弦波を用います。



条件

- テスト信号には、20Hz、1kHz、20kHz の正弦波を使用
- DUT の出力 (E_2) がゼロ、2V、最大時の消費電力を測定、電源オフ時も併せて測定
- DUT に入力アッテネーターがある場合は、0dB に合わせる (ゲイン最大)
- DUT がステレオアンプの場合は、両チャンネル同時動作させる

手順

1. DUT を 5 分間暖機運転する
2. E_1 の周波数を 1kHz にセットする
3. E_1 の電圧を調整し、 E_2 が 2V になるようにする
4. 電力計の指示値を読み取る
5. ステップ 4 を繰り返し、DUT の出力がゼロおよび最大時の消費電力を測定する
6. ステップ 3-5 を繰り返して、周波数が 20Hz および 20kHz の時の消費電力を測定する
7. 電源オフ時の電力計の指示値を読み取る

スピーカーの測定

ここではウーファーおよびフルレンジ・ユニットの測定方法を規定します。スピーカーおよびツイーターの測定は、単体ではなく、システム・レベルで行います。

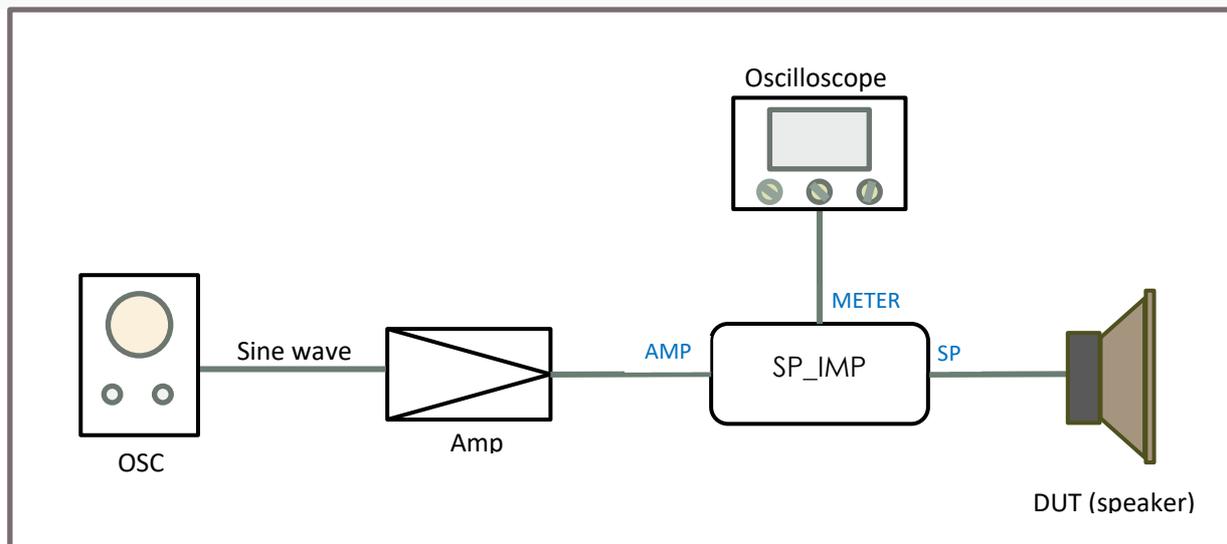
インピーダンス特性

ボイスコイル・インピーダンスの周波数特性を測定します。

機器構成

発振器、パワーアンプ、DMM、および自作測定治具 SP_IMP を用います。

テスト信号には、正弦波を用います。



条件

- テスト信号は以下の周波数の正弦波： 20, 22, 25, 27.5, 31.5, 35, 40, 45, 56, 63, 70, 80, 89, 100, 110, 125, 140, 160, 175, 200Hz; それ以上の周波数は通常のステップで 20kHz まで
- スピーカーの出力音圧はおおよそ 70dB (@1m) とする（厳密に合わせる必要はない）

手順

1. SP_IMP の VR をゼロにする
2. 発振器の周波数を 200Hz にセットする
3. 発振器の出力を徐々に上げ、スピーカーの出力音圧がおおよそ 70dB となるようにする
4. 周波数を測定したい値に調整する
5. SP_IMP のスイッチ (SW) を切り替えながら **DMM-オシロスコープ** で電圧を測定し、SW がどちらの側になっていても同じ電圧値になるように、SP_IMP のつまみを調整する
6. SP_IMP のつまみの指示値を読み取り、記録する ΔI (この値がボイスコイル・インピーダンスに相当する)
7. ステップ 5-7 を繰り返してすべての周波数について測定する

周波数特性

可聴帯域内 (20Hz~20kHz) で正弦波をスイープさせ、DUT の周波数特性を測定します。

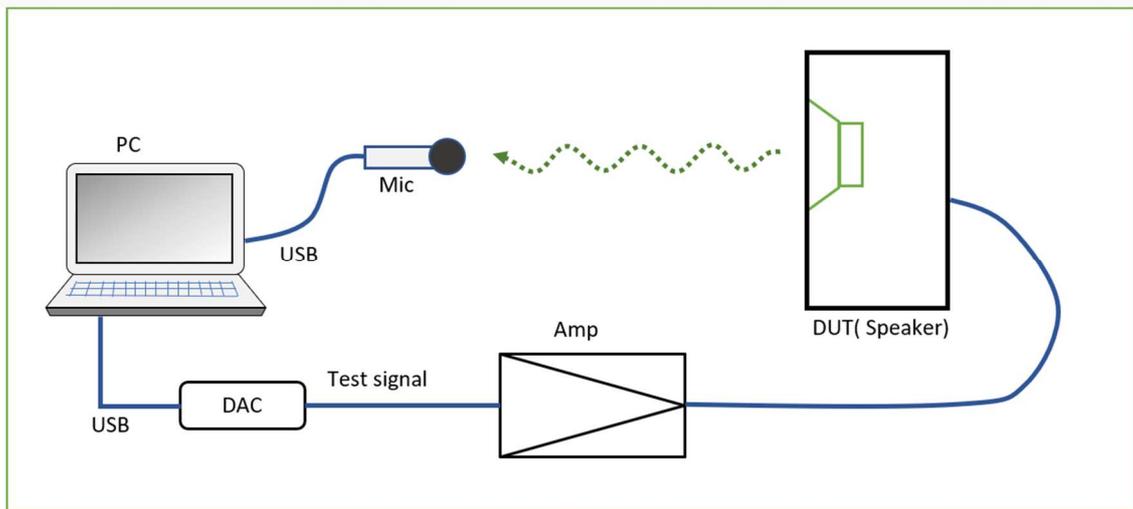
PC と測定用ソフトを用いて、半自動的に測定します。2019 年 5 月現在、測定ソフトには Room EQ Wizard (REW) を使用することを前提としていますが、将来的には他のソフトに切り替える可能性があります。

測定ソフトの後処理により、床、壁、天井からの反射音を除去し、無響室での測定に近い結果を得ます。

ここで規定する手順は、Texas Instruments 社のアプリケーション・レポート (文献-35) を参考にしたものです。手順の詳細については、文献をご覧ください。

機器構成

測定ソフトをインストールした PC、USB DAC、測定用マイクロフォン、パワーアンプを用います。



条件

- テスト信号： 20Hz～20kHz の正弦波スイープ
- DUT（スピーカー）の出力音圧（SPL）： 約 80dB（@315Hz）
- DUTのスピーカー・ユニット（SPユニット）の高さが、床と天井の中間位置になるように設置
- マイクロフォンのキャリブレーションデータを測定ソフトに読み込ませ、測定誤差を最小限に抑える

手順

測定は、ニアフィールド測定とファーフィールド測定の2段階で行います。低音域はニアフィールドで、高音域はファーフィールドで測定します。

1. 低音域と高音域の境界周波数（ f_m ）を、SPユニットの振動板有効半径（ a ）から、次式に基づいて計算する

$$f_m \leq c / (2\pi a)$$
 ここで、 $c=345[\text{m/s}]$ （音速）
2. ニアフィールド測定時のSPユニットとマイクの間隔（ d ）を次式に基づき計算する

$$d = 0.11 \times a$$
3. マイクをニアフィールド（SPユニットの軸上 d [m]の位置）に設置する
4. 315Hzの正弦波をDUTに出力させて、マイク位置の音圧が80dBになるようにアンプのボリュームを調整する
5. 20～20,000[Hz]の正弦波スイープ測定を行う
6. マイクをファーフィールド（SPユニットの軸上 1[m]の位置）に設置する
7. 315Hzの正弦波をDUTに出力させて、マイク位置の音圧が80dBになるようにアンプのボリュームを調整する
8. $f_m \sim 20,000[\text{Hz}]$ の正弦波スイープ測定を行う
9. 測定データを時間領域のデータに変換し、インパルス応答波形を表示させる
10. ウィンドウを調整し、床や壁からの反射音成分を除去する
11. ニアフィールドとファーフィールドのデータを合成し、全帯域のデータを得る
12. 1/24オクターブ・スムージングを行い、最終データを得る

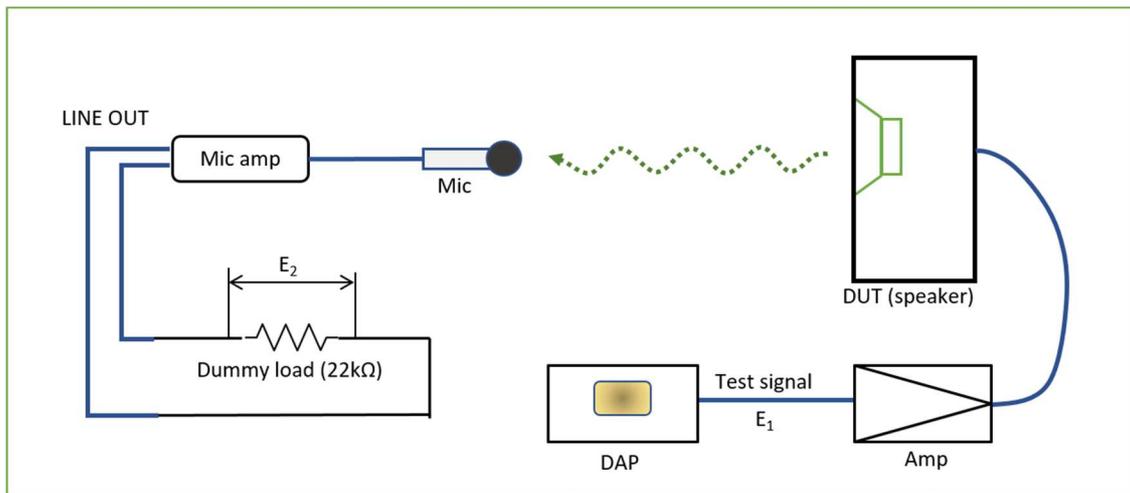
過渡特性

パルス波をDUTに出力させ、それをマイクロフォンで捉え、波形を観測します。

機器構成

パルス波のファイルを保存したデジタル・オーディオ・プレーヤー（DAP）、アンプ、測定用マイクロフォン、マイクアンプをします。

マイクロフォンでキャッチした信号の波形を、デジタル・オシロスコープで観測・記録します。



条件

- テスト信号：幅 $40\mu\text{s}$ のパルス波
- DUT（スピーカー）の出力音圧（SPL）：約 80dB
- DUT のスピーカー・ユニット（SP ユニット）の高さが、床と天井の中間位置になるように設置

手順

1. マイクロフォンを SP ユニットの軸上 1m の距離に設置する
2. DUT から 315Hz の正弦波を出力させ、音圧が 80dB となるように、アンプのボリュームを調整する
3. DUT からパルス波を出力させ、その時のマイク出力（ E_2 ）の波形を観測および記録する

システム・レベル測定

システム全体の性能を測定します。つまり、システム全体が DUT となります。オーディオ・システムを評価する上で必須の測定です。

スピーカー測定とほぼ同じ内容の正弦波スイープ測定とインパルス応答測定を行います。正弦波スイープ測定で周波数特性（周波数領域の性能）を求め、インパルス応答測定で、過渡応答（時間領域の性能）を求めます。

正弦波スイープ測定データを FFT 解析して、ひずみ率（THD および IMD）を求めます。

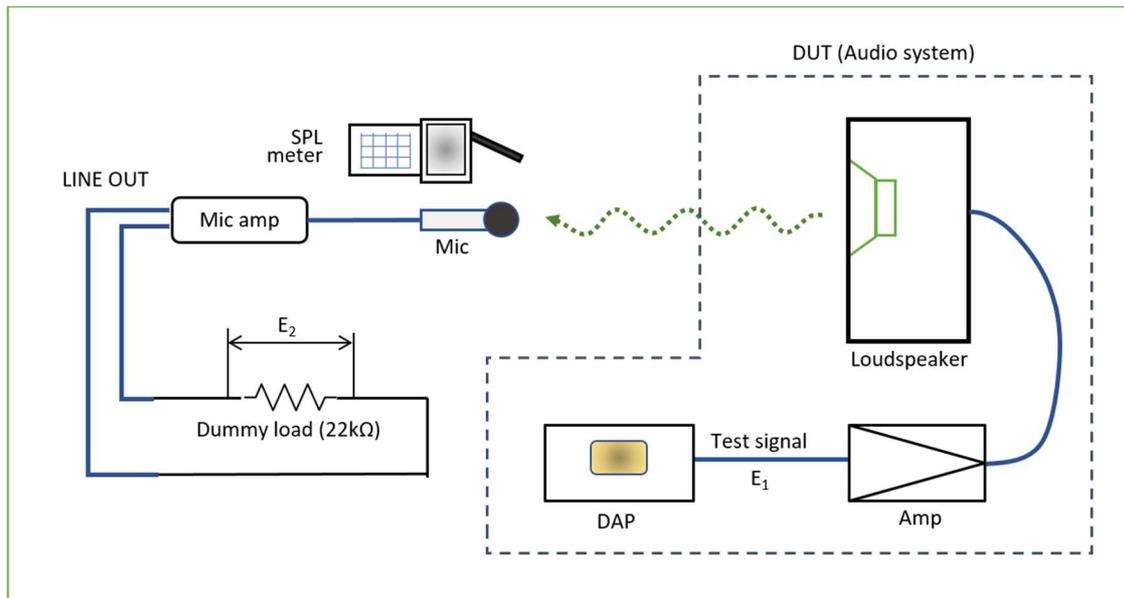
以上の測定に先立ち、単発正弦波を用いて、スピーカー・ユニット（SP ユニット）間のタイムアライメントの測定と調整を行います。タイムアライメントが周波数特性やインパルス応答波形に大きく影響するからです。

タイムアライメント調整

単発正弦波（一波だけの正弦波）を用いて、各 SP ユニットから出力される音波が聴取位置に同時に到達するように調整します。

機器構成

- 信号生成：PC上で波形生成ソフトを用いて生成、WAVファイルに保存
- テスト信号の入力：WAVファイルをDAPに格納
- 測定器：測定用マイクロフォン、マイクアンプ、デジタル・オシロスコープ、音圧計
- その他：マイクスタンド、マイクアンプ用ダミーロード（22k ohm）



条件

- テスト信号：一周期のみの正弦波
- 周波数：120Hz（ウーファー受け持ち帯域の中間周波数）、800Hz（下側クロスポイント）、3kHz（スクーカー受け持ち帯域の中間周波数）、6.8kHz（上側クロスポイント）、16kHz（ツイーター受け持ち帯域の中間周波数） [注]
- WAVファイルの仕様：192kHz/24bit以上の分解能、L+R
- DUTの出力音圧（SPL）：約80dB（@3kHz）
- マイク設置位置：聴取位置
- 片チャンネルずつ測定

[注] Gaudi IIの仕様に合わせて決めた周波数なので、システム設計の変更に伴って、変更する可能性があります。

手順

1. DAPの出力のうち片チャンネルのみアンプに接続し、他方はオシロスコープのA-chに接続する（ E_1 ）
2. アンプの入力のうち、使わないチャンネルはグラウンドに接続する
3. 3kHzの連続正弦波を出力し、聴取位置での音圧が約80dBとなるようにボリュームを調整する（音圧計を使用）
4. マイクアンプの出力をオシロスコープのB-chに接続する
5. A-chの立ち上がりでトリガーがかかるようにオシロスコープを設定する
6. 単発正弦波を出力し、波形（ E_1 、 E_2 ）を観測、保存する
7. E_1 から E_2 への遅延時間を測定する
8. ステップ6～7をすべての周波数に対して実行する
9. 各ユニットの受け持ち帯域の中間周波数がすべて同じ遅延時間となるように、チャンネル・デバイダの遅延回路とツイーターの設置位置を調整する [注]

10. もう片チャンネルについても、ステップ 1～9 を実行する

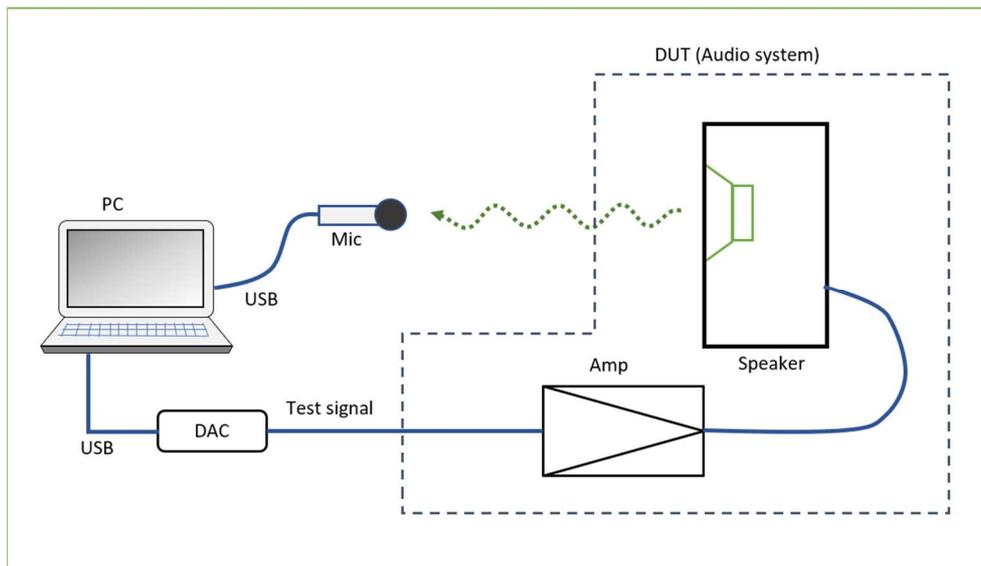
[注] クロスポイントでタイミングを合わせる方法もあるようですが、このメソッドでは中間周波数で合わせます。
クロスポイントでは、時間差に加えて、フィルターによる位相差が含まれるからです。

周波数特性（スピーカー軸上 1mでの測定）

可聴帯域内（20Hz～20kHz）で正弦波をスイープさせ、DUTの周波数特性を測定します。
内容はスピーカー測定の場合とほぼ同じです。

機器構成

- 信号生成：PC上の測定ソフト（2019年5月現在 Room EQ Wizard を使用）でテスト信号（正弦波スイープ）を生成
- テスト信号の入力：USB DAC を介して PC からテスト信号を出力し、アンプの LINE 入力に接続する
- 測定器：測定用マイクロフォン（マイクアンプおよび ADC 内蔵タイプ、キャリブレーションデータ付き）、PC上の測定ソフト
- その他：マイクスタンド



条件

- テスト信号：20Hz～20kHz の正弦波スイープ
- DUT の出力音圧（SPL）：約 80dB (@315Hz)
- マイクロフォンのキャリブレーションデータを測定ソフトに読み込ませ、測定誤差を最小限に抑える
- 片チャンネルずつ測定

手順

測定は、ニアフィールド測定とファーフィールド測定の2段階で行います。低音域はニアフィールドで、高音域はファーフィールドで測定します。

1. 低音域と高音域の境界周波数（ f_m ）を、ウーファアの振動板有効半径（ a ）から、次式に基づいて計算する

$$f_m \leq c / (2\pi a)$$

ここで、 $c=345[\text{m/s}]$ （音速）

- ニアフィールド測定時のウーファーとマイクの間隔（ d ）を次式に基づき計算する

$$d = 0.11 \times a$$

- マイクをニアフィールド（ウーファーの軸上 d [m]の位置）に設置する
- 315Hz の正弦波を DUT に出力させて、マイク位置の音圧が 80dB になるようにアンプのボリュームを調整する
- 20～20,000[Hz]の正弦波スイープ測定を行う
- マイクをファーフィールド（ツイーターの軸上 1[m]の位置）に設置する
- 3kHz の正弦波を DUT に出力させて、マイク位置の音圧が 80dB になるようにアンプのボリュームを調整する
- $f_m \sim 20,000$ [Hz]の正弦波スイープ測定を行う
- 測定データを時間領域のデータに変換し、インパルス応答波形を表示させる
- ウィンドウを調整し、床や壁からの反射音成分を除去する
- ニアフィールドとファーフィールドのデータを合成し、全帯域のデータを得る
- 1/24 オクターブ・スムージングを行い、最終データを得る
- もう片チャンネルに対して、ステップ 3～12 を繰り返す

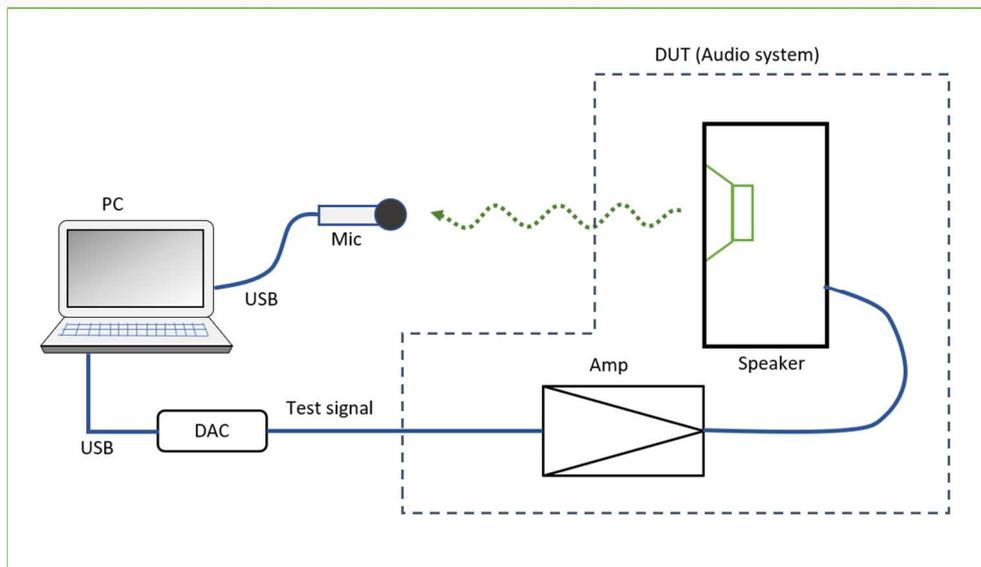
周波数特性（聴取位置での測定）

可聴帯域内（20Hz～20kHz）で正弦波をスイープさせ、DUT の周波数特性を測定します。

内容はスピーカー軸上 1mでの測定とほぼ同じですが、全帯域をファーフィールドで測定します。測定用マイクロフォンは、聴取位置に設置します。

機器構成

- 信号生成：PC 上の測定ソフト（2019 年 5 月現在 Room EQ Wizard を使用）でテスト信号（正弦波スイープ）を生成
- テスト信号の入力：USB DAC を介して PC からテスト信号を出力し、アンプの LINE 入力に接続する
- 測定器：測定用マイクロフォン（マイクアンプおよび ADC 内蔵タイプ、キャリブレーションデータ付き）、PC 上の測定ソフト
- その他：マイクスタンド



条件

- テスト信号：20Hz～20kHzの正弦波スイープ
- DUTの出力音圧（SPL）：約80dB（@315Hz）
- マイクロフォンのキャリブレーションデータを測定ソフトに読み込ませ、測定誤差を最小限に抑える
- 片チャンネルずつ測定

手順

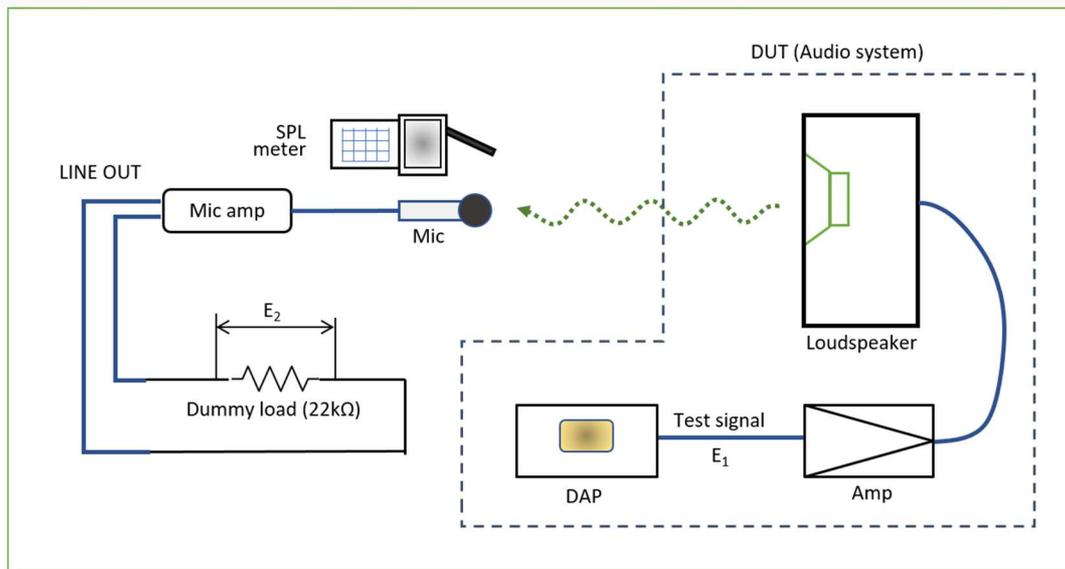
1. マイクを聴取位置に設置する
2. 3kHzの正弦波をDUTに出力させて、マイク位置の音圧が80dBになるようにアンプのボリュームを調整する
3. 20～20,000[Hz]の正弦波スイープ測定を行う
4. 測定データを時間領域のデータに変換し、インパルス応答波形を表示させる
5. ウィンドウを調整し、床や壁からの反射音成分を除去する
6. 1/24オクターブ・スムージングを行い、最終データを得る
7. もう片チャンネルに対して、ステップ2～6を繰り返す

過渡特性

パルス波をDUTに出力させ、それをマイクロフォンで捉え、波形を観測します。

機器構成

- 信号生成：PC上で波形生成ソフトを用いて生成、WAVファイルに保存
- テスト信号の入力：WAVファイルをDACに格納
- 測定器：測定用マイクロフォン、マイクアンプ、デジタル・オシロスコープ、音圧計
- その他：マイクスタンド、マイクアンプ用ダミーロード（22k ohm）



条件

- テスト信号：幅 $40\mu\text{S}$ のパルス波
- マイク設置位置：ツイーター軸上 1m の位置、および聴取位置
- WAV ファイルの解像度：192kHz/24bit 以上
- DUT（スピーカー）の出力音圧（SPL）：約 80dB
- 片チャンネルずつ測定

手順

1. マイクロフォンをツイーターの軸上 1m の距離に設置する
2. DUT から 3kHz の正弦波を出力させ、音圧が 80dB となるように、アンプのボリュームを調整する
3. DUT からパルス波を出力させ、その時のマイク出力 (E_2) の波形を観測および記録する
4. マイクを聴取位置に置き、ステップ 2~3 を実行する
5. もう片チャンネルに対して、ステップ 1~4 を実行する

ひずみ率（THD、IMD）

周波数特性測定時のデータを用いて、ひずみ率を求めます。測定ソフト（2019年6月現在 Room EQ Wizard）に備わっている機能を利用します。

機器構成

新たに測定しないので、機器は必要ありません。

条件

- テスト信号：正弦波スイープ
- マイクロフォン設置位置：ツイーター軸上 1m および聴取位置
- 片チャンネルずつ計算する

手順

1. 測定ソフトに測定データをロードし、ひずみ率を計算させる

部屋の音響特性の測定

オーディオ機器の測定とは別に、部屋自体の音響特性を測定する必要があります。残響時間、反射率、定在波の測定などです。

この分野はまだ勉強中で、測定方法を定めるまでに至っていません。

[END OF DOCUMENT]

NOBODY Audio

とのちのオーディオルーム 補足資料