
アナライザ システム ユーザガイド

リニア パラメータ 測定

By KLIPPEL GmbH

January 16, 2006
Copyright © 2000-2002 Klippel GmbH
Aussiger Str. 3, 01277 Dresden, Germany
www.klippel.de

目次

LPM-チュートリアル	4
概要	4
LPM 結果のビュー (part 1)	5
概要	5
リニアモデリング	5
リニアスピーカパラメータの表	5
伝達関数	5
測定された時間信号	6
状態変数のスペクトラム	6
信号特性	6
新しい LPM を行なう (part 2)	6
ハードウェア接続	7
設定パラメータの選択	7
測定方法の選択	8
測定のスタート	9
LPM のカスタマイズ (part 3)	10
識別のチェック	10
測定のスピードアップ	10
ノイズレベルの低減	11
追加マイクロフォンの使用	11
密閉エンクロージャにマウントされたドライバの測定方法	11
歪の測定	11
コメントの追加	11
レーザ無しの動作	11
最良のパフォーマンスを得る方法	13
LPM - リファレンス	15
プロパティ・ページ	16
DESCRIPTION ページ	16
DRIVER ページ	16
STIMULUS ページ	16
INPUT ページ	18
METHOD ページ	18
IM/EXPORT ページ	19
故障とトラブルシューティング	25
概要	25
エラーと警告メッセージ	25
最初のデータは既に取得	25
WARNING: 印加信号が OUT 1 へ加えられる	25
アンプリファイアがスイッチオフ	26
必要な励起レベルが認識されない	26
スピーカが接続されていない	26
入力キャリブレーション係数が範囲外	26
DC ボイスコイル抵抗 R の測定が破綻	26

指定シャント抵抗が測定 DC インピーダンスより大きい	26
電流信号が適切でない	27
電圧信号が適切でない	27
変位信号が適切でない	28
電圧センサがリミット	28
電流センサがリミット	28
マイクロフォン信号がリミット	29
その他の問題	29
Thiele-Small パラメータが 0.....	29
ドライバの共振がフィットしない.....	29

LPM-チュートリアル

概要

測定モジュールは、電動トランスデューサの電気・機械パラメータ（Thiele-Small パラメータ）を識別します。LSI（大信号パラメータを識別）と対照的に小信号ドメイン・パラメータの正確な測定に焦点をおいています。

このチュートリアルのゴールは？

このチュートリアルで LPM モジュールに詳しくなります。

チュートリアルは 3 つのパートに分割されています。

1. 最初は *Viewing LPM Results* でデータベース例の中に既にストアされている LPM 結果を見る方法をお見せします。
2. チュートリアルの次のパートは *Performing a new LPM* で電気・機械ドライバパラメータをステップバイステップで測定するのを紹介します。
3. 最後の章は *Customizing LPM* で、よりパワフルな機能を使うことと測定のパフォーマンスを改善するための設定パラメータの変更について議論します。

章 *LPM-Reference* にて、使用されているリニアモデルの基礎に関する詳細情報とともに結果ウインドウとコンフィグレーション・プロパティ・ページの詳細説明が記載されています。

LPM 結果 (パート 1) のビュー

オペレーション **Linear Parameter Measurement** をクリックすると、つぎの結果になります：

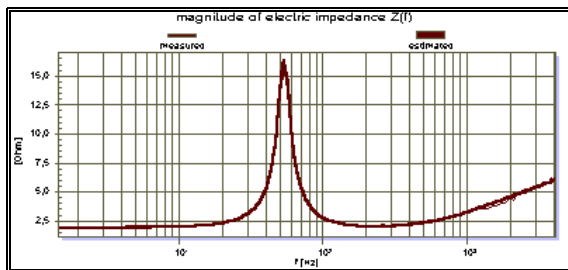
リニア・スピーカ・パラメータの表

結果ウインドウは、リニア・ドライバ・モデルの電気、機械パラメータ、算出されたパラメータ（共振周波数、損失係数その他）と LPM モジュールで求められたサスペンション・クリープ・ファクタのパラメータを示します。

Re	DC での電気ボイスコイル抵抗
Le	低い周波数でのボイスコイル・インダクタンス
fs	ドライバの共振周波数
Mms	空気負荷とボイスコイルを含むドライバ・ダイフラム・アセンブリの機械質量
BI	力係数 (BI 積)

インピーダンス 振幅

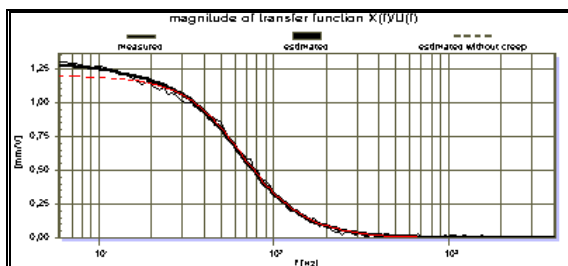
結果ウインドウは測定および予測されたインピーダンス $Z(f) = U(f)/I(f)$ の振幅を表示し、ここで $U(f)$ は端子電圧、 $I(f)$ は電流となります。太線カーブは測定されたスペクトラム $U(f)$ と $I(f)$ の比で、細いカーブはリニアモデルを使ったリニアドライバ等価回路のインピーダンスで、前述の電気パラメータと同じものです。



Hx (f) 振幅

結果ウインドウは、ボイスコイル変位 $X(f)$ と端子電圧 $U(f)$ 間の測定と予測された伝達関数 $Hx(f) = X(f)/U(f)$ の振幅を表示します。

黒い太線は、測定されたスペクトラム $X(f)$ と $U(f)$ の比率です、一方黒い細線はクリープ・パラメータとして知られる識別された電気と機械パラメータを使ったリニア・ドライバ等価回路をベースとした伝達関数です。赤い点線はクリープ・ファクタを考慮しない、従来のモデルをベースにしたものです。



測定波形

端子電圧、端子電流、ボイスコイル変位（レーザセンサ）と音圧(マイクロホン)波形が結果ウインドウ **Voltage (t)**, **Current (t)**, **X (t)** と **p (t)**の中で見るすることができます。

状態変数のスペクトラム

スピーカ励起のために使用されるマルチトーン信号は、MLSのような従来の励起信号と比べていくつかの利点があります。スペクトラムが疎らで働いているので、スペクトラム成分の間を対数的な距離でスピーカを励起し、スペクトラム内の励起していない周波数で歪みとノイズを測定することができます。測定された信号のスペクトラムは結果ウインドウズ **Voltage (f)Spectrum**, **Current (f)Spectrum**, **X (f) Spectrum** と **p (f) Spectrum** で見るすることができます。

新しい LPM (パート 2) を行う

チュートリアル第 2 のパートでは、電気・機械のドライバ・パラメータを測定するためにステップ・バイ・ステップのレシピが提供されます。次の標準ハードウェア構成が利用できると仮定します：

- Distortion Analyzer 1 (Power Monitor 8 Hardware は LPM 測定をサポートしません。)
- レーザ変位センサ
- ドライバはレーザ・スタンドにマウント
- アンプ

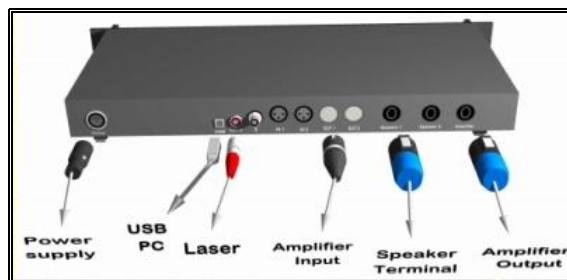
レーザセンサがない場合は、チュートリアル第 3 部を参照してください、レーザ無しでの動作が詳細に記述されています。

ハードウェア接続

1. アンプと Distortion Analyzer 1 (DA1) を接続 (OUT 1 をアンプ入力、Amplifier をアンプ出力へ)。このマニュアルの章 “Large Signal Identification” に詳細情報があります。
2. ドライバと DA1 を接続 (ドライバ端子と Speaker 1)
3. レーザ・センサと Laser を接続し、レーザ・ポジション (セクション・レーザー変位メータを見ます) を調節します。

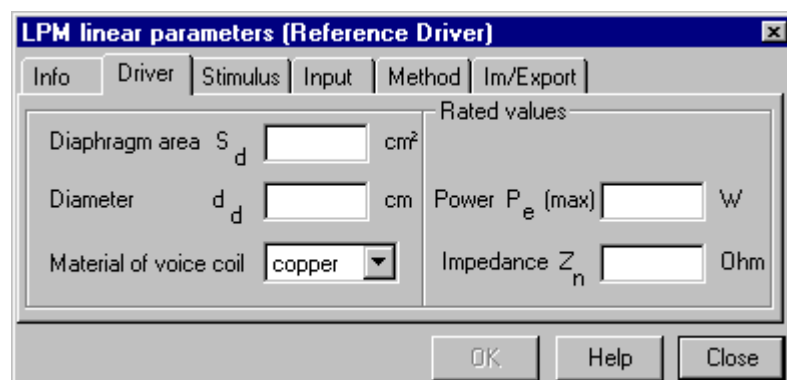
重要：ダイアフラム上に白インク (修正液) の点を作り、このポイントに対して Laser を調整します。インクの代わりに測定後に簡単に取り外すことのできる白いテープを使うこともできます。

4. USB 経由でコンピュータと DA1 を接続します
5. DA1 に電源サプライを接続します

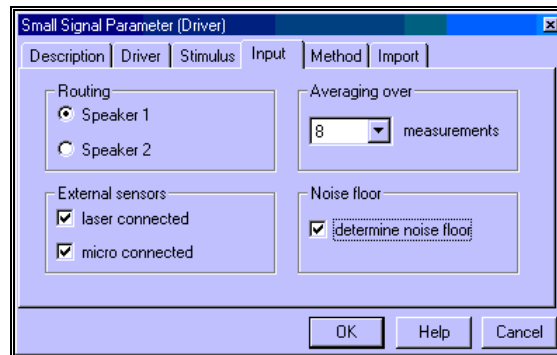


設定パラメータの選択

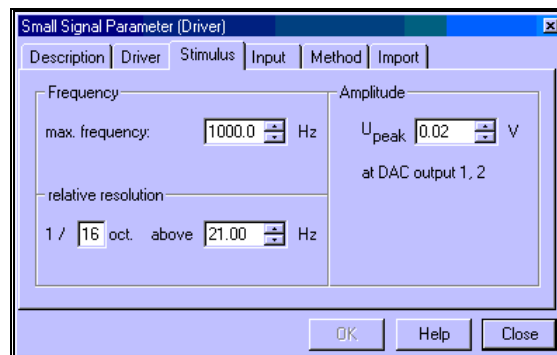
1. ドライバを選択し、LPM linear parameters を選びます。
2. プロパティ・ページ DRIVER をオープン



3. ドライバのダイアフラム領域 S_d と定格インピーダンス Z_n を入力します
4. プロパティ・ページ **INPUT** をオープンし、接続される外部デバイスを規定します。レーザを使い、測定は一回のステップでリニアパラメータのすべてを識別します。マイクロフォンを接続してニア・フィールドでの **SPL** を測定することもできます。



5. 下のようにプロパティ・ページ **STIMULUS** をオープンします

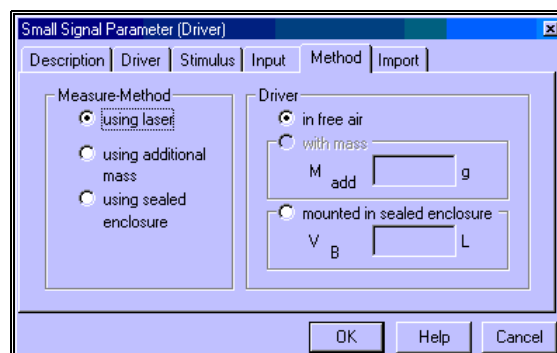


6. 励起信号の **Fmax** 最大周波数(周波数レンジの上限), 相対分解能, リファレンス周波数と電圧を規定します。規定された電圧はスピーカ端子(**Speaker terminals** で)を参照するか、アンプの入力(**OUT 1** で)を参照します。**Speaker terminals**.を選択します。この場合、アンプゲインはパラメータ測定の前に測定され、励起信号は測定されたゲインに調整されます。**Monitoring** グループの **Noise floor** の選択をはずします。

Note: 選択された電圧がドライバを破壊しないことを確認します。線形モデルが大信号ドメインではもはや適切でなくなるために、高い振幅でのリニアパラメータ識別を実行すると追加パラメータ変動を引き起こします。しかしながら、この情報はノンリニアメカニズムを確かめることに価値があります。

測定方法の選択

1. プロパティ・ページ **METHOD** をオープン



測定のスタート

2. Using laser と In free air を選択

1. ボタンを押して測定を開始します。



Run

2. アンプのテスト後に、測定を聞くことができます。測定された信号の振幅の小さく、歪みが高いあるいは残留ノイズに近い場合、下の警告メッセージのうちの1つを受けます。
3. 結果リストのチェックボックスを設定して結果ウィンドウをビューします。
4. 必要ならばボタンを押して測定を繰り返します。



Run

LPM のカスタマイズ (パート 3)

チュートリアルはこの部分で、この測定により強力な機能を使って、測定のパフォーマンスを改善するために設定パラメータの修正を議論します。

識別のチェック

結果リストのチェックボックスを設定して、結果ウィンドウ **Voltage(f) Spectrum, Current(f) Spectrum, X(f) Spectrum** をオープンします。すべてのスペクトラムの基本波信号ラインは、ノイズ・フロアより少なくとも **20dB** 以上でなければなりません。そうでない場合、信号が十分でない状態を知らせる警告を知らされます。章 **Malfunction and Troubleshooting** の指示に従ってください。

Note: 電気、機械パラメータの確度は、信号レベルとノイズの比とディストーション・レベル (SNR+D) に直接関連があります。3%の確度でたとえば BI と Mms を得るためには、30dB の SNR+D が必要です。

Impedance Magnitude (インピーダンス振幅) と **H_x(f) Magnitude** (H_x(f) 振幅) カーブの一致をチェックします。一致度が悪い場合には、**Customize Measurement** (測定のカスタマイズ) の追加備考を見ます。インピーダンスと変位の伝達関数のモデルカーブと測定カーブの一致が悪い場合には、次のステップを行います：

1. 結果ウィンドウ **Current(f) Spectrum** (電流(f)スペクトラム) をオープンします。ドライバ共振による電流スペクトラム **I(f)** のノッチが、機械と電気エレメントの識別のため十分な信号成分を持つように対数周波数レンジの中央になければなりません。**F_{max}** の選択は **20 X fs** (ドライバの共振周波数) が良くなります。この基準を満たすために **STIMULUS** プロパティ・ページの **F_{max}** を変更します。
2. プロパティ・ページの **STIMULUS** の **relative resolution** (相対分解能) をチェックします。共振周波数 **fs** でオクターブあたり少なくとも **16** スペクトラム・ラインの相対分解能を推奨します。この基準を満たすために相対分解能あるいはリファレンス周波数を変更します。
3. 電流信号の信号対ノイズ+歪み比をチェックします。これが悪い場合は、章 **Malfunction and Troubleshooting** の警告 **No proper current signal** の指示に従ってください。

測定のスピードアップ

測定の持続時間はいろいろなファクタに依存します。以下のものを考慮することによってかなり測定を促進できます：

- チェックボックス **Monitoring** を無効:プロパティ・ページ **Stimulus** の **Noise floor**
- プロパティ・ページ **Stimulus** のアベレーシング回数を減らします。
- 両方あるいは片方のセンサが使われない場合、プロパティ・ページ **Input** のチェックボックス **Microphone connected and/or Laser connected** を無効にします。
- プロパティ・ページ **Stimulus** をオープンします。スペクトル **Relative resolution** の値を減らし、リファレンス周波数を増加します。

- プロパティ・ページ **Stimulus** の励起コンポーネントの F_{max} (最大周波数) を減少させます。

ノイズレベルの低減

音圧、変位、電圧と電流を測定するために使われるセンサはすべて、測定された信号にノイズが加わります。プロパティ・ページ **Input** のアベレージングを起動あるいは値を増やすことで印加信号に無相関なノイズ成分を減らすことができます。少なくともアベレージング回数 **16** を使うことを推奨します。

追加マイクロフォンの使用

ドライバのニアあるいはファー・フィールドでの、音圧信号を測定するためにはプロパティ・ページ **Input** のチェックボックス **Mic connected** を選択します。ドライバの低域周波レスポンスがレーザで測定できるか、高確度でモデルによって予測できるのに対して、マイクロフォンは高い周波数での特性を表示します。音圧レスポンスは、自動的に積分された変位レスポンスに調整されます。この組み合わせを使って、小さい部屋での測定を行うことができます

密閉エンクロージャにマウントされたドライバの測定法？

ドライバが既知の密閉エンクロージャのなかにマウントされた場合の電気、機械パラメータはレーザで測定することができます。測定中にエンクロージャからドライバを取り外したくない場合に有用です。ボックスによりエンクローズされた空気のスティフネスにより全体のスティフネスと共振周波数が増えます。力係数 **BI** はレーザで正確に求めることができるので、エンクロージャにより生じたパラメータの偏移はエンクロージャの体積が既知の場合に計算、補正することができます。この機能を使うには、次のとおりになります。

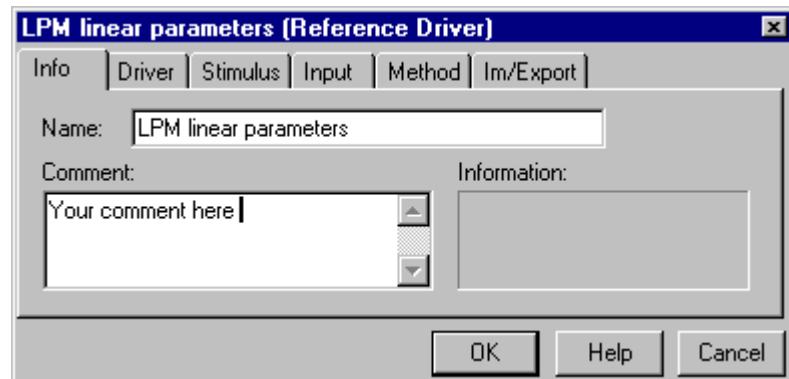
1. プロパティ・ページ **Method** をオープンし、**Measurement method** グループの **Using laser** とグループ **Driver** の **Mounted in sealed enclosure** を選択し、エンクロージャの体積 V_b を入力します。
2. 測定をスタートし、結果ウインドウがアップデートされるまで待ちます。
3. **Table Linear Parameters** でドライバだけのパラメータと同様にシステム・ドライバのパラメータ+ボックス (エンクロージャの影響は取り除けない) の両方を見ることができます。

歪みのオンライン測定

非直線性歪み (高調波と相互変調成分) と残留ノイズフロア (励起に対して無相関な) を切り離すために、プロパティ・ページ **Stimulus** の **Monitoring : Noise Floor** を選択します。

コメント追加

Info ページでは、ユーザが測定名の変更、測定にコメントを (コメントはレポートファイルに含まれます) 追加できます。



レーザ無しの動作

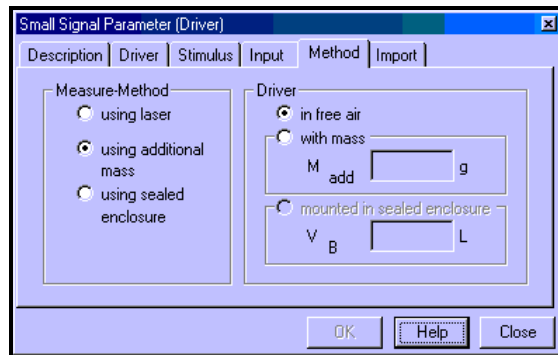
すべての電気パラメータはインピーダンス・カーブから得られます。レーザが接続あるいは接続されていなくてもモジュールは電気パラ

メータを識別します。レーザ信号は機械パラメータを識別するために使われます。リニア・パラメータの識別のためにレーザを使うこと強くお勧めしますが、少なくとも 1 つの機械パラメータをインポートするか、または付加質量を加えるか密閉エンクロージャにドライバをマウントするなどの既知の摂動でドライバの 2 回目の測定を実行することで、測定を行うことができます。

付加質量を使用

付加質量法で機械パラメータを得るには、次のステップで測定をしなければなりません：

1. プロパティ・ページ **METHOD** をオープンし、グループ **Measure method** の **Using additional mass** を選択し、**Driver** グループの **In free air** を選択します。

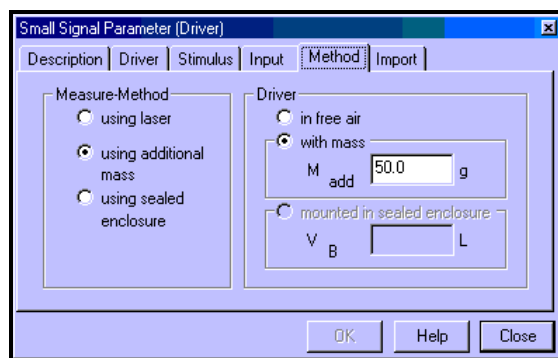


2. 質量無しスピーカをスピーカ・ケーブルに接続します。
3. プロパティ・ページ **STIMULUS** と **INPUT** で他の設定パラメータを選択した後に、ボタンを押して最初の測定をスタートします。



Run

4. 結果ウィンドウがアップデートされるまで待ちます。
5. 付加質量をドライバに加えます。
6. プロパティ・ページ **METHOD** をオープンし、**Driver** グループの **With mass** を選択し、ドライバに加えられた質量の値 **Madd** を指定します。



7. ボタンを押して測定の 2 番目のパートをスタートします。



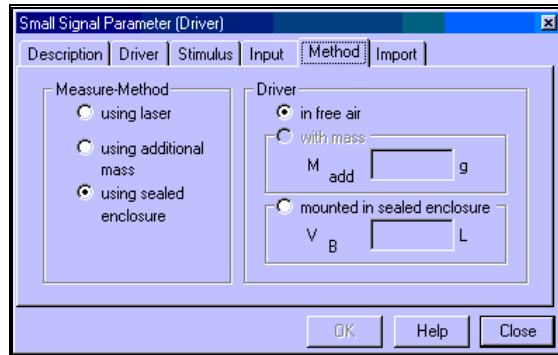
Run

8. 結果ウィンドウがアップデートされるまで待ちます。結果ウィンドウ **Impedance Magnitude and Impedance Phase** が両方の測定の結果を表示します。

既知のテストエンクロージャを使用

摂動としてテスト・エンクロージャを使うには、次のステップで測定をしなければなりません：

1. プロパティ・ページ **Method** を開き、グループ **Measure-Method** の密閉エンクロージャと **Driver** グループの **In free air** を選択します。

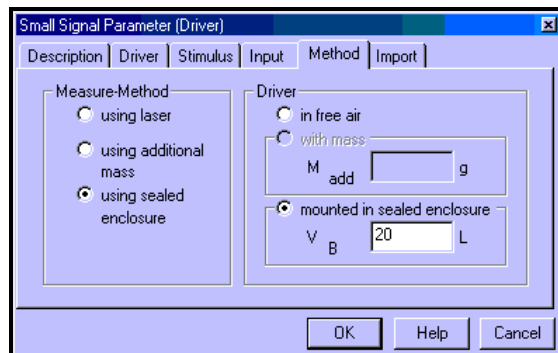


2. プロパティ・ページ **Stimulus** と **Input** のその他の設定パラメータを選択した後に、測定の最初の部分をスタートするために **Run** を押します。



Run

3. 結果ウィンドウがアップデートされるまで待ちます。
4. プロパティ・ページ **Method** を開き、グループ **Driver** 密閉エンクロージャの **Mounted** を選択し、テストエンクロージャの容量 V_b をリットルで規定します。



5. 測定の 2 番目の部分をスタートさせます。



Run

6. 結果ウィンドウがアップデートされるまで待ちます。結果ウィンドウ **Impedance Magnitude and Impedance Phase** が両方の測定の結果を表示します。

最大の能力を得るためには？

リニアパラメータ測定 (LPM) の一番重要な結果は、ムービング質量 M_{ms} 、電気パラメータ R_e , L_e , L_2 および R_2 と力係数 BI です。これらのパラメータは励起信号の振幅とはほとんど無関係です。

サスペンションのプロパティは多くの係数 (励起、時間、周囲温度、湿度) に関係しています。すなわち、コンプライアンス C_{ms} と共振周波数 f_s 、ロス係数 Q_{ts} と Q_{es} などの算出されるパラメータはすべて非線形歪が無視できる小信号ドメインでも変化します。すなわち、後者のパラメータは大信号識別 (LSI) でより正確に測定される時間変動、非線形パラメータとして見直されなければなりません。

LPM の能力を最大にするには次のポイントが考慮されなければなりません。

正確な校正

精度の高い結果は、電圧、電流と変位（レーザが使われる場合）のセンサが十分にキャリブレートされることが必要です。電流・電圧センサは工場で既に校正されているので、年 1 回の認定機関でのチェックだけで OK です。レーザヘッドの校正はヘッドが交換あるいは置き換えられた場合には、より頻繁にチェックされなければなりません（マニュアルの章“Hardware”の Laser Calibration を参照）。

最適な周波数レンジ

マルチトーン信号はスピーカにあわせて調整することを推奨します。少なくともオクターブあたり 16 ライン（24 がより良い）のスペクトラム分解能が共振周波数 f_s で得られなければなりません。共振周波数 f_s 以下の周波数で最小の分解能を得ても、変位が増すと歪を誘起するためにそれ以上の利点はありません。マルチトーン信号の最大周波数はインダクタンス特性の良い結果を得るために約 $20 \cdot f_s$ でなければなりません。

ドライバのリニア特性

ノンリニア歪が無視できない場合、インピーダンスの振幅レスポンスおよび電圧と変位間の伝達関数が崩壊します。測定ノイズと対称にこの人工的な成分は振幅とともにあがってきます。マルチトーン信号の電流と変位のスペクトラムは、ノイズフロアの検出が可能ならば歪成分を表示します。ノイズよりも歪が多い場合、印加信号の振幅は減少します。

十分な S/N 比

トランスジューサは低い振幅でのみ十分なリニア特性をもたらします。入力インピーダンスが高くなる共振点で電流がノイズに近づきます。共振周波数 f_s で測定電流と変位のスペクトラムで少なくとも 20dB の S/N 比を得るためにアベレーシングの回数を調整します。

S/N 比を上げるためにシャントを使う

電流スペクトラムのディップのために S/N 比は共振周波数で時々大きく減少します。ディップは $30\text{-}40\ \Omega$ の抵抗が被試験物のドライバに直列にシャントとして接続されているとこのディップはフラットになります。さらにシャントはドライバのリニア動作を広げるように全体の変位を減らします。この方法は低 Q_{ts} を持つドライバのための BI と M_{ms} を非常に正確に測定するのに最適です。シャントを使うのは次のようにします。

1. 測定のための設定パラメータを調整します。
2. Speaker ケーブルにシャントを接続（ドライバの代わりに）
3. 測定を開始し結果ウィンドウがアップデートされるまで待ちます。
4. **Table Linear Parameters** を開き、**Re** の値を読みます。
5. プロパティ・ページ **Method** を開く。グループ **Shunt** のチェック・ボックスを選択し、**Re** の値を入力します。
6. ドライバにシャントを接続し、シャントとドライバに Speaker ケーブルを接続します。
7. 測定を再スタートさせます。

十分なモデリング

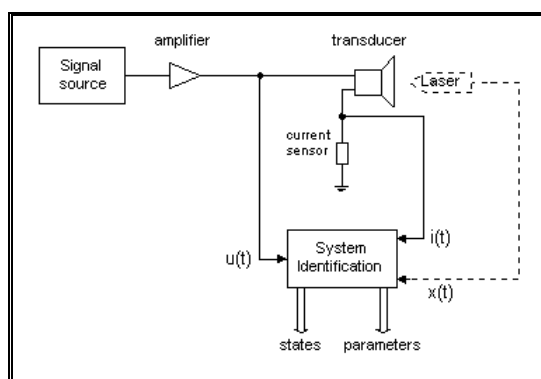
モデルが実際のドライバのためには十分でない場合、リニアパラメータの測定ができません。例えば、追加の電気コンポーネント、機械的な共振と音響ガイドが測定されたと予想される特性との大幅な違いの原因となります。

サスペンションのクリーブは機械センサで測定できます。この影響で、付加質量あるいはテストエンクロージャを使う従来の 2 ステップ測定では大きなエラーを生じます。両方の摂動法はスティフネスは周波数に依存しないと仮定します。しかしながら、あるドライバは f_s より 1 オクターブ下の周波数で 50% のスティフネスを忘れます。

LPM – リファレンス

測定技術

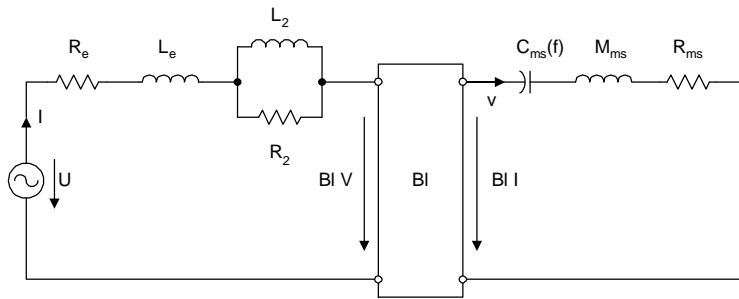
LPM モジュールは電気と機械パラメータ(Thiele-Small パラメータ)を求めます。LSI (大信号パラメータの識別) と反対に、小信号ドメインのパラメータの精密な測定に注目しています。電気パラメータは端子電圧 $u(t)$ と電流 $i(t)$ を測定し、電気インピーダンス $Z(f)=U(f)/I(f)$ を導き出すことで求められます。機械インピーダンスはレーザ変位センサを使って、あるいはドライバをテスト・エンクロージャのなかにおいてかそれに付加質量をつけての 2 回目の測定(比較)により識別することができます。 $H_x(f)= X(f)/U(f)$ を導き出すために、最初の方法ではドライバのダイアフラムの変位が測定されます。そのために 2 回目の測定での識別が必要なく、テスト・エンクロージャあるいは質量付加のリーケージによる問題を避けれます。さらに、ドライバのサスペンション・クリープは、低い周波数でのスピーカ・モデルをより正確にして識別できます。



Note: このモジュールは新しい名前になりました。データベースによっては古い名前 **Small Signal Parameter** が使われています。この 2 つのモジュールは同じものです。

リニアモデリング

測定モジュールは電動ドライバの小信号特性を記述するリニア・スピーカ・モデルの値(Thiele-Small パラメータ)を求めます。



大信号モデルと反対に、上の等価回路のすべてのパラメータが定数（変位、温度に依存しない）であると仮定されます。

サスペンションのクリープ

しかしながら、ステイフネス $K_{ms}(f)$ とコンプライアンス $C_{ms}(f)$ は機械的なサスペンションのダイナミック特性を考慮すると周波数変動パラメータであると仮定されます。支持力にさらされた機械系は時間に対して変位が変化（クリープ効果）することになります。すなわち、サスペンションのステイフネスは低い周波数で小さくなります。従来の低周波数スピーカモデルはダイナミックな伝達関数 [1] で簡単なリニア・コンプライアンスを置き換えることでサスペンション・クリープを取り込んだものに拡張されます。

$$C_{ms}(f) = C_{ms}(f_s) \left[1 - I \log_{10} \left(\frac{f}{f_s} \right) \right]$$

ここで C_{ms} はリニア・コンプライアンス、 f_s はドライバの共振周波数です。クリープ係数の直線補間です。量 I 100% は低い周波数でのコンプライアンス $C_{ms}(f_s)$ 低下を%で表したものです。共振周波数 f_s より 1 オクターブ下の周波数では、コンプライアンス $C_{ms}(f_s)$ は 100% まで低下します。

Reference: [1] Knudsen, M. H. and Jensen, J. G. *Low-frequency loudspeaker models that include suspension creep*. J. Audio Eng. Soc., Vol. 41, No. 1 / 2, 1993

Property Pages (プロパティ・ページ)

LPM を起動させた後に、プロパティ・ページをオープンすることができます。これらのページは測定の設定パラメータを表し、ユーザが Analyzer Unit で実行されている識別処理と対話することができます。

Property Page	機能
Info	Info ページは測定の名称を変更、測定に対するコメントを追加することができます。
Driver	Driver ページは、ユーザによって提供されなければならない特別なトランスデューサ・パラメータを含みます。
Stimulus	Stimulus ページは、励起（テスト信号）と測定の繰り返しの回数（アベレージング）を規定するために使われます。
Input	接続された外部デバイス（Speaker1、Speaker2、レーザ・センサ、マイクロフォン）が規定されなければなりません。

	ん。
Method	測定方法と測定のセットアップ（設定）が指定されます。
Im/Export	Im/Export ページは、既知の小信号パラメータ B_l , M_{ms} , R_E を他の測定からインポートできます。 さらに、すべての LPM 設定が他の LPM オペレーションにエクスポートあるいはインポートすることができます

INFO ページ

Info ページは測定の名称を変更、測定に対するコメント（コメントはレポートファイルに含まれる）を追加することができます。

DRIVER ページ

Driver ページは、ユーザによって提供されなければならない特別なトランスデューサ・パラメータを含みます。

エレメント	コメント
S_d	ダイアフラム・エリアはドライバ・ダイアフラムの実効予測表面エリアです。
d_d	ドライバのダイアフラム直径です。
Impedance Z_n	ドライバの定格インピーダンス
Power P_e (max)	最大定格入力パワー
Material of voice coil	ボイスコイルに使われている材質の種類（銅あるいはアルミニウム）が指定される。

STIMULUS ページ

Stimulus ページは励起信号の電圧をコントロールするために使われるパラメータへのアクセスができます。

Entity	レンジ	詳細
F_{max}	≤ 18 kHz	測定によってカバーされる周波数レンジの上限
Relative resolution	1,...,99	オクターブあたりの励起ラインの数
Reference frequency	≤ 18 kHz	相対分解能のためのリファレンス周波数。指定された相対分解能はリファレンス周波数より上のすべての周波数で確保されます。リファレンス周波数以下では得られるスペクトラム・ラインのすべてが励起されます。
Voltage		振幅入力信号の電圧。スピーカ端子の電圧あるいは出力コネクタでの電圧のどちらかの電圧。電圧は V_{rms} あるいは dBu で指定されます。
Averaging	1,...,128	ノイズ・リダクションのための測定繰り返し回数

ノイズフロアのモニタ

このチェックボックスが選択された場合は、追加のノイズ測定がメイン測定の前に行われます。測定されたノイズフロア・レベルは結果ウインドウ **Voltage(f) Spectrum**、**Current(f) Spectrum**、**X(f)**

Spectrum and p(f) Spectrum の中でメイン測定で収集された信号ラインと一緒に黒い線が表示されます。

電圧：スピーカ端子

このオプションが選択されると、指定の印加電圧がスピーカ端子の電圧になります。アンプのゲインは各測定の前で測定され励起レベルは適切に調整されます。測定が同じ設定パラメータで繰り返される場合、アンプのゲインは高速で測定を繰り返すために再度は測定されません。すなわち、アンプのゲインは測定中には変更できません。

電圧 OUT 1 で

このオプションが選択されると、指定の印加電圧が出力コネクタ OUT1 の電圧になります。

アンプが使用され、**OUT 1** が選択される場合、指定の印加電圧がアンプ入力での電圧になります。アンプ出力信号のレベルは指定レベルよりかなり高くなるのでスピーカを破壊する可能性があります。**OUT 1** を使う場合はアンプが接続されていないことを確認してください。

INPUT ページ

Input ページで接続されたペリヘラル・デバイスが指定されます。

ルーティン

スピーカケーブルが接続されるコネクタ (**Speaker1** または **Speaker2**) が指定されます。

外部センサ

入力チャンネル **IN 1** にレーザセンサが接続され、マイクロフォンが接続されている場合は、関係するチェック・ボックスが起動します。

METHOD ページ

Method ページで機械ドライバパラメータの識別方法が選択されます。3つの方法がサポートされます。

測定法:レーザの使用

レーザセンサはドライバのダイアフラムも変位を測定するために使用されます。このシングルステップ測定はサスペンション・クリープのパラメータも求めます。2番目の測定を不要にし、テストエンクロージャと質量測定のリケージによる問題を避けることができます。ドライバ・パラメータは自由空間のドライバ (チュートリアルパート 2 参照) と密閉エンクロージャにマウントされたドライバ (チュートリアルパート 3 “How to measure drivers mounted in a sealed enclosure” を参照) も識別できます。

測定法:付加質量の使用

機械パラメータは2ステップの手順で識別されます。最初リファレンス測定が自由空間で行われます。機械パラメータはそれを2番目の測定、付加質量がドライバのダイアフラムに取付けられる (チュートリアルパート 3 “Working without laser” を参照)、と比較して求められます。

測定法:密閉エンクロージャの使用

機械パラメータは2ステップの手順で識別されます。最初リファレンス測定が自由空間で行われます。機械パラメータはそれを2番目の測定、ドライバが密閉テストエンクロージャにマウントされる (チュートリアルパート 3 “Working without laser” を参照)、と比較して求められます。

ドライバ

ドライバは自由空間、密閉エンクロージャにマウントされたあるいは追加のテスト質量で測定できます (前述を参照)。**In free air, With mass** あるいは **Mounted in sealed enclosure** を選択します。2、3

番目の場合は、付加された質量 M_{add} 、テストエンクロージャの体積 V_b が数値化されなければなりません。

シャント

電流スペクトラムのディップのために共振周波数で S/N 比が時々大きく減少します。ディップは $30\text{-}40\ \Omega$ の抵抗が被試験物のドライバに直列にシャントとして接続されているとこのディップはフラットになります。さらにシャントはドライバのリニア動作を広げるように全体の変位を減らします。この方法は低 Q_{ts} を持つドライバのための BI と M_{ms} を非常に正確に測定するのに最適です。

IM/EXPORT ページ

Im/Export ページで小信号パラメータ R_e , M_{ms} と BI を解析のためにインポートできます。パラメータの 1 つのインポートが起動されるとインポートされたパラメータが測定データから求められたものの代わりに計算で使われます。例えばオームメータで非常に正確に測定された R_e がわかっており LPM でオームメータの結果を使いたい場合に有効です。

Entity	単位	レンジ	詳細
R_e	Ohm	$0 < R_e < 100$ Ohm	冷ボイスコイルの電気 DC-抵抗
M_{ms}	gram	$0 < M_{ms} < 1\text{kg}$	ボイスコイルと空気負荷を含むドライバのダイアフラム・アセンブリのムービング質量
BI	N/A	$0 < BI < 100$ N/A	ボイスコイルの休止位置での力係数

すべての LPM 設定パラメータは他の LPM 動作から/へインポート、エクスポートできます:



Copy LPM 設定をクリップボードにコピー



Paste LPM 設定をクリップボードからペースト

さらに測定された電気と機械ドライバ・パラメータは LSI と SIM へエクスポートできます。そうするには LPM が終了した後に **Copy** ボタンを押します。これはドライバ・パラメータ (LPM 設定パラメータと一緒に) をクリップボードへコピーします。 **Open the LSI** あるいは **SIM** 動作をオープンし、プロパティ・ページ **Im/Export** の **Paste** ボタンを押します。関心あるすべてのドライバ・パラメータがクリップボード (LPM 設定パラメータは LPM 動作でのみ読むことができます) から読みます。

結果ウィンドウ

リニアパラメータ表

結果ウィンドウはリニアドライバ・モデルの電気と機械パラメータ、算出パラメータ (共振周波数、損失係数など) と LPM モジュールで求められるサスペンション・クリープ係数のパラメータを表示します。

名称	単位	コメント
Electrical Parameters		
Re	Ohm	Electrical voice coil resistance at DC
Le	mH	Voice coil inductance at low frequencies
L2	mH	Para-inductance at high frequencies
R2	Ohm	Resistance due to eddy currents
Cmes	μF	Electrical capacitance representing moving mass
Lces	mH	Electrical inductance representing driver compliance
Res	Ohm	Resistance due to mechanical losses
fs	Hz	Driver resonance frequency
Mechanical Parameters		
Mms	g	Mechanical mass of driver diaphragm assembly including air load and voice coil
Rms	kg/s	Mechanical resistance of total-driver losses
Cms	mm/N	Mechanical compliance of driver suspension
Kms	N/mm	Mechanical stiffness of driver suspension
Bl	N/A	Force factor (Bl product)
Lambda S (λ)		Suspension creep factor
Loss factors		
Qtp		Total Q-factor considering all losses
Qms		Mechanical Q-factor of driver in free air considering R _{ms} only
Qes		Electrical Q-factor of driver in free air considering R _e only
Qts		Total Q-factor considering Re and Rms only
Derived Parameters		
Vas	liter	Equivalent air volume of suspension
n0	%	Reference efficiency of electroacoustical conversion (2 pi - radiation load)
Lm	dB	Characteristic sound pressure level

損失係数はつぎのように定義されます:

$$Q_{ms} = 2\pi f_s C_{mes} R_{es}$$

$$Q_{es} = 2\pi f_s C_{mes} R_e$$

$$Q_{eps} = 2\pi f_s C_{mes} [R_e + \Re\{Z_{fitted}(f_s)\}]$$

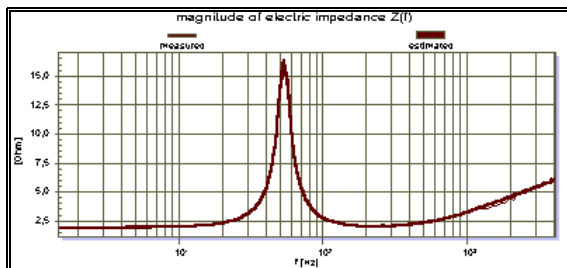
$$Q_{ts} = \frac{Q_{ms} + Q_{es}}{Q_{ms} Q_{es}}$$

$$Q_{tp} = \frac{Q_{ms} + Q_{eps}}{Q_{ms} Q_{eps}}$$

インピーダンス振幅

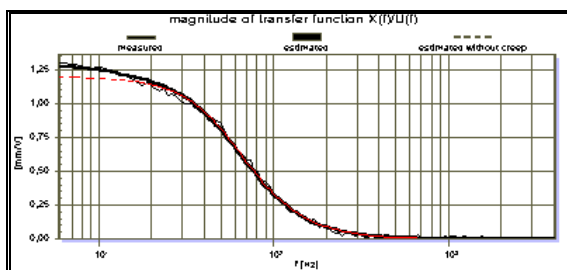
インピーダンス位相

2つの結果ウインドウは測定と予測されたインピーダンス $Z(f)=U(f)/I(f)$ $U(f)$ は端子電圧、 $I(f)$ は電流、の振幅と位相を表示します。ボールド曲線は測定されたスペクトラム $U(f)$, $I(f)$ の比です。細線はリニアモデルと識別された電気パラメータを使ってリニアドライブ評価回路のインピーダンスです。



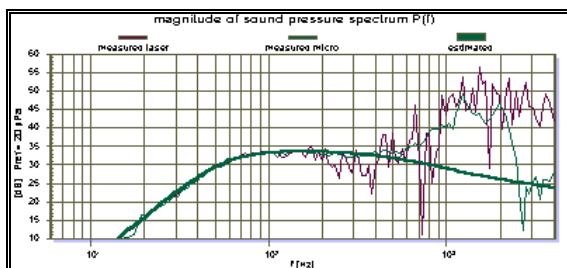
Hx (f) 振幅

結果ウインドウは測定された、予測されたボイスコイルの変位 $X(f)$ と端子電圧 $U(f)$ の間の伝達関数 $Hx(f)= X(f)/U(f)$ の振幅を表示します。ボールドの黒線は測定されたスペクトラム $X(f)$, $U(f)$ の比で、細い黒線はクリープ・パラメータと同様に識別された電気と機械パラメータを使ってリニアドライブ等価回路にもとづく伝達関数です。赤い破線はクリープ係数を考慮しない通常のモデルをベースにしたものです。



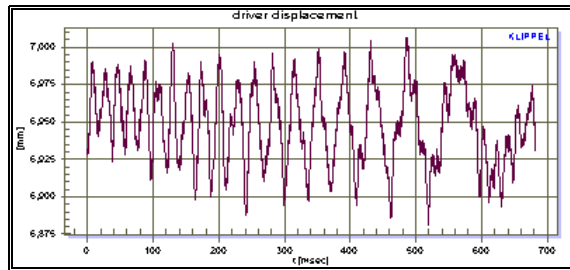
SPL

結果ウインドウは 1W の定格入力で得られる 1m 離れた距離の音圧レベルを表示します。細いグリーンの線はドライバのニア・フィールドのマイクロフォンで直接測定されています。グリーン曲線は識別されたリニアスピーカ・モデルで計算されています。紫曲線はレーザ測定から変位 $x(t)$ を 2 回積分し移動した体積速度を計算するためにダイアフラム・エリア S_d を考慮して算出されています。すべての曲線はドライバの定格インピーダンスを使って計算されます。



Voltage (t)
Current (t)
X (t), p (t)

端子電圧、端子電流、ボイスコイル変位（レーザセンサ）、音圧（マイクロフォン）測定信号は時間に対して表示できます。この情報はデバッグにとって有用です。

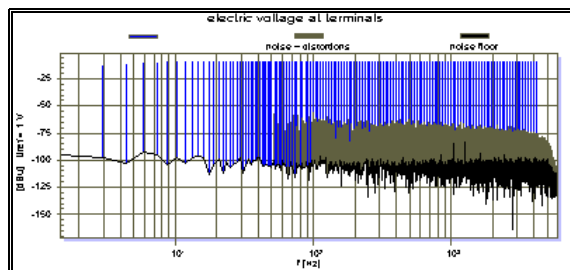


測定される信号のスペクトラム

スピーカ励起のために使われるマルチトーン信号はMLSのような従来の印加信号に対していくつかの利点があります。まばらなスペクトラムを取り扱っているため、コンポーネント間が対数的な間隔でスピーカを励起し、スペクトラムのない周波数で歪とノイズを測定できます。

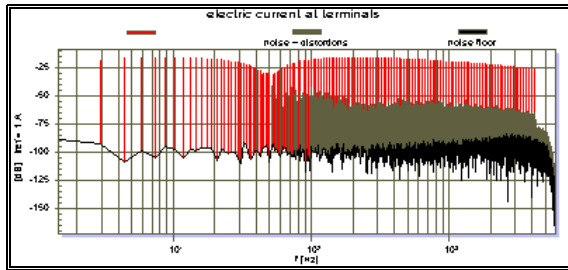
Voltage (f) スペクトラム

結果ウインドウは端子での電圧のマルチトーン・スペクトラムを表示しています。青い線は印加により励起された基本波成分を表示します。黒の“Noise floor”ラインは電圧センサで生じた残留測定ノイズを表します。グレーの“Noise + Distortions”が残留ノイズフロアを越す場合は、パワーアンプのノンリニアリティにより発生した歪を見ることとなります。この情報は電流、変位、音圧でのスピーカの歪を評価するために重要です。基本波成分は振幅が一定でなければなりません。低い周波数でAC結合アンプの影響が見えます。



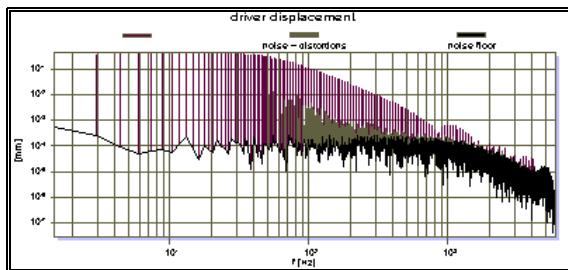
Current (f) スペクトラム

結果ウインドウは端子での電流のマルチトーン・スペクトラムを表示しています。赤い線は印加により励起された基本波成分を表示します。ドライバの共振周波数でスペクトラムのノッチに注意してください。黒の“Noise floor”ラインは測定系（電流センサ）で生じた残留測定ノイズを表します。グレーの“Noise + Distortions”が残留ノイズフロアを越す場合は、スピーカのノンリニアリティにより発生した歪を見ることとなります（パワーアンプが十分リニアと仮定して）。この情報は電流、変位、音圧でのスピーカの歪を評価するために重要です。基本波成分は振幅が一定でなければなりません。低い周波数でAC結合アンプの影響が見えます。



X(f) スペクトラム

結果ウインドウはレーザセンサで測定されたボイスコイル変位のマルチトーン・スペクトラムを表示しています。紫線は印加により励起された基本波成分を表示します。レーザの共振周波数より上の変位スペクトラムの 12 dB/octave に注意します。黒の“**Noise floor**”ラインは使用されたレーザセンサの分解能で生じた残留測定ノイズを表します。アベレージングの回数を増やすことで残留ノイズ成分をさらに減らします。グレイの“**Noise + Distortions**”が残留ノイズフロアを越す場合は、スピーカのノンリニアリティにより発生した歪を見ることになります。これらの成分はアベレージングの回数には関係ありません。



p(f) スペクトラム

結果ウインドウはマイクロフォンで測定された音圧のマルチトーン・スペクトラムを表示しています。グリーン線は印加により励起された基本波成分を表示します。黒の“**Noise floor**”ラインは測定中の環境ノイズを表します。グレイの“**Noise + Distortions**”はスピーカにより発生したノンリニア歪成分です。

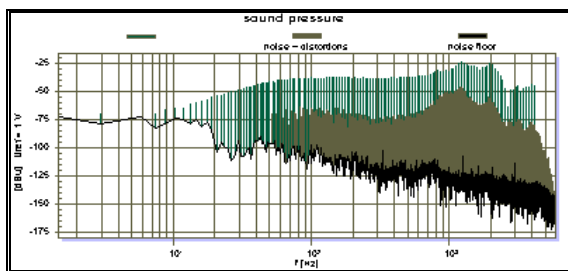


表 信号特性

結果ウインドウは状態変数（電圧、電流、変位、音圧）の重要な統計的特性（ピーク値、ヘッドルーム、SNR、...）をサマライズします。この情報はドライバの動作点（小信号ドメイン対大信号ドメイン）を調べるの不具合な動作を検出するため（マイクロフォンあるいはレーザが接続されていない、グラドループからのハム）に有効です。

名称	単位	コメント
U pp	V	Peak to peak value of voltage at terminals
U dc	V	DC part of voltage signal
U ac	V rms	AC part of voltage signal
U head	dB	Digital headroom of voltage signal
U SNR+D	dB	Ratio of signal to noise + distortion in voltage signal
fu noise	Hz	frequency of noise maximum i voltage signal
I pp	A	peak to peak value of current at terminals
I dc	A	DC part of current signal
I dc	A	DC part of current signal
I head	dB	Digital headroom of current signal
I SNR+D	dB	Ratio of signal to noise + distortion in current signal
fi noise	Hz	Frequency of noise maximum in current signal
X pp	mm	Peak to peak value of displacement signal
X dc	mm	DC part of displacement signal
X ac	mm rms	AC part of displacement signal
X head	dB	Digital headroom of displacement signal
fx cutoff	Hz	Frequency of highest valid line in displacement signal
p pp	mV	Peak to peak value of microphone signal
p dc	mV	DC part of microphone signal
p ac	mV rms	AC part of microphone signal
p head	dB	Digital headroom of of microphone signal
p SNR+D	dB	Ratio of signal to noise + distortion in microphone signal
fp noise	Hz	Frequency of noise maximum in microphone signal
f sample	Hz	Sample frequency
N stim	number of samples	Stimulus length

故障とトラブルシューティング

概要

この章は Distortion Analyzer と LPM モジュールで起きる共通の問題を解決できるような情報を提供します。ソフトウェアは信号が悪い状態あるいは不良状態が検出されると自動的に各種の警告を発生します。いくつかの情報は無視できますが、問題の原因を見つけることをお勧めいたします。

問題にマッチした記述を見つけない場合は、次のオプションを試してください：

dB-Lab 文書 “*Malfunction and Troubleshooting*” 章をチェックします。

Distortion Analyzer と一緒に受け取りましたファイル *readme.txt* をチェックします。この文書は製品と納入手順についての最新のアップデート情報が含まれます。

コンタクトは e-mail support@klippel.de で。

エラーと警告メッセージ

最初のデータが取得されている

対応するセットアップ・パラメータが変更されると、測定結果は削除されます。この方法で、結果とセットアップ・パラメータは、一貫して維持されます。古い結果を保存して、新しい測定を実行したい場合は、新しいオペレーションを作成します。古い測定のセットアップ・パラメータは、プロパティ・ページ **Im/Export** (上記参照) にある **Copy** と **Paste** ボタンで、新しいオペレーションへ簡単にコピーすることができます。さらに、新しいオペレーションのための *Template* としてオペレーションの **Setup** を保存できます。

WARNING: Stimulus が OUT1 に加えられている

プロパティ・ページ **Stimulus** で **Voltage: at OUT 1** が選択された場合、この警告が発せられます。この場合、プロパティ・ページ **Stimulus** で指定される励起電圧は、出力コネクタ **OUT 1** (そして、アンプ入力での) での電圧です。この測定モードはユーザがアンプ入力での電圧 (スピーカ端末での電圧よりむしろ) を指定しなければならない古い LPM バージョンと一緒にです。アンプ出力信号のレベルは指定されたレベルよりかなり高く、スピーカを破壊することがあります！新しい測定では常に **Voltage: at Speaker terminals** (電圧：スピーカ端子) を使います。

アンプがスイッチオフ

LPMは主測定の前にアンプをテストします。アンプがスイッチ・オフあるいはゲインが少なすぎて、必要な励起レベルを実現できなかった場合、エラー・メッセージが出ます：**Remedy:** アンプをチェックします。アンプ・ゲインを増やします。ハードウェア・セットアップの接続とケーブルをチェックします。ハードウェア・ユニットの **AMPLIFIER** コネクタで、測定された入力信号の電圧スペクトラム結果ウィンドウをチェックします。

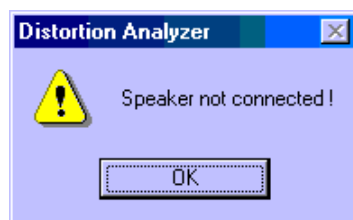
必要な励起レベルが認識されない

プロパティ・ページ **Stimulus** で **Voltage: at OUT 1** が選択され、必要な励起レベルが高すぎる場合にこのエラー・メッセージが発生します。

対策: **Voltage: at Speaker terminals** を使います。常にアンプを使います。メッセージボックスに示される値まで、励起レベルを減らします。

スピーカが接続されていない

Distortion Analyzer の **Speaker 1** または **Speaker 2** 入力で電流信号が測定されない場合、この警告が発せられます。



結果ウィンドウ **Current(t)** と **Current (f) Spectrum** をオープンし、電流信号がないことを確認します。スピーカが接続されていることを確認します。使用されているスピーカ・ケーブルと接続が **DUT** が損害を受けないことを確実にしているかをチェックします。アンプ・ゲインが非常に低いならば、ゲインを増やします。

入力キャリブレーション係数が範囲外

このエラー・メッセージはハードウェア・デバイスが著しく校正されていない場合におこります。これは重大な問題です。測定の実行を中止し、(株)東陽テクニカ (Audio@toyo.co.jp) あるいは support@klippel.de 経由で Klippel サポートに連絡をしてください。

DC ボイスコイル抵抗 R の測定が破綻

DC ボイスコイル抵抗 R_e は、2つの最低周波数信号ラインで測定されます。2つの測定がかなり違う場合、エラー・メッセージが発生されます。

対策: 励起信号の電圧あるいはプロパティ・ページ **Stimulus** の平均回数を増やします。信号対雑音比（上述の 'Use a shunt to increase signal to noise ratio' 章を参照）を上げるためにシャントを使います。結果ウィンドウ **Current (f) Spectrum** と **Voltage (f) Spectrum** をチェックします。低周波ラインが正しく伝送されていますでしょうか？

指定シャント抵抗が測定された DC インピーダンスより大きい

測定された DC インピーダンスはシャント抵抗と DC ボイスコイル抵抗からなります。したがって、シャント抵抗を超えることはありません。

対策: 接続されたシャントをチェックします。低周波数でインピーダンス曲線（結果ウィンドウ **Impedance Magnitude**）とプロパティ・ページ **Method** で指定されるシャント抵抗を比較します。LPM でドライバに接続する（シリーズで）前にだけ **Shunt Resistor** を測

定できます。シャントの適切な確度については **Re** 結果をチェックします。

電流信号が適切でない

このメッセージは測定された電流の信号対ノイズ+ディストーション比が **20dB** 以下であると、発せられます。これは、ノイズが高くて結果を乱す、あるいは小信号ドメインがすでに残されることを示す **10%**以上のディストーションがあることを意味しています。この信号の振幅とスペクトル成分を見るために、結果ウィンドウ **Current (t)** と **Current (f) Spectrum** をチェックします。問題の原因がいくつかあります：

1. 測定された電流の振幅が低すぎる。

対策: 励起信号の電圧あるいはプロパティ・ページ **Stimulus** の平均する数を増やします。

2. 電流スペクトラムの共振ディップでの信号対雑音比が悪いためです。ドライバが非常にシャープな共振を持つ場合に発生することがあります。

対策: シャントを使います（上の章“信号対雑音比を増やすためにシャントを使う”）。励起信号の電圧またはプロパティ・ページ **Stimulus** の平均する数を増やします。

3. スピーカ端子の入力電流は、スピーカのノンリニアリティによって歪んでいます。電流の歪みが大きい場合は、リニアモデルがもう適切でないことを示します。

対策: 警告を無視するか、プロパティ・ページ **Stimulus** の励起信号の電圧を減らします。

4. グランドループのために励起信号にハム成分があります。結果ウィンドウ **Current (f) Spectrum** あるいは **I SNR+D** と **fi noise** の **Table Signal Characteristics** でこの成分を見ることができます。

対策: 設定を注意深くチェックしてください。

ノート: プロパティ・ページ **Stimulus** の平均数を増やしても歪み量あるいはハム成分を減らすことはできません。

電圧信号が適切でない

このメッセージは測定された電圧の信号対ノイズ+ディストーション比が **20dB** 以下であると、発せられます。これは、アンプが大きなノイズまたは歪（たとえば、制限することに起因する）を作りだしていることを示します。この信号の振幅とスペクトル成分を見るために、結果ウィンドウ **Voltage (t)** と **Voltage (f) Spectrum** をチェックします。問題の原因がいくつかあります

1. 測定電圧の振幅が低すぎる：

対策: この場合プロパティ・ページ **Stimulus** の平均数、励起信号の振幅を増加させます

2. スピーカ端子の電圧は、アンプのノンリニアリティによって歪んでいます。

対策: 警告を無視するか、プロパティ・ページ **Stimulus** の励起信号の振幅を減らします。

3. グランドループのために励起信号にハム成分があります。結果ウィンドウ **Current (f) Spectrum** あるいは **I SNR+D** と **fi noise** の **Table Signal Characteristics** でこの成分を見ることができます。

対策: 設定を注意深くチェックしてください。

ノート: プロパティ・ページ **Stimulus** の平均数を増やしても歪み量あるいはハム成分を減らすことはできません。

変位信号が適切でない

このメッセージは変位スペクトラムに適切な信号ラインが5つ未満の場合に、あるいは最大の信号ラインがノイズより少なくとも20 dB以上ない場合に発せられます。この信号のスペクトラム成分と振幅を見るためには、結果ウィンドウ **X(t)** と **X(f) Spectrum** をチェックします。この原因が2、3あります:

1. レーザヘッドとドライバの距離が正しく調整されていません。レーザヘッドの2つのLEDが安定して点灯していることを確認します。
2. レーザヘッドとレーザコントローラが正しく接続されていないか、レーザコントローラが **Distortion Analyzer** のコネクタ **Laser** に正しく接続されていません。接続をチェックしてください。
3. 測定された変位の振幅が低すぎます。レーザーヘッドのカットオフ周波数にあまりに近いドライバの共振周波数で起きているかもしれません。この場合、励起信号の振幅またはプロパティ・ページ **Stimulus** の平均回数を増やします。スペクトラム **X(f)** は、レーザーの共振周波数より上では12dBで減衰します、ノイズの中に消える周波数 **fx cutoff** は少なくとも300Hzにならなければなりません。 **Table Signal Characteristics** の **fx cutoff** をチェックできます。信号ラインがまったくないならば、ハードウェアの接続をチェックします。
4. ボイスコイル変位はスピーカのノンリニアリティによって歪んでいます。変位の歪みが大きい場合は、リニアモデルがもう適切でないことを示します。警告を無視するか、プロパティ・ページ **Stimulus** の励起信号の振幅を減らします
5. センサの出力がレーザヘッドに使われている三角法原理のノンリニアリティにより歪みます。警告を無視するか、プロパティ・ページ **Stimulus** の励起信号の振幅を減らします。
6. グランドループのために励起信号にハム成分があります。結果ウィンドウ **X(f) Spectrum** でこの成分を見ることができません。
対策: 設定を注意深くチェックしてください。

ノート: プロパティ・ページ **Stimulus** の平均数を増やしても歪み量あるいはハム成分を減らすことはできません。

電圧センサがリミット

電圧センサの制限です。励起電圧を減らします。電圧信号波形とスペクトラム (結果ウィンドウ **Voltage (t)** と **Voltage (f) Spectrum**) をチェックします。絶対最大値のためのハードウェアの仕様をチェックしてください。

電流センサがリミット

電流センサの制限です。励起電圧を減らします。電流信号波形とスペクトラム (結果ウィンドウ **Current (t)** と **Current (f) Spectrum**) をチェックします。絶対最大値のためのハードウェアの仕様をチェックしてください。

マイクロフォン信号がリミット

入力 IN 1 で測定されたマイクロフォン信号の制限です。マイクロフォンとプリアンプをチェックします。マイクロフォン信号波形とスペクトラム（結果ウィンドウ **p (t)** と **p (f) Spectrum**）をチェックします。入力レベルを減少させるために、アッテネーターを挿入します。

その他の問題

Thiele-Small パラメータが 0

Fmax と関連した分解能がプロパティ・ページ **Stimulus** で正しく選ばれていない場合、識別アルゴリズムはフェイルになり一つ以上の Thiele-Small パラメータがゼロに設定されます。同じ影響は、測定信号が悪いことが原因となります。ドライバの共振周波数が 10Hz 以下で Fmax/4 より高い場合、識別アルゴリズムはアボートします。Tutorial のパート 3 の 'How to get the best performance' に従ってください。

ドライバ共振がフィットしない

Thiele-Small パラメータがゼロになる章を参照願います。