

---

アナライザシステムユーザーガイド

# 大信号識別(LSI)

By KLIPPEL GmbH



January 11, 2006  
Copyright © 2000-2002 Klippel GmbH  
Aussiger Str. 3, 01277 Dresden, Germany  
**[www.klippel.de](http://www.klippel.de)**

---

# 目次

<b>LSI - チュートリアル</b>	<b>3</b>
このチュートリアルの目的 .....	3
パート I: 最初の測定を行う .....	4
ハードウェアの設定 .....	4
ハードウェアからの .....	4
開始 .....	4
dB-Lab からの開始 .....	5
パート II: 測定のカスタマイズ .....	8
プロテクションパラメータの変更 .....	8
LPM からのパラメータのインポート .....	8
測定終了の定義 .....	8
測定スピードの増加 .....	9
テスト用ノイズ信号の変更 .....	9
最高の性能を発揮させるには .....	9
<b>LSI-リファレンス</b>	<b>11</b>
大信号モデリング .....	11
システム識別 .....	14
測定コンディション .....	15
動作モード .....	15
プロテクションの動作方法 .....	17
プロセッシングユニットからの制御 .....	20
測定の開始 .....	20
測定の設定 .....	20
PC からの制御 .....	25
Property ページ .....	25
結果 .....	29
パラメータ .....	29
状態変数 .....	29
状態およびパラメータの時間による変動 .....	29
トランスデューサー ノンリニアリティの矯正 .....	29
設定パラメータ .....	29
<b>不具合とトラブルシューティング</b>	<b>29</b>
概要 .....	29
エラーおよび警告メッセージ .....	29
デバイス校正が行われていない .....	29
データが利用可能 .....	29
新規測定が実行中 .....	29
ハードウェアの例外メッセージ .....	29
Output DAC limits (出力 DAC の限度) .....	29
アンプの限度 .....	29
最大の出力ゲイン .....	29
最小の出力ゲイン .....	29

ドライバの $f_s$ が 高すぎる .....	29
ドライバの $f_s$ が 低すぎる .....	29
ドライバの $R_e$ が 高すぎる .....	29
ドライバの $R_e$ が 低すぎる .....	29
ドライバが接続されていない .....	29
アンプの電源が OFF .....	29
文献 .....	29

## Index

29

---

# LSI - チュートリアル

## このチュートリアルの目的

このチュートリアルは、大信号識別(LSI)モジュールをよく理解していただくためのものです。

この測定方法は、ドライバの変位が大きくなる部分で分析を行っているため、一般的に知られている Thiele-Small パラメータよりも有効な情報を得ることができます。

このチュートリアルは2つのパートに分かれています:

最初のパートの“チュートリアルパート I”では、ハードウェアの接続方法とオペレーション方法についての説明が記載されています。実際の測定はほぼ自動的に行われますので、このパートは非常に簡潔に書かれています。

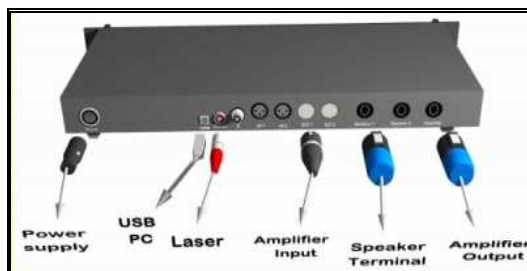
2番目のパートの“チュートリアルパート II”では、必要に応じて測定モジュールをカスタマイズする際に必要な予備知識について、いくつか挙げてあります。

実際にハードウェアのセットアップを行わなくても、データベース例にあらかじめストアされた結果を参照することで、これから得ようとする情報を調査および理解することが可能です。

“大信号識別リファレンス”の章では、結果表示ウィンドウや Configuration Property(設定プロパティ)ページに関する詳細な説明はもちろん、トランスデューサのモデリングに関するより詳細な情報も記載されています。

# パート I : 最初の測定を行う

## ハードウェアの設定



1. 本体に添付されたクリッペル社の電源をディストーションアナライザ 1 に接続します。
2. ディストーションアナライザのリアにあるバランス XLR オスコネクタから励起信号が出力されるので、このコネクタをアンプの入力に接続します。アンプの入力コネクタには様々な種類がありますので、このケーブルはクリッペル社からは供給しません。お手持ちのアンプにあったケーブルを使用してください。
3. パワーアンプの出力は、背面の一番左側にある AMPLIFIER の Speakon コネクタに接続します。
4. ドライバをドライバスタンドか無限バッフルに取り付けます。
5. 背面にある SPEAKER 1 のスピコンコネクタは、本体に添付されている特別なスピーカケーブル(クリップ付)を用いて、ラウドスピーカと接続します。
6. レーザー変位センサーは、背面の LASER 入力に接続することが可能で、これにより機械的パラメータの識別を行うことが可能になります。
7. コンピュータと本体は、前面か背面の USB ポートを使用して接続します。

## レーザーの使用

レーザーは、機械的パラメータを絶対値として識別するために使用します。(その他に  $BI(x=0)$  値をインポートすることによっても実現可能です):

1. レーザーヘッドを、レーザコントローラを介して、DA1 のリア側にある LASER コネクタに接続します。
2. 振動板上に白色インク(修正液)で小さい円を作り、そのポイントにレーザーを合わせます。
3. 振動板の固定位置が、レーザーの動作範囲の中心にあることを確認してください。(レーザーヘッドの黄色のランプ “Range” が常時点灯するようにしてください)

## ハードウェアからの開始

測定は、アナライザユニット単体でも、コンピュータのユーザーインターフェイスからのどちらからでも開始可能です。制御を切り替えた時点で通知が行われるようになっています。



大信号識別の測定は、アナライザユニット、パワーアンプおよびケーブルのみの最もシンプルなハードウェア構成で行うことが可能です。開始、一時停止、プロテクションパラメータの変更、および最も重要な状態表示は、本体の小さなディスプレイとキーを使用して行えるようになっています。


1. 前面の右側にある電源スイッチをオンにする。
2. 現在のファームウェアバージョン、シリアルナンバー、USB の接続状態の表示が終了するまで、2 秒間待ってください。
3. Enter を押して、スタンドアローンモードを選択してください。
4. 上下キー(↓)を使用して、カーソルを **LSI Speaker 1** まで移動してください。
5. **ENTER** キーを押してください。

## dB-Lab からの開始

LSI モジュールの取り扱いに慣れてきたら、dB-Lab を使用して制御を行うようにしてください。

dB-Lab を起動し、LSI 用の新しいオブジェクトを作成してください。

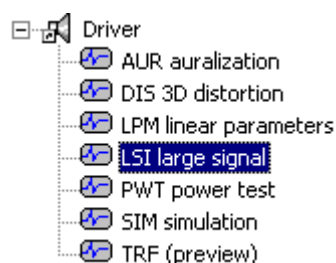
dB-Lab Pro では、 Create/Open Project をクリックし、動作フォルダを指定して OK をクリックします。その後、 New Object をクリックします。

dB-Lab Lite では、 Open Object をクリックし、ブラウザダイアログで New... を押してオブジェクトを作成した後、その新しいオブジェクトを開きます。

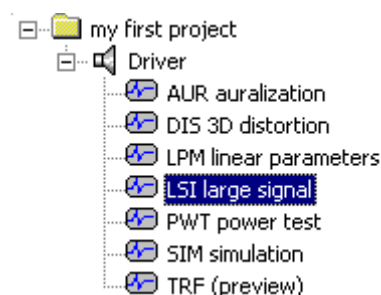
---

注意：新しいオブジェクトにオペレーションが幾つか添付されている(デフォルト)テンプレートを使用するか、あるいは LSI オペレーションを新たにマニュアルで追加したかを明確にしておいてください。詳細については、dB-Lab Lite、dB-Lab Pro のどちらかのセクションに記載されている、dB-Lab の関連チュートリアル”独自データを作成する”を参照してください。

---





dB-Lab Lite のプロジェクトウィンドウ



dB-Lab Pro のプロジェクトウィンドウ


プロジェクトウィンドウで LSI オペレーションを選択する。

1. LSI オペレーションをダブルクリックして、結果ウィンドウのデフォルト設定を開く。データは収集されていないのでチャート内には何も表示されません。
2. メニューから  Window / Tile vertically を選択し、ウィンドウを並べて表示する。
3. ハードウェアユニットが正常に設定・接続されていることを確認し、USB ケーブルを使用して PC と接続する。
4.  をクリックし、測定を開始する。

測定が開始されると、アンプのチェックが行われた後、デフォルトのプロテクションパラメータに基づいた動作範囲が自動的に見つかります。

この動作の詳細に関しては"測定のカスタマイズ"の章を参照してください。LSI 測定の個々のステップに関する情報は、LSI リファレンス内の"オペレーション方法"を参照してください。


## 測定の一時的停止

 Pause ボタンを PC 上でクリックするか、Processing Unit メニューから STOP を選択することで、測定手順をいつでも一時停止することが可能です。再開するには、dB-Lab で Pause ボタンを離すか、あるいは Processing Unit メニューから CONTINUE ボタンを選択してください。

測定中にユニット本体の赤いボタンを押すと、動作中のユニットはスピーカとの接続を無効にし、プログラムを停止状態にします。測定が行われていない場合(一時停止状態、開始前、レーザ距離メータ)は、非常時にスピーカを保護するために、ユニット本体の赤いボタンを押すと現在のプログラムが終了し、コントロールユニットをリセットされるようになっていきます。


## プロセッサユニットの取り外し

測定を停止するとき以外は、いつでもプロセッサユニット本体から PC を取り外すことが可能です：

1. dB-Lab にて、 Save/Finish ボタンをクリックする。
2. Finish ダイアログ上で"Continue Standalone"をクリックする。

上記の設定を行うことにより USB ケーブルを取り外すことが出来るようになります。また、dB-Lab を終了し、PC をシャットダウンすることも可能です。PC 側ではそれまでのデータを保存し、終了します。再度 PC を接続すれば、PC 側で全ての結果を本体から引き出すようになっています。

---

注意：最も重要なデータが利用可能になると、Save/Finish ボタンのアイコンは、 Save/Finish に変わります。

---

## プロセッサユニットの接続

オペレーションをハードウェアユニットから開始したり、測定を終了したりした場合は、ハードウェアユニット内に蓄積されたデータを引き出すには、PC を接続する必要があります。

dB-Lab から測定を開始した場合は、プロジェクトウィンドウで同一の LSI オペレーションを再度選択します。ハードウェアユニットから開始した場合は、前述のように新しいオブジェクトを作成し、LSI オペレーションを選択します。


 Run ボタンをクリックし、現在の測定に接続します。

Select Device ダイアログには、既に実行されているオペレーションが表示され、それらのデータは再表示あるいは重ねて表示されます。OK を押すと可能です。

## 測定の終了

一旦 Final モードに入ると測定が終了します(これらの状態は、ハードウェアユニットディスプレイと State 結果ウィンドウの両方に表示されます)。デフォルト設定では、長時間ドライブさせた際の効果をモニタするため測定が継続されます。

全データを保存するには、測定を dB-Lab から終了させる必要があります。プロセッサユニットを使用して測定を終了させると、ストアされていたデータは全て失われます。

 Save/Finish ボタンをクリックし、Finish ダイアログから"Finish Measurement"を選択します。

## 測定履歴

(測定履歴は LSI Pro のみで利用可能です。)

測定が終了した後でも、識別プロセスの履歴をレビューできます。X 軸に時間が用いられているプロットに関しては、全て履歴カーソル(太い縦棒)が利用できます。カーソルを移動することで、特定の時間のデータを選択することが可能です。

カーソルを移動すると、他の結果ウィンドウ(BI(x)カーブ等)でもカーソルの移動に応じてデータが追従するようになっています。

履歴カーソルはマウスのドラックでも移動することが可能です。また、一旦グラフ内でクリックを行えば、以下のキーを用いて履歴カーソルを操作することが可能です：


キー	アクション
SHIFT + カーソル 左 / 右	前後のサンプルポイントに移動
SHIFT + Home / End	最初と最後のポイントに移動
SHIFT + Page Up / Page Down	大きな間隔で左/右に移動 (間隔はデータポイント数に依存)
SHIFT + 図中でクリック	最も近いサンプルにカーソルを移動



## パート II: 測定のカスタマイズ

### プロテクション パラメータの変更

LSI が最大動作範囲を決定する際には、LSI はドライバの広範囲に適用性のあるプロテクションパラメータを使用します。デフォルト設定はほとんどのドライバに対して安全な  $40 \text{ Hz} < f_s < 150 \text{ Hz}$  に設定されていますが、大きなドライバでは過度なプロテクションになっています。非常に小さいドライバを測定する場合は、さらに制限する必要もあるかもしれません。

1. プロジェクトウィンドウで LSI オペレーションが選択されていることを確認する。
2.  View Properties をクリックし、プロテクション設定を変更するために *Protection tab* を選択する。

測定中にプロテクションパラメータを変更すると、動作範囲を新しい設定に基づく順応を行うために、オペレーションが拡大(Enlargement)モードまで戻ります。

### LPM からのパラメータ のインポート

大信号識別ではスピーカ端子における電気的な情報のみを必要とし、理論的な電気等価回路成分の測定と、フォースファクタ(*Bl*成分)、コンプライアンス  $C_{MS}$ 、およびスティフネス  $K_{MS}$ に関するノンリニアカーブを相対量として測定するのみです：

$$Bl_{rel}(x_{rel}) = Bl_{rel}\left(\frac{x}{x_{max}}\right) = \frac{Bl(x)}{Bl(0)}$$

$$C_{MSrel}(x_{rel}) = C_{MSrel}\left(\frac{x}{x_{max}}\right) = \frac{C_{MS}(x)}{C_{MS}(0)}$$

$$K_{MSrel}(x_{rel}) = K_{MSrel}\left(\frac{x}{x_{max}}\right) = \frac{K_{MS}(x)}{K_{MS}(0)}$$

$x_{max}$  は自動ゲイン順応機能によって検出された変位の許容限度値です。したがって、相対コンプライアンス  $C_{MSrel}(x_{rel})$  は、 $-1 < x_{rel} < 1$  の範囲で表示されます。静止ポジションでは、 $C_{MSrel}(x=0)=1$  に保たれます。機械的なパラメータの絶対値による識別は、既知のパラメータ( $Bl(0)$ 、 $M_{MS}$ たのいずれか、または両方)をインポートすることで簡単に実現可能です：

1. **IMPORT** プロパティページを開きます。
2.  $Bl$  and  $M_{ms}$  パラメータを供給します。例えば、リニアパラメータ測定(LPM)からこれらのパラメータを供給可能です。

---

注意：絶対値による識別は、レーザーを使用しても実現可能です。しかしながら、機械的なパラメータをインポートする方がより正確で有力であるといえます。なぜなら、リニアパラメータ測定(LPM)は、ノイズや高振幅でのレーザスタンドの振動に影響を受けることはなく、かつこのようなレーザーの機能不全(例えば測定限界)を自動的に検知することが可能だからです。

---

### 測定終了の定義

大信号識別では、終了条件を定義しない限り永久に終了しません。したがって、この測定は長期間の変動を評価する際にも使用することができます。プロパティの **Condition** ページにて、システムが一時停止するオペレーション方法を規定できます。：

1. **CONDITION** ページを開きます。
2. Finish task after 入力ボックスの **THERMAL MODE** を選択します。
3. 測定を再度開始します。
4. Thermal Mode が完了すると "Task finished" が表示され、測定が一時中断します。
5. **FINISH/SAVE** を押すと測定が終了し、Pause ボタンをリリースすると再度開始されます。

**Condition** ページを使用することで、測定を早めることが可能です。：

## 測定スピードの増加

- 熱パラメータに関心がなければ、プロパティページの **CONDITION / FINISH AFTER** で *Nonlinear Mode* を選択します。
- モータの構造において、ボイスコイル長がギャップの高さと同じになっていて、*BI* 成分が早く減衰してしまうことがわかっている場合には、**CONDITION** プロパティページの *Nonlinear Mode* の収束時間を 1、2 分などの短い時間に設定しても、測定精度が落ちることはありません。

## テスト用ノイズ信号の変更

**GENERATOR** プロパティでは、励起信号として使用するノイズのプロパティを変更することが可能です。

インダクタンス特性の測定精度を最大にするには、最も広い帯域で測定を行ってください。しかしながら、測定するドライバの温度が許容限度に近くなる場合は、入力パワーを減らした状態で十分な変位が得られるようにバンド幅を減らしてください。

## 最高の性能を発揮させるには

測定はほとんど自動で行われますが、プロパティページからアクセスできるパラメータを用いて、パフォーマンスの最適化を行えます。

### **$BI(x=0)$** をインポート

適応性のある識別をベースにした LSI モジュールは、ノンリニアの測定と熱パラメータの測定に対して最適化されています。レーザーヘッドを用いることで機械的パラメータを絶対項として得ることが可能ですが、プロパティの **IM/EXPORT** ページを介して  **$BI(x=0)$**  をインポートする方法を推奨しています。リニアパラメータ測定モジュールは、この静止ポジション  $x=0$  でのフォースファクタを求めるためと、動作マスの測定のために専用に用意されたものです。

### 最適なノイズ帯域幅

パラメータ測定の間には、推測値と実測電流の間にあるエラー  $E_i$  を最小化することにより、内部モデルをトランスデューサにフィットさせます。一般的には、エラー  $E_i$  はノンリニアモードが終了した時点で、ほとんどのドライバで 20 % 以下になっています。トランスデューサのインダクタンス値が大きかったり、周波数レスポンスが正常でなかったりする場合は、フィッティングエラーが生じ、測定精度が悪化します。しかしながら、測定に使用しているノイズ信号のスペクトラムプロパティを調整することで、これらの影響は十分に減らすことができます。プロパティの **GENERATOR** ページ上にある設定パラメータを最適にするために、いくつかのガイドラインがありますので、以下に示します：

- ウーファを測定する場合は、ピンクノイズ信号を用い、ローパスのカットオフ周波数  $f_{low} \approx 20 f_s$  に設定してください。なお、 $f_s$  はドライバの共振周波数です。
- $400 < f_s < 900$  Hz のツイータを測定する場合は、ホワイトノイズを使用し、カットオフ周波数の最大値は  $f_{low} = 1.5$  kHz にしてください。
- ハイパスのカットオフ周波数  $f_{high}$  は、共振周波数以下で十分は励起を与えるために、 $f_{high} < 0.25 f_s$  に設定してください。

## 最適な動作範囲

適応性のある識別により、コイルの発生確率が 99%以上になる動作範囲  $-X_p < X < X_p$  全体にわたって最適なフィッティングが得られるように、一連のパラメータが決定されます。 $X_p$  は  $X_{max}$  よりも約 20 % 小さいので、 $X_{max}$  までカーブを測定できるようにプロテクションパラメータを調整することをお勧めします。さらなる分析とシステムデザインのために、 $X_{max}$  はピーク変位よりも 20 % 大きい値になっています。

## 小信号の振幅レベル

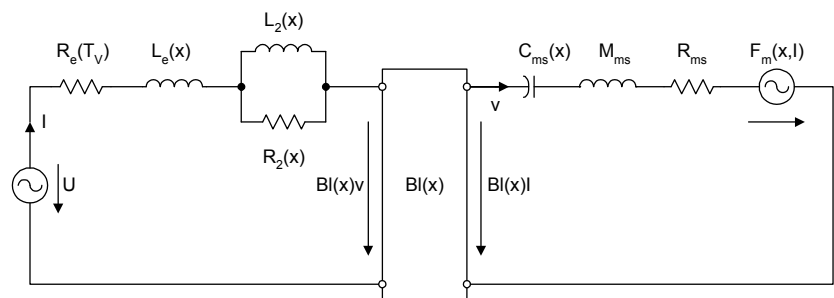
LSI 測定の手順は、内部パラメータである  $G_{small}$  と外部に取付けたパワーアンプのゲインによって定義された小信号ドメインから開始されます。開始の際の振幅はほとんどのケースでそれほど重要ではありません。しかしながら、振幅レベルが非常に小さいと、アンプのゲインが少な過ぎるという旨の例外エラーが表示され、測定がキャンセルされる可能性があります。反対にゲインが非常に高いと、ドライバのノンリニアリティと加熱効果により、小信号パラメータの推測値に偏りが生じ、かつボイスコイル温度が上昇する結果となります。測定が終了したら、拡大モード(Enlargement)の間のゲイン増加量が  $12 < G_{large} < 26$  dB であることを確認してください。

# LSI-リファレンス

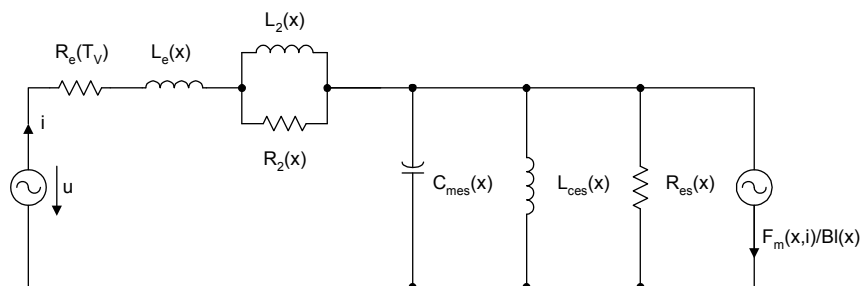
## 大信号モデリング

ラウドスピーカ、ヘッドフォン、またはその他のアクチュエータは、高い振幅で動作すればするほど、出力信号内に多くの歪を含むようになります。これはトランスデューサにおける固有の非線形性が原因です。支配的な非線形歪は予測可能で、一般的な原理、特別なデザイン、材料の特性、およびトランスデューサの組み立てテクニックと密接な関係があります。歪率測定器では精巧なコンピュータシミュレーションと新しい非線形測定を結合させることにより、非線形歪の発生理由を明らかにし、物理的な原因を見分け、構造上の改良点を提案することが可能です。非線形歪のメカニズムをより洞察することで、音質、重さ、サイズおよびコストの面でより最適化が行えるようになります。

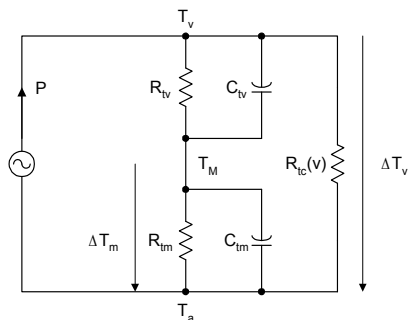
集中成分を含んだ電気 - 機械の等価回路により、ウーファー、シェイカーやヘッドフォンのようなダイナミックアクチュエータを十分にモデル化することが可能です。このモデルは構造上の情報、フリーパラメータ、状態の情報をもとに特性付けられます。モデルの構造は、トランスデューサの基礎物理メカニズムを表します。構造がトランスデューサの原理に依存しているので、モデルのフリーパラメータはトランスデューサタイプによって変化し、かつユニットによっても変化します。最終的に状態量は、周囲温度、据付状態、音響フィールドおよび電気的な励起信号のようなアクチュエータの初期状態に依存します。



電気 - 機械の等価回路



電気等価回路



熱モデル

トランスデューサの状態は、時間信号である以下の状態変数を用いて表すことが可能です。

記号	状態変数
$x(t)$	ボイスコイルの変位
$v(t)$	ボイスコイルの速度
$i(t)$	入力電流
$u(t)$	ラウドスピーカ端子におけるドライブ電圧
$P(t)$	入力電力
$T_v(t)$	ボイスコイルの温度
$T_m(t)$	磁気構造部の温度
$\Delta T_v(t) = T_v(t) - T_a$	ボイスコイル温度上昇
$\Delta T_m(t) = T_m(t) - T_a$	磁気構造部の温度
$T_a$	冷えたトランスデューサの温度(周囲温度)

記号	パラメータ
$M_{ms}$	空間の負荷とボイスコイルを含んだドライバの振動板アセンブリの機械的な質量
$R_{ms}$	ドライバのサスペンションロスの機械的な抵抗
$Bl(x)$	磁束密度 $B$ をボイスコイル長 $l$ で積分した値で定義される瞬時ダイナミックカップリングファクタ(モータのフォースファクタ)
$C_{ms}(x,t)$	ドライバサスペンションの機械的コンプライアンス(ステイフネス $K_{MS}(x,t)$ の逆数)

$L_e(x)$	周波数に依存しないボイスコイルのインダクタンスの一部
$F_m(x, I)$	磁気抵抗力 $F_m(x, i) \approx \frac{i(t)^2}{2} \frac{\partial L_e(x)}{\partial x}$
$L_2(x)$	ボイスコイルの擬似インダクタンス
$R_2(x)$	うず電流により発生する付加的なロスから生じる電気抵抗
$R_{es}(x)$	ドライバのサスペンションロス RMS による電気抵抗
$C_{mes}(x)$	空間負荷を含むムービング質量 MMS による電気容量
$L_{ces}(x)$	機械的サスペンションのコンプライアンス CMS (x) による電気インダクタンス
$R_{tv}$	コイルから磁気構造部へのパスにおける熱抵抗
$R_{tm}$	周囲温度に対する磁気構造部の熱抵抗
$C_{tv}$	ボイスコイルと周囲環境の熱容量
$C_{tm}$	磁気構造部の熱容量
$R_{tc}(v)$	$R_{tc}(v) = \frac{1}{ v  r_c}$ 上記の式で定義される空間対流冷却による熱抵抗

いくつかの集中成分は、ほとんど時間とラウドスピーカの状態に依存しないパラメータをもち、リニアなラウドスピーカ理論に一致する定数パラメータとして使用されます。

支配的なノンリニアリティは、変位に依存するパラメータによってモデル化されます。フォースファクタ  $Bl(x)$  およびインダクタンスパラメータは瞬時変位のみに依存し、ボイスコイルの静止ポジションが変わらない限り、時間経過によりそれほど変化するものではありません。しかしながら機械的サスペンションのステイフネス  $K_{ms}(x, t)$  は、疲労、ヒステリシス、クリープおよび時間的な変動を説明するためのもので、上で述べた変位時間信号の関数となっています。ボイスコイルの小さな動きによって発生するこのパラメータの変動は、トランスデューサの変換バンド内に高調波歪と相互変調歪成分を発生させます。したがって、これらの成分はノンリニア成分としてとらえる必要があり、このパラメータ変動はノンリニアパラメータとして参照されるべきです。

ボイスコイルの電気抵抗  $R_e(T_v)$  はボイスコイルの瞬時温度  $T_v$  に依存します。しかしながら、温度  $T_v$  はゆっくりと変化し、 $R_e(T_v)$  の変動は可聴帯域内に新たな歪成分を発生させることはありません。したがって、電気抵抗  $R_e(T_v)$  はリニアで、時間変動成分としてモデル化することができます。

空間対流冷却から発生する熱抵抗  $R_{tc}(v)$  はコイル速度  $v$  の関数になります。

## システム識別

大信号識別では、トランスデューサが正常に動作している状態で、パラメータと状態情報を識別します。振幅が高くなればなるほど、ラウドスピーカは時間経過によって変動する要素をもつようになり、かつ再生を行った際に歪成分が生じる結果となります。ラウドスピーカは複雑なメカニズムをもつため、調査研究は理論をベースに行われてきました。ディストーションアナライザ 1 は、理論と実践のギャップを埋めると共に、ラウドスピーカの評価と改良にとって強力なツールとなります。ディストーションアナライザ 1 は拡張されたラウドスピーカモデルのフリーパラメータを測定します。振幅が小さいときのみ有効な Thiele-Small パラメータに加えて、新しいパラメータにより、全体の動作範囲における温度やノンリニア作用が明らかになります。

ディストーションアナライザ 1 は、全動的測定を実行します。ラウドスピーカは、ノイズを再生している間にノーマル動作モードで測定されます。最適なパラメータは、適応性反転制御をベースとしたノンリニアのシステム識別によって推測されます。バック EMF 検知を用いることで、音響環境とセンサーシステムによって起こるエラーを減らしながら、ラウドスピーカ端子における電圧と電流から測定に関する情報が得られるようになっています。

ディストーションアナライザ 1 はスタンドアローンのシステムとして動作させることが可能で、長期のラウドスピーカ測定を、パワーアンプのみを用意することで行うことができます。このシステムではテスト信号の発生と、ラウドスピーカの瞬時状態とパラメータのモニタを行います。ユーザーインターフェイス上に表示される最も重要な測定情報に加えて、詳細なデータはプロトコルにまとめられた後、USB インターフェイスを介してコンピュータに送られるので、より細かい調査を行うことが可能です。プロテクションシステムにより、ピーク変位とボイスコイルの温度はあらかじめ定めたスレッショールド以下になるように監視されます。(例えば、特殊なプロトタイプを測定するような場合にも有効)

識別パラメータを含む拡張トランスデューサモデルは、数値的なシミュレーションのベースとなるもので、これにより別のアプリケーションにおいて、トランスデューサのノンリニアおよび温度特性を予測することができます。高調波と相互変調歪成分は、マルチトーン励起信号と測定したレスポンスを比較することにより、計算することが可能です。ノンリニア作用のシミュレーションは直接測定よりも時間を要しませんし、ラウドスピーカのノンリニアリティの分析を可能にします。各ノンリニアリティが全歪成分にどれくらい寄与するかを計算することが可能ですので、支配的な歪のソースがどのようなものであるかを判別することができます。

このような情報は、ラウドスピーカ設計の不良点を見つけるには重要であり、かつ、構造的な改良を行う場合の指標を得ることができます。また、スピーカにコストをかけずにノンリニア成分の一部を減らすことが可能です。パラメータ特性の非対称性を検知することが可能で、ボイスコイル、機械的サスペンション、ボイスコイルインダクタンス用の手法を最適に調整することにより、2次歪を減らすことができます。

大信号識別の測定は、長期にわたる測定の終わりに、最初のシステム識別として行われます。

どのオペレーションモードにおいても、測定システムは、システム識別が収集中のデータおよび結果に関する情報を継続的に供給します。最も重要な情報は動作中のユニットに表示されます。利用可能な全ての情報はデータベースにストアされ、PC を使用して参照することができます。

## 測定コンディション

ラウドスピーカは自由空間で測定し、かつムービング質量に対して重力がかかるのを避けるため、ラウドスピーカ軸は水平になるように設置することをお勧めします。特別なラウドスピーカスタンドを使用することにより設置がシンプルとなり、レーザー変位メータを簡単に使用できます。IEC 60268-5にて規定されている標準バッフルも、位置決めなどに便利な設計になっています。

ドライバをシールドボックスに設置することも可能ですが、エンクロージャ空間でステイフネスが増加するため、大きな変位で測定を行うには、励起信号のパワーを大きくする必要があります。

初期バージョンのディストーションアナライザでは、トランスデューサの測定を、上述のモデリングに従って、音響負荷を含んだ機械的システムが2次システムとして表すことができる条件で行う必要があります。ウーハーは自由空間または密閉されたエンクロージャ内で動作させます。エンクロージャ空間の容量を知ることにより、ドライバのパラメータを全体のシステムから得られた結果からドライバのパラメータを分離することが可能です。シェイカーは、モデリングでは考慮されていない高次モードを避けるために、ソリッドなプラットフォームにマウントする必要があります。さらに詳細な調査のために、トランスデューサのシステム識別に、ベンテッドボックスやバンドパスシステムのような複雑な音響上、機械上複雑なシステムを接続することも可能です。この測定により、ポートのノンリニアリティの識別や、ドライバ上の影響をさらに調査することが可能になります。

どのケースでも、自由空間におけるウーハーの測定は非常に便利です。なぜなら、ラウドスピーカに加える電气的パワーをより少なくして機械的なプロパティを測ることができたり、エンクロージャ内よりもノイズを少なくしたりすることが可能だからです。ウーハーを垂直位置に固定し、振動板の変位をレーザーにより測定する際には、特別なスタンドを使用するのが有効です。音響上で距離が離れた環境でも、ラウドスピーカパラメータに小さな影響しか与えないので、測定は通常の部屋かあるいはパワーテストルームで行うことが可能です。

## 励起信号

このディストーションアナライザには、トランスデューサを完全に識別するために、十分な振幅とスペクトラムプロパティをもつ励起信号が必要です。一定の周波数と振幅をもつ単一のサイン波を用いた場合は、2つの自由パラメータだけをもつシステムしか識別できません。高周波数におけるマルチトーン信号、またはバスのないフルートコンサートのような信号では、ボイスコイルを大きく変動させることはできず、トランスデューサのノンリニアリティを検出する際にベースとなるノンリニア歪成分を発生させることができません。フルオーケストラ音楽やポップミュージックのような通常の音楽信号を用いることにより、絶え間なく励起を与えることができますが、信号ソース(CDプレーヤなど)が必要となります。しかしながら、人工的に作られたノイズ信号を、IEC 60268-1に規定されているシミュレーションプログラムマテリアルに使用することにより、便利で理想的な測定を行うことができます。この信号はスペクトラムプロパティ、適切な振幅分布を考慮した上でDSPを用いて簡単に発生可能で、システム識別において最適なパラメータを短時間で見つけることができるようになります。ノイズの振幅分布はpdfヒストグラムに表示されます。

## 動作モード

測定手順は、最初の識別、長期間のモニタリング、オペレーションの追加モードによって編成されています。



ステップ	オペレーションモード	コメント
1(7)	アンプモード	トランスデューサに励起をしないアンプチェック
2(7)	R <sub>e</sub> モード	DC成分を含んだR <sub>e</sub> の測定
3(7)	リニアモード	小信号ドメインにおけるリニアパラメータの測定
4(7)	拡大モード	許容動作範囲 (x <sub>max</sub> , P <sub>max</sub> )の識別
5(7)	ノンリニアモード	ノンリニアパラメータの識別
6(7)	熱モード	熱パラメータの識別
7(7)	最終モード	全パラメータの長期間測定
	例外モード	不具合を表示するエラーメッセージ
	一時停止	システム識別の中断

### アンプモード(ステップ1)

励起信号を使ってラウドスピーカをドライブする前に、以下の点に注意してその他の機器のチェックを行ってください。

- 接続
- アンプのゲイン
- 信号の極性 (180度の位相シフト)
- アンプによって起こるノンリニア歪
- リニア伝達関数 (位相と振幅レスポンス)

アンプチェックが成功しないと、アナライザユニットは自動的に例外モードに入り、測定が中止されて故障メッセージが表示されます。

### R<sub>e</sub>モード(ステップ2)

アンプテストが成功すると、非常に低い周波数におけるR<sub>e</sub>を測定するために、ラウドスピーカに小振幅のDC励起信号が供給されます。

### リニアモード(ステップ3)

R<sub>e</sub>測定が終了すると、ラウドスピーカには小振幅の励起信号が供給されます。ノンリニアパラメータの変化とボイスコイルの加熱作用は無視することが可能なため、識別されたパラメータは従来の小信号測定と一致します。ボイスコイル抵抗と関連する周囲温度  $T_V = T_A$  は、ステップで測定され、この後に行われる測定で必要となるボイスコイル温度上昇  $\Delta T_V = T_V - T_A$  を予測するために用いられます。

### 拡大モード(Step 4)

リニアパラメータの予測が終了に向かうと、大信号ドメインにおける温度およびノンリニアパラメータの予測が、励起信号の振幅を徐々に大きくすることにより進んでいきます。励起信号の振幅の増加は、予め定義された限度値に達するか、安全な動作レンジの最大値に達するまで行われます。拡大モードではLMSアップデートアルゴリズムにより、最も早く学習されるようになっています。

### ノンリニアモード(ステップ5)

最適な動作レンジが見つかった後、高振幅でのノンリニアパラメータ識別が終了するにはしばらく(5分)かかります。なぜなら、変位のピークの発生確率は比較的少ないからです。(pdf(x)結果ウィンドウと比較してください。)

### 熱モード(ステップ6)

ノンリニアパラメータが識別されると、ボイスコイルの熱抵抗  $R_{TV}$  および容量  $C_{TV}$  が、スピーカの入力パワーを減らすことにより測定されます。

スピーカの入力パワーの減少は、以下の方法とボイスコイル温度 $\Delta T_V$ をモニタすることにより行われます。

1. 低振幅のノイズ信号による励起 (コイルの冷却)
2. ハイパスでフィルタリングされたノイズ信号による励起 (低対流冷却でのコイル加熱)
3. フルバンドのノイズ信号による励起 (フル対流冷却によるコイル加熱)

ボイスコイルの瞬間の温度上昇 $\Delta T_V$ は、ボイスコイル抵抗 $R_E(T_V)$ の増加から計算され、動作中のユニット内のデータベースに電氣的パワーと一緒にストアされます。ボイスコイルの短期間における時間的特性と磁気機構の間にある時間定数の大きな違いを考慮することで、熱パラメータを識別することができます。

## 最終モード(ステップ7)

熱モードが終了すると、トランスデューサの最初の識別が終了し、長期間の測定が開始されます。このモードでは、パラメータ予測での測定ノイズの影響を最小限にするために、アップデートアルゴリズムの学習スピードを減らしています。瞬時状態とパラメータは、サンプルレートを落としてデータベースにストアされます。これは、トランスデューサパラメータ熱抵抗、 $R_{TM}$ と磁気機構、キャパシタンス $C_{TM}$ を長期間モニタするためです。また、以下に挙げる 2 つのモードでは、測定が中断され、トランスデューサとパワーアンプの接続が切り離されます。

## 例外モード

大信号パラメータの測定は、もしコントローラの状態またはパラメータから故障していることが判断できたり、学習プロセスが失敗したりした場合に中止されます。このような場合には、コントローラの動作は止まり、ディストーションアナライザは自動的に、アンプ出力からラウドスピーカを切り離します。エラーメッセージが、PC上のユーザーインターフェイスとディストーションアナライザ本体上のディスプレイに表示されます。もし、測定値が物理的に有効な範囲を超えている場合には、アナライザユニットは他の全ての適応パラメータをチェックし、パワーアンプからトランスデューサを切り離します。

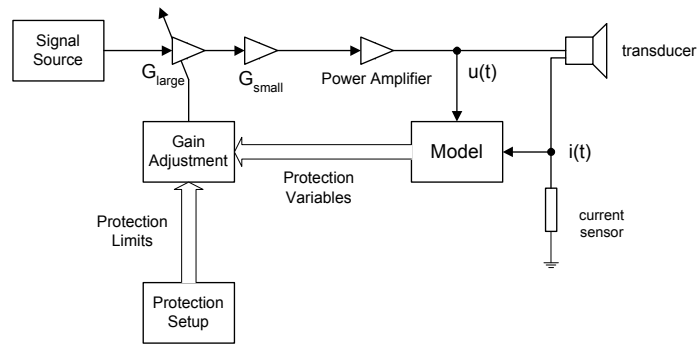
## 一時停止

測定手順は、PC上の測定メニューから **Pause** ボタンをクリックするか、動作ユニットにある **STOP** を選択することにより、いつでも中断することが可能です。dB-Lab 上の **PAUSE** を再度押すか、ハードウェアユニットの **CONTINUE** を選択することにより、同じステップから再開されます。

測定実行中に動作ユニット上の赤いボタンを押すと、動作ユニットはスピーカを切り離し、プログラムを一時停止モードに設定します。この機能は、測定の即時中断を意図して用意されており、スピーカを保護することが可能になっています。

## プロテクションの動作方法

拡大モードは、動作範囲の限度値を見極める必要があるために、非常に危険なモードです。オーバーロードであるかどうかは、熱、機械的かつ電氣的な量、およびノンリニアパラメータの変動から判断することが可能です。ダイナミックトランスデューサは、端子部に発生する熱的なあるいは機械的なオーバーロードにより、破壊される可能性があります。



## 熱負荷

ラウドスピーカの加熱作用は比較的ゆっくりしていて、ボイスコイル温度の増加 $\Delta T_V(t)$ から簡単にチェックできます。もしボイスコイルの温度が許容限度値を超えると、アセンブリがダメージを受けるのを避けるために励起信号の振幅が減らされます。磁気機構の温度 $\Delta T_M(t)$ は、識別されたボイスコイルの熱抵抗と磁気機構から予測することが可能です。 $\Delta T_V(t)$ は、全ての変動を平均化した、ボイスコイルの実効温度を意味していることに注目すべきです。通常、ポールピースおよびポールプレート付近での変動による温度は、ギャップ外の変動による温度比べて低くなっています。ボイスコイルが大きく前面に出るようなトランスデューサでは、この局所的な温度の違いが重要になってきます。

## 機械的負荷

ボイスコイルの変位量 $x(t)$ は、機械的システムにかかる負荷量として考えることができます。もし、この変位が許容ピーク値 $x_{max}$ を超えると、振動板、機械的サスペンション、またはボイスコイル構造さえも完全に破壊されてしまう可能性があります。したがって、最大変位 $x_{max}$ は、トランスデューサの低周波数における最大音響出力に関わるスペックを記述する上で、非常に重要なパラメータです。

しかしながら変位 $x$ は、測定するドライバ自体の最大変位が規定されていなければ、プロテクション用の変数としてはそれほど有効ではありません。したがって、オーバーロードを起こした際のサスペンションの幾何学的な変化を直接表す数値が必要となります。コンプライアンスの非線形特性はこの種の情報を反映し、またこの情報は、最小コンプライアンス比 $C_{min}$ により単一値のパラメータとして要約されます。以下に示す一般的なトランスデューサデザインでは、機械的性能がスパイダ、あるいは少なくともサラウンドによって制限されています。このようなトランスデューサでは、ダメージを与えることなく $C_{min}$ の変動を20%まで許容することができます。測定された $C_{min}$ は、ボイスコイル構成部品がバックプレートにぶつかるといった、その他の制限メカニズムについても反映します。しかしながら、過度な制限が、警告なしに別の振幅でかかったり、低振幅の $C_{min}$ から予期せず起こったりする可能性もあります。

フォースファクタ $Bl_{min}$ の最大変動は、他にも、トランスデューサの最大変位 $x_{max}$ を判断するのに有効な基準となります。このパラメータは、モータ構造内における、ボイスコイルの高さとポールプレートの厚さとの比を表します。最大フォースファクタ変動 $Bl_{min} < 50\%$ の範囲では、トランスデューサの伝達帯域全体にわたって、出力信号に歪成分が発生し、またこれが利用可能な動作レンジの末端を示すこととなります。

## ゲインコントロール

ディストーションアナライザは、この情報をプロテクションシステム内で使用しています。内部的に発生されたノイズ信号は、ゲインコントロールユニットとパワーアンプを介してトランスデューサに供給されます。ゲインコントロールユニットには、励起信号の減衰を行う2つの理由があります。

## 小信号振幅

最初のアッテネータ  $G_{small}$  は測定中には一定ですが、未確認のトランスデューサが安全に動作する範囲での小信号測定において、ユーザが適切な信号振幅を選択することで、 $-20\text{dB} < G_{small} < 0\text{ dB}$  の範囲で変化させることが可能です。このアッテネータはパワーアンプのゲインを主に補償します。この設定は、許容可能なパワーに大きな違いがない限り、同様のトランスデューサの測定用に使用できます。

---

注意:  $G_{small}$  の変更には、測定の再スタートが必要です。したがって、**リニアモード**での信号振幅が大きくなり過ぎたり、 $G_{large}$  が 26dB に付近に達したりしたら測定を停止して、この値を変更してください。

---

## 大信号振幅

2番目のゲイン  $G_{large}$  では、大信号測定における最大振幅を決定します。小信号測定の間は、 $G_{large}$  は最低値である 0 dB に設定されます。もし、自動ゲイン調節が有効になっていれば、 $G_{large}$  は、その後続く大信号測定中に、最大動作範囲が見つかるまでゆっくりと増加します。 $G_{large}$  が上限値である 26 dB を超えると、エラーメッセージが表示され、システム識別が例外モードに入ります。ディストーションアナライザ内のシステムは  $G_{large}$  をコントロールしていて、プロテクションセットアップ画面で定義された  $\Delta T_V$ ,  $B_{lim}$ ,  $C_{lim}$ ,  $P$  およびそれに関連する限度値をシステム内で使用しています。プロテクションのための変数は、電流のモニタリング機能とその他のセンサーシステムを併せて使用することにより簡単に確認することができます。

## プロテクション許容値

各プロテクション変数用に、許容限度値を表す変数をプロパティの PROTECTION ページに規定します。

記号	ファンクション
$\Delta T_{lim}$	ボイスコイル温度増加量 $\Delta T_V$ の許容限度
$B_{lim}$	フォースファクタ比の最小値 $B_{min}$ の許容限度
$C_{lim}$	機械的コンプライアンス比の最小値 $C_{min}$ の許容限度
$P_{lim}$	入力電力の最大値 $P$ の許容限度

もし、プロテクション変数の一つでも限度パラメータと等しいことがわかれば、その特定のトランスデューサにのみ適用可能な  $G_{large}$  の最大値を見つけることが可能です。

## プロテクション パラメータの初期値

最初の3つの限度値  $\Delta T_{lim}$ ,  $B_{lim}$  および  $C_{lim}$  は一般的な設定パラメータとして考えることが可能です。伝統的な方法でこれらの限度値を使用すると、 $\Delta T_{lim} = 60\text{ K}$ ,  $b_{lim} = 50\%$  および  $C_{lim} = 50\%$  となります。これはドライバのプロテクションを主な目的としており、トランスデューサの広い範囲において有効です。スピーカを熱限界までテストするには、ボイスコイル、使用されている接着剤、機構の構成材料に関する詳細な専門知識が必要になります。最大電力  $P_{lim}$  は、熱識別やノンリニアメカニズムから独立した、限定的なプロテクションパラメータとして使用可能です。 $P_{lim}$  のデフォルト値は 50W で、実際に測定される入力電力を規定できます。

## 許容限度付近までの測定

もし、プロテクションの許容限度値まで測定を行いたい場合は、拡大またはノンリニアモードで動作している間に、マニュアルでプロテクションパラメータを増加させることをお勧めします。もし、ノンリニアモードの間にプロテクションパラメータを変更すると、測定は拡大モードまで戻り、新しい設定が有効になるように動作レンジを調整します。

この動作を行うことにより、ボイスコイルの摩擦、ボイスコイル機構のバックプレートへの衝突など、新たな問題が起こることに気づくはずですので、その場合には、プロテクションパラメータを変更してください。

## プロセッシングユニットからの制御

### 測定の開始

測定は、PCが接続されていない状態でもハードウェアユニットから開始することが可能です。フロントパネルのカーソルキーを使用してメニューアイテムを選択し、Enterを押して動作させます。測定の開始

ハードウェアのスイッチをONにした後、スタートアップスクリーンが表示される前2秒ほど待ち、Enterを押してメインメニューを表示させてください。

```
Main Menu
> LSI Speaker 1
   PWT-Power Test
   Displacement Meter
```

カーソルは上下キー(↓,↑)を使用して動かすことができます。LSIを選択し、Enterキーを押します。

測定は、アンプテストから開始されます。

```
LSI Speaker 1
Amplifier MODE 1 (7)

>STOP   SETUP   PAGE
```

現在STOPが選択されているので、Enterを押せば測定が一時中止されます。SETUPを選択すると、設定を変更できます。*Measurement Paused*メニューからCONTINUEを選択すると測定を継続できます。

### 設定の変更

メニューでSETUPを選択し、ENTERを押します。測定および表示の変更を行うことが可能です。測定の設定

```
Setup:

> MEASUREMENT SETUP
   DISPLAY SETUP
```

### 測定の設定

測定設定画面が表示されると、3つのオプションを選択可能になります：

```
Measurement Setup:
PROTECTION
EXCITATION
IMPORT b (x=0)
```

- **PROTECTION** ページでは、ユーザは自動ゲイン調整に関連するプロテクションリミット値を変更できます。
- **EXCITATION** ページでは、励起信号として用いるバンドパスリミットノイズの上限カットオフ周波数を変更することができません。
- **IMPORT** ページはまだ適用されていません。

```
Protection Limits:
up
motor b_lim = 20 %
down
```

## プロテクション

1. 上下キーを用いてプロテクションリミットパラメータを選択し、**ENTER** を押して確定する。
2. 左右キーを用いてパラメータの桁を選択し、上下キーを用いて値を変更します。**ENTER** キーを押して確定する。
3. 次のプロテクションリミットパラメータを選択し、編集する。
4. **ESC** キーを押してプロテクションリミットパラメータの入力を終了する。

プロテクションページでは以下のパラメータ変更が可能です:

記号	単位	範囲	分量
$\Delta T_{Lim}$	ケルビン	$0 < \Delta T_V < 300$	ボイスコイルの温度上昇 $\Delta T$ の許容最大値 (Protection ページで定義)
$B_{lim}$	%	$25\% < B_{min} < 100\%$	フォースファクタの変動比の許容最小値 (Protection ページで定義)
$C_{lim}$	%	$20\% < C_{min} < 100\%$	機械コンプライアンス比 $C_{min}$ の許容最小値 (Protection ページで定義)
$P_{lim}$	W	$0 < P_{lim} < 1000$ W	最大電力パワー $P$ の許容最小値 (Protection ページで定義)
$G_{small}$		$-20 \text{ dB} < G_{small} < 0 \text{ dB}$	プロテクションページの下部にあるアンプゲイン $G_{small}$ は測定中に変動することはありませんが、未確認のトランスデューサをリニアモード 2 において安全に動作させるために、最適な信号振幅を選ぶことが可能です。 $G_{small}$ は重荷パワーアンプのゲインを補正するために用いられます。同様なトランスデューサを測定する場合には、許容パワーに大きな違いがない限り、同一設定を用いることが可能です。パラメータを変更した後は、測定は自動的に再スタートし、アンプモード 1 から開始されます。

## 励起

```

Excitaton:
      up
f_LP = <1000 Hz>
      down
    
```

カーソルの上下キーを用いて、ノイズに用いられるローパスフィルタのカットオフ周波数を選択し、**ENTER** で決定します。

## ディスプレイ設定

```

Display Setup:
SINGLE VARIABLE
ALTERNATELY
DISPLAY PAGES
    
```

上下キーを用いて3つのオプションから選択します。**ENTER** を押して決定します。

- **Single Variable:** 選択した変数が表示されます。
- **Alternately:** 全ての変数が周期的に表示されます。
- **Display Pages:** 選択した一組の変数が表示されます。

## 単一変数表示

```

      up
      Distortion
force factor d_b
      down
    
```

上下カーソルを用いて、状態変数を選択し **ENTER** を押して決定します。下記の状態変数を選択できます：

記号	単位	状態変数	レーザー
$\Delta T$	ケルビン	ボイスコイルの温度増加	
$u_{max}$	V	ピーク電圧	
$i_{peak}$	A	ピーク電流	
$x_{peak}$	mm	スピーカのピーク変位	必要
$x_{DC}$	mm	変位の DC オフセット	必要
$P$	W	現在の入力電力	
$C_{min}$	%	現在の最小コンプライアンス比の値	
$Bl_{min}$	%	現在の最小フォースファクタ比の値	
$d_L$	%	インダクタンス L によって起こる歪みの値	
$d_C$	%	コンプライアンス C によって起こる歪みの値	
$d_b$	%	フォースファクタ b によって起こる歪みの値	

変位のピーク値および dc 値を絶対値として表示するには、レーザーセンサーが必要であることに注意してください。

## 交互アップデート

交互アップデートを選択すると、表示される変数が2秒毎に周期的に変わります。前章に記載されている全てのパラメータが表示されます。これがデフォルトの表示設定です。

測定が実行中であり、単一変数あるいは交互アップデート表示モードが選択されていれば、メインページに以下のような成分が表示されます：

```
Transducer Measurement:
  1. Amplifier Test
    P = 15 W
    STOP   SETUP   PAGE
```

左右カーソルを用いて3つのオプションから選択を行い、**ENTER**を押して確定します。

- **STOP**: このオプションが選択されると、現在行われている測定を一時停止し、**Pause** ページが表示されます。また、本体前面にある赤いボタンを押しても同様に機能します。(測定実行中のみにこの機能が有効です!)
- **SETUP**: このオプションが選択されると、プロテクションリミット、励起信号およびインポートパラメータを変更する **Measurement Setup** に入ったり、表示モードを変更する **Display Setup** に入ったりすることができます。
- **PAGE**: 選択された **Display Page** が表示されます。デフォルトの **Display Page** は、*Protection States and Limits* です。

## ページ表示

ページ表示の内どれか一つを選択すると、選択されたページの全変数が自動的に表示されます。ページ表示がアクティベートされた場合、現在の動作モードは表示されなくなります。ユーザが測定を中断したり、故障が発生したりした場合は、ページ表示は行われなくなり、**Exception** ページまたは **Pause** ページが現れます。いずれかキー(赤いボタン以外。これを押すと現在の測定が一時停止します)を押すことで、ページ表示が再度行われるようになります。測定が実行中なら、最後に選択された表示ページが現れます。

```
Display Setup:
  SINGLE VARIABLE
  ALTERNATELY
  DISPLAY PAGES
```

上下カーソルを用いて3つのオプションから選択を行い、**ENTER**を押して確定します：

- プロテクション変数および許容プロテクションリミット
- 瞬時の歪み成分の統計
- 予備の状態 (変位、電圧と電流)

記号	単位	プロテクションの状態
$\Delta T_V$	ケルビン	ボイスコイル温度の瞬時増加量
$\Delta T_{Lim}$	ケルビン	ボイスコイル温度の許容増加量 $\Delta T$



		(プロテクションページで定義)
$B_{lim}$	%	動作範囲におけるフォースファクタと静止ポジションでのフォースファクタの比の最小値
$B_{lim}$	%	フォースファクタの変動比 $B_{lim}$ の許容最小値 (プロテクションページで定義)
$C_{min}$	%	動作範囲でのコンプライアンスと静止ポジションでのコンプライアンスの比の最小値
$C_{lim}$	%	機械コンプライアンス比 $C_{min}$ の許容最小値 (プロテクションページで定義)
$P$	W	入力電力
$P_{lim}$	W	入力電力 $P$ の最大許容値(プロテクションページで定義)

歪み分析(Distortion Analysis)ページでは、オーディオ信号のような信号を再生した場合に、各ノンリニアリティがトータル歪に対してどれだけ寄与しているかを表示しています。ここに表示されている値は最終アップデート時まで測定されたピーク値であり、これら3つの値を加算しても、トータル歪みにはならないことに注意してください。


記号	単位	歪み分析(Distortion Analysis)
$d_b$	%	ノンリニアフォースファクタの歪みファクタに対する寄与(フォースファクタ歪みピーク値とトータル信号のピーク値の比)
$d_L$	%	ノンリニアインダクタンスの歪みファクタに対する寄与(インダクタンス歪みピーク値とトータル信号のピーク値の比)
$d_C$	%	ノンリニアコンプライアンスの歪みファクタに対する寄与(コンプライアンス歪みピーク値とトータル信号のピーク値の比)

補助状態(Auxiliary States)ページでは、電気量および機械量のピーク値が表示されています。

記号	単位	補助状態(Auxiliary States)	レーザー
$i_{peak}$	A	入力電流のピーク値	
$u_{peak}$	V	トランスデューサ端子における電圧のピーク値	
$x_{peak}$	mm	ボイスコイル変位の正側のピーク	必要
$x_{bottom}$	mm	ボイスコイル変位の負側(ボトム)のピーク	必要
$x_{DC}$		ボイスコイル変位の平均 DC 値	必要

## PC からの制御

### Property ページ

プロジェクトウィンドウで LSI オペレーションを選択し、プロパティ参照ボタン  を押します。プロパティページには設定パラメータ、結果表示のコントロールが用意されています。また、アナライザユニットが識別を行うために動作している状態でもユーザが設定を行えるようになっています。既に測定が始まっている状態でも、以下のパラメータを調整することが可能です。

プロパティページ	機能
INFO	INFO ページでは、測定名の変更、コメントの追加を行うことができます。詳細は、dB-Lab のマニュアルを参照。
DRIVER	DRIVER ページでは、ユーザが入力する特別なトランスデューサパラメータが用意されています。詳細は、dB-Lab のマニュアルを参照。
GENERATOR	GENERATOR ページではノイズジェネレータの設定パラメータを調整できます。
PROTECTION	PROTECTION ページでは、励起信号の振幅コントロールを行うためのパラメータを調整できます。
CONDITION	Condition ページでは測定が終了するモードを規定することが可能です。
IMPORT	IMPORT ページでは、ユーザが他の測定結果から得られた既知の小信号パラメータをインポートすることができます。
SERIES	フォースファクタ $Bl(x)$ 、ボイスコイルのインダクタンス $L_E(x)$ 、コンプライアンス $C_{MS}(x)$ 、スティフネス $K_{MS}(x)$ のノンリニア特性を電力級数展開式でも表示できます。

### DRIVER ページ

DRIVER ページでは、特別なトランスデューサパラメータを入力できるようになっています。

The screenshot shows a dialog box titled "first example driver" with two tabs: "Info" and "Driver". The "Driver" tab is active. It contains a "Rated values" section with the following parameters:

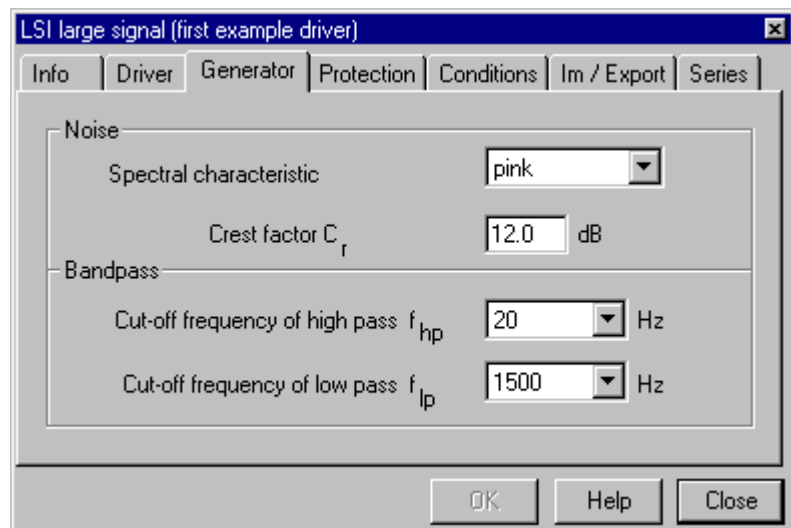
- Diaphragm area  $S_d$ : 54.11 cm<sup>2</sup>
- Diameter  $d_d$ : 8.30 cm
- Material of voice coil: copper (selected from a dropdown menu)
- Power  $P_e$  (max): 4.00 W
- Impedance  $Z_n$ : 8.00 Ohm

At the bottom of the dialog box are buttons for "OK", "Help", and "Close".

要素	単位	コメント
振動板面積 $S_D$	$\text{cm}^2$	振動板の面積は、ドライバ振動板の有効表面エリアです。
直径 $d_d$	cm	円形振動板の直径を入力することにより、振動板エリア $S_d$ が計算されます。
ボイスコイルの材質	(銅、アルミニウム)	ボイスコイルに使用されている材質がわかっている場合は、その種類を選択します。この情報は、ボイスコイル抵抗の変動から、ボイスコイルの温度上昇を識別する際に使用されます。
電力 $P_e$ (max)	W	製造メーカーが規定した最大入力電力
インピーダンス $Z_n$	Ohm	製造メーカーにて評価した、インピーダンス値

## GENERATOR ページ

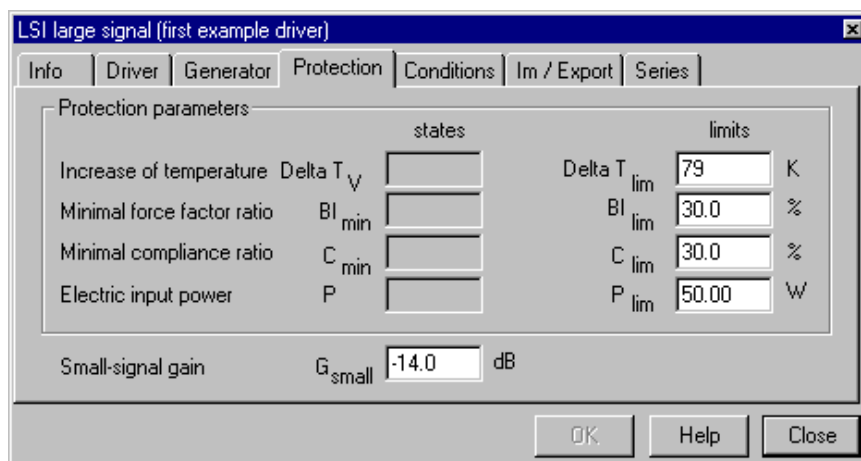
Generator ページでは、ノイズジェネレータのパラメータを設定できます。



要素	単位	範囲	コメント
スペクトラム特性		pink, white	ピンクあるいはホワイトのスペクトラム特性が発生させ、ランダムノイズバンドパスフィルタリングと振幅圧縮へ適用されます。
クレストファクタ $C_r$	dB	6 – 18 dB	ピーク値と RMS 値の比を規定された値にするために、ノイズはバンドパスフィルタリングの後、振幅コンプレッサに適用されます。
ハイパス $f_{hp}$ のカットオフ周波数	Hz	20 – 150	2 次のハイパスが、ホワイトあるいはピンクノイズ信号に適用されます。
ローパス $f_{lp}$ のカットオフ周波数	Hz	200 – 1500	2 次のローパスが、ホワイトあるいはピンクノイズ信号に適用されます。

## PROTECTION ページ

PROTECTION ページでは、励起信号の振幅制御用のパラメータにアクセスできるようになっています。

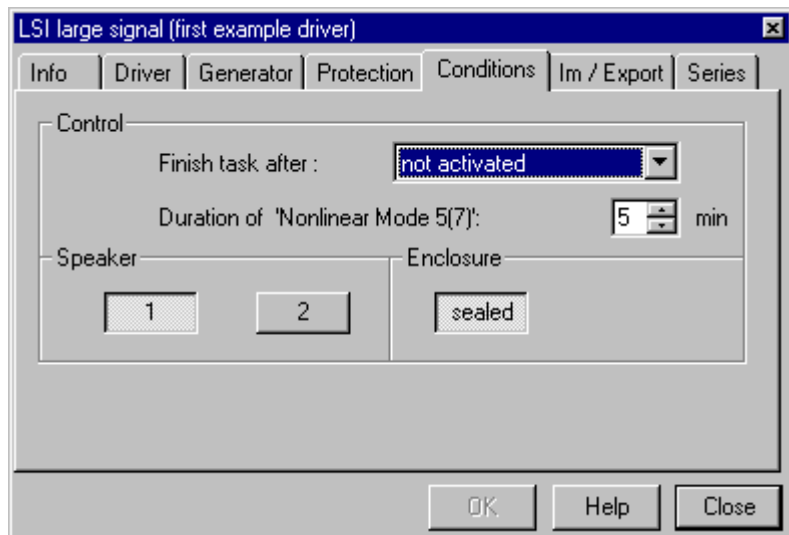


Protection パラメータ用のプロパティページにおける設定

記号	単位	範囲	分量
$\Delta T_V$	ケル ビン		ボイスコイル温度の瞬時増加量
$\Delta T_{Lim}$	ケル ビン	$0 < \Delta T_V < 300$	ボイスコイル温度の許容増加量 $\Delta T_V$ (プロテクションページで定義)
$BI_{min}$	%		動作範囲でのフォースファクタと静止ポジションでの フォースファクタの比の最小値
$BI_{lim}$	%	$25\% < BI_{lim} < 100\%$	フォースファクタの変動比 $BI_{min}$ の許容最小値 (プロテクションページで定義)
$C_{min}$	%		動作範囲でのコンプライアンスと静止ポジションでの コンプライアンスの比の最小値
$C_{lim}$	%	$20\% < C_{lim} < 100\%$	機械コンプライアンスの許容最小値 $C_{min}$ (プロテクションページで定義)
$P$	W		実際の入力電力
$P_{lim}$	W	$0 < P_{lim} < 1000$ W	入力電力 $P$ の許容最大値 (プロテクションページで定義)
$G_{small}$		$-20 \text{ dB} < G_{small} < 0 \text{ dB}$	プロテクションページの下部にあるアンプゲイン $G_{small}$ は測定中一定に保たれますが、識別が行われて いないトランスデューサであっても Linear Mode 2 に おいて安全に動作させられるように、最適な信号振幅 をユーザが選べるようになっていました。 $G_{small}$ は主に パワーアンプのゲインを補償するためのものです。同 様なトランスデューサを測定する場合には、許容パワ ーに大きな違いがない限り、同一設定を用いることが 可能です。パラメータを変更した後は、測定は自動 的に再スタートし、アンプモード 1 から開始されま す。

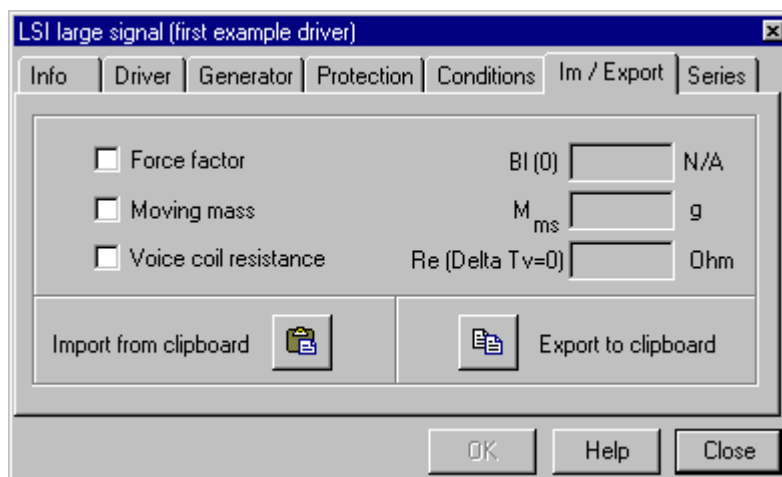
## CONDITIONS ページ

CONDITION ページでは測定するトランスデューサの状態を変更することが可能です。



プロパティページでは測定の状態を変更できます。

記号	単位	範囲	分量
Finish task after (測定終了上項目):		<b>選択範囲:</b> Not activated Linear Mode Nonlinear Mode Thermal Mode Enlargement Mode	測定シーケンスが、指定のモード終了時に一時停止します。一時停止モードに入った後は、測定の終了が可能で、現在の測定結果を保存するか、一時停止ボタンをリセットすることで測定を完了できます。
'nonlinear Mode'の継続時間	min	<b>選択範囲:</b> 0 - 10 分	最適なパラメータ収束を保証するための、ノンリニアモードの測定時間を規定できます。ボイスコイルのオーバーハングが大きいラウドスピーカでは、等長のものに比べて測定時間が長くなります。
Speaker (スピーカ)		1 または 2	DUT が接続されているコネクタの選択 SPEAKER 1 または SPEAKER 2
Enclosure (エンクロージャ)		自由空間のドライバ(シールドエンクロージャと穴あきエンクロージャ)	現行バージョンの LSI モジュールは、ドライバが自由空間で動作していると仮定した、2 次のトラスデューサモデルをベースとしています。シールドエンクロージャにドライバがマウントされていると、 $C_{ms}$ の測定値はトータルコンプライアンス(ドライバ + 空間エンクロージャ)となります。



プロパティページでは、パラメータのインポートが可能です。

記号	単位	範囲	分量
$BI(x=0)$	N/A	なし(変動なし), $0 < BI(x=0) < 100$ 適用なし	ボイスコイルの静止位置における フォースファクタ
$M_{MS}$	g	なし(変動なし) $0 < M_{MS} < 1kg$	ボイスコイルおよび空間負荷を含む ドライバ振動板アッセンブリの 動作マス
$R_e(\Delta T_v=0)$	Ohm	なし(変動なし), $0 < R_e < 100 Ohm$	冷えたボイスコイルの DC 電気抵抗
クリップボードからインポート	クリップボードにある $BI(x=0)$ 、 $M_{ms}$ および $R_e(\Delta T_v=0)$ をインポート可能で、LSI の設定パラメータとして使用できます。設定パラメータをインポートすると、以前の LSI データは全て削除されることに注意してください。LSI 内のデータを保存するにはメニュー上で Cancel を押し、インポートしたパラメータのみをコピーしてください。		
クリップボードからエクスポート	設定パラメータ、オーラリゼーションデータをクリップボードに全てコピーするにはこのボタンを押します。dB-Lab に付属しているエディタを使用すれば、クリップボードの中身を参照可能です。		

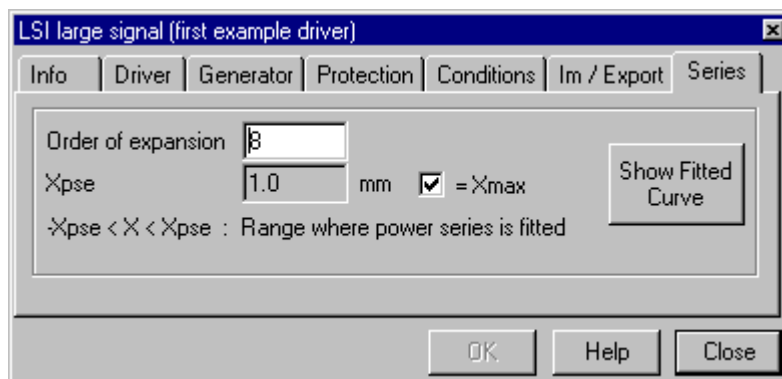
レーザー変位センサーが使用できなかつたり、センサー出力の S/N が十分でなかつたりする場合は、機械量は絶対値として識別することは不可能ですが、相対パラメータとしてのみ表示することが可能です。

IMPORT ページでは、静止位置におけるフォースファクタ  $BI(0)$  と、ボイスコイルと空間負荷  $M_{MS}$  を含むドライバ振動板アッセンブリの機械マスを同時に(片方のみも可)インポートできるようになっているため、物理量をベースとして相対パラメータおよび状態を絶対値に変換できます。このページへの入力値は、レーザー測定よりも優先されます。したがって、機械システムの識別に変位センサーを使用する場合は、全ての入力をクリアしてください。

SERIES ページ

フォースファクタの非線形特性  $BI(x)$ 、ボイスコイルインダクタンスの非線形特性  $L_e(x)$ 、コンプライアンスの非線形特性  $C_{MS}(x)$ 、スティフネスの非線形特性  $K_{MS}(x)$  は、電力級数展開式でも評価できます。展開式の次数は通常級数の丸める位置で決定します。少量の係数がこの情報を表し、他のアプリケーション用に簡単に変換できます(シミュレーション、動的補償用のコントローラなど)。しかしながら、電力級数は、展開式の次数によって変化する収束範囲によってのみ制限されます。したがって、電力級数展開式をベースとしたフィッティングカ

ープが結果ウィンドウに表示され測定されたパラメータカーブと比較されます。



電力級数展開式用のプロパティページには、以下のような機能があります。

要素	コメント
展開式の次数	級数展開の次数 $N$ は、範囲 $0 \leq N \leq 8$ で変更することができます。
フィッティングカーブの表示	このボタンが押されると、電流級数展開式をベースとしたフィッティングカーブが、オリジナルのカーブと共に結果ウィンドウに表示されます。
$X_{pse}$	このパラメータは、電力級数をオリジナルデータにフィッティングさせる範囲 $-X_{pse} \leq x \leq X_{pse}$ を表します。チェックボックス (= $X_{max}$ ) がチェックされていれば、 $-X_{pse} \leq x \leq X_{pse}$ の範囲が適用されます。
コピー結果	このボタンを押すことにより、この測定における大信号識別結果がクリップボードにコピーされます。これにより、他のオペレーション (simulation) や、外部のアプリケーションで使用できます。

## 結果

測定結果は状態の情報と、パラメータ情報で構成されています。状態の情報は、トランスデューサの物理量と、最終アップデートインターバルにおけるシステム識別に関連した信号を表します。これらのデータは励起信号の瞬間のプロパティに依存します。パラメータ情報はトランスデューサに関連しており、励起信号への依存性はそれほどありません。しかしながら推定パラメータは一定ではなく、測定ノイズにより確率の変動が起こったり、可逆および負可逆メカニズム(加熱、劣化、クリープ)から発生する規則性変化が起こったりします。

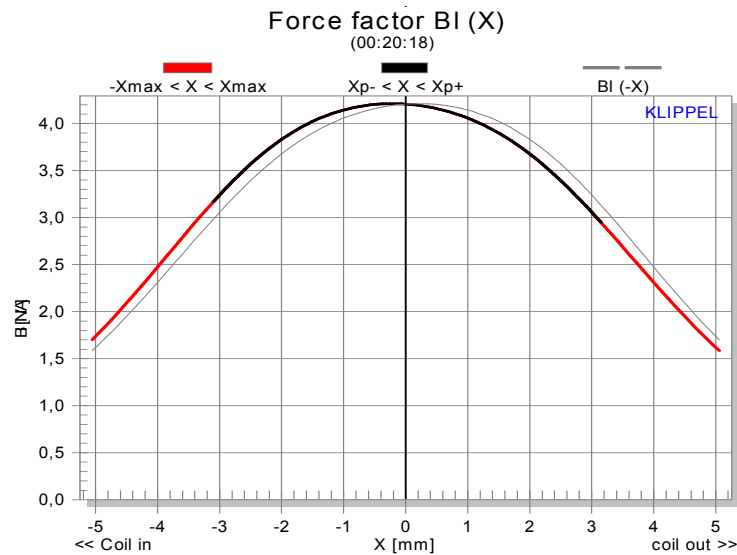
### パラメータ

リニアラウドスピーカ理論と対照的に、大信号モデリングでは、ラウドスピーカパラメータが瞬時のラウドスピーカ状態変数に依存していると考えています。BIファクタ、コンプライアンスおよびインダクタンスのような重要なラウドスピーカパラメータは、一定量でなくボイスコイルの瞬時変位  $x$  に依存すると想定されています。機械ダンピングなどのその他のパラメータも変数としてとらえられますが、高振幅におけるラウドスピーカのノンリニア特性に対してはそれほど寄与しません。

要素	コメント
$-x_{max} < x < x_{max}$	ノンリニア要素で推定される電流パラメータは、 $-x_{max} < x < x_{max}$ の範囲での変位の関数として(点線カーブ)表示されます。 $x_{max}$ は最大許容変位で、自動ゲイン調整時に検出されます。
$x_{bottom} < x < x_{peak}$	測定実行中にアップデートされる実線は、最終アップデートインターバルに発生した最大、最小値 $x_{bottom} < x < x_{peak}$ と一緒に表示されます。
$x_{p-} < x < x_{p+}$	測定が終了すると、ボイスコイル変位が99%の確率で発生するノンリニアパラメータ測定の確実な動作範囲 $x_{p-} < x < x_{p+}$ が、実線により示されます。
相対パラメータおよび相対変位	機械パラメータが相対量として表され(例. $K_{ms}(x)/K_{ms}(0)$ 、 $Bl(x)/Bl(0)$ など)、かつ変位が $x/x_{max}$ で表されている場合は、機械システムは絶対値として識別されません。レーザーを使用し、かつIMPORTプロパティページを使用してパラメータ $Bl(0)$ インポートしてください。(どちらかだけを用いても可)
変位の方向	ドライバ端子に接続されているスピーカケーブル(青と赤)の極性を変更することにより、変位の符号を変更できます。バックプレート方向にボイスコイルが移動するのを、負の変位として使用することをお勧めします。最初の識別( $R_e$ 測定)における2番目のモードでは、DC成分を発生するようになっており、コイルが外側に動きます。測定を一時停止し、極性を変更することができますようになっています。
コイル IN/ コイル OUT	LSIにて振動板にポインティングするレーザーセンサーヘッドは、振動板の右あるいは左側でコイルのIN/OUTを識別します。コイルのIN/OUTはスピーカケーブルの接続方向に依存します。

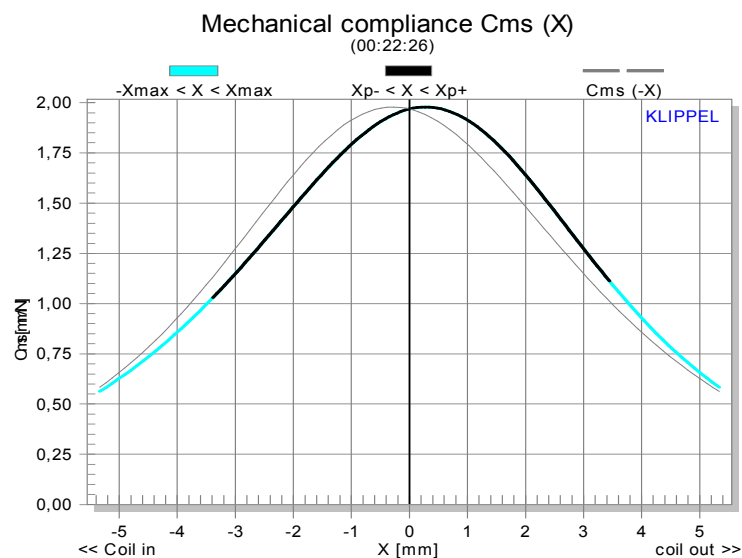


## Force factor $BI(x)$



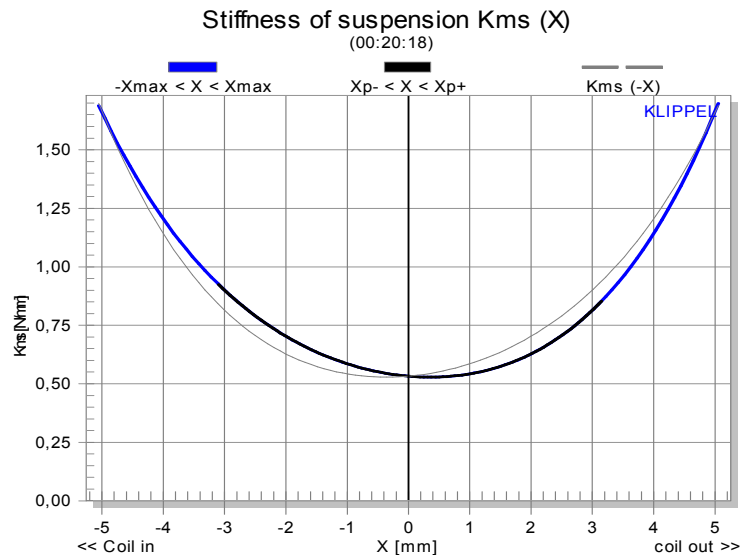
$BI$  成分またはフォースファクタ  $BI(x)$ とも呼ばれるダイナミックカップリングファクタは、ボイスコイル長  $l$  にわたって生じる磁束密度の総和として定義されています。伝統的なモデリングでは、このパラメータは一定であると仮定されています。静止位置でのフォースファクタ  $BI(0)$  は、リニアモデリングで用いられる  $BI$  成分に相当します。

## コンプライアンス $C_{ms}(x)$



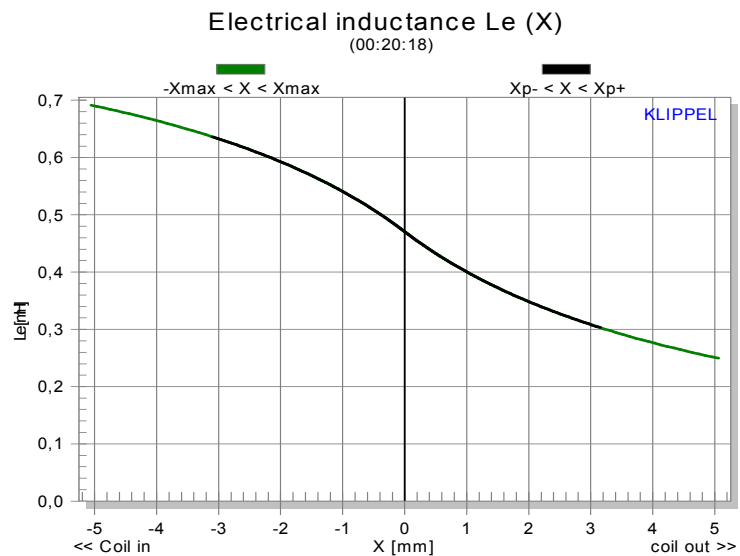
コンプライアンス  $C_{ms}(x)$  は、機械サスペンションの特性を表します。これは、スティフネス  $K_{ms}(x,t)$  の逆数になります。

## スティフネス $K_{ms}(x)$



スティフネス  $K_{MS}(x)$  は、機械サスペンションの特性を表し、かつコンプライアンス  $C_{MS}(x)$  の逆数になります。

## インダクタンス $L_e(x)$

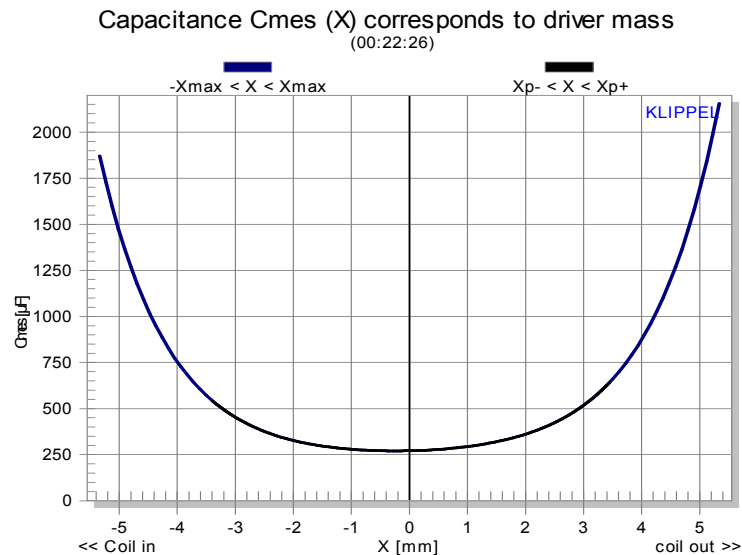


ボイスコイルの電気的特性は、パラメータ  $R_e(T_v)$ 、 $L_e(x)$ 、 $L_2(x)$  および  $R_2(x)$  によって表されます。ボイスコイル付近にある導電パーツのうず電流の影響を評価するには、最後の3つのパラメータが必要となります。

これらのパラメータはボイスコイル電流  $i(t)$  によって発生する磁場に直接関連しているため、非線形パラメータ  $L_2(x)$  は、 $L_e(x)$  vs 変位  $x$  の関係と同一であると考えられます。

ほとんどのドライバでは、インダクタンス  $L_e(x)$  は、強い非対称性を現します。ボイスコイルがバックプレートの方向に動くと、ボイスコイル内の電流によって発生する磁場の磁気抵抗が、空間パスが少なくなるために減少し、通常インダクタンスは増加します。この特性はラウドスピーカの極性を検査する際に利用でき、非線形パラメータを図で表す場合に、励起信号の方向を判断することも可能です。これまでのサンプル測定例では、負方向の変位  $x$  は、(ギャップ内のボイスコイルが)バックプレートへ近づく方向に相当します。

## キャパシタンス $C_{mes}(x)$

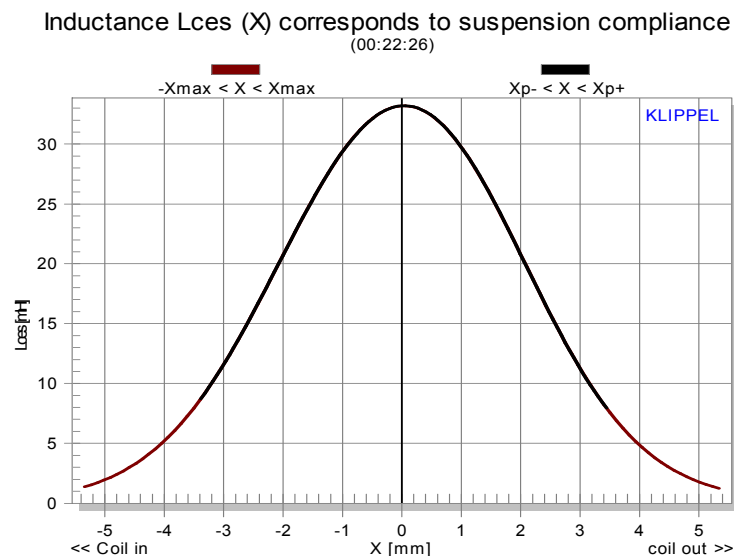


キャパシタンス  $C_{mes}(x)$ は、以下の式で示され、

$$C_{mes}(x) = \frac{M_{ms}}{Bl(x)^2}$$

純粋な電気等価回路内の空間負荷を含んだ動作マス  $M_{ms}$  を表します。ノンリニアフォースファクタ  $Bl(x)$  を使用して  $M_{ms}$  を変換することにより、キャパシタンスをノンリニアパラメータにすることができます。

## インダクタンス $L_{ces}(x)$



インダクタンス  $L_{ces}(x)$ は、以下の式で示され、

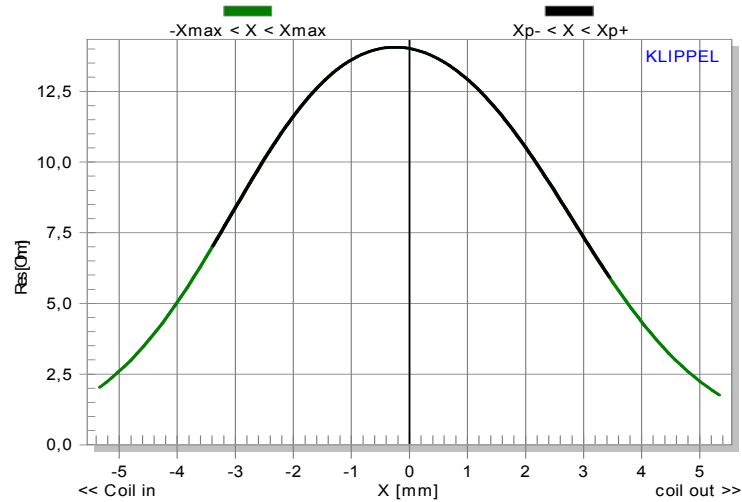
$$L_{CES}(x) = C_{MS}(x)b(x)^2 = \frac{b(x)^2}{K_{MS}(x)}$$

純粋な電気等価回路内の、機械サスペンションのコンプライアンス  $C_{ms}(x)$  を表します。フォースファクタ  $Bl(x)$  を用いて、 $C_{ms}(x)$  を電気ドメインに変換するため、 $L_{ces}(x)$  のノンリニアリティはボースファクタ特性をそのまま反映することになります。

## 電気抵抗 $R_{es}(x)$

Resistance Res (X) corresponds to suspension resistance

(00:22:26)



電気抵抗  $R_{es}(x)$ は、以下の式で示され、

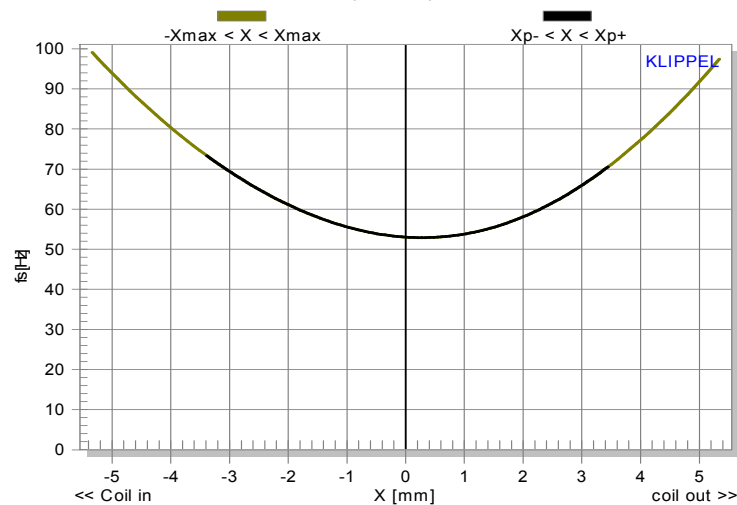
$$R_{es}(x) = \frac{Bl(x)^2}{R_{ms}}$$

純粋な電気等価回路内のドライバサスペンションロス  $R_{MS}$ を表します。フォースファクタ  $Bl(x)$ を用いて、 $R_{MS}$ を電気ドメインに変換することにより、電気抵抗  $R_{ES}(x)$ が非線形パラメータになります。

## 共振周波数 $f_s(x)$

Resonance frequency  $f_s(X)$

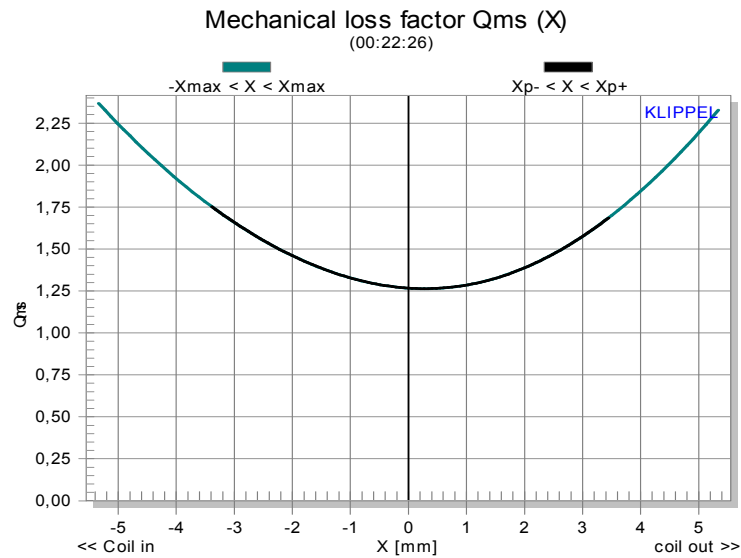
(00:22:26)



瞬時共振周波数  $f_s(x)$ は、ボイスコイル変位  $x$  の関数として表示されます。関数の変動は、以下の式で定義される機械コンプライアンスの変動によって起こります。

$$f_s(x) = \frac{1}{2\pi\sqrt{M_{MS}C_{MS}(x)}}$$

## 機械ロスファクタ $Q_{MS}(x)$

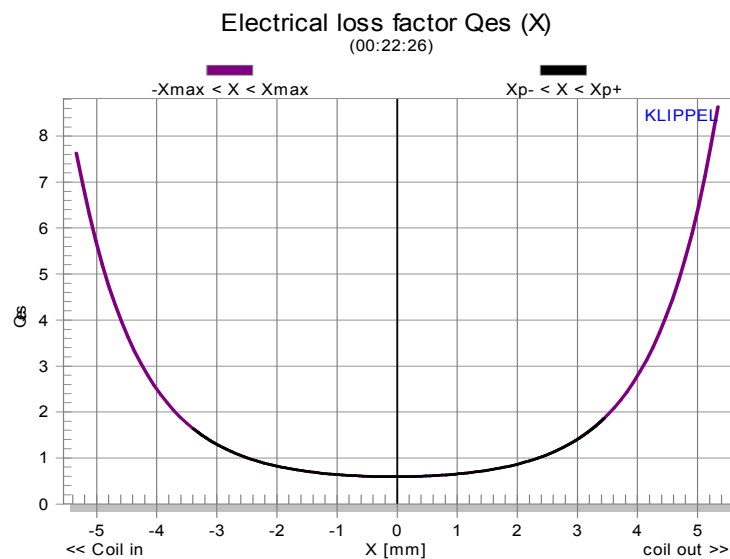


ドライバの非電氣的抵抗のみを考慮した場合の、 $f_s$ におけるドライバのロスファクタ  $Q_{MS}(x)$ は以下ようになります。

$$Q_{MS}(x) = \frac{1}{2\pi f_s(x) R_{MS} C_{MS}(x)} = \frac{2\pi f_s(x) M_{MS}}{R_{MS}}$$

$Q_{MS}(x)$ のノンリニアリティは、主に変位  $x$  と共に変化する瞬時共振  $f_s(x)$  によって引き起こされます。機械抵抗の変動  $R_M(x)$  と、動作マスの変動  $M_{MS}(x)$  も、この影響に寄与します。

## 電氣ロスファクタ $Q_{ES}(x)$

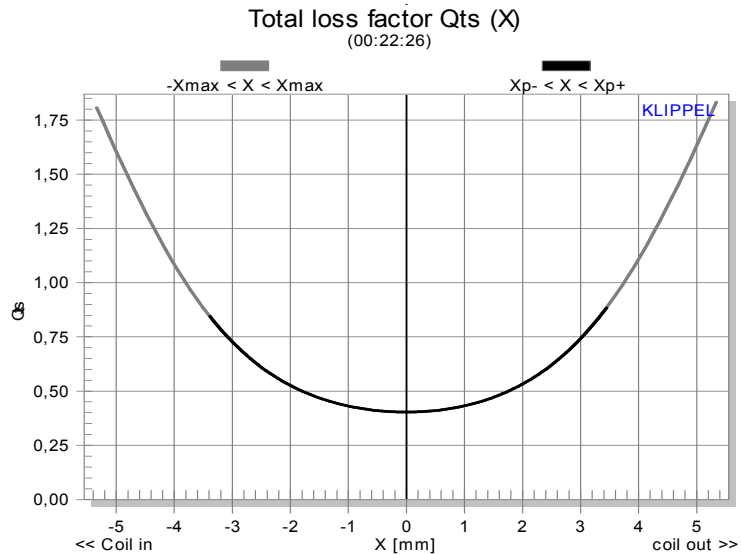


電氣ロスファクタ  $Q_{ES}(T_V, x)$  は以下の式で示され、

$$Q_{ES}(T_V, x) = \frac{2\pi f_s(x) M_{MS} R_E(T_V)}{b(x)^2}$$

変位によってフォースファクタ  $Bl(x)$  変化すると、ノンリニア関数となります。ボイスコイルがギャップの外へ動き、フォースファクタが静止位置での値の 25% まで減少すると、 $Q_{ES}(x)$  は 16 のファクタで増加し、電氣ダンピング (減衰) はほぼなくなります。アンプに接続され、通常の電圧で駆動されているスピーカは、低い出力インピーダンスをもち、 $Q_{ES}(x)$  は機械ダンピング  $Q_{MS}(x)$  の中で支配的となり、トータルダンピング  $Q_{TS}(x)$  を決定する要素となります。したがって、電氣ダンピングの変動が実質上歪み成分を発生させることとなり、基本派の振幅に影響を及ぼします。

トータルロスファクタ  
 $Q_{ts}(x)$



トータルロスファクタ  $Q_{ts}(T_v, x)$ は以下の式で定義され、

$$Q_{ts}(T_v, x) = \frac{Q_{ms}(x)Q_{es}(T_v, x)}{Q_{ms}(x) + Q_{es}(T_v, x)}$$

機械ダンピングと電気ダンピングが要約されています。ローインピーダンスソースに接続され、電圧で駆動されているスピーカでは、電氣的なロスファクタ  $Q_{ES}(x)$ により小振幅でのトータルのロスファクタ  $Q_{TS}(x)$ が決定付けられますが、フォースファクタ  $Bl(x)$ が変位によって変化すると、機械的なロスファクタが高い振幅で支配的になっていく可能性があります。

## ノンリニア係数

Symbol	Number	Unit	Comment
f0		N/A <sup>2</sup>	flux modulation f0
f1		N/[A <sup>2</sup> m]	flux modulation f1
B10 = BI (x=0)	4.2463	N/A	constant part in force factor
B11	-0.056514	N/Amm	1st order coefficient in force f
B12	-0.11506	N/Amm <sup>2</sup>	2nd order coefficient in force f
B13	0.0025266	N/Amm <sup>3</sup>	3rd order coefficient in force f
B14	-0.0014221	N/Amm <sup>4</sup>	4th order coefficient in force f
B15	-1.2030e-005	N/Amm <sup>5</sup>	5th order coefficient in force f
B16	0.00013383	N/Amm <sup>6</sup>	6th order coefficient in force f
B17	-8.1840e-007	N/Amm <sup>7</sup>	7th order coefficient in force f
B18	-2.0694e-006	N/Amm <sup>8</sup>	8th order coefficient in force f
L0 = Le (x=0)	0.46573	mH	constant part in inductance
L1	-0.074560	mH/mm	1st order coefficient in induct
L2	-0.00061369	mH/mm <sup>2</sup>	2nd order coefficient in induct
L3	0.0032659	mH/mm <sup>3</sup>	3rd order coefficient in induct
L4	0.00015320	mH/mm <sup>4</sup>	4th order coefficient in induct

ノンリニアフォースファクタ

$$BI(x) = \sum_{j=0}^N b_j x^j$$

ドライバサスペンションのコンプライアンス

$$C_{ms}(x) = \sum_{j=0}^N c_j x^j$$

ドライバサスペンションのステイフネス

$$K_{ms}(x) = \sum_{j=0}^N k_j x^j$$

ドライバボイスコイルのインダクタンス

$$L_e(x) = \sum_{j=0}^N l_j x^j$$

これらは、mm 単位のボイスコイル変位を x とした電力級数展開式で展開され、ノンリニア係数は“Nonlinear Coefficients(ノンリニア係数)”の結果ウィンドウ内に表示されます。

## 静止位置でのパラメータ

Symbol	Large + Warm	Large + Cold	Small Signal	Unit
Delta $T_V = T_V - T_a$	18	0	0	K
$X_{max}$	5.3	5.3	1.0	mm
$R_e(T_V)$	7.00	6.55	6.55	Ohm
$L_e(X=0)$	0.47	0.47	0.42	mH
$L_2(X=0)$	0.09	0.09	0.08	mH
$R_2(X=0)$	1.18	1.18	1.05	Ohm
$C_{mes}(X=0)$	271	271	262	$\mu F$
$L_{ces}(X=0)$	33.20	33.20	22.66	mH
$R_{es}(X=0)$	14.02	14.02	15.89	Ohm
Mech. system				abs.
$M_{ms}$	4.57	4.57	4.09	g
$R_{ms}(X=0)$	1.20	1.20	0.98	kg/s
$C_{ms}(X=0)$	1.97	1.97	1.45	mm/N
$B_I(X=0)$	4.25	4.25	3.95	N/A

静止位置( $x=0$ )での非線形パラメータ値は、ドライバ状態の線形近似を行う際に重要になります。静止位置( $x=0$ )でのパラメータは線形モデリング用の入力パラメータとして使用することが可能です。しかしながら、時間変動パラメータ  $C_{ms}(x=0, t)$ 、 $K_{ms}(x=0, t)$  および  $R_e(T_V)$  は、それに対応する小信号パラメータ(加熱、クリープおよび劣化によるもの)とは通常異なります。測定中にサンプリングされたパラメータの履歴除法を用いて、"State" 結果ウィンドウには、3つの異なるオペレーション用に静止位置でのパラメータが表示されます。

1. **LARGE+WARM** (大信号ドメイン + 温まったスピーカ)
  - 変位のピーク値が高い ( $x_{peak} \leq x_{max}$ ),
  - パラメータの変動が無視できない ( $C_{min} \ll 100\%$  and/or  $B_{I_{min}} \ll 100\%$  and/or  $L_{min} \ll 100\%$ ),
  - 加熱によりボイスコイル温度が増加している ( $\Delta T_V > 0$ )
2. **LARGE+COLD** (大信号ドメイン + 冷えたスピーカ)
  - 変位のピーク値が高い ( $|x| < x_{max}$ ),
  - パラメータの変動が無視できない ( $C_{min} \ll 100\%$  and/or  $B_{I_{min}} \ll 100\%$  and/or  $L_{min} \ll 100\%$ ),
  - 最初の識別 ( $\Delta T_V = 0$ ) LINEAR MODE で測定した、冷えたボイスコイル抵抗を考慮しているため、加熱効果が補償されます。
3. **SMALL SIGNAL** (小信号ドメイン + 冷えたスピーカ)
  - 励起信号の振幅が十分に小さい
  - 許容最大変位に比べて変位が小さい ( $|x| \ll x_{max}$ ),
  - 非線形パラメータの変動が無視できる ( $C_{min} \approx 100\%$ ,  $B_{I_{min}} \approx 100\%$ ,  $L_{min} \approx 100\%$ )
  - ボイスコイル温度の増加が無視できる ( $\Delta T_V \approx 0$ ),

非線形の影響、温度および時間変動メカニズムは無視でき、かつトランスデューサはほぼ線形に動作します。

### 等価容積

ドライバサスペンションと同一の音響コンプライアンスをもつ空間容積は、



$$V_{AS}(x) = \rho_0 c^2 S_D^2 C_{MS}(x)$$

空気密度は  $\rho_0=1.18 \text{ kg/m}^3$ 、空気中の音速  $c=345 \text{ m/s}$ 、ドライバ振動板の概算表面積  $S_D$  となります。

参照効率

無限バツフルにマウントされたラウドスピーカドライバ用に、放射からハーフスペースへ電気音響変換を行う場合は、以下の式を用います。

$$\eta_o(x, T_V) = \frac{\rho_0}{2\pi c} \cdot \frac{b(x)^2 S_D^2}{R_E(T_V) M_{MS}}$$

## リニアモデリングとの 関係

従来のリニアモデリングでは入力パラメータとして、いわゆるリニアパラメータが必要になります。全てのパラメータは一定であると仮定され、状態量(変位  $x$ 、温度  $T_V$ )への依存性は無視され、変位によって変化するパラメータ値も静止位置( $x=0$ )での値しか採用しません。この近似は、小信号ドメインでのみ有効です。振幅が大きくなると、加熱やトランスデューサパラメータの時間変動により、小信号パラメータと大信号パラメータに系統的な矛盾が存在するようになります。

従来のラウドスピーカデザインは、一定パラメータのみで構成されるリニアモデリングをベースとしたものです。このモデルはシンプルで、低振幅でのリニアトランスデューサ動作(例えば振幅や位相レスポンス)を表したものです。このリニアモデルは、拡張モデルの近似としてとらえることが可能で、小信号ドメインでのみ有効です。両モデルのパラメータはそれぞれ緊密に関わりあっています。しかしながら、相違点を説明するためには、静止位置における小信号パラメータと大信号パラメータを区別する必要があります。

小信号パラメータ

励起および状態信号の振幅を十分に小さく保たれ、ノンリニアの影響、温度および時間変動メカニズムが無視でき、かつトランスデューサがほぼリニアに動作している状態。小信号ドメインでのトランスデューサパラメータを測定するために、リニアモデルを用います。条件は、

変位量は、許容最大変位と比較して小さい( $|x| \ll x_{max}$ )、

ノンリニアパラメータの変動は無視できる  
( $C_{min} \approx 100\%$ ,  $Bl_{min} \approx 100\%$ ,  $L_{min} \approx 100\%$ ),

ボイスコイルの温度上昇は無視できる ( $\Delta T_V \approx 0$ ).

このような条件下では、拡張モデルの変動パラメータは、従来のモデリングで用いられている一定パラメータと一致します:

記号	パラメータ
$b(x=0) = Bl$	Bl成分とも呼ばれるフォースファクタ
$C_{MS}(x=0, t) = C_{MS}$	ドライバサスペンションの機械コンプライアンス
$K_{MS}(x=0, t) = K_{MS}$	ドライバサスペンション機械スティフネス
$L_E(x=0) = L_E$	周波数に依存しない、ボイスコイルインダクタンスの一部
$L_2(x=0) = L_2$	ボイスコイルのパラインダクタンス

$R_2(x)=R_2$	うず電流が原因で生じた追加ロスによる電気抵抗
$R_E(T_V \approx T_A)=R_E$	周囲温度でのボイスコイルの電気抵抗

## 状態変数

ディストーションアナライザ内で用いられるシステムの識別により、トランスデューサモデルの自由パラメータだけでなく、励起信号に依存する状態変数も得ることができます。状態変数には以下の3種類があります。

### 1. トランスデューサ状態

変位  $x$ 、速度  $v$ 、電流  $i$ 、電力  $P$ 、ボイスコイル温度、磁気機構の温度などの、電気、機械および温度量は、DSP 内にデジタル変数として表されています。これらの状態は統計調査にのっとったもので、これらのプロパティはピーク値、RMS 値、確率密度関数(pdf)または、その他の測定結果で記述されます。

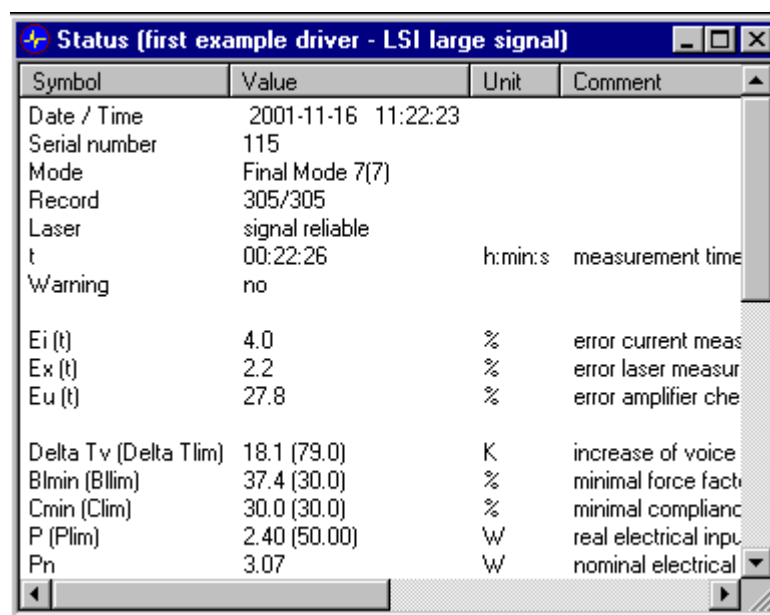
### 2. 信号プロパティ

励起信号のプロパティは、統計的な測定結果として表示されます。(ピークおよび RMS 値、確率密度関数 pdf(u)など)

### 3. 適応性モデリングのエラー

モデルのフィッティングエラーはエラー測定結果として表示されます。

## 状態ウィンドウ



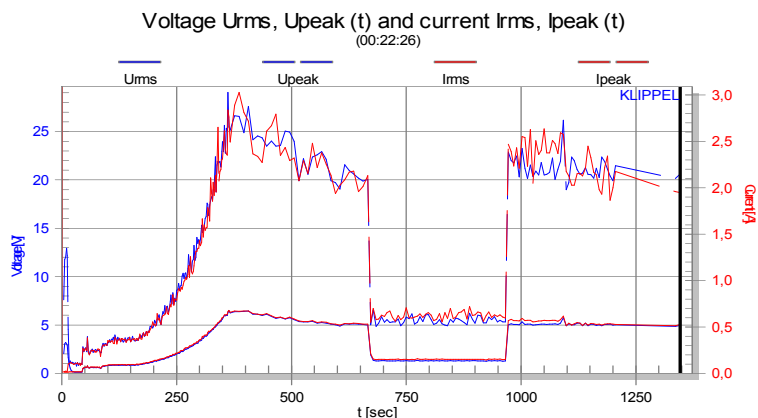
Symbol	Value	Unit	Comment
Date / Time	2001-11-16 11:22:23		
Serial number	115		
Mode	Final Mode 7(7)		
Record	305/305		
Laser	signal reliable		
t	00:22:26	h:min:s	measurement time
Warning	no		
$E_i(t)$	4.0	%	error current meas
$E_x(t)$	2.2	%	error laser measur
$E_u(t)$	27.8	%	error amplifier che
Delta $T_v$ (Delta $T_{lim}$ )	18.1 (79.0)	K	increase of voice
$B_{min}$ ( $B_{lim}$ )	37.4 (30.0)	%	minimal force fact
$C_{min}$ ( $C_{lim}$ )	30.0 (30.0)	%	minimal complianc
$P$ ( $P_{lim}$ )	2.40 (50.00)	W	real electrical inpu
$P_n$	3.07	W	nominal electrical

状態変数ウィンドウには、タイムウィンドウ内のマーカ(黒またはピンクの縦線)で選択された時間での、関連した全ての状態変数がまとめて表示されます。全ての記載事項は、各ウィンドウ内により詳しく記載されています。

## 状態およびパラメータの時間による変動

システム識別によって推測される瞬時状態変数やパラメータは、常にサンプルされており、動作ユニット内に保存され続けます。動作ユニットに PC を接続すると、下記のパラメータが測定時間に対する情報として表示されます:

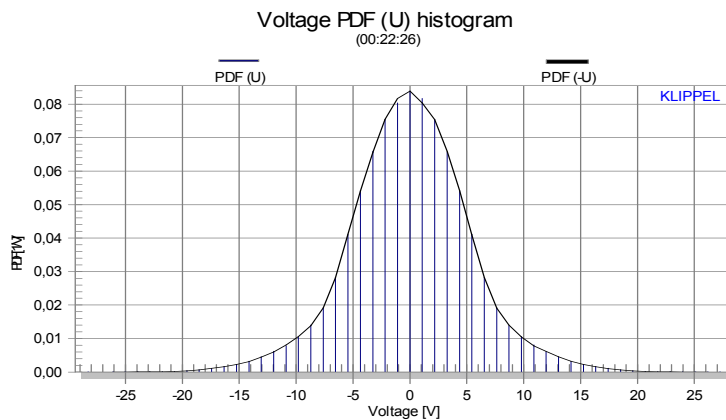
## 電圧と電流



この結果ウィンドウには、以下のパラメータを用いることにより、トランスデューサ端子における電気信号のプロパティ特性が表示されます。

記号	意味
$U_{rms}$	端子電圧の RMS 値
$u_{peak}$	端子電圧のピーク電圧
$i_{rms}$	入力電流の RMS 値
$i_{peak}$	入力電流のピーク値

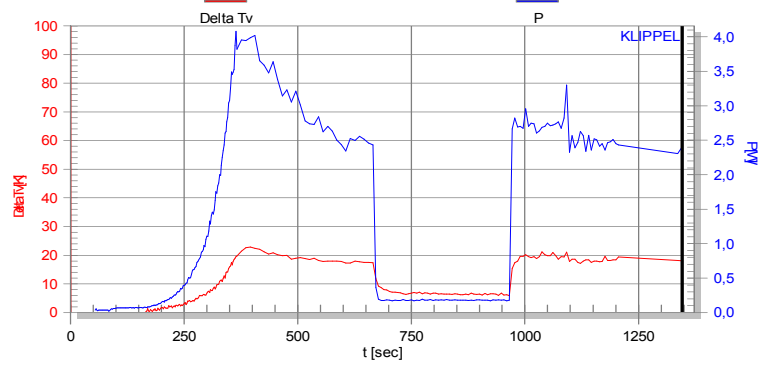
## PDF 電圧



この結果ウィンドウには、Final Mode 7(7)で測定された電圧  $pdf(u)$  の確率密度関数が表示されています。この関数は、励起信号(ノイズ)の特性と使用したパワーアンプの特性を表しています。パワーアンプに出力の限度がなく、DC成分を発生することがなければ、 $pdf(u)$  はほぼ完全に対称になります。 $pdf(u)$  の特性は、信号の正/負のピーク値、RMS 値およびクレストファクタを計算することにより表示されます。

## 温度、電力

Increase of voice coil temperature  $\Delta T_V(t)$  and electrical input power  $P(t)$   
(00:22:26)



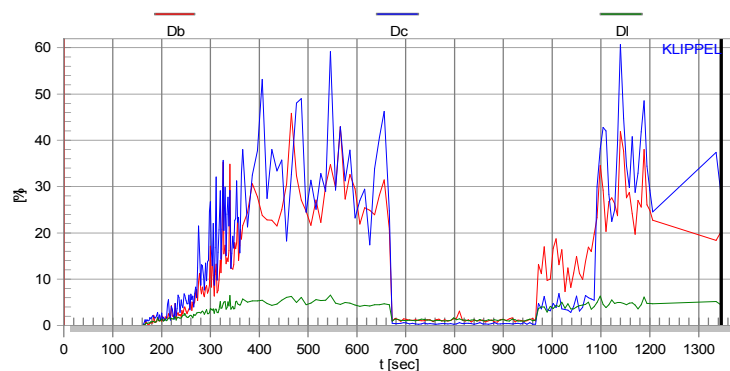
この結果ウィンドウでは、測定時間に対するボイスコイル温度の上昇 $\Delta T_V$ と、入力電力  $P(t)$ を比較するように表示が行われています。

動作モードの違いは、時間プロット上で簡単に見分けることが可能です。測定開始直後は両方の状態共に低い値を示していますが、これはトランスデューサが小信号ドメインで動作する **Linear Mode 3(7)**部分に相当します。このフェーズ終了部分のボイスコイル温度が、リファレンス温度  $T_A$ として使用されます。この  $T_A$ はほぼ周囲温度と等しくなります。入力電力が増加している部分は、許容安全動作範囲が識別される **Enlargement Mode 4(7)**に相当します。通常、ボイスコイル温度  $T_V$ は入力電力と共に増加します。両状態信号はプロテクション用の変数として使用され、ユーザが規定した  $P_{lim}$ と  $T_{lim}$ と比較されます。**Thermal Mode 6(7)**では、温度レスポンスからボイスコイルの温度パラメータを測定するために、励起信号は 120 程度減衰されます。**Final Mode 7(7)**では、入力パワーはほぼ一定ですが、より長期の定数をもつ磁気機構の加熱により、ボイスコイル温度  $T_V$ はより高い値まで上昇します。

注意: 電気インピーダンスから測定されたボイスコイル温度は平均値です。オーバーハングが大きいコイルでは、コイル端の部分温度は、ポールチップでの伝導がよい中心部分に比べて通常かなり高くなります。

## 歪み

Distortion analysis : Db (BI-product), Dc (suspension), DI (inductance)  
(00:22:26)



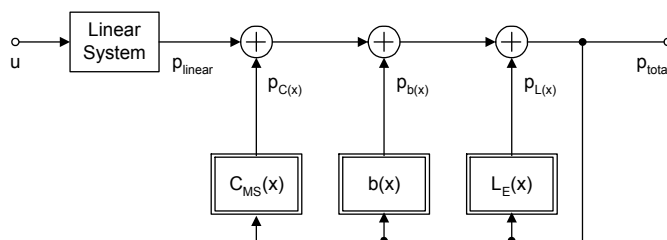
この結果ウィンドウには、測定中に行われた歪み分析の結果が示されています:

記号	意味
$d_b$	ノンリニアフォースファクタにより発生した歪みの相対値
$d_L$	ノンリニアインダクタンスにより発生した歪みの相対値
$d_C$	ノンリニアコンプライアンスにより発生したひずみの相対値

相対歪みファクタは、ノンリニアリティによって生じた歪みのピーク値と、トータル信号のピーク値の比を表します。

歪み分析では、信号歪みを発生させるものの中で最も支配的なノンリニアリティを見分けることができます。この分析は、音楽やそれに似た特性をもつ信号を再生している間でもオンラインで分析が行えます。励起信号のスペクトラム特性が歪みに与える影響は、CONDITION プロパティページにて、励起信号のカットオフ周波数を変更することにより調査することができます。

識別モデルを用いることにより、トランスデューサ内で生じるノンリニア歪を知ることもできます。ノンリニアメカニズムをリニアシステムから分離することが可能であることを、簡略化した信号フローチャートに示してあります。信号  $p_{b(x)}(t)$ 、 $p_{L(x)}(t)$  および  $p_{C(x)}(t)$  は、それぞれフォースファクタ  $B(x)$ 、インダクタンスパラメータ  $L_E(x)$ 、 $L_2(x)$ 、 $R_2(x)$ 、およびコンプライアンス  $C_{MS}(x)$  から発生したノンリニアリティを表し、これらはリニア信号  $p_{lin}(t)$  に加算され、フィードバックループの一部となります。この機構は、DSP 内でリアルタイムに適用されるノンリニア微分方程式に相当します。実際の物理システムで測定を行う場合とは異なり、ノイズ、音楽あるいはマルチトーン信号など、どのような励起信号を再生している間でも、各歪み成分の特性を測定することが可能です。



#### 識別ラウドスピーカモデルにおける歪み分析

トータル信号のピーク値に対する、歪み信号の最大ピーク値を設定することにより、フォースファクタ歪みの相対値を計算することが可能です。

$$d_b(t_1) = \frac{\max_{t_1 < t < t_1 + \Delta t} (|p_{b(x)}(t)|)}{\max_{t_1 < t < t_1 + \Delta t} (|p_{total}(t)|)}$$

コンプライアンス歪みは、

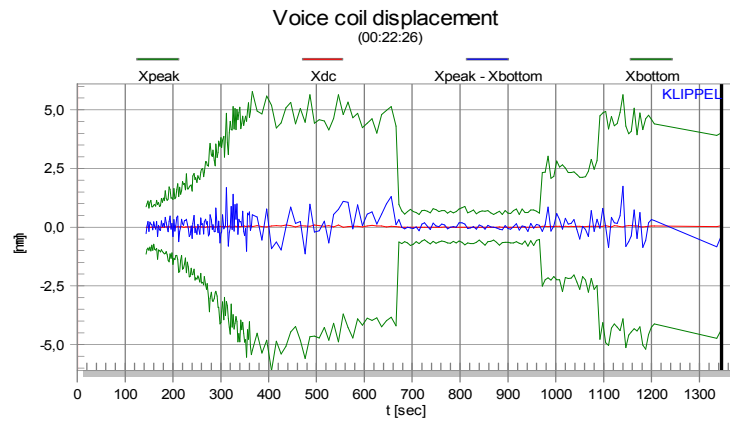
$$d_c(t_1) = \frac{\max_{t_1 < t < t_1 + \Delta t} (|p_{C(x)}(t)|)}{\max_{t_1 < t < t_1 + \Delta t} (|p_{total}(t)|)}$$

インダクタンス歪みは、

$$d_L(t_1) = \frac{\max_{t_1 < t < t_1 + \Delta t} (|p_{L(x)}(t)|)}{\max_{t_1 < t < t_1 + \Delta t} (|p_{total}(t)|)}$$

アップデートの瞬間  $t_j$  において

## 変位 $x(t)$



この結果ウィンドウでは、時間軸に対するボイスコイル変位について、以下の統計的な特性が表示されています:

記号	意味
$x_{\text{peak}}(t)$	アップデート間隔内における、ボイスコイル変位の正ピーク
$x_{\text{DC}}(t)$	ボイスコイル変動の平均化 DC 値
$x_{\text{bottom}}(t)$	アップデート間隔内における、ボイスコイル変位の負ピーク (最低値)
$x_{\text{DC max}}(t)$	ボイスコイル変動の最大 DC 値 $x_{\text{DC max}}(t) = (x_{\text{peak}}(t) + x_{\text{bottom}}(t)) / 2$

非対称ノンリニアリティにより、2次とさらに高次の歪みを発生させるだけでなく、低周波数成分を整流されたことによる DC 成分も発生します。

非対称スティフネス特性の場合、この DC 成分により、どのような励起信号が入力されてもスティフネスが最小になる方向にボイスコイルが動きます。

非対称フォースファクタ特性の場合、この DC 成分は励起信号の周波数に依存します。サイン波トーンの周波数が低く、( $f < f_s$ )である場合は、フォースファクタが最大になる方向にボイスコイルが動き、いくらかボイスコイル位置の自己調整をもたらします。しかしながら、トーンの周波数が共振周波数よりも上( $f > f_s$ )になると、逆方向に DC 成分が発生し、不安定な状態、効率の低下、およびノンリニア歪みを引き起こします。

測定時間内にわたって収集された、変位の正ピーク値と負ピーク値を比較すると、DC 成分は約-0.5 mm であることがわかります。振幅が高いと、ボイスコイルはサスペンションのスティフネスが低くなる領域までダイナミックにシフトします。したがって、変位の正ピークは負のピークよりも頻繁に発生し、変位の確率密度関数は非対称になります。

## 最大変位 $x_{\text{max}}$

ボイスコイルの変位  $x$  が許容限度値  $x_{\text{max}}$  を超えると、トランスデューサからは多くのアプリケーションで無視できなかったり、あるいはダメージにつながったりするノンリニア歪みが発生するようになります。以下の基準により  $x_{\text{max}}$  が定義されます:

- サスペンションダメージの回避
- バックプレートへのボイスコイル衝突によるダメージの回避
- 音圧放射によって生じる周波数変調(ドップラ効果)の制限
- パラメータ変動によって生じるノンリニアひずみの制限

- ドライバボイスコイルの熱放射能力による制限

## PDF(x)



この結果ウィンドウには、Enlargement Mode 3(7)モード後に記録された変位信号の確率密度関数  $pdf(x)$  が表示されます。このヒストグラムは励起信号の特性とともに、トランスデューサの動作状態にも依存して変化します。

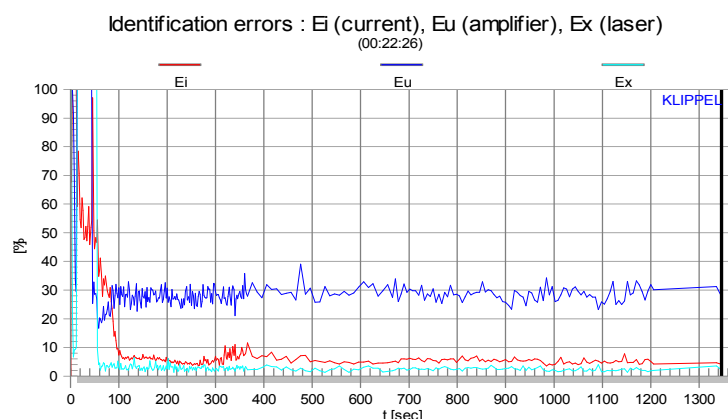
オリジナル信号のプロパティを調査するために、入力電圧の確率密度関数  $pdf(u)$  も各ウィンドウ内で見ることが可能です。

$pdf(x)$  は、オーディオ信号の代わりとして用いたテストノイズで測定されます。オーディオ信号の代わりという性格上、振幅が高いことはまれなので、変位の振幅は小さい部分に集中します。

$pdf(x)$  は、ノンリニアシステム識別内でウェイト関数としての重要な役割をもち、高い精度で測定されたノンリニアパラメータを変位領域部分に表すことができます。支配的なノンリニアリティは変位信号のパワーに依存するため、高ピーク値は時々発生するのに対し、ノンリニア歪みは RMS 値を僅かにもちます。言い換えると、歪みのクレストファクタは、使用した励起信号のクレストファクタよりもかなり大きいということになります。この事実から、オペレーションの最終部分でのノンリニアリティ測定に数分間要するのに、小さい変位でのリニアシステムおよびノンリニアリティの識別を数秒で完了する理由が説明できます。

パラメータが非対称性をもつトランスデューサを、対称な確率密度関数  $pdf(u)$  をもつ電圧信号で励起すると、ディスプレイメントの DC 成分が動的に発生するため、非対称の  $pdf(x)$  が得られることとなります。対称性はオリジナルの  $pdf(x)$  を、 $x=0$  で反転した  $pdf(-x)$  カーブと比べることで簡単に調査できます。

## エラー Error (t)



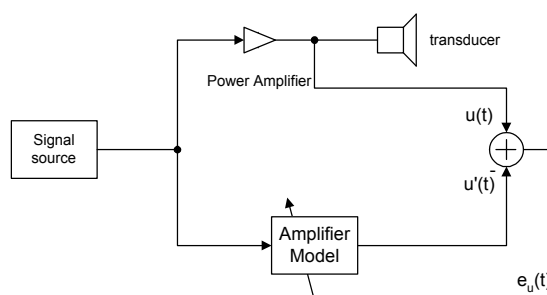
識別処理は下記のエラー測定結果により評価されます:

記号	意味
$E_i(t)$	システム識別で用いられる相対エラーのピーク値は電流値をベースとして得られたもので、この電流は、最後のアップデートの間に、エラー $e_i(t)$ のピーク値と電流のピーク値 $i(t)$ との比を計算することによりモニタされています。
$E_x(t)$	システム識別で用いられる相対エラーのピーク値はレーザ測定をベースとして得られたもので、最後のアップデートの間に、変位エラー $e_x(t)$ のピーク値と変位 $x(t)$ のピーク値との比を計算することによって測定されます。
$E_u(t)$	システム識別で用いられるパワーアンプの相対エラーのピーク値は、最後のアップデートの間に、電圧エラー $e_u(t)$ と電流のピーク値 $u(t)$ を計算することにより求められます。

モデルのフリーパラメータが全て初期値になっている測定の開始部では、エラー $E_i(t)$ 、 $E_x(t)$ および $E_u(t)$ は全て約 100%になっていますが、識別プロセスが進むにつれ値が減少します。

### 電圧エラー Error $E_u$

通常の動作モードでのトランスデューサは、低インピーダンスソースでドライブされ、スピーカ端子での電圧を入力電圧と考えることができます。ACカップリングのオーディオパワーアンプが用いられ、アンプの限界に近づいたりすると、この信号はジェネレータ出力とは異なってきます。したがって、システム識別ではアンプが正常動作をするようにアンプの伝達関数を検知します。



#### パワーアンプの識別

ディストーションアナライザには、エラー信号を最小化することにより、実際のパワーアンプに適応性をもつようになるアンプモデルが備えられています。このエラー信号の最小化とは、測定電圧  $u(t)$  と推定電圧の差、すなわち  $u'(t)e_u(t) = u(t) - u'(t)$  を少なくすることになります。

アンプモデルのフィッティングはアンプの相対エラーによって記述されます。

$$E_U(t_1) = \frac{\max_{t_1 < t < t_1 + \Delta t} (|e_u(t)|)}{\max_{t_1 < t < t_1 + \Delta t} (|u(t)|)}$$

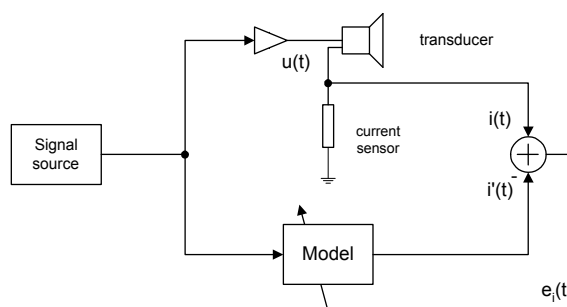
この値は最終アップデートインターバルでの、エラー信号  $e_u(t)$  と測定電圧  $u(t)$  の比になります。位相、振幅レスポンス、ノンリニア歪み、および測定ノイズの変動が識別されていないと、このエラー測定に影響を与えます。

### 電流エラー Current Error $E_i$

電流測定をベースとしたシステム識別について、下記の図内に信号の流れが記載してあります。トランスデューサとモデルの両方が励起信号と



共に供給されます。測定電流  $i(t)$  と推定電流  $i'(t)$  の差は、フリーモデルパラメータ順応用のエラー信号  $e_i(t) = i(t) - i'(t)$  として用いられます。



### 電流モニタリングをベースとしたシステム識別

大きかったエラーが徐々に小さくなると、モデルが、測定しているトランスデューサに対して最適化されるように順応します。ディストーションアナライザは、この最適化を行うために図[22]に示した適応機構を用います。このアプローチでは、トランスデューサモデルは、DSP 内にデジタルシステムとして適用されており、さらにこの配信号がパラメータの推定をアップデートするためにエラー  $e_i(t)$  と関連付けられます。

残留エラーは、最大相対エラーを測定することにより評価できます。

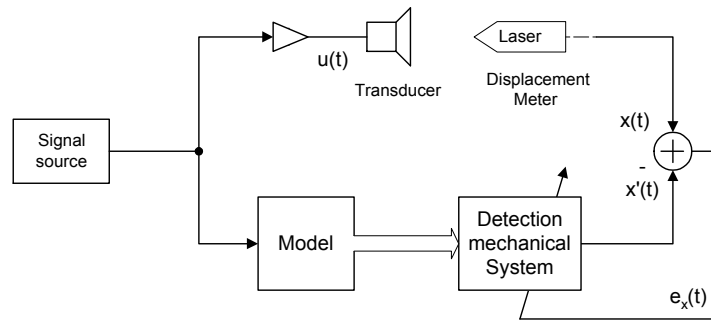
$$E_i(t_1) = \frac{\max_{t_1 < t < t_1 + \Delta t} (|e_i(t)|)}{\max_{t_1 < t < t_1 + \Delta t} (|i(t)|)}$$

この値は最終アップデートインターバルにおける、エラー  $e_i(t)$  のピーク値と電流  $i(t)$  の比です。

エラー  $E_i(t)$  の減少は、Linear Mode 3(7)の開始と共に始まります。残留エラーは主に、サスペンション(クリープ、ヒステリシス、空間的変動)およびパラインダクタンスのモデリングにおけるノイズと不完全性によって発生します。

### 変位エラー Displacement error $E_x$

トランスデューサの電流と電圧をモニタしても、機械パラメータ全てを識別することはできません。非線形パラメータの特性はインピーダンス測定から得ることができますが、得られた特性カーブには、比較パラメータしか表示されません。パラメータの絶対値(SI 単位系で)を得るには、機械ドメインからの情報が必要になります。以下の因習的なアプローチでは、この情報を得るために、動作マスを変えるために付加マスをういたり、スピーカをシールドエンクロージャにマウントしてステイフネスの影響を変えたりする、第二の測定を行います。この代わりに、変位、速度または加速度のような機械状態変数を最低でも一つモニタし、システムの識別中に、この信号をディストーションアナライザに供給します。これには、高価でないレーザーをベースとした三角法を用いることが可能です。トランスデューサ測定を開始する前には必ず、レーザーヘッドを変位校正手順に従って校正する必要があります。



### 変位測定を用いた機械システムの識別

測定変位  $x(t)$  と推定変位  $x'(t)$  の差  $e_x(t) = x(t) - x'(t)$  は、レーザーの調整用に用いられます。エラーと測定変位が低ければ、入力内部的にモデル化された状態と著しく関連していることになり、相対パラメータは自動的に絶対値に変換されます。

レーザーエラーで表されるレーザーモデルのフィッティングは

$$E_x(t_1) = \frac{\max_{t_1 < t < t_1 + \Delta t} (|e_x(t)|)}{\max_{t_1 < t < t_1 + \Delta t} (|x(t)|)}$$

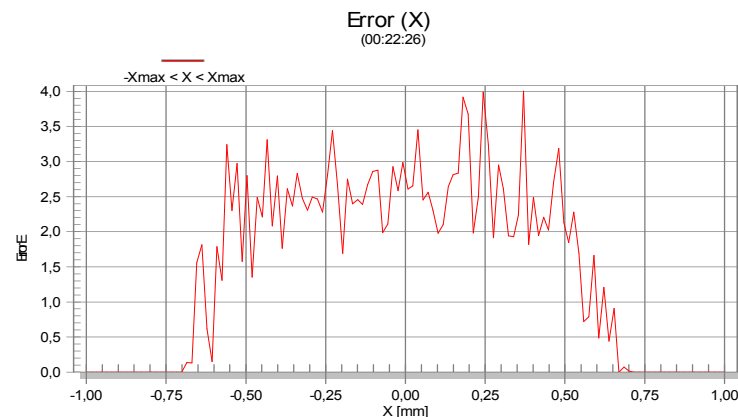
となり、この値は最終アップデートインターバルにおける、 $e_x(t)$  のピーク値と変位  $x(t)$  との比になります。

レーザー変位センサーが動作ユニットに接続され、トランスデューサへの順応が行われると、エラー  $E_x(t)$  は減少します。残留エラーは主に、レーザーシステムが不完全な場合(リニアレスポンス、分解能、リニアリティ)や、最適化への順応が十分でない場合に発生します。レーザー変位センサーの使用法に関する説明を注意深く読んでください。

エラー  $E_x$  が 30% のスレッショールド以下なら測定された変位信号は信頼性があり、機械パラメータおよび状態が絶対値で識別できます。

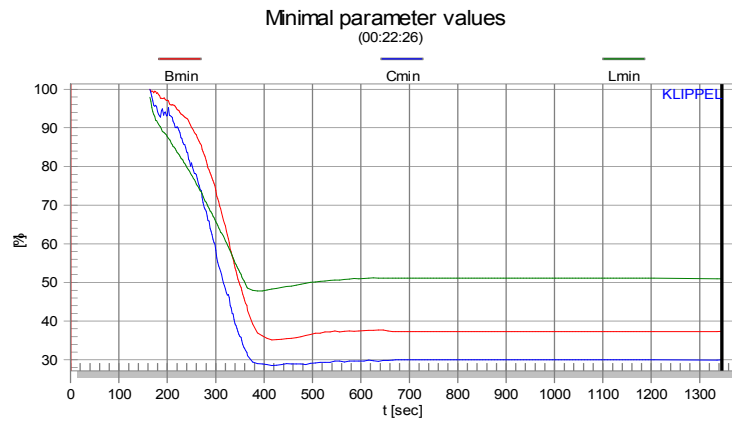
### エラー

#### Error E(x)



レーザーセンサーヘッドが LSI 測定の際に用いられていれば、このウィンドウには変位  $x(t)$  に対する変位エラー  $e_x(t)$  の分布が表示されます。このグラフでは、臨界変位値で機械限界が始まる様子をより明確にみることができます。

## 変動



このウィンドウでは非線形パラメータの最大変動が表されています。非線形パラメータの複雑な特性が、シンプルな単一値で表示されず。この値は、パラメータの最小値と静止位置でのパラメータ値の比を、時間軸に対してパーセント単位で表したものです。

トランスデューサの動作範囲を自動的に検知するには、これらの値が必要です。許容動作範囲が見つければ、これらのパラメータは特定の値に収束します。収束した値は、支配的な非線形リティを見つける際に役立ちます。

### 最小コンプライアンス量

$C_{min}$

最小コンプライアンス比は、

$$C_{min} = \min_{-x_{max} < x < x_{max}} \left( \frac{C_{ms}(x)}{C_{ms}(0)} \right),$$

となり、複雑なカーブ形状を無視した非線形コンプライアンスを表す単一値です。この値は、 $X_{max}$  を決定する場合や、測定中の機械プロテクションにおいて重要な役割を担います。

### 最小フォースファクタ比

$Bl_{min}$

最小フォースファクタ比は、

$$Bl_{min} = \min_{-x_{max} < x < x_{max}} \left( \frac{Bl(x)}{Bl(0)} \right)$$

で表される単一値で、複雑なカーブ形状を無視した非線形 BI 成分を現しています。この値は  $X_{max}$  の決定や、測定中のドライバの機械プロテクションに重要な役割を果たします。

### 最小インダクタンス比

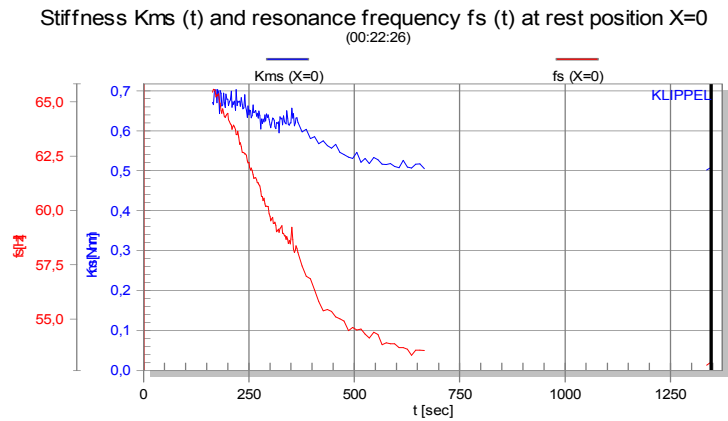
$L_{min}$

インダクタンス比は

$$L_{min} = \min_{-x_{max} < x < x_{max}} \left( \frac{L_e(x)}{L_e(0)} \right)$$

で表され、許容動作範囲での最小パラメータ値と静止位置での値との比を、パーセント単位で表したものです。

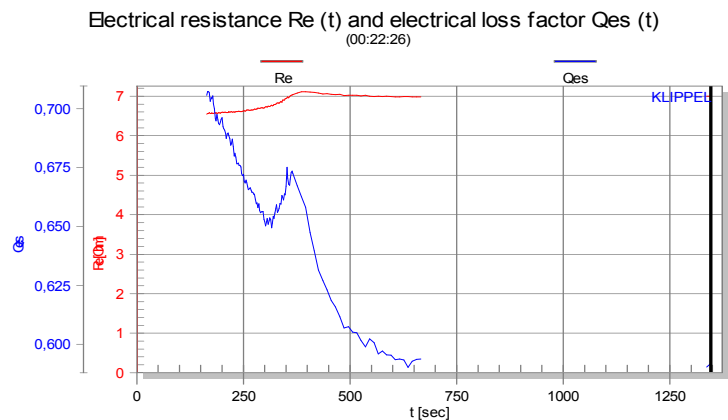
## $K_{MS}(t), f_s(t)$



この結果ウィンドウ内には、機械システムの共振周波数  $f_s(t, x=0)$  および、静止位置  $x=0$  での機械サスペンションステイフネスが、測定時間  $t$  に対してどのように変化しているかを示してあります。動作マスは一定であると仮定してありますので、両パラメータは緊密に関係しています。

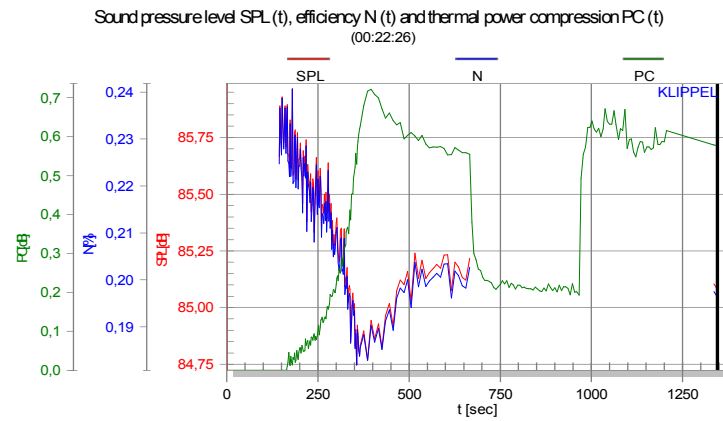
機械サスペンションに関連する幾つかのパラメータは、可逆特性を示します。サスペンションに強い励起がかかり続けると、静止位置でのステイフネスは通常減少しますが、パラメータは、励起信号の振幅を減少させた後には初期の値に近づきます。この効果は、従来型の設計のものやスパイダーマテリアルを用いたウーハーを測定したときに現れます。ステイフネス  $K_{MS}(x,t)$  はメモリをもつ非線形システムとして理解すべきだと考えられているようで、ここでいうメモリとは、ステイフネスは瞬時の変位だけでなく、過去数分間にサスペンションに変位を与えた信号の履歴にも依存するという事をさします。このヒステリシスを確認したり、物理モデルによってこれらのメカニズムを説明したりするには、さらなる調査が必要です。

## $R_E(t), Q_{ES}(t)$



この結果ウィンドウには、ボイスコイル抵抗  $R_E(t)$  と静止位置  $x=0$  における関連ロスファクタ  $Q_{ES}(t, x=0)$  が、測定時間  $t$  に対してどのように変化しているかを示してあります。両パラメータの最初の推定値は、Linear Mode 3(7)の終了時に利用可能となります。Enlargement Mode 4(7)では、励起信号の振幅が増加し、両パラメータはボイスコイル温度の上昇と共に増加します。

## Efficiency (効率)



この結果ウィンドウには、効率リファレンス  $\eta_0(t)$ 、電力コンプレッションファクタ  $PC(t)$  および音圧レベル  $SPL(t)$  が、測定時間  $t$  に対してどのように変化しているかを示してあります。パラメータ変動は主に過熱、劣化、およびその他の可逆性、あるいは不可逆の変化によって起こります。

## Reference Efficiency (効率リファレンス)

無限バツフルにマウントされたドライバの効率リファレンス  $\eta_0$  と、 $2\pi$ -sr 自由フィールドの放射負荷を想定したハーフスペースへの放射は、空気密度  $\rho_0$  と音速  $c$  を用い、静止位置  $x=0$  でのパラメータから算出できます。

$$\eta_0 = \frac{\rho_0 (Bl)^2 S_D^2}{2\pi c R_e M_{ms}^2}$$

## Sensitivity(感度)

無限バツフルにマウントされたドライバに 1 W の入力した際、1m 離れたところでの音圧レベルを、効率リファレンス  $\eta_0$  を用いて表すと、以下のようになります。

$$SPL = 10 \log \left( \frac{\eta_0}{100\%} \right) + 112.2 dB$$

## 熱電力コンプレッション

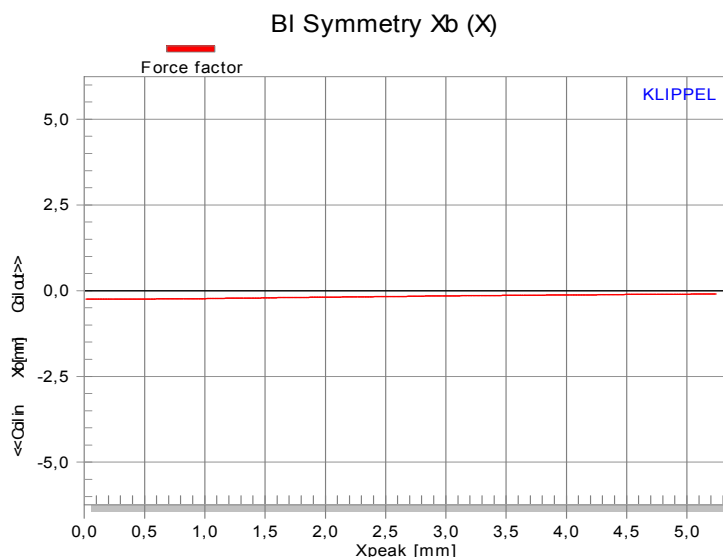
熱電力コンプレッション PC は、ボイスコイル抵抗  $R_e$  を考慮することにより計算されます。

$$PC = 20 \log \left( \frac{R_e(T_v = T_a)}{R_e(T_v)} \right)$$

## トランスデューサー ノンリニアリティの矯正

識別された大信号パラメータから、歪みの物理要因が判別できます。各ノンリニアリティの特性からは、パラメータ変動の対称性と非対称性に関する情報を得られます。パラメータ変動に非対称性がある場合、音響出力信号内に 2 次、3 次および高調波歪みを発生させるだけでなく、ボイスコイルを動的にギャップ外に動作させ、かつ不安定な動作を引き起こす DC 成分が発生します。このような非対称性の原因が、ボイスコイル位置にオフセットがあるか、あるいはサスペンション内でのボイスコイルの動作ポイントにオフセットがある場合には、低コストで簡単にトランスデューサを改良できます。

## BI の対称性



最適なボイスコイルシフト  $x_B$  は、非線形  $BI$ -カーブ内で、その点からの正負の変位  $x$  により同一のフォースファクタが生じるような、対象点に相当します。

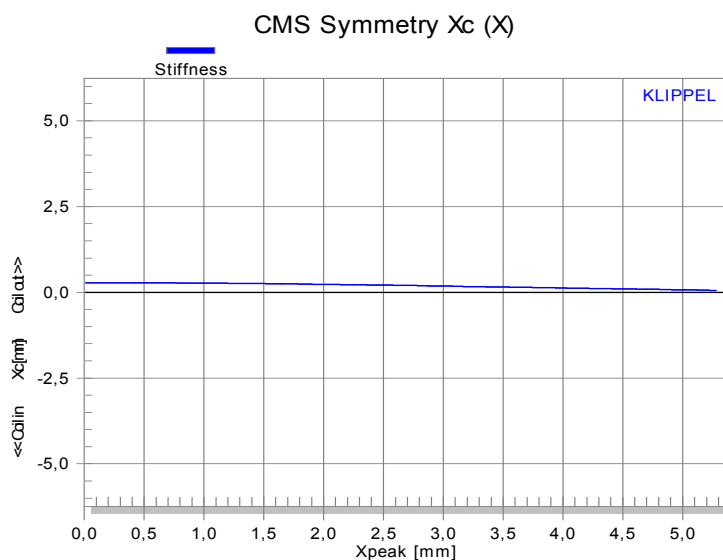
$$BI(x_B(x) + x) = BI(x_B(x) - x).$$

シフト  $x_B(x)$  が変位振幅  $x$  に依存しないのであれば、フォースファクタの非対称性はボイスコイル位置のオフセットから生じており、ボイスコイルシフト  $X_B$  により簡単に補償できます。

Note: 最適なシフト  $x_B(x)$  が変位振幅  $x_{peak}$  と共に変化しているのであれば、フォースファクタの非対称性は、磁場のジオメトリの非対称性が原因で生じており、コイルを単純にシフトさせても補償することはできません。

詳細に関しては、アプリケーションノート 1、最適なボイスコイル位置 (2001 年 10 月) を参照してください。

## $C_{ms}$ の対称性



サラウンドの最適シフトは、非線形カーブ内で、その点からの正負の変位  $x_{peak}$  により同一のコンプライアンスが生じるような、対称ポイント  $x_c$  でもたらされます。

$$C_{ms}(x_c + x_{peak}) = C_{ms}(x_c - x_{peak}) \quad x_c = x_c(x_{peak}).$$

対称ポイントが変位  $x_{\text{peak}}$  と共に増えていくのは、サラウンドが非対称性により制限されている場合に典型的に現れます。

対称ポイント  $x_c(x)$  が一定なら、スパイダ(カップ形状)あるいはサラウンド(半波形状)のジオメトリが非対称であることが一般的です。この場合、ステイフネスカーブの最小点はサスペンションの静止位置とは等しくなりません。サスペンション部品の調節をうまく行うことにより、改善される場合もあります。ほとんどのケースでは、非対称性の原因を判断するには、スパイダとサラウンドを切り分けて、かつ FEM 手法を適用することが必要です。

詳細についてはアプリケーションノートを参照してください。

アプリケーションノート 2、スパイダとサラウンドの分離 (2001 年 10 月)

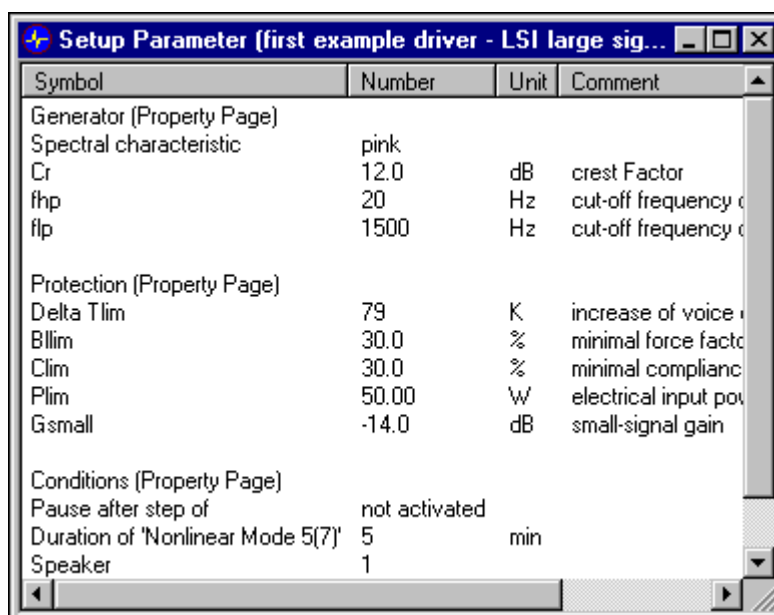
アプリケーションノート 3、機械サスペンションの調整 (2001 年 10 月)

---

注意: 異常な  $C_{ms}(x)$  カーブが測定されると、図は表示されません。通常、異常な  $C_{ms}(x)$  カーブ(局所的に多数最大点がある)は、適応のための時間が短すぎる場合に起こります。このようなケースでは、Condition プロパティページ内の "Duration of nonlinear mode" をより長い設定に変更することをお勧めします。

---

## 設定パラメータ



The screenshot shows a window titled "Setup Parameter (first example driver - LSI large sig...". The window contains a table with four columns: Symbol, Number, Unit, and Comment. The parameters are grouped into sections: Generator (Property Page), Protection (Property Page), and Conditions (Property Page).

Symbol	Number	Unit	Comment
Generator (Property Page)			
Spectral characteristic	pink		
Cr	12.0	dB	crest Factor
fhp	20	Hz	cut-off frequency c
flp	1500	Hz	cut-off frequency c
Protection (Property Page)			
Delta Tlim	79	K	increase of voice v
Blim	30.0	%	minimal force facto
Clim	30.0	%	minimal complianc
Plim	50.00	W	electrical input pow
Gsmall	-14.0	dB	small-signal gain
Conditions (Property Page)			
Pause after step of	not activated		
Duration of 'Nonlinear Mode 5(7)'	5	min	
Speaker	1		

このウィンドウには、ユーザが定義した全設定パラメータがまとめて表示されています。LSIのプロパティページに詳細が示されています。



---

# 不具合と トラブルシューティング

## 概要

この章では、ディストーションアナライザに発生する可能性のある問題を解決するための情報が示されています。

発生した問題に対する対処法が見つからない場合は、以下のオプションから選択を行ってください:

ディストーションアナライザに添付されているリリースノート(ソフトウェアとドキュメントに関する問題)をチェックしてください。製品に関する最新の情報と、導入手順が記載されています。

e-mail を使用して、[support@klippel.net](mailto:support@klippel.net) に連絡してください。

## エラーおよび警告メッセージ

デバイス校正が行われていない

**エラーメッセージ:**

"No device dependent calibration data used, only default values !"(デバイスに依存する校正データが使用されていません。デフォルトの値が用いられています)

**理由: デバイス校正が行われていない**

ハードウェアユニットの校正が行われていない。収集された全データは無効。

**解決方法:**

"キャンセル"を押し、測定を中止します。ハードウェアを一旦 OFF した後に再度 ON します。そして測定を再度開始します。再度エラーが発生する場合は、Klippel 社あるいは(株)東陽テクニカに連絡してください。

データが利用可能

**エラーメッセージ:**

"Data is already available. If you continue, this data will be discarded!"(データが利用可能です。このまま実行するとこれらのデータは破棄されます)

**理由:**

測定結果に影響を与える設定パラメータの変更を行った。(例えば、励起パラメータを変更した)

**解決方法:**

"キャンセル"を押すと、オリジナルの設定を含んだ結果を保持されません。"OK"を押すと、直前の測定結果が破棄され、設定変更が適用されます。

新規測定が実行中

**エラーメッセージ:**

"A new measurement is active in the Distortion Analyzer. Please start the corresponding operation to reconnect with the device."(ディストーションアナライザ内で新規測定が実行中です。デバイスに再接続するには、一致するオペレーションを開始してください)

**理由:**

ハードウェアユニット内で実行中のオペレーションが、外部から変更された。(スタンドアローン、dB-Lab 等)

**解決方法:**

このメッセージが表示されるオペレーションでは、新しいオペレーションを開始できるように、ハードウェアユニットが切り離されます。

## ハードウェアの例外メッセージ

ハードウェアユニット上で発生したエラーや例外メッセージは”State(状態)”ウィンドウに表示されます。重要なメッセージがある場合は、測定実行中にポップアップボックスが追加して表示されます。

### Output DAC limits (出力 DAC の限度)

**原因:** ディストーションアナライザの Output 1 が許容限度を超えた。

**改善方法:** 大信号ドメインにてスピーカ端子に十分な振幅を供給するために、外部のパワーアンプのゲインを増加させます (パワーアンプのゲインコントロールを大きくするか、ステレオアンプをブリッジモードで動作させる)。その後、測定を再スタートする。

### アンプの限度

**原因:** アンプの出力信号が制限されている。

**改善方法:** より出力の大きいアンプを用いるか、あるいはステレオアンプをブリッジモードで使用してください。その後測定を繰り返します。

### 最大の出力ゲイン

**原因:** 自動ゲイン調整機能により、大信号ドメインにおいてゲイン  $G_{large}$  が許容限度値(26 dB)を超えたため。プロテクション変数は、まだ許容プロテクション限度値を超えていません。

**改善方法:** PROTECTION ページの  $G_{small}$  値を増やすか、パワーアンプのゲインを増加させるかして、小信号ドメインにおける励起信号の振幅を増加させます。その後、再度測定を開始します。

### 最小の出力ゲイン

**原因:** 小信号ドメインにおいて、プロテクション変数が許容限度( $G_{large}=0$  dB)を超えたため。したがって、小信号ドメインにおける励起信号の振幅が大き過ぎる。

**改善方法:** PROTECTION ページの  $G_{small}$  値を減らすか、あるいはパワーアンプのゲインコントロールを絞ることにより、励起信号の振幅を減らします。その後、再度測定を開始します。

### ドライバの $f_s$ が 高すぎる

**原因:** ドライバの瞬時の共振周波数が最小値よりも低くなったため。

**改善方法:** ドライバをシールドエンクロージャにマウントし、測定パラメータで、エンクローズされた空間のスティフネスを考慮する。

### ドライバの $f_s$ が 低すぎる

**原因:** ドライバの瞬時の共振周波数が最小値よりも低くなったため。

**改善方法:** 現在のシステムはウーハーシステム専用のものです。しかし、振動板に付加マスを加えることが可能で、測定されたパラメータでそのマスを考慮します。近々、中域とツイータ用のバージョンをリリースする予定です。

### ドライバの $R_e$ が 高すぎる

**原因:** ボイスコイルの電気抵抗が最大限度以上であるため。

**改善方法:** [support@klippel.net](mailto:support@klippel.net)、あるいは(株)東陽テクニカに連絡してください。プロセッサユニットをカスタマイズすることにより、高い電気インピーダンスをもつトランスデューサ(ヘッドフォンやシェーカー)を測定できると思われれます。

### ドライバの $R_e$ が 低すぎる

**原因:** ボイスコイルの電気抵抗が最小限度以下であるため。

**改善方法:** [support@klippel.net](mailto:support@klippel.net)、あるいは(株)東陽テクニカに連絡してください。プロセッサユニットをカスタマイズすることにより、非常に低い電気インピーダンスをもつトランスデューサを測定できると思われれます。

ドライバが接続されていない

**原因:**ドライバ端子における電流が低すぎるため。通常、SPEAKER 1 にドライバが接続されていない。

**改善方法:**ドライバがプロセッシングユニットに接続されていることを確認してください。その後、再度開始します。

アンプの電源が OFF

**原因:**パワーアンプ出力の測定電圧が低すぎる。通常、パワーアンプの電源が入っていないか、ゲインコントロールが小さい設定になっている。

**改善方法:**パワーアンプ設定を確認し、測定を再度開始する。

## 文献

- [1] R. H. Small, „Direct-Radiator Loudspeaker System Analysis,“ *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 20, pp. 383 – 395 (1972 June).
- [2] R.H. Small, „Closed-Box Loudspeaker Systems, Part I: Analysis,“ *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 20, pp. 798 – 808 (1972 Dec.).
- [3] A. N. Thiele, „Loudspeakers in Vented Boxes: Part I and II,“ in *Loudspeakers*, vol. 1 (Audio Eng. Society, New York, 1978).
- [4] J. R. Ashley and M. D. Swan, „Experimental Determination of Low-Frequency Loudspeaker Parameters,“ in *Loudspeakers*, vol.1 (Audio Eng. Society, New York, 1978).
- [5] R. H. Small, “Assessment of Nonlinearity in Loudspeakers Motors,” in *IREECON Int. Convention Digest* (1979 Aug.), pp. 78-80.
- [6] M.R. Gander, “Moving-Coil Loudspeaker Topology as an Indicator of Linear Excursion Capability,” in *Loudspeakers*, vol.2 (Audio Engineering Society, New York, 1984).
- [7] A. Dobrucki, C. Szmal, “Nonlinear Distortions of Woofers in Fundamental Resonance Region,” presented at the 80th convention *Audio Eng. Soc.*, Montreux, March 4-7, 1986, preprint 2344.
- [8] C. Zuccatti, “Thermal Parameters and Power Ratings of Loudspeakers,” *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 38, pp. 34 – 39, (Jan./Feb. 1990).
- [9] D. Button, “A Loudspeaker Motor Structure for Very High Power Handling and High Linear Excursion,” *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 36, pp. 788 – 796, (October 1988).
- [10] C. A. Henricksen, “Heat-Transfer Mechanisms in Loudspeakers: Analysis, Measurement, and Design,” *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 35, pp. 778 – 791, (October 1987).
- [11] W. Klippel, “Dynamic Measurement and Interpretation of the Nonlinear Parameters of Electrodynamical Loudspeakers,” *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 38, pp. 944 - 955 (1990).
- [12] E. R. Olsen and K.B. Christensen, “Nonlinear Modeling of Low Frequency Loudspeakers - a more complete model,” presented at the 100th convention *Audio Eng. Soc.*, Copenhagen, May 11-14, 1996, preprint 4205.
- [13] M.H. Knudsen and J.G. Jensen, “Low-Frequency Loudspeaker Models that Include Suspension Creep,” *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 41, pp. 3 - 18, (Jan./Feb. 1993).
- [14] A. Dobrucki, “Nontypical Effects in an Electrodynamical Loudspeaker with a Nonhomogeneous Magnetic Field in the Air Gap and Nonlinear Suspension,” *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 42, pp. 565 - 576, (July./Aug. 1994).
- [15] A. J. M. Kaizer, “Modeling of the Nonlinear Response of an Electrodynamical Loudspeaker by a Volterra Series Expansion,” *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 35, pp. 421-433 (1987 June).

- [16] W. Klippel, "Nonlinear Large-Signal Behavior of Electrodynamic Loudspeakers at Low Frequencies," *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 40, pp. 483-496 (1992).
- [17] J.W. Noris, "Nonlinear Dynamical Behavior of a Moving Voice Coil," presented at the 105<sup>th</sup> Convention of the Audio Engineering Society, San Francisco, September 26-29, 1998, preprint 4785.
- [18] W. Klippel, "The Mirror Filter - A New Basis for Reducing Nonlinear Distortion and Equalizing Response in Woofer Systems," *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 40, pp. 675 - 691 (1992).
- [19] J. Suykens, J. Vandewalle and J. van Gindeuren, "Feedback Linearization of Nonlinear Distortion in Electrodynamic Loudspeakers," *J. Audio Eng. Soc.*, Vol. 43, No. 9, pp. 690-694 (1995).
- [20] W. Klippel, "Direct Feedback Linearization of Nonlinear Loudspeaker Systems," *J. Audio Eng. Soc.*, Vol. 46, pp. 499-507 (1995 June).
- [21] H. Schurer, C. H. Slump, O.E. Herrmann, "Theoretical and Experimental Comparison of Three Methods for Compensation of Electrodynamic Transducer Nonlinearity," *Audio Eng. Soc.*, Vol. 46, pp. 723-739 (1998 September).
- [22] W. Klippel, "Adaptive Nonlinear Control of Loudspeaker Systems," *J. Audio Eng. Soc.* vol. 46, pp. 939 - 954 (1998).
- [23] F.Y. Gao, "Adaptive Linearization of a Loudspeaker," presented at 93rd Convention of the Audio Eng. Soc., October 1 -4, 1992, San Francisco, preprint 3377.
- [24] W. Klippel, "Nonlinear Adaptive Controller for Loudspeakers with Current Sensor," presented at the 106<sup>th</sup> Convention of the Audio Engineering Society, Munich, May 8-11, 1999, preprint 4864.
- [25] W. A. Frank, "An Efficient Approximation to the Quadratic Volterra Filter and its Application in Real-Time Loudspeaker Linearization," *Signal Processing*, vol. 45, pp. 97-113, (1995).
- [26] D. Clark, "Precision Measurement of Loudspeaker Parameters," *J. Audio Eng. Soc.* vol. 45, pp. 129 - 140 (1997 March).
- [27] E. Geddes and A. Philips, "Efficient Loudspeaker Linear and Nonlinear Parameter Estimation," presented at the 91<sup>st</sup> Convention of the Audio Engineering Society, J. Audio Eng. Soc. (Abstracts), vol. 39, p. 1003 (1991 Dec.), preprint 3164.
- [28] D. Clark and R. Mihelich, "Modeling and Controlling Excursion-Related Distortion in Loudspeakers," presented at the 106<sup>th</sup> Convention of the Audio Engineering Society, Munich, May 8-11, 1999, preprint 4862.
- [29] D. Clark, "Amplitude Modulation Method for Measuring Linear Excursion of Loudspeakers," presented at the 89<sup>th</sup> Convention of the Audio Engineering Society, J. Audio Eng. Soc. (Abstracts), vol. 38, p. 874 (1990 Nov.), preprint 2986.
- [30] G. Cibelli, A. Bellini, E. Ugolotti, "Dynamic measurements of low-frequency loudspeakers modeled by Volterra series," in *preprint 4968* presented on 106th Convention of the Audio Eng. Soc., Munich, May 8-11, 1999.

- [31] M. Knudsen, "Estimation of Physical Parameters in Linear and Nonlinear Dynamic Systems, Ph. D. dissertation, Aalborg University, Department of Control Engineering, ISSN 0106-0791, AUC-CONTROL-R93 – 4010, January 1993.
- [32] M. Knudsen, J.G. Jensen, V. Julskjaer and P. Rubak, "Determination of Loudspeaker Driver parameters Using a System Identification Technique," *J. Audio Eng. Soc.* vol. 37, No. 9.

---

# Index