

DC電源の可聴ノイズ

2023年7月

奥村 剛

FAE

MPSジャパン合同会社



トピック

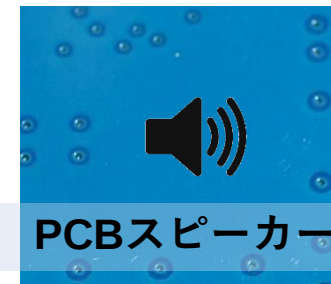
- はじめに
- MLCCおよび部品の圧電性
- PCB上の機械的共振
- 楽器との比較
- 原理
- マイクによる測定
- ターンテーブルによる測定
- 音響アンプ
- ゴールデン・デザインのゴール
- Q&A

はじめに

基板に実装されてた**DC-DCコンバータ**は、かすかに笛のような可聴ノイズを誘発することがあります。

これらのノイズはほとんど聞こえませんが、何がノイズ発生源で、どう対策をとればよいのでしょうか。

電子部品ではなく基板がノイズを引き起こします。



MLCCがノイズ発生源となり、基板がスピーカ膜となります。

MPQ4590
640V 非絶縁型レギュレータ、最大400mA出力電流

MPQ4316
45V、6A、低自己消費電流、同期整流ステップダウンコンバータ、周波数スペクトラム拡散付き

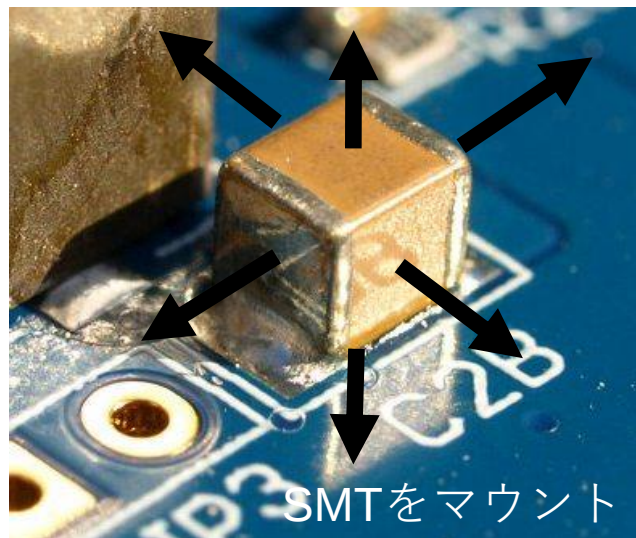
MPQ4572
60V、2A、高効率、統合型、同期整流降圧コンバータ

代表的な車載アプリケーション向け製品用評価ボード (EVQxxxx) AEC-Q100認証済み



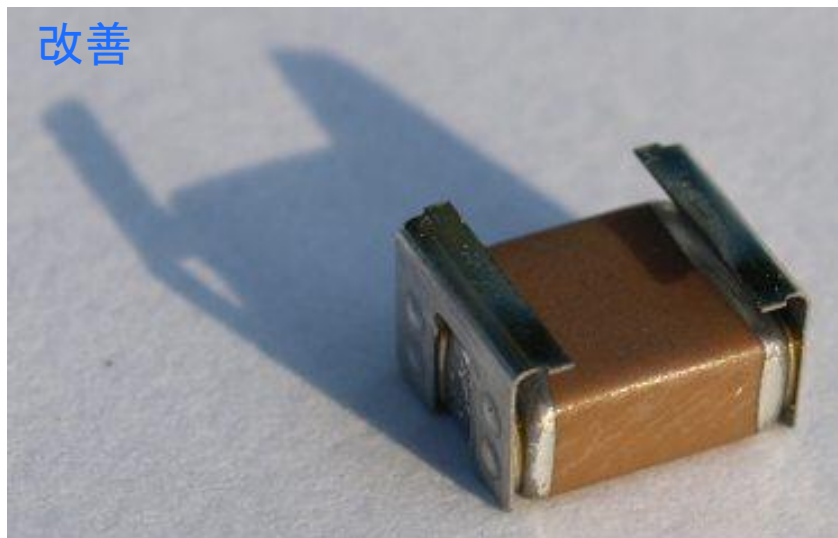
MLCCやその他部品上での圧電気

MLCC セラミック コンデンサに電圧を印加すると、その形状が全方向に変化します。印加されたAC電圧は、AC電圧の周波数でセラミック コンデンサの形状を変調します。



セラミックコンデンサあらゆる方向に広がります。はんだ接合部は機械エネルギーを PCB に伝達します。

改善



2つのはんだ金属ストリップは、「機械的インダクタ」に例えることができます。これらは、PCB上の音響励振を減衰させます。

改善

インターポーザ基板に実装したSMT MLCCも用意しており、鳴きレベルの低減に貢献します。インターポーザ基板を介してMLCCの振動を抑制し、PCBへの振動の影響を軽減します。

MLCCやその他部品上での圧電気

可聴および非可聴システムにおける部品区分

	MLCC Class I NPO、COG	MLCC Class II, III X7R、X5R、Y、Z	MLCC インターポーザタ イプ、メタルスト リップ	電解タンタル有 機キャパシタ	スイッチングイ ンダクタ (成形)	フェライトビーズ、 抵抗、DC/DC IC
発生源	No	Yes	減衰	No	No	No

- xxxkHZ範囲のスイッチング周波数それ自体は聞こえません。
- 可聴範囲の負荷電流周波数のみで可聴ノイズが発生する可能性があります。
- FCCM (強制連続通電モード) の DC/DC コンバータは、可聴周波数範囲の負荷電流下でのみ可聴です。
例えばGMS パルスまたはその他の周期的な負荷の場合。
- AAM (アドバンスト非同期モード) の DC/DC コンバータ。この軽負荷時、可聴周波数範囲となりえますが、このモードは強い刺激が存在しない軽負荷電流下でのみアクティブとなりますのでノイズは発生しません。



PCB上での機械的共振

PCB は機械的な共振回路であり、電気的なRLC共振回路に相当します。

一般に機械システムは非線形システムであることが多く、解析的な計算が困難です。

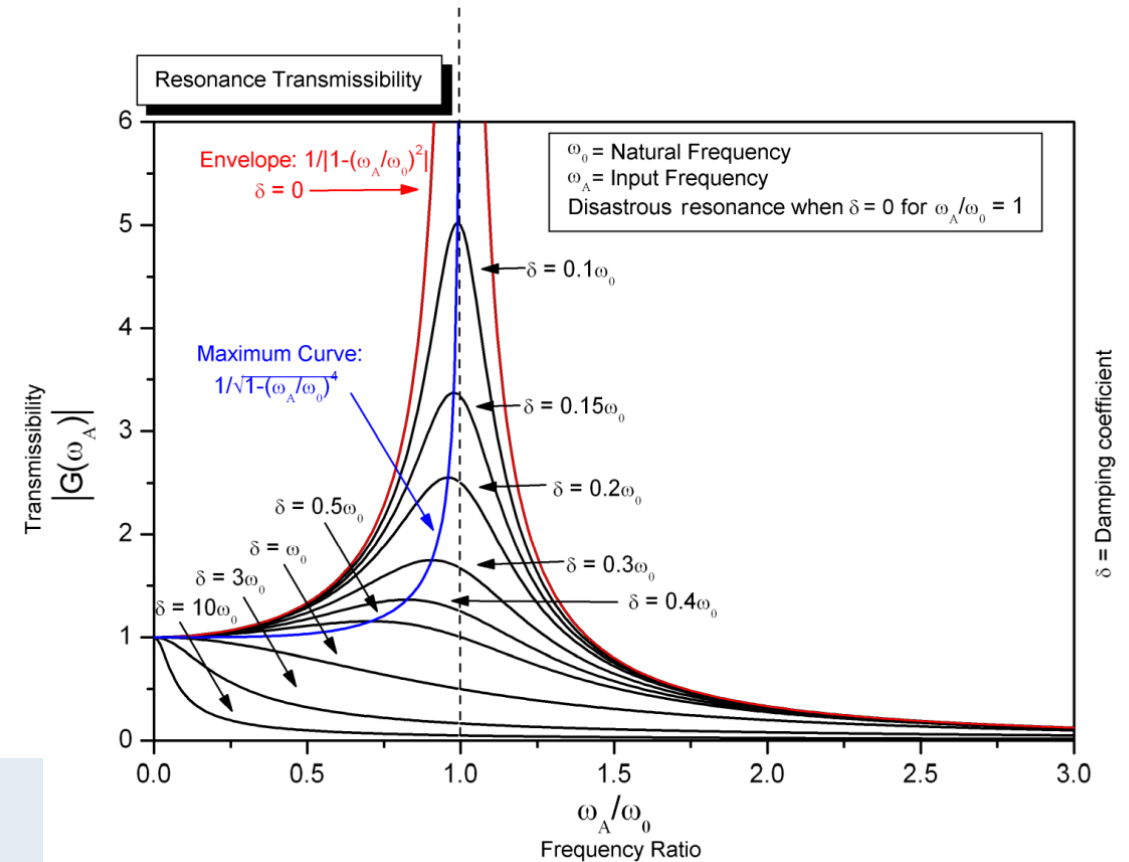
共振周波数:

$$f = \frac{1}{2 * \pi} * \sqrt{\frac{k}{m}}$$

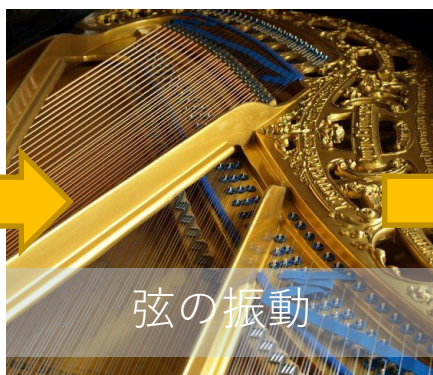
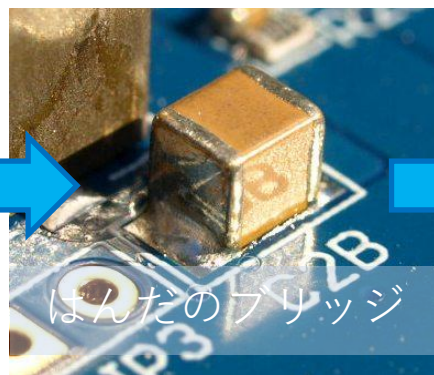
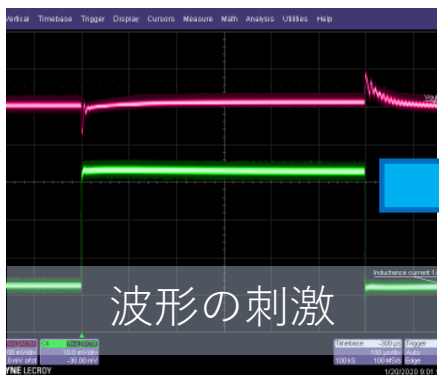
ここでは、m=質量、k=バネ定数

共振周波数はできるだけ高くする必要があります。

質量は主に構造によって与えられます。
バネ定数は、機械的な減衰と締結ポイントの数の増加によって低減できます。



3つの機械システムを比較する



刺激要因

システムに信号を入力する

振動

力を動きに移行する

ブリッジ

振動を音響ボードに伝播する

音響ボード

振動を聞こえる音に変換する

基本

- 楽器の弦の音自体はそれほど大きくありません (振動面が小さすぎます)。
- インパルス (ハンマー) には、多くの周波数成分が含まれています
→ ヒット弦の共鳴周波数 → 共鳴周波数と倍音を含む弦応答。
- MLCCそれ自体の振動もほとんど聞こえません (振動面が小さく、機械的共振周波数が高すぎる)。
- MLCCから刺激されたPCB → 共振周波数とその倍音による応答。
- 最も大きなノイズは、刺激の基本波がPCB共振周波数に達したときに発生します。
- 人の耳は2~5 kHzの範囲で最も敏感ですが、残念ながらこれは多くのPCBの共振周波数と同じ範囲にあります。

マイクでの計測



MPSの評価ボード EVQ4572 (9 x 9cm)

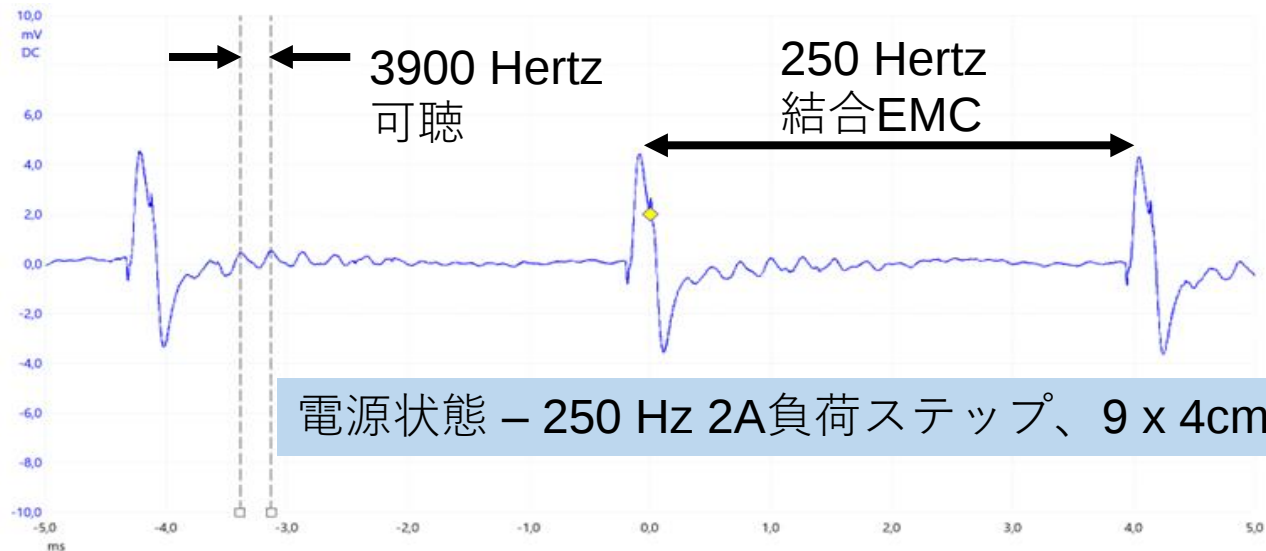
音響ノイズ、およびDC電源回路の共振周波数とPCB実装はマイクおよびインパルス刺激をもたらす小さなもので計測できます。

良い選択としてはコンデンサマイクで、ダイナミックマイクよりもMLCCの磁界に敏感ではありません。

表示されているマイクは、磁石が動くダイナミックマイクです。使用可能ですが、磁場によって誘起される波形が音響ノイズ信号に重畳されます。

この講座では圧電加速度計など特別な装置は使用せず、身近にある機器で代用し原理を説明させていただきます。

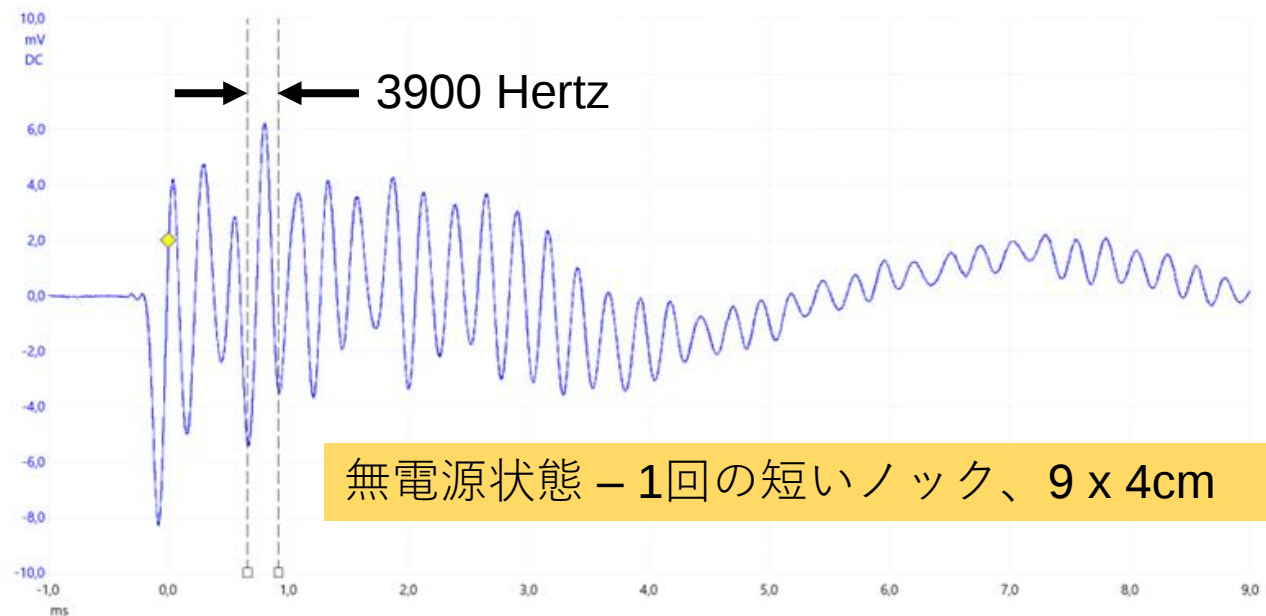
マイクでの計測



250Hz 2A負荷ステップでMPQ4572を使用、
9 x 4cmの寸法のPCBをマイクロフォンで測定。

磁場を介してダイナミックマイクに結合され
た250 Hzは、聞こえません。

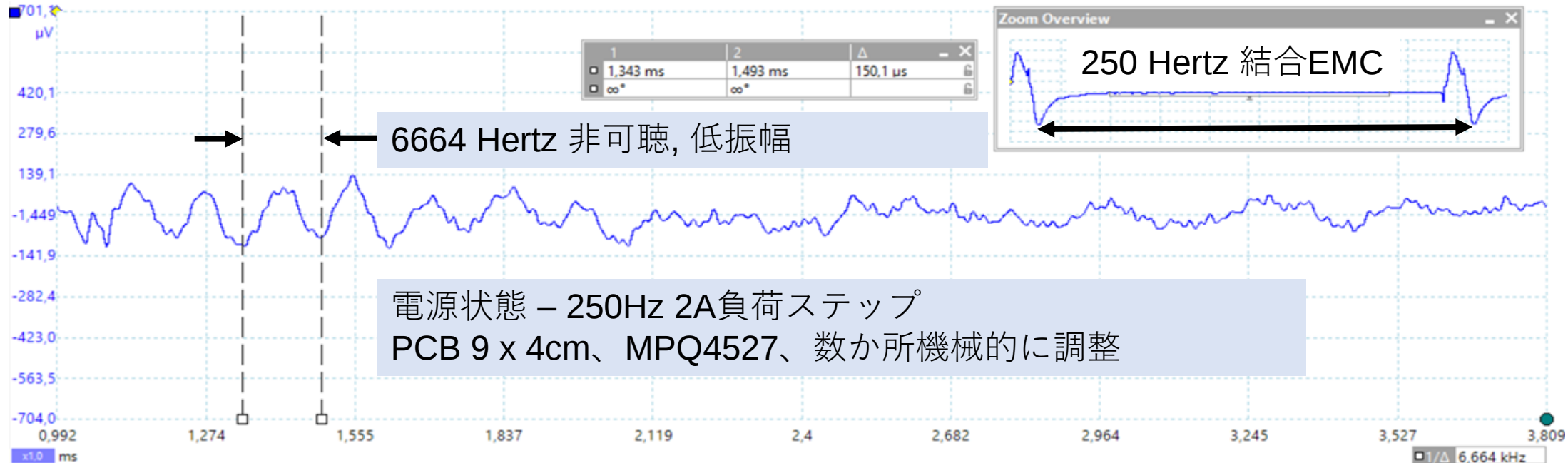
3900 Hzは高い笛の音のように聞こえます。



9 x 4cm PCBのマイク測定、刺激としてプラス
チックスティックを使用、電源なし。

同じ3900 Hzの共振周波数でのPCB応答。
PCBはテーブルに固定されていません。

マイクでの計測



共振周波数は3900 Hzから6664 Hzにシフトします。
周波数が高いほど聞き取りにくくなります。

250 Hzの刺激から6664 Hzまでの距離が増加→より少ない倍音エネルギーが共鳴領域に伝達される→振動振幅が減少します。

周波数の増加と機械的共振器の減衰の増加によって聞こえません。

- ハウジングに取り付けられた後、PCBをテストします。
- PCBの共振周波数を上げてみてください(より多くの取り付けポイントを使用してください)。
- PCBの機械的減衰を増やしてみてください, 取り付けポイントにゴム製の柔らかい素材を使用します。

ターンテーブルによる測定



ピエゾ加速度計の簡単な代替手段としてのターンテーブルによる振動の測定をご紹介します。

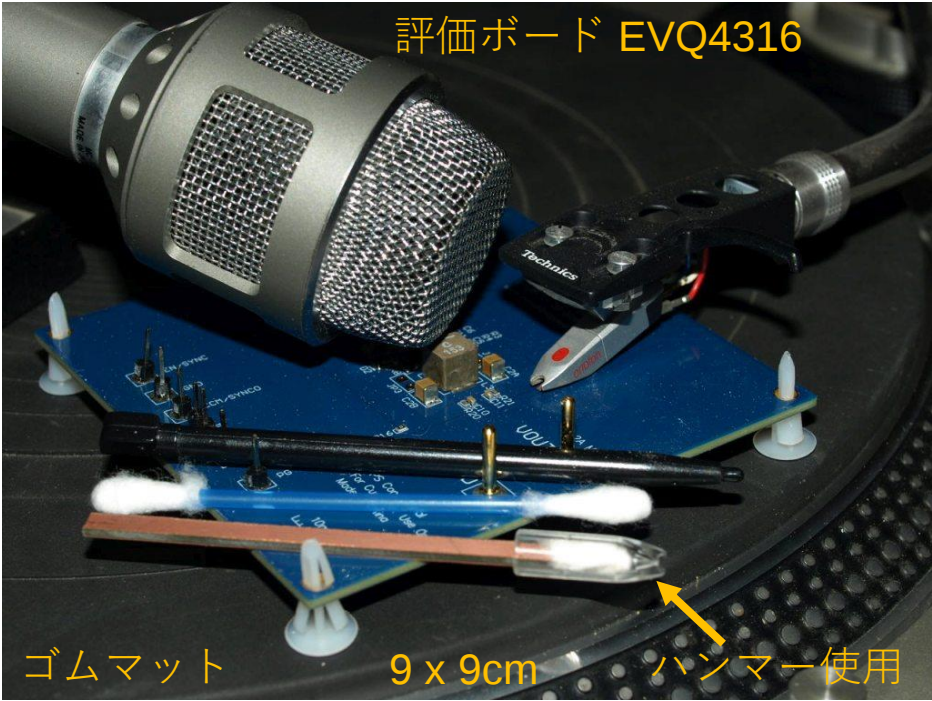
DJスクラッチには堅牢なカートリッジを使用するのが最適ですが、高価な敏感なカートリッジは使用しないようにしましょう。取り扱いによっては破損する可能性があります。

すべての可動磁石 (MM) または可動コイルシステム (MC) は、電力供給されたDC/DCコンバータの下では使用できず、MLCCの磁場も拾います。

電力供給されたDC/DCコンバータを測定する際は、古い水晶の圧電セラミックカートリッジを試してみてください、それらは磁場に対してあまり敏感ではありません。

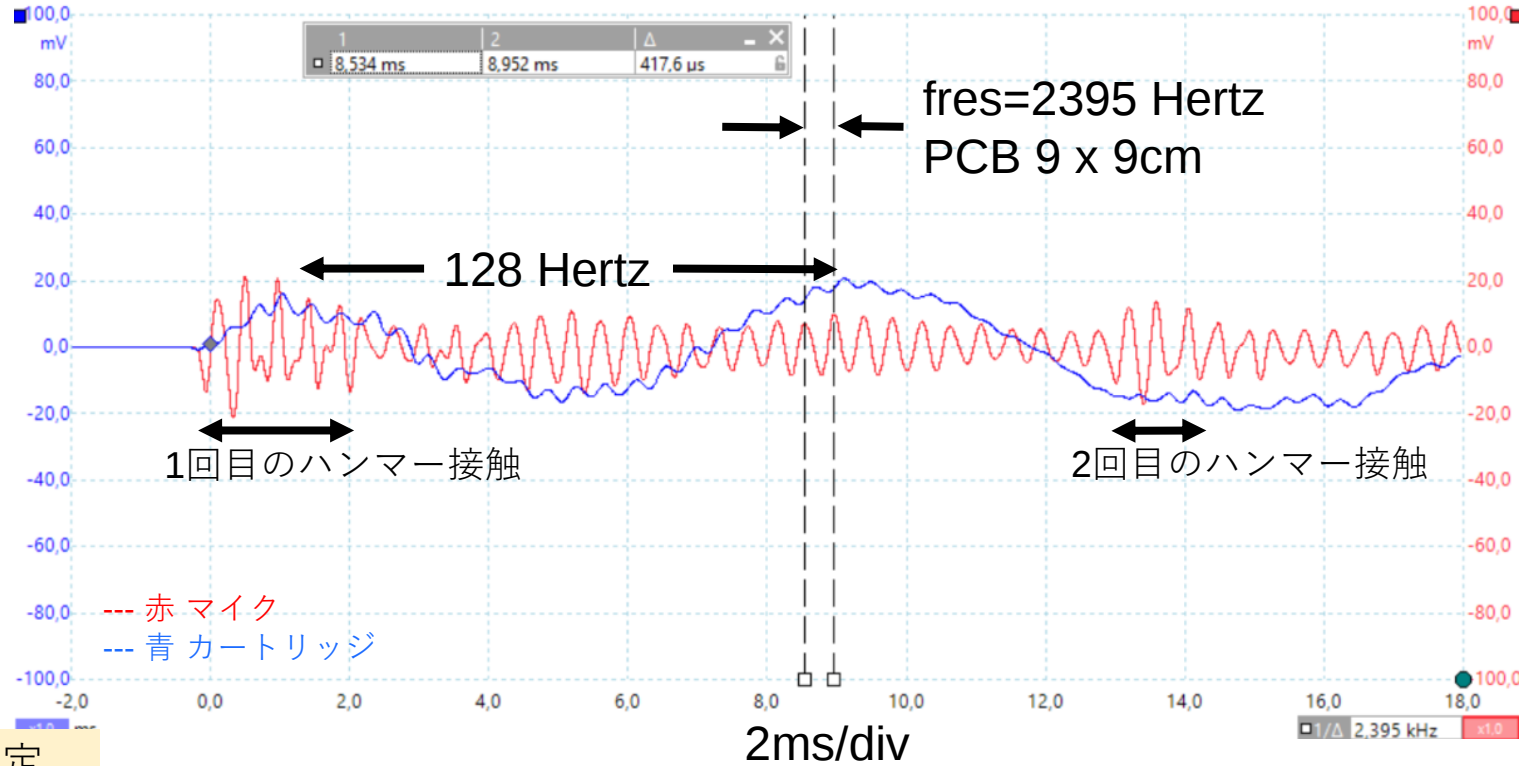


ターンテーブルによる測定 - 無電源



ハンドヘルドハンマーで強度の再現性は低く、測定環境に応じて調整が必要です。この場合下のハンマーが最適で、機械的なチャタリングを減らします。

- (上) ハード、ディラックインパルスに最も近い、最も高い刺激周波数。
- (中) 柔らかく、タッチ時間が最も長く、周波数が少ない。
- (下) 中間



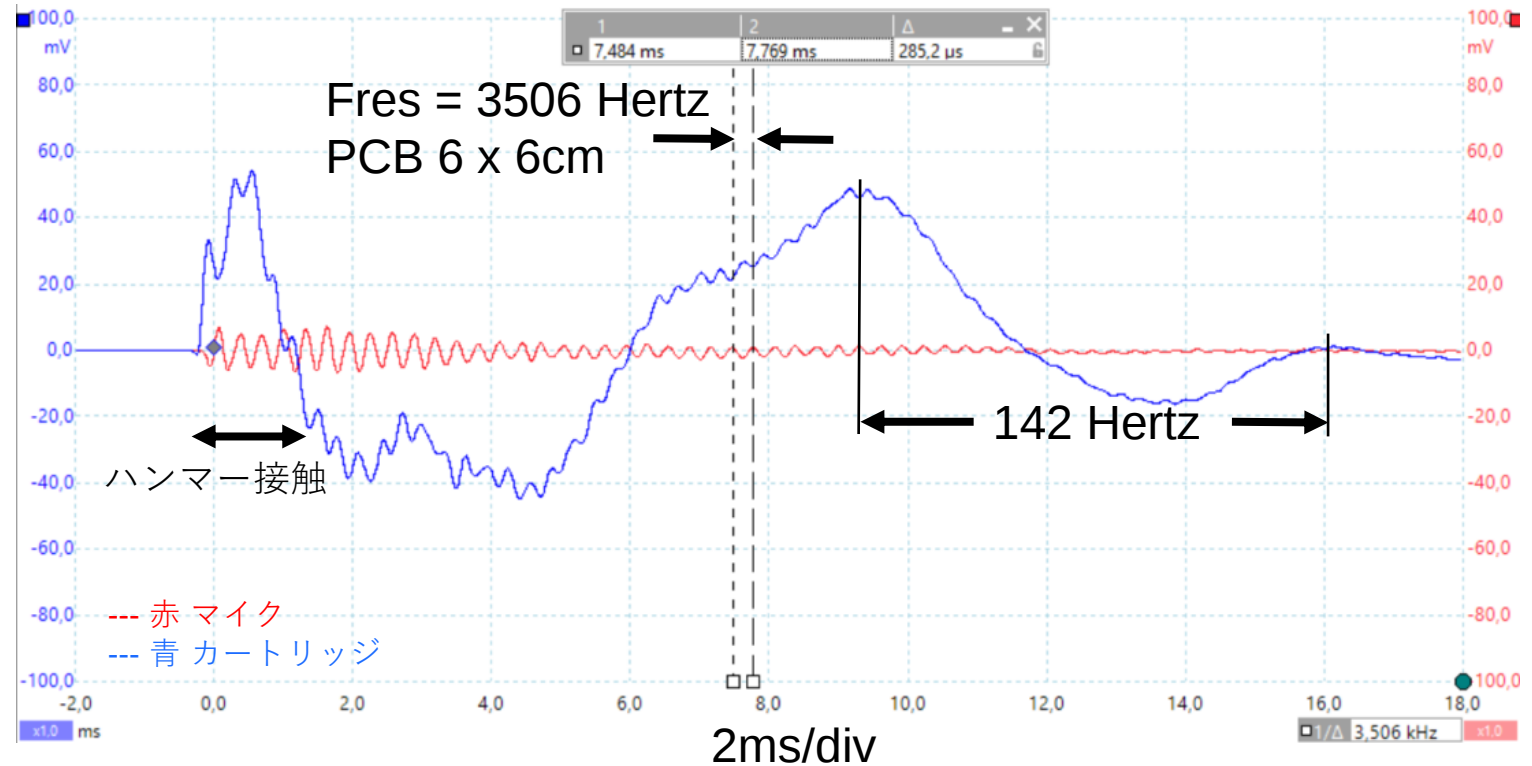
- マイクは音の波形を測定
- カートリッジはダイヤモンドの位置で正確に水平振動を測定します。 **128 Hz**の周波数によるシステム応答、トーンアームと **PCB** が共振し得えます
- **2回目**の接触

ターンテーブルによる測定 - 無電源



MPQ4590 PCB、6 x 6cm

9 x 9cm → fres = 2395 Hertz
6 x 6cm → fres = 3506 Hertz

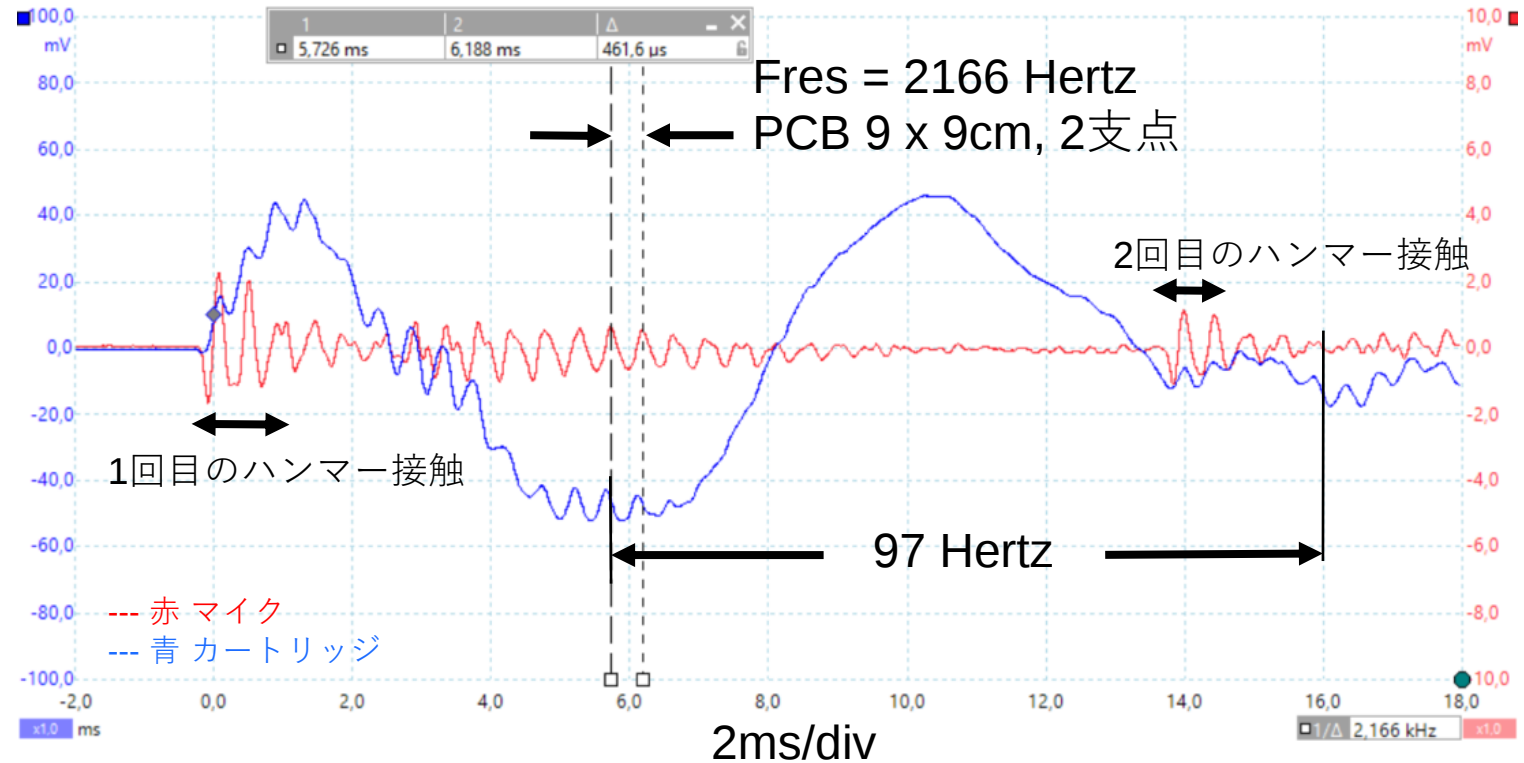


- PCBが小さくなると、自己共振周波数が高くなります。
- 4つのスペーサーの距離が小さいほど、タッチ中のスペーサーの安定性が低くなります → 低周波振幅が高くなります。

ターンテーブルによる測定 - 無電源



2層PCB、9 x 9cm



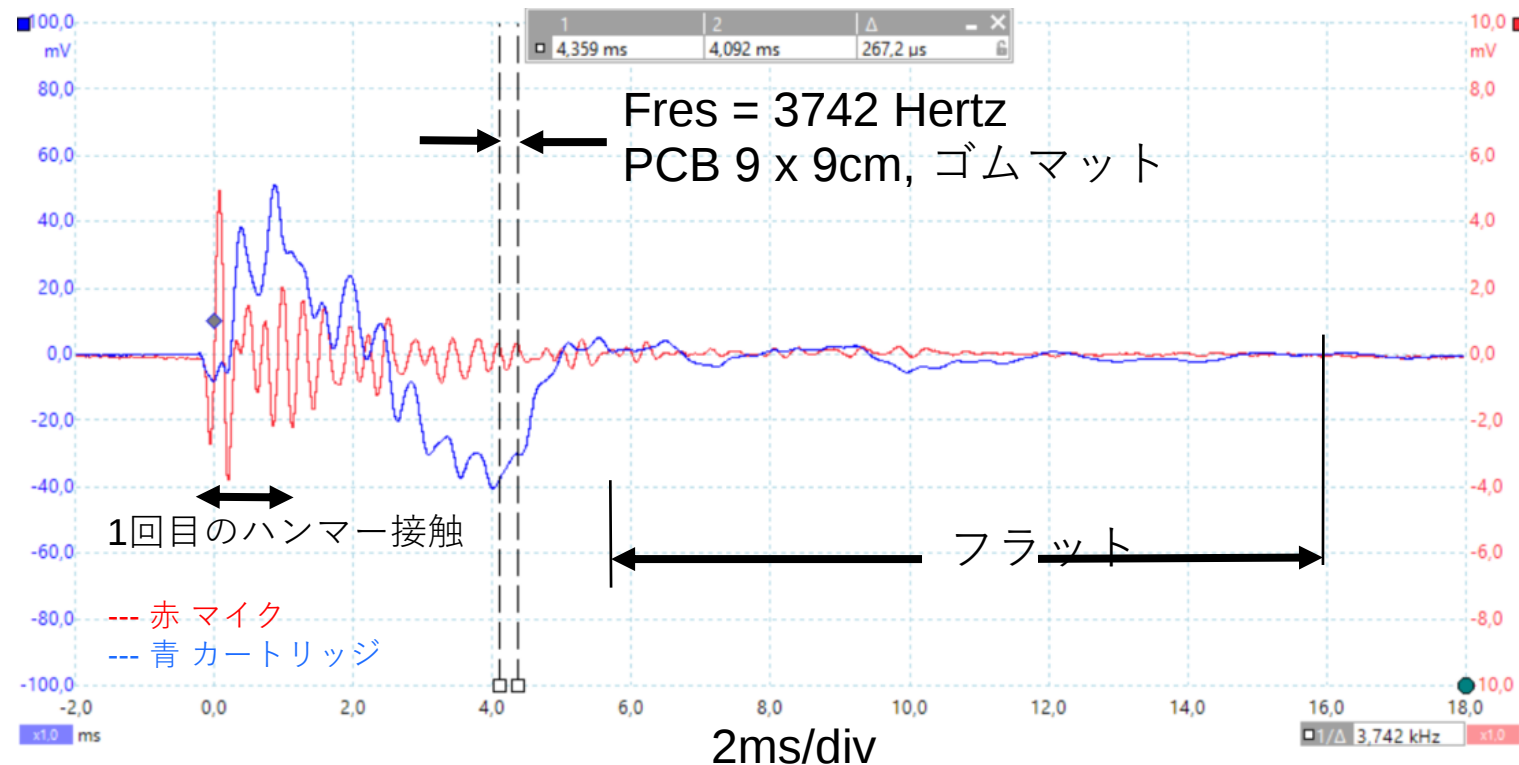
9 x 9cm EVQ4316 → fres = 2395 Hertz
9 x 9cm 2支点 → fres = 2166 Hertz

両方の9 x 9cm PCB で同様の低周波数

ターンテーブルによる測定 - 無電源



2層 PCB 9 x 9cm

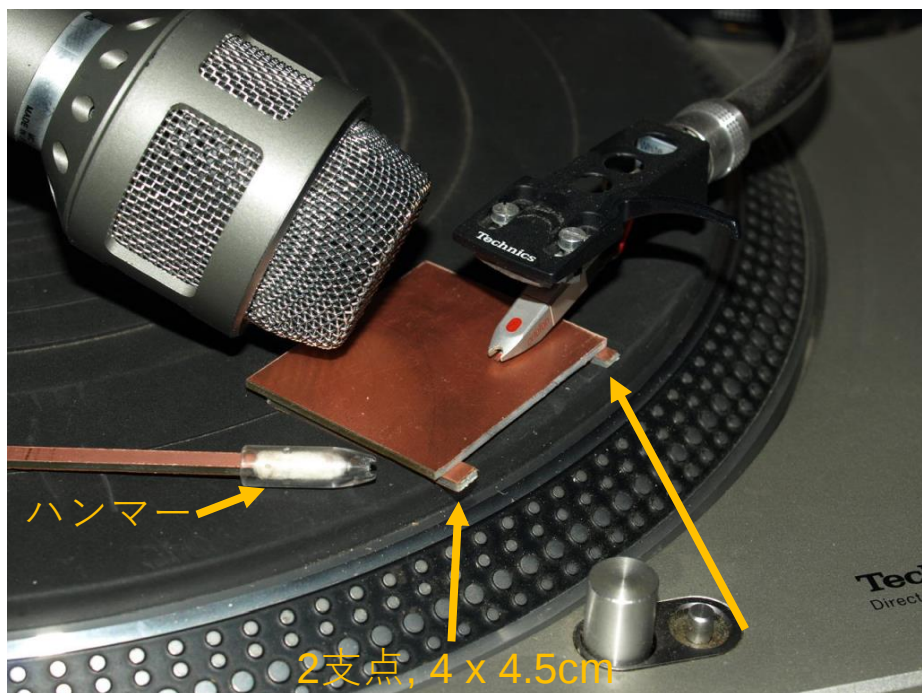


9 x 9cm ゴムマット全面 → fres=3742 Hertz
9 x 9cm EVQ4316 → fres=2395 Hertz
9 x 9cm 2支点 → fres=2166 Hertz

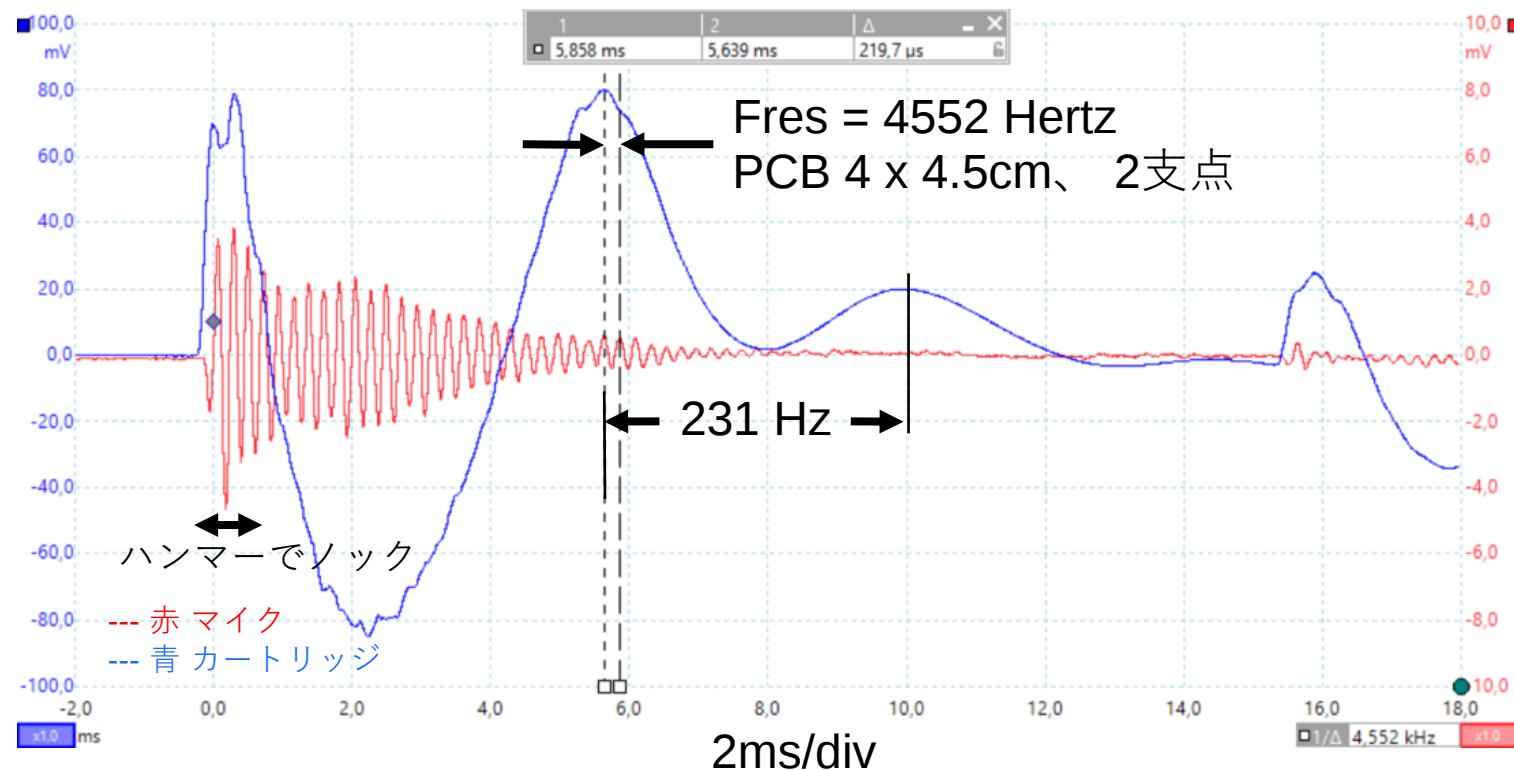
fres ↑

ゴムマットが自己共振振動を減衰
ゴムマットにより自己共振周波数が増加

ターンテーブルによる測定 - 無電源



2層PCB、4 x 4.5cm



4 x 4.5cm 2支点 → fres=4552 Hertz
9 x 9cm ゴムマット全面 → fres=3742 Hertz
9 x 9cm EVQ4316 → fres=2395 Hertz
9 x 9cm 2支点 → fres=2166 Hertz

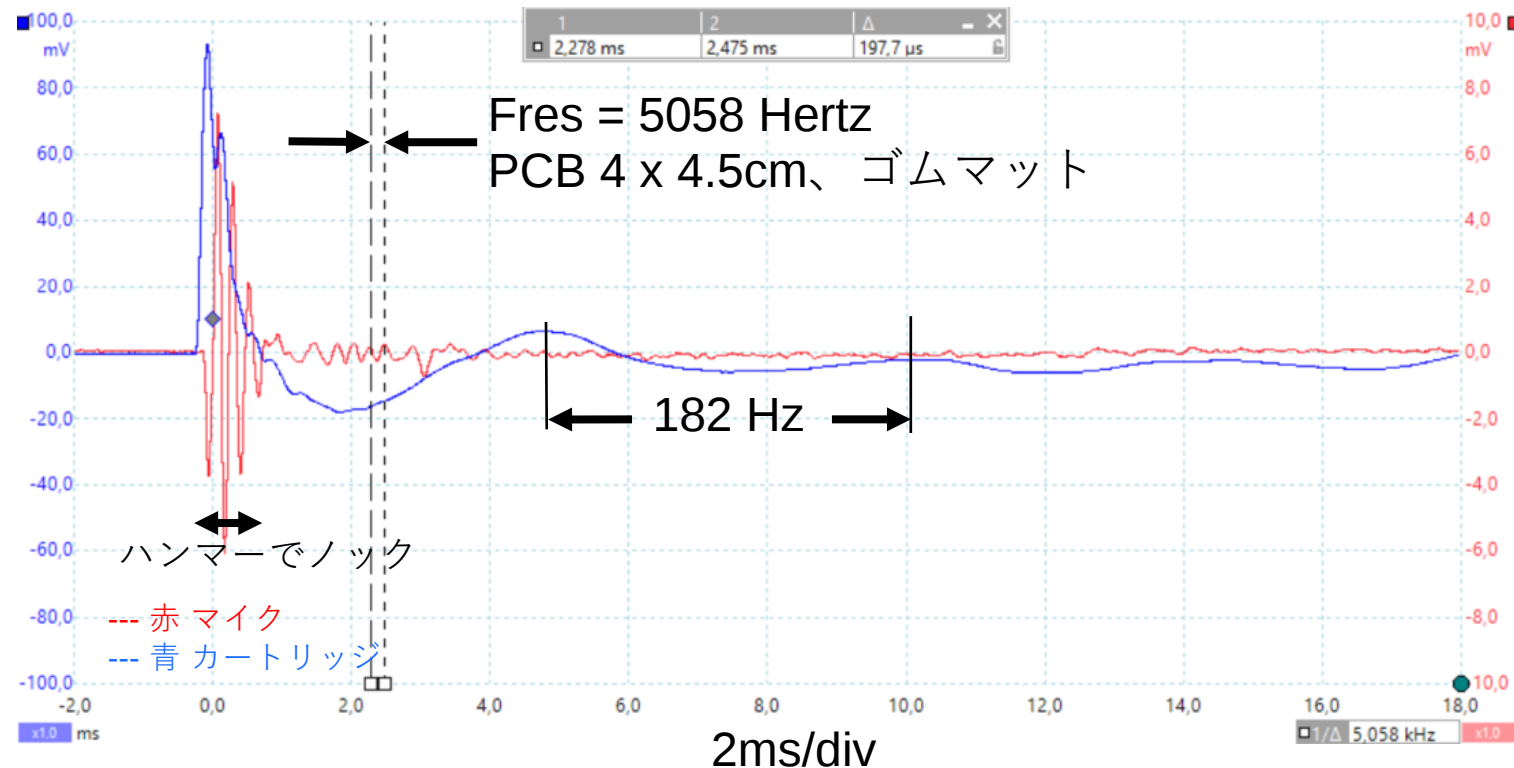
fres ↑

PCB が小さくなると自己共振周波数が低下します

ターンテーブルによる測定 - 無電源



2層PCB、4 x 4.5cm



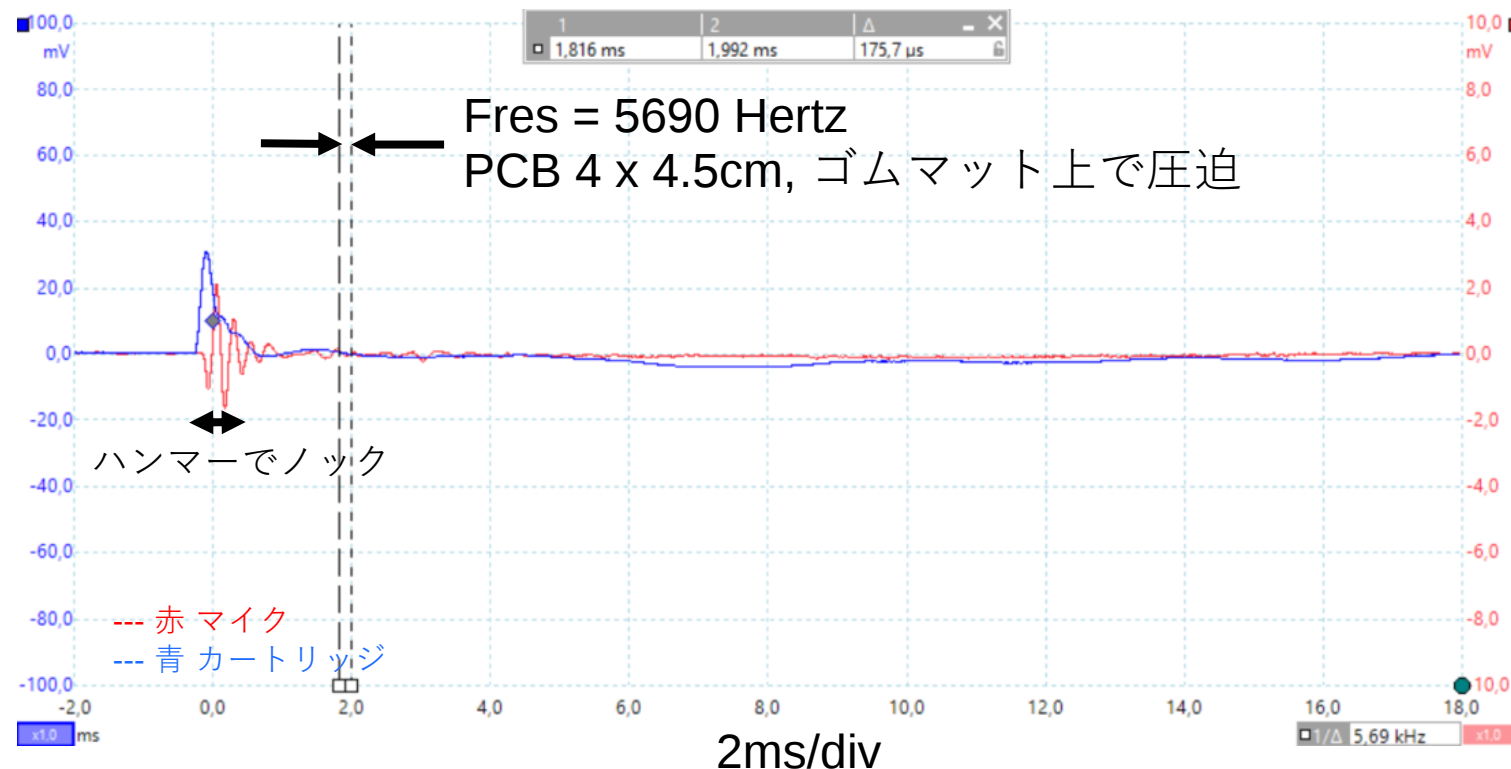
- 4 x 4.5cm ゴムマット全面 → fres = 5058 Hertz
- 4 x 4.5cm 2支点 → fres = 4552 Hertz
- 9 x 9cm ゴムマット全面 → fres = 3742 Hertz
- 9 x 9cm EVQ4316 → fres = 2395 Hertz
- 9 x 9cm 2支点 → fres = 2166 Hertz

fres ↑

ターンテーブルによる測定 - 無電源



PCB 4 x 4.5cm、ゴムマット上で指で圧迫



- 4 x 4.5cm ゴムマット上で圧迫 → fres = 5690 Hertz
- 4 x 4.5cm ゴムマット全面 → fres = 5058 Hertz
- 4 x 4.5cm 2支点 → fres = 4552 Hertz
- 9 x 9cm ゴムマット全面 → fres = 3742 Hertz
- 6 x 6cm EVQ4590 → fres = 3506 Hertz
- 9 x 9cm EVQ4316 → fres = 2395 Hertz
- 9 x 9cm 2支点 → fres = 2166 Hertz

fres ↑

低可聴ノイズの目標:

共振周波数をできるだけ高く保つ

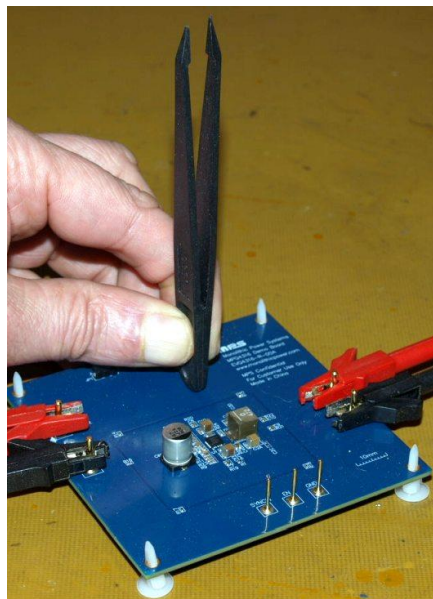
ダンピングをできるだけ高く保つ

PCB をできるだけ多くの減衰された (柔らかい) 場所に取り付けます

PCB の可聴ノイズ、ハウジングでテスト



測定に関する補足



可聴ノイズを増幅するために部品の周辺もしくは直接部品を固いマテリアルで直接触れてみてください、聞こえる振動が増幅されます。音の大きい位置は、たとえばダンピング機能を備えた追加の固定ネジを取り付けるのに、PCB上の理想的な場所になります。ゴムまたは柔らかいパッド。制振材は振動を熱に変換します。追加のアタッチメントにより共振周波数が増加します。

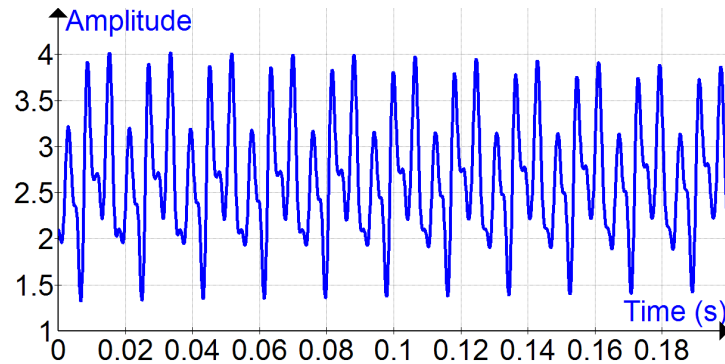


大きなノイズを生成することは簡単ではありません。
さまざまなオブジェクトを試してみてください。プラスチック製ピンセットは回路内で直接測定するのに適しており、ショート危険がありません。

ゴールデン・デザインのゴール

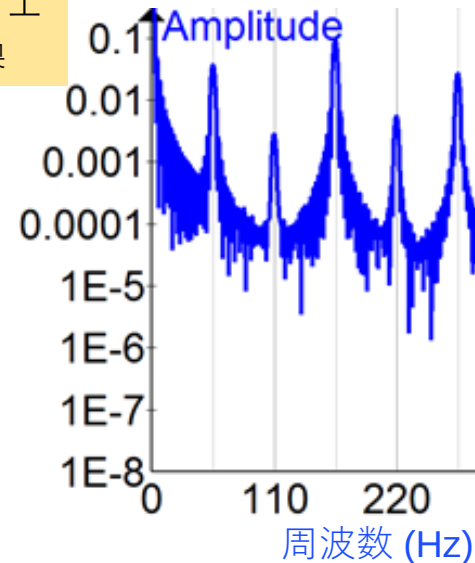
負荷波形例

ベースギターの開放弦A音の拍子音(55 Hz)

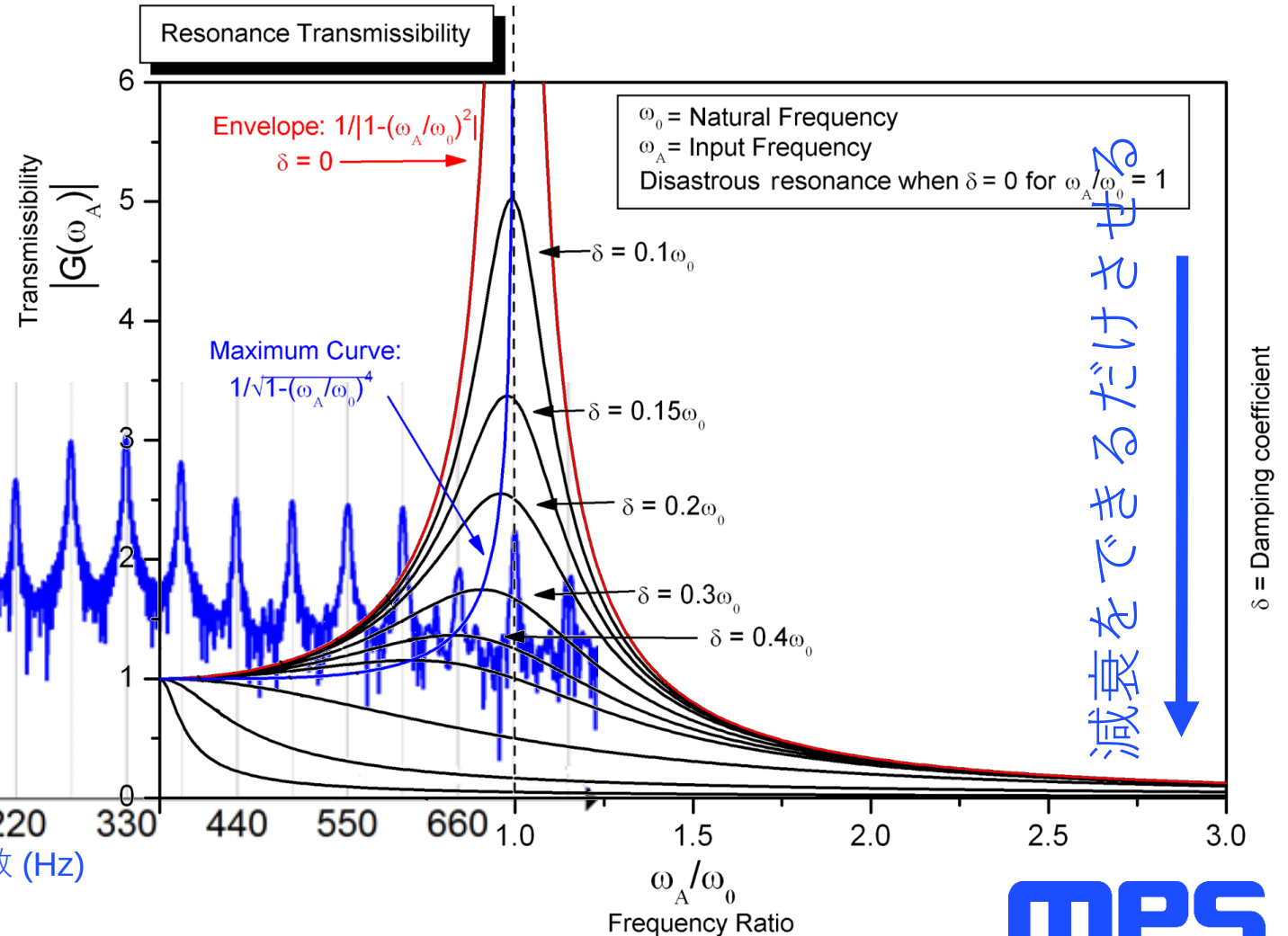


フーリエ
変換

設計のゴール:
重なりを減らす
減衰を増やす



周波数をできるだけ高くする



図の出典:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Resonance>

https://en.wikipedia.org/wiki/Fourier_analysis

DC電源回路上でいかにノイズを低減させるか

振動は**PCB**の共振周波数領域周辺で明らかに可聴となります。

振動周波数と共振周波数を重複させることは避けましょう。多くの**PCB**にとって、電氣的な励起を変えるのは可能ではありません。しかしながら、**PCB**は以下の方法で変更し、音響ノイズを避けることが可能です。

1. **PCB**の共振周波数を振動周波数よりも可能な限り高くシフトさせましょう。

接続箇所を増やすと**PCB**の共振周波数が増えます。

2. **PCB**の減衰を増やし、ソフトなダンピングマテリアルを実装箇所に使いましょう (プラスチック、ゴムなど)。

3. **PCB**サイズを小さくすると、共振周波数が増えます。

4. ダンピングマテリアルとの接触面を増やすと、減衰が増え、可聴ノイズが低減します。

5. 他の**MLCC**テクノロジー (インタポーザ、メタルストリップ)、タンタル、ポリマー、電解質などを検討しましょう。

6. 混合コンデンサテクノロジーを検討しましょう (並行するノイズの多い**MLCC**から電流をバイパスする付加的なノイズの発生しないテクノロジーは、**MLCC**電流の増幅と音響ノイズを低減します)。

結論

MLCCセラミックコンデンサの電圧の変化は圧電効果による形状の変化をもたらし、機械的な動きを発生させます。MLCCに集められた振動ははんだ接合部を通じてPCBに伝播し、スピーカー膜と同様に聞こえる程度に増幅されます。振動を起こす周波数部品、PCBの面積 - 質量定数とばね定数 - および実装のタイプが、可聴ノイズを生成するかどうかの決め手となります。

PCB実装を開発時に、共振周波数を増加させるよう複数の実装ポイントに回路基板を取り付けるよう注意を払いましょう。振動を和らげる素材を使ってねじ締めし、共振周波数の品質を減衰させましょう。PCBの共振周波数を励起する振動周波数を避けましょう。

電子的負荷プロファイルによって引き起こされられると思われるMLCC内部の周波数スペクトルを定義しましょう。それから計画しアセンブリしたPCBの共振動作を予測しましょう。この知識を使って、DC電源回路とPCB設計の手法は先行して最適化することが可能です。

セラミックコンデンサ(キャパシタ)

ZRBシリーズ



RoHS

REACH

鳴き対策



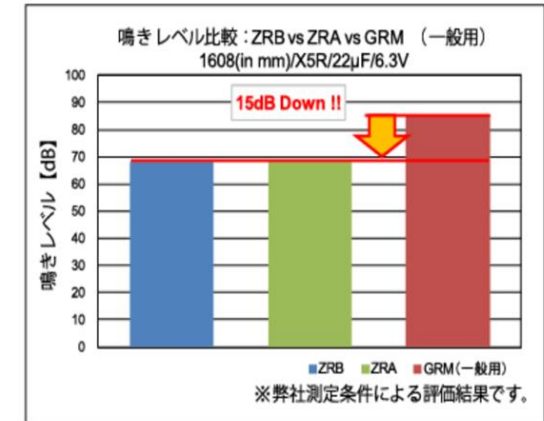
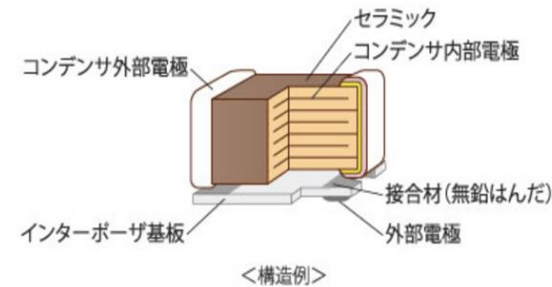
民生機器&産業機器用インターポーザ基板付き低鳴きチップ積層セラミックコンデンサ

インターポーザ基板にコンデンサを実装した新構造で鳴きを低減。

特徴

1. 鳴き低減効果があります。

インターポーザ基板にMLCCを実装することにより、コンデンサの振動の伝達を抑制、すなわち鳴きレベルを低減することが可能です。



2. MLCCとLW寸法が同一サイズであるため、プリント基板設計の変更なく置き換えが可能

小型基板へのMLCCの搭載技術を向上させ、MLCCのLWサイズと同一サイズのインターポーザ基板を用いて設計しております。これにより、ランド設計を変更することなく、従来のMLCCから鳴き対策が可能なZRBシリーズへの置き換えが可能です。

電子部品

HOME / 電子部品 / コンデンサ (キャパシタ) / セラミックコンデンサ(キャパシタ) / ラインアップ / KRM

セラミックコンデンサ(キャパシタ)

KRMシリーズ



RoHS

REACH

鳴き
対策

たわみ
クラック

はんだ
クラック



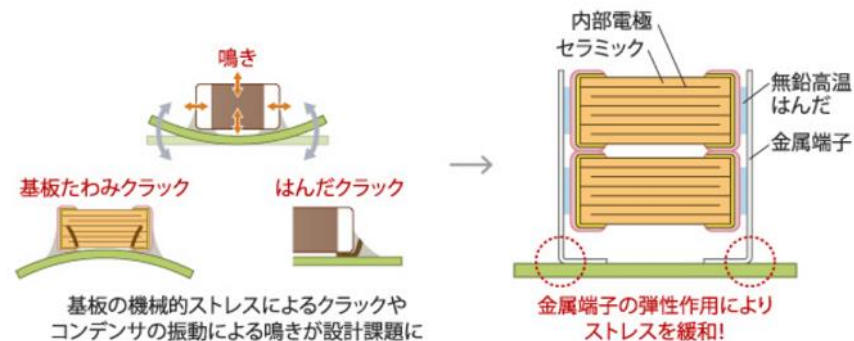
民生機器&産業機器用金属端子タイプ積層セラミックコンデンサ

外部電極に金属端子を接合することにより、大型MLCCの実装による設計課題を解決！

特徴

1. チップの外部電極に金属端子を接合。

金属端子の弾性作用によりチップにかかるストレスを緩和します。

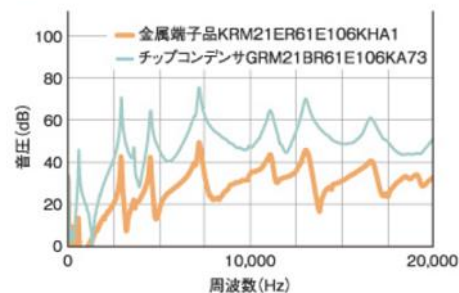


2. 鳴きや基板たわみクラック、はんだクラックを大幅に低減。

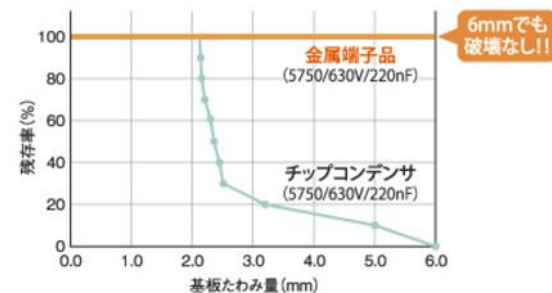
基板たわみ6mmでも破壊しません。

熱ストレス2000サイクルでもはんだクラックが生じません。

● 金属端子による音鳴き低減効果



● 基板たわみによるストレスを軽減



ノイズ (振動) 測定装置

測定装置	特長	ノイズ発生場所特定	その他
マイク	ノイズそのものを測定	検出不可	コンデンサマイク推奨
ピエゾ加速度センサ	最も精度高い	正確	装置高価
ターンテーブル	水平方向の揺れも影響	可能	MCカートリッジ推奨

KISTLER
measure. analyze. innovate.

Q Hier suchen...



PRODUKTE BRANCHEN UND ANWENDUNGEN SERVICE UND SUPPORT JOBS UND KARRIERE ÜBER UNS

Beschleunigungssensoren



出典: <https://www.kistler.com/AT/de/c/beschleunigungssensoren/CG21-accelerometers>



MPS

カートリッジ



個人向け製品 サポート 法人向け製品 ニュース 企業情報 Always Listening



1 アナログの正しい使い方

2 部品交換で音を楽しむ

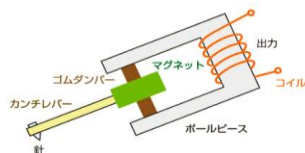
3 その他

2 部品交換で音を楽しむ

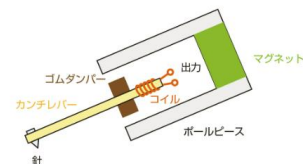
カートリッジを変えることによって、どう音が変わるのですか？

カートリッジは超小型の発電システムとして作られていて、拾った振動を元に電気信号に変換するためのものです。カートリッジはVM型（MM型）、MC型の2つがあります。

MM型（VM型）：ムービングマグネット（カンチレバーの根元のマグネットが動作して発電する）



MC型：ムービングコイル（カンチレバーの根元のコイルが動作して発電する）



AT-ART9XI

	VM（MM）カートリッジ	MCカートリッジ
発電方法	マグネットを動かす	コイルを動かす
出力電圧	約4mV（4～5mV）	約0.4mV（0.1～0.5mV）
特長	迫力のある音が出やすい	繊細で情報量が多い

VM型（MM型）は出力電圧が高く迫力のある音が出やすいという良さがあります。また、フォノ入力のMM端子に直結することができ、MCのフォノ入力を持つ比較的高価なフォノイコライザーや昇圧トランスを必要としません。

MC型は、その構造上すべての工程がハンドメイドで生産され、音質的にも繊細で情報豊かな音ができます。出力電圧が低いので、所定のレベルまで信号を増幅する過程で信号がノイズに埋もれないように配慮が必要となります。そのためフォノイコライザーやアンプ等も性能の優れたものが必要になってきます。

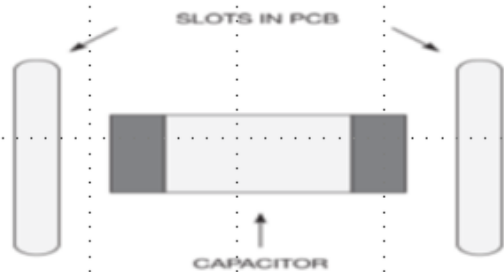
＊カートリッジはすべてのターンテーブルに使えるわけではありません。詳細は、製品ページやカタログをご覧ください。



出典: <https://www.audio-technica.co.jp/cartridge/navi/advanced/02.php>



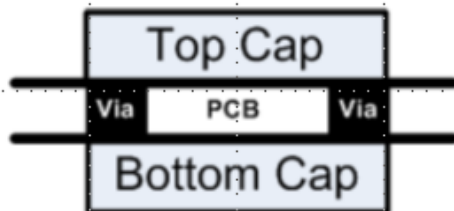
DC/DC電源回路のノイズ低減方法



Slot PCB

If slot is placed at both edge of MLCC,
-10dB audible noise down

Complimentary Caps



Complementary caps on PCB

If MLCC is placed at both top and bottom PCB,
-15dB audible noise down