

適応ハウリング・キャンセラとマイク／スピーカの歪の関係についてあまり知られていないようなので、簡単な説明資料を作成しました。

### 1. マイクの歪

計測用の無指向性（全指向性／音場型）コンデンサ・マイクは無歪の高性能トランスデューサーとして扱って問題ありません。しかし、民生機器向けの小型のエレクトレット・コンデンサ・マイク（ECM）の歪特性には注意が必要です。ハウリング・キャンセラにECMを用いた場合、通常の使用状態ではマイクの歪の影響が顕著にあらわれることは無いようですが、可能であれば歪低減の対策を講じた方が良いでしょう。

小型のエレクトレット・コンデンサ・マイク（ECM）の構造は極めてシンプルです。振動板（振動膜）の質量も小さく、電子部品として販売されている廉価な製品でも比較的素直な周波数特性を有しています。ただし、内蔵されているアンプ回路（インピーダンス変換器）が歪発生源となっていることは意外と知られていないようです。

一般的なECMには図1に示すNch接合型FETを用いたゼロ・バイアスのアンプ（インピーダンス変換器）が内蔵されています。ゼロ・バイアス回路は大振幅の信号入力（大音量）で大きな歪が発生します。正弦波でテストすると、オシロスコープを使ってマイク出力信号を目で見て波形が歪んでいるのがはっきりわかるほどです。

この問題は図2のようにECMを改造してバイアス抵抗を1本追加するだけで改善可能です。（ただし構造的に改造が困難なECMもあります）より低歪、高性能を求めるのであれば、マイク・アンプ側にも手を加えてソース・フォロワーに改造することが出来ます。（図3）

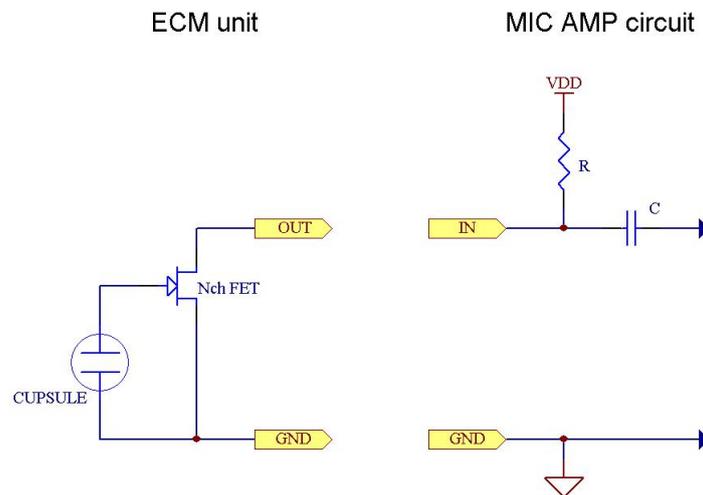


図1 民生機器に用いられているエレクトレット・コンデンサ・マイク（ECM）の回路  
マイクにはNch接合型FETのアンプ回路（インピーダンス変換器）が内蔵されている  
電源は接続した機器（マイク・アンプ）側から供給する

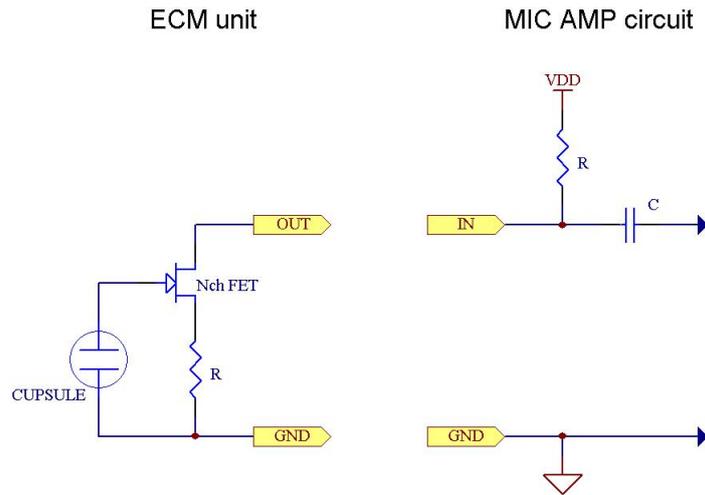


図2 歪低減のためにソース抵抗を追加したエレクトレット・コンデンサ・マイク（ECM）の回路構造上、改造が困難なECMもある

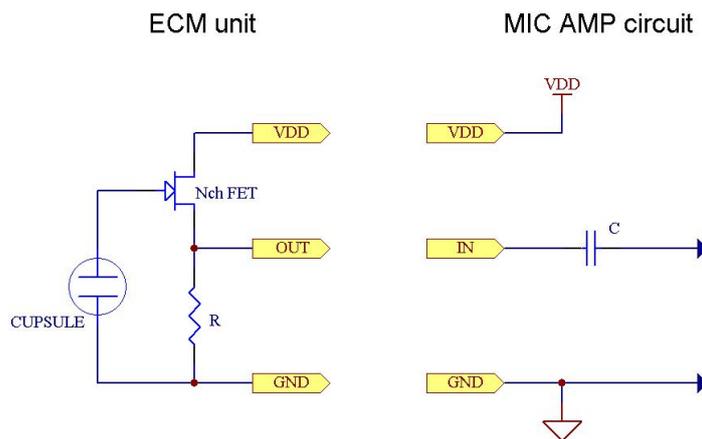


図3 ソース・フォロア化の改造をしたエレクトレット・コンデンサ・マイク（ECM）の回路接続する機器（マイク・アンプ）側の入力回路も修正する  
ソース・フォロア化により利得は低下する

計量法の検定を受けた騒音計でも、廉価な製品でエレクトレット・コンデンサ・マイク（ECM）を用いたものがありますが、騒音計ではECMの歪の問題に対してきちんと対処がなされているはずですが、モニター用のアナログ出力端子のついている騒音計はアンプ内蔵高性能マイクロホンとして使用することが可能です。

## 2. スピーカーの歪

%オーダーの歪を発生するスピーカーは性能が劣悪な音響部品です。あまりにも性能が悪すぎて、オーディオ機器メーカーはスピーカー・システムの歪率特性や周波数特性の詳細を公表できないほどです。ハイレゾ対応なる高級スピーカー・システムでも歪をバリバリ発生していることに変わりはありません。(歪率から考えたスピーカーの等価的な分解能はたかだか8bit~10bit相当で、16bitのCDよりはるかに劣る)スピーカーで厄介なのは単純な高調波歪だけでなく、非線形な混変調歪が大量に発生することです。

当社ではハウリング・キャンセラ開発の初期には、スピーカーはBOSEの101VM (101MMの防磁型) を使用していました。(図4) その後、小径スピーカー・ユニットを用いて自作したリニア・アレイが薄型で持ち運びに便利だったこともあり、社内の実験でも用いていました。(図5) 最近、実験時のミスによる過大入力でリニア・アレイを壊してしまい、現在はFOSTEXのFF125Kを密閉箱に入れたものを使っています。(図6)



図4 BOSE 101MM/101VM

保護回路が内蔵されていて過大入力に強い

バスレフ型なので、スピーカー／マイクを接近させた状態での実験には向かない  
(近距離ではバスレフポートからの放射音との干渉による周波数特性の乱れが大きくなる)



図5 小径スピーカー・ユニット(フレーム・サイズ口40mm)を用いたリニア・アレイ  
特性的には不利になるが、6ヶの小径ユニットを直並列接続している  
(単純な並列接続かマルチ・アンプ駆動の方が望ましい)



図6 密閉箱入りのFF125K (Fostex)  
口径Φ120mm

板厚が薄く容積不足の市販エンクロージャーを用いているので、  
音楽再生用のスピーカーとしては特性が良くない。  
ファン・ガードを流用した保護用グリルは共振している可能性があるが、特に問題は生じていない

適応ハウリング・キャンセラの動作に与えるスピーカーの歪の影響は、リニア・アレイ（図5）を壊してしまっ、密閉箱のFF125K（図6）に交換した時にはっきりと分かりました。  
リニア・アレイ使用時は歪により定在波の悪影響が顕著にあらわれるほどだったのに、FF125Kに変えただけでハウリング・キャンセラの特性が向上しました。（利得設定を上げた時の拡声音の歪も無くなりました）  
小径スピーカーほど歪が大きくなるため、FF125Kとの違いが生じたようです。

昔のトランジスタ・ラジオなどに使われていた口径Φ50mm前後の小型スピーカーの定格入力100mW～150mW程度だったのに対して、リニア・アレイ（図5）に使用したフレーム・サイズ口40mmのスピーカー・ユニットは連続入力5W、振動板の最大振幅が9mm（peak-to-peak値）という驚異的な特性を有しています。（容積不足のAV機器本体やサウンドバーに内蔵することを想定して設計されていると思われます）しかし、近代的な設計をしていても、小径スピーカーの歪特性が劣るのは避けられないようです。

適応ハウリング・キャンセラにもっとも適しているのは、真空管時代に使われていた劇場用・映画館用の大型スピーカーになるのかもしれませんが。出力の小さなアンプでも大音量が出せるように当時のスピーカーは高能率に作られていて、振動板（コーン）は軽量、ホーン型のシステムではストロークも小さく歪の点で有利でした。（今も称賛するマニアのいるWestern Electricのビンテージ・スピーカーがベスト?!）

一般的に言って、現在のスピーカーは能率を犠牲にして小型化・低域の再生能力向上を目指しているの、技術的に進歩しても歪特性に大きな改善は見られません。デジタル処理を用いた前処理によりスピーカーで発生する歪をキャンセルするような技術はあるのですが、製品化して市場に受け入れられるまでにはなっていないようです。（そもそもスピーカーの歪を気にするオーディオ・マニアなど存在しないので、市販しても誰も買わないでしょう）