

オーディオ帯域をターゲットとする 実践 ノイズ対策

はじめに

ノイズの法規制が対象とする周波数は、伝導ノイズでは150kHz以上、輻射ノイズでは30MHz以上となっている。20kHzを上限とするオーディオ帯域は規制対象外ではあるが、ノイズに対する考え方は同じである。

AMラジオや電話に雑音が入る、ディスプレイやテレビの画像が乱れる、ISDNやADSLのスピードが上がらないなどは、われわれが経験するノイズ障害の具体例である。オーディオでも、微少な再生音はノイズの影響を受けているはずだが、実態は今ひとつはつきりしない。ここではオーディオ帯域のノイズに焦点を当て、ノイズとは何か、どのような対策が有効なのかを考えてみたい。

パソコンは音を悪くしていないか？

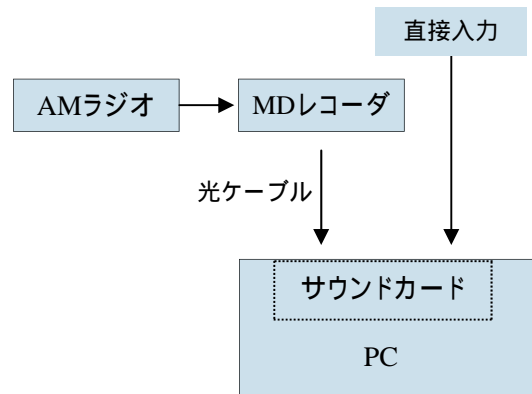
屋内配線はブレーカから隣室を経て自室に引かれている。隣室ではデスクトップパソコンが動いており、この消費電力は常時100W程度とかなり大きいうえに、スイッチング周波数も100kHz以下と低い。このため、オーディオに影響していないかに懸念を持っていた。これが、この資料を書く直接的なきっかけとなった。

(輻射)ノイズの検出

オーディオの世界では、ノイズを感覚的に扱うことが多いが、ここでは、できる限り目で見える具体的なデータとして話を進めていきたい。そのために、主な検出器としてバッテリー動作のAMラジオ(SONY ICF-SW77など)を利用した。これは、手に入れやすく、ノイズの検出能力が高いからである。

信号の記録

信号の記録・デジタル化には、パソコンとサウンドボードSound Blaster Live Proを使った。信号をサウンドボードに直接つなげない場合は、一度MDに記録し、この出力を光ケーブルでサウンドボードへ送り込んだ。



スเปアナソフト

フリーソフトであるWaveSpectra V1.30
<http://www.ne.jp/asahi/fa/efu/soft/ws/ws.html>
を使わせていただいた。

サウンドボードとスぺアナソフトの組み合わせは、20kHz以下という条件つきではあるが、周波数特性や信号レベルの解析に強力なツールとなった。

信号レベルと周波数

ノイズについて、その周波数と信号レベルとを概観しておきたい。ノイズの影響を受けやすいのは、信号レベルが小さく、かつ、周波数がノイズの周波数と近い場合である。オーディオ関係の信号レベルは大づかみに

| | |
|------------|----|
| AM放送など | μV |
| アナログレコード出力 | mV |
| CD出力やライン信号 | V |

であり、アナログレコード出力はCDに較べて1,000倍、さらにAM放送はさらにその1,000倍ノイズの影響を受けやすいことになる。家庭内の信号レベルと周波数は次ページのようになる。

ノイズに関しては、信号レベルが大ききほど加害者になりやすく、被害者にはなりにくい、逆に信号レベルが小さいほど加害者にはなりにくい被害者にはなりやすいという因果関係がある。現実には1つの電子機器に大きなレベルの信号と微弱な信号とが同居していることが多く、オーディオ機器も、その典型である。

AMラジオで自室のノイズ源を調べてみたら

デスクトップパソコンは別格として大きな輻射ノイズを発生していたのは

- マイナスイオン発生空気清浄機
- マッサージチェアのACコード
- ファンヒータの燃焼部

で、このうちで空気清浄機が飛び抜けて輻射ノイズが大きく、その他はレベルとしてはだいたい同じだった。また、近づけばノイズを発生しているのが分かるのは

- インバータ蛍光灯
- CDプレーヤーやファンヒータなどのデジタル表示
- ADSLモデムとハブ

といったところである。

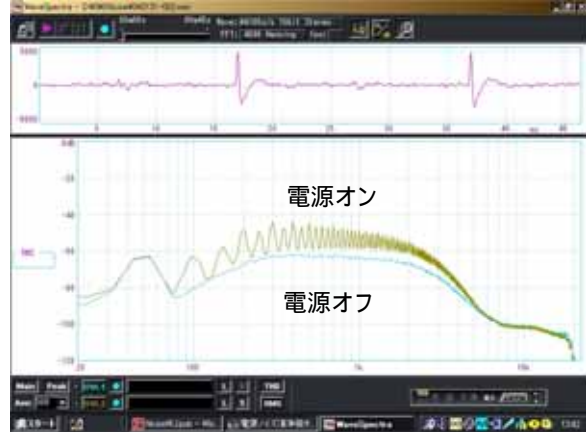
空気清浄機は高圧放電によりマイナスイオンを発生させている。そのための昇圧回路の動作周波数が低いこともあって、これが主なノイズ源となっている。



大きな輻射ノイズを発生していた
マイナスイオン発生
空気清浄機

マッサージチェアAC電源コードのノイズと並列型ノイズフィルタQuiet Lineの効果

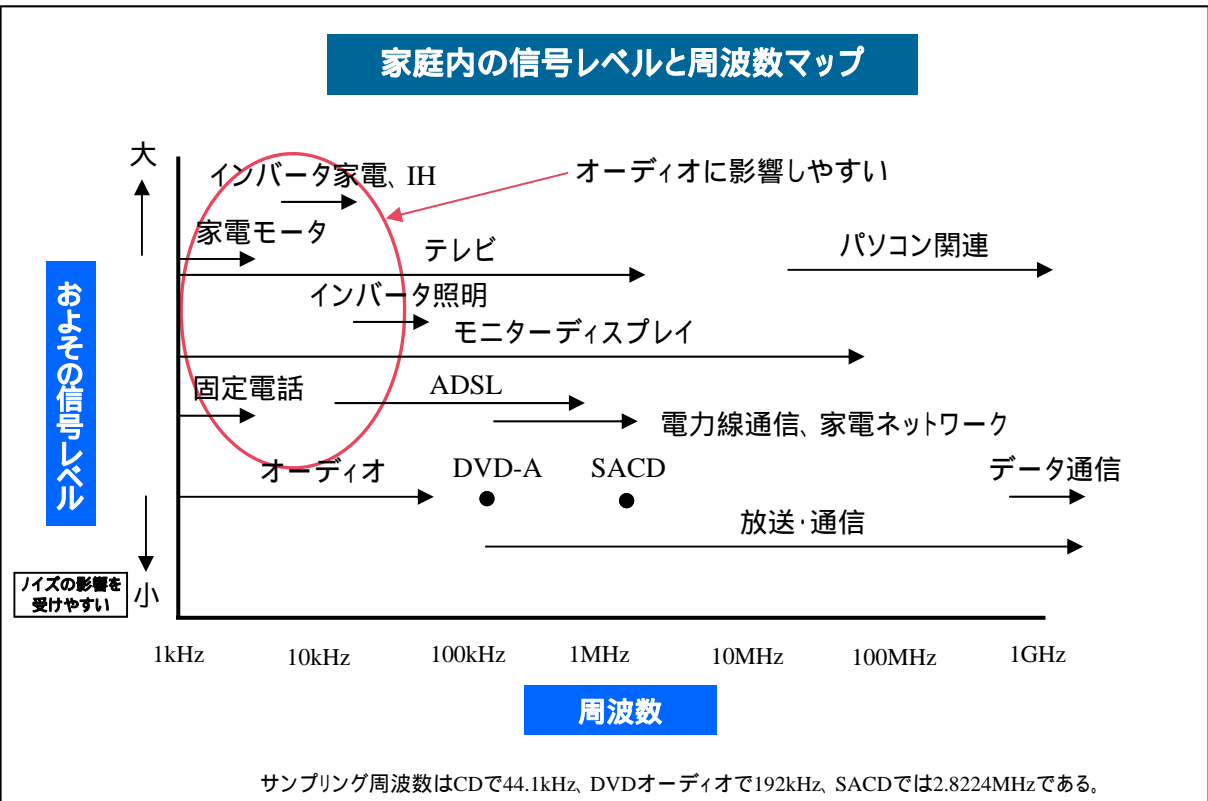
それではマッサージチェアのACコードから輻射されているノイズを検出してみよう。AMラジオのフェライトアンテナを電源コードに接近させて検出したマッサージチェアのオン時オフ時での輻射ノイズは次のようになった。



マッサージチェア電源コードの
輻射ノイズ(電源オンとオフ)

検出されたノイズは電源オンにより100kHzから10kHz間で最大20dB程度増えている。これはスイッチング電源が組み込まれているためである。次にAudio Prismの並列型ノイズフィルタQuiet

家庭内の信号レベルと周波数マップ



Line

<http://www.audioprism.com/>
を空きコンセントに挿して、その効果を試した。



並列型ノイズフィルタQuiet Line



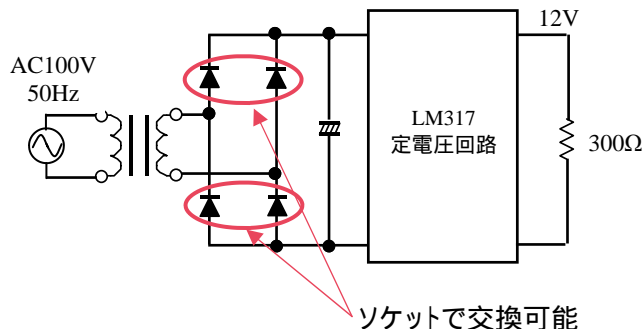
マッサージチェア電源コードの 輻射ノイズ(Quiet Line使用時)

前ページグラフとの比較で、Quiet Lineを使うとマッサージチェアが発生するノイズはほぼ消えていることが分かる。ただし、インバータ蛍光灯スタンドで試すと、逆にノイズが増えてしまった。このように、このフィルタは安定した確実な効果があるとはいえなかった。

整流回路のダイオードノイズ

50Hz/60Hzの整流回路に使われるダイオードが音に影響するのはオーディオの世界では常識となっている。

写真の電源は、ブリッジ整流ダイオードをソケットで交換できるようにした12V出力定電圧回路で、負荷は300Ωなので出力電流は40mA程度である。ICF-SW77型AMレシーバのアンテナ部をトランスにできる限り近づけてノイズが最大となる位置に固定した。その上でこの位置関係が変わらないように注意しながらダイオードを差し替えた。



整流ノイズ比較回路



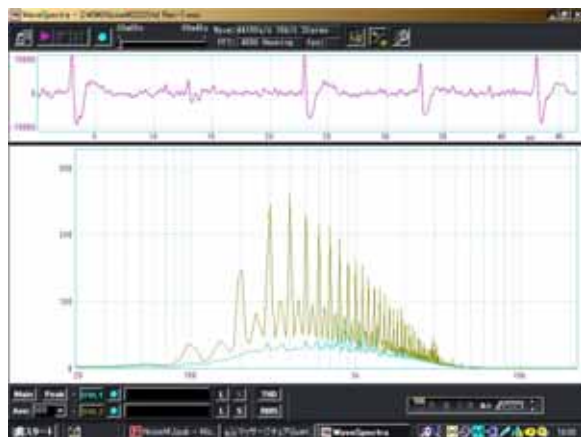
ダイオードノイズの検出

比較したダイオードは次の3種である。

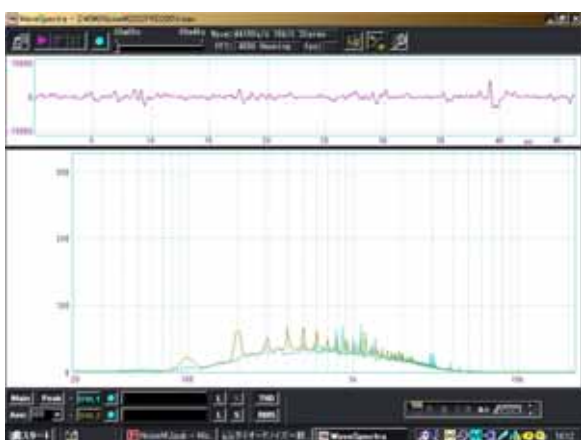
- 一般整流用 DBF10G 1A/600A
- 200V FRD FCF/FRF10A20 5A×2/200V
- 200V SBD FCH/FRH10A20 5A×2/200V

結果は次ページの通りで、一般整流用ダイオードでは高速ダイオードに較べて格段に整流ノイズが大きく、ブーンという大きな音がAMレシーバから聞こえた。

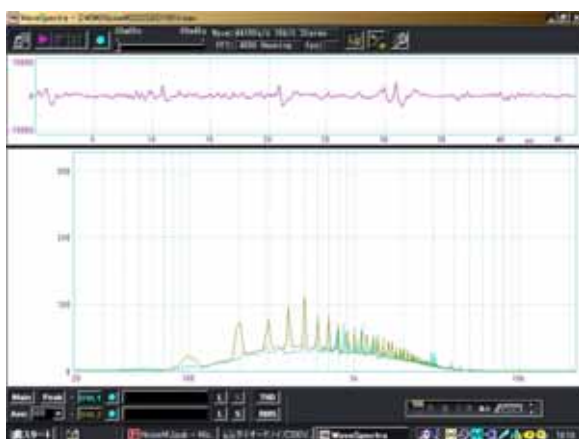
ダイオードの整流ノイズは実回路では全く問題にならない。ここでは磁気シールドされていない巻線がむき出しのトランスを使ってノイズ(磁界の変化)を精一杯放出させ、この微弱な磁界の変化を高感度なAMラジオ内蔵のループアンテナが捉えている。アンテナをほんの少し離しただけで、このノイズ自体は消えてしまう。また、一般整流用ダイオードでも1,000pF程度のセラミックコンデンサを並列に付け加えれば、このノイズは消える。ただし、うまくダンピングを効かせないとリングングが発生して、MHz～数10MHzの高周波ノイズを増加させる恐れがある。その点で、はじめからノイズ源エネルギーが格段に少ない高速ダイオードを使うのが、元を激減させるという意味で賢明な選択といえる。念のために、整流ノイズが定電圧出力に影響するかをオシロスコープで観測したが、当然ながらダイオードの違いによる差が見ら



AMラジオが捉えた整流ノイズ
一般整流用ダイオード



AMラジオが捉えた整流ノイズ
200V FRD (FCF/FRF10A20)



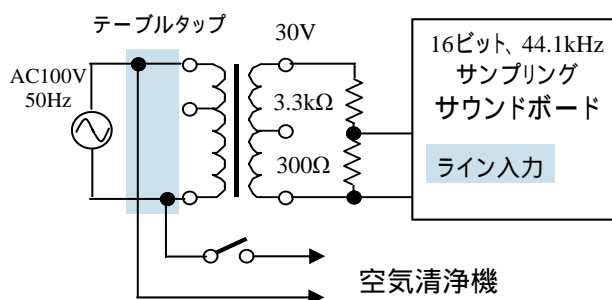
AMラジオが捉えた整流ノイズ
200V SBD (FCH/FRH10A20)

れなかった。

伝導ノイズ その1 空気清浄機のACラインへのノイズ

先のダイオード整流ノイズは空中に電磁波が放射されたノイズで、**輻射ノイズ**とよばれる。分類上で、もうひとつのノイズが**伝導ノイズ**で、これは文字通り配線を伝わるノイズである。

大きな雑音を輻射していたマイナスイオン発生機が電源ラインに伝導ノイズを流し出しているかを簡単な道具立てで確かめた。ここでも対象とする周波数はオーディオ帯域である20kHz以下である。



空気清浄機の出すACライン伝導ノイズ測定

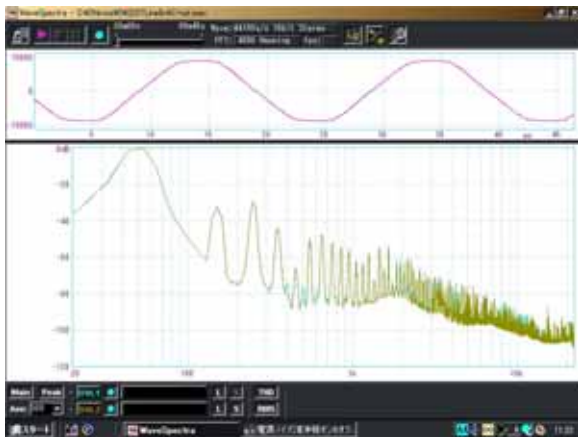
ACライン電圧を電源トランスで30Vに落としたうえで、さらに抵抗分圧により約1Vとしてサウンドボードに入力した。50/60Hz用電源トランスはオーディオ帯域を通し、ライトトランスとして使える特性を備えている。

空気清浄機の急速(最強)運転時とオフとでのACラインノイズの観測結果は次ページのようになった。

スペアナ上部に表示された波形から分かるように、ACライン電圧は正弦波といっても山と谷が押しつぶされた形になっているために低次高調波成分が多く含まれている。しかし、オン時とオフ時との差はないので、空気清浄機からの顕著な伝導ノイズの流失は認められない。輻射ノイズが強烈で、ファンの回転音も最強運転ではものすごいですが、この状態でも消費電力は30W強、イオン発生を含む定常運転時では3Wと、消費電力が小さいので元々のノイズも小さいと考えられる。



サウンドカードのライン入力残留ノイズ



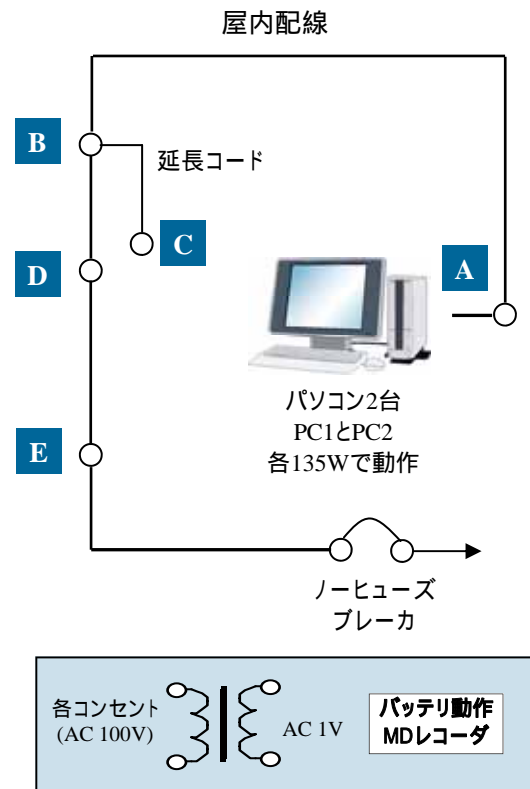
空気清浄機のオン・オフによるACラインノイズ
(オンとオフとで重なっている)

伝導ノイズその2 パソコンからACラインへの伝導ノイズ

デスクトップパソコンが動いていると、屋内配線を通して伝導ノイズがどのように伝わるかを調べた。先の例では信号をパソコンのサウンドボードで直接取り込んだが、ここでは、測定点がパソコンから離れているので、バッテリー動作のMDレコーダで記録した上でパソコンに転送した。

通常動かすパソコンは1台だけだが、ここではノイズの量を増やすために、あえて2台を動かした。2台のパソコンPC1とPC2には、それぞれCPUに最大限の負荷がかかる状態で動作させた。パソコンの実測消費電力は各135W程度である。

パソコンは屋内配線の最末端で動かし、このコンセントをAとする。上流の屋内配線上にはB、D、そして、Eのコンセントがあり、ノーヒューズブレーカに至っている。A、B、Dは約10畳の自室内に、そして、Eは隣室にある。さらにBに延長コードをつなぎ、この先がC点である。(オーディオ機器の電源はBとCからとっている)Aでパソコン2台が動かす以外は、すべてのコンセントには何もつなげていない。

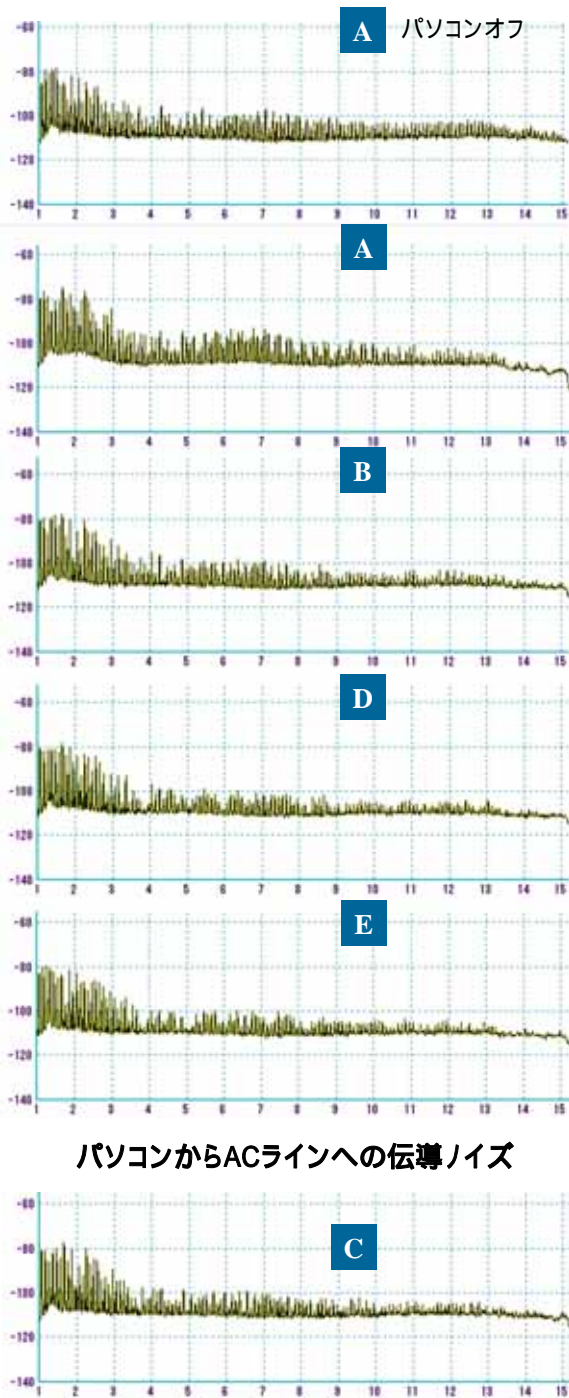


パソコンからACラインへの伝導ノイズ測定

各点で1kHzから20kHzまでの伝導ノイズを比較したデータは次ページの通りである。

これらの結果を比較するとACラインを伝導するノイズは、ノイズ源から離れるに従って減衰し、隣室のE点ではほとんど影響がないといえる。これは屋内配線やコードがフィルタの役目を果たしているためと考えられる。

これを踏まえて、自室のB点(オーディオ機器をつなぐコンセント)とC点では、隣室E点でパソコンを動かしても、その伝導ノイズは気にしなくてもいいと言えそうだ。実際にE点でパソコンを動かす、B点で伝導ノイズの観測をしたが、パソコンのオンとオフとでの有意差は見出せなかった。



パソコンからACラインへの伝導ノイズ

延長コードでの影響(B点から延長)

それではこのあたりで基本に立ち返り、ノイズを理解し、その対策を考えていきたい。

EMC, EMI, EMS

先にノイズ問題の加害者と被害者という言い方をした。これらを合わせてEMC (Electro Magnetic Compatibility—環境電磁工学)という言葉が使われる。

1. 他のシステムに電磁的障害を与えない
2. 他のシステムから電磁的障害を受けない
3. 自分自身に電磁的障害を与えない

がこの内容である。

EMC, EMI (Electro Magnetic Interference—電磁気妨害)、そして、EMS (Electro Magnetic Susceptibility—電磁気妨害感受)の関係は

$$EMC = EMI + EMS$$

である。対策として電子機器は、ノイズ発生とノイズ侵入との双方に対策することになる。

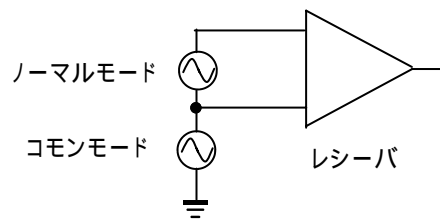
規格としては

| | |
|------|---------|
| 日本 | VCCI |
| USA | FCC |
| EC圏 | EN55022 |
| ドイツ | VDE0878 |
| イギリス | BS6527 |

などが制定されており、商業電子機器は規格を満たす必要がある。これらの規制が対象としている伝導ノイズの最下限周波数は150kHzである。この150kHzというのは船舶、航空機の通信に利用されるLW(長波)の下限周波数でもある。すなわちノイズ規制は放送、通信、データ伝送などに障害を起こさないのが目的である。したがって、これより低い周波数でのノイズは相手にされていないとも言える。また輻射妨害の規制最低周波数は30MHzとなっている。

コモンモードとノーマルモード

電気信号の伝達には通常2本の信号線が必要である。信号は一方を基準として他方の電位の変化として与えられる。この電位に重畳するのがノーマルモードノイズである。もうひとつ両方の信号線を共通して変化させるのがコモンモードノイズである。ノイズがノーマルモードとコモンモードかの、いずれかであるかによってノイズ対策は異



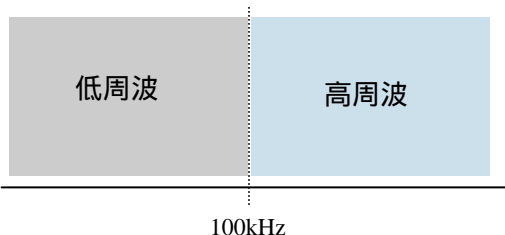
ノーマルモードとコモンモード

なる。

ノーマルモードノイズは本来の信号との区別は難しい。しかし、周波数帯が異なっているのでレシーバを通り抜けることのないように設計されるのが普通である。結果として電源ノイズをはじめとした問題にしなければいけないノイズはコモンモードノイズとされている。これはデジタルデータについては正しいとして、ことアナログオーディオに関してはノーマルモードノイズがより重要に思える。

低周波ノイズと高周波ノイズ

現在ノイズを語る場合の多くは100kHz以上100MHzくらいまでの周波数を対象としている。これはデータ通信でエラーが発生したために伝送できなかつたり、エラーのために通信時間が大幅に長くなつたりしては困るからである。一方、オーディオに影響するのはせいぜい100kHzまでである。以下、100kHzを境にして、これより高い周波数域を「高周波」、低い周波数域を「低周波」と便宜的によぶことにする。



ノイズ(EMC)対策

TDK(株)EMC対策の基礎では下のように整理されている。

ダイオードの輻射ノイズを観測した。ノイズが少

ない高速ダイオードを使えば、部品の選定としてノイズを出さない部品を選んだことになる。また、輻射ノイズはシールドにより影響を受けないようにできる。また、電源を信号系から分離するのもEMC対策として効果がある。

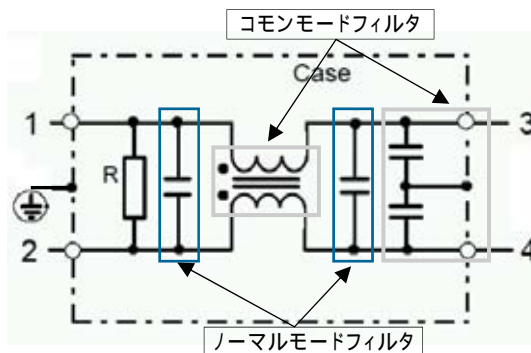
電源に混入した伝導ノイズはAC電源ラインに入れるノイズフィルタで減衰できる。

他項目の対策を総合してEMCに優れた電子機器が出来上がる。

それでは、電源ラインと信号ラインの伝導ノイズを減衰させるノイズフィルタを見てみよう。

AC電源ラインノイズフィルタ

テーブルタップに組み込まれたもの、あるいは独立したノイズフィルタは直列・並列共存型であり、代表的構成はこのようになっている。



代表的ACラインフィルタ

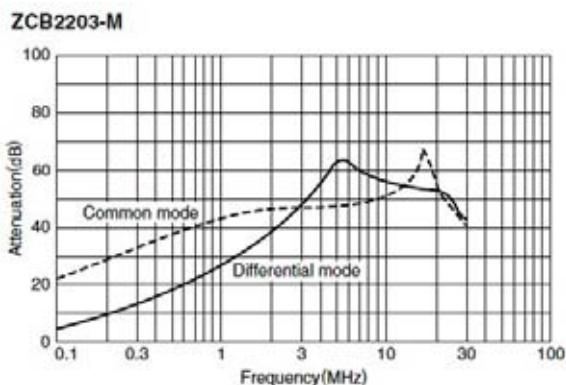
フィルタはコモンモードフィルタとノーマルモードフィルタとで構成されている。また、雷サージ保護のためにコモンモードで働くバリスタが追加されたものがパソコン用には多い。

EMC対策

| | | |
|---------------------|------------------|---|
| 電気・電子部品の選定 | 部品の選定 フィルタリング | ノイズを出さない、受けない オンボード:信号ライン オンボード:DC電源ライン AC電源ライン ハーネス・ケーブル |
| 基板・配線 筐体 ケーブル | パターンニング | 電源系と信号系の分離 デジタルとアナログの分離 太く短く、捻る |
| | グラウンディング | 1点グラウンド 多点グラウンド |
| | シールドリング | 回路・部品のシールド ハーネス・ケーブルのシールド 機能ブロック毎のシールド |

このようなACラインフィルタではノーマルノイズフィルタ部分は並列型で、コモンモードフィルタ部は直列型と並列型とで構成されている。総体としてはACラインにシリーズに入るので直列型といえる。

ノイズに対する効き方の例は次のようなもので、コモンモードとノーマルモードの各々について周波数に対する減衰度が示されている。この例は小電流の単相AC用だが、より大電流に対応するもの、3相AC用などが製品化されている。



TDK製ZCB2203-Mとそのノイズ減衰特性



TDK製
ZCB2203-M

減衰特性周波数軸の下限は100kHzであることから、このノイズフィルタは**高周波用**である。100kHzではノーマルモード (Differential Mode) ノイズにはほとんど効果はない。しかし、コモンモードノイズに対しては20dB、すなわち1/10に減衰させる能力をもっている。ただし、10kHz以下が主体のオーディオ用としての効果は期待できない。

コモンモード専用ノイズフィルタ

メモリカードリーダーのコードにつけられたコモンモードフィルタである。信号線2本に対してインピーダンスをもたせてノイズを抑えている。

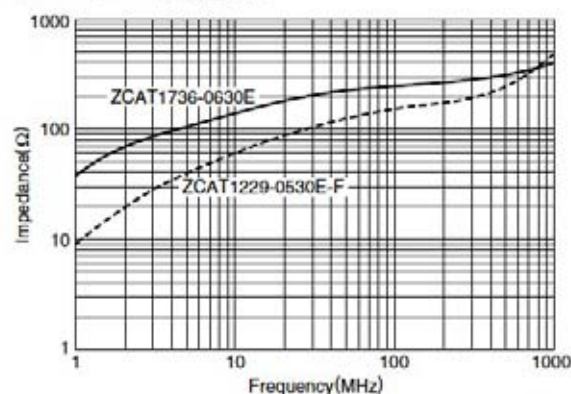
代表的クランプフィルタの特性は次のようなものである。

周波数軸の下限が1MHzなのから分かるように、これも**高周波用**である。



クランプフィルタのついたカードリーダー

インピーダンス周波数特性



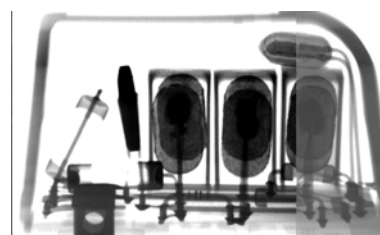
TDK製 ZCAT型インピーダンス特性

(純粹)並列型ノイズフィルタ

純粹とはおかしな表現だがノーマルモード、それも、低周波ノイズを対象にした並列型ノイズフィルタが存在する。先に試したQuiet Lineはそのひとつである。ノイズ源に近い空いたACコンセントに挿して使うよう指定されている。

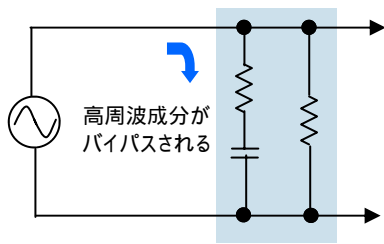
このフィルタを使えばAMラジオでの電源ケーブルからの輻射ノイズの観測でノイズが減少することがある。実験ではマッサージチェアについてはそうなのだが、インバータ蛍光灯では逆にノイズが増えた。

内部X線写真から分かるようにこのフィルタは抵抗とコンデンサで構成されている。他にに見える部品はノイズフィルタとして働いた時にLEDが点



Quiet Lineの
内部X線写真

灯するとされており、この関係の部品と思われる。



このような並列フィルタはあまり一般的ではないが、使用条件との兼ね合いで、確かな効果をもたらすものなら利用価値がある。

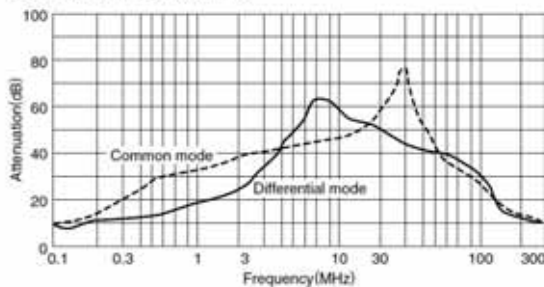
ACインレットフィルタ

ACラインの受けと一体化されたフィルタである。この特性は次のようなものである。



TDK ZUG-12A

ZUG2203-12A/ZUG2206-12A



ACインレットフィルタの特性

これも100kHz以上を対象とする高周波フィルタである。

このフィルタは測定器やデスクトップパソコンに使われている。この後に電源スイッチがあり、開閉サージが外部へ流出するのを防ぎ、あわせて外部ノイズを入り口で阻止している。さらに、インレットから電源基板までの配線を最短にして機器内部へのノイズを抑えている。その意味でAC入力端子とフィルタとが一体化していることに意味がある。機器入り口にこのようなインレットフィルタがあり、電源部にはさらにノイズフィルタがあっても、これは重複しているのではなく、それぞれに意味がある。

われわれの目に触れるノイズフィルタを見てきた。お分かりのように、ノイズフィルタのほとんどは100kHz以上の高周波を対象としている。したがってオーディオ用としての効果は期待できない。

低周波アナログ信号へのノイズ障害と対策

いささか大げさなタイトルであるが、要はノイズが音に影響するかどうかという話である。音イコールオーディオである。

お断りしておきたいのは、ここでいうオーディオとは、ラジカセとかミニコンポなどの一般用のオーディオ機器ではなく、いわゆるマニアのための高級オーディオのことである。

グライコつきコンポはデジタルノイズには影響されない。それは信号とノイズとが元々渾然一体となっていて不可分であり、微少外来ノイズの影響は無視できる。また、再生するソースに0dB(再生できる最大レベル)が頻繁に出現するようなら、同時に出ているノイズを含む微少な音は人間には聞きとれない。このような場合もノイズを云々するのは無意味である。

一応オーディオと題したが、耳という測定器に勝る超高感度検出器を生かした、微小アナログ信号にノイズが影響するかという話でもある。

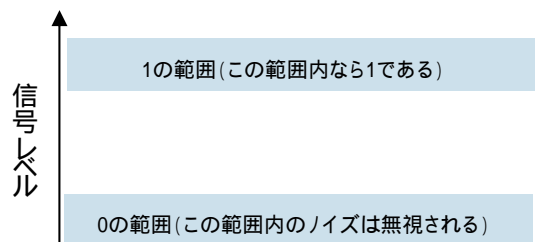
アナログ信号とデジタル信号

先に信号レベルは

| | |
|------------|---------------|
| AM放送など | μV |
| アナログレコード出力 | mV |
| CD出力やライン信号 | V |

と書いた。これは公称電圧であり、レンジが60dBとか80dBであれば、最小値はこの1/1,000とか1/10,000になる。1Vの1/1,000は1mV、1/10,000は100 μV である。したがって再生信号に対しては1mV以下のノイズでも問題になるのだ。これがアナログ信号の世界である。

対してデジタル信号はUSB2.0が480Mbpsといても1秒間に48万回、信号が0に近いか、あるいは5Vに近いかを判定しているだけである。つま



デジタル信号はノイズに強い

りある限度内なるノイズがあってもデータ伝送には差し支えないのである。大ざっぱに言えば、この比較ではアナログ信号はデジタル信号に較べて1,000倍ノイズの影響を受けやすいといえる。こう考えるとアナログ信号に対するノイズの影響を避けるのは相当に難しいことが分かる。

CDプレイヤーのディスプレイON/OFFによる音への影響

筆者がオーディオでノイズの影響がわかるのがCDプレイヤーのディスプレイ オン・オフによる音の違いである。端的に言えば点灯させていると音が悪くなるのである。

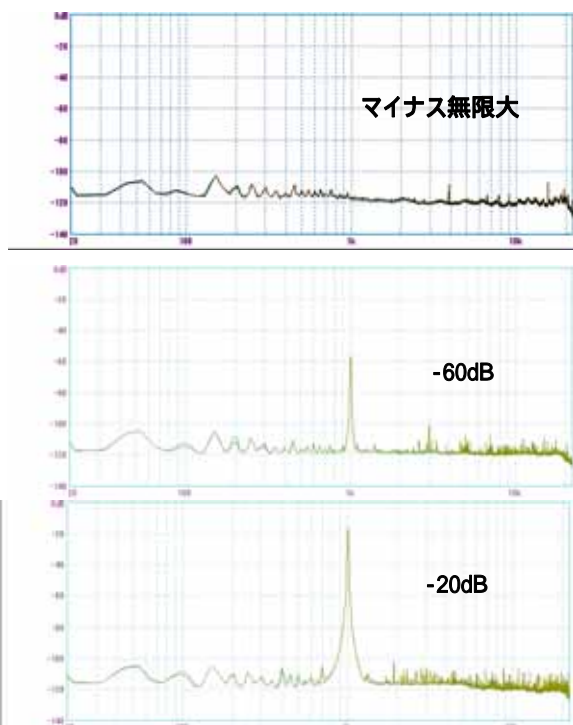


音に影響するCDプレイヤーのディスプレイ (ある価格帯以上のものの多くはオフできる)

ここで注意していただきたいのは、何を聞いても分かるのではなく、特定のソース、特定の部分を聞いた時に限定される。この手の話はこのような条件がついていことが多い。言い換えればそれ以外では分からないのである。ただ、どう変わるかを認識し、「悪い音」が聞こえると、それが気になるのである。

さて、CDを再生してディスプレイのオンとオフがデータに表れるかを検証してみたい。1kHzでマイナス無限大、-60dB、そして、-20dBの信号の入ったCD(秋月電子オーディオチェックCD TD-CD02)を再生し、このアナログ出力を20ビット A/Dコンバータ搭載のMDデッキで録音した。これを光ケーブルでパソコンにデジタル転送したうえで波形解析をおこなった。デジタル出力を録音しなかったのは実際のCD再生を想定したからである。

3種の信号レベルともにディスプレイのオンとオフとの差は現れていない。統計的処理で比較しても数字上の差はまったくない。しかし、人間の耳はディスプレイのために発する微少なデジタルノイズの有無を聞き分けることができるのだ。



CDプレイヤーのディスプレイ オンとオフとの差 再生CD信号 - 無限大、-60dB、-20dB (差はまったくない)

人間の耳は測定器に勝る

CDディスプレイのオンとオフとでデータ上では差がないであろうことは予想通りである。訓練された耳の検出能力は極めて高いのだ。

ダイオード整流ノイズの実験に使った定電圧電源は、ダイオードの違いによる音の差を試聴するために作ったものである。この組み合わせにあるパソコン用スピーカは特別なものではないし、CDプレイヤー然りである。

定電圧電源出力12Vはダイオードを変えても出力に変化は観測されない。電源の蓋を閉めて動作させるので当然磁束の漏れも無視できる。こ



ダイオードの違いによる音の違いの分かる 簡単な試聴装置

のような簡単な装置でもダイオードによる音の差を聞き分けることができる。これも、耳の能力の高さを示す例である。

電子機器のノイズは音に影響するか？

CDプレーヤーのディスプレイ オンとオフとの差は聞き分けることができた。では、自室で最大のノイズ源である空気清浄機のオンとオフの差はどうだろうか？ パソコンのオンとオフとではどうだろうか？ 結果はといえば、いずれも、よく分からないというのが正直なところである。

電子機器の発するノイズによる音への影響は「音の数が減る」「空間が狭まる」のように表現する人がいる。このような差はきわめて微妙であって、聞き分けることができる人は極限られるだろう。ということは、大多数の音楽愛好家にとって、ノイズ、ノイズと気にしすぎるのは取り越し苦労にすぎないのかも知れないのだ。大体からして音のことはかなり気にしていると音楽を聞くことが楽しくなくなってしまう。

ノイズの実験をしていて気づいたのはコントロールできない電気機器がたくさん存在することだった。空気清浄機、パソコン、ファンヒーターなど自室の機器は音楽を聞くときには自らの意志でオフできる。しかし、隣室のサイリスタ制御で調光可能な照明はノイズが大きそうだが勝手にオフすることはできない。その他にも電源ラインを通して自宅外からも低周波伝導ノイズが容赦なく侵入している筈だ。音楽を聞くために自室の電気機器はすべてオフにし、照明も消し、冷暖房も当然オフするので冬は寒さに打ち震え、夏は暑さに汗だらだらとなる。さらにタバコの煙にむせ返るとなると、音楽を楽しむどころではなくなる。さらに自宅外から侵入するノイズを排除するためにノイズチェッカーを持って家の周りを歩き回り、ノイズを垂れ流す家には文句を言う…。いくらなんでも、そこまでできない。

明らかにノイズがあっても多くの場合には分からないか、気にならないのである。そこで観点を変えたノイズの話すすめたい。精神衛生のための理論武装である。

ノイズの影響を受けにくい装置

ノイズの影響を受けにくい装置とは原理原則に忠実で、手抜きなく作られたものである。

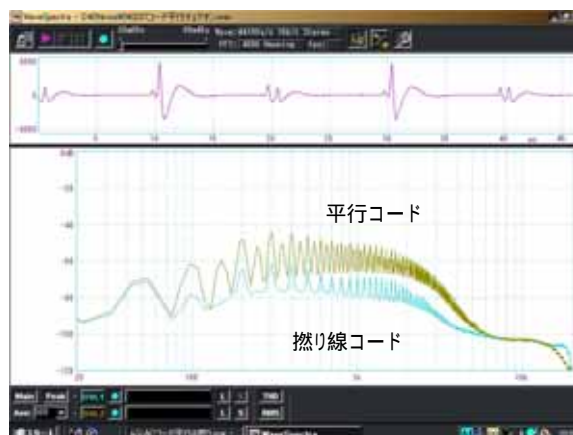
原理原則の1例として、平行ACコードと撚り線ACコードとで輻射ノイズを比較した。撚り線コードは最近めっきり目にすることがなくなったが、一昔



平行と撚り線ACコード

前までは消費電力の大きな電気ポット、ヒーター、こたつに使われていた。

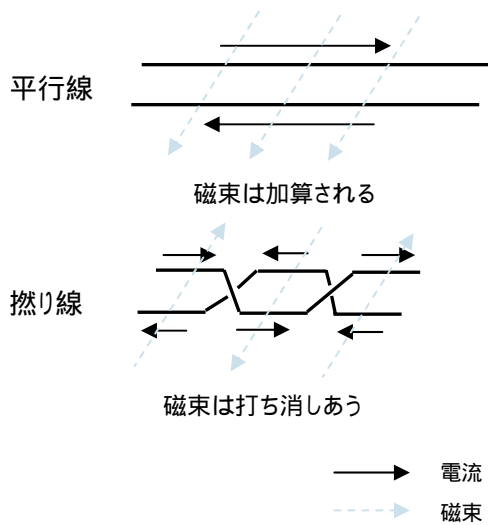
AMラジオでそれぞれのコードから発する放射ノイズを検出して比較した。



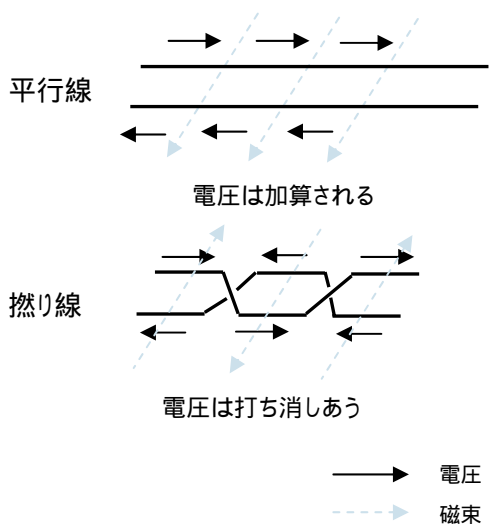
平行および撚り線ACコードの放射ノイズ

このように撚り線コードは輻射ノイズが小さい。線を捻るのは初歩的なノイズ対策としてよく知られている。比較したのは電源コードだが信号線でも同じである。撚り線はノイズ源になりにくいし、あわせてノイズの影響を受けにくい。このような理由でシールド線の代わりに撚線が用いられることがある。

ノイズのしくみを理解するには電磁気学が役立つ。撚り線が有利な理由は、次の2つの図で説明できる。



撚り線が発する電磁誘導ノイズが
平行線に比べ小さい



撚り線は電磁誘導電圧が
平行線に比べ小さい



スターカッド線(4本の線を捻った)を
使った電源ケーブル

ここからはオーディオに限定して、ノイズの影響を受けにくい、あるいは、影響されたととしても結果として無視できるようにするためにどうすればよいかに移りたい。

オーディオ機器を含む電子機器でのノイズ対策の基本を再度持ち出してみる。

電気・電子部品の選定

A, 部品

ノイズを出さない、受けない

B, フィルタリング

オンボード: 信号ライン

オンボード: DC電源ライン

AC電源ライン

ハーネス・ケーブル

基板・配線、筐体、ケーブル

C, パターニング

電源系と信号系の分離

デジタルとアナログの分離

太く短く、換る

D, グランディング

1点グラウンド

多点グラウンド

E, シールドイング

回路・部品のシールド

ハーネス・ケーブルのシールド

機能ブロック毎のシールド

この他にも半導体アンプではノーマルモードノイズの影響を受けないように、入力は差動アンプで受けるのが普通である。また、適正なパターン設計や、電源のパスコンもノイズ対策として有効である。

このように見わたすと、よく言われること、あるいはメーカー製オーディオ機器はノイズ対策の基本に忠実なことがわかる。ただし、アンプなどを自作する際に自ら実行するとなると、言うは易く、現実には難しい面もある。その意味で原理原則に忠実というのは実践するには、高度な技術を持ち、かつ、正当に評価する能力を併せ持つ必要がある。

メーカー製高級オーディオ機器では外部からの輻射ノイズの影響はまず受けないと考えられる。それは筐体が外部にノイズを輻射しないように作りこまれているからである。高級機では僅かな隙間にもシールド材をはさんで、シャーシからボンネットが電氣的に浮かないように配慮されている。ノイズを出さないことは、外部ノイズの影響

を受けにくいことを意味する。となると、オーディオ機器で問題になるのは、電源ラインから伝導するノイズと、自分自身の筐体内で発生するノイズであると言えるのではないだろうか。ここで
のノイズとは、伝導ノイズと輻射ノイズの両方である。

「手抜きなく」という表現を使った。これは意味深長で、昨今のご時世では手抜きなくというのは案外貴重なのかも知れない。このような商品は価格も相当に高くなっても止むを得ない気がする。

なおここではメーカー製品を念頭においたが、自作となると話は少し違う。輻射ノイズに影響されないシールドというのは結構難しいものである。アマチュアが入手できる部品や材料は限られているし、複雑な加工はできない。

ノイズの影響を受けないために、どんな点に注意したらいいかをまとめる。

(オーディオに影響しやすいノイズを発生する)機器はできる限りオフにする

住環境で特に影響が懸念されるのはスイッチング周波数100kHz以下でパワーの大きな電子機器である。(AC電源ラインを伝わる伝導ノイズが懸念される)具体的には

デスクトップパソコン
テレビ・モニタディスプレイ・プロジェクタ
エアコン、冷蔵庫、洗濯機などのインバータ家電
インバータ照明
電話、ISDN、ADSL

などである。パソコンを、わざわざデスクトップと断ったのは、ノートパソコンは一般にパワーが小さいのでノイズも小さいからである。また、照明については、白熱電球の位相制御による調光は原理的にノイズが大きい。また、インバータでない(古い)蛍光灯が意外に大きなノイズを出していることがある。さらに、セラミックヒータやニクロム線ヒータは、たまたの抵抗と思いきや、これも意外にノイズが大きい。それはACライン電圧自体が歪んでいて多量の高調波が含まれているためと考える。

眠らない電源(ノイズ源)に注意!

空気清浄機は「眠らない」電気機器であることに気づいていなかった。「眠らない」とは、電源をオフにしてもコンセントを差してある限り動き続けることを意味する。スイッチのついていないACア

ダプタも典型的なその例である。空気清浄機はイオン発生のための高圧電源が電源をオフしても動いている。オフ時でも1W未満だが電力を消費しているので分かった。また、デスクトップパソコンもスタンバイ電源が動く続け、待機時でも3~4Wを消費している。さらに調べて分かったのはエアコンが待機状態にあることだった。

このような眠らない、かつ、ノイズを出し続ける電源を見つけるにはAMラジオが役に立つ。眠らないエアコンもこれで発見した。このような使い方には一番安い1,000円くらいで売られているもので十分である。

眠らない電気機器はACプラグを抜くか、個別スイッチでオフする。

DVDオーディオ、SACD、そして、AV

人間の可聴周波数は

20Hz ~ 20kHz

といわれている。20kHzまで再生可能なCDは44.1kHzサンプリングである。これに対して新しいフォーマットのサンプリング周波数は

DVDオーディオ 最高192kHz

SACDオーディオ 2.8224MHz

となっている。このようにサンプリング周波数が高いと、考えなければいけないノイズの周波数帯も高い側に拡大することになる。

ビジュアル(映像)の周波数は

NTSCカラー(地上波テレビ)

水平同期 15.734264kHz

垂直同期 59.94Hz

バースト信号 3.579545MHz

ディスプレイモニタの例

水平同期 30kHz ~ 117kHz

垂直同期 50 ~ 160Hz

ビデオ帯域 ~ 136MHz

というようにテレビやモニタディスプレイ動作に関わる周波数はオーディオ周波数より高い領域におよんでいる。ノイズの影響を受けて同期がずれれば画面のちらつき、ビデオ信号が影響されれば色ずれが起きる。

耳で聞くオーディオより視覚で捕られるビジュアルの方がノイズの影響が分かりやすい。したがってノイズ対策の効果はオーディオよりビジュアルの方が上がりやすいといえる。ただしオーディオでの変化は測定器では検出できない微妙なところまで聞き分けられる人がいる。ビジュアルの大きな変化は誰にでも分かりやすい反面、情報量が多過ぎて人間には差を見分けるのが難しいこともある。

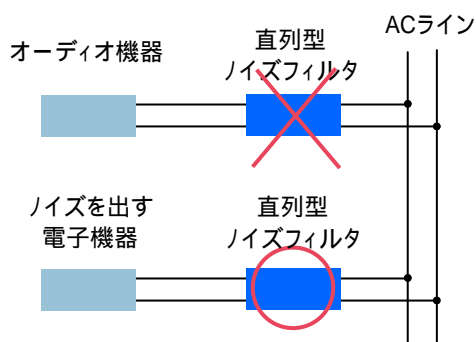
オーディオ、それも、通常のCDなのか、新しいフォーマットのものか、純粹オーディオなのか、ビジュアルを含めるのか、さらに、個々人の要求レベルはどうなのか？ノイズ対策はそれぞれにより違っている。

オーディオとノイズフィルタ

有害ノイズを発生しているか、その懸念がある電気機器にはノイズフィルタを使うことがまず思い浮かぶ。これまで説明してきたように100kHz以下で有効な低周波用ノイズフィルタはほとんどない。

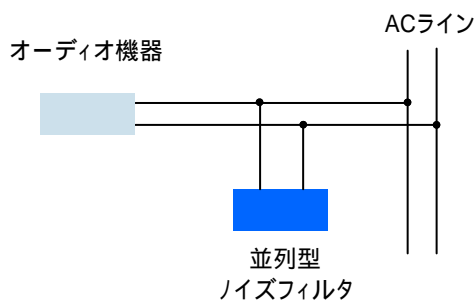
オーディオ機器にはパソコン用直列型フィルタは有害無益である。フィルタとして低周波では、ほとんど効果がない上に、音に重大な影響があるACプラグや線材に全く配慮していないからだ。

直列型ノイズフィルタはオーディオ機器ではなくノイズを出している機器、例えば、パソコンなどのACラインに入れるようにする。ノイズフィルタにはノイズが流れ出るのを防ぐ働きがあるからだ。



オーディオでの直列型ノイズフィルタの使い方

並列型ノイズフィルタには電源電流が流れないので音への悪影響はない筈である。ただし、値段が高い割には能書き通りの効果が確認できないものもある。



並列型ノイズフィルタ

低周波用ノイズフィルタ

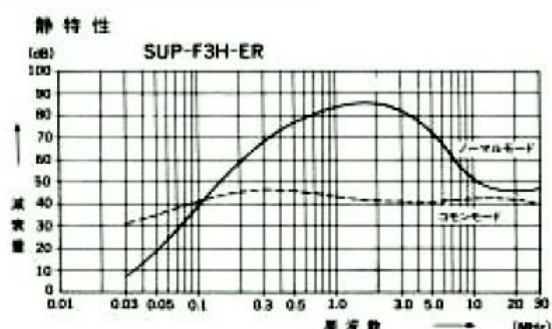
ここでは2つの低周波用フィルタを紹介しよう。

その1、岡谷電機産業(株)SUP-FHシリーズ

形としてはACインレットフィルタである。前出のTDK製と比較すると低い周波数まで減衰特性を持たせるために大きな外形になっている。



SUP-FHシリーズ
ノイズフィルタ



SUP-FHの特性

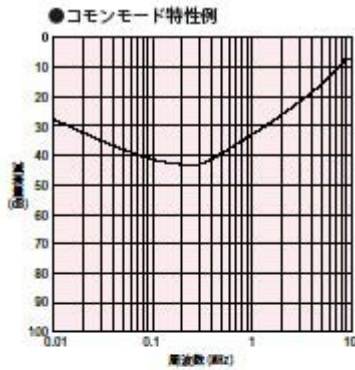
その2、(株)サンリツ LNG-5A

これは一般的なノイズフィルタつきテーブルタップに近い形になっている。アースをとる必要がないので使いやすい。(秋葉原 日の丸無線 Tel 03-3251-0938扱い 8,900円)

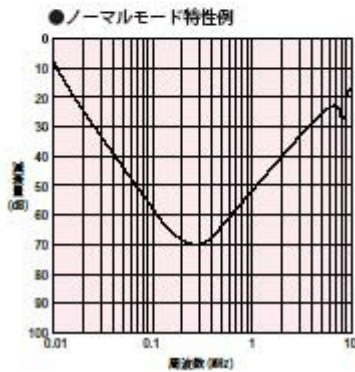


サンリツ LNG-5A

これら2つは100kHz以下でも減衰特性が表示されており、純粹オーディオ用としては苦しいが、AV用ならノイズ源に使えば効果が期待できるかも知れない。



LNF-5Aの特性



オーディオ用としてフィルタを組み込んだとおぼしき電源コードが売られている。この種のものは大変高価である。そして想定した屋内配線や機器との関係が異なれば効果が得られない恐れがある。



MIT Z-cord

ノイズカット(フィルタ)トランス
ACラインのノイズ測定結果から分かるように



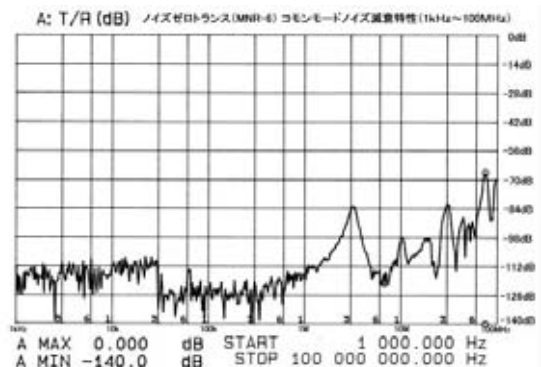
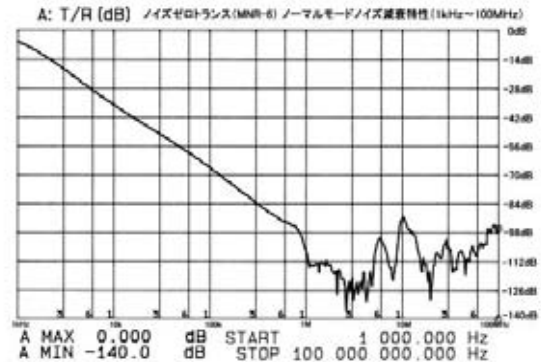
株式会社エヌエフ回路設計ブロックのノイズフィルタトランス

電源トランスいえども少なくとも20kHz程度までは通してしまう。言い換えれば低周波ノイズフィルタとしての働きは期待できない。これに対して高い周波数を通さないのがノイズカットトランス(ノイズフィルタトランス)である。

フィルタ効果はノーマルモードとコモンモードとのいずれに対しても有効であり、これまで取り上げてきたLCによるフィルタより格段に低周波領域での減衰特性が優れている。

(株)ユニオン電機製ノイズゼロトランスは次のような特性をもっている。

(<http://www.uniondk.co.jp/noizu.html>)



株式会社ユニオン電機製ノイズゼロトランスの特性

LCフィルタに較べて他にもアース配線不要、リーク電流小の特徴もある。また、フィルタ効果がACラインインピーダンスの影響を受けにくく、直列共振が起きてノイズが増えることもない。

この種のトランスで最大の欠点は大きく、重いことである。大容量のものは家庭に持ち込むには手に余る。価格はエヌエフ回路設計ブロック製では

| | | |
|----------|--------|----------|
| NT-500C | 500VA | 74,800円 |
| NT-1000C | 1000VA | 117,800円 |

となっている。これらはノイズを極端に嫌う計測や制御の分野で使われるもの、発熱やうなり音も家庭用オーディオには適しているとはいえ

ない。

オーディオ用市販品は少なく、値段も高いので、あまり話題にはならない。しかし、今後新しい素材を活かしたオーディオ用が出現する可能性は十分にある。

高周波を通さないために1次巻き線と2次巻き線間にシールドを施したトランスがある。これは、ノイズカットトランスとは違うが、目的は同じで、一種のノイズカットトランスともいえる。ただし、損失増を避けるためにフィルタ特性は50/60Hzまではおよんでいない。このようなトランスが一部オーディオ機器にも使われている。

交流安定化電源

低周波フィルタとして最も効果的なのがノイズカットトランスだとしても、ACラインから持ち込まれる低次高調波には効かない。それなら歪みのない正弦波を作り出してしまうというのが交流安定化電源で、安定した交流電圧を送り出す能力を備えている。交流安定化電源は2つの方式で製品化されている。

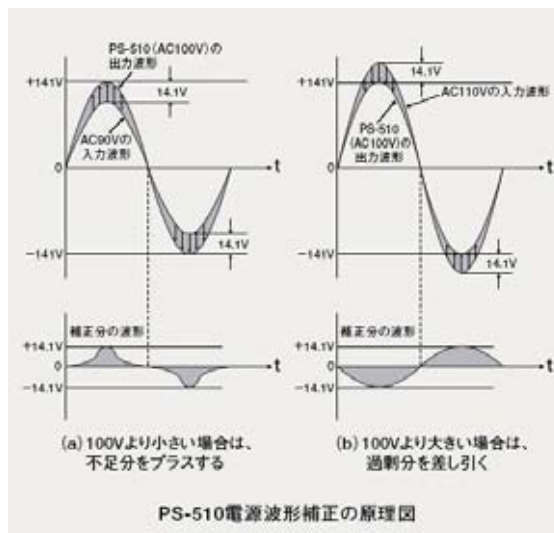
ひとつの方式は、入力されたAC電圧に対して、歪みのない正弦波を基準にして差分を計算と減算してAC出力を安定化する。



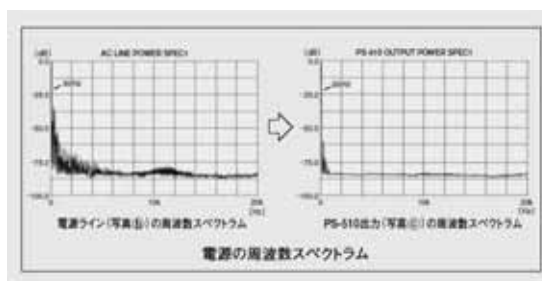
アキュフェーズ PS-510 (オーディオ用)

出力電圧のスペクトラムから分かるように高調波成分は入力電圧比で激減している。この方式は差分を補正するので損失が少なく、小型で大出力の電源を作りやすい。

もう一つの方式は、正弦波発振器出力をアンプで増幅する。そのために損失が大きいので、比較的小出力に向いている。周波数と出力電圧を変えるのが容易で、例えば周波数を、50Hz、60Hz、400Hz、電圧はAC100V系と



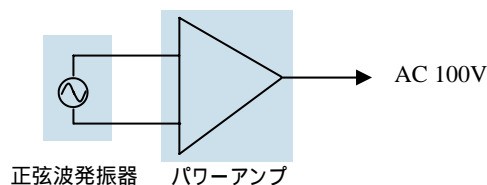
PS-510 波形整形の原理
(同製品カタログより)



PS-510の高調波減衰効果
(同製品カタログより)

AC200V系とをスイッチで切り換えられるようになっている。この方式の交流安定化電源は測定・制御の分野で古くから使われてきた。

交流安定化電源はノイズを減衰させるという考え方とは違うが、より理想に近いノイズ対策と



正弦波を増幅する方式の交流安定化電源



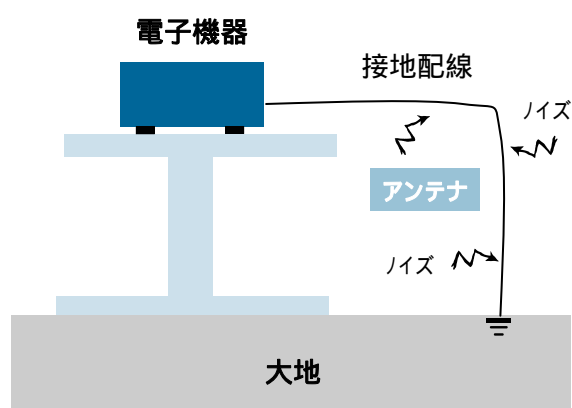
エヌエフ回路設計ブロックのTA-120

100/120/200/240 V出力可

なり得る可能性がある。ただし、電源といっても中身はパワーアンプそのものであり、オーディオ用としての使用を前提としたものでないと良い音は期待できない恐れがある。

アースをとるか？ グランドと接地

接地工事をして、これを機器グランドとつなげばノイズが減ると思いこんでいる人が少なくないようだ。しかし、多くの場合に接地は逆効果であり、ノイズは増える。接地点までの配線がアンテナとなってノイズを拾うからである。

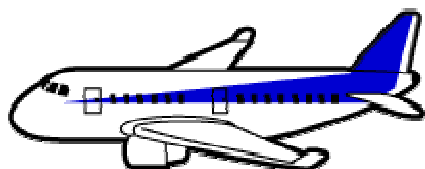


接地線がアンテナとなりかえってノイズが増える



ノイズが多い環境で働く電子機器として携帯電話がある。自身で大きな送話信号を出しながら、あわせて微弱な信号を受けなければ通話は成り立たない。携帯電話は接地線を引きずっているわけではなく、接地しなくてもノイズの影響は避けられるように設計されている。

飛行機で電子機器が誤動作すれば安全な運行はできない。ここでも精密な電子機器が接地なしで動いている。



携帯電話や飛行機は大地接地とっていない

携帯電話や飛行機の例からも分かるように、何が何でも接地すればいいというものではない。た

だし、高圧電力設備では接地は必須で、これは感電事故を防ぐためである。

ここで接地という言葉を使った。この接地とグランドとは意味合いが異なる。グランドは信号処理の電圧基準点である。電位が最も安定しているのは大地で、これをグランドとするのが理想と考えられる。ただし、接地配線がアンテナになってノイズが増えたり、意外に大きな電流がアース線を流れてアース端子の電位が上がったりすることがあるので、アース端子イコール大地電位ではない。

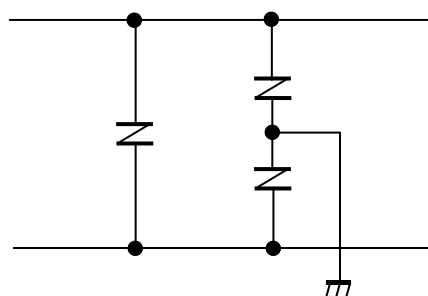
接地配線長を1mとすると、どのくらいの周波数のアンテナに相当するかを計算してみよう。真空中での光速は 3×10^8 で、これをアンテナ長の1/4で割って周波数を求めることができる。結果は75MHzとなる。1/10、1/100の周波数でもアンテナ効果があるとすれば具合が悪そう。さらに配線長10mともなれば100KHz以下にも影響しそう。

要約すると信号を扱うためにグランドには必然性がある。しかし、この電位を大地電位と同じにする必要はない。飛行機では機体、船では船体、ビルでは鉄骨が、それぞれ優れたグランドである。接地を取らない電子機器はシャーシやフレームをグランドとしている。現在では信号用接地はとらない方が普通なので電子機器も、それを前提とした設計となっている。オーディオ機器も例外ではない。

微少アナログ信号を扱うオーディオでは接地線をつないだら、かえって音が悪くなったというのはよくある話である。

インパルスノイズ

代表的なインパルスノイズは雷サージや大きな電流のオン・オフで生ずるノイズである。これまでは連続して発生するノイズを対象としてきたがインパルスノイズは単発ないし周期はゆっくりだがピーク値が大きいという特徴がある。ポップノイズとして耳ざわりだったり、最悪電子機器の破壊に



バリスタによる雷サージ保護

つながったりする。このようなノイズにはテーブルタップに組み込まれたノイズフィルタの有効である。

雷サージ保護をうたうノイズフィルタの多くはバリスタを組み込んでいる。バリスタはある電圧以上で抵抗が小さくなる性質を利用して、サージ電圧を抑えている。どんな雷サージに対しても万全ということはないが、簡易的なものあっても入れておけば安心なことは間違いない。ただし、現実オーディオ用として適当な製品が手にはいるかという、そうでもないのが、空きコンセントに差して並列フィルタとして使うのがいいだろう。

電源の影響について

直列型電源フィルタや交流安定化電源はオーディオでは要注意と書いた。これは、電源系で代表的直列要素であるACコンセント、プラグ、ケーブルの音への影響が大きいことを何度も経験してきたからだ。

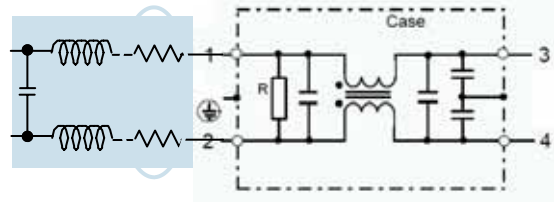


医療用をベースにしたオーディオ用ACプラグ

写真は医療用をベースにしたオーディオ用ACプラグである。医療用ACプラグはJISで接触抵抗、温度上昇、差し込み保持力、耐圧・耐熱性、衝撃強度、絶縁性などが規格化されている。実物をコンセントに差し込んでみれば、しっかり差し込めることで確かな接続が実感できる。これを使うと音が良くなると話があり、半信半疑でACコンセントとプラグを医療用に交換したところ、その違いには驚かされた。その後、同種のものでオーディオ向けに売られている。いろいろな「音の良くなる」部品やグッズがあるが、ACプラグやコンセントは最もめざましい効果がある。プラグやコンセントをノイズの話に持ち出した理由は、もし、この差が分からないようであれば、微少なノイズの音への影響など全く分からないのではないかと考えるからである。

ACプラグとコンセントが音に影響するのは、抵抗分のせいと考えられる。図から分かるように、フィルタの周波数特性が電源系内抵抗の影響を受けるからである。影響の度合いは屋内配線の長さや線材の径によって当然異なる。

ACラインインピーダンス



電源系の抵抗は周波数特性に影響する

オーディオにおける人間のEMC対策 あとがきに代えて

ことオーディオに関しては人間に対するEMC対策が最重要である。外来ノイズはマスメディアや商業主義である。一般にこのノイズに対する耐性は強くないようである。対策は自らが自分の環境を確かめ、自分の基準を持つことである。また、音ではなく音楽を楽しむことも大切である。

アマチュアコーラスの演奏会を聞きに行った。最後のメサイアは聞き応えがあったが、出だしの小曲では混濁感があって、混変調歪みという言葉が思い浮かんだ。音源にも歪んだように感じさせる音が存在するのである。マイクなどの録音機材にも歪みがあるわけで、結果としてできあがったCDなどのソースには、それ自体に歪みがあるわけである。土台再生音は元の音が分からないので、その音の良し悪しを云々するのは無理な面がある。

外部ノイズそのものについてはあまり書かないことにする。ただ年輩者の言うことは信じていないし、3,000円のACプラグは買っても5万円とか10万円もする電源ケーブルには興味がない。もし、お金をかけるなら電力契約容量を上げて、屋内配線を太くするのが先である。そして、音が「良くなる」と「変わる」とは全く別物である。極端に言えば何をやっても音は変わるわけで、もし変わり方の度合いが顕著だとすると、一面ではいいが、それ以外はそうでもないことが多いようである。

CDプレイヤーのディスプレイオン・オフでの差を聞き分けられるかは次のようにして試した。特定のCDで特定の部分を5秒間くらい繰り返し再生した。ディスプレイが見えない位置から減光を含む4ポジションをリモコンで切り換えた。いわゆるブラインドテストである。1回目はオフがわかった。もう一度やってこれも当たった。そして、そこで止めた。3回目も当たる自信がないからである。

差は僅かなのでディスプレイを点けておいても音楽を楽しむうえでの妨げにはならないし、特定部分以外ではよく分からない。

ノイズは安いAMラジオを持って歩き回れば、どこから、どのくらいのノイズが出ているかを見当がつけられる。できる限り電子機器をオフした上で、一つずつオンさせていき、音に影響があるかどうかを確かめていく。影響があるのかないのかは個人の感性(能力)に帰する。

ノイズに限らず気に始めると、ますます気になるものである。とかくあら探しに陥りやすい。

ノイズについては、いろいろやってみると実に面白いものである。思わぬぼろが見つかるかも知れない。自分でやってみて、情報を集め、よってきたる所を考えるのは楽しい。概して、そうはお金もかからない。

ただし慣れた人でも電源ラインの扱いには十分注意していただきたい。人間のノイズ対策などといって、その主体自体が危険にさらされ、最悪、自身の存在自体が失われてしまつては元も子もない。

オーディオ機器とソースのデジタル化は確実に進行している。われわれの生活はノイズとの同居である。現用プリアンプであるアキュフェーズC-2000にもマイコンが組み込まれている。このような環境でもノイズについては、押さえるところを押さえれば、そう神経質にならなくても良いというのが結論である。

年配の評論家の言うことは信じないと書いた。本当のところは誰の言うことも、そのまま信じることはないわけで、当然、私を書いたことも、眉につばをつけて読んでいただけたことと思う。

最後にオーディオのためのノイズ対策を図示して締めくくりとしたい。

参考文献

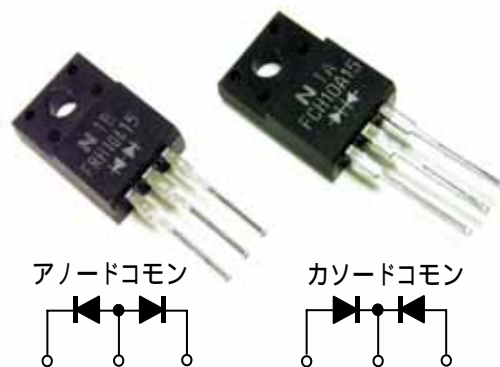
ノイズ対策の基礎 TDK株式会社
http://www.tdk.co.jp/tjbcd01/bcd27_30.pdf

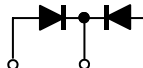
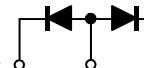
電磁ノイズ対策技術と製品 TDK株式会社
http://www.suzuden.co.jp/gijyutu/pdf/pdf32_02.pdf

筆者のホームページ

<http://www003.upp.so-net.ne.jp/hashizume/>

TO-220F外形 アノードコモンとカソードコモンを組み合わせるブリッジを構成できる製品



| Io | V _{RRM} | |  |  |
|-----|------------------|------|---|---|
| 8A | 150V | SBD | FCH08A15 | FRH08A15 |
| 10A | 30V | | FCQ10A03L | FRQ10A03L |
| 10A | 40V | | FCQ10A(U)04 | FRQ10A04 |
| 10A | 40V | | FCH10A04 | FRH10A04 |
| 10A | 60V | | FCQ10A(U)06 | FRQ10A06 |
| 10A | 100V | | FCH10A(U)10 | FRH10A10 |
| 10A | 150V | | FCH10A(U)15 | FRH10A15 |
| 10A | 200V | | FCH10A(U)20 | FRH10A20 |
| 20A | 60V | | FCQ20A(U)06 | FRQ20U06 |
| 20A | 100V | | FCH20A(U)10 | FRH20A10 |
| 20A | 150V | | FCH20A(U)15 | FRH20A15 |
| 20A | 200V | | FCH20A(U)20 | FRH20A20 |
| 10A | 200V | FRED | FCF10A20 | FRF10A20 |
| 10A | 400V | | FCF10A(U)40 | FRF10A40 |
| 20A | 300V | | FCU20UC30 | FRU20UC30 |

オーディオのためのノイズ対策

*生活環境をあまり変えず、ACラインにも手を加えず、かつ、あまり神経質ではない対策のヒントをまとめる。参考となる点もあるはずだ。

