

デジタルアンプ用インダクタの話(前編)

●はじめに

今回は、主流になったデジタルアンプ用のインダクタの話をも2回に分けて掲載することになりました。前編はインダクタを構成している材料に関連した話です。

●インダクタの基本構造

弊社のデジタルアンプ用インダクタの一つを例にとり、無理矢理製品を割って中身をお見せすると、写真-1のような構造になっています(台座は外してあります)。

コイルの周りを覆っている灰色に見えるのがフェライト・コアと呼ばれる磁性体で、茶色に見える銅線を巻いたコイルが磁性体の中に入っている構造になっています。

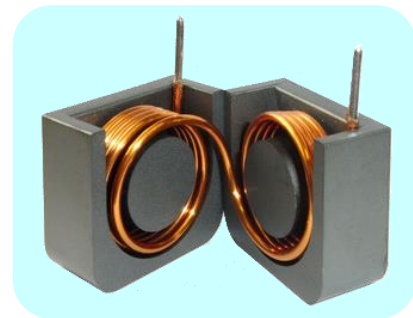


写真-1 インダクタの中身

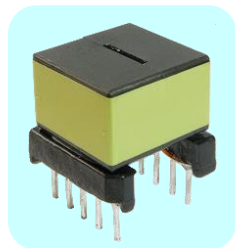


写真-2 トランス

この基本構造自体は、写真-2の通信機器で使用されているEPコアを使用したトランスと同じですが、弊社ではコアの形状に改良を加え、その他の見直しを行いデジタルアンプ用インダクタに最適化した製品の開発・設計を行っています。

●インダクタの特長

インダクタの基本構造からも分かるように、トランスで使用していた巻枠用の樹脂ボビン(写真-2で端子が出ている黒いもの)を排除することで、その分巻線出来るエリアを広げることが可能になり、低い直流抵抗を実現することができるようになりました。

また、磁性体が巻線を覆う形の構造のため、インダクタから出る漏れ磁束を小さくすると同時に、外部からの影響も少なくすることができました(磁力線は、磁気抵抗の少ない磁性体の中を通り抜けます)。

平角線(次頁参照)を使用したインダクタでは、巻線可能な空間を最大限に利用することができるので、より直流抵抗の小さなインダクタを実現しています。

●インダクタの材料構成

インダクタの主要な材料構成は、次のようになります(写真-3、写真-1参照)。

- ① 磁性体：フェライト・コア
- ② 巻線：樹脂の皮膜付き銅線
- ③ 台座：熱硬化性樹脂(インダクタの底部)
- ④ 製品固定：加熱硬化型接着剤

インダクタを構成する材料は少ないのですが、これらの材料の特性を上手く利用することで、より高性能なインダクタを開発しています。

この中の①②④の材料について、順次説明を行っていくことにします。

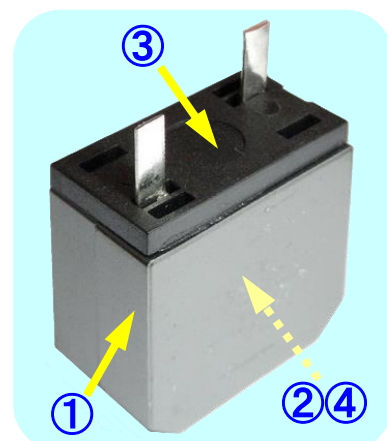


写真-3 7G14C 底面写真

●フェライト・コアについて

巻線したコイル(空芯コイル)にフェライト・コアを使用することで、使用しない場合に比較してインダクタンスの大きなインダクタを作ることが可能になります(図-1の②参照)。

一方、大きさを変えないでインダクタンスの値が同じままで良ければ、少ない巻数でより太い電線を使用して巻線することができます(図-1の①参照)。

フェライト・コアには、大きく分けて Mn-Zn 系(マンガン系)と Ni-Zn 系(ニッケル系)の2種類ありますが、初透磁率(μi)、飽和磁束密度(B)と損失特性を考慮して、比較的低い周波数で使用されるデジタルアンプ用インダクタの場合は、Mn-Zn 系のフェライト・コアが使用されることが多いのです。

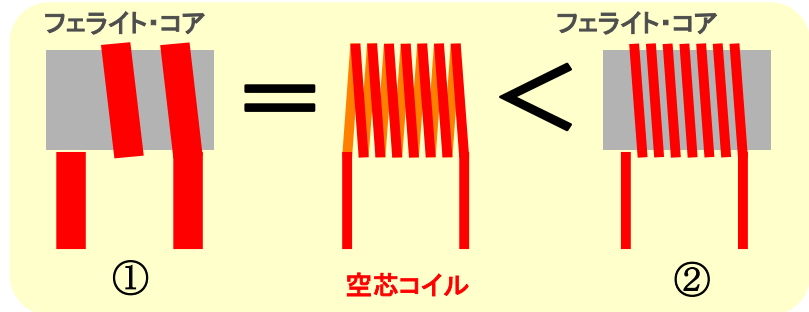


図-1 フェライト・コアの有無とインダクタンスの関係

フェライト・コアは、材質の他に形状がありますが、サガミエレクトロニクスでは巻線したコイルとの相性(インダクタの作り易さ)と電気的特性を考慮した結果、EP 形状のコアを改良して使用しています。

これにより、優れた特性のデジタルアンプ用インダクタを実現することができましたが、特性の詳細については、次回お話しすることになります。

●電線(銅線)について

巻線している電線は、銅線の表面に樹脂をコーティングしたもの(俗に言うエナメル線です)を使用しています。

電線は、一般には断面の形状が円形のもの(丸線)が使用されますが、弊社のデジタルアンプ用インダクタでは断面形状が四角形のもの(平角線)も使用されています。

丸線と平角線では、巻線をした場合の巻棒部分の利用率が異なり、当然断面形状が四角形の方が有利になります。



この差は、直流抵抗に直接影響しますが、それ以外にも表皮効果や近接効果の影響で、高周波域での特性に差が出てきます。

また、形状の違いから電線の生産性が異なるために価格が異なるほか、巻線の方法(=コイルの生産性)も異なってきます(表-1 参照)。

母材の材質は「タフピッチ銅」と呼ばれている銅(一般に純度 99.9%以上)で、微量の酸素(Oxygen)が含まれていますが、この酸素を取り除いた無酸素銅線(OFC; Oxygen Free Copper)と言うものもあります。

更に、銅結晶を大きく成長させた線形結晶無酸素銅(LCOFC; Linear Crystal Oxygen Free Copper)と言うものもあり、一部の超高級オーディオ機器やケーブル類に採用されているようですが、一般のオーディオ機器で使用されているのは無酸素銅線(OFC)までかと思われます。

表-1 電線の比較

	丸線(標準)	平角線
価格	安価	高価
巻線作業	容易	難易
直流抵抗	普通	小さい
音質	?	?
形状		

弊社のデジタルアンプ用インダクタの一部にも、無酸素銅線(OFC)を使用したものがあり、特に音質を重視するオーディオ機器用に採用されています。

●接着剤について

接着剤は、大きく分けて2種類を使用していて、硬化後が比較的固くなるタイプと、比較的柔らかい物を使用しています。

シッカリ固定することを目的とした場合は、一般的に使用する接着剤は硬化した後に硬くなる傾向にありますが、それでも硬さにも違いのある物がたくさんあります。

コイルを保持する目的で使用する場合は、音質との兼ね合いで比較的柔らかい物を使用することもあります。

また、生産性との兼ね合いから1液タイプの熱硬化型の接着剤を使用していますが、製品の強度(性能)だけでなく音質との兼ね合いから、接着剤一つをとっても簡単には決めることができないのです。

他にもノウハウがあるのですが企業秘密と言うことで、より詳しい話をお聞きになりたい方は弊社の営業担当に直接依頼をして頂ければ、技術担当に依頼してくれると思います。

●終わりに

弊社では、デジタルアンプ用インダクタを小出力用(DBE7210H)から大出力用(7G31A)まで、ピンタイプとSMDタイプを数多く取り揃えてありますので、ご希望のインダクタを必ず見つけることができると思っています。

また、製品のカスタマイズにも対応しておりますので、お気軽に声を掛けて頂ければと思います。



写真-4 7G31A



なお、次回の後編では「デジタルアンプ用インダクタの特性に関する話」を予定していますので、お付き合いのほど宜しくお願い致します。

●お願い

この内容を作成するに当たり、記載内容には十分に注意を払っておりますが、もし記載内容に不具合な点、その他お気付きの点などありましたら、弊社ホームページの問い合わせフォームよりご連絡を頂けますと助かります。また、質問・ご意見などは、今後の参考にさせていただきます。

デジタルアンプ用インダクタの話(後編)

●はじめに

後編の今回は、インダクタの電気的特性に関連した話です。

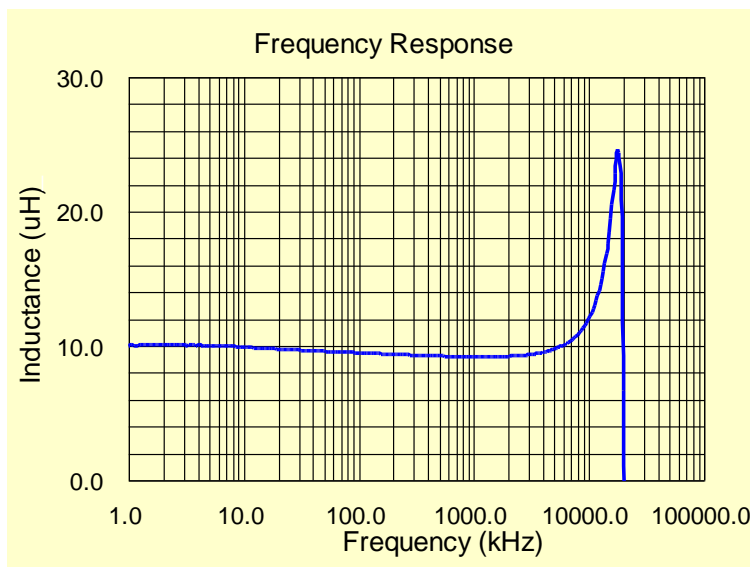
●インダクタンスの周波数特性

弊社のデジタルアンプ用インダクタの一つ、7G14C-100M(10 μ H)の周波数特性をグラフ-1に示しますが、インダクタンスも数MHzまで変化が少なく、非常に良好な周波数特性を持っています。

また、通常のパワーインダクタに対して、このインダクタの場合は Mn-Zn 系のフェライト・コアを使用していますが、周波数特性に大きな差はありません。



写真-1 7G14C



グラフ-1 7G14C-100 周波数特性

一般に、インダクタは自己共振周波数よりも高い周波数では容量性(コンデンサと同じ)となりますので、高い周波数成分は通り抜け易くなります。

従って、フィルタを構成するインダクタの場合、自己共振周波数が高い方が、EMI に関しては有利になります。

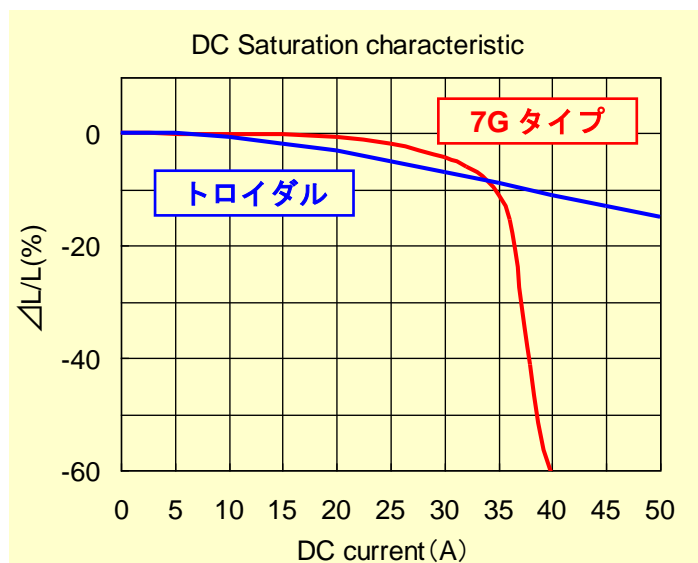
弊社のデジタルアンプ用インダクタは、構造的には EMI に有利なのですが、インダクタンスの周波数特性としては一般的な値です。

●飽和電流特性の違い

弊社の 7G タイプと比較されるインダクタにトロイダル形状のインダクタがありますが、直流電流を流したときの飽和特性(直流重畳特性)を比べると、グラフ-2 のようになります。

トロイダル形状(青線)の場合は、比較的小さな電流からインダクタンスが減少し始めますが、その後は電流の増加ともになだらかに減少していきます。

一方、7G タイプ(赤線)の場合は、トロイダル形状と比較してインダクタンスの低下は少ないのですが、ある電流を境に大きくインダクタンス



グラフ-2 直流重畳特性の比較

の減少が始まります。

電流特性だけを見ると、7Gタイプの方が通常出力範囲ではインダクタンスの変化が少ない分、歪み特性に対しては有利になりますが、大出力時に波形のピークで歪みが発生しやすい傾向になると思われます。

一方、トロイダル形状だと通常出力範囲からピーク時まで、波形の歪みは緩やかな傾向になると思います。

但し、この電流特性の差が最終的に音質に対してどのように現れてくるのかは、実際に音響機器を設計されている方の方が、良くご存じなのではないかと思えます。

●不要輻射

前編で書きましたが、弊社の7Gタイプのインダクタはフェライト・コアで巻線が覆われているので、不要輻射に対して有利な構造になっています。

磁場解析ソフトを使用して、トロイダル形状と7Gタイプで製品を真ん中で切断した形状で、磁束の漏れの状態を比較すると図-1に示したようになります。トロイダル形状は閉磁路構造のコイルになりますが、巻線が見えていることとコアが曲がっていることで、磁束(赤>緑>青)の漏れが発生しているのが分かります。

磁束の漏れが少ないと言うことは、コイルから発生する不要輻射が少ないことと同時に、複数のコイルを近くに配置しても互いに影響することが少ないと言うことなのです。

このため、7Gタイプのインダクタは密着させることが可能になり、弊社の製品には2連(7Wシリーズ)・4連(DRP9210C)と複数のインダクタを並べた製品がラインナップされていて、オーディオ機器の省スペース化に貢献しています。

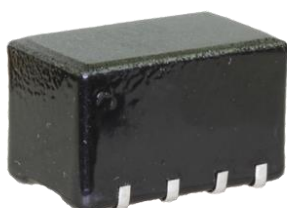


写真-2 DRP9210

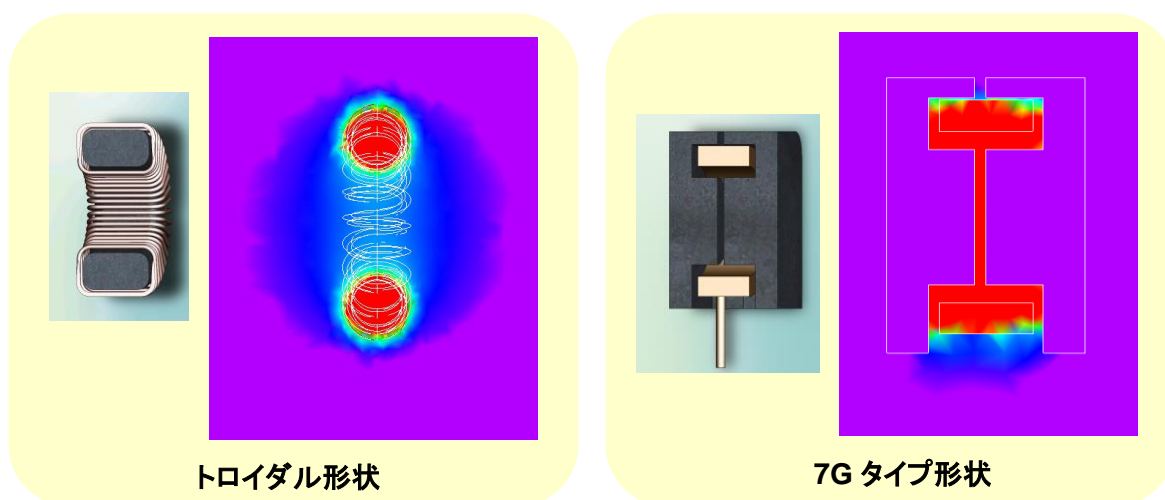


図-1 磁気解析による漏れ磁束の比較

●音鳴り問題

フェライト・コアも、セラミックと同じように電気信号による歪みが僅かながら発生しますが、セラミックと違って電圧ではなく電流(正確には電流による磁界)により歪みが生じます。

通常、インダクタに使用しているフェライト・コアの場合、コアの歪みが直接空気を振動して音が聞こえると言うことはありませんが、次の場合は音として認識できるレベルになることがあります。

- ① フェライト・コア同士あるいは、フェライト・コアと他の部位との接触面が擦れる音。
- ② インダクタの振動が、プリント基板などの他の部分と共振して出る音。

①の場合で、フェライト・コア同士が擦れることが原因の場合は、フェライト・コアをガッチリ固定することが重要になり、他の部位と接触する部分は固定する方法の他に、間に緩衝材を入れることで低減する方法も可能になります。

②の場合も、インダクタ自体の振動を防止することが重要ですが、プリント基板を固定する位置を変更することや増やすなどにより、基板をシッカリ固定すると同時に共振点を可聴周波数の外にすることが、非常に効果的です。

デジタルアンプ用のインダクタの場合は、特に大電流が流れることからインダクタ自体の振動を皆無にすることはできないので、実装試験で十分に確認して頂くことをお願いします。

●音質の話を少し

デジタルアンプ用のインダクタは、パワーアンプの最終出力回路のフィルタとして使用されているので、非常に大きな電流が流れる部品になります(図-2 参照)。

このことから、インダクタの特性によってデジタルアンプの音質に差の出る可能性が、十分に考えられます。

実際にデジタルアンプの周波数特性や歪み特性などを測定して、差が分かる大きさだったら音質にも大きな違いになって現れるでしょうが、これらの測定で差が無くても音質に差が出る場合があります。



写真-3 DBE1010H

残念ながら、現状ではこの差を測定する良い方法が無いようで、人間の耳による視聴でしか評価をすることができません。

将来、音質評価の方法が確立すれば、より正確な音質に対するインダクタの評価も可能になることでしょう。

弊社内でも、インダクタの音質評価を実機に組み込み試聴して行っていますが、評価担当に確認したところ、詳細は非公開とのことでした。

弊社では、BTL 接続(図-2)に最適な 2 in 1 タイプのインダクタも数多く用意しておりますので宜しくお願い致します。

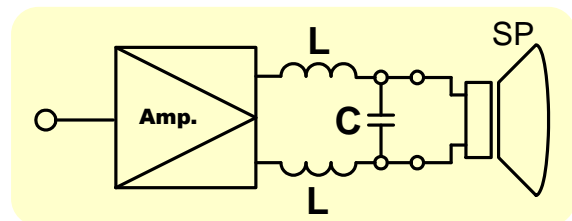


図-2 出力フィルタ回路



●終わりに

今回は2回の連載でしたので、これで終わりになりますが、ご要望の多い話題があれば再び登場しますので、その時は宜しくお願いします。

また、掲載して欲しい項目がありましたら、弊社の担当に声を掛けて頂くと、後日掲載の可能性がでますので宜しくお願い致します。

●著者の紹介

星野 康男

1954 年生まれ。コイルが専門のレジェンド・エンジニア。

1976 年に相模無線製作所(現在のサガミエレクトロニクス株式会社)に入社。入社直後から技術部門に勤続。技術部長・役員を歴任し、顧問として仕事の手助け・後輩の指導を続け 2024 年 3 月末に退職。わかりやすい技術説明には定評があった。

趣味はカメラ📷。好きな動物は猫(と鈴虫)。

●お願い

この内容を作成するに当たり、記載内容には十分に注意を払っておりますが、もし記載内容に不具合な点、その他お気づきの点などありましたら、弊社ホームページの問い合わせフォームよりご連絡を頂けると助かります。また、質問・ご意見なども頂ければ今後の参考にさせていただきます。

※許可無く無断転載、掲載することはお断りします。
Copyright © 2010 サガミエレクトロニクス株式会社

