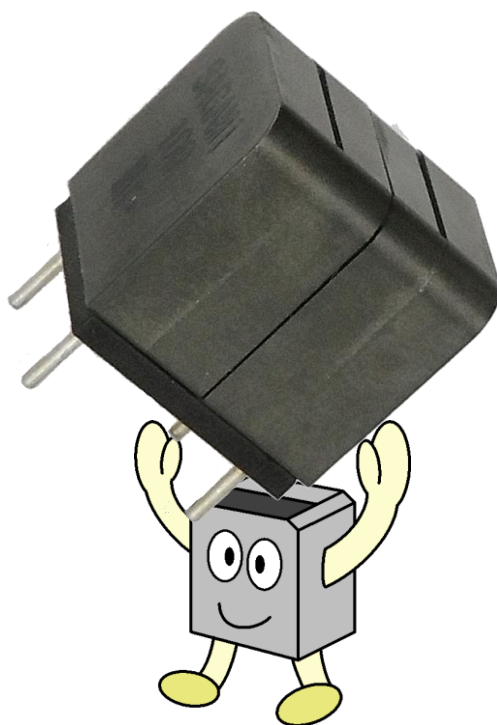


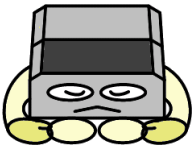
コイルを使う人のための話

第二部



サガミ エレク株式会社

<https://www.sagami-elec.co.jp/>



弊社製品をご使用頂く上でのお願いです。

【コイル製品の保管・取り扱い上の注意】

- コイル製品の保管に当っては、高温・多湿・塵埃・腐食性ガス等の悪環境を避けて下さい。
- コイル製品の乱雑な扱い・落下・バラ積みは避けて下さい。破損の恐れがあります。
- コイル製品端子に直接手を触れないで下さい。脂により半田付け性が劣化する恐れがあります。

【コイル製品の使用上の注意】

- コイル製品端子は折り曲げないで下さい。ストレスによる断線の原因になります。
- コイル製品端子は切断しないで下さい。
- コイル製品の端子 及び ケースラグ部は、全てプリント基板に半田付けして下さい。
- コイル製品の洗浄は避けて下さい。洗浄が必要な場合は、当社にご相談下さい。
- コイル製品の実装位置は、プリント基板の周辺部分はできるだけ避けて下さい。
- 面実装コイル製品は、自動実装を前提に設計しておりますので、手半田の取付けをされる場合は取り扱いに充分ご注意願います。
- 面実装コイル製品のマウントに当っては、巻線露出部分や端子への接触は避けて下さい。
- 面実装コイル製品のリフロー半田付けに当っては、半田付け条件を守って下さい。

目 次

コイルを使う人のための話

第 1 回 互換性のはなし	3
第 2 回 コイルの極性と電流規格のはなし	5
第 3 回 巻線のはなし	7
第 4 回 電線のはなし	9
第 5 回 その他の材料のはなし	11
第 6 回 高周波用のコイルのはなし	13
第 7 回 バルントランスのはなし	16
第 8 回 結合したコイルのはなし	19
第 9 回 仕様のはなし	22
第 10 回 コイルに関わる色々なはなし	25

注意事項

1. 本文中に掲載の製品の一部には、既に生産が終了しているものが含まれています。
2. 記事作成から時間が経過しているため、記載の情報が古いままの内容が含まれています。

コイルを使う人のための話 第2部(第1回)

●はじめに

第2部は、全10回になります。今回もコイルに関連した話題を取り上げていきますので、第1部同様に皆様の参考になれば幸いです。さて、第1回目は「互換性のはなし」です。

宜しく、お願いします。



●完全コンパチとセミ・コンパチ

通常、抵抗・コンデンサやICなどでコンパチ品と言えば「差し替えて、そのまま使用することが可能」なのが一般的ではないでしょうか？ところが、コイルに関して言うと、単純に差し替えて使用できない部品が数多く存在しているように思います。

半導体だと、セカンドソースから出てくるコンパチ品が有名ですが、パッシブ部品(LCR)だとOEMはあってもセカンドソースと言うのは、ほとんど聞くことはありません。

●電気的特性コンパチと物理的なコンパチ

さらに話がややこしくなるのは、パワーインダクタと呼ばれている部品には、形状について業界共通の規格がなく、各社独自の形状を採用していることです。その結果、「電氣的に使用可能か?」「寸法は同じか?」と両面から確認する必要が発生します。

俗に言う「特性コンパチ」、「ピンコンパチ」と言うことになります。すでに、プリント基板が出来あがっている場合などは、まずは「ピンコンパチ(SMDだとパターン・コンパチ?)」が絶対条件になり、電気的特性は後回しになります。

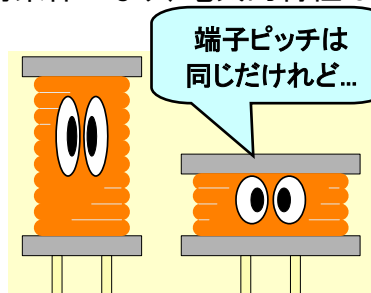


図-1 ピンコンパチと言われても

その昔、端子ピン・タイプが主流でSMDが出る前の話になりますが、この頃はまだ端子ピッチの同じ製品が結構ありました。端子ピッチを合わせることで、他社に置き換えられてしまうデメリットがある一方、自社にとっても製品の移行をスムーズに行えるというメリットが存在していました。

また、ICが出始めたときには、端子ピッチを2.54mm(1/10インチ)の整数倍に合わせることを要望された時代もありました。

その頃に商品化された端子ピン・タイプのインダクタには、端子ピッチが2.5mm、5.0mm、7.5mmのものが数多くあります。

抵抗とコンデンサは、形状を含めて業界で規格化されている部分が多くありますが、一方のコイルは、昔から設計の自由度が大きい(カスタム品を依頼し易い)と言う流れが、今も続いています。「最初に特性ありき」の業界で形状が後から付いてくると言った風潮の中で、SMDにすることで端子の位置の自由度が減り、結果として形状がバラバラになってしまったようです。

●端子の位置が一定しないのは

弊社内でも、製品の設計思想の違いにより、似た形状なのに端子の位置が異なるものがあります。これは、製品を開発するときに優先する特性が異なると、それに伴いコイルの構造が変わり、最終的に端子の位置が限定されて、端子の位置を合わせることができなくなってしまうからです。

写真-1 は、弊社のパワーインダクタの CER80 シリーズと 7E10 シリーズですが、最初に開発された 7E10 シリーズは、端子のコストが高いと言う弱点がありました。そのため、一回り小さな CER80 シリーズのインダクタを開発するときは、見直しを行い敢えて端子の形状を変えることでコストダウンが図られました。

端子の位置を無理して合わせることは、コストからみると非常に難しく、メリットも少ないことが多いので、置き換え品以外では優先順位が低いのです。

*7E10 シリーズ 現在ラインナップされていない製品です



写真-1 CER80 と 7E10 の場合

●コイル各社の互換性の状況

コンデンサと同じサイズのチップインダクタ(写真-2 は、弊社の C1608CB タイプ)や樹脂封止インダクタに関しては、業界で形状が統一されていますが、パワーインダクタに関しては各社独自の形状が多く、統一がされていないのが現状です。

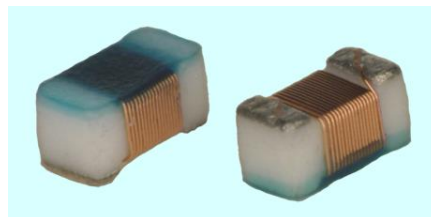


写真-2 標準化された形状の例

各社、形状の近いコイルは用意していますが、端子の形状まで同じ(パターン・コンパチ)と言うのは、どちらかというとも少ないようです。

お客様からの要望を優先して満たすために構造を突き詰めていくと、結果として微妙に形状の異なる製品が数多く出来上がってしまうのです。

特性についても、コンデンサの場合は、容量だけでなく耐電圧にも標準値がありますが、コイルの場合はインダクタンスだけで電流値の標準値はありません。この結果、実力値がそのまま規格に反映されて、似た形状でも微妙に電流値の規格が異なるといったことが発生します。

●端子の形状



写真-3 7G23A

互換性とは離れますが、今でも、大型のコイルの場合は必ずしも SMD である必要はないようです。さすがに、形状が大きいとリフローハンダでは熱容量の関係でハンダ付けが難しいなどのデメリットがいろいろと出てきます。

実際、大型のコイルは重量があるので、基板に確実に固定するには、端子ピンの方がメリットが多いのでしょう。D 級アンプ用インダクタの 7G シリーズも、小形の形状を除けば端子ピンタイプが未だに主流になっています。

写真-3 は大形の 7G23A で、コアのサイズが 23mm と大きいので、ダミー端子 2 本を加えた 4 本端子構造となっています。

●終わりに

本当はコイルを使用した回路の詳しい話が出来ると良いのですが、なにぶんセットの設計実績がありませんので、コイルの開発・設計から得た情報などを基に記載しております。

出来るだけ、コイルを使用する上でお役に立てる情報の提供を心掛けておりますので、今回も暫くの間お付き合い下さい。なお、次回は「コイルの極性のはなし」を予定しています。

(星野)

コイルを使う人のための話 第2部(第2回)

●はじめに

第2回目の今回は、第1部にも掲載しましたが補足を兼ねた「コイルの極性と電流規格のはなし」です。

●コイルの極性の意味

コイルの極性の場合、コイルの直接の動作とは関係ないので電解コンデンサのように極性を間違えると動作しないことはありません。

写真-1は空芯コイルの巻き方向が逆の場合の例で、(A)端子から電流(青色)を流し込んだときに発生する磁力線の極性(方向:紫色)は、左右のコイルで逆方向になります。

また、実際にコイルを巻線するときの巻始めと言うのは存在しますが、写真-1のように対称形のコイルの場合は電気特性上の「巻始め」と言うのは存在しません(A,Bの区別がない)。

本当の意味のコイルの極性表示は、例えば「表示の有る側の端子から電流を流し込んだ場合に、磁力線の向きが上向きになる」と言った取り決めが必要になります。このことは、コイルを供給する側でも分かっていますが、事実上問題が発生していないこともあって、まだ統一されていない状況です。少なくとも、複数のコイルの極性表示を合わせておけば、相互のコイル間の関係は同じになります。

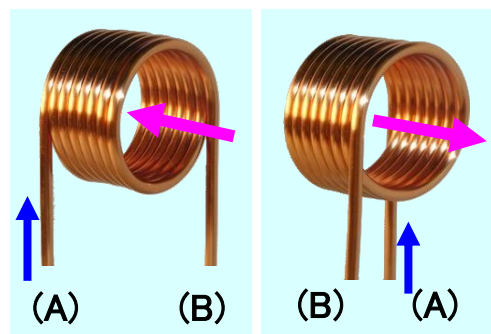


写真-1 空芯コイルの方向

●極性表示のもう一つの意味

例えば、片方の端子がグランド・パターンに接続されるような場合、多層巻きコイルの外側(通常は巻終り側)の端子をグランド側にすることで、シールド効果(グランド側の巻線がコイルの周囲を覆う形になる)が期待できる場合があります。

この場合は、磁力線の方向よりも巻線の位置(巻方向ではなく、巻始めと巻終り)が重要になってきますので、巻始め表示が意味を持てきます。

写真-1の物理的に横向きでは方向性が無い空芯コイルも、写真-2のように縦向きにすると「プリント基板面に遠い面(A:上側)と近い面(B:下側)」といった方向性が出てきます。



写真-2 立てた場合

特に高い周波数の場合は、ホットエンド(電位の高い側)がプリント基板面に近い方か遠い方で、特性差(Qの低下など)が大きく出ることがあります。

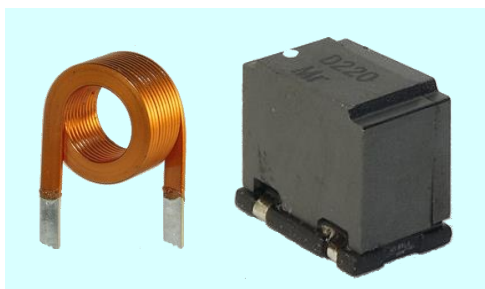


写真-3 DBE7210Hと内部のコイル

写真-3は、デジタル・アンプ用のパワーインダクタDBE7210Hですが、中のコイルは横向きの平角線を使用した空芯コイルがですから、巻線自体の方向性はありません。

ただし、フェライトコアの形状が前後で非対称(異なる形状の2個の組み合わせ)なので、最終的に大きな特性の差はありませんが製品としての方向性が出てきます。

●コイルの電流規格

単純な質問に、「このコイルには、最大何 A まで流せますか？」と言うのがありますが、この質問に回答するには質問の真意を確認する必要があります。理由は、流せる電流について大きく分けて次に3種類が考えられるからです。

- ①これ以上大きな電流を連続して流すと、コイルがダメージを受ける電流値 → 温度上昇許容電流
- ②これ以上大きな電流を流すと、インダクタンスが大きく減少しコイルとして機能が一時的に失われる電流値(コイルは劣化しないので電流が戻れば復帰します) → 直流重畳許容電流
- ③瞬間的に流すことが可能な、最大の電流値

製品の規格としては、これらの値の中から一番小さな値を記載すれば良いとの意見もありますが、実際使用する時のことを考えると、①～③の電流値が同じでない場合が多く、通常は①と②を「温度上昇許容電流」「直流重畳許容電流」として記載することが多いのです。

用途によっては、大きな電流が流れてインダクタンスの値が無くても、壊れないことを求められることもあるようで、2種類の電流規格を記載しています。

ただし、③については通電時間とのコイルが冷えるための休止時間が必要で、条件の組み合わせが無数に考えられるので、一般に規格としては記載していません。

弊社製品の電流規格を改めて調べてみましたが、表-1のようにタイプによって電流規格の値の重み付けが異なっていることが分かります。

「温度上昇許容電流」と「直流重畳許容電流」が同じ値だと分かり易いのかも知れませんが、個々の製品の構造上の差や想定したアプリケーションの違いにより電流値の規格が異なります。

タイプ名	インダクタンス (μ H)	直流重畳 許容電流(A)	温度上昇 許容電流(A)
7G17D	10 $\pm$ 20%	26.0	8.2
7E03NB	10 $\pm$ 20%	0.9	0.9
7E06NA	10 $\pm$ 20%	1.3	2.5

●製品が耐えられる最大電流は

基本的には、「コイルの温度が規定温度以下」と言うのが一つの回答になりますが、規格の何十倍もの電流だと、表面の温度が上がる前に内部が焼けてしまいます。通常、特殊な製品でない限り、定格電流の数倍程度の電流には、短時間であれば十分に耐える(劣化しないと言う意味でインダクタンス値の低下は無視します)ことができます。

電源の投入時などに、定格電流以上の電流が流れていることは、実際には起きていると思われますが、コイルに関して言えば半導体のように少しの定格オーバーで破壊(劣化)することは有りません。

●終わりに

今回は、コイルの仕様の中で分かり難い部分について追加説明をさせて頂きました。なお、次回はコイルを作るときの基本になる「巻線のはなし」を予定しています。

(星野)

何アンペア
かなあ？

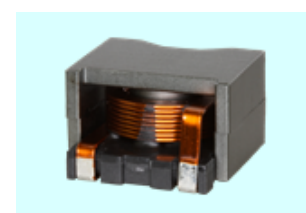
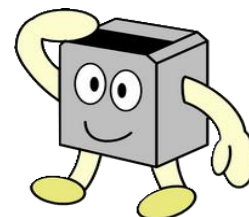


写真-4 大電流インダクタ
CBE1597H

コイルを使う人のための話 第2部(第3回)

軸回しです



●はじめに

第3回目は、コイルを作る上で重要な工程の一つ「巻線のはなし」です。

●軸回しとフライヤー方式

トロイダル・コイルやバルン・トランスのような、穴に電線を通わせて巻線するコイルを除けば、コイルの巻線方法は大きく分けて次の2種類(図-1 参照)になります。

(A) 軸回し方式: 巻線されるボビンやフェライトコアなど本体を回転させて、電線を巻きとりながら巻線を行います。

(B) フライヤー方式: 本体は固定したままで、電線の方を回転させて本体に巻き付けながら巻線を行います。

それぞれの方法は、巻線する上で利点と欠点があり、製品の構造、電線の太さ、巻数などにより使い分けされています。

また、巻線と同時に自動で電線を端子に直接絡げる処理を行う場合も、両方の巻線方法で可能になります。弊社のチップインダクタなどは、フライヤー方式で巻線が行われており、デジタル・アンプ用インダクタの7Gシリーズなどのパワー・インダクタ類は、軸回し方式で巻線されています。

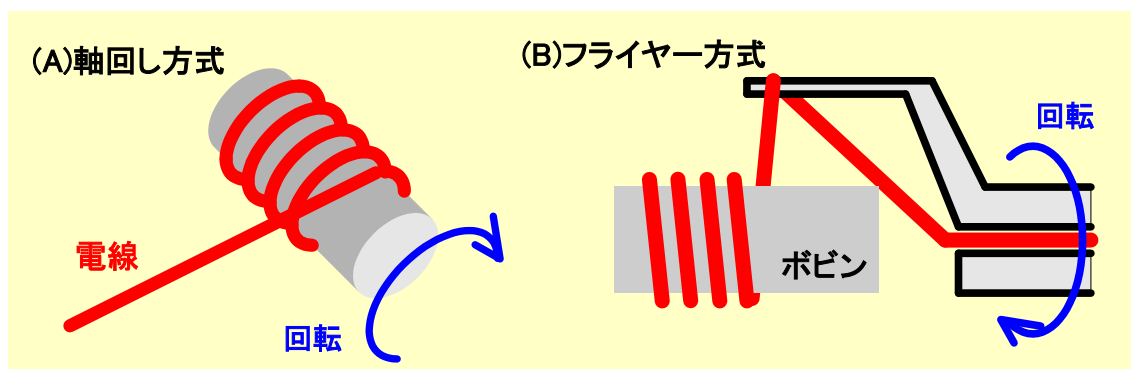


図-1 軸回し方式とフライヤー方式

コイルをバラツキの少ない特性にさせるためには、安定した巻線を行うことが重要で、実際の巻線工程では「電線の張り(電線を一定の力で引っ張っている)」や「送り(巻線を整列させるために、電線を横方向に移動させていく)」の制御を行っています。

●巻始めの電線の問題

一般に巻線の巻始めはコイルの内部から引き出してくる必要があるのですが、超薄型のコイルの場合、その分のスペースが大きな割合になります。図-2のように、巻溝が電線2本分しかない場合で考えると、巻始めの電線の引き出しのための通り道が必要になるので、実際には巻線は1層しか行えません。

また、巻溝の大きさは電線8本分の面積がありますが、実際には約半分の「1層分+巻始めの1本」の5本しか巻線することができません。

超薄型のコイルを作る場合、従来の巻線方法では限界があるので、この無駄部分を利用できるようにする何らかの対応が必要になります。

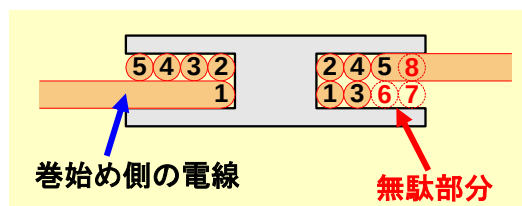


図-2 通常巻線の場合の断面

●巻始めと巻終りの区別の無いα巻線

そこで、この問題を解決するために考え出されたのが、通称「α巻線」と言われる巻線方法です。巻始めと巻終りを外側に向かって同時に巻線することで、電線の端末が内部に取り残されないようになります。

この結果、前項の電線の巻始めの通り道が不要になります。実際に「α巻線」を行うには、それなりの工夫をした巻線機が必要ですが、通常の巻線方法で使えなかった引き出し部分を利用できるようになり、超薄型コイルを実現するのに効果があります。

なお、巻線の状態を上から見るとギリシャ文字の「α」の形に似ているので、こう呼ばれているようです。

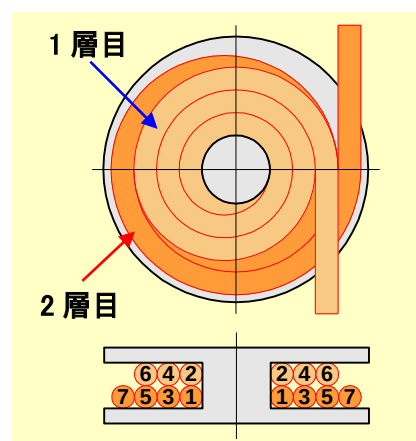


図-3 α巻線

●平角線と丸線での巻方の違い

通常のコイルは、断面の形状が円形の電線が使用されていますが、弊社のデジタル・オーディオ用コイルの一部に使用されている電線に、平角線と呼ばれる電線があります。

平角線は、普通の電線と異なり断面の形状が図-4のように長方形をしていて、電線は帯状の平板になります。平角線を使用したコイルは、この電線を図-4の(B)の方向に曲げて巻線しますが、普通の方法で曲げると写真-1のように歪んでしまって写真-2のように綺麗に巻線することができません。

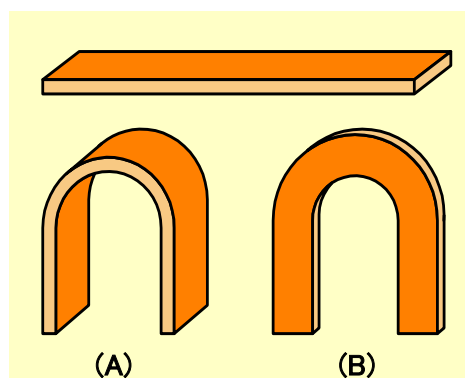


図-4 平角線

断面が丸の場合は、どの方向にも曲げることができるので問題ありませんが、断面が四角形になっただけで、曲がり方に方向性がでけますので、丸線のように簡単に巻線することができなくなります。

では、どのように巻線しているかと言うと、詳しくはお教えできませんが、巻線のとくに電線が写真-1のように倒れて歪まないように固定しながら軸回し方式で巻線を行っています。



写真-1 手で曲げた電線



写真-2 平角線コイル

平角線は、巻線は難しいのですが丸線と比較して高密度(電線間の隙間が無くなる)に巻線できるので、小形で低抵抗(低損失)の高性能なコイルを作る上で最適な電線なのです。

●終わりに

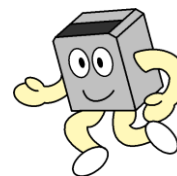
今回は、コイルを作る上で基本工程の巻線についてお話しました。コイルを使う上では直接関係無かったかも知れませんが、多少は参考になると思います。次回は、巻線に関連してコイルの主材料の「電線のはなし」を予定しています。

(星野)

コイルを使う人のための話 第2部(第4回)

●はじめに

第4回目は、コイルの主材料となる「電線のはなし」です。



●マグネットワイヤー

コイルに使用されている電線(エナメル線)は、一般に「コイル形に巻かれて使用される電線」の総称としてマグネットワイヤーと呼ばれていて、コイル以外にもモーター・プランジャ・リレー・電装品などに非常に多く使用されています。

●電線の耐熱区分

電線表面は絶縁処理されていますが、絶縁処理に使用されている塗料(樹脂)の違いにより、耐熱特性の異なる電線があります。一般に、耐熱特性が良い(高い)樹脂ほど、高価で使い勝手が良くないので、用途に合わせて使用する樹脂の種類がたくさんあります。

表-1 は、コイルに使用されている電線の耐熱区分を示したものです(JIS C 4003 を参考)。最近は、SMD コイルが多くなったこともあり、リフローハンダを考慮して電線も E 種(クラス)より、耐熱性の高い F 種が多用されています。

表-1 耐熱クラス及び温度

耐熱クラス	温度 (°C)
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180
200 (H+)	200
220 (C)	220

●電線の種類

コイルに使用されている電線は、表-2 のものが主に使用されています。

これらの電線に改良を加えることで耐熱温度特性を改善した製品もたくさんあり、同じ絶縁材料(皮膜)を使用しているも、電線メーカーにより耐熱区分の異なる電線も存在します。

表-2 主な電線の種類

電線の名称	記号	耐熱区分
ポリウレタン銅線	UEW	E (120°C)
ポリエステル銅線	PEW	F (155°C)
ポリエステルイミド銅線	EIW	H (180°C)
ポリアミドイミド銅線	AIW	H+ (200°C)
ポリイミド銅線	PIW	C (220°C)

●絶縁皮膜の厚さ

コイルに使用している電線は、皮膜の厚さの違いにより、薄い方から順に 3 種、2 種、1 種、0 種と言った区分があります。

当然、耐熱区分が同じならば皮膜の厚い方が絶縁特性は良好になりますが、皮膜の分電線の仕上がり外形(銅線+皮膜の厚さ)が太くなるので、同じボビンに巻線できる巻数が少なくなってしまいます。

同じインダクタンスを取得するためには、仕上がり外形を同じにする(=中心導体の径を細くする)必要があり、皮膜の厚い線の方が直流抵抗は大きくなることを意味します。

参考までに、導体径 0.1mm のポリウレタン銅線(UEW)の場合の寸法を表-3 に掲載しました。

表-3 導体径 0.1mm UEW の皮膜厚

線種	最小皮膜厚 (h)	最大外形 (D)
0 種	0.016 mm	0.156 mm
1 種	0.009 mm	0.140 mm
2 種	0.005 mm	0.125 mm
3 種	0.003 mm	0.118 mm

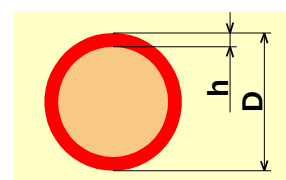


図-1 断面寸法

一般のインダクタの場合、2 種の電線を使用することが多いのですが、より多く巻線するために 3 種を使用することや、絶縁特性をアップするために 1 種を使用することもあります。

●ハンダ付け可能な電線

コイルを作る上で重要な項目の一つに、巻線の端末と製品の端子(ユーザーが使用する端子)との接続方法があります。

電子機器の世界ではハンダ付けによる接続が主流ですが、ハンダ付けする場合はハンダ付する面に不純物が付着していると、ハンダがきれいに流れずに上手く接続することができません。

ありがたいことに、世の中には「ハンダ付け可能なエナメル線」と言うのが存在し、電線の絶縁被膜を付けたままハンダ付けが可能で、多くのコイル・メーカーが、この電線を使用してコイルを生産しています。

この電線を使用することで、写真-1のように電線の端末処理を行うことなく、皮膜が付いたままハンダ付け作業を行うことが可能になります。

ただし、プリント基板をハンダ付けする温度では絶縁皮膜を十分に溶かすことができないので、各社一般のハンダ温度よりも高い温度でハンダ付け作業を行っています。



写真-1 ハンダ前後の状態

●その他の電線

他にも便利な電線があります。その中に自己融着線と言うのがあり、絶縁皮膜の外側に融着層が追加されていて、巻線後に処理をすることで電線同士が接着固定できるようになっています。このため、巻枠になるボビン不要のコイルにすることが可能で、コイルの小形・軽量化に効果があります。

融着層の種類により処理方法が異なり、加熱接着するものと溶剤併用接着するものがあり、CD や DVD のピックアップのコイル、モータなどに良く使用されていますが、インダクタにはあまり使用されていません。

また、電線の表面にナイロン加工を施して巻線時の電線の滑りを良くし、特に巻数が多い場合にも安定した巻線を可能にしたものなどもあります。

●主に使う電線の太さ



一般の電子機器に使用されているコイルは、導体径 $\phi 0.02\text{mm}$ ～ $\phi 1.0\text{mm}$ 位の太さの電線が主に使用されています。髪の毛の太さが平均で 0.07mm 位ですから、結構細い電線も使用されていることが分かります。

写真-2 は、 $\phi 0.8\text{mm}$ の電線を使用しているパワーインダクタの 7G17C と、 $\phi 0.05\text{mm}$ の電線を使用しているチップインダクタ C2012CB です。

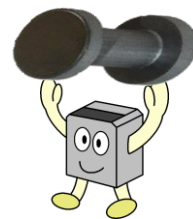
写真-2 7G17C と C2012CB

●終わりに

コイルに使用されている電線も、見かけは似ていますが色々な種類の特性があることが分かって頂けたと思います。次回は、もう1回材料の話から「その他の材料のはなし」を予定しています。

(星野)

コイルを使う人のための話 第2部(第5回)



●はじめに

第5回の今回は、電線以外の主な材料の「その他の材料のはなし」ですが、その中からフェライトコア・樹脂・接着剤についてです。

●フェライトコア

まずは、コイルで電線の次におなじみのフェライトについてです。詳しく知りたい方は、フェライトを生産しているメーカーのホームページ(日本だったら TDK でしょうね！)を参照して頂くとして、ここでは一般的な話をさせていただきます。

フェライトの主成分は酸化鉄ですが、それに混ぜる材料の違いから Mn-Zn(マンガン-亜鉛)と Ni-Zn(ニッケル-亜鉛)の2種類があり、それぞれマンガン系、ニッケル系と一般に呼ばれています。また、保磁力特性の違いからソフトフェライトとハードフェライトがあり、ソフトフェライトは外部磁界が無くなると磁力が無くなり、コイルを始めとした電子部品に使用されています。

ハードフェライトは、外部磁界が無くなっても磁力が残り永久磁石となることから、フェライト磁石として使用されています。ちなみに、「フェライト」は材質名でフェライトコアのコアは「芯」と言う意味になりますが、現在ではフェライトを固めて作った製品をまとめてフェライトコア(磁芯)と呼んでいます。

フェライトコアは、通常フェライトの粉末を金型に入れて成形(プレス)加工し、必要に応じて切削加工を行って形を整えます。粉末は、液体と異なり圧力を掛けても金型の中を自由に移動しないので、樹脂と異なり作ることができる形状に制限があります。

また、フェライトコアは焼成と言ってセラムックス(瀬戸物)と同じように炉を使用して高温で焼きます。この結果、焼成後の形状は焼成前と比較して2割程度小さくなりますが、成形時の圧力の掛かり方により収縮割合に差が出てきます。

このため、フェライトコアの寸法精度を上げるのは非常に難しく、ネジ部や摺り合わせ部分のように寸法精度が必要な製品は、焼成後に切削や研磨加工を行うのが一般的です。写真-1は、弊社の7Gシリーズに使用されているフェライトコアの一例ですが、表面研磨が実施されていて、2個を重ね合わせたときに隙間ができないようになっています。

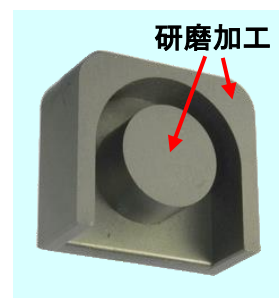


写真-1 研磨加工品

写真-2は、サガミのパワーインダクタに使用されているフェライトコアの例で、左のドラム形状



写真-2 フェライトコアの例

状は直接フェライトコアに巻線を行うタイプで、右のリング形状はコイルの外側に被せて、磁気シールド用として使用しています。

フェライトコアは、高温で焼成するために色が黒っぽくなるので、コイルも黒っぽい色の物が多く、カラー写真を載せてもモノクロ調になるのがちょっと寂しいです！

●樹脂(プラスチック)

コイルに使用する樹脂には、熱可塑性樹脂(加熱すると変形しやすくなる)と熱硬化性樹脂(加熱しても硬さは殆ど変わらない)の2種類がありますが、最近では耐熱特性が上がったこともあり、熱可塑性樹脂を使用される機会が増えていて、現在では樹脂(プラスチック)と言えば熱可塑性樹脂を指すことが多くなりました。

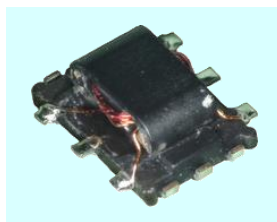


写真-3 4BMH

それでも、写真-3 のバルンコイル 4BMH に使用されているベース（金属端子の付いた樹脂部分のこと）のように、ハンダに直接触れる部分があるため、耐熱性を確保するために熱硬化性樹脂が使用されることも結構あります。

両者の違いは、耐熱特性以外に生産工程があり、一般に熱硬化性樹脂は樹脂成形後にバリ取り加工（樹脂のはみ出し部分の削除＝鋼焼きをイメージすると分かり易い）が追加で必要になり、熱可塑性樹脂に比較して採用が減っている原因の一つになっています。

熱可塑性樹脂の耐熱性を評価する上で軟化点（単位℃）がありますが、樹脂の中には徐々に軟化するものと急激に軟化するものがあり、軟化点が低いから耐熱性が低いとも言えないため、コストや加工性（成形性）も考慮して樹脂が選定されています。

PP（ポリプロピレン）などは、仕様書に記載の軟化点は低いのですが、比較的高温まで自身の形状を維持してくれます。それに対して、ABS など軟化点を越えると一気に変形してしまう傾向の樹脂もあります。

コイル製品に多く使用されている樹脂には、フェノール樹脂・ジアジルフタレート樹脂（熱硬化性樹脂）や、PP（ポリプロピレン）・PET（ポリ-エチレン-テレフタレート）・ナイロン（ポリアミド樹脂）・フッ素樹脂（熱可塑性樹脂）などがあります。写真-4 の 5TKH は、ボビンの柔軟性も必要だったことから、熱硬化性樹脂ではなく耐熱性を考慮して軟化点の高いフッ素系の樹脂のボビンが使用されています。

* 5TKH 現在はラインナップしていない製品です



写真-4 5TKH

●接着剤

接着剤で、物と物を接着できる原理については、未だに分からない点も数多くあると言われているそうです。確かに、どうして金属のようにつるつるの表面どうしを接着剤で接着できるのか不思議です。

最近のインダクタでは、1 液性のエポキシ系接着剤が多く使用されています。これは、接着強度が強いことの他に、接着剤の取り扱いが容易（2 液型の場合は、使用可能な時間が短いことや、残った接着剤が硬化してしまう）なこと、加熱することで比較的短時間で硬化させることができるメリットがあるからです。



写真-5 7G09B

残念ながら、全ての要求（吸湿特性、耐温度衝撃特性、湿特性、硬化特性など）を満たしてくれる接着剤は無いので、使用する製品の特性に合わせて使い分けているのが現状です。接着剤の中には、接着強度が強すぎて、温度変化により接着剤との膨張率の差の影響でフェライトコアにクラックが入ることもあり、色々な評価を行い選定しています。

特殊な例では、写真-5 の 7G09B をはじめとして、デジタル・アンプ用コイルでは「使用する接着剤の違いで音質が変わる」という評価も頂いており、開発担当も接着剤と悪戦苦闘しています。

●終わりに

材料の話は、あまり面白くなかったかも知れませんが、今回で一通り材料の話が終わりましたので、またコイルの話に戻って次回は「高周波用のコイルのはなし」を予定しています。

（星野）

コイルを使う人のための話 第2部(第6回)

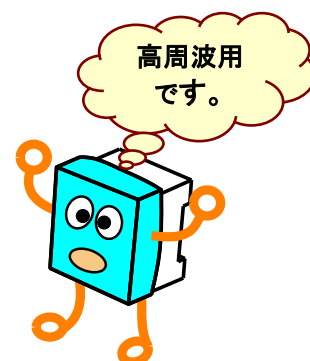
●はじめに

第6回は、パワーインダクタとは用途が異なる「高周波用のコイルのはなし」です。

●高周波？

周波数が高い(数値が大きい)信号を一般に高周波信号と言いますが、ハッキリと「何 kHz 以上の周波数が高周波」とは決まっていないようです。現在だと、MHz 以上だと高周波と言う感じを受けますが、関わっている機器(最近のワイヤレス機器だと GHz が当たり前の世界ですから)によって、感じ方の異なる人がいるでしょうね。

高周波になると、例えば、電線の長さだとか、部品間の容量だとか、色々と考慮すべき事が多くなってきます。



●電線の長さも問題になる

インダクタンスのリアクタンス値(影響の割合)は、「1MHz のときの $1\mu\text{H}$ 」と「1GHz のときの 1nH 」が同じ値になります。

電線の直径 $\phi 0.5\text{mm}$ で長さが 10mm のときのインダクタンスは、概算で 6.8nH だそうですから、周波数によってはリード線ではなく立派なインダクタとして機能(影響)します。

従って、計算で得られたインダクタンスを実際の回路で実現するには、プリント基板上の配線の長さも考慮して、使用するコイルのインダクタンスを決める必要があります。

同じように、電線(パターン)が2本並んでいる場合にできる容量分も、計算はしませんがコイルの自己共振周波数を低下させる原因になるので、同様に考慮する必要があります。

●チップインダクタの出番

携帯電話やワイヤレス機器の高周波化が進んだおかげで、必要とするインダクタンス値も小さくて済むようになり、チップインダクタが大量に使用されるようになりました。

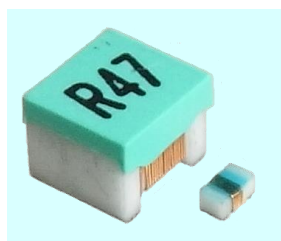


写真-1 大きさの比較

一方、周波数が高いと使用するインダクタンスは nH オーダーになりプリント基板上にパターンで形成することも可能ですが、Q 特性と大きさの問題から、チップインダクタの出番になりました。

写真-1 は、2520 サイズと 1005 サイズのチップインダクタを並べて撮影したのですが、こうして見ると小さいと思われた 1005 サイズですが、最近では大きい部類になってしまいました。

現在は、1005 サイズ以下の巻線タイプのインダクタも世の中にはありますが、さすがに巻線タイプの特長(=Q が高い)が生かし切れなくなり、積層タイプの方が幅を効かせているようです。

●f-Q 特性

写真-2 は 1608 サイズのチップインダクタですが、 33nH のときのインダクタンスと Q の周波数特性をグラフ-1 に示します。

グラフを見ると、インダクタンス値は 1GHz 程度までほとんど一定ですが、Q 値は周波数と共に増加し 1GHz 付近で最大値になった後、急激に低下するのが分かります。

一般のインダクタの周波数特性は、高周波用に関係無く概ねグラフ-1 のような特性曲線になり、またインダクタンスが大きくなると特性曲線の位置は左に移動してきます。

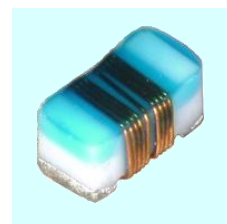
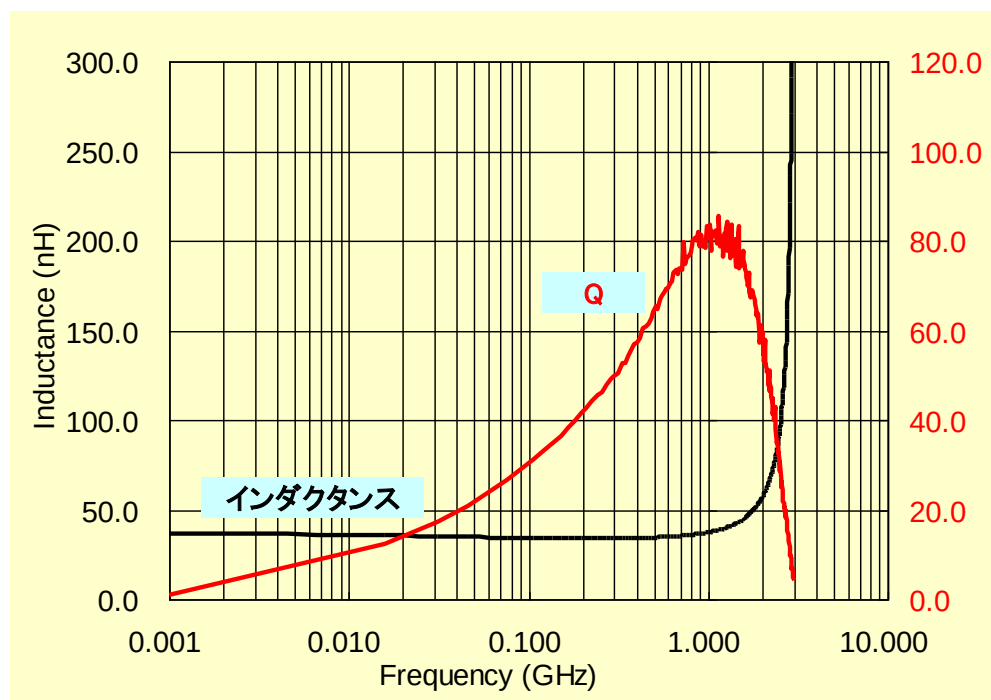


写真-2 C1608CB

実際に使用する周波数が、周波数特性のグラフで、どの辺の位置に有るのか、事前に確認することも重要です。



グラフ-1 C1608CB-33N の周波数特性

インダクタをできる限り Q を高い状態で使用したい場合は、使用周波数で Q 値が一番高くなるインダクタンスを選定(残念ながら、インダクタンスを自由に選べませんが)して、そのインダクタンスが回路で使用可能か検討するのの一つの方法になります。

●High-Q コイル

高周波では直流抵抗はほとんど意味を持たないので、その代わりに Q を用いてコイルの損失の度合いを表しています。一般に、コイルの Q が低いと信号がロスして感度低下が発生したり、VCO などの発信器の場合は C/N(搬送波対雑音比)が低下して信号の純度が低下します。

チューナーのフロントエンドに使用されているインダクタは、受信感度を優先する場合は Q の高い空芯コイルや巻線タイプのチップインダクタが良く採用されています。

損失が小さいから High-Q なのですが、高周波では表皮効果の影響で電線の表面にしか電流が流れません。従って、実際に流すことができる高周波電流は、直流のときに比較して非常に小さな値になります。直流電流の規格だけで判断してコイルを選定すると、高周波のパワー回路では最悪コイルが燃えてしまうこともあります。

●金属でシールド



写真-3 SMD 可変コイル

高周波では、金属板で仕切ることで磁気シールドも含めたシールドを行うことができますが、低周波の場合は磁性材料を使用して、コイルの周囲を覆う必要があります。これは、コイルから出た磁力線が金属を貫通するときに発生する渦電流に関係しています。

高周波になるほど、表皮効果により金属の表面にしか電流が流れませんから、シールド板も薄くて済むことになります(金属メッキでも十分に効果が期待できます)。

磁気シールドと言う意味では、金属板を接地する必要はないの

* SMD 可変コイル 現在はラインナップしていない製品です

ですが、接地しないと金属板自体が他の部分と容量結合してノイズを拾ってしまうことがあるので、金属板をプリント基板のグランドに接地しておけば静電シールドも同時に行うことができます。

それ以外にも、機械的な強度が上がりますので、写真-3のような金属ケース付きのコイルの場合は、必ず金属端子を接地してお使い下さい。間違いなく、トラブル発生の要因を減らすことができます。

●周囲の影響

高周波用のコイルでは、Q 値を高くするために開磁路タイプの製品が多くあります。従って、コイルの周囲に磁性体が有ればインダクタンスが増加し、金属(電解コンデンサのアルミ外装)が有るとインダクタンスが減少し、また Q が低下することがあります。

コイルの周囲に金属板を配置する場合は、コイルから出る磁力線が金属板を貫通しない方向にすると、影響を小さくすることができます。

●測定の難しさ(nH のコイルの場合)

インダクタンスを測定する場合は、残留インダクタンスや浮遊容量の影響を取り除いて行わなければならないので、小さい部品を測定する割には装置が大きくなります。まして、温度特性などの室温以外の条件で測定するとなると、非常に大変な作業になります。

参考までに、写真-4 にチップインダクタの測定に使用しているユニット(市販の測定器のユニットです)を掲載します。なお、測定そのものは測定器が測定結果に対して補正まで行ってくれるので、難しいと言うことはありません。



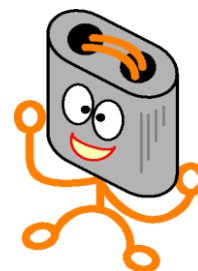
写真-4 測定ユニットの例

●終わりに

次回も今回に引き続き、高周波コイルに分類される「バルントランスのはなし」を予定しています。

(星野)

コイルを使う人のための話 第2部(第7回)



●はじめに

第7回のタイトルは「バルントランスのはなし」ですが、一般的な高周波用トランスに関する内容です。

●高周波トランス用のフェライトコア



写真-1

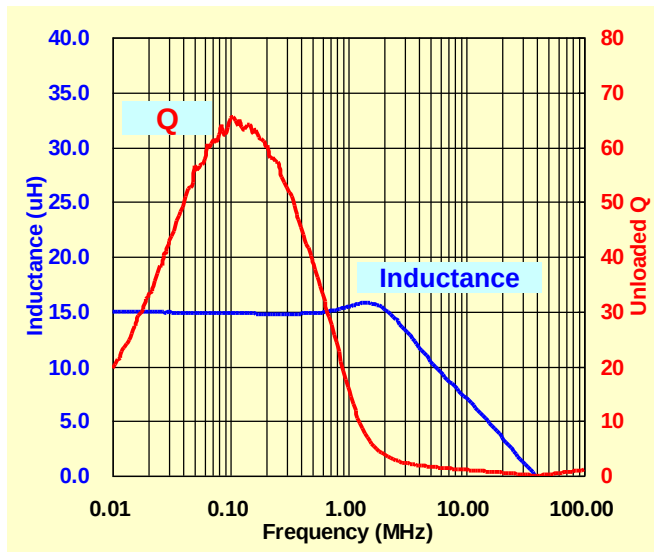
事情が異なっています。

試しに、トランスを評価したフェライトコア(写真-1)に巻線をして、インダクタンスとQの周波数特性を測定した結果を、グラフ-1に示します。

この特性だけで判断すると、とても数百MHzの高周波で使える代物とは思えませんが、トランスとしては立派に機能します。

高周波用のトランスにもフェライトが、多く使用されています。使用されているフェライトコアの大半は、インダクタとしてずっと低い周波数で使用されている材質と同じものです。

インダクタの場合は、フェライト材質の周波数特性が直接Q特性に影響しますが、トランスの場合はチョット



グラフ-1 インダクタンス特性

●接続の違いによる特性の違い

高周波用トランスの場合、電線をツイストして巻線間の結合を強くすると同時に安定させることがあります。但し、電線をツイストすることで巻線間の容量(結合)も増えることになり、この容量分の影響でトランスの接続方向により、特に高い周波数で特性に大きな差が出る場合があります。

今回は、写真-2に示すように2個の穴の内側に巻線したトランスを作成して評価をしました。

次ページのグラフ-2は、巻数比1:1のトランスで、図-1の(A)接続と(B)接続の場合の周波数特性を測定したものです。巻線間の容量分Ccの影響で、(B)接続では帯域内に共振点ができてしまうのが分かります。このように、チョットした接続の違いでも特性に大きく影響することがあります。



写真-2 評価したトランス

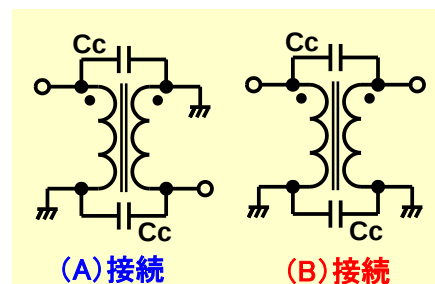


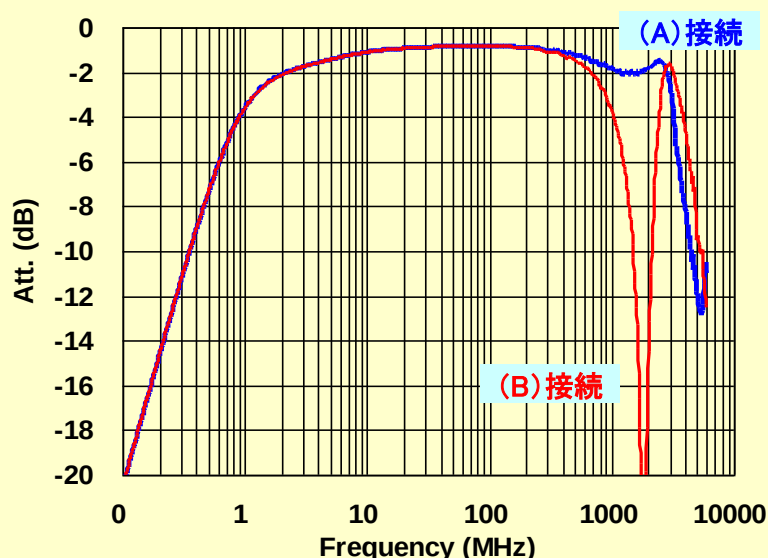
図-1 接続方法

(A)接続の場合は、Ccの片側がグランドに落ちているので、高域特性がユックリと落ちてきますが、(B)接続の場合は、ホットエンド間の結合コンデンサになるので、トランスのインダクタンス分と共振現象を起こして、帯域内に減衰極が発生します。

トランスの周波数特性は、低周波側の特性は、ほぼトランスの自己インダクタンスで決まっています。

低周波側を広げるには、インダクタンスを大きくする必要がありますので、巻数を増やすか（高周波側の特性が落ちてくる）透磁率の高いフェライトコア（＝低周波用のコア材になる）を使う必要があります。

高い方は、逆に巻数を減らしてインダクタンスを減らす必要があります。



グラフ-2 接続の違いと周波数特性

●インピーダンス変換

高周波用トランスの主な用途は、インピーダンス変換や平衡-不平衡変換、または両方になります。インピーダンス変換は、一般にアンテナとの接続部分や高周波増幅器の入出力のマッチングに必要になります。平衡・不平衡変換は、アンテナ回路や差動入力回路で使用されます。

アンテナ回路に用いられるバルントランスに、図-2 に示した回路のトランス（写真-3 のような巻線になります）がありますが、これも図-3 のように展開してみると、巻数比 1:2（インピーダンス比 1:4）のトランスだと言うことが良く分かると思います。

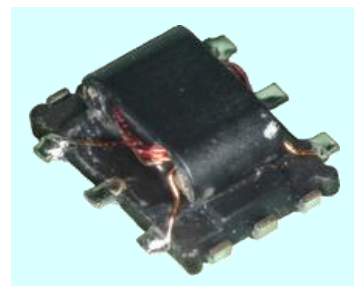


写真-2 バルン 4BMH



写真-3 4BLH

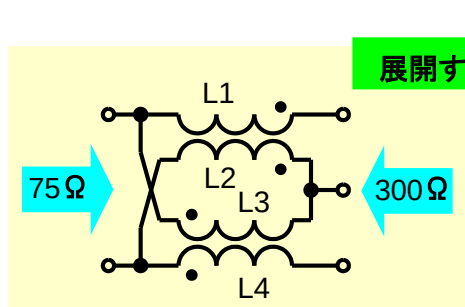


図-2 バルントランスの接続例

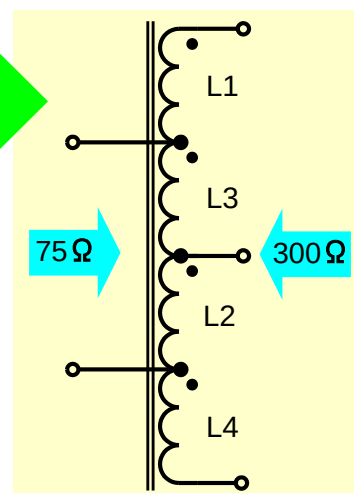


図-3 書き直した接続

図-4 の接続で、巻数比が 1:2 のトランスの特性を実際に測定してみたのがグラフ-3 になります。インピーダンスは、巻数比の二乗に比例するので 75Ω の抵抗がトランスを入れるこ

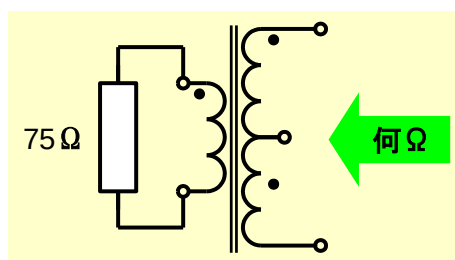
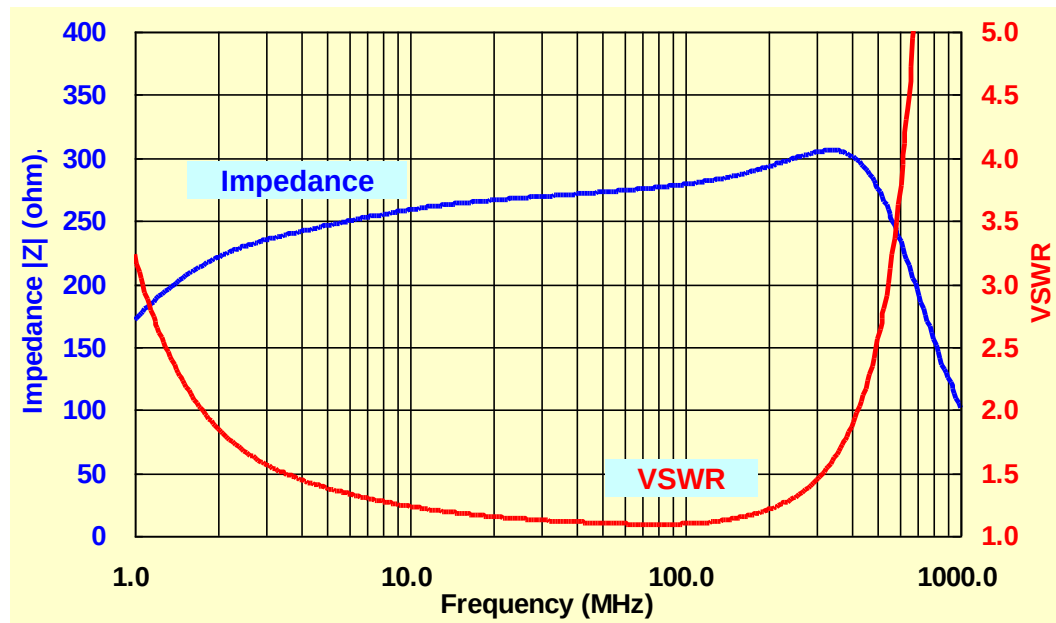


図-4 巻数比 1:2

とで 4 倍の 300Ω に見えるようになります。

測定されたインピーダンスから、VSWR の値も計算して合わせて載せてあります。

このように、トランスを使用すると、非常に広い範囲でインピーダンス変換が可能になり、高周波回路で必要なインピーダンス・マッチングを行うことができます。



グラフ-3 インピーダンス特性と VSWR

●高周波回路は面白い

よく言われる「太く、短く」+インピーダンス整合に気をつけることが、ポイントの一つだと思います。

他にも、高周波の世界では、上の例のように回路記号上は同じでも接続を変えることで特性が変わることもあるし、物理的に完全に対象形でない部品の場合は、取り付け方向が変わることで特性に変化が生じることもあります。

しかし、最近では高周波用のシミュレータ・ソフトの性能が上がって、残留インダクタンスや浮遊容量を考慮することで、実際の回路を組まなくても性能評価が現実に近いレベルで可能になったようです。

それでも、高周波回路では実際に回路を組み上げて動作確認すると、予想外の結果が出ることも数多くあります。

高周波用部品においても同じ事が言える訳ですが、それだけに面白みの残っている分野(仕事)だと思います。

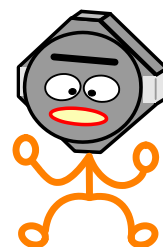
今回、この文章作成のために久しぶりに高周波の測定をしてみて感じましたが、1GHz 位までだったら比較的問題は少ないのですが、2GHz を越えるとシッカリした方法で測定しないと値が怪しくなるのが良く分かりました。やはり、高周波(超高周波?)は難しい(面白い)ですね。

●終わりに

さて、高周波用コイルの話は今回で終わりにして、次回は「結合したコイルのはなし」を予定しています。

(星野)

コイルを使う人のための話 第2部(第8回)



●はじめに

第8回の今回は、「結合したコイルのはなし」です。コイルからは磁力線が出ますので、簡単にコイル同士を結合させることができます。

●結合した2個のコイル

結合した2個のコイル L_1 、 L_2 は、図-1 のように結合していないコイルで表すことができます。このとき、結合係数 $k = 1.0$ は完全な結合を表し1個のコイルに、 $k = 0$ は結合していない状態を表し単に2個のコイルとなり、それ以外では3個のコイルとして表すことができます(図-1 は、プラス結合の場合を示しています)。

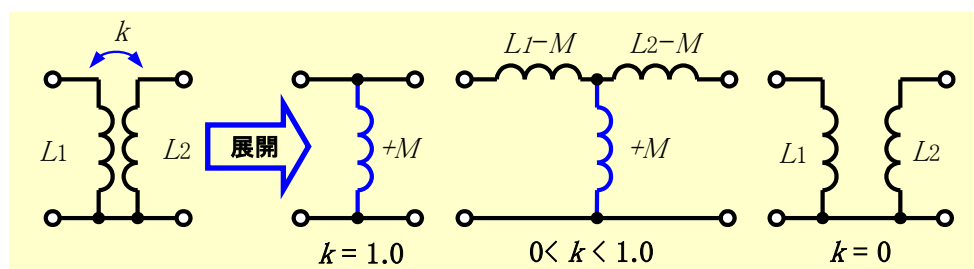


図-1 結合したコイルを展開

●結合係数

コイル間の結合の度合いを表す結合係数 k は、結合したコイルの一端を図-2 のように接続して、 L_1 、 L_2 、 L_3 の値を測定し、次の計算式から求めることができます。

$$k = \frac{(L_1 + L_2 - L_3)}{2 \times \sqrt{L_1 \times L_2}} \quad \text{----- (1)}$$

$L_1 = (1) - (2)$ 間インダクタンス、 $L_2 = (3) - (4)$ 間インダクタンス

$L_3 = (1) - (3)$ 間インダクタンス

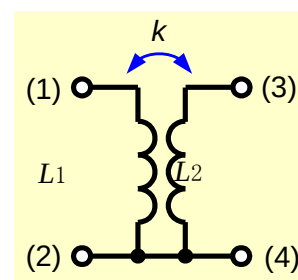


図-2 接続図



写真-1 3枚ツバ

試しに、オーディオフィルタ用に使用していた3枚ツバ・ドラムコア(写真-1)の結合係数を測定した結果を表-1 に示します。

コイルの極性の関係で L_3 の値が2種類になりますが、 M の絶対値と結合係数は同じ値になります。

表-1 測定結果

結合係数 k	M	L_1	L_2	L_3
0.287	+12.85 μ H	44.78 μ H	44.65 μ H	63.74 μ H
0.288	-12.89 μ H	44.78 μ H	44.65 μ H	115.21 μ H

●3個目のコイル

図-1 の回路で、 $+M$ 表記とプラス記号が付いた表記になっているのは、コイルの結合の極性で3個目のインダクタンスの値が、プラス(+)になるかマイナス(-)になるか、変わるからです。

図-3 の左の極性だとプラス(+)になり、右の極性だとマイナス(-)になります。

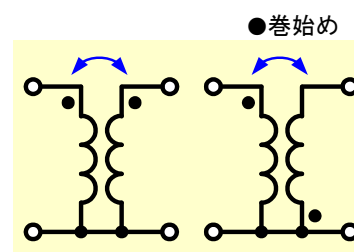


図-3 コイルの極性

●コイルが結合した場合の特性例

図-4 の 3 次の LC フィルタで、L1 と L2 の結合係数 k だけ変えて周波数特性を計算してみました。

グラフ-1 は、結合無し($k = 0$: 青線)、結合係数 $k = +0.3$ (黒線)と $k = -0.3$ (赤線) の場合の周波数特性の計算結果です。

コイルの結合の有無と極性で、フィルタの周波数特性が大きく変化するのが分かります。

特に、結合の極性が+の場合は、3 個目のコイル(図-1 の青色のコイル)とコンデンサ C2 の共振による減衰極が発生しています。

本来ならばもう 1 個インダクタが必要な特性を、コイルの結合を利用することで可能になります。

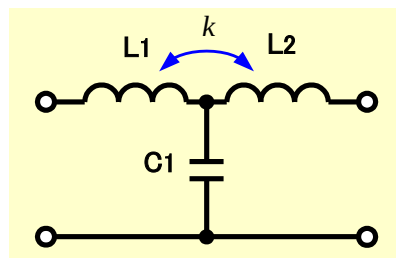
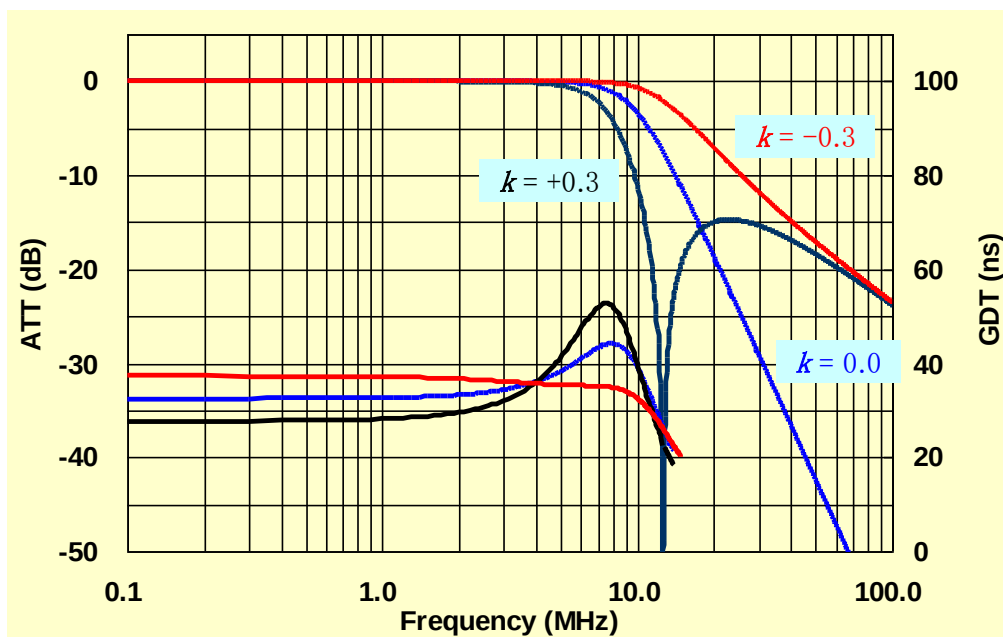


図-4 3次LCフィルタ



グラフ-1 コイルの結合による周波数特性の違い

逆に、コイルが結合すると想定していた特性と異なる周波数特になることがありますので、開磁路インダクタを使用して LC フィルタを構成する場合は、コイルの配置(コイル間の結合)にも気を付ける必要があります。

●結合で現れるコイルを利用

実際には目に見えない 3 個目のコイルを利用しない手はなく、アナログ回路が全盛の時代には LC フィルタを構成するときに積極的に利用した製品が多くありました。

残念ながら、回路のデジタル化が進んだ現在は、これらの LC フィルタも使用される機会が激減してしまいました。

●もう一つの利用方法ラインフィルタ)

ラインフィルタの回路の一例として、図-5 のような回路があります。T1(結合係数 $k = 1.0$ のコイル)がコモンモード用のコイル、L1 と L2 がノーマルモード用コイルとして機能し、ノイズを除去します。

ここで、T1 の結合係数 k を 1.0 よりも小さくなるように、コイル間の結合を弱めると、図-1 のように 2 個の

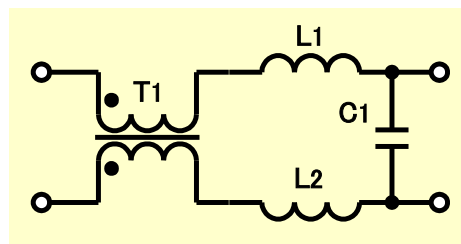


図-5 ラインフィルタの例

コイル($L1-M$ 、 $L2-M$)が表れてきます。

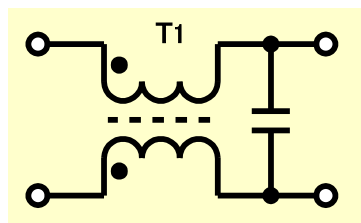


図-6 コイル削減回路

このコイルを、図-5の $L1$ と $L2$ の代わりに使うことで、現実のコイルを無くして、図-6のようにしてしまおうと言うものです。

コモンモード用のコイルは、ノーマルモード信号(必要な信号)に対しては無いのと同じですが、実際にはノーマルモード信号にも不必要な高周波信号が含まれていることもあります。

このような場合に、部品点数を増やさずに不必要な高周波信号を減衰させることが可能になります。

また、結合係数が1.0の時は、磁束の向きが反対で打ち消す方向に巻線されているので、コイルの磁気飽和を考慮する必要がありません。

しかし、ノーマルモード信号はノイズ信号に比較して電圧が大きいので、結合を小さくしたことで出てきたインダクタを流れる電流による飽和を考慮する必要が出てきます。

結合を利用することの発想は良いのですが、大きな電流が流れる回路用では、飽和を避けるために製品の形状が大きくなってしまい、コイルを削減できるメリットが薄れてしまうこともあります。

写真-2は、2ch分を一体化した弊社のデジタルアンプ用インダクタですが、実装工数の削減を目的とした2個のコイルを合体させた製品で、結合をさせない事を前提にした製品となっています。

第1部の11回目に紹介しましたが、このタイプのインダクタのコイル間の結合は非常に小さい値で、結合係数は、ほぼゼロ(結合していない)になります。

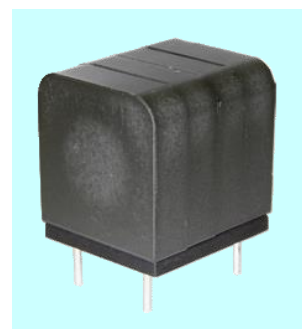


写真-2 7W14A

●終わりに

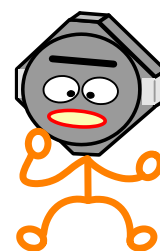
コンデンサには無いコイルの結合も、上手く利用することで製品の小型化が可能になることもあります。さて、次回は「特殊コイルのはなし」を予定していますが、もしかしたら内容を変更するかも知れません。

(星野)

コイルを使う人のための話 第2部(第9回)

●はじめに

第9回の今回は、前回の予告を変更して「仕様のはなし」です。
コイルの仕様の各項目の内容については、第1部で説明済みなので、今回は別の話をすることにします。



●概算値を知る

あるインダクタンスから別のインダクタンスに変えた場合に、インダクタンス以外の特性がどの程度変化するのか、概算値で良いので知りたいことがあります。

もちろん、インダクタの仕様一覧をみれば直ぐに分かるのですが、一覧表が無くても概算値(正式な値ではありません)を簡単な計算で知ることができます。

実際の概算値の計算方法ですが、次のような変換を行います。

※インダクタンス値が k 倍 ($k = \text{知りたいインダクタンス} / \text{既知のインダクタンス}$) になると、

- 直流抵抗値は、インダクタンスと同様に k 倍になります。
- 直流重畳電流は、 $1/\sqrt{k}$ 倍になります。
- 温度上昇電流は、 $1/\sqrt{k}$ 倍(直流抵抗が k 倍になるので)になります。

なぜ、このような計算式で概算値が求められるのかは、一般のインダクタの場合には次のような関係があるからです。

- ①インダクタンス値は、巻数の二乗に比例する(インダクタンスの計算式参照)。
 - 巻数が2倍になると、インダクタンス値は $4 (= 2^2)$ 倍になる。
- ②同一形状(構造)の場合、電流値 $\times$ 巻数の値(アンペア・ターン)は一定。
 - 巻数が2倍になると、直流重畳電流は $1/2$ 倍になる。
- ③巻線する巻溝部分の占有率は、インダクタンス値に関係無く一定で均一。
 - 電線径が2倍になると、最大巻数は $1/4 (= 1/2^2)$ 倍になる。

実際のインダクタの場合、100%上記の関係を満たしている訳ではないので、計算式で得られる値も誤差を含みますから概算値になります。



写真-1 CER8042B

実際に、弊社のパワーインダクタ CER8042B の仕様で確認した内容を表-1 に、7E04NA の仕様で確認した内容を表-2 に示します。

確認方法は、一番上のインダクタンスの規格値(または実力値)を基準(赤字)にして、残りのインダクタンスの概算値(青字)を求めて比較してみました。

形状やインダクタンスによりバラツキも有りますが、まずは概値として利用できる範囲だと思いませんか？

表-1 概算値の確認結果(CER8042B の場合)

インダクタンス	CER8042B					
	DCR(Ω)		直流重畳電流(mA)		温度上昇電流(mA)	
	実力値	概算値	規格値	概算値	規格値	概算値
10 μ H	0.04	—	4,500	—	2,950	—
47 μ H	0.168	0.188	2,000	2,080	1,450	1,360
100 μ H	0.359	0.400	1,400	1,420	1000	930

表-2 概算値の確認結果(7E04NA の場合)

インダクタンス	7E04NA					
	DCR(Ω)		直流重畳電流(mA)		温度上昇電流(mA)	
	実力値	概算値	規格値	概算値	規格値	概算値
5.1 μH	0.035	—	1,000	—	2,300	—
10 μH	0.072	0.069	750	714	1,500	1,643
47 μH	0.330	0.323	340	329	650	758

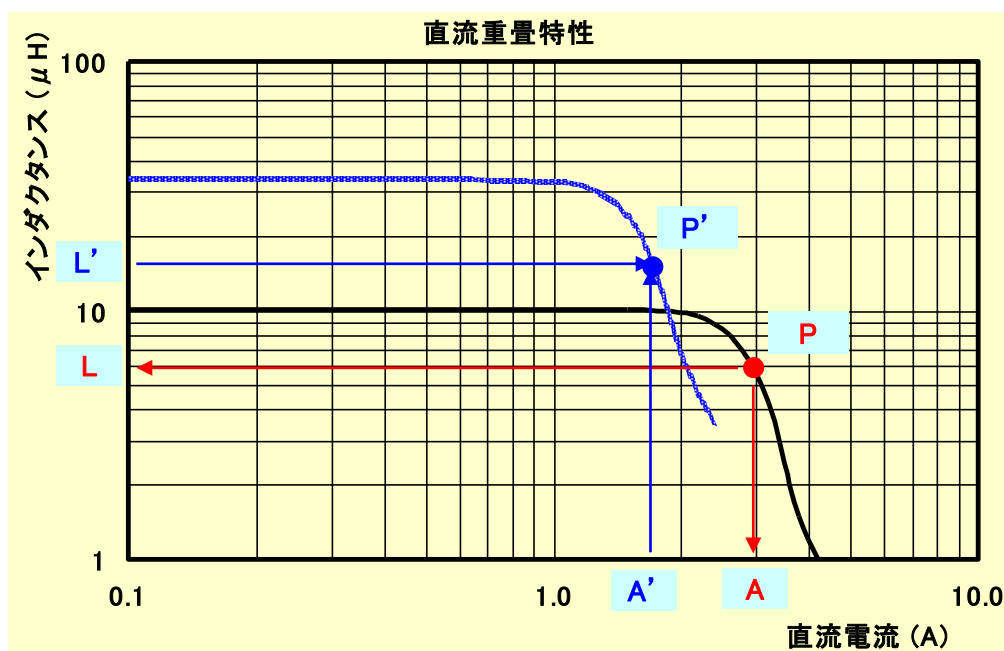
●特性グラフの場合

グラフ-1 のような直流重畳特性があり、例えば 10 μH の特性曲線(黒線)しかなかったとしても、他のインダクタンスの直流重畳特性の値を知ることができます。

方法は簡単で、例えば、33 μH の特性が知りたい場合は、次のように行います。

- ① 10 μH のグラフ上の P 点の電流値 A とインダクタンス L を読み取ります。
- ② 電流値 $A' = A \times \sqrt{10/33}$ 、インダクタンス $L' = L \times \sqrt{33/10}$ を求めます。
- ③ A' と L' で示される点、P' をプロットします。
- ④ P 点の位置を変えて、P' をプロット(青線)していきます。

あるいは、10 μH でインダクタンスが 30%低下するときの電流値 A を求めれば、33 μH でインダクタンスが 30%低下する電流値は、 $A' = A \times \sqrt{10/33}$ で求めることができます。



グラフ-1 直流重畳特性の変換

●周囲温度とコイルの発熱(ΔT)

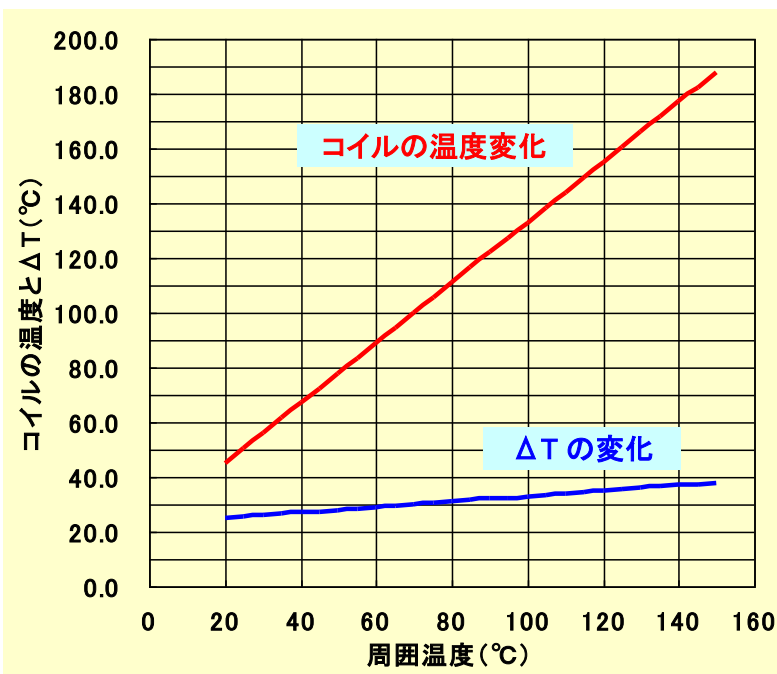
周囲温度が常温(例えば+20℃)の時のコイルの発熱 ΔT(全て直流電流による発熱とする)が分かれば、周囲温度が上昇した時のコイルの発熱 ΔT' (常温時と同じ直流電流とします)の概算値を計算で知ることができます。

コイルに使用している銅線の直流抵抗値は、プラスの温度係数を持っていますので、周囲温度が上がるとコイルの直流抵抗も増加し、コイルの電流値が変わらなくても発熱は増加します。

従って、周囲温度が上昇したときの発熱は、この抵抗値の増加も考慮する必要がありますが、ここでは結果だけを示します。

常温 T_0 (例えば $+20^{\circ}\text{C}$) の時のコイルの発熱を ΔT_0 とし、周囲温度が T_a のときの発熱 ΔT_a の概算値は、次の式で求めることができます。なお、銅線の直流抵抗の計算が関係するので、0.92 や 0.004 と言った数値が出てきます。

$$\Delta T_a \approx 0.92 \times \Delta T_0 + (0.92 + 0.004 \times (\Delta T_0 + T_0)) \times T_a - T_a$$



グラフ-2 周囲温度と温度上昇

グラフ-2 は、周囲温度 T_0 が 20°C のときに $\Delta T_0 = 25^{\circ}\text{C}$ のコイルを、周囲温度を上昇させたときの温度変化(赤線)と温度上昇 ΔT_a (青線) の変化を示したものです。

周囲温度の上昇と共に、 ΔT も増加することは、回路の損失が増加することを意味します。

従って、周囲温度ができるだけ上がらないようにすることは、電源回路の場合は変換効率を低下させないことを意味します。

●利用上のお願い

今回お話した内容は、理想状態を想定(求める特性に関係無い項目は無視します)して計算してあります。

従って、実際と必ずしも一致しない場合もありますので、あくまでも概算を知るための方法と思って下さい。

また、製品の構造・その他の要因により、概算値が大きく異なる場合も有ります。

写真-2 のデジタルアンプ用コイルの場合も、コイルの構造が特殊なので、うまく概算が求められない可能性が大きいです。

* DBF1057H 現在はラインナップしていない製品です。

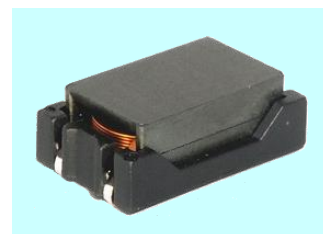


写真-2 薄型デジタルアンプ用
DBF1057H

●終わりに

早いもので、第2部も次回で最終回を迎えます。最終回は、残った話題をまとめた「コイルに関わる色々なはなし」を予定しています。

(星野)

コイルを使う人のための話 第 2 部(第 10 回)

●はじめに

最終回は、締めくくりと言うことで「コイルに関わるはなし」として、この連載記事のために調べた内容で、チョット気になった点の中から幾つか取り上げてみました。

●電気用図記号

回路図を書くときに使用する記号のことですが、JIS のタイトルで「電気用図記号」となっています。この記号ですが、1997 年に IEC 規格の変更に伴い JIS 規格も変更になりました。この変更で、大きく変わったのが抵抗器で図-1 のようになりました。

コイルも、図-2 のようになりましたので、この連載でも途中で気が付きコイルの記号の方は変更しましたのが、抵抗に関しては見易さもあって従来の表記を採用しています。

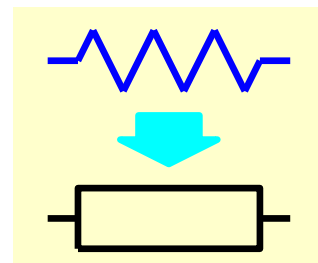


図-1 抵抗器

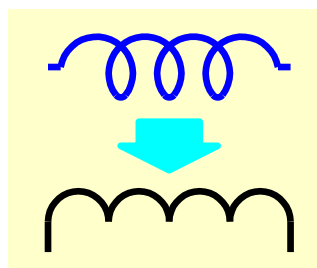


図-2 インダクタ

世の中でも、抵抗器に関しては両方の表記が混在しているのが現状ですが、既に学校の教科書の表記は 2004 年から変更になっているようです。この先は、従来の記号を知らない人が増えてくるのでしょうか。

もちろん、IEC 規格や JIS 規格では、規格書内に使用する記号などは新しい表記を採用しています。皆さんは、どちらを採用しているのでしょうか？ なお、他の部品の記号も合わせて、詳しく知りたい方は、JIS C 0617 電気用図記号 をご覧下さい。

●プリント基板とプリント配線板

日本ではあまり気にしていないように思えますが、英語圏の世界では区別されているようです。ちなみに、部品を実装する前の状態がプリント配線板(PWB:Print Wiring Board)で、部品を実装した物(回路として機能する物)がプリント(回路)基板(PCB:Print Circuit Board)だそうで、確かに言われてみると両者の違いは分かりますね。

例えば、PWB の不良と PCB の不良では、意味している内容が全く異なる訳で、そういう面では使い分けをした方が分かり易いのかも知れません。

●4 端子の効果は大きい

電子部品の取り付け強度(プリント基板からの剥離強度)は、重量が同じならば端子の面積(大きさ)と位置により大きく変わってきます。また、落下時の衝撃の大きさは、コンクリートのような堅い物の場合は数千 G(但し、作用時間は短い)になると言われています。

うこのため、2 端子構造のコイルの場合は、衝撃を受ける方向(一般に、端子の無い方向からの衝撃に弱い)により耐衝撃性に差があり、最悪の場合破損してコイルがプリント基板から外れてしまう場合もあります。

これを、写真-1 のように 4 端子構造のコイルにすると、端子数が追加になって接地面積が増えた以上に、落下衝撃に対する耐衝撃性が大きく向上します。

写真-1 の CVE1918HA は、4 端子構造にすることで耐衝撃性を大幅に改善した、車載用のインダクタとして開発されています。



写真-1 CVE1918HA

●トロイダルコイルの巻数

トロイダルコイルの巻数は、通常コアの穴の中を貫通した電線の本数が巻数になります。

従って、写真-2の(A)と(B)では見た目は異なりますが同じ巻数(写真の場合は1回)になります。

参考までに、写真-2の(A)と(B)のコイルのインダクタンスを測定してみました。どちらの場合も約 $2.0\mu\text{H}$ (at 100 kHz) になりました。従って、実装するときに、どちらの形状になってもインダクタンスは変わりません。

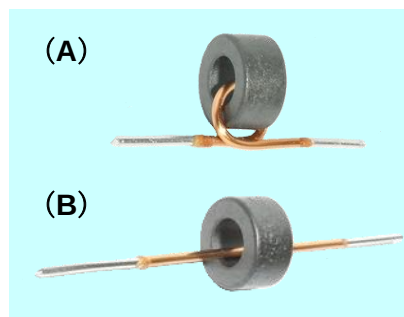


写真-2 トロイダルの巻数



写真-3

また、第7回の高周波トランスで出てきた写真-3の穴が2個のフェライトコアの場合は、片方の穴を貫通すると1/2回(両方で1回)になります。しかし、1/2回と1回の両方で実際にインダクタンスを測定してみたら、インダクタンスは1:4(巻数の二乗)ではなく約1:2でした。

写真-3のコア形状の場合は、図-3のように、2個のトロイダルコイルが直列

につながったと考えられるので、

$$L_X = L_1 + L_2$$

と考えることができるからでしょう。

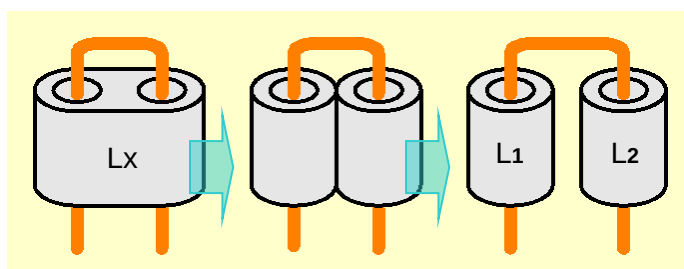


図-3 バルトランスの巻線

●フィルタ回路の違い

例えば、3次のL.P.F.には図-4のようにコイルが2個のT形回路と1個のπ形回路があります。このL.P.F.の周波数特性はどちらも同じ特性になりますが、帯域外の高い周波数で考えると、インダクタは開放、コンデンサは短絡と同じになるので、図-5のように置きかえることができます。

ここで、外部からのノイズが信号ラインに載ったときのことを考えてみると、C-L-Cのπ形回路の方はフィルタの両端が短絡(インピーダンスが低い)される形で終わっているの、ノイズはグラウンドに流れます。

ノイズを考慮して考えると、高い周波数でインピーダンスが低くなる図-4のC-L-Cのπ形回路の方が良さそうです。しかし、コイルメーカとしては、L-C-Lの方を採用して欲しいですね...

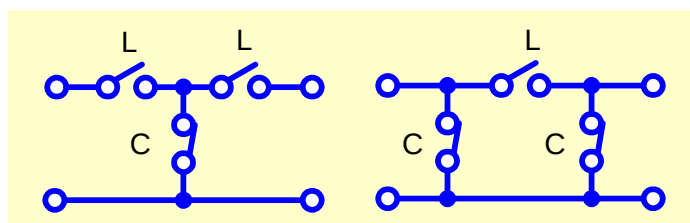


図-5 T形とπ形の違い

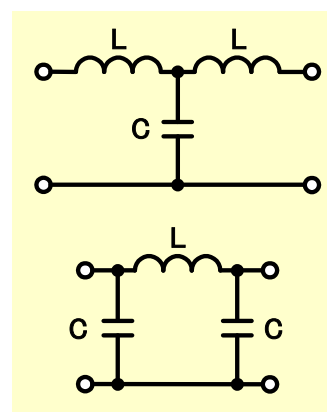


図-4 L.P.F.回路

●4in1(4連)の仕様のインダクタ

AVアンプは多チャンネル仕様が多いのですが、デジタルアンプにすることで小形化が可能になりました。それでも、1スピーカあたり2個のコイルを使うとすると、5.1chでは実に12個のインダクタを基板に実装することになります。

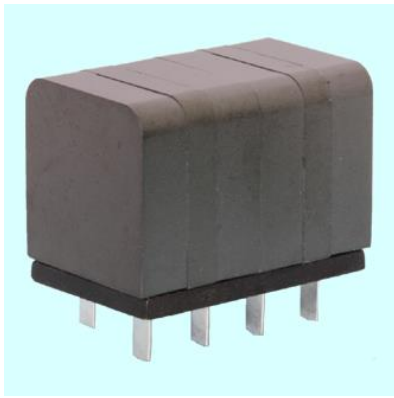


写真-3 4連仕様の DVX1315H

ここで問題として上がってきたのがインダクタの実装工数で、少しでも実装工数を下げるために 2in1 (2 連) 仕様のコイルを使っても 6 回の部品差し作業が必要です。

最終的に、4in1 (4 連) の仕様のインダクタとして、写真-3 DVX1315H を作ることになりましたが、4 連となると 1 個の部品から合計で 8 本の端子が出ているので、コイルを作る方も基板に差す方も、実は位置合わせが大変なのです。

さすがに、これ以上は厳しいですね！

●分かりやすい表現にするのは難しい？

「1 V (ボルト) + 1 V は 2 V (条件によりますが) になるのに、1 kHz + 1 kHz は何故 2 kHz にならないのでしょうか？」との質問に対する簡単な答は.....、何て言うことを思いながら、この記事に載せる内容を考えています。技術者として、当たり前と思っていることの方が、分かり易く表現するのは難しいです。

●最終回にあたって

電子部品の中で、コイルは、高い(価格)、大きい(形状)、重いと嫌われ者ですが、それでも他の部品と異なった特長を持っており、重要な部品の一つになっています。

弊社は、今後も市場が要望するコイル製品を供給していきますので、商品に対する要望があれば遠慮無くお申し付け下さい。

さて、第2部、合計 10 回の掲載も、今回をもちまして無事終了することができました。この連載が、少しでもコイルを理解する手助けになれば幸いです。

なお、第3部に付きましては、暫くお休みを頂いて掲載内容を検討して、内容がまとまった時点で改めて掲載開始したいと思っています。

(星野)

●著者の紹介

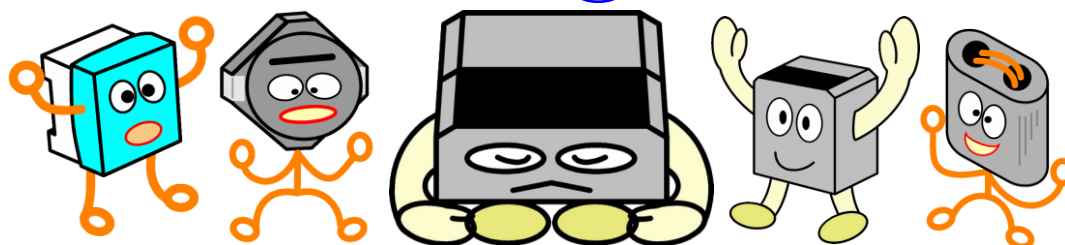
星野 康男

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)。

最後までお付き合い頂き、
誠にありがとうございました。
引き続き、サガミエレクトのコイルを
宜しくお願い致します。



おまけ： 左から「チップ君」「7E 君」「7G 君(大・小)」「バルン君」です。

●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。



※許可無く無断転載、掲載することはお断りします。
©2008,2009 サガミエレクト株式会社



サガミ エレク株式会社