

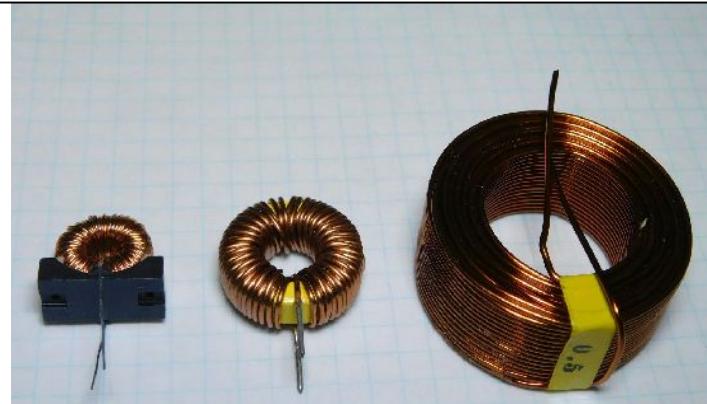
コイル、または インダクタ

コイルとは、針金などひも状の物を、螺旋状や渦巻き状に巻いた物のことである。

電気回路における素子として用いられるほか、バネとしても利用される。と参考にした資料に書いてありました。

ここでは、**回路素子としてのコイル**の説明を行います。コイルに使用する電線を **巻き線**という。コイルの性質を変化させるために、コイルの中に入れられる強磁性体の部品を**磁心**という。磁心が、無い物は、**空芯コイル**という。

コイルは、**インダクタ**とも呼ばれます。インダクタは、**インダクションコイル**を 縮めた名称のようです。



コイルの画像
エナメル線を巻いている状態が見えるコイルを写しました。

流れる電流によって形成される磁場に エネルギーを蓄える事が出来る受動素子であり、一般にコイルによって出来ており、コイルと呼ばれる事も多く、両方の呼び方を使うという事です。

前回言い忘れましたが、コンデンサにも、**キャパシタ**という別名があります。そして**静電容量C**の事を、**キャパシタンス**とも呼びます。

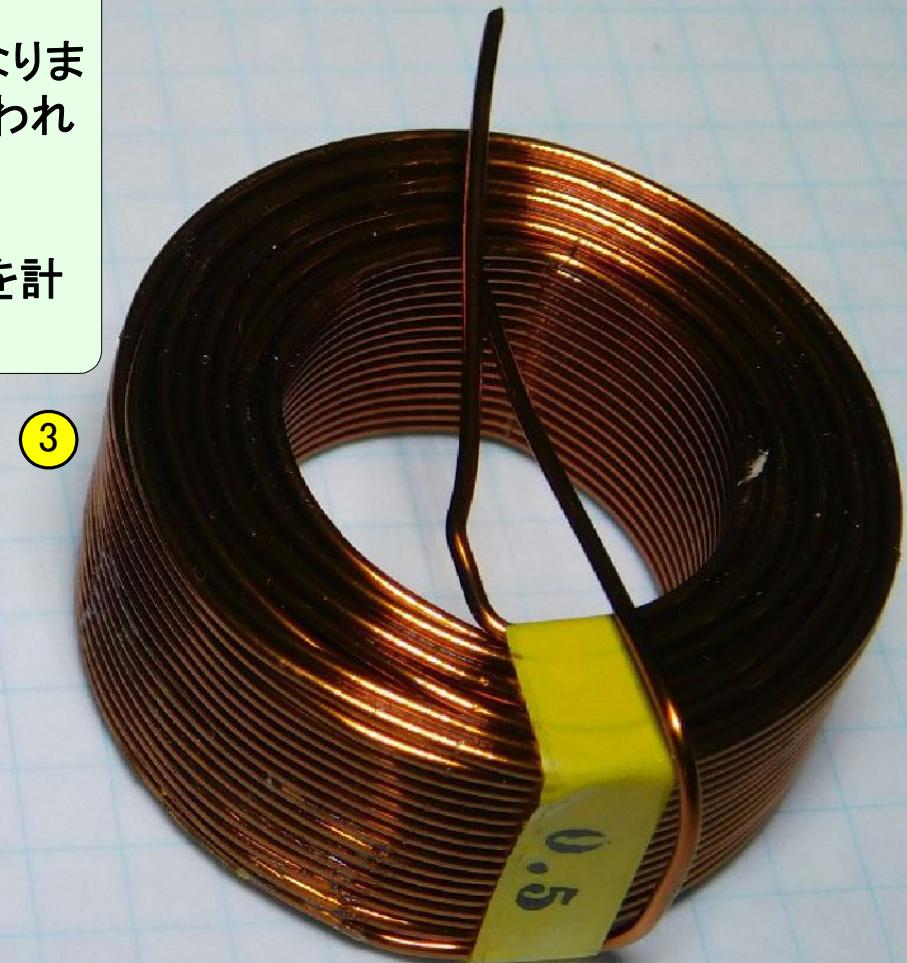
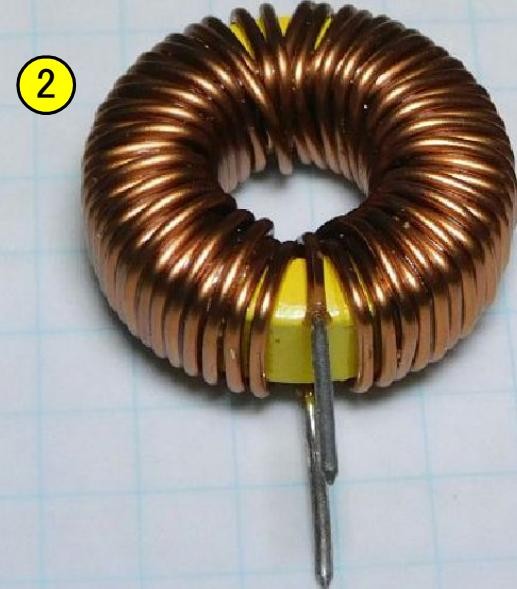
そして、コイルに電流を流す事により形成される磁気エネルギーの量は、**インダクタンス**で決まり、単位は ヘンリー(H)です。

コイルの種類

左2つが、ドーナツ状の磁芯に エナメル線を巻き付けてい
るので、トロイダルコイルと呼びます。

右の大きいコイルは、磁芯が無いので、空芯コイルになります。右のものは、0.5と 表示してあるので0.5[mH]と思われ
ます。左の2つは、表示が無いのでインダクタンス値
許容電流は不明です。

この3つは、試しにインダクタンス値、及び電線の直径を計
り、およその許容電流を 計算してみます。



先ほど計測したデータを、各コイル近くに貼り付けておきます。で、許容電流ですが、サイトによって 0.5SQ で 5[A] と書いてあったり 7[A] と書いてあるところがあります。何か考え方の違いがあるのだろうと思いますが、今回は 安全を見て少なめに 1SQ 10[A] で、計算します、

0.413[mH]
Q=1.3
線径:0.42
許容電流: 1.4 [A]

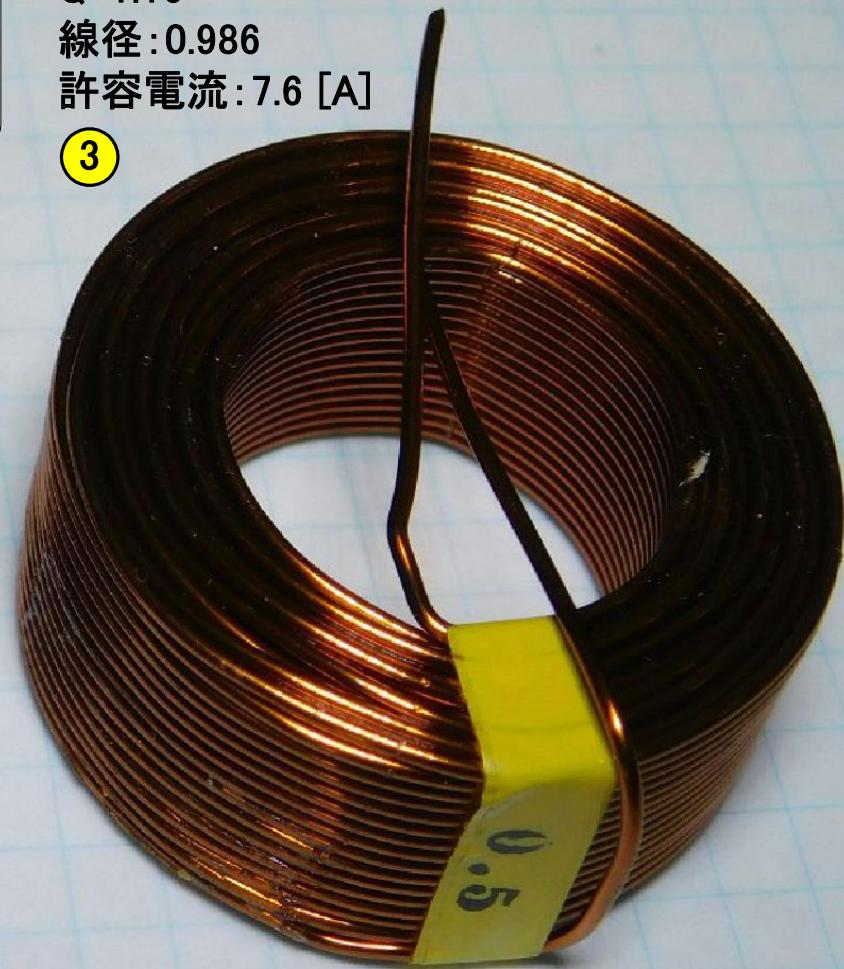


0.183[mH]
Q=2.19
線径:0.875
許容電流: 6 [A]



0.512[mH]
Q=1.16
線径:0.986
許容電流: 7.6 [A]

$$SQ = (\text{線径}/2)^2 \times \pi$$



④と ⑤は、フェライトビーズで、高周波のノイズ除去用の部品です。

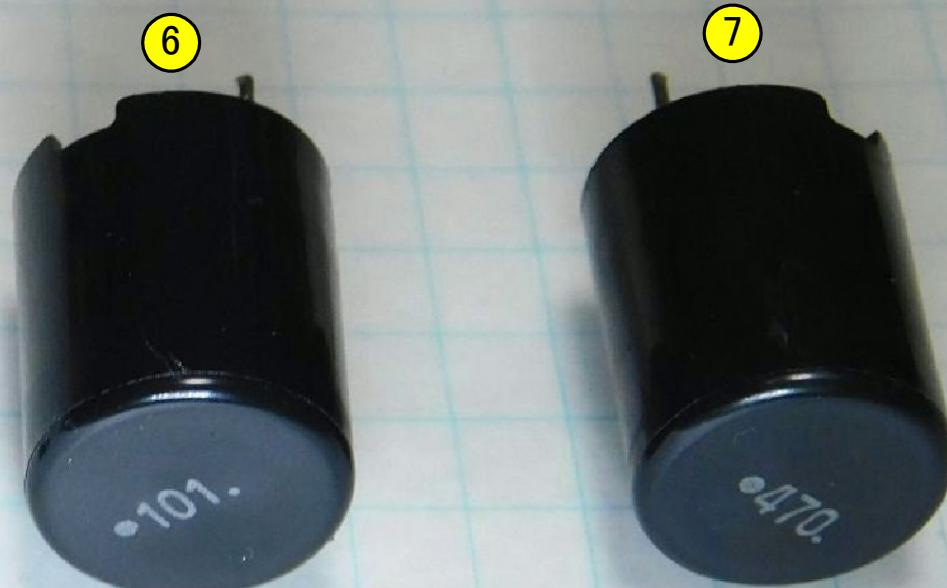
④は、muRataの フェライトビーズ 2BLM21P G331SN1です。 サイズは $2.0 \times 1.2 \text{mm}$ です。
インピーダンス $100\text{MHz}/20^\circ\text{C}$ で $330\Omega \pm 25\%$
定格電流 1500mA 、直流抵抗: 0.09Ω 以下

⑤は、太陽誘電のフェライトビーズで、かなり昔
購入したもので 型式は 分かりません。
フェライトビーズを測定する計器は、残念ながら
持ち合わせていません。

⑥と ⑦は、コンパクトな 基板実装型 棒状の
インダクタです。 ソレノイド型とも、いうようです。
両方とも、太陽誘電の製品です。

⑥ が、LHL13NB 101K ($100\mu\text{H} / 2\text{A}$)

⑦ が、LHL13NB 470K ($47\mu\text{H} / 2.8\text{A}$) です。



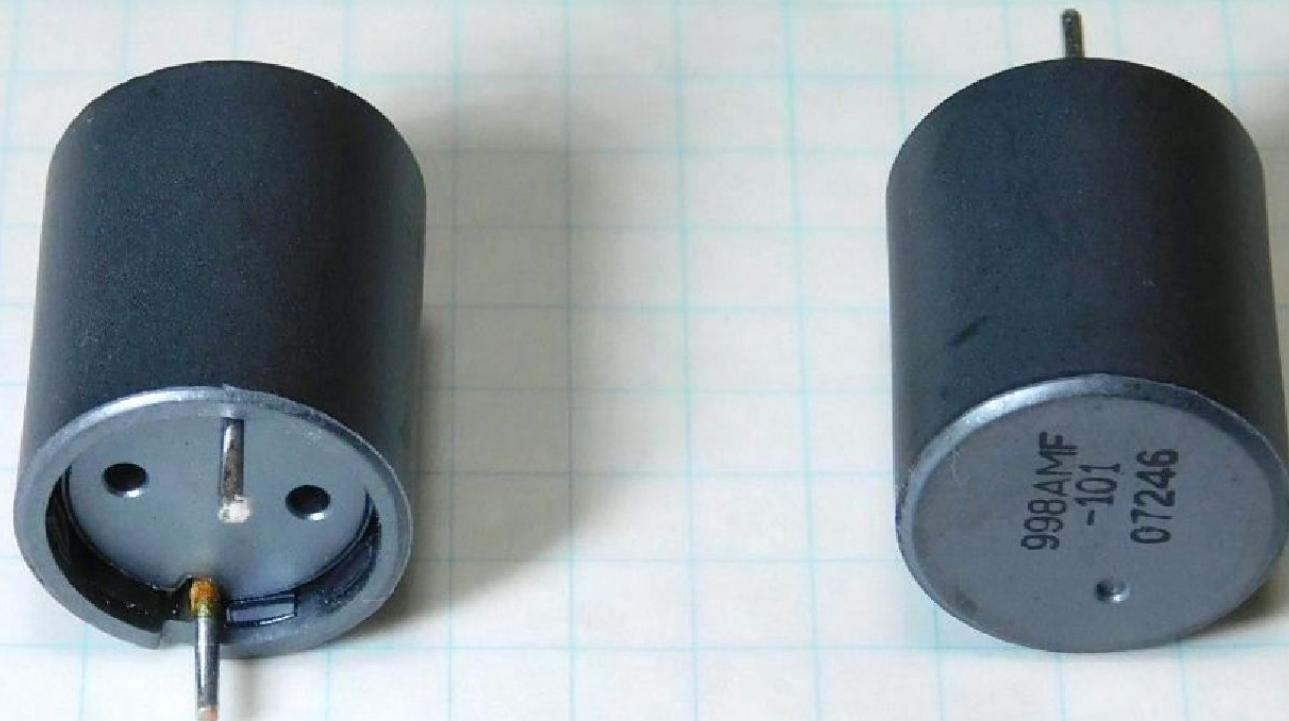
太陽誘電インダクタの ケースを外しました

太陽誘電インダクタで、ひとつ気になる事があり ケースを外しました。左二つは、100uHの 0.75Aのインダクタです。 そのプラスチックケースを、外した物が、右です。 ニッパーで切れ目を入れてラジペンで、強引に引っ張って外しました。 外側に磁気シールドが、多分入って無いだろうと思しながらバラして、やはり入っていませんでした。 外側に磁気シールドが、無いという事は、隣り合うように接近させると、お互い磁気的に影響しあう恐れが あります。 では、どのくらい離したらいいかは、ケースバイケースで、一概に いえません。



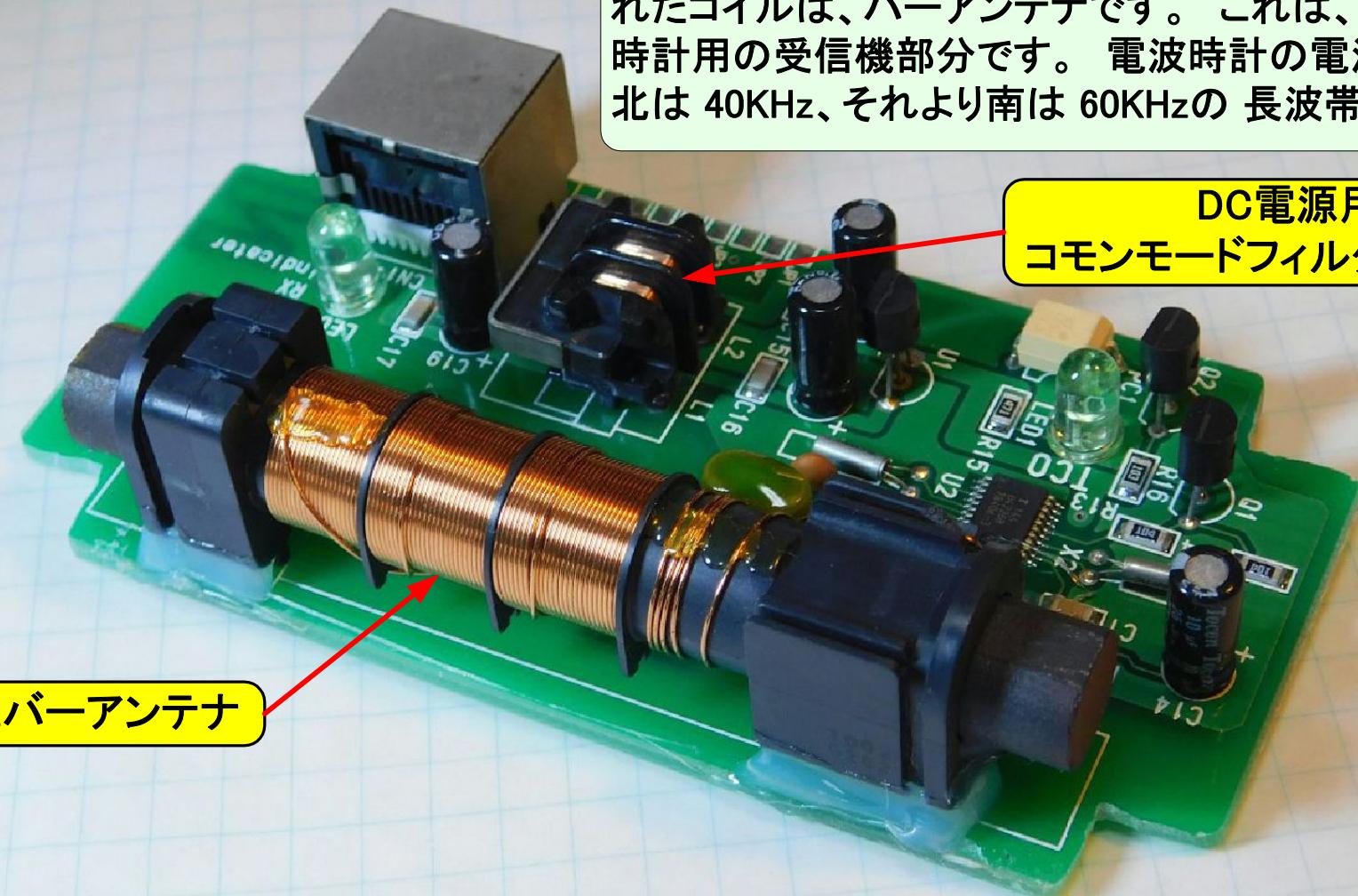
これは、シリコンハウス共立て、買った デジタルオーディオアンプ用インダクタです。
100uHです。 この、インダクタは、外周のケースもフェライトで出来ているようです。

このように磁気シールドを施してあると、周辺回路に磁気的悪影響を与える事は、非常に少ないと思います。



高周波用のコイル？

高周波のコイルという事で、探したらこれが見つかりました。この基板の手前に付いているフェライトバーに巻かれたコイルは、バーアンテナです。これは、60KHzの電波時計用の受信機部分です。電波時計の電波は、関東以北は 40KHz、それより南は 60KHz の長波帯の電波です。



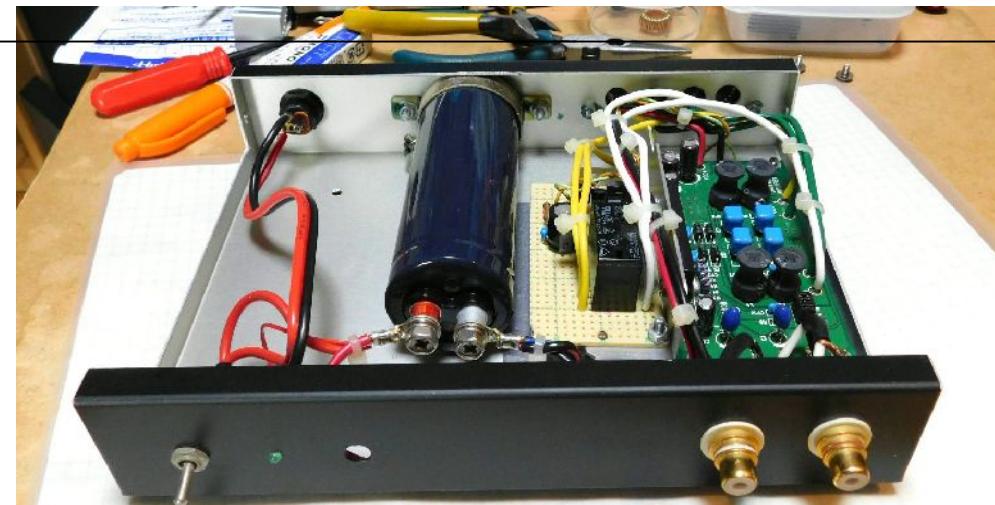
リアクトルと LCフィルタ

その他、パワーエレクトロニクス用途で使うリアクトルと呼ばれるコイルが あります。

これは、インバータ出力の PWM波形のキャリア成分が、負荷に流れないように、LCフィルタを構成するための コイルです。

この考え方は、基本 デジタルオーディオアンプ出力のLCフィルタと同じです。 ただ、出力が大きいので、デジタルアンプよりキャリア周波数は、低いと思います。

余談ですが、因みに 右上の画像は、私が作った トライパスというメーカーの デジタルオーディオICを使用したアンプ基板のキットです。最初、シャーシ左側の空間に ACアダプタを入れてましたが熱が 篠る恐れがあるので外に出しました。 長い電解コンデンサは、



Panasonicのオーディオ用です。 無くても動きますが、気分の問題で入れました。コンデンサ横の蛇の目基板に実装している四角い黒い部品は、リレーです。 電源ON時、スピーカーを接続していると、ボコーンと音がするので遅延して、スピーカーを接続しています。

ちなみに このデジタルアンプのキャリア周波数は、200KHzです。 それに対しパワエレのインバータ キャリア周波数は 10K ~ 20KHz ぐらいと、思います。

余談の続きで、恐縮ですが…

デジタルアンプのキャリア周波数は **200KHz** ~ **500KHz** とか 高い物が多いですが、産業用のインバータは、何故 キャリア周波数が **10K ~ 20KHz**と遅いのですか。?

と聞かれたら、オーディオ用は、少なくとも **音楽信号として 20Hz~20KHzの周波数を 再現**する必要があります。それに対し産業用のインバータは、殆どの場合、**AC 50 ~ 60Hzの 電源を 出力**するのが目的であり、用途が異なる事と、大出力時は、パワーMOS-FETではなくて、**IGBTを使う**ので、IGBTは、ややスイッチング速度が遅いです。**大電力を扱う機械は効率優先**で作られるので、効率を上げるには、スイッチングする回数を 減らす事になります。つまり、キャリア周波数を遅くする という事になります。

あと、デジタルアンプと、インバータのシステムでは、処理系の構成が、根本的に異なります。

デジタルアンプでは、入力されるオーディオ信号と、正確に生成される三角波とを 高速な アナログコンパレータで比較して 比較した結果が、PWM信号となります。 **処理系は全てハードウェアで** 出来ています。

それに対して、インバータのシステムは、組込みマイコンによってコントロールされます。メモリ内のサインテーブルを読み出し調整して マイコン内の PWM回路に出力されます。 仮に20KHzのキャリア周波数で、PWMを 出力するという事は、PWMの回路から 每回 50[μ S]周期でマイコンに 割り込みが 入ります。**50[μ s]は マイコンの処理能力の限界に近い**と思います。 という事でキャリア周波数を上げられないのは マイコンの性能も 影響してます。 という事でした。

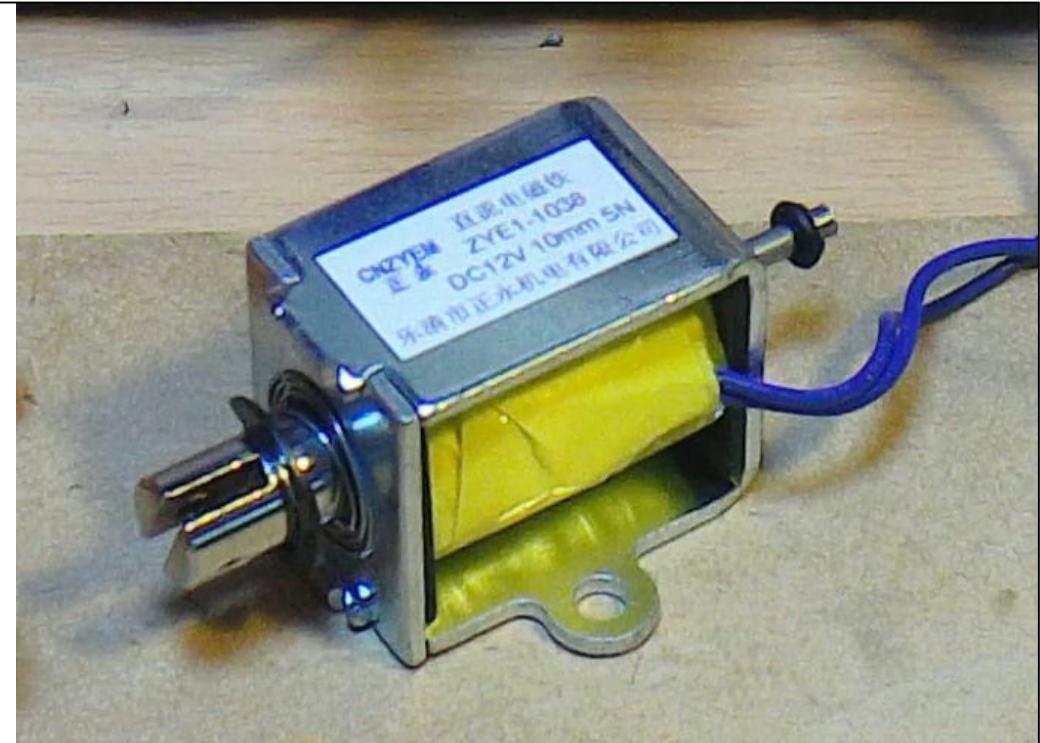
ソレノイド

先ほど、棒状のコイルを ソレノイドともいう。と言いましたが、ソレノイドというと、もう一つ棒を引き込む電磁石の事も ソレノイドといいます。

この場合、ソレノイドアークチェーターという方が、正しいのかもしれません。 略してソレノイドということでしょう。

メカトロ機器というか、自動販売機、あるいは自動車の扉の自動ロック部分にも使われていると思います。 ちょっと、動画を取りましたのでお見せします。

あとで思い出しましたが、このソレノイドの事をプランジャと呼ぶ事もあります。

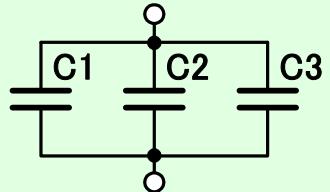


コイルとコンデンサの 直 並列接続

だいぶ余談が長くなつたので本題に戻します。

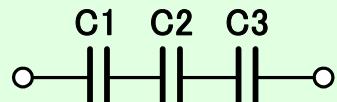
まず簡単なところから 前回、コンデンサの 直列接続、並列接続の 容量計算の説明をしていました。 まず、コンデンサの方から示します。

コンデンサの並列接続



並列接続は簡単です。
 $C = C_1 + C_2 + C_3$

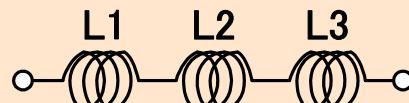
コンデンサの直列接続



$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}}$$

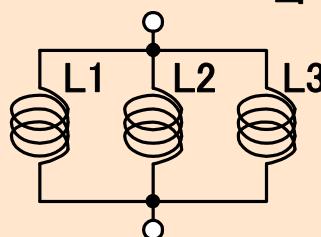
次は、コイルの 直列接続、並列接続のインダクタンスの計算を 示します。

コイルの直列接続



直列接続は簡単です。
 $L = L_1 + L_2 + L_3$

コイルの並列接続



$$L = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}}$$

上記の計算を行う上で、各コイル間で、磁場の結合が、無い事が、前提である。 と書かれています。

コイルのインダクタンスの公式？

インダクタンスの公式ですが、**形状や巻き方**によって公式が、いろいろあるようです。

巻数の大きなコイルのインダクタンスは 更に複雑な式になるため、**実測**により **インダクタンスを求める事が多い**。と書いてあります。

それと、**Q値**ですが、インダクタの品質を表すパラメータと書いてあります。Quality Factor (品質系数) の略語だそうです。

コイルの Q 値

$$Q = \frac{2\pi f L}{R}$$

Q: Quality Factor

f : 周波数

L : インダクタンス

R : コイルの直流抵抗

要は、コイルの直流抵抗 R に対する、特定の周波数の、交流抵抗 リアクタンス成分の 比という事になります。

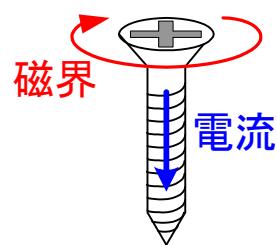
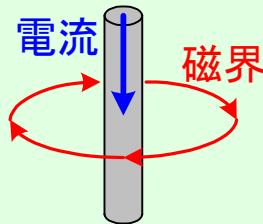
よって動画の最初に LCRメーターで計ったコイルの Q 値は、 $2\pi f$ の f が、1[KHz] という事です。よって **使用する周波数**により、Qの値は**変化する**という事です。

実用上は、共振回路やフィルタなどのように、交流の電力をやエネルギーを蓄積ないしは、通過させる場合は、**インダクタの Q 値が高い**事が望ましい。一方 チョークコイルなど、交流の電力を阻止する事が目的となるケースでは、意図的に **Q 値を低下させる**場合があるそうです。

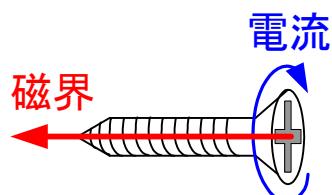
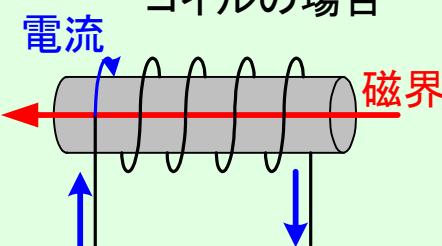
音に例えると、堅い金属を叩くと キーンと高い音が鳴ります。これは、その金属材料の振動系の Q が 高い事を意味します。そして形状的に更に共振しやすくしているのが、440Hzの 音叉などです。そして鳴っている音の高さが、共振周波数という事になります。逆に ゴムを叩くと、殆ど 音が出ないので Q が 低い事になります。

右ネジの法則

直線状の導線の場合



コイルの場合



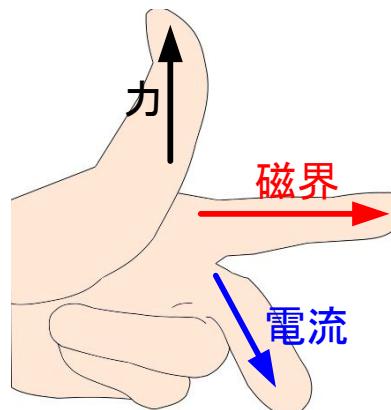
フレミングの左手、右手の法則

フレミングの左手の法則

人指し指: 磁界の方向

中指: 電流の方向

親指: 力の方向

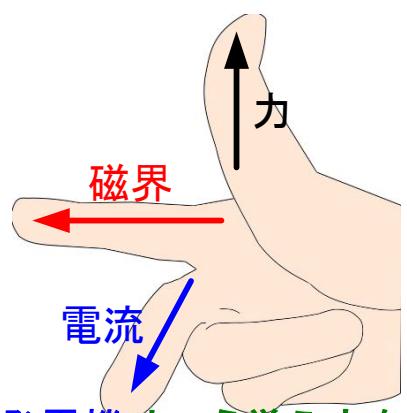


人指し指の磁界の中に、中指方向の電流が流れる電線があると、上方向に、導線に力が加わります。

フレミングの右手の法則

左手の法則と比べると 人指し指の磁界の方向だけ、逆になっています。これは、磁界中の電線を 上方向に動かすと 中指方向に電流が流れる事を意味します。

私は、左手がモーター、右手が発電機 という覚え方をしています。



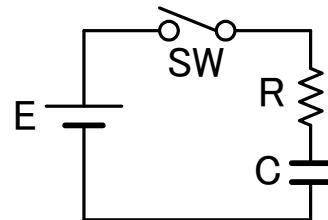
右ネジの法則とは、「電流の向き」と「磁界の向き」は、「ネジが進む向き」と、「ネジを回す向き」で、決まるという法則です。

RC、RL回路の 時定数

抵抗とコンデンサの RC回路の時定数と同じく、RL回路の時定数もあります。

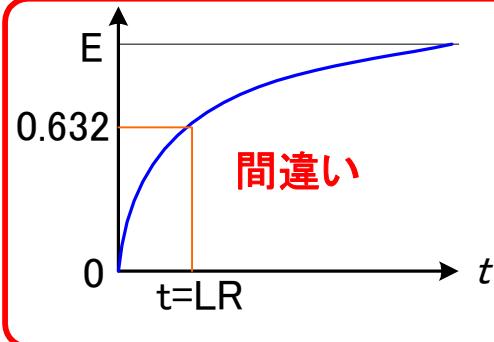
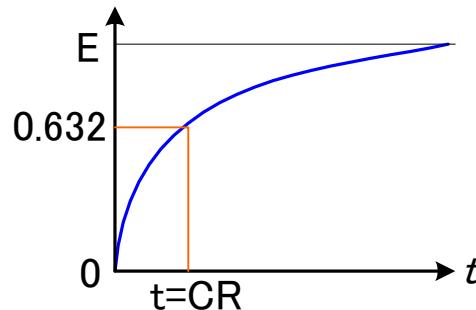
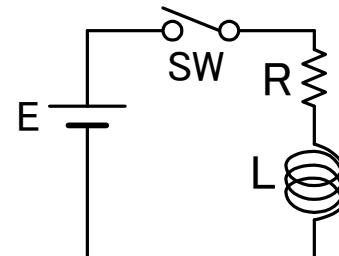
RC回路の時定数

$$\tau = C \times R$$



RL回路の時定数

$$\tau = \frac{L}{R}$$



容量性リアクタンスと 誘導性リアクタンス

コンデンサ、コイルの 交流に対する抵抗、リアクタンスの計算式です。 単位は [Ω]です。

コンデンサの 容量性リアクタンス

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

コイルの 誘導性リアクタンス

$$X_L = 2\pi f L$$

RC、RLフィルタ カットオフ周波数

RC、RLにより構成されるフィルタの カットオフ周波数の計算式です。 単位は [Hz]です。

RCフィルターの カットオフ周波数

$$f_C = \frac{1}{2\pi C R}$$

RLフィルターの カットオフ周波数

$$f_C = \frac{1}{2\pi \frac{L}{R}}$$

LC回路の 共振周波数、 LCフィルタのカットオフ周波数

RCのフィルタ回路は、よく見ますが、RLのフィルタは、あまり見ません。

どちらかというと、コイルとコンデンサによるLC共振回路、LCフィルタ回路の方が、よく見ます。この場合の 共振周波数、カットオフ周波数の計算式は、同じです。

LC共振回路と
LCフィルターの カットオフ周波数

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

伝達関数、ゲイン、位相回りの 計算式も
有りますが、ここでは省略します。

因みに RC回路のカットオフ周波数で、位相回りは、45度ですが、LC回路のカットオフ周波数では、90度 位相が、回ります。

で、今回の実験は 何をしようかと考えていたのですが、RLのローパス、ハイパスをやっても面白くないので、実用的な LC回路を やってみようと思います。因みに、RC回路では、遮断領域の **周波数の傾斜が、6 [dB/Oct]**ですが、LCフィルタの場合は、**12[dB/Oct]**で、カットオフの切れ味が、いいはずです。

今、**100[uH]**のコイルと **1[uF]** のコンデンサが
あります。左の式に値を入れると、
 $f_c = 1 / (6.2832 * \text{SQRT}(0.0001 * 0.000001))$
は、 $f_c = 1 / (6.2832 * 10^{-5}) = 15916$ で
 f_c は **15.9 [KHz]** ぐらいに なります。
やや周波数が、高いですね。

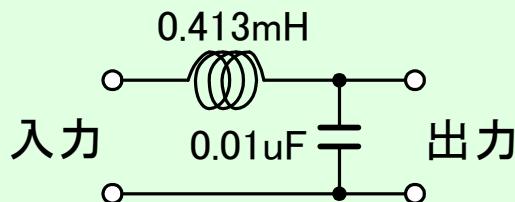
この間の **FG085 ファンクションジェネレータ**は
周波数が高くて使えません。 アナログのFGを
使って、実験をしてみます。

LCの 共振周波数、カットオフ周波数の実験、部品の値を変更します

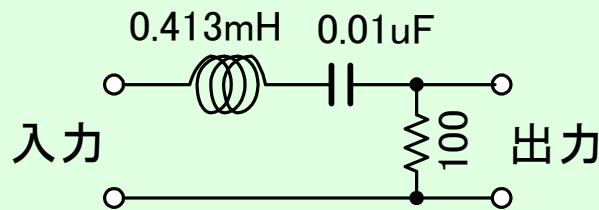
前ページに書いた、**100[uH]**のコイルと **1[uF]**のコンデンサを 使って試したところ、うまく行きませんでした。 ほぼ**信号が筒抜け状態**でした。 思ったよりコイルの**誘導性リアクタンス成分**が、**FGの周波数帯域**では 小さいようです。

よってコイルは 3ページ目の ① **0.413[mH]**のトロイダルコイルを使用します。
コンデンサは、**0.01[uF]**の フィルムコンデンサを使用します。

LCフィルター回路



共振回路？ バンドパスフィルター



共振周波数は、 **78[KHz]** です。

LCローパスフィルターを 最初に試して、
次に バンドパスフィルターを 試してみます。

上記 共振周波数では、トロイダルコイルの **Q** が、かなり**高い**ようで、出力信号が、跳ね上がっています。 共振回路として見れば、高性能ですが フィルターとしては、宜しくないですね。

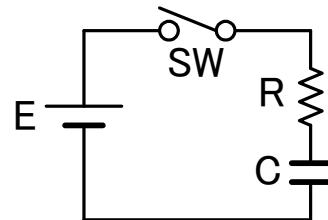
では、動画を ご覧下さい。

RC、RL回路の 時定数

抵抗とコンデンサの RC回路の時定数と同じく、RL回路の時定数もあります。

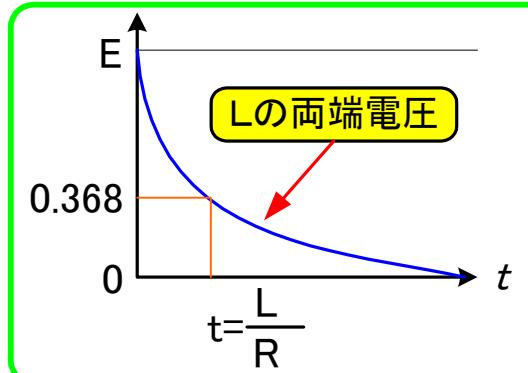
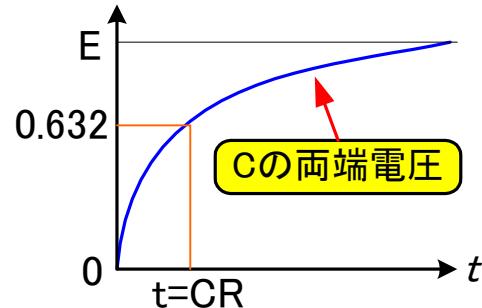
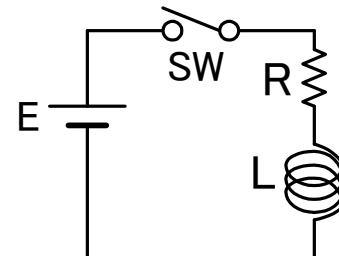
RC回路の時定数

$$\tau = C \times R$$



RL回路の時定数

$$\tau = \frac{L}{R}$$



容量性リアクタンスと 誘導性リアクタンス

コンデンサ、コイルの 交流に対する抵抗、リアクタンスの計算式です。 単位は [Ω]です。

コンデンサの 容量性リアクタンス

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

コイルの 誘導性リアクタンス

$$X_L = 2\pi f L$$

RC、RLフィルタ カットオフ周波数

RC、RLにより構成されるフィルタの カットオフ周波数の計算式です。 単位は [Hz]です。

RCフィルターの カットオフ周波数

$$f_C = \frac{1}{2\pi C R}$$

RLフィルターの カットオフ周波数

$$f_C = \frac{1}{2\pi \frac{L}{R}}$$