

コイルのネタ帳とは

ここではコイルの「為になる知識(ネタ)」をお届けしていきたいと思います。

コイルがどんなことを考えて開発されているのかを知ると、色々なコイルが見極められるようになるかもしれません。今後のコイルの選定にお役に立てましたら幸いです。

第1回 インダクタンス・損失・飽和について

インダクタの電気的特性の主なものは次の3つになります。

1. インダクタンス
2. 損失
3. 飽和

仕様書では**インダクタンス**、**直流抵抗**、**許容電流**が記載されています。

それ以外に耐電圧、磁束漏れ、鳴き、歪みなどもありますが、今回は主な3つの特性に絞って紹介したいと思います。

パワーインダクタの製品例



CER1065B



CVE1918HA

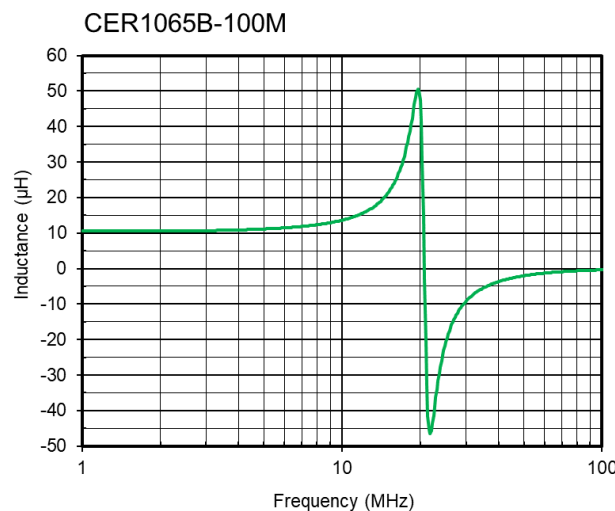
理想と現実・・・

1. インダクタンス

理想は「一定であること」ですが、
現実には「ストレー容量により自己共振が発生してしまう」「コアの透磁率は高い周波数で下がってしまう」
ということがあります。

<確認するパラメーターや特性>

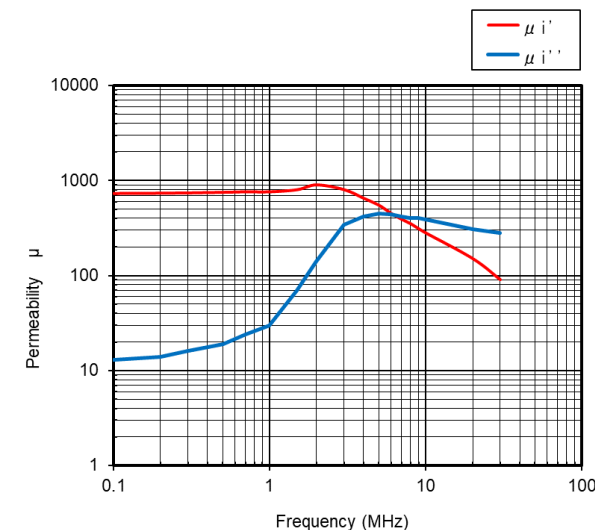
- ・ **インダクタンス(F-L特性)**
- ・ **自己共振周波数**



自己共振周波数 = **20.8MHz**

ストレー容量 = **5.88pF**

自己共振より低い周波数で使用してください



$\mu_i' = L$ 成分

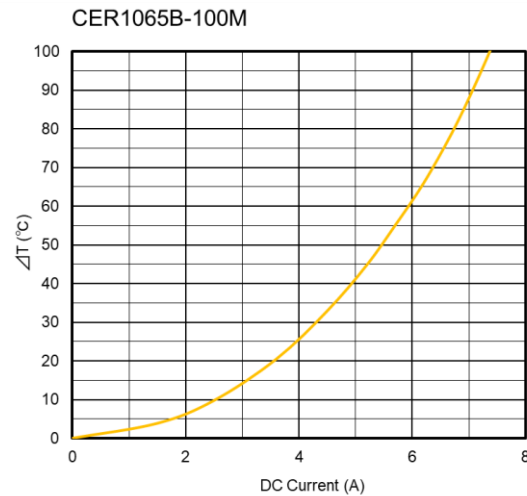
$\mu_i'' = R$ 成分

2. 損失

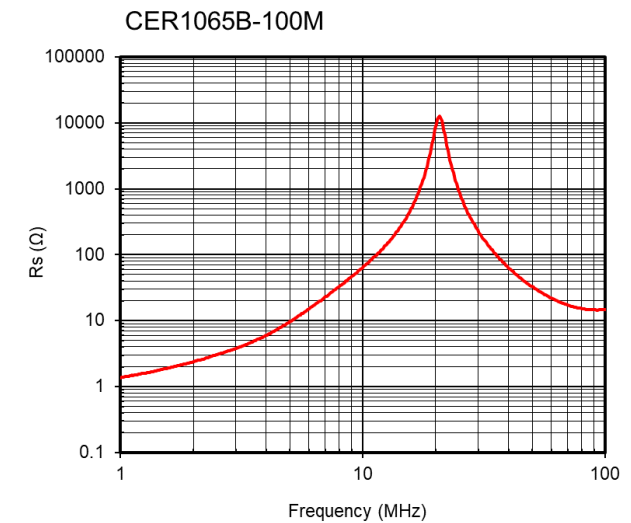
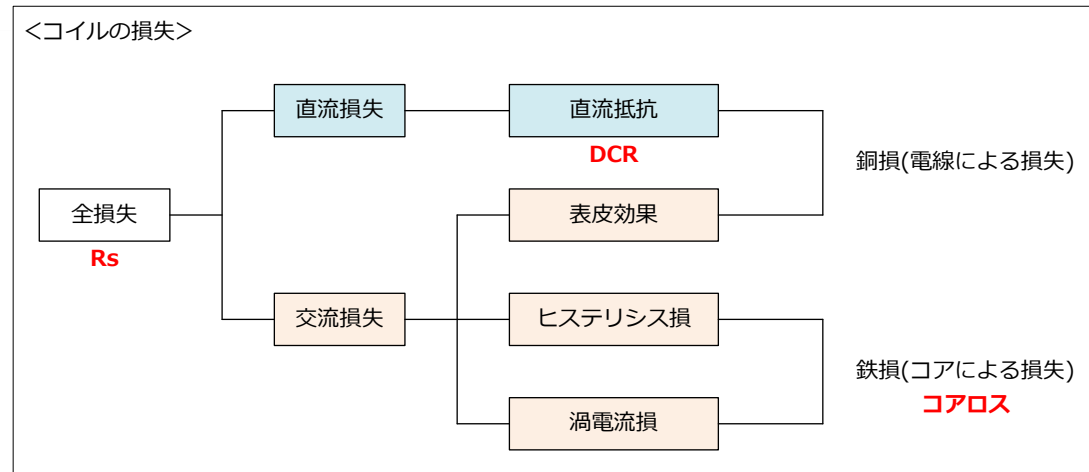
理想は「損失0」ですが、
現実には「巻線の抵抗やコアの損失がある」「損失により発熱する」ということがあります。

確認するパラメータや特性

- ・ 直流抵抗
- ・ 温度上昇特性(I- ΔT 特性)
- ・ 損失(F- R_s 特性)



定格値として ΔT が 20°C となる電流値を目安にした場合 = **3.6A**



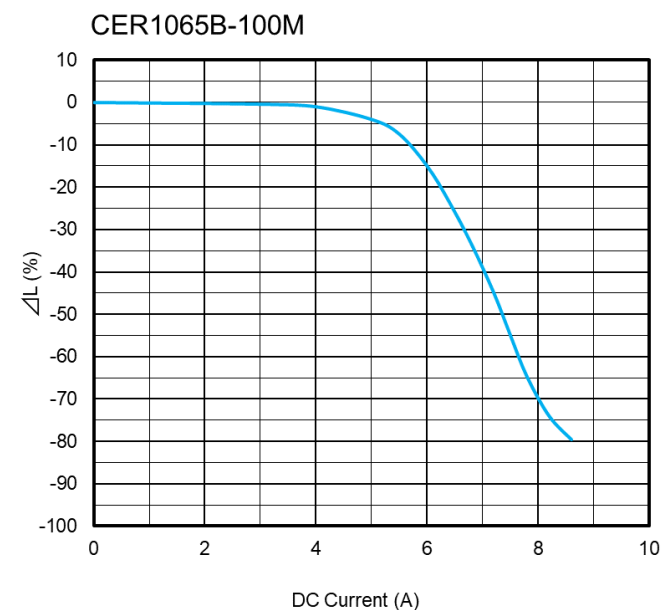
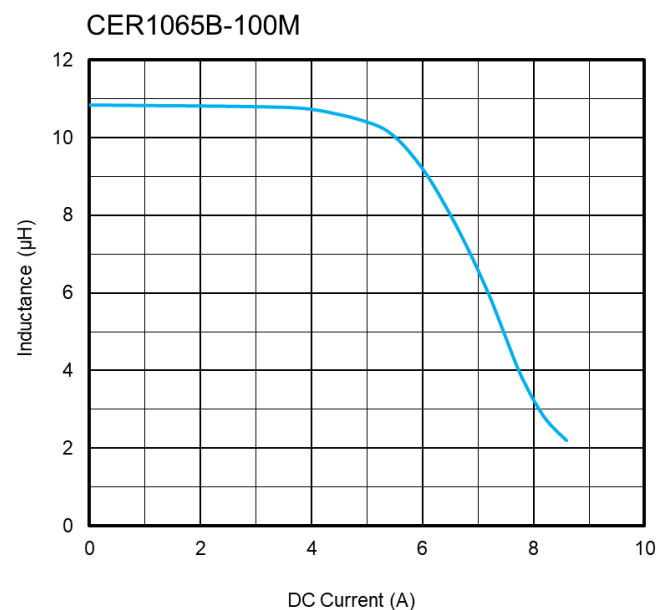
損失は周波数特性を持つ

3. 飽和

理想は流す電流が増えても「飽和しない」ですが、
現実「磁性体を使用したものは大きな電流を流すと飽和してしまう」「飽和はインダクタンスの低下となる」
ということがあります。

<確認するパラメータや特性>

・ 重畳特性(I- ΔL 特性)



定格値として $\Delta L = -5\%$ となる電流値を目安にした場合 = **5.0A**

特性を改善するには・・・

1. インダクタンス >> ストレージ容量を減らして自己共振周波数を上げるには

- ・ コアの透磁率を上げて巻数を減らす
- ・ 密巻き→スペース巻にする
- ・ 巻始めと巻終りの距離を離す 一層巻にする 低背型の方が良い

2. 損失 >> 直流抵抗を減らす・Rsを小さくする・発熱を減らすには

- ・ 太い電線を使用する
- ・ 低損失の磁性材を使用する
- ・ 構造による損失の改善

3. 飽和 >> 電流を流した時のインダクタンスの低下を小さくするには

- ・ 高飽和特性の磁性材を使用する
- ・ コアの芯径を太くする
- ・ エアギャップを大きくする

(対応例)内部構造によるRsの改善



7G23B

DCR=7.3mΩ

Rs=220mΩ

(at 100kHz)

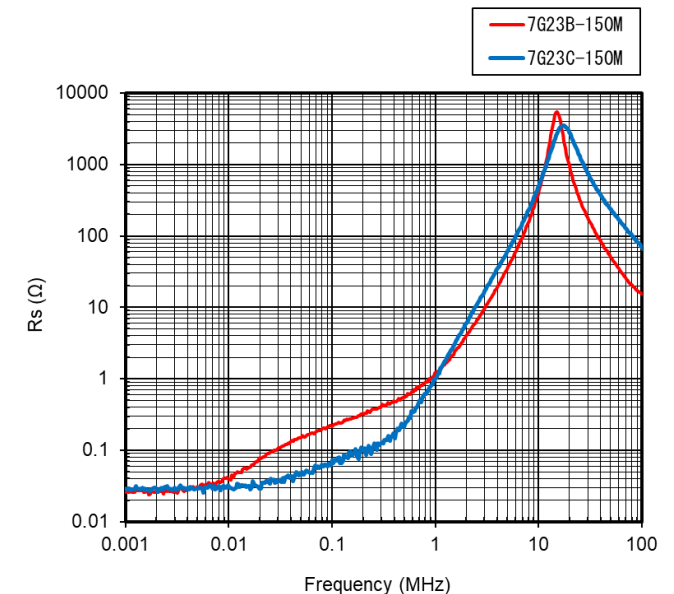


7G23C

DCR=14.3mΩ

Rs=70mΩ

(at 100kHz)



第2回 Qについて

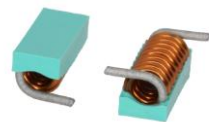
今回はインダクタのQについて紹介します。Qって何？という方もQのことを知るとコイルの見方が変わることでしょう。

Qとは

「Quality Factor」のことで、日本語では「品質係数」になります。実際にはそのように呼ばれず、単にQと言います。
損失の逆数であり、Qが高いとは損失が小さいということです。

電源で使用するパワーインダクタではあまり気にしないため、スペックに記載されていない場合があります。
高周波で使用する場合には、Qが低いと信号の損失になってしまうので考慮する必要があります。

製品例



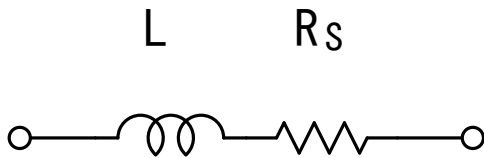
品番	インダクタンス (nH)	Q min.	測定周波数 (MHz)	自己共振周波数 min.(GHz)	温度上昇許容電流 (A)
C6328A-22NG	22 ± 2%	105	150	2	4

Qはtanδの逆数

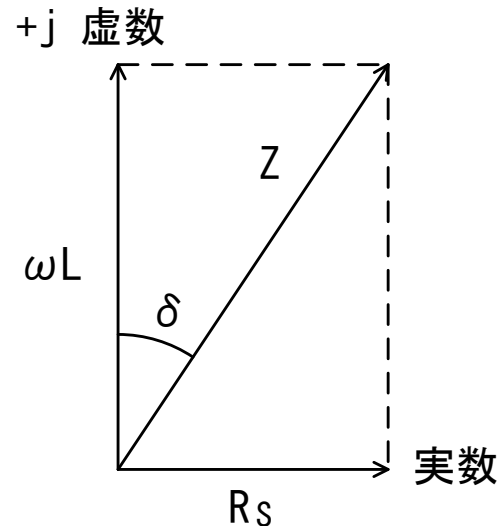
tanδはコンデンサの損失を表すことで知られていますが、コイルでも同じです。

コンデンサの等価直列抵抗は**ESR**ですがコイルの**Rs**も同じく等価直列抵抗です。ESR=Rs

等価回路



インピーダンスのベクトル図



$$Z = \sqrt{R_s^2 + (\omega L)^2}$$

$$\tan \delta = \frac{R_s}{\omega L}$$

$$Q = \frac{\omega L}{R_s} = \frac{2\pi fL}{R_s}$$

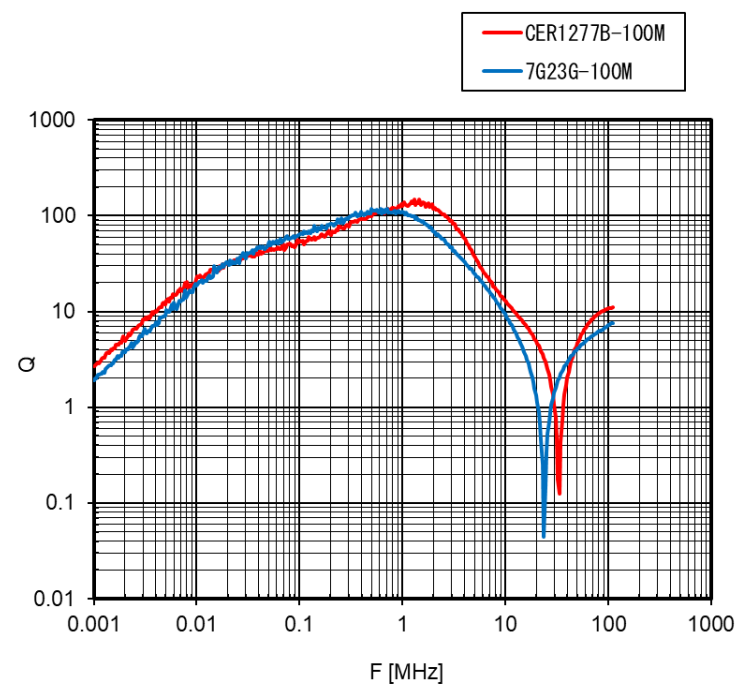
- ・ **Rsが小さい=Qが高い**
- ・ L値が大きいとQは高くなる
- ・ 周波数が高いとQは高くなる

実際のQ特性

理論上は周波数に比例するので右肩上がりになるのですが、
実際には、 R_s が周波数特性を持つので、Qも周波数特性を持ちます。

また、自己共振周波数の影響も受けます。

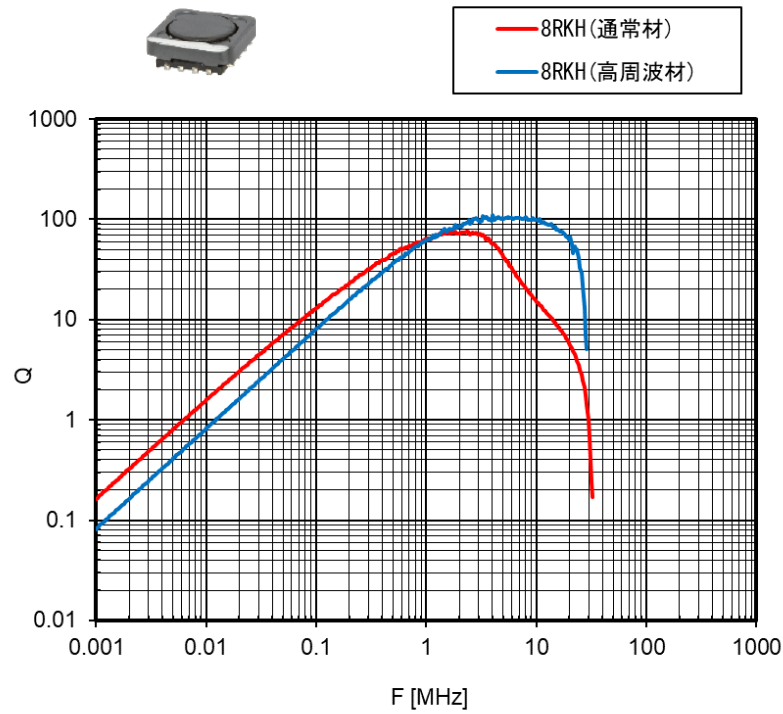
自己共振周波数はバラツキが大きいので**Qが安定しているのはピークの手前まで**ということになります。



Qを高くするには・・・

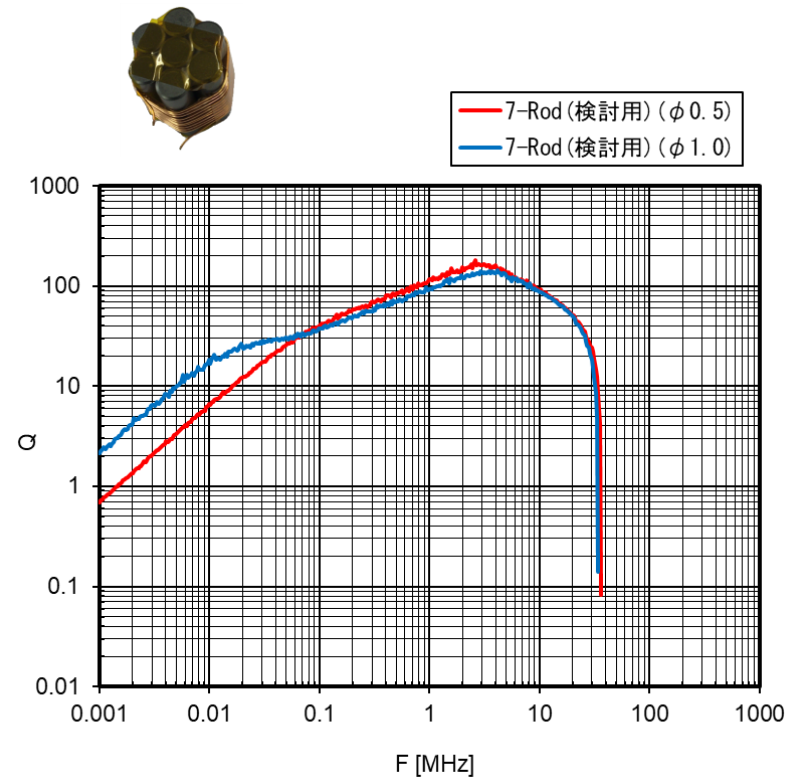
低損失のコアを使用する

周波数に合ったコアの選定 >> 高い周波数のQを上げるにはコアの材質を変える



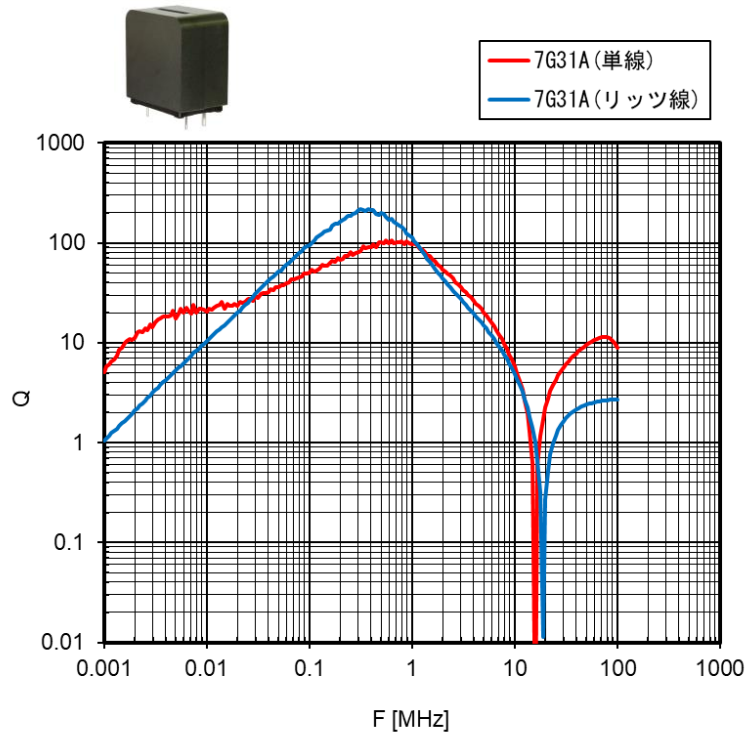
太い電線を使用する

直流抵抗を減らす >> 低い周波数のQを上げるには電線を太くする



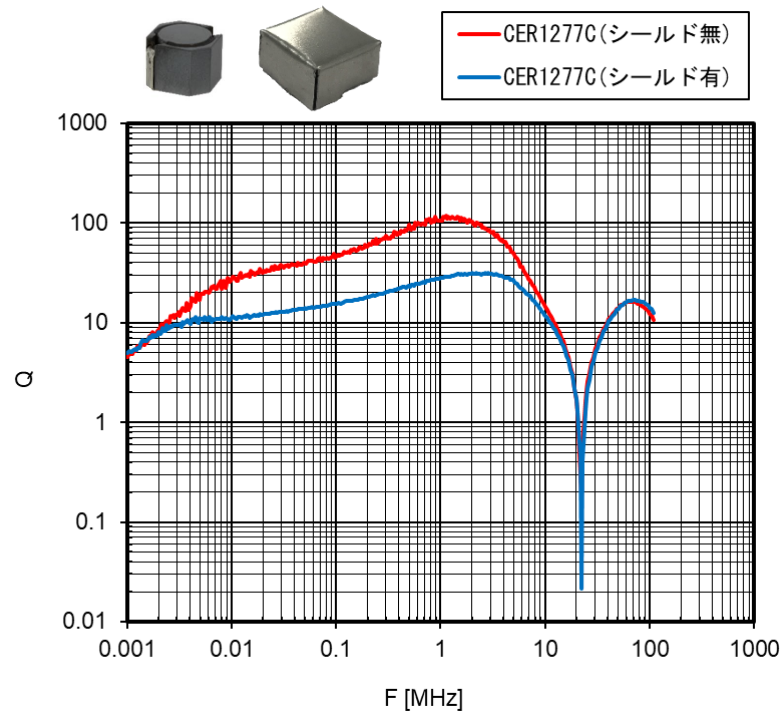
リッツ線を使用する

表皮効果の改善(電線の表面積を大きくする) >> 数十kHzより高い周波数帯域で効果がある
ただしトレードオフで直流抵抗は増えてしまう



コイルの周辺から金属を遠ざける

渦電流損を減らす >> 端子、シールドケースを磁束が通ると渦電流損となる

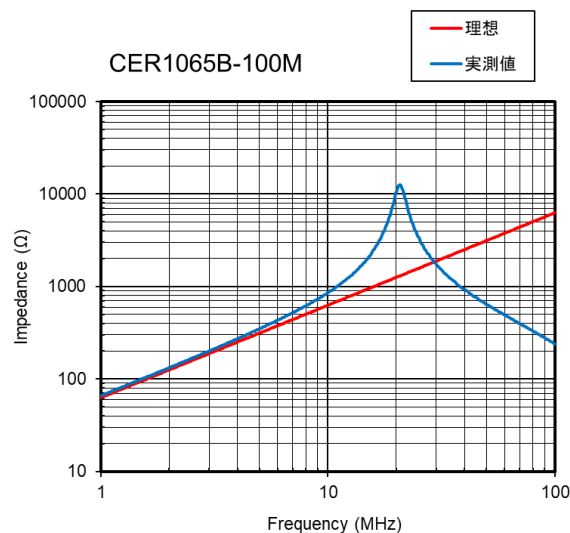
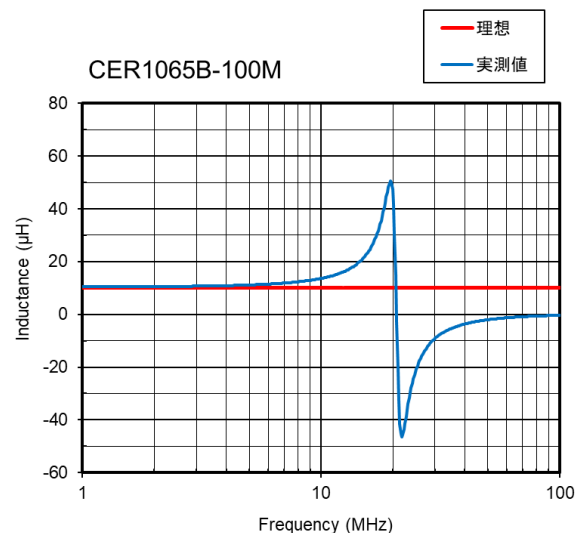


第3回 自己共振周波数について

今回はインダクタの自己共振周波数について紹介します。SRF(Self Resonant Frequency)とも呼ばれます。

インダクタの周波数特性 理想と現実・・・

理想は「一定であること」ですが、
現実には「ストレー容量により自己共振が発生してしまう」



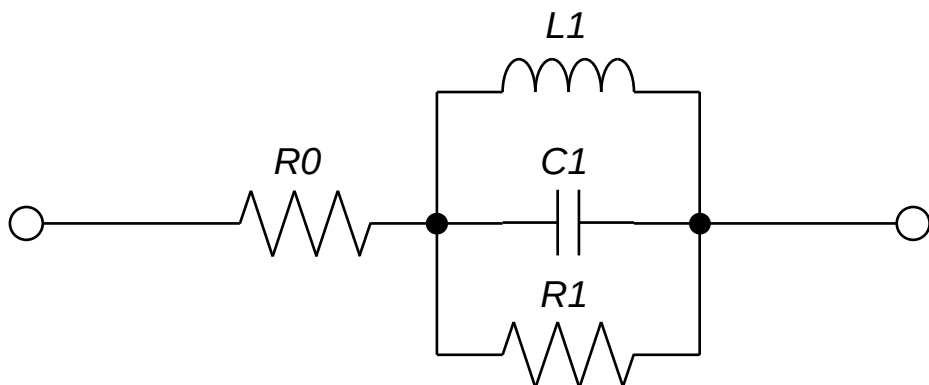
CER1065B

- ・ 自己共振周波数 = **20.8MHz**
- ・ インダクタとしては自己共振より低い周波数で使わなければならない。
よって、自己共振周波数は高いほど良い。

インダクタの等価回路

インダクタの等価回路は図のようになります。

ストレー容量C1が小さいほど自己共振周波数は高くなります。



品番	R0(mΩ)	L1(μH)	C1(pF)	R1(kΩ)
CER1065B-100M	19.0	10	5.88	12.6

自己共振周波数Fcの計算

$$F_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{L1 \cdot C1}}$$

L1=10 μH、C1=5.88pFだと Fc=20.8MHz

Fc=30MHzにしたい場合には、

$$C1 = \frac{1}{L1 \cdot (2\pi Fc)^2}$$

C1=2.81pFにする必要がある。

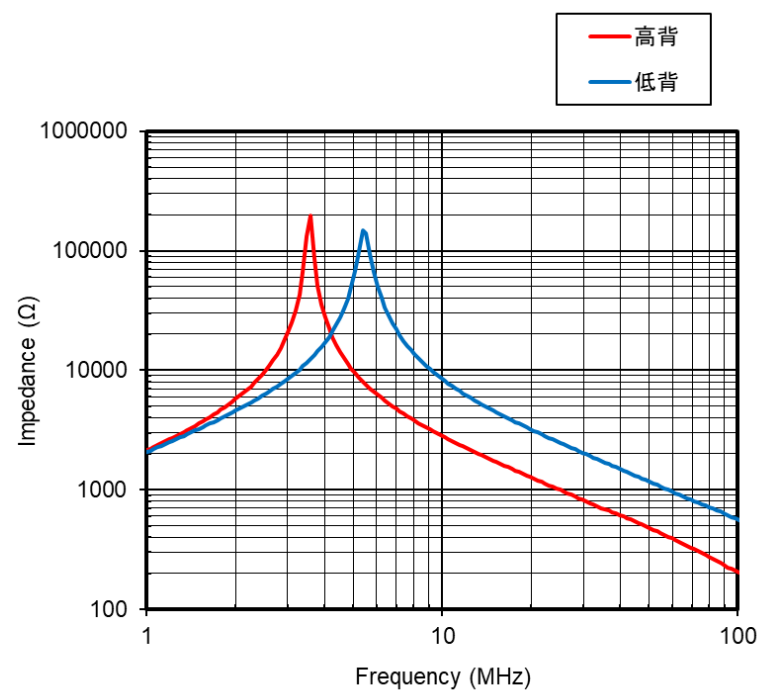
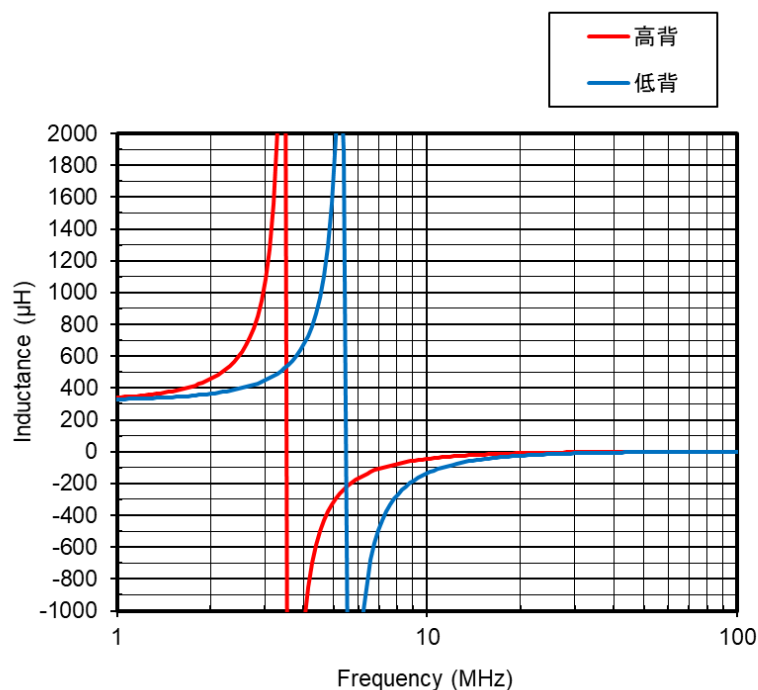
ストレー容量を小さくするには・・・

高背から低背にする

低背のインダクタの方が巻線長が短くなりストレー容量が減る

① **高背** CER7052B-331M(H=5.5 max) L1=319 μ H **C1=6.35pF** Fc=3.54MHz

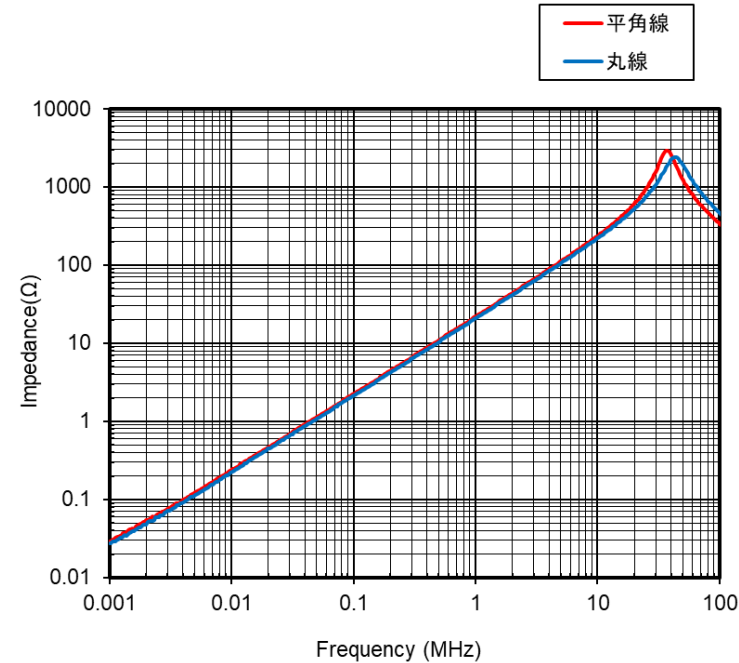
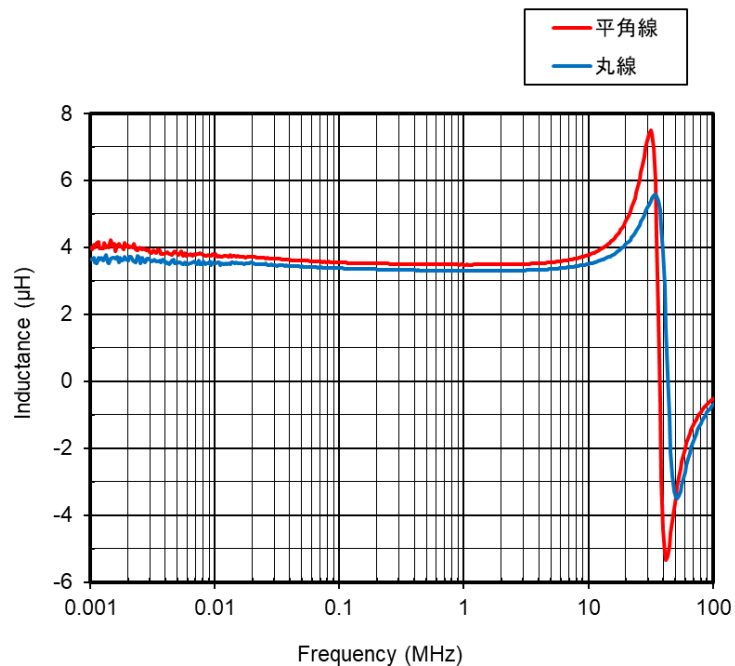
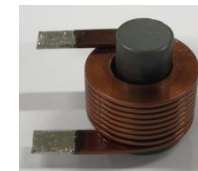
② **低背** CER7027B-331M(H=3.0 max) L2=318 μ H **C1=2.66pF** Fc=5.47MHz



平角線から丸線にする

平角線は巻線の面と面が重なるのでストレー容量が大きくなる

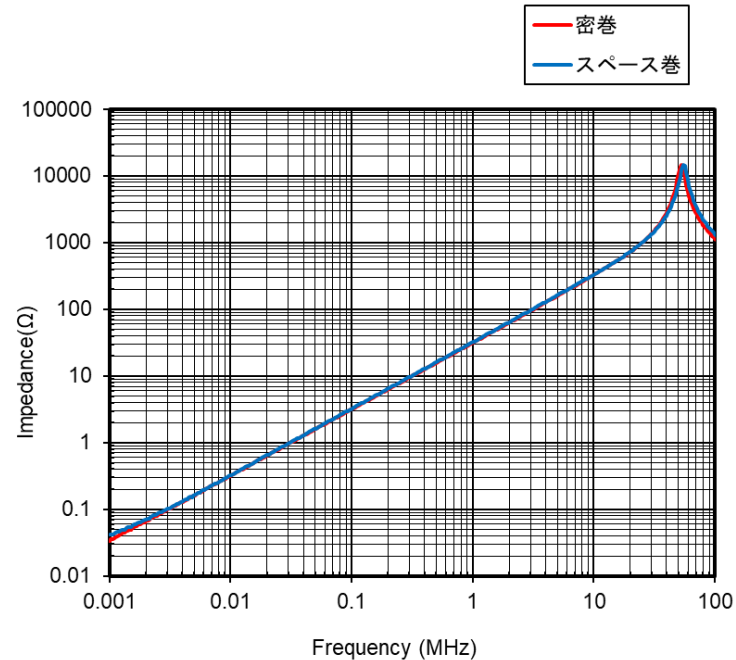
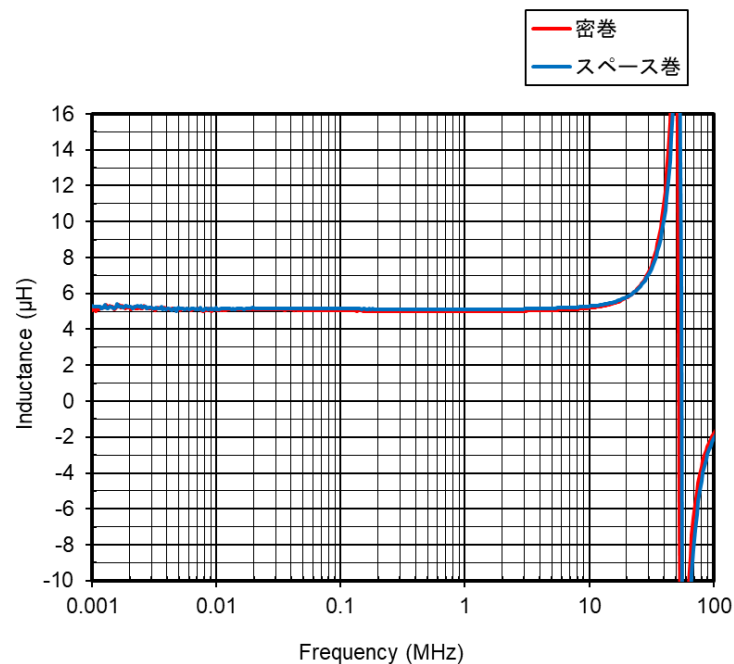
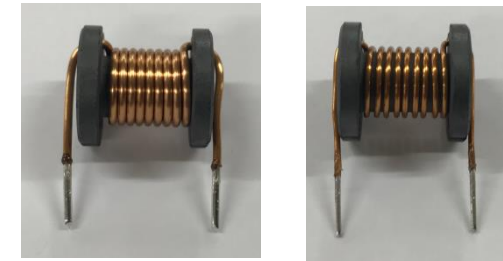
- ① **平角線 (検討用)** $L1 = 3.55\mu\text{H}$ **$C1 = 5.12\text{pF}$** $F_c = 37.3\text{MHz}$
- ② **丸線 (検討用)** $L1 = 3.57\mu\text{H}$ **$C1 = 3.72\text{pF}$** $F_c = 43.7\text{MHz}$



密巻からスペース巻にする

巻線間が離れるとストレー容量が減る

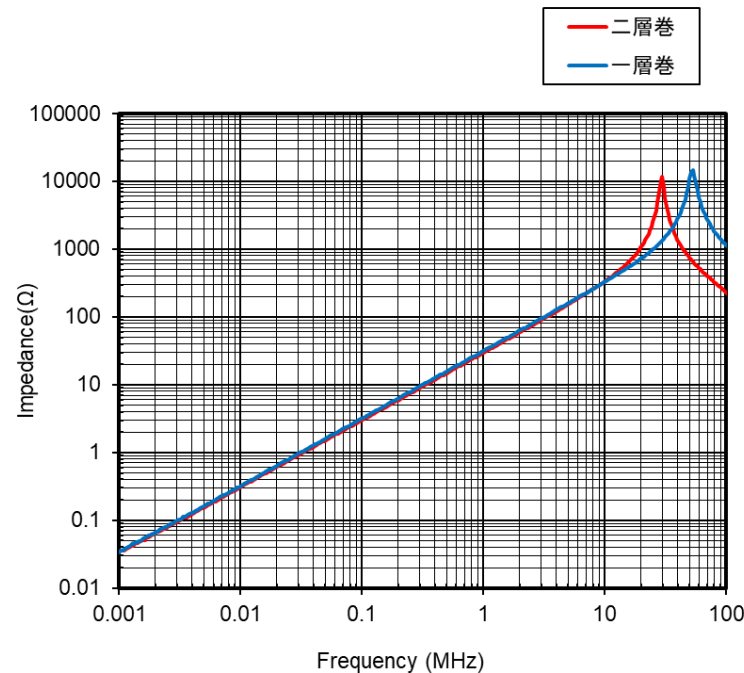
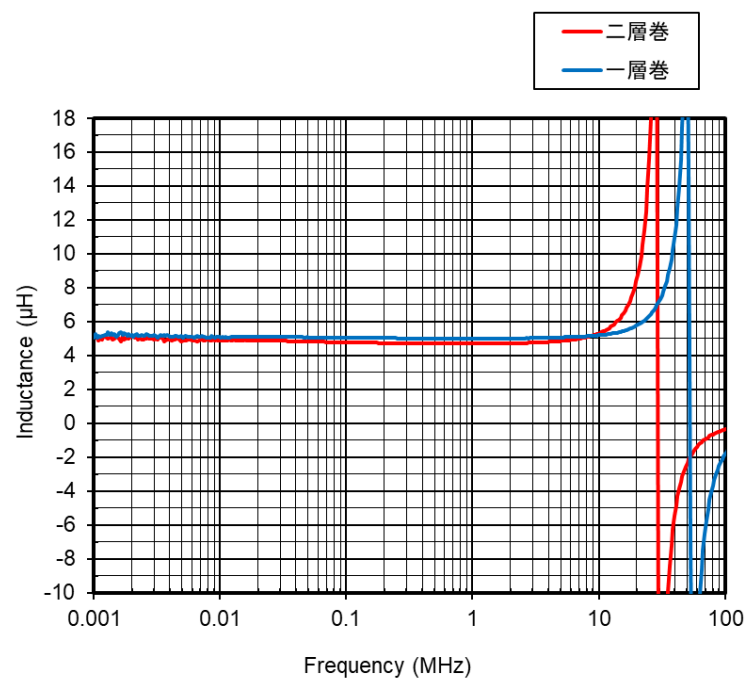
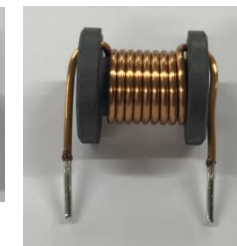
- | | | | | |
|--------|-------|------------------------|----------------------|------------------------|
| ①密巻 | (検討用) | $L1 = 5.00\mu\text{H}$ | $C1 = 1.82\text{pF}$ | $F_c = 52.8\text{MHz}$ |
| ②スペース巻 | (検討用) | $L1 = 5.10\mu\text{H}$ | $C1 = 1.62\text{pF}$ | $F_c = 55.4\text{MHz}$ |



二層巻から一層巻にする

巻始めと巻終わりは電位差が大きいので離れた方がストレー容量が減る

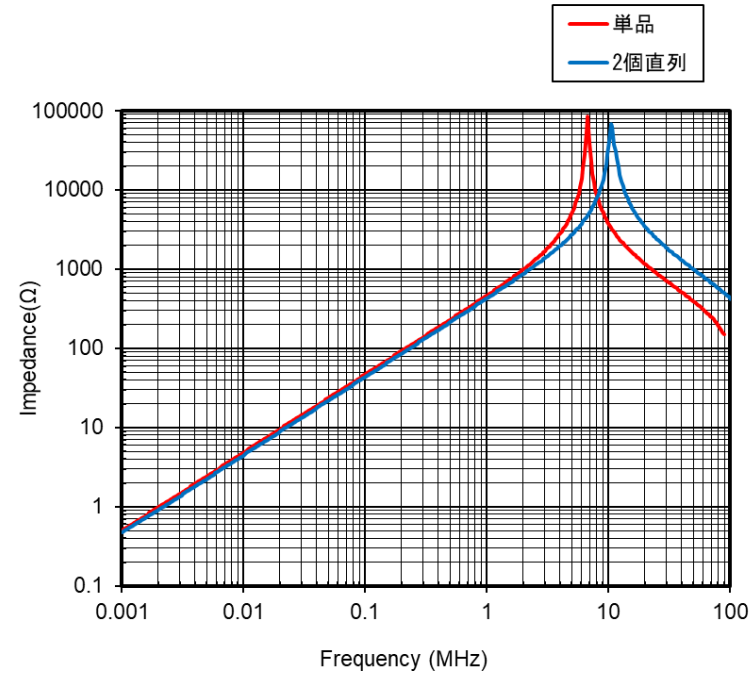
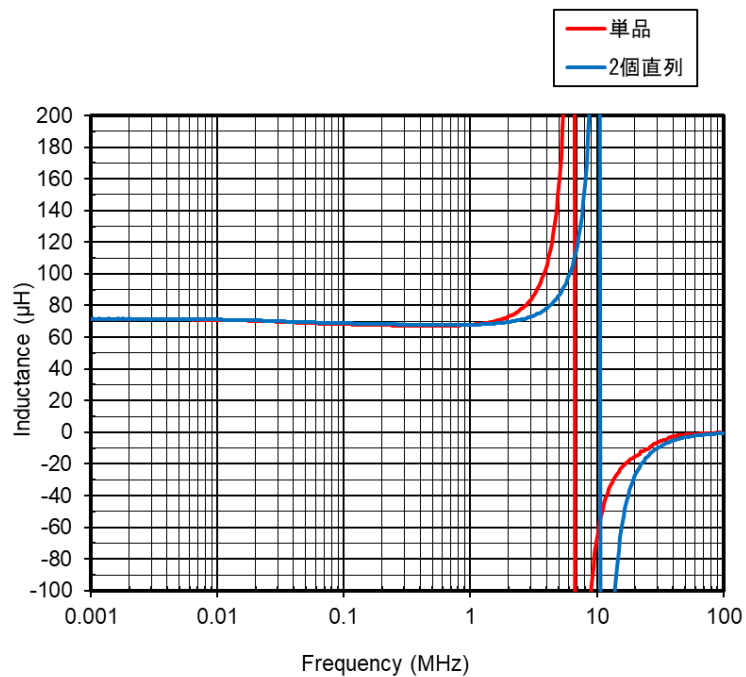
- ① **二層巻 (検討用)** $L1 = 5.10\mu\text{H}$ **$C1 = 6.15\text{pF}$** $F_c = 29.5\text{MHz}$
- ② **一層巻 (検討用)** $L1 = 5.00\mu\text{H}$ **$C1 = 1.82\text{pF}$** $F_c = 52.8\text{MHz}$



単品から2個直列にする

直列接続するとストレー容量は半分になる

- ① **CER1065B-680M 単品** $L1 = 69.2\mu\text{H}$ **$C1 = 8.15\text{pF}$** $F_c = 6.70\text{MHz}$
 ② **CER1065B-330M 2個直列** $L1 = 69.3\mu\text{H}$ **$C1 = 3.23\text{pF}$** $F_c = 10.6\text{MHz}$



第4回 結合について

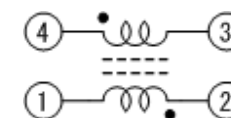
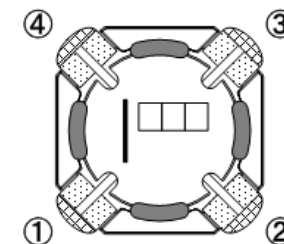
最終回となる今回は結合の話です。トランスの場合、結合は強い方が良いのですが、インダクタの場合、周囲のインダクタとは結合しない方が良いです。しかし、今回は結合させる／結合させないの1か0ではなく、その中間にて結合をアレンジすることをテーマとします。

結合の強さ

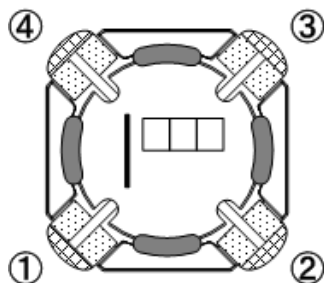
同じ磁路内に2つの巻線があると結合します。その強さを k (結合係数)で表します。

k は0から1の間で表されます。
結合していない時が0、結合が最も強い時が1となります。

(例)SQR1277C-560M $k=0.997$

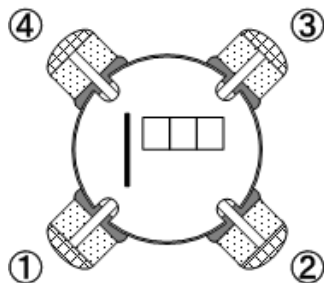


実際の結合値

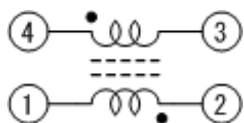


(1)閉磁路タイプ
SQR1277C-560M

約56 μ H $k=0.997$



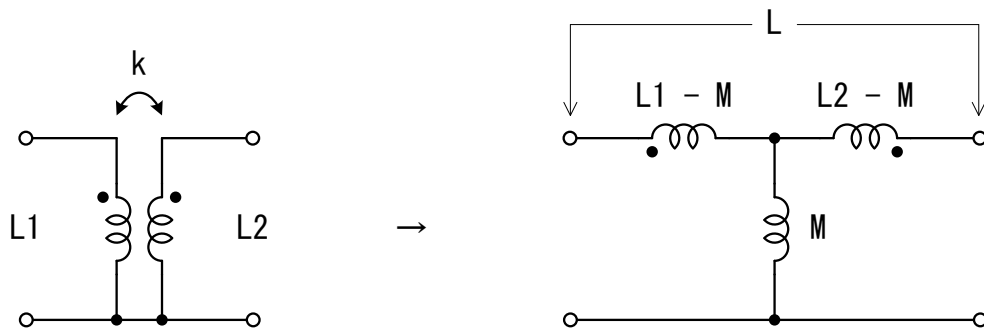
(2)開磁路タイプ
SQR1277C-121M(リングコア無し) 約56 μ H $k=0.972$



同じコアに巻線すると閉磁路であれば結合係数はほぼ1となり、開磁路の場合には磁束が漏れる分、結合は少し弱くなります。

結合の計算

2つのコイルが結合していると相互インダクタンスMが発生します。
相互インダクタンスMは下図の様に表されます。



個々のインダクタンス値をL1、L2とすると
トータルインダクタンスLは、 $L = L1 + L2 - 2M$ となります。

$$L = L1 + L2 - 2M \text{ より}$$

$$M = \frac{L1 + L2 - L}{2}$$

結合係数kと相互インダクタンスMの関係式

$$M = k \sqrt{L1 L2}$$

上記2式より

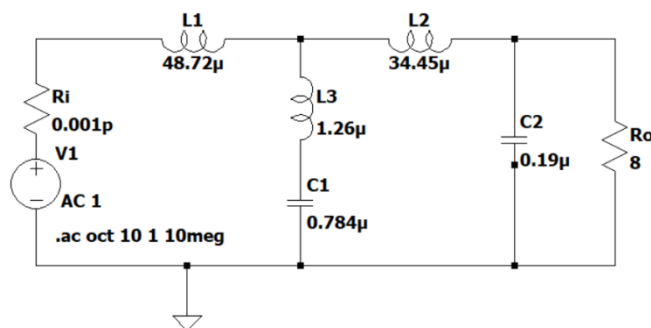
$$k = \frac{L1 + L2 - L}{2 \sqrt{L1 L2}}$$

結合の活用例

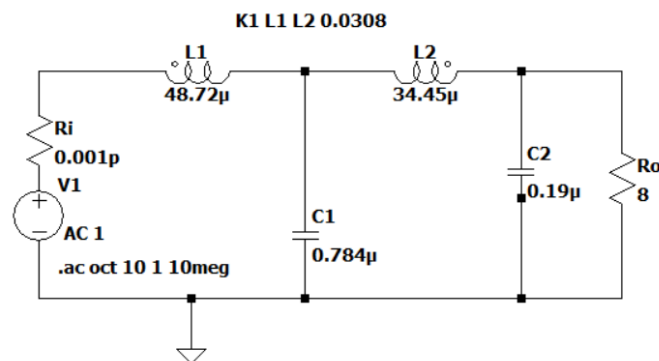
LCフィルタにトラップを作る

4次のLPFにてトラップはL3によって作りますが、
L1とL2の結合により発生するMで置き換えることもできます。

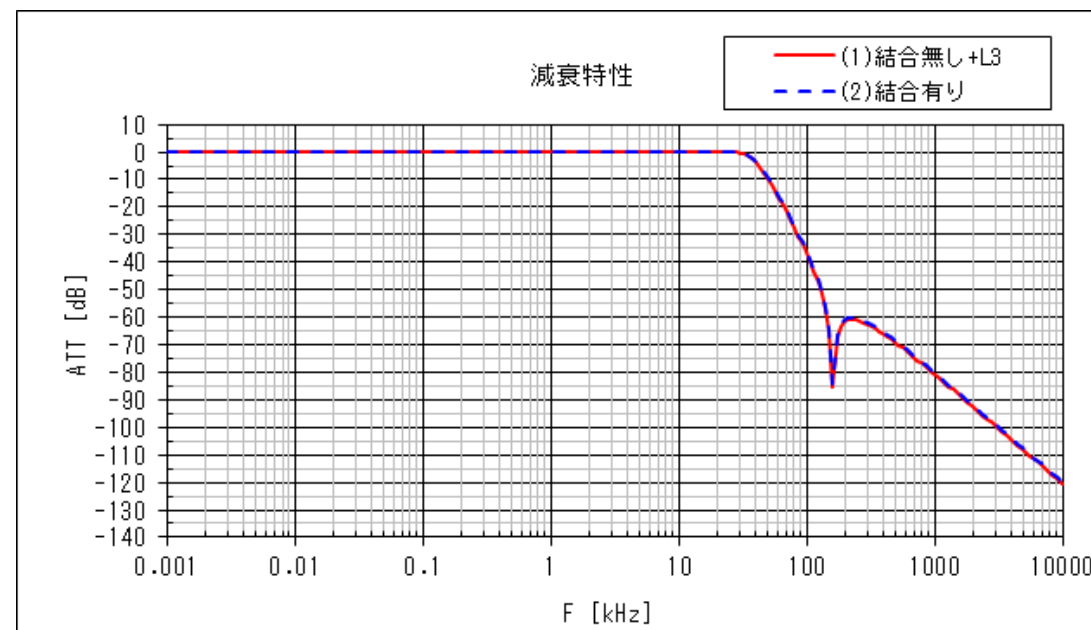
(1) 結合無し



(2) 結合有り



Mを1.26μHにするには結合を0.0308にする。



(1)と(2)は同じ特性になります。

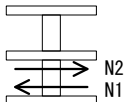
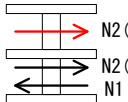
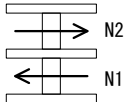
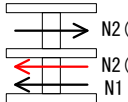
結合をアレンジするには・・・

3枚つばのコアを使用する

結合をアレンジする方法の代表として、3枚つばのコアがあります。



2枚つばを貼り合わせて代用も可

k	巻き方	実際	L1 [μH]	L2 [μH]	L [μH]	k
最大≒1			47.9	31.2	4.22	0.968
強め			47.9	39.6	37.4	0.575
中間			47.9	33.5	57.2	0.302
弱め～ 最小≒0			47.9	38.7	84.6	0.023

この3枚つばを使用すると、結合を0.023～0.968の間でアレンジできます。

他の方法も・・・

他にも結合をアレンジする方法があります。

・・・メガネコアを使う？など

これからもアイデア勝負といえるでしょう。



さいごに

コイルのネタ帳に最後までおつきあいいただきありがとうございました。

「為になる知識(ネタ)」は見つかりましたでしょうか。

「ネタ」についてはもっと磨かれたり、これから新たなネタが見つかるかもしれません。

その時にはまた皆様にご紹介させていただければと思います。

弊社は、今後も市場の要望するコイルを提供していきたいと考えております。

商品に対するご要望がございましたら何なりとお申し付けください。



●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。

サガミエレク株式会社
FAE部