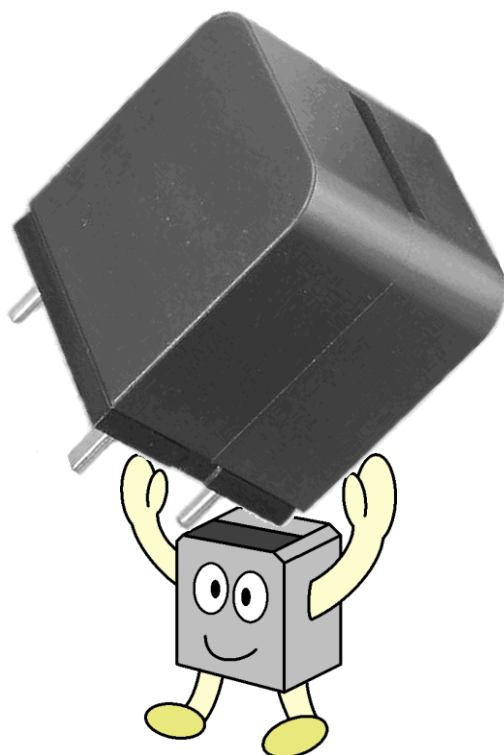


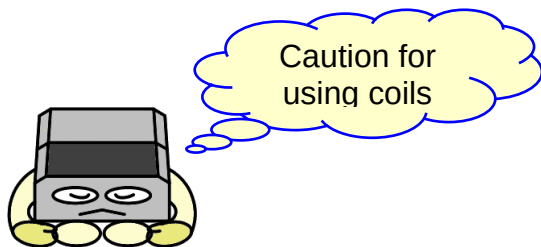
给线圈用户的提示

Part 1



SAGAMI ELEC CO., LTD.

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



【 Cautions for Storage and Handling 】

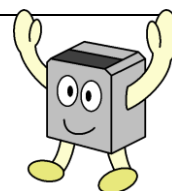
- Do not store products in the areas with conditions such as high temperature, humidity, dust, and corrosive gas that may affect the products to deteriorate.
- Handle with care to avoid dropping and loading without containers that may cause breakage.
- Do not touch electrodes of products without protective glove to avoid deterioration of solder.

【 Cautions before Use 】

- Do not bend terminal pins to avoid wire breakage from an excess stress.
- Do not cut off terminal pins to avoid wire breakage.
- Fix all terminal pins and case lugs with solder on PCB.
- Do not fix tuning slugs and/or cores of variable coils with solder flux.
- Do not rinse coils. When rinsing is necessary, consult with our local Sales office.
- Possibly avoid fixing coils on the edge of PCB.
- Coils are designed for automatic insertion. Take extreme caution when soldering manually.
- Follow the soldering specification when using reflow soldering for SMD coils.

Index

(1) 线圈和电感器之间有什么区别	.....	1
(2) 线圈的参数 (电气规格)	.....	3
(3) 线圈的电感	.....	6
(4) 电感器和发热	.....	8
(5) 线圈的 Q	.....	10
(6) 电感器的自我共振频率	.....	13
(7) 开磁路和闭合磁路	.....	16
(8) 涡流和磁性屏蔽	.....	18
(9) 温度特性和绝缘特性	.....	21
(10) 线圈的动作 (应用)	.....	24
(11) 线圈间的耦合	.....	27
(12) 线圈使用指南	.....	29



给线圈用户的提示 (第 1 节)

●前言

我们常常听到「**在电气元件中，线圈是很难解读的**」这种说法。事实上，即使是专业的线圈制造商，也深感线圈与其他无源元件，电阻 (R) 或电容 (C) 相比是复杂的。

因此，从线圈制造商的角度出发，我们将连载「**给线圈用户的提示**」，以便于大家更多地了解和使用线圈。

共 12 节。希望我们的提示能给您有所帮助。

●线圈和电感器之间有什么区别？

我们相模把用电线缠绕成螺旋状的部件称为「线圈」。其中，只有「单一绕组的线圈」称之为 电感。如图-1。

从而，我们也把「在结构上有两个或两个以上电感的产品」称为 电感线圈。如图-2 所述，「电感线圈也以电感、变压器、滤波器等其他形态存在」。

虽然行业内没有特别的规定，但在国际标准 (IEC) 中，「磁性元件 **Inductive components**」，「变压器 **Transformers**」，「电感器 **Inductors**」之类的名称在普遍使用，而并非称线圈。

当然，把电感器称为线圈是完全没有问题的。

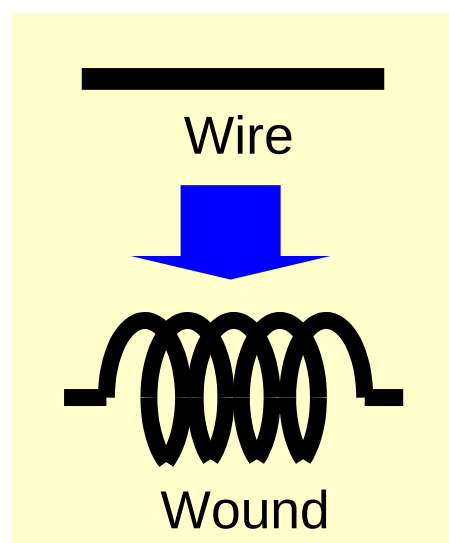


图-1

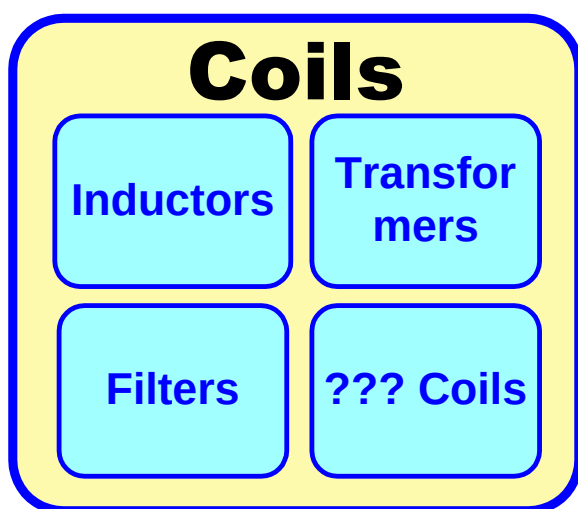


图-2

借此而言，当有人问到：「相模是怎么界定的呢？」我们会回答；「我们是线圈制造商」当您需求样品时，请不要犹豫，只需告诉我们「线圈」，就能完全理解您的要求，保证让您放心，满意。

顺便问一句，贵司是如何称呼这一元件的呢？供您参考，线圈在 JIS C5602 「**电子设备无源元件术语**」中是这样描述的：「线圈，一般来说，是将导体缠绕在绝缘体上的，具有自感的元件」。

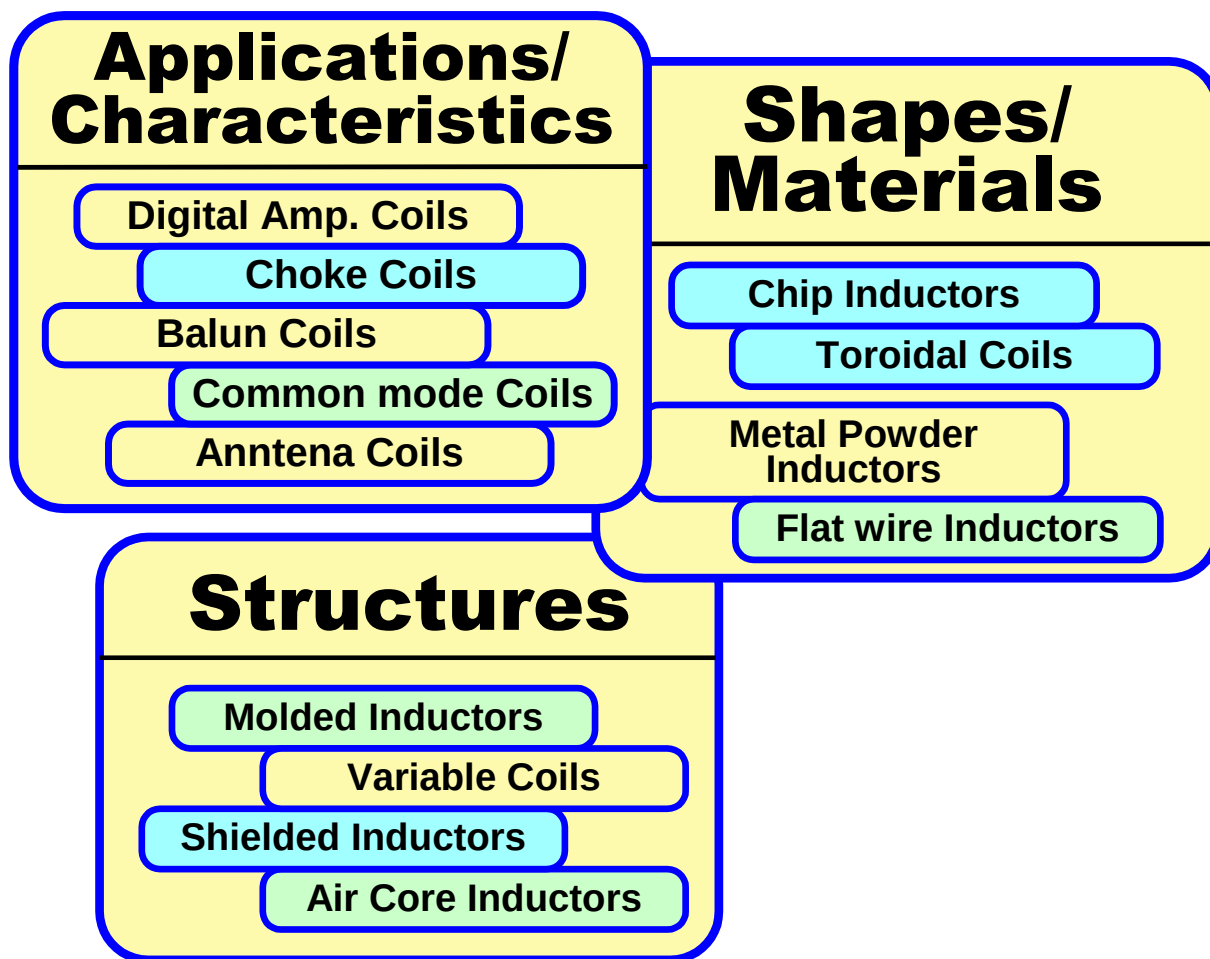
●为什么线圈的外观相似，却有不同的名称？

像其他组件一样，一些产品名称来自其「使用材料」，而一些来自「电气特性」或「使用用途」。大多数电容器是以其「使用材料」命名的，而线圈则是两者兼存的。

在大多数情况下，电容器的称呼与**使用材料**和**使用用途**有关，而线圈则不一定。即使它被称为用于「XXXX 的电感器」，也并非不可用于其他用途。

尤其是在为了强调其特别应用领域时，特意称之为用于「**XXXX 的线圈**」，以达到引起关注和吸引客户的效应。

如客户指定按用于「**XXXX 的线圈**」称呼时，我们也可以按要求为线圈元件制定名称。



由于每个公司都有不同的形式和称呼，这对识别也带来了困惑，在此表示歉意。

在索引查看线圈时，请不要只看产品目录上的产品名称，要仔细考查看线圈的规格。

只要特性符合要求，也可用于制造厂家设定以外的范畴。

如有需求，请随时与我们联系。

星野

给线圈用户的提示 (第 2 节)

●前言

继第 1 节后, 第 2 节是关于 "线圈的参数 (电气规格)". 我们将主要讲述一下电感器 (固定线圈) 这个话题。

●定义电感规格的参数(因素)

电感器的主要参数如下, 但也不是缺一不可, 所需参数取决于实际应用。我们的目录只记载了按用途所需的基本参数。

① 电感值:	必要的
② 直流电阻:	对电源用电感至关重要
③ 直流饱和电流:	对电源用电感至关重要
④ 温度上升电流:	对电源用电感至关重要
⑤ Q:	常用于高频率的电感中
⑥ 自我共振频率:	常用于高频率的电感中
⑦ 阻抗:	常用于特殊电感中
⑧ 温度上升:	对电源用电感至关重要

●每个参数的摘要

"一个理想的电感器"应具备以下特征;

- 电感值是稳定的
- 损耗为零 (直流电阻 = 0, $Q = \text{无穷大}\infty$)
- 可以提供无限的电流
- 无发热
- 自我共振频率 = $\text{无穷大}\infty$

然而, 这些特性只存在理论电路或模拟中。事实上, 电感器的所有值都是有限的。为了明确与理想电感器的差异, 从而采用了各种参数。



1. 电感值:

代表电感器的电气值, 其单位是 H (Henry)。

现实中, 经常使用 μH (micro Henry: $\times 10^{-6}$) 或 mH (milli Henry: $\times 10^{-3}$)。

2. 直流电阻 (DCR):

它相当于绕组 (铜线) 的电阻。电阻越小, 损失就越小。

它是功率电路应用的一个重要参数。

3. 直流饱和电流:

当直流电流提供给电感器时, 电感会减少。它是反应电感减少的一个大概电流值。当电流变小时, 减少的电感又恢复到正常值。

4. 温度上升电流:

代表了根据电感的发热情况，可以应用于电感器的最大电流。如果提供的电流超过规格，电感器可能会被损坏。由于电感器是一个电流供电的设备，因此使用条件根据电流而受到限制。

5. Q:

用以下公式表示电感器在特定频率下的性能，作为一个指数。
它没有单位，因为它是一个绝对数字。

$$Q = \omega L / r$$
 r : r 是电阻，代表其频率的损失。

6. 自我共振频率 (Self-Resonant Frequency):

电感器中存在少量的杂散电容。电感器通过杂散电容和电感发生共振。它代表了这种情况发生时的频率。

7. 阻抗 (Impedance):

代表特定频率下的阻抗。这是在特殊情况下使用的。

●电感器的电流规格

我们想解释一下电流规格，这是最复杂的规格之一。主要有两种类型的电流规格：

- (1) 如果提供的(直流)电流超过规格，产生的热量会损坏电感器。
>>一般称为 "温升允许电流"。
- (2) 如果提供的(直流)电流超过规格，发热不会损坏电感器，但会导致电感量下降。
>>一般称为 "直流饱和允许电流"。

有一种情况是 1 或 2 中较小的一个被指定为 "允许的电流"。
如果你能在检查所需特性的同时仔细查看一下电流规格，我们将不胜感激。

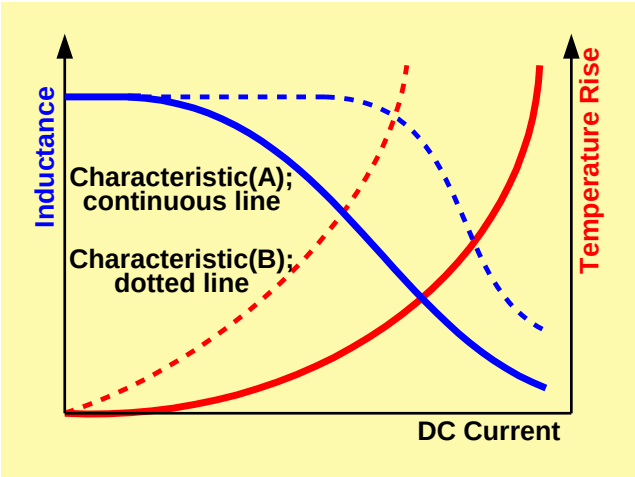
有两种特性，一种是低发热 (A: 连续线)，另一种是高饱和电流 (B: 虚线)。
请参考右边的图。

在 DC/DC 电源的情况下，一般使用特性 (A) 的电感器 (标准电感器)，因为在大多数情况下电流是连续流动的。
对于最近在市场上流行的数字放大器，大部分大电流是瞬间流动的。因此，可以使用特性 (B)，即在峰值电流时不饱和，而不是发热。

作为参考，我们展示的是 "7G17D "的特性
示例，它是用于数字放大器



的。



图表-1

Type	Inductance (μH)	DC saturation current (A)	Temperature rise current (A)
7G17D-100M	10 ± 20%	26.0	8.2
7G17D-220M	22 ± 20%	13.0	8.2
7G17D-330M	33 ± 20%	7.5	8.2

*请看一下当前规格的差异。

此外，关于直流饱和允许电流的特性，有些产品的电感量下降曲线很急，有些产品的电感量曲线很缓（由于结构/材料的不同）。因此，在选择电感器时，也请根据您的应用来考虑这些特性。

●如何选择电感器

电感器是电子元件，所以上述 "电气参数 "首先要固定。另外，在选择电感器时，要考虑到形式、结构和使用环境等条件。我们可以提供规格书上没有的特性文件，请随时联系我们。

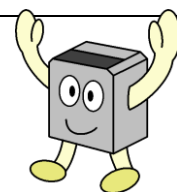
●直流饱和电流(电感的饱和度)

虽然我们可以只通过绕线来制作线圈（这就是所谓的 "空芯线圈"），但我们通常使用磁性材料的组合来减小尺寸。当 "空芯线圈 "与作为磁性材料之一的铁氧体磁芯结合时，电感量可以增加几倍到几百倍。

然而，磁性材料具有磁饱和的特性。当磁饱和发生时，它降低了增强电感的效果。因此，线圈的电感量会减少。

一般来说，在具有相同电感量的线圈中，形状越小磁饱和发生的越快，会导致直流叠加电流的急剧下降（供应的电流较少）。尽管如此，材料的改进使我们能够做到缩减电感器的尺寸。

星野



给线圈用户的提示 (第 3 节)

●前言

第 3 节中我们将谈论一下 "线圈的电感"。每节的内容衔接不一定恰当，如能有助于您对线圈的进一步理解将不胜荣幸。

●绕组线圈的电感

在第 1 节中我们说到，线圈是用电线缠绕成螺旋状的部件。线圈的电感量 (L) 和绕组匝数 (N) 之间的关系如下 (电感量与绕组匝数 (N) 的平方成正比)。

$$L = k \times \mu e \times N^2 \quad (\text{H: Henry})$$

k : 取决于形式的恒定值, 以此类推
 μe : 有效磁导率

对于绕组线圈，当绕组匝数变成两倍时，电感就会变成四倍。

在最近的低电感线圈的情况下，如果绕组匝数增减 1T，电感量将显著改变。因为它们的绕组匝数很小，而且必须是整数。

例如，表-1 显示了当电感器有 5T 和 4.7uH 时的每圈电感量。

在这种情况下，我们不能做出中心值为 10.0uH 的电感。作为参考，弊公司的 CER8042B 的产品情况下，11T 的电感是 6.8uH (照片-1)。

一些用户的工程师知道上述公式，会提出这样的要求："请给我提供减少一圈以达到电感量 XXuH 的样品！"

表-1

Winding Turns(N)	Inductance(L)
5T	4.7uH
6T	6.8uH
7T	9.2uH
8T	12.0uH



照片-1 CER8042B

在开发电感器时，我们通常会参照 E6 和 E12 的系数来设计电感的结构和线圈匝数。

对于绕线电感，也可以 (通过改变匝数) 定制系列外的电感值，当然，也有怎么都满足不了的情况。

●有效磁导率

即使磁性材料被添加到空芯线圈中，实际电感量也不会以材料磁导率的倍数增加。这是因为并非所有从线圈产生的磁通都会通过磁性材料。这个实际增加比例系数称为有效磁导率。

如果在磁路中存在任何气隙，有效磁导率将大大降低。由于这个原因，即使使用了非常高的磁导率材料，有效磁导率也不会有太大的增加。

因此，即使使用高磁导率的材料对电感器的小型化也是有一定的界限。

●磁芯间隙

上 1 节中所谈及的 7G17D 之规格 (表-2)，它的温升允许电流值全部相同，实际的缘由是因为直流电阻是相同的。换句话说，如果直流电阻相同，线圈内部的绕组也都是相同的。

表-2

Type	Inductance (μ H)	DC saturation current (A)	Temprature rise current (A)
7G17D-100M	10 $\pm$ 20%	26.0	8.2
7G17D-220M	22 $\pm$ 20%	13.0	8.2
7G17D-330M	33 $\pm$ 20%	7.5	8.2

那么，你知道我们如何能改变电感吗？
答案是通过改变 μ_e （有效磁导率）而不改变电感器的形式或匝数。
事实上，我们在磁性材料的铁氧体磁芯的一部分设计了间隙（狭缝：图-1）。在不改变铁氧体磁芯材料的情况下，间隙有助于改变有效磁导率（表观磁特性）。

然而，间隙的大小不仅影响电感，而且还影响直流饱和和允许电流特性。
间隙大小、电感和直流饱和和允许电流特性之间的关系如下图表-1 所示。

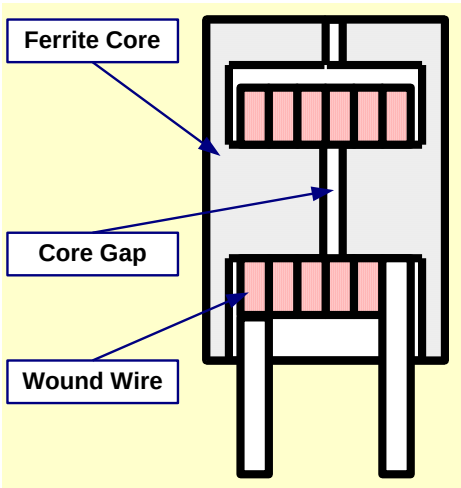
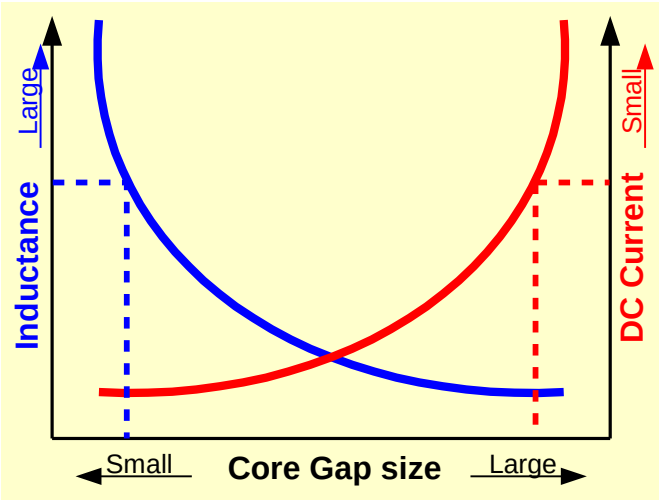


图-1 7G 型的截面图



图表-1 磁芯间隙差距特征

间隙的大小将在考虑到这两种平衡的情况下确定。
请再看一下表-2。你可以发现，表-2 就像图表-1。（如果电感大，间隙就小）。

"为了减少损失，我们必须减少电线的匝数以获得低电阻，缩小间隙以增加电感。但是，直流饱和和允许的电流特性将减少.....这是一个两难的选择！"

因此，对于我们这些线圈制造商来说，间隙是如何设计的。间隙设计在电感器的哪个部分，以达到最佳特性。这都是一个很好地展示我们实力的机会。

星野

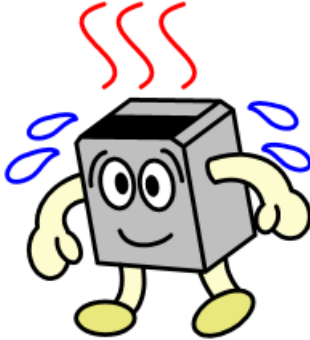
给线圈用户的提示 (第 4 节)



● 前言

第 4 节是关于 "电感器和发热"。由于发热的限制，许多电子元件都有允许电流值的规格。线圈也受到了限制。

● 发热的问题是什么？



首先，发热会使线圈的电线树脂涂层质变，并加大线圈短路的可能性。（一般来说，耐热温度的分类是：**E 级：120°C**，**F 级：155°C**，**H 级：180°C**）此外，使用胶粘剂的线圈很有可能被质变的胶粘剂损坏。其次，当超过铁氧体磁芯的居里温度时（对于功率电感器来说，通常不低于 200°C），磁特性将消失，电感量将急剧下降。（当温度降低时，这种情况将变回到正常）。像其他一般的电子元件一样，如果线圈长期处于高温下，会加速老化。（它不像电解电容那么快。）因此，请避免温度上升过高。在最坏的情况下，可能会出现 "温度上升过高，导致固定线圈的焊料融化，线圈从电路板上掉下来" 的情况。

● 线圈发热的原因

在绕线型线圈的情况下，当直流电通过线圈时，热量是由于电线的电阻损失而产生的。相比之下，当交流电通过时，其他损失也会产生（集肤效应和磁性材料的损失），这就导致了热量的产生。

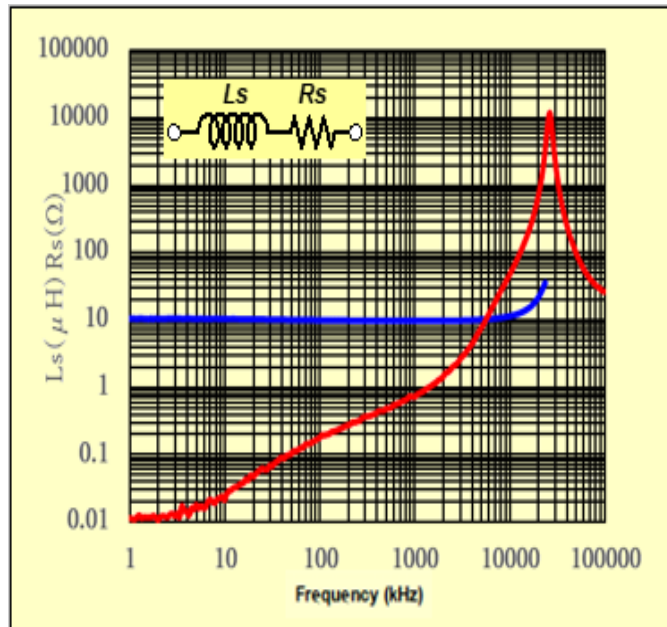
当线圈的等效电路被表示为 $LS + RS$ ，

我们的功率电感器（CER1277B-101）的频率特性如**图表-1**。我们可以发现，由铁氧体磁芯制成的电感器的趋势几乎相同。

在供应含有交流的电流时，有必要考虑交流（高频）和直流的损耗。

然而，热量的产生与损失（和电流平方）成正比。如果直流和交流的比例是 **10:1**，那么当 RS 大 **100 倍** 时，直流和交流的发热量就被计算为相等。

如果发热量出乎意料的大，最好是检查一下流过线圈的电流波形。



$$P = I^2 \times R$$

● 电流值的规格并不是由电线的尺寸决定的

一般来说，在进行布线时，电线越粗电流越高。对绕线线圈来说，电线越粗，直流电阻将会减小，发热也会小，可以使线圈流过大的电流。

但是，并不是一味地可以断定 XX 毫米(mm)的电线就可以使 XX 安培 (A) 的电流通过。

这是因为电流受限制的原因不是电线的粗细，而是流过电流产生的热量。

即使是很细的电线，只有线圈有散热的结构，也能承受很大的电流。

作为参考，我们以本公司的片式电感器（C2012B）和功率电感器（7E06LB）为例进行了对比。从表-1 的数值中可以看出，尽管允许的电流值相同，但导线尺寸却相差三倍。也就是说，横截面积有九倍的差异。

功率电感器的电线粗，但允许电流值却很低，原因是线圈中产生的热量很难释放。因此，半导体在电路中的引线 and 功率电感用的引线都比较细。



照片-2 7E06LB

表-1 C2012CB 和 7E06LB 的电气规格

Type	Inductance	DC Resitance (mΩ)max.	Temperature rise allowable current (mA)	Wire diameter (mm)
C2012CB-15N	15nH	170	600	0.05
7E06LB-470	47uH	610	610	0.12

● 线圈的温度也会因装配方式不同而改变

线圈产生热量有效释放可分为两类：第一类是通过线圈表面的空气放出的热量（空气对流），第二类是从线圈的连接处放出的热量（热传导）。

特别是，从端子到印制电路板的热量传递取决于焊盘尺寸的大小，线圈的温度会随之明显变化。因此可通过有效释放热量来减少温度上升（=增加尺寸）。

此外，气流的变化取决于印刷板的方向--是水平放置还是垂直放置。因此，线圈的发热量可能会有所不同。

虽然是种极端的说法，如果线圈在原型设计时使用图-1 那样的焊接来评估的话，它比正式安装在电路板上的线圈温度要低。

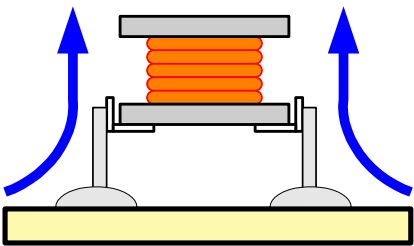
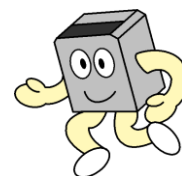


图-1 浮动线圈时

星野

给线圈用户的提示 (第 5 节)



●前言

第 5 节我们就“线圈的 Q”进行讲解。对于主要使用功率电感器的人来说，或许不太熟悉 Q，它是高频线圈的重要参数之一。

●什么是 Q?

Q 统称品质因数，是表示与理想状态的线圈之差异(损耗量)的参数之一，在用图-1 来表示线圈的等效电路时，通过公式-1 进行计算。当 $r_s = 0$ 时， $Q = \infty$ 。因此，可以说一个“Q 越大(高) = 损耗越少，越接近理想的线圈”。

过去，曾有一个叫做 Q 表(曾是线圈厂家的必备仪器)的产品，用它来测量 Q 值，但现在通过将多功能 LCR 表(或阻抗分析仪)的测量模式设定为“ $L_s + Q$ ”即可进行测量。

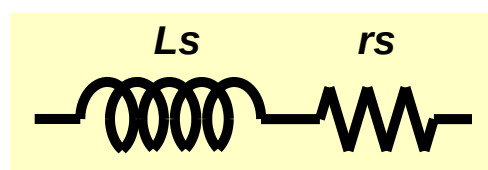


图-1 线圈的等效电路

$$Q = \frac{2 \times \pi \times f \times L_s}{r_s} \quad \text{公式-1}$$

即使是同一个线圈，Q 也会根据频率大幅变化。通常，测试频率从低到高频变化时，Q 值将在某个频率点成为最大值，随后将逐渐下降(如下一页图表-1 的利兹线所示。)

●Q 和 ESR

在功率用途中，与在电容器的领域多半使用等效串联电阻(ESR)而非 $\tan\delta$ 一样，功率电感器采用 DCR 而非 Q。有关损耗，电阻可能更直观，简明。除此之外，DCR 更易于测量。

Q 和 r_s (ESR) 具有相同的含义，可通过公式-1 相互转换。

●集肤效应和绞合线(Litz 线)

在同样的形状下，DCR 虽大，但将频率提高，Q 值也会变高。

当频率提高时，流经导线的电流集中在离导线表面一定深度的地方，如图-2。那么电流就很难流过更深的区域。(电线越粗，在中心产生的浪费面积就越大，电流就不会流动)。这就是所谓的趋肤效应。

这是一种通过使用表面积大，但总横截面积小的电线来分散集中电流的方法。实际上，个别绝缘细线被捆绑起来，作为单线使用(这被称为绞合线)。电流可以流向细线的中心区域。

为了证实实际效果，图表-1 显示了缠绕在同一铁

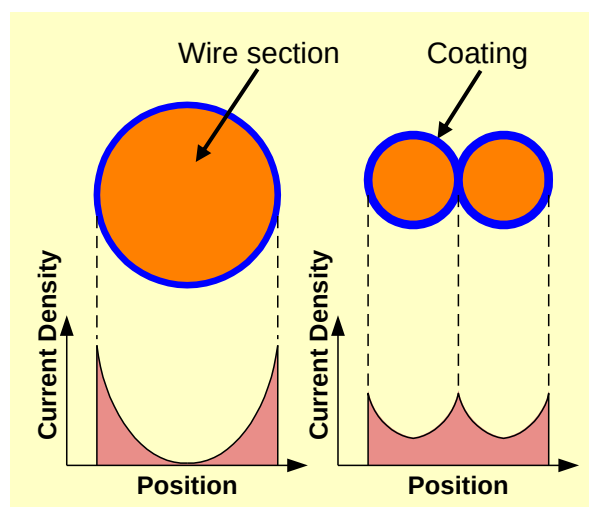
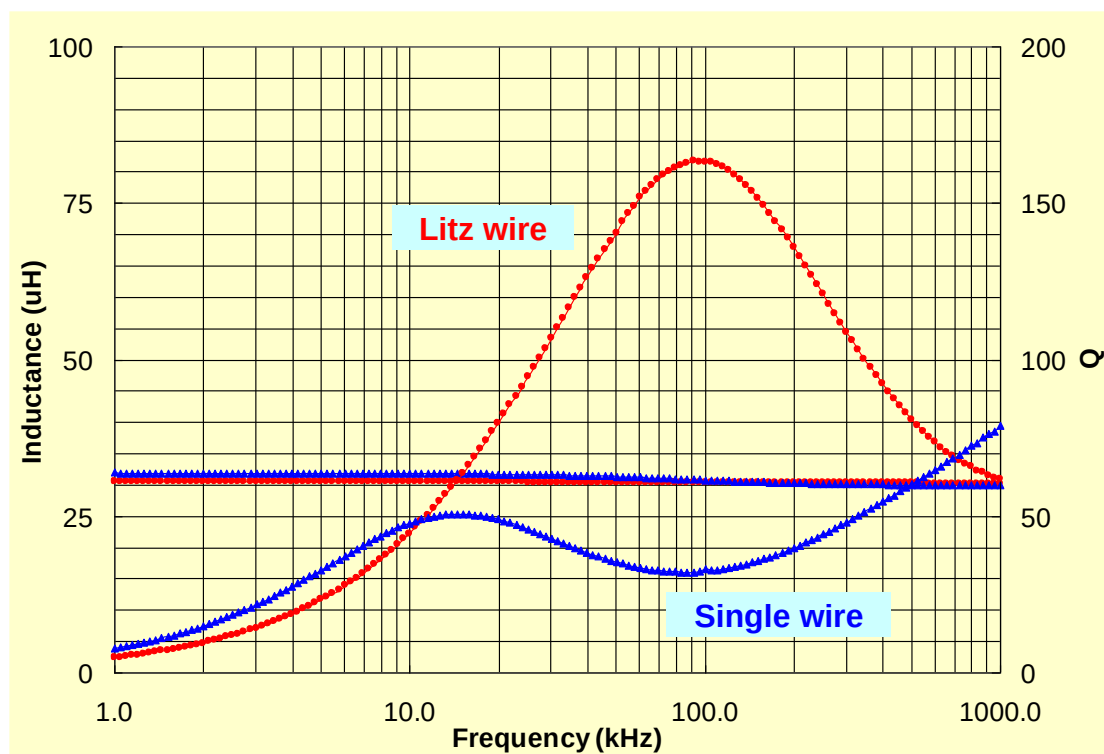


图-2 集肤效应

氧体磁芯上的单线和绞合线的线圈特性的例子。从图中可以看出，绞合线也不是万能的，所期望的有效频率范围也是有限的。考虑到成本的影响，使用的范围被局限。

在过去，绞合线经常被用来提高 AM 无线电的天线线圈的 **Q 值**。然而，最近它很少被使用，因为半导体的性能（灵敏度）已经得到改善。



图表-1 Q 值与电线类型

●为了提高 Q 值

一般来说，如果线圈周围有金属（导体），Q 值会下降。这主要是因为当线圈产生的磁通量通过金属时，会产生涡流。（关于涡流，见后面的主题）。

在射频电感器的情况下，高 Q 值电感器已经通过以下努力实现了：

1. 让绕组远离线圈的金属终端。
2. 当把线圈安装到印刷电路板上时，尽可能使绕组远离焊盘（铜箔）。

如图 4 所示，高 Q 值的片状电感器（我们的 C2012H）有更大的空间。因此，与标准电感器相比，绕组面积减少了。而可生产的最大电感量也变得很小。然而，在相同的电感量下比较，可以获得更高的 Q 值。

虽是一件微不足道的事情，但通过这些实践的积累，持续不断地来改善线圈的特性。

另外，如果印刷的布线图案（铜箔）在线圈的正下方，开磁路功率电感器可能有一些影响（没有射频电感器那么大）。

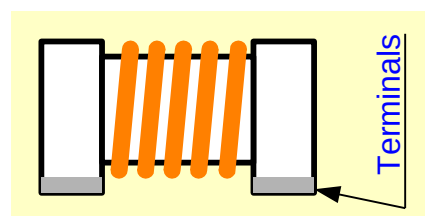


图-3 标准

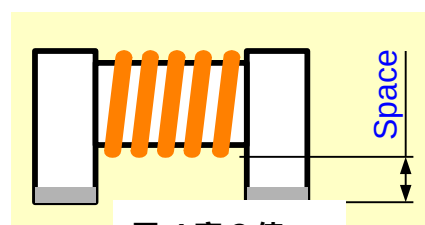


图-4 高 Q 值

●关于间隙 (第三专题的补充)

这是对第 3 节中关于间隙的补充说明。

在铁氧体磁芯和绕组的相同条件下，如果只改变间隙大小（见图-5），其特性如下图表-2。电感和直流饱和和允许电流之间的关系是相互依赖的。

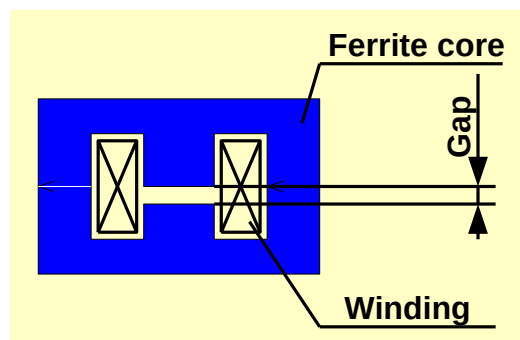
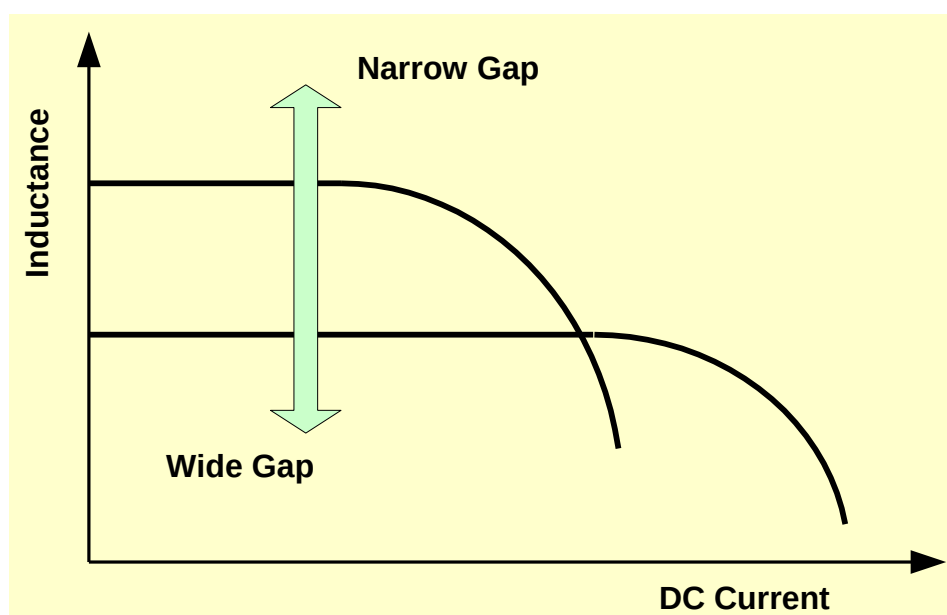


图-5 间隙定位

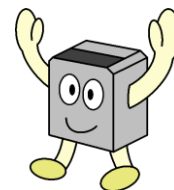


图表-2 间隙与电气规格

如果我们想提高电感量，而电感器有间隙，我们可以通过缩小间隙而不增加 DCR 来实现。然而，由于形状（结构）的原因，通过间隙调整使电感量变化的范围是有限的。

星野

给线圈用户的提示 (第 6 节)



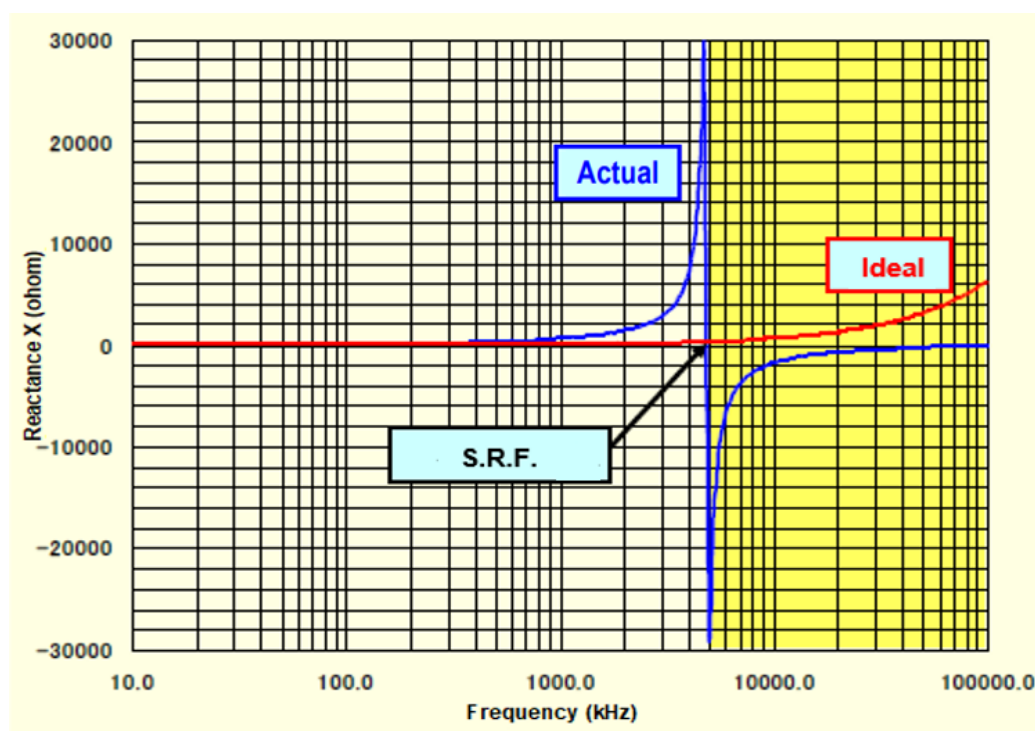
● 前言

第 6 节是关于 "电感器的自我共振频率(self resonance frequency)"。实际元件在许多方面与理想元件不同。有些方面显示出意想不到的特点。

● 什么是自我共振频率?

电感阻抗的正常频率特性 ($Z=R+jX$)。如图-1 中的蓝线所示 (只画 jX)。(图为本公司的 CER1277B, 100uH) 为您提供参考, 红线表示 100uH 在理想条件下的频率特性。

在图表-1 中, 显示反向阻抗极性的频率被称为自共振频率 Self Resonance Frequency = SRF。



图表-1 阻抗 (X) 特性

● 自我共振的来源

在实际生活中, 只要电极有宽度 (大小), 就会产生电容 (电容器)。这种电容被称为寄生电容、分布电容、浮动电容和杂散电容。

因此, 在一般情况下, 电容 (电容器) C_p 被添加到电感并联的等效电路中, 如图-1。

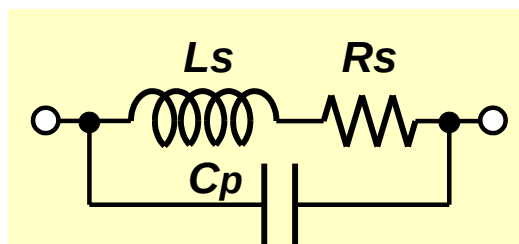


图-1 等效电路

电感的电容 C_p 和自身的电感 L_s 产生共振, 频率响应如图表-1。

通常只靠电感是会产生谐振现象的。在没有并联电容器的情况下，谐振会自我产生，所以称它为自谐振频率（SRF）。简称自振频率。

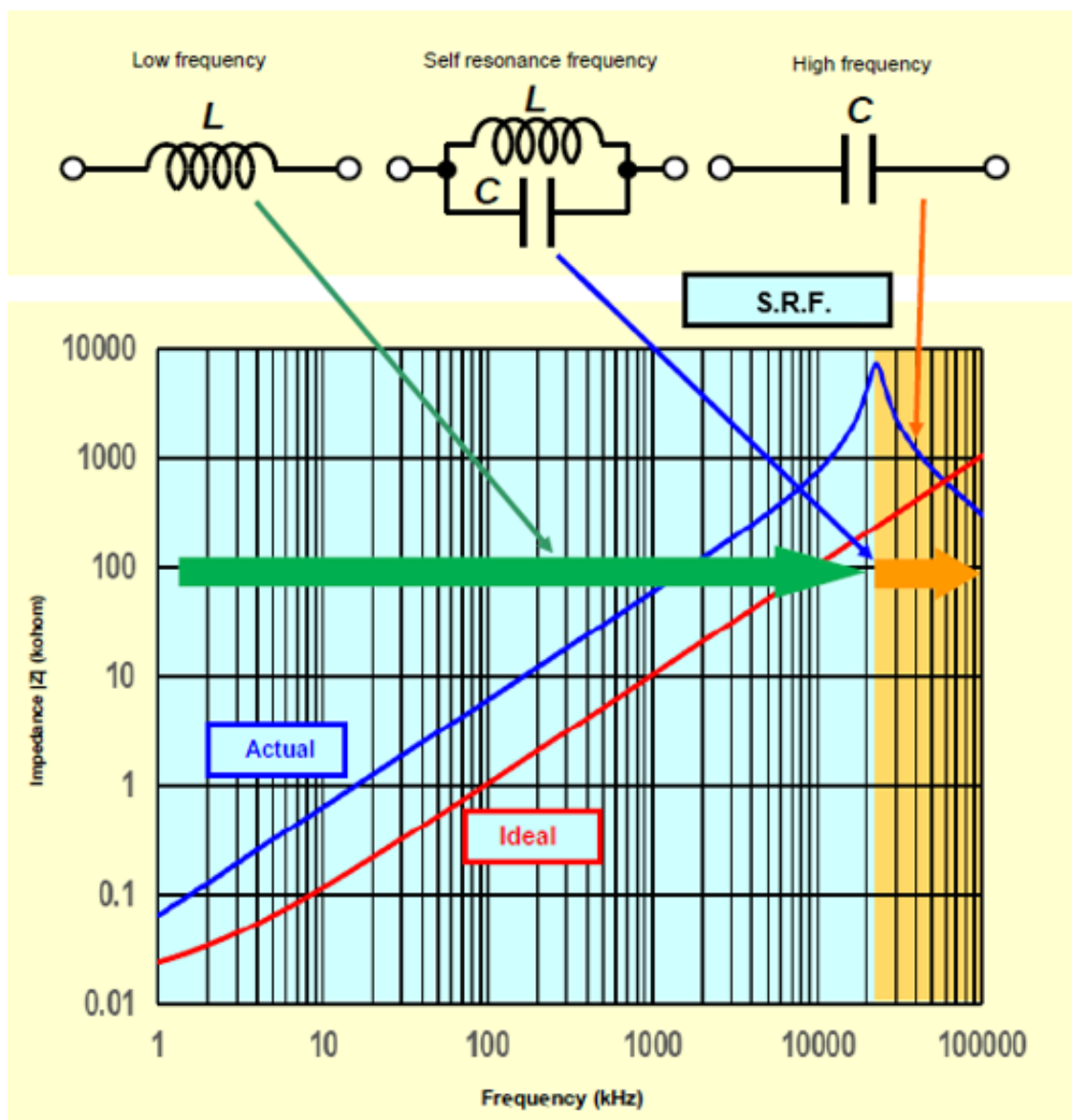
SRF 是不可避免的，但也有通过巧妙的结构设计，可以减少 C_p ，并将 SRF 值变成更高的特殊的线圈。

●明明是电感器却是电容器？

表示阻抗 ($Z=R+iX$) 的电抗 (X) 的极性，正 (+) 的时候是表示电感性，负 (-) 的时候是表示电容性。

因此，再比图-1 的自谐振频率低的频域中是电感器，但在比自谐振频率高的频域中（深黄色部分）是作为电容器发挥作用的。在高于自谐振频率下，电感器不在发挥作用。

大致的印象如下图所示，理论上电感器的情况是频率越高阻抗越大，信号越难通过，但是实际上的阻抗特性（图 Z）如图表-2（红线为理论电感器的情况），自我共振频率达到最大值之后逐渐减少。



图表-2 阻抗特性和等效电路

●现实中电感的自我共振频率

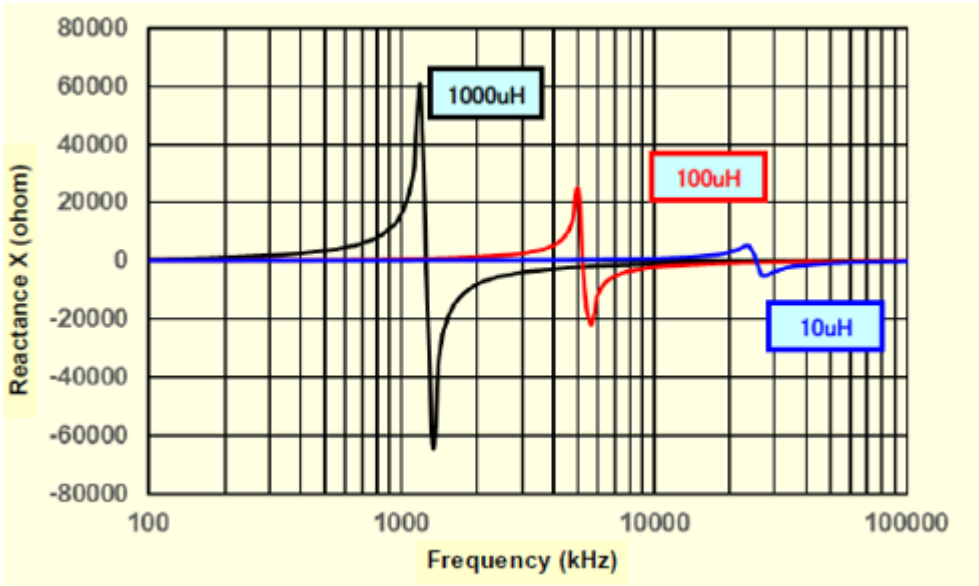
本公司的功率电感器（CER8065B）的 SRF 和杂散电容（ C_p ）的测量值如表-1 中所述。

一般来说，杂散电容的值不会与电感成比例增加。然而，尽管它没有像电感那样增加，但当电感值增加时，杂散电容也会增加，SRF 值会减少。

每个电感的阻抗特性（SRF 的位置）的差异如图表-3 中所示。

表-1 SRF 与杂散电容

Inductance L_s (μ H)	Self Resonance Frequency (MHz)	Stray Capacitance C_p (pF)
10	26.0	3.7
100	5.2	9.4
1000	1.2	17.6



图表-3 不同电感量的阻抗特性

●与 SRF 有关的使用注意事项

- 1) 当电感器被装配在印刷电路板上时，杂散电容会因电路板的布线而增加。因此，与单个电感器的情况相比，SRF 值会向低的一方移动。
- 2) 电感器的杂散电容相对较小。因此，自我共振频率值可能会由于安装时增加的杂散电容（印刷电路之间的电容）而发生明显变化
- 3) 通常情况下，如果频率小于或等于自我共振频率的 1/10，这种影响可以忽略。
- 4) 阻抗值在自我共振频率附近增加。因此，如果你能很好地利用这一点，你可能获得比电感值更好的阻抗效果。不过由于自我共振频率不是刻意制造出来的，要注意它大的偏差变化。

星野

给线圈用户的提示 (第 7 节)



●前言

第 7 节是关于 "开磁路和闭合磁路"。托您的福，我们已经完成了计划的一半（共 12 节），现在进入下半场。

●线圈和磁力线

当电流流入线圈就会产生磁力线。问题是当磁力线通过金属（导体）时，反而会在金属（如印刷电路板的铜箔）中会产生感应电流（涡流）。由于这个电流是意外产生的，它有时对电路的运行产生不利影响。详细情况，我们将在接下来的 "磁性屏蔽" 中描述。

●闭合磁路式和开磁路式

线圈（电感器）会产生磁力线。可以让这种磁力线从线圈中难以泄露的线圈结构，称之为闭合磁路式结构（或简称为闭合磁路式结构）。反之，磁力线会泄露在线圈之外的结构称为开放式磁结构。

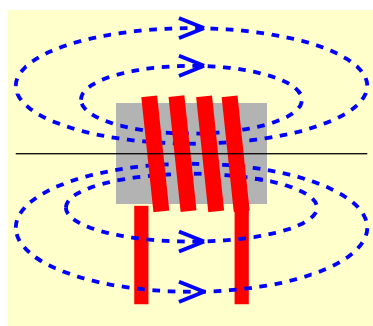
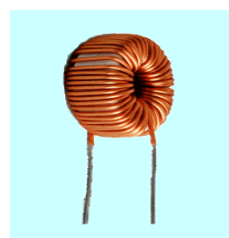


图-1 开磁路

线圈的磁力线绕着线圈转，形成一个如图-1 的环形。因此，在开磁的情况下，磁力线在线圈周围广泛溢出。制作闭合磁路结构的方法是用磁性物质覆盖和隐藏绕组，用磁性物质填充磁力线路径。通过这样做，磁力线穿过磁性物质，而不会从线圈中泄露出来。例如，如果磁性物质覆盖了线圈的两侧，磁力线的泄漏就会变小，因为磁力线会像图-2 那样通过磁性物质。

如果线圈的另一侧也覆盖了磁性物质，那么，磁通量的泄漏肯定会再减少。

顺便说一下，有些线圈虽然绕组是暴露的，也属于屏蔽结构。



照片-1 环形线圈

典型的例子是环形线圈（照片-1）。

从线圈中产生的磁力线不会向外扩散，因为它通过线圈内的磁芯形成了一个回路。最近，随着产品的小型化迅速发展，为了避免每个相邻组件的影响，首选使用闭合磁路式线圈。

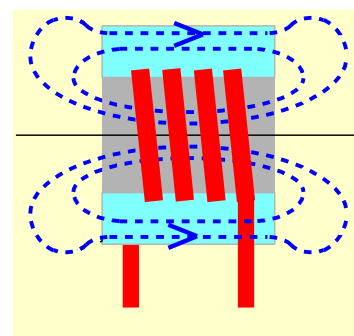


图-2 闭合磁路

●闭合磁路的定义

在组件标准和行业的规范中，都没有明确规定闭合磁路的判断标准。

制造商宣布这个线圈是 "闭合磁路 "的，它就会被视为闭合磁路线圈。

在这种情况下，本公司根据产品的差异，也分为 "全闭合磁路 "和 "半闭合磁路"。



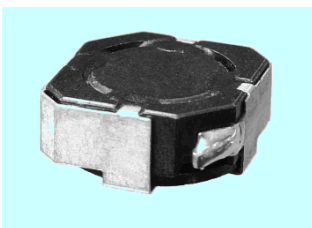
●特性的差异



照片-2 CWD1045C

对于电感器来说，在闭合磁路和开磁路电感器的直流饱和特性中有差异。这些差异源于磁性结构。闭合磁路是随着直流饱和电流的增加电感有缓缓降低的趋势。

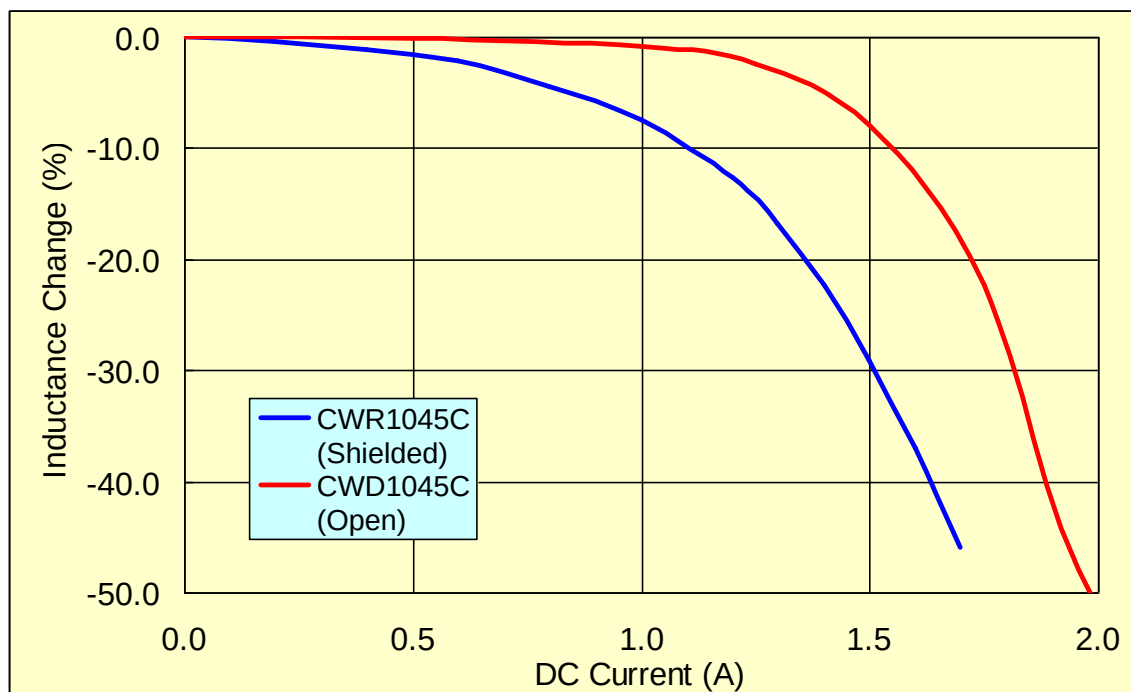
与此相对，开磁路情况下，直流饱和特性有延伸的趋向。当然，曲线的变化趋势取决于所使用的磁性材料的特性。



照片-3 CWR1045C

图表-1 显示了本公司的车载用功率电感器 **CWD1045C** (开磁式电感器) 与 **CWR1045C** (闭合磁路式) 在相同电感量基础上的特性比较。由于开磁的 CWD1045C 具有开磁结构，不容易发生磁饱和，所以直流饱和允许电流扩大了。

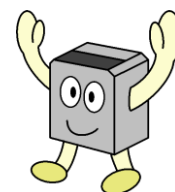
※CWD1045C,CWR1045C 该产品目前不在阵容中



图表-1 电感量基础上的特性比较

一般来说，因为屏蔽式的结构可以将磁通密封起来，闭合磁路式电感器的有效磁导率 (μ_e) 比开放式磁感器大。当两者具有相同的电感值时，闭合磁路所需的绕组匝数就比较少。

给线圈用户的提示 (第 8 节)



●前言

第 8 节是关于 "涡流和磁性屏蔽"。

●磁性屏蔽

要屏蔽线圈，有三种方法；反射、吸收和转移不必要的信号。

阻断磁力线（磁场）的磁性屏蔽是用磁性材料覆盖线圈（磁通量更容易通过磁性材料），如图 1。用屏蔽材转移并阻断磁力线（通过将磁力线集中在磁性材料中）。

屏蔽不仅可以阻挡外部，而且还可以防止不必要的信号从内部泄露出来。一些闭合磁路式电感器的结构是用磁性材料覆盖在线圈外面，这样的磁屏蔽可以防止线圈内部的磁性泄漏。

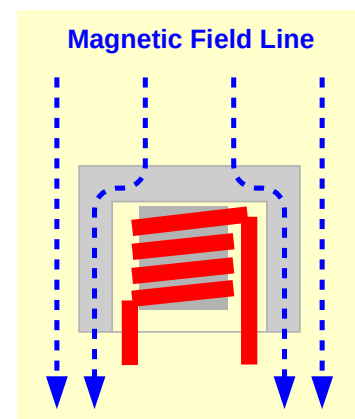


图-1 磁性屏蔽

●涡流效应

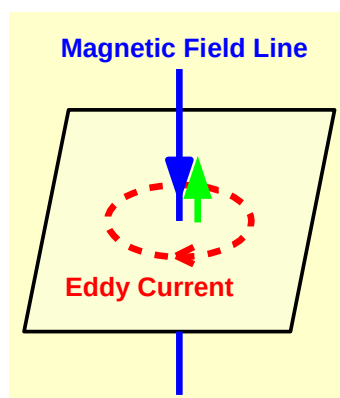


图-2 涡流

当通过金属的磁通量变化时（磁场由交电流产生），在金属表面产生涡流，以拒绝（图-2 中的绿色箭头）原始磁通量的变化，如图-2。

其大小与频率成正比（低频率=小的电磁感应，因为磁通量的变化很小）。此外，电导率越高，电流就越大。因此，像铜或铝这样的金属材料有很大的涡流。由于涡流值与频率成正比，低频时涡流很小，高频是较大。我们可以利用这个特性。

正如我们前面解释的，涡流的流动方向与磁通量相抵消。由于这个原因，当金属被放置在线圈附近时，电感值可能会减少或损失会增加（=减少 Q）。

闭合磁路式电感器受到的影响不大，因为它的结构中漏出的磁通量很小。可是，开磁式电感器受到的影响会比较大，因为磁通在线圈周围暴露。

当电感器被放置在印刷电路板上时，如果其位置靠近接地印刷电路或焊盘的金属部分，涡流就会产生，电感器就可能受到影响。

●用于线圈的磁性材料

我们可以通过使用磁性材料来增加电感量。但当磁力线通过磁性材料时，如果磁性材料含有导电性材料（金属），就会产生涡流。

由于产生了涡流，电气特性会变差，所以一般要求线圈用磁性材料必须是绝缘材，如铁氧体，它不产生涡流。

有一些功率电感器，为了改善直流饱和电流特性，使用了金属作为磁性材料，在这种情况下，金属要被粉化和绝缘处理，以防止电流在粉末之间流动，这样就不会产生电涡流的损失（参考图-3）。

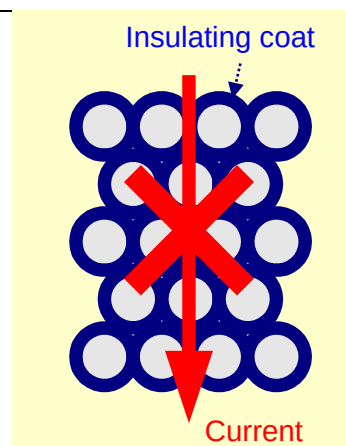


图-3 电流不会流进绝缘

●电磁屏蔽

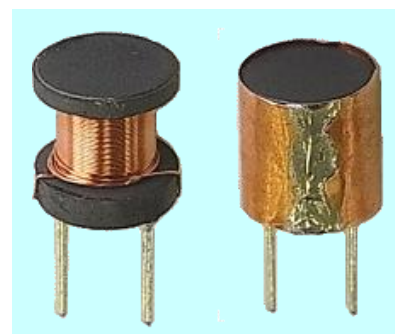
对于磁屏蔽，用磁性材料对线圈进行屏蔽。另一方面，有些屏蔽器通过使用涡流的反射和阻隔来屏蔽外界。当频率较低时，涡流很难形成（=屏蔽效果小），不能达到预期的效果。

然而，当频率很高时，可以利用涡流抵消磁通量的现象来产生电磁屏蔽。一般来说，当频率在 10 kHz 以上时，带金属的电磁屏蔽的效果会比较好。

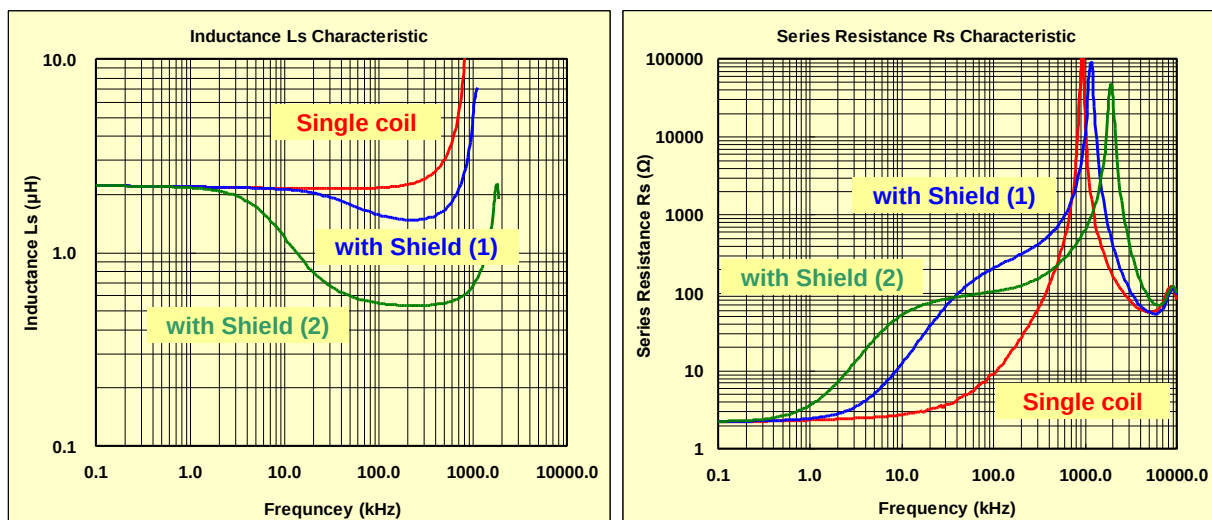
在这种情况下，屏蔽的材料不是磁性材料，而是电流流动良好的金属材料（如铜、铜合金和铝）。此外，对于电磁屏蔽，通过将金属连接到地面，可以得到静电屏蔽的预期效果。

●电磁屏蔽的效果

我们用厚度为 0.1 毫米的磷青铜板覆盖开磁路感应器，并对其测量（照片-1）。特征在图表-1 中显示如下：单个线圈（**红线**），磷青铜板边缘没有接触的线圈（**蓝线**），以及通过焊接使磷青铜板边缘完全连接的线圈（**绿线**，图像显示在照片-1，右侧）。



照片-1 Evaluated Coils



图表-1 Effect of Metal shield

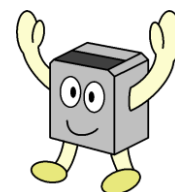
涡流流动的方式和特征在它们之间是不同的。特别是，涡流在低频时很小，因此，低频时屏蔽效果（作为屏蔽的优势）也很小。对于电磁屏蔽材，确保连接区域的传导是很重要的。

对于高频线圈来说，金属外壳是用来屏蔽的，但它不用于功率电感器。

因为在开磁路功率电感器的情况下，电气特性会明显下降（电感量下降，损耗增加），与屏蔽的优势相反。另外，在蔽磁路功率电感器的情况下，不但会成本增加，屏蔽的效果还很低。

星野

给线圈用户的提示 (第 9 节)

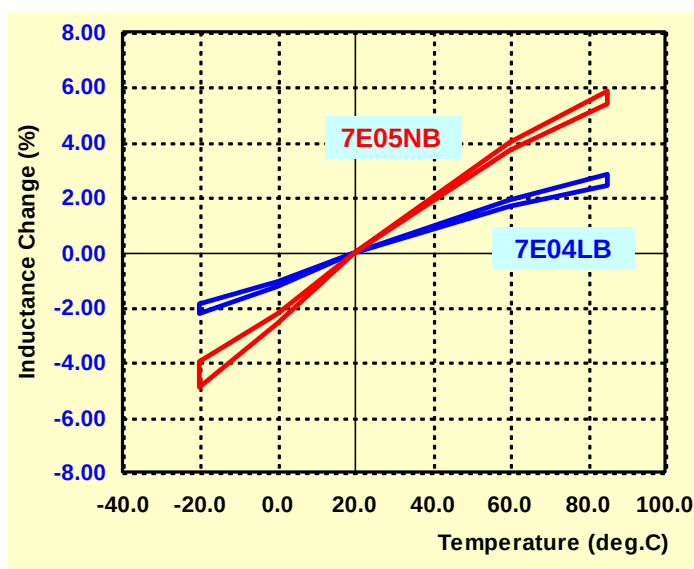


●前言

第 9 节是关于特性中剩下的“温度特性和绝缘特性”。

●电感的温度特性

大多数线圈是用磁性材料制成的。因此，线圈的特性因磁性材料和线圈结构（磁性结构）而不同。对于大量用作磁性材料而使用的铁氧体磁芯，大多数磁导率 (μ) 具有正温度特性。也就是说，电感的温度特性是正的（温度上升，电感就会增加）。但是，即使一个线圈使用相同的材料，如果结构不同，温度特性可能也会有很大差异。



图表-1 温度特性-1

图表-1 显示 是本发明的功率电感器

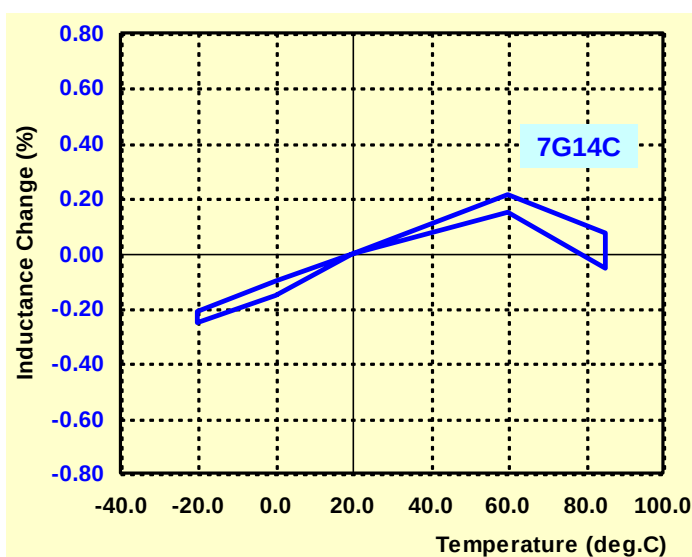
7E04LB 和 7E05NB 的温度特性测定例。两个线圈的结构几乎相同，但由于铁氧体磁芯材料不同，其温度特性存在差异。

我们开发功率电感器时，更看重直流饱和电流而不是电感的温度特性。其结果也会反映出差异。

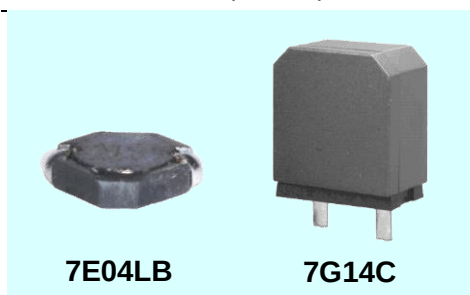
即使外观相同，也不代表温度特征相同。因此，根据需要要对温度特性进行确认。

※7E05NB 目前不在生产序列中。

图表-2 是我们用于数字放大器的电感器 7G14C 的温度特性例子。请注意，图表-1 和图表-2 的纵轴比例（蓝色）有 10 倍的不同。



图表-2 温度特性-2



照片-1

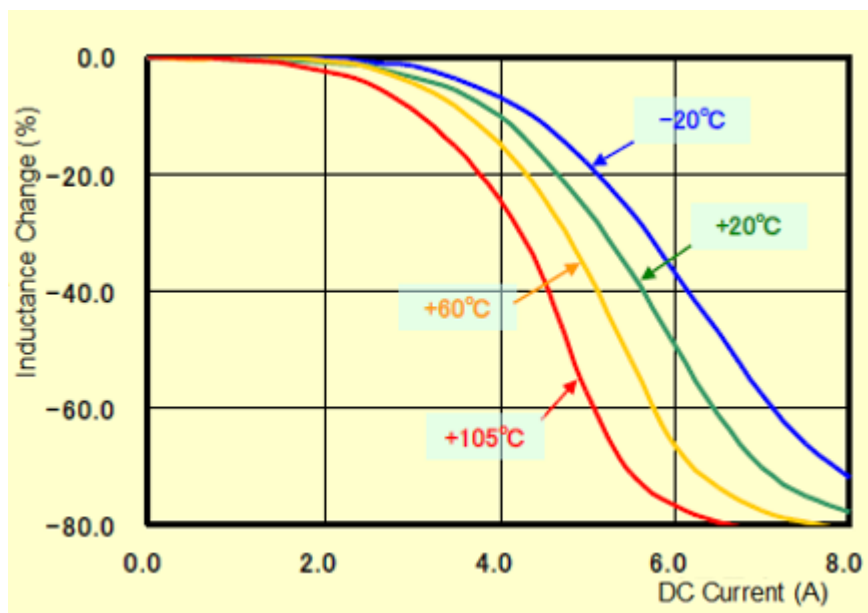
所有的 7E04LB、7E05NB 和 7G14C 都是闭合磁路式电感器，由于结构的不同，"电感温度的变化"是明显不同的。

这并不是有意识地把温度特性设定为大值的。

●直流饱和和允许电流的温度特性

通常情况下，随着温度上升，功率电感器的直流饱和电流曲线会向左移动，如图表-3（以本公司的 CER1042B 的特征为例）。但移动幅度因结构和所使用的铁氧体磁芯材料的不同而不同，变化趋势如图表-3 所示。

功率电感器，因为电流流过自身会发热，多用于温度相对会上升的部位，确认高温下的特性变化是很重要的。



图表-3 直流饱和电流

●绝缘电阻

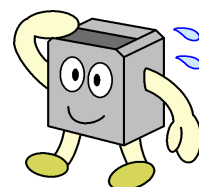
有两种铁氧体磁芯可用于线圈：镍系列（Ni-Zn）和锰系列（Mn-Zn）。除了磁性特征，突出的区别是体积电阻率。镍系列为 $1000000\Omega\cdot\text{m}$ ，锰系列为 0.1 至 $10\Omega\cdot\text{m}$ 。金属的电阻更小，约为 $0.000000001\Omega\cdot\text{m}$ 。

这有点难理解，我们试着测量锰系列的铁氧体磁芯的表面。当"探针的间隙为 5mm"时，其值约为 $150\text{k}\Omega$ 。

对于镍系列，可以将它视为绝缘体。

对于锰系列，在一般电压范围内都可使用。但是在高压电路中或对绝缘很重要的电路中使用，必须要采取一些措施的。

我是 Mn-Zn.



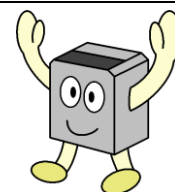
因此，对于锰来说，根据用途要对铁氧体磁芯的表面做绝缘处理，以达到相当于镍系列的绝缘特性。（本公司的功率电感 **HER** 系列所采用的方式）。

通常镍系列多用于功率电感器，而锰系列多用于变压器。

为了改善直流饱和允许电流特性，锰系列（经过绝缘处理）也被用于一些功率电感器中。

星野

给线圈用户的提示 (第 10 节)



●前言

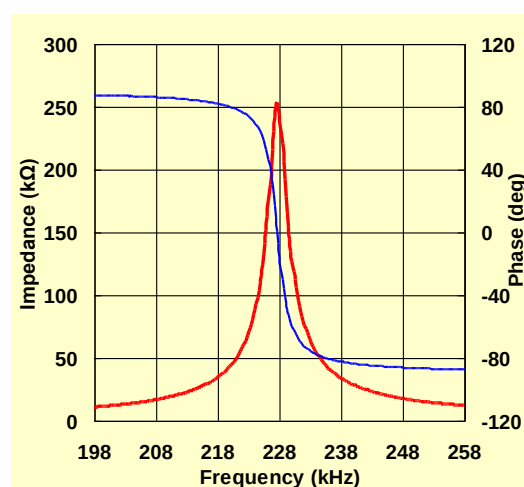
第 10 节是关于 "线圈的动作 (应用)"。线圈的动作有多种模式，它可能比其他部件更难理解。

●电感的应用-1：共振电路

线圈(L)和电容(C)的组合产生了一个共振现象。对于并联共振电路，回路两端间的阻抗值在谐振频率点达到峰值（对于串联共振电路，该值最小）。我们可以利用这个特性提取特定频率的信号，或者反过来删除这个信号。这个谐振频率(f_x)的值由以下公式计算。

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

图表-1 是用一个 $L=2.2\text{mH}$ 电感和 $C=220\text{pF}$ 的电容并联建立的谐振电路，测量出的阻抗（红色）和相位（蓝色）的频率响应。共振频率几乎与计算值一致 $=229\text{kHz}$ 。在这种情况下，Q 越高，阻抗特性的山形就越尖锐，峰值的阻抗值也会增加。



图表-1 Impedance Characteristics



照片-1 5CHH

当电感值变化 $\pm 5.0\%$ 时，谐振频率变化 $\pm 2.5\%$ ，约为电感变化的一半。因此，电感值的变化是很重要的。有一些线圈的电感值是可变的。它们被称为可变线圈，有一段时间，被用于高频电路。

照片-1 是 SMD 的可变线圈（本公司的 5CHH 类型）。当我们把螺丝刀插入表面的凹槽并转动时，上面的磁性物质会上下移动。这样就可以改变电感量（大约 $\pm$ 几%到 $\pm 10\%$ ）。

照片-1 是 SMD 的可变线圈（本公司的 5CHH 类型）。当我们把螺丝刀插入表面的凹槽并转动时，上面的磁性物质会上下移动。这样就可以改变电感量（大约 $\pm$ 几%到 $\pm 10\%$ ）。

※5CHH 目前不在生产序列中。

●利用电感-2：LC 滤波器

LC 滤波器也是电感的应用之一。在没有谐振电路的情况下，如 L.P.F（低通滤波器：**图-1** 是三阶 L.P.F）和 H.P.F，滤波器的特性是由电感和电容决定。即使电感值发生变化，对其影响也没有谐振电路那么大。对于用于直流电源噪声抑制的 L.P.F，只要考虑到电感器的最小电感量，在大多数情况下都可以使用电感量公差大的产品。

在这种情况下，理论上电感量越大越好。但现实的线圈中存在直流电阻和自谐振频率，设置过大的电感值反而收到相反的效果。

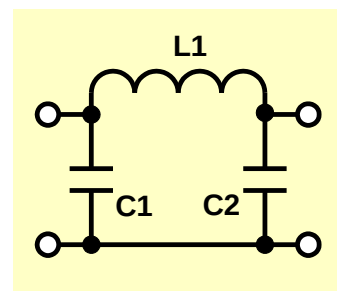


图-1 L.P.F.

在开关电源中的电感，有用于 LC 滤波和功率转换的，对于 LC 滤波中使用的电感主要关注的是直流电阻（高频损耗可以忽略不计）。

●利用能量积累效应

和电容器一样，线圈可以储存电能。了解电容器很容易，因为它们是电压元件。相反，对线圈的理解就有点困难，因为它们是电流元件（电流模式）。为了构建开关电源，需要重复和控制以下过程：1. 开启电源、2. 通过线圈提供电流、3. 积累电流、4. 切换到负载、5. 供应电流。

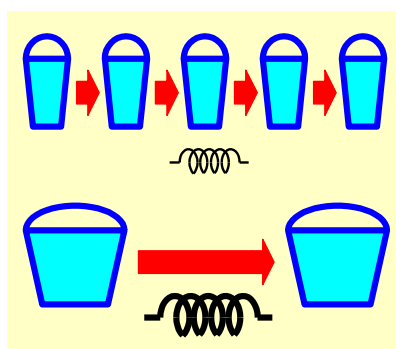


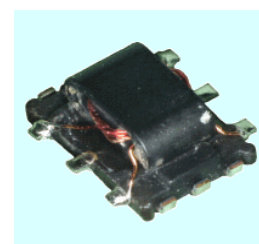
图-2
Difference of bucket size

要运送一个恒定的负荷量，有两种方式：用较大的容器进行搬运，减少搬运次数，或用较小的容器进行搬运，增加搬运次数（图-2）。将此应用于开关电源，承载次数就是频率，而容器的大小就是电感。因此，当开关频率较高时，使用电感器的电感量可以很小（可使用小型电感器）。实际电感量因输出条件不同而不同。

在开关电源的情况下，频率可以在一定程度上补偿电感的不均匀性。因为，电阻损耗直接影响电源的效率，所以降低线圈损耗（直流电阻和工作频率的电阻）是很重要的。

●利用磁通量（磁耦合）

线圈可以通过使用磁耦合而起到独特的作用。其他元件，如电容器，是不能像这样工作。多组线圈组成的变压器被广泛用于低频波（主要是电子电路）到高频（主要是阻抗转换）电路中。照片-2 是一个用于高频的平衡变压器的例子。在变压器中单个绕组的电感值不是那么重要（在大多数情况下，只需要最低成本）。而绕组的卷线方式和匝数比是最重要的。有些线圈很好地利用了磁通量特性，共模滤波器就是其中之一。（图-3）利用信号（差分信号：蓝色）流向与共模噪声（红色）方向的不同。在这种情况下，因为两个线圈被连接



照片-2 4BMH

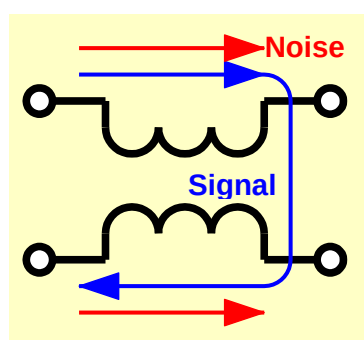


图-3
Common mode Coil

起来以抵消信号的磁通。其结果是，磁通量对信号没有影响，反之对共模噪声，磁通起到了作为电感的感应作用，并阻止了共模噪声的通过。

磁通量只影响噪声而不影响信号。这就防止了信号的恶化。不同电路对使用线圈（=使用的线圈特性）的电性参数（=重要的）要求会有差异。因此，根据本公司设想的用途，一般规格中记载的内容也会根据实际应用而改变。

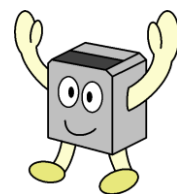
星野

然而，由于线圈的结构，我们可以绕线的空间幅度较小，如果绕线匝数与开磁相同，闭合磁路使用的电线要细一些。

因此，对于直流电阻（也是温度上升的电流）特性，两者的差异趋于变小了（对于闭合磁路式，我们可以减少绕组匝数，而线径变细）。

星野

给线圈用户的提示 (第 11 节)



●前言

第 11 节是关于“线圈间的耦合”。让我们看看当多个线圈一起时，耦合的条件是什么。

●磁通量的方向

线圈产生的磁力线(磁通)方向取决于绕组方向（**左右绕组**）和流经线圈的电流方向（**蓝色箭头**）。在图-1 (A) 和 (B) 的情况下，虽然它们的绕组和电流方向都是相反的，但各自产生的磁力线方向却是相同的。

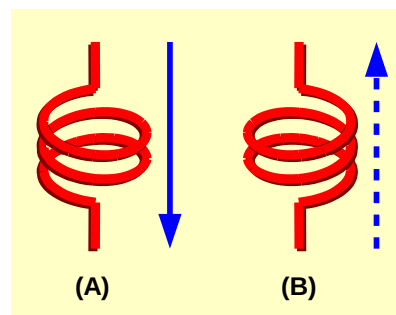


图-1 磁通量的方向

●感应器极性的指示

当放置两个以上线圈时，从线圈泄露出来的磁通量会相互影响。因此，有些产品上有极性标识(照片-1)。

通常的线圈存在物理性的“绕组开始”。卷线方向根据生产方式而定，所有的形状也不一定都相同。

用于表示变压器等具有多个绕组的线圈（通常相同的绕线方向）的耦合方向（未考虑外泄磁力线的方向）。由于在电感中常用，所以这种物理性的“绕行开始”标识也常见。

本来，应该按电解电容的极性那样，与电气特性相匹配进行标识。但同行业对线圈的极性标识没有具体标准，因此无法确定线圈，厂家间有 100% 的兼容性。通常在线圈规格书中以“绕组开始”和“绕组方向”来描述。



照片-1 winding start

●将两个线圈排放在一起

为了确认线圈之间的耦合。将两个电感器横向排列起来(图-3)，并进行了测量。

频谱分析仪的 TG 输出被添加到一个电感 (L1)、而另一个电感的输出 (L2) (=输入功率) 是根据图-2 规定的测量电路测量的。这时，如果没有电感 (L1 和 L2)，TG 输出被设定为输入值为 0dBm。

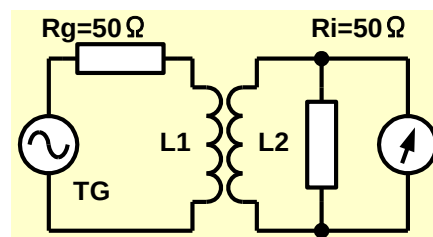


图-2 Test circuit

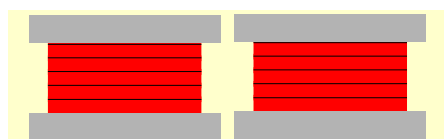


图-3 Coil's layout

当两个单独的线圈被耦合时，就像一个变压器一样。其中一个线圈的部分功率会被转移到另一个线圈上。但因为耦合度没有变压器那么大，产生的功率非常小。

图表-1 为本公司的开磁路 SMD 电感器

(**7A10N**) 和闭磁路 SMD 电感器

(**7E08N**) 之间的结合比较图。

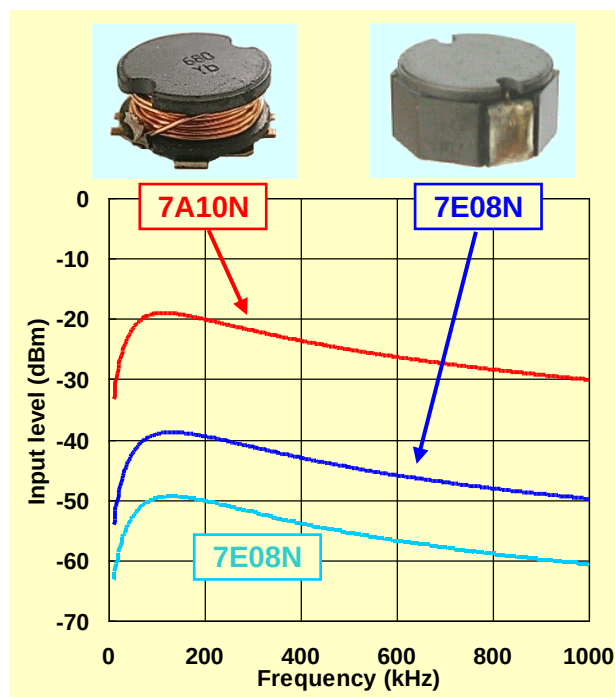
即使是开磁路电感器，因为不是所有泄漏的磁通都进入相邻的线圈，所以输入功率会下降

(=耦合度小)。闭磁路电感器的情况下，由于磁屏蔽的影响，与开磁路的电感器相比，又减少约 **20dB**。

接着，将闭磁路电感器分离约 **4mm** (约外形尺寸的一半) 的情况下进行测量，其结果是输入功率又下降约 **10dB** (浅蓝色)。

可以发现，当多个线圈紧密放置时，闭磁路电感器的表现非常有效。

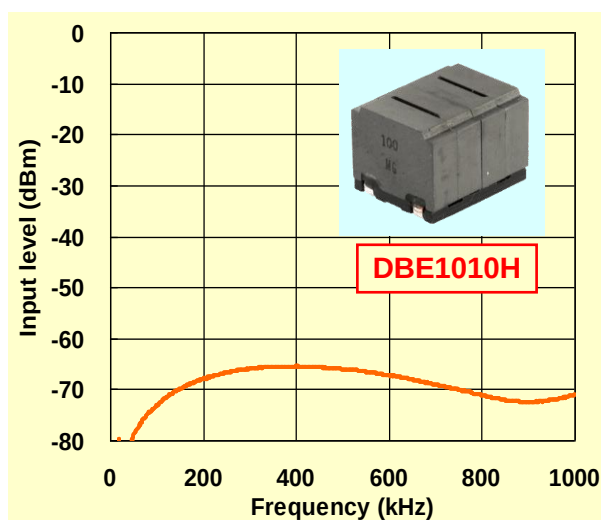
※7E10N,7E08N 该产品目前不在生产序列中。



图表-1 Comparison with 7A10N and 7E08N

●2 合 1 型

本公司数字音频放大器用线圈中有几种 **2 合 1** 类型的产品。这些产品是将两个线圈整合为一个，从而实现封装面积减少、工时减半的效果。



图表-2 Characteristic of DBE1010H

当两个线圈紧密放置时，会担心线圈之间的耦合。但实际上，每个线圈都做有很好的屏蔽设计，线圈之间的耦合作用非常小。

图表-2 是本公司的 DBE1010H, **2 合 1** 类型的 D 类放大器的测量结果。线圈之间的耦合比正常屏蔽线圈排列时还要小。

●高频率

对于高频电路，由于电感量小，通常使用空芯线圈和片状电感器。

如图-4 所示，将线圈呈直角放置，这样从线圈发出的磁通量很难通过另一个线圈的绕组。可以使线圈相互间的耦合最小化。

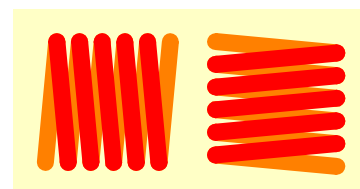
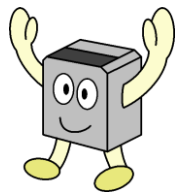


图-4 orthogonal layout of two coils

给线圈用户的提示 (第 12 节)



●前言

原计划是在去年末发表，由于诸多原因一再推迟，在此深表歉意！第 12 节也是最后一节，内容是，“线圈使用指南”。

●为了更好地了解线圈的工作原理

同样都是电子元件，但线圈与电容器相比，理解起来还是困难些。也可能是因为电容器是一个**电压元件**，而线圈是一个**电流元件**吧。通常大家是，“工作电压相同，就可以同等使用”，“**交流 100V 的产品不能在交流 200V 下使用**”这样认为的。那么，以下(1)和 (2)的表达方式哪种更容易理解呢？

- (1) 向电阻施加电压时，电流流过电阻。电压 → 电流
- (2) 电流流过电阻时，电阻的两端产生电压。电流 → 电压

可能大多数人认为 (1) 更容易理解。线圈和电容器在电气中是 对立关系。因此，当你考虑线圈（**电流**）的性能时，可以与电容器（**电压**）性能相比，它可能对你理解有帮助。让我们参考表 1 中配对的内容。

表-1

Capacitor	Inductor
Voltage	Current
Voltage source	Current source
Parallel	Series
Series	Parallel
Open	Short
Short	Open
$E = 0$	$I = 0$
$I = \infty$	$E = \infty$

我们用图说明，在图-1 左侧的连接图中，合上 SW，电容的两端被施加电压。然后断开 SW，移走电源，完成**充电状态**。接下来，如图-2 接线后（合上 SW），瞬间会出现**大电流** (i) 流动，（从火花得知有电能产生）。

以同样的方式，在图-1 右侧的连接图中，断开 SW，让电流进入线圈。然后闭合线圈，让**电流保持流动状态**，之后切断电源。

然后，当**电路被打开**时（合上 SW），如图-2 所示，瞬间产生一个**大电压**(e)。（实际上是放电产生了电能）。换一种思考方式来看，我想大家会认为线圈和电容器是一样的了，相对来说，电压更容易理解一些吧！

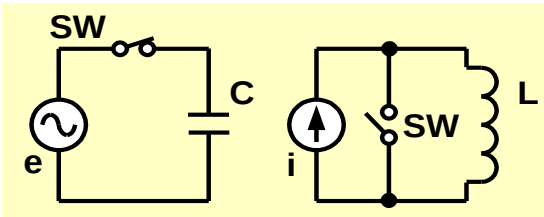


图-1 Charge to capacitor/coil

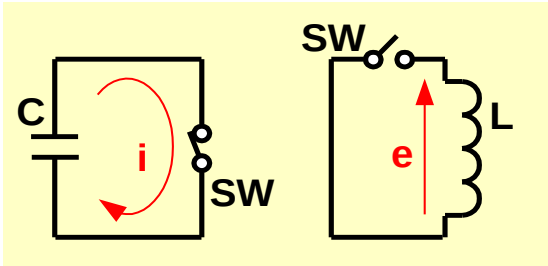


图-2 Discharge of the energy

●反电动势的产生

如上所述，在电流通过线圈的过程中，如果电流被开关或晶体管中断了片刻，线圈为了让电流继续流动，线圈两端就会产生非常高的电压。

这也是一种可以通过利用这种现象产生高电压的方法。不过线圈的电流是 ON-OFF 电路的情况下，要采取高电压的保护电路等措施。

在电路设计阶段，必须注意，在电源中放置一个扼流线圈以控制噪声，因为类似高压出现的情况可能发生。

●频率特性

对于线圈和电容器来说，它们的阻抗和电气特性都会随着频率的变化而变化。如果我们把电路中线圈的频率特性与电容器的作对比，根据表-1，下列电路显示出类似的频率特性（图-3）。

"串联（并联）在电路中的电容器" = "并联（串联）在电路上的线圈"

但要牢记它们的基本工作原理是不同的。

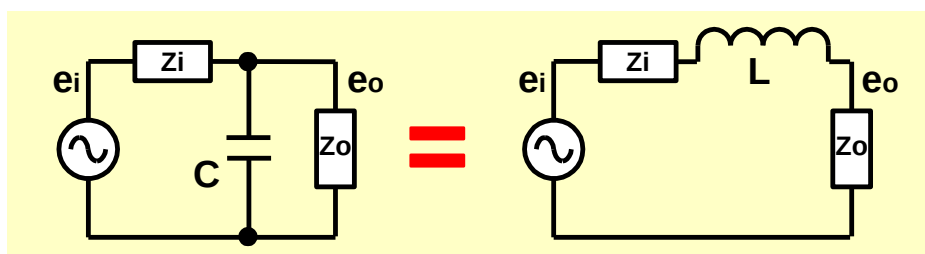
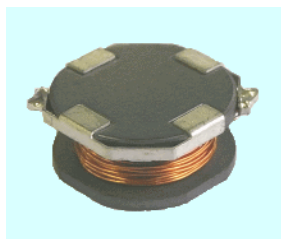


图-3 Parallel C and Series L

●线圈的故障模式

对于绕线型线圈有各种故障原因，最主要的故障模式是"断线（开路）"。

此外，当线圈在恶劣条件下使用时，由于导线涂层的绝缘性能下降，也可能发生导线之间短路。



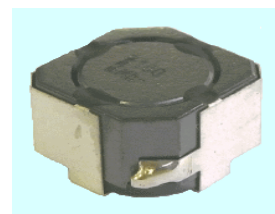
照片-2 CWD1242C

断线是指在一般的组套中线圈处于开放状态，电流被切断的一方，其损害比短路所造成的损害要小，但断线有时会对其他部件产生大的影响。

机械故障有"线圈端子和电路板之间的焊接部分脱落"，在持续地增加振动情况下会发生。

如果使用线圈的设备需要高可靠性和安全性，请选择充分研讨过的高可靠性的线圈。同时，必须注意避开这些故障形式。

照片-1 和-2（照片-2 是产品的底面），是为汽车应用所开发的耐冲击、耐振动 CWD · CWR 系列高可靠性产品，为 4 段子构造。



照片-1 CWR1277C

※CWR1277C,CWD1242C 该产品目前不在生产序列中。

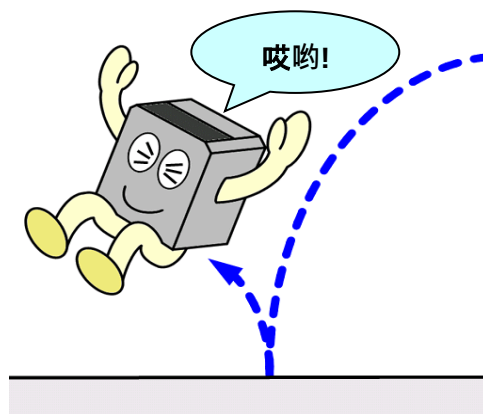
●冲击对线圈产生影响

有时不小心，部件意外地掉到地板上，对它造成了冲击。
如果地板像混凝土一样坚硬，虽然时间很短（几毫秒），
但冲击力达到 **1000G**。

线圈多用铁氧体磁芯作为磁性材料。它和陶瓷（瓷器）一样，受到较大冲击就会破损。

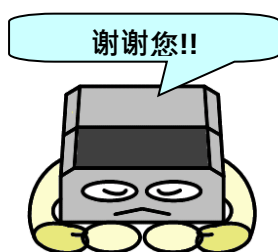
通常对掉落的，外观上看已破损的线圈是不会使用的，但也有对掉落的线圈捡起看没有异常而使用的情况存在。

其实外观上没有损坏，但铁氧体磁芯的内部也可能随着冲击而破裂。作为线圈供应商我们强烈建议不要使用掉落过的线圈。



任何掉落，线圈都会受伤!

最后



至此，我们已经完成第 1 部的共 12 节内容。

托您的福，我们希望有很多朋友来阅览。非常感谢!

这些内容如能对您的工作有所帮助，我们将不胜荣幸。

第 2 部在少许时间构思，整理后继续刊载，期望能够继续帮到您，同时也请您对刊载内容多提宝贵意见，谢谢!

●作者简介

星野 康男

生于 1954 年。专攻线圈的传奇工程师。

1976 年进入相模无线制作所（现在的相模电子株式会社）。

自加入公司后即在技术部门工作。历任技术部长，公司董事，作者作为顾问为公司提供支持，已于 2024 年 3 月底退休。他以通俗易懂的技术解释而闻名。

爱好摄影；最喜欢的动物是猫（和蟋蟀）。

Notes

While we pay sufficient attention to this description in preparing this, if you have any questions or doubts in this description, please contact us using the inquiry form.





SAGAMI ELEC CO., LTD.