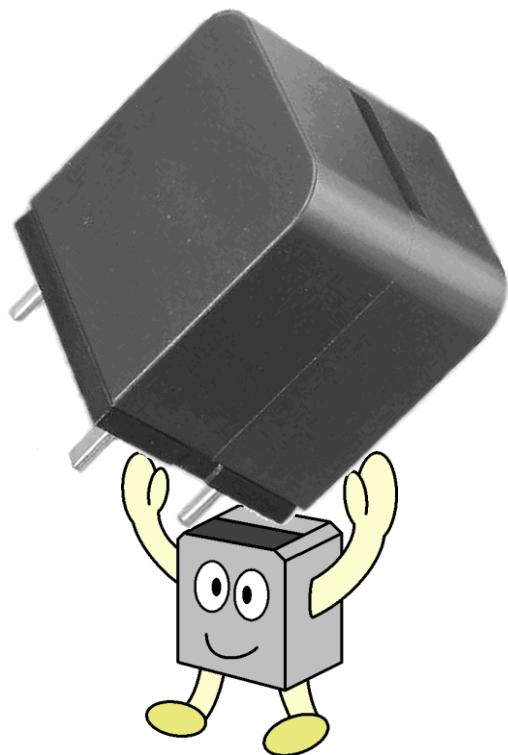


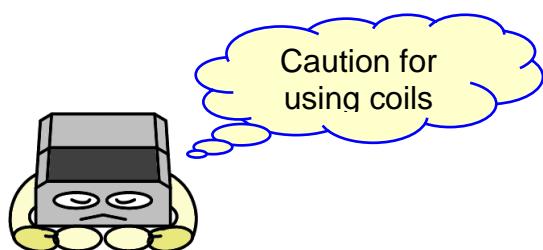
给线圈用户的提示

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。

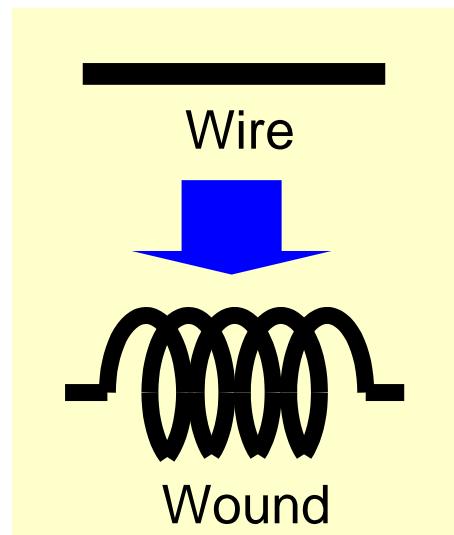


图-1

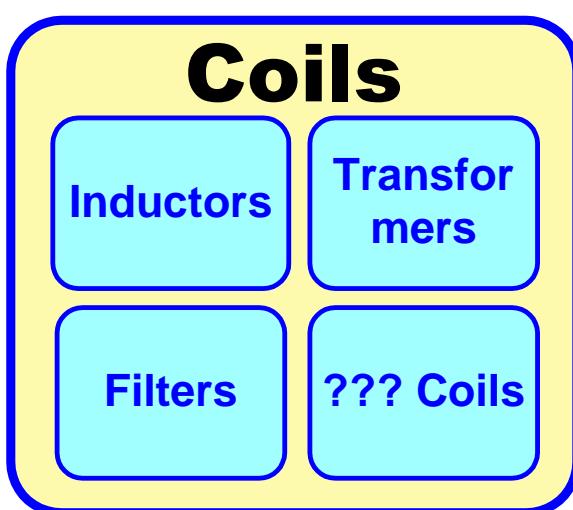


图-2

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。

Applications/ Characteristics

- Digital Amp. Coils
- Choke Coils
- Balun Coils
- Common mode Coils
- Antenna Coils

Shapes/ Materials

- Chip Inductors
- Toroidal Coils
- Metal Powder
Inductors
- Flat wire Inductors

Structures

- Molded Inductors
- Variable Coils
- Shielded Inductors
- Air Core Inductors

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= 无穷大∞)
- 可以提供无限的电流
- 无发热
- 自我共振频率= 无穷大∞

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。

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

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。

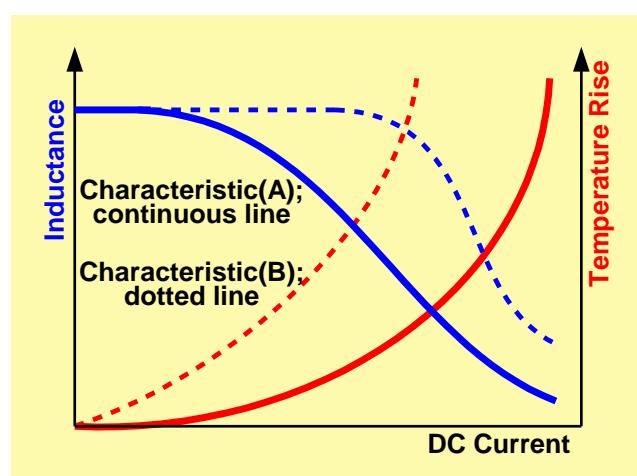
在 DC/DC 电源的情况下，一般使用特性 (A) 的电感器 (标准电感器)，因为在大多数情况下电流是连续流动的。

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)	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

*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。

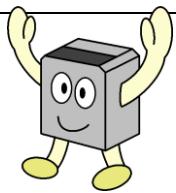
●直流饱和电流(电感的饱和度)

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 ± 20%	26.0	8.2
7G17D-220M	22 ± 20%	13.0	8.2
7G17D-330M	33 ± 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 μe (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允许电流特性。

间隙大小、电感和直流饱和允许电流特性之间的关系如下图表-1 所示。

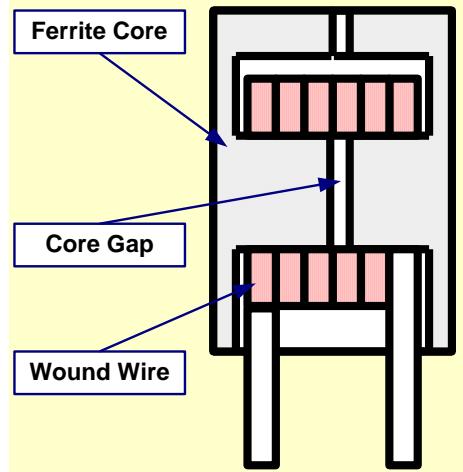
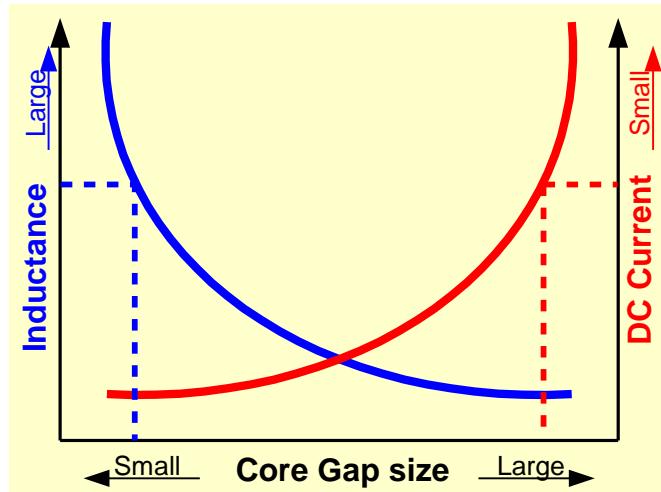


图-1 7G 型的截面图



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。

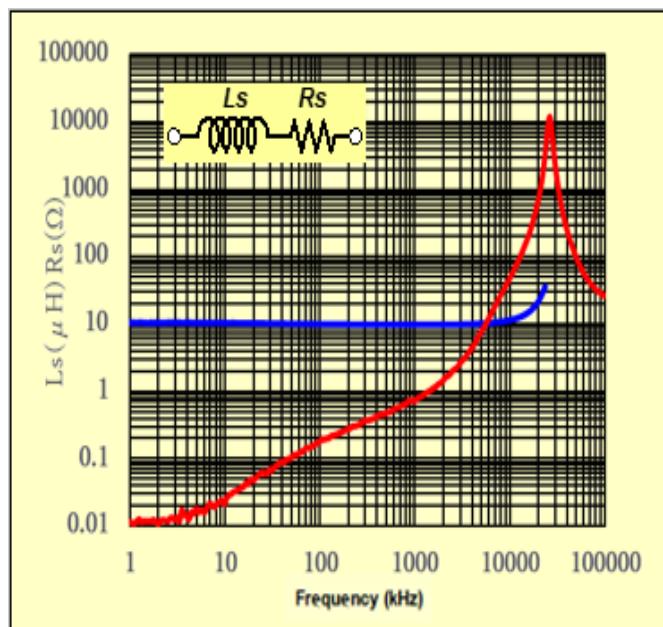
当线圈的等效电路被表示为 $L_s + R_s$ ，

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 R_s 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 (**C2012CB**) 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和功率电感用的引线都比较细。



照片-1 C2012CB

照片-2 7E06LB

表-1 C2012CB 和 7E06LB 的电气规格

Type	Inductance	DC Resistance (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。

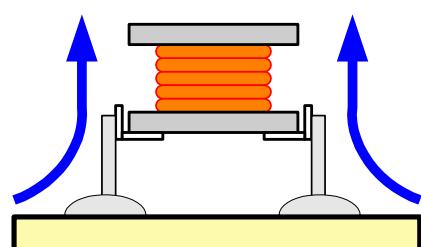
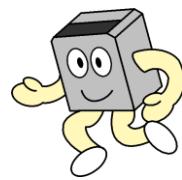


图-1 浮动线圈时

星野

给线圈用户的提示 (第 5 节)



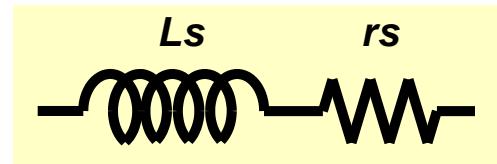
●前言

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 $rs = 0$ 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 “ $Ls + Q$ ” 即可进行测量。



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

图-1 线圈的等效电路

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 rs (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

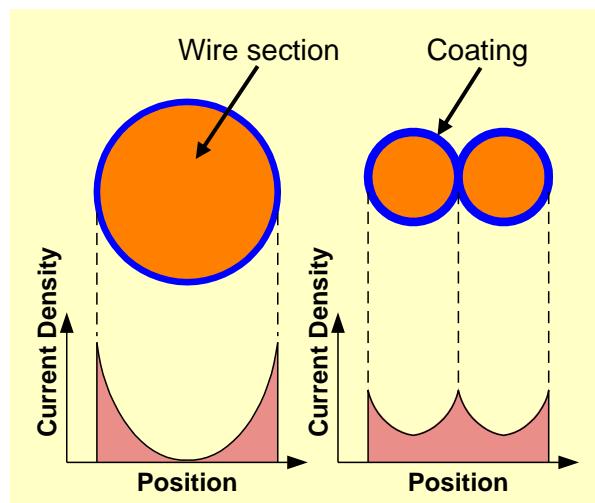
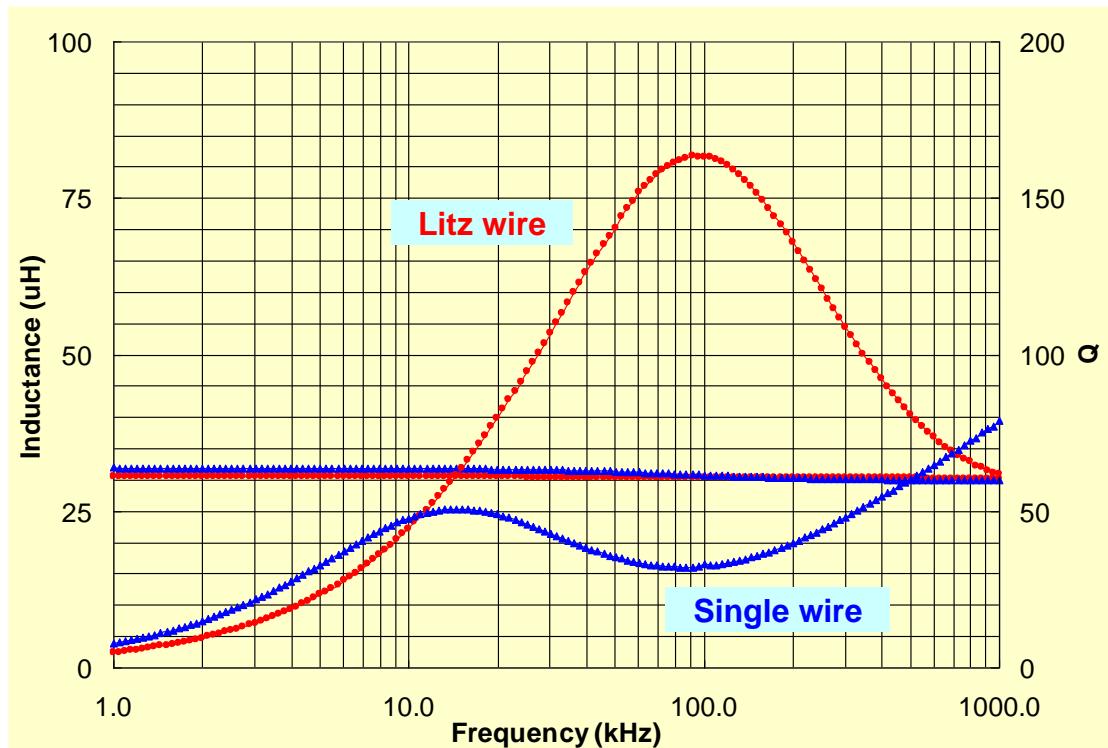


图-2 集肤效应

给线圈用户的提示 (第 5 节)

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）。

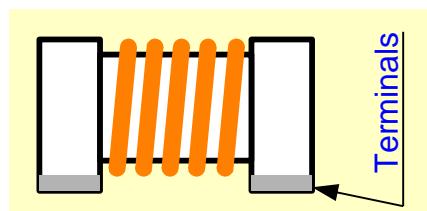


图-3 标准

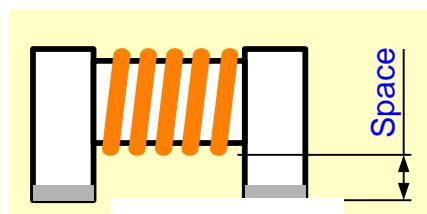


图-4 高 Q 值

●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。电感和直流饱和与允许电流之间的关系是相互依赖的。

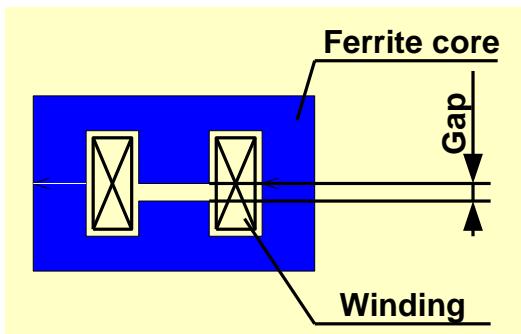
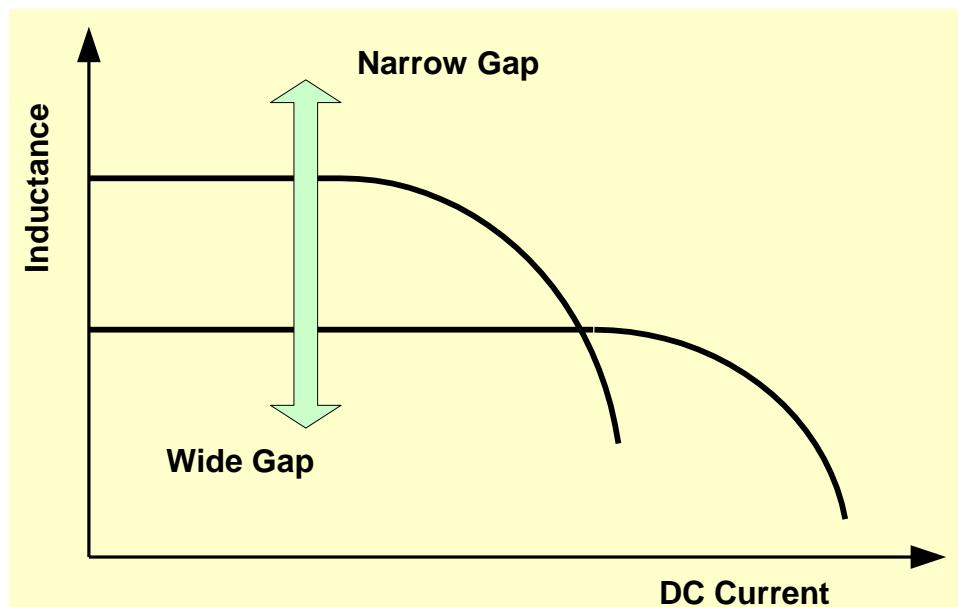


图-5 间隙定位



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)



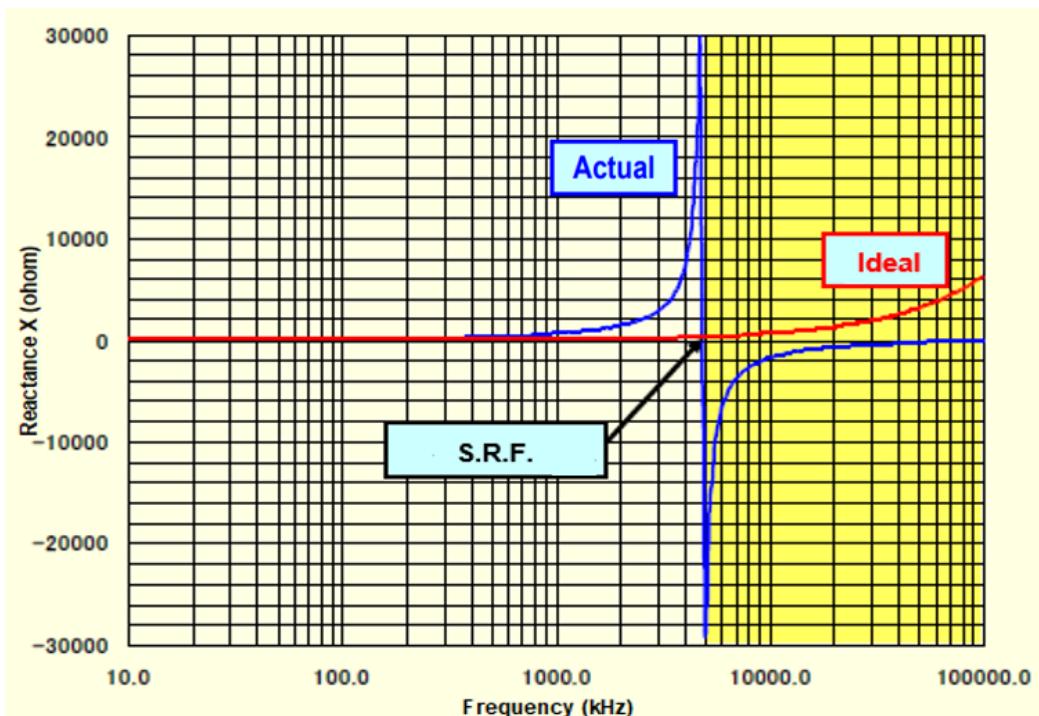
● 前言

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。

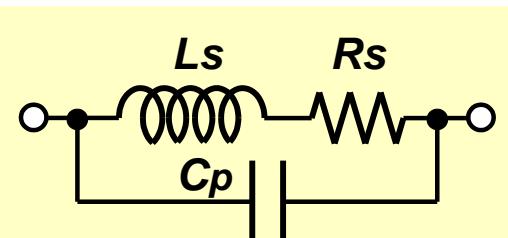


图-1 等效电路

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。

通常只靠电感是不会产生谐振现象的。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。

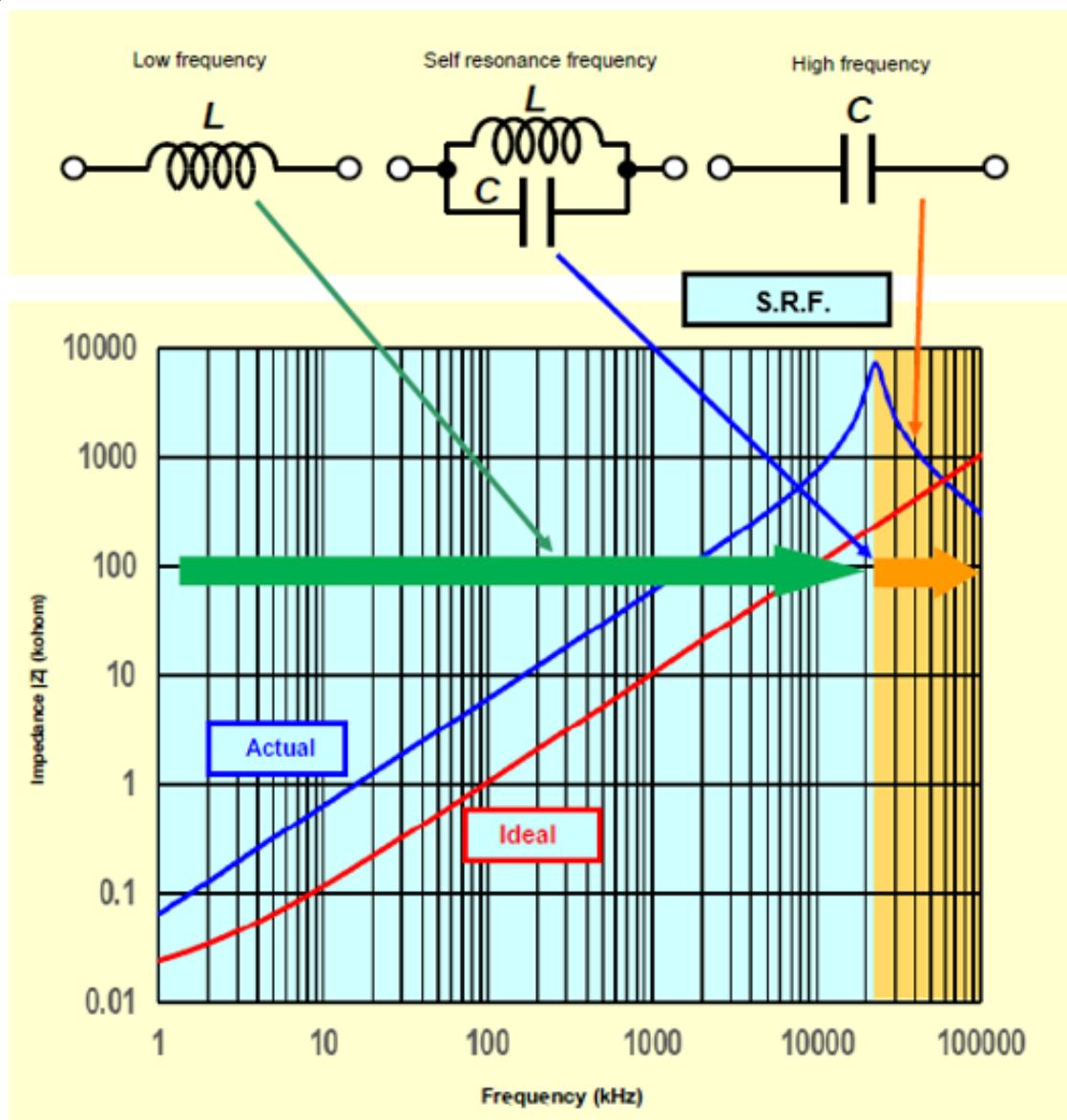
SRF 是不可避免的，但也有通过巧妙的结构设计，可以减少 C_p ，并将 SRF 值变成更高的特殊的线圈。

● 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。

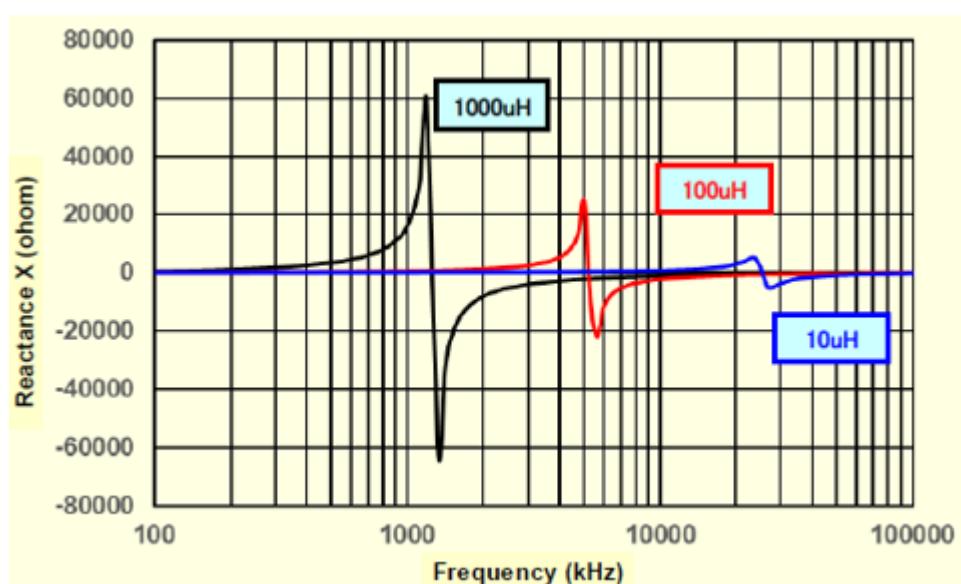
一般来说，杂散电容的值不会与电感成比例增加。

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



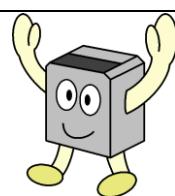
图表-3 不同电感量的阻抗特性

●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

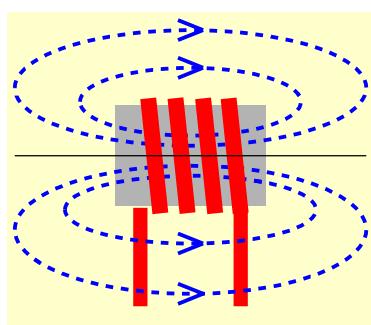
第 7 节是关于 "开磁路和闭合磁路"。托您的福，我们已经完成了计划的一半（共 12 节），现在进入下半场。

●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。



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。

图-1 开磁路

如果线圈的另一侧也覆盖了磁性物质，那么，磁通量的泄漏肯定不会再减少。

顺便说一下，有些线圈虽然绕组是暴露的，也属于屏蔽结构。

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。

照片-1 环形线圈

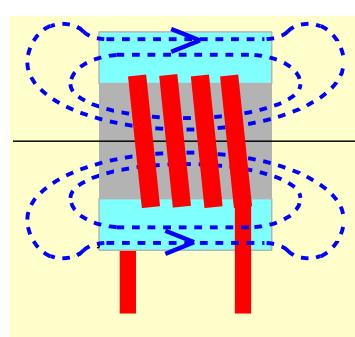


图-2 闭合磁路

●闭合磁路的定义

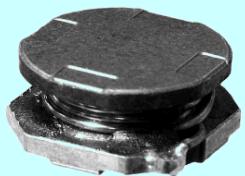
在组件标准和行业的规范中，都没有明确规定闭合磁路的判断标准。

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”。



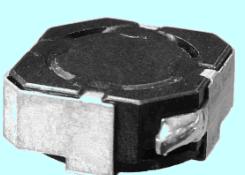
●特性的差异



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。

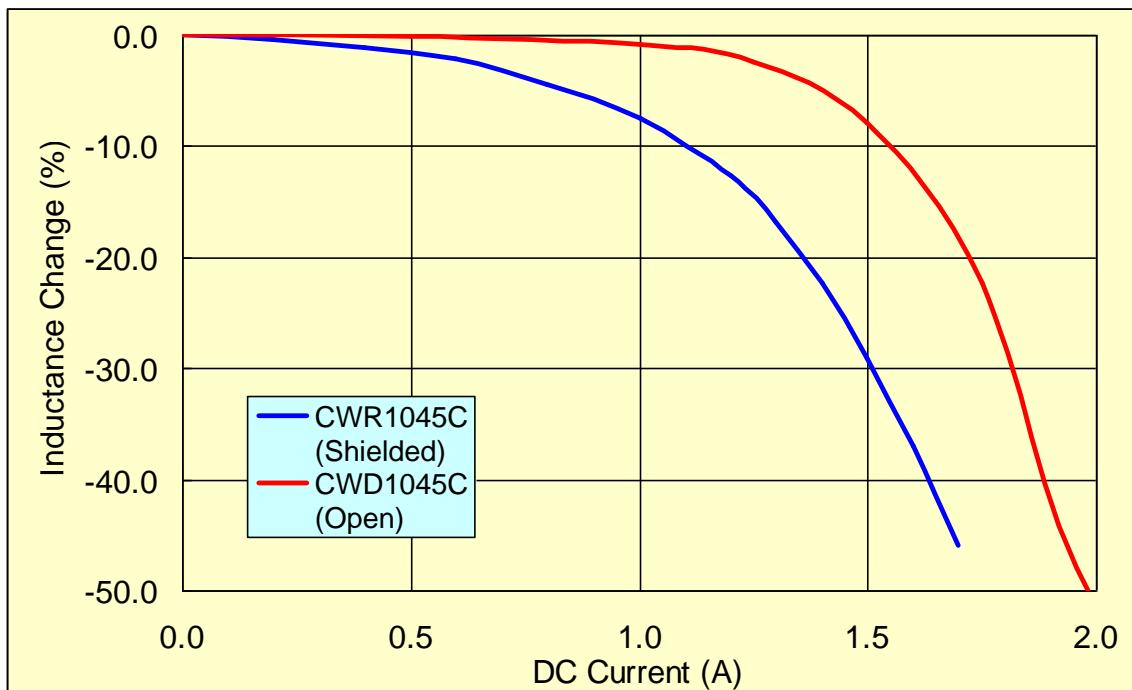
与此相对，开磁路情况下，直流饱和特性有延伸的趋向。当然，曲线的变化趋势取决于所使用的磁性材料的特性。



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。

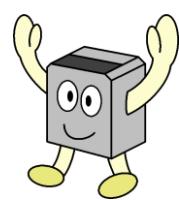
※CWD1045C,CWR1045C 该产品目前不在阵容中



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。

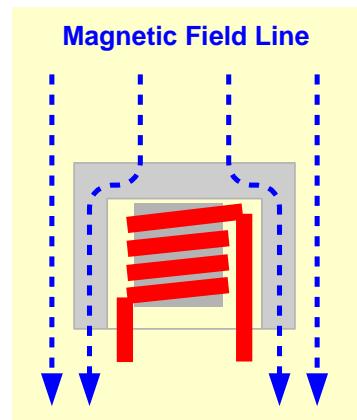


图-1 磁性屏蔽

●涡流效应

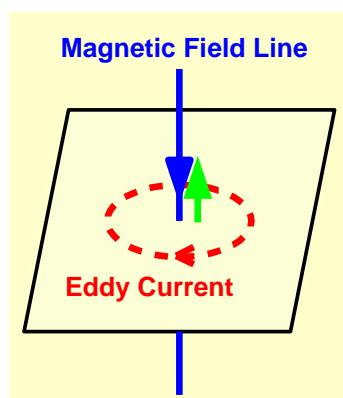


图-2 涡流

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线路板上时，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。

给线圈用户的提示 (第 8 节)

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，以防止电涡流在粉末之间流动，这样就不会产生电涡流的损失（参考图-3）。

●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。

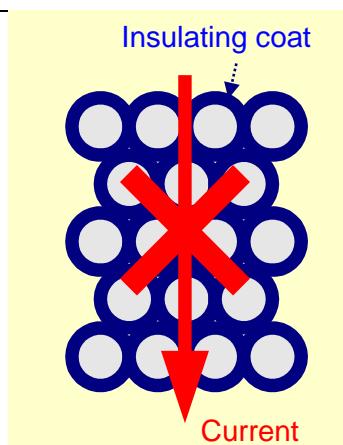


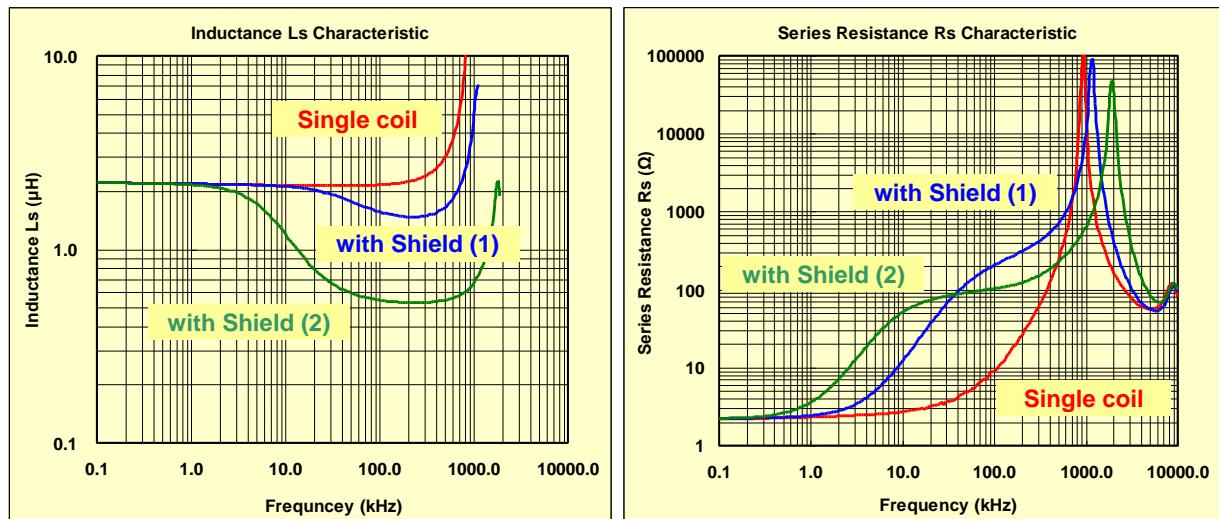
图-3 电流不会流进绝体

●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，并对其进行测量（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。

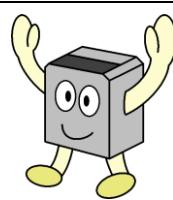
给线圈用户的提示 (第 8 节)

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)

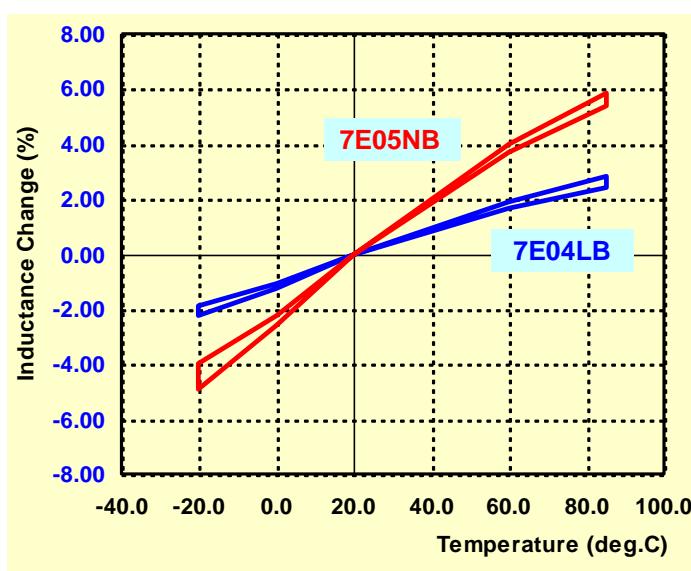


●前言

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_i) 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。

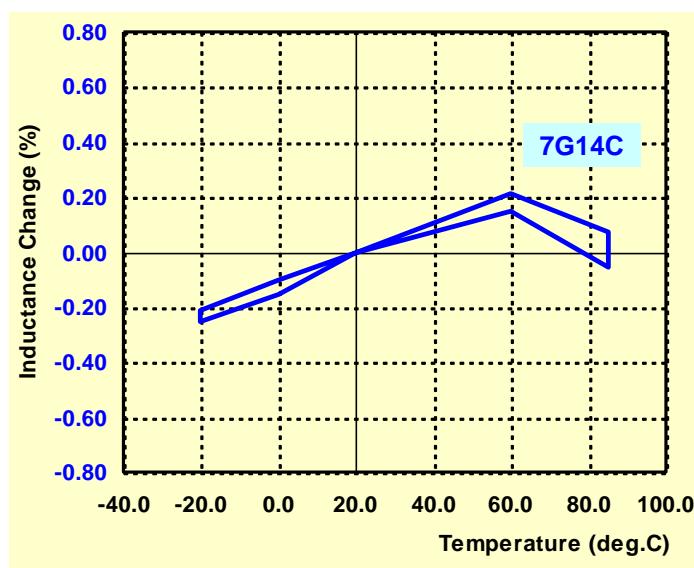


图表-1 温度特性-1

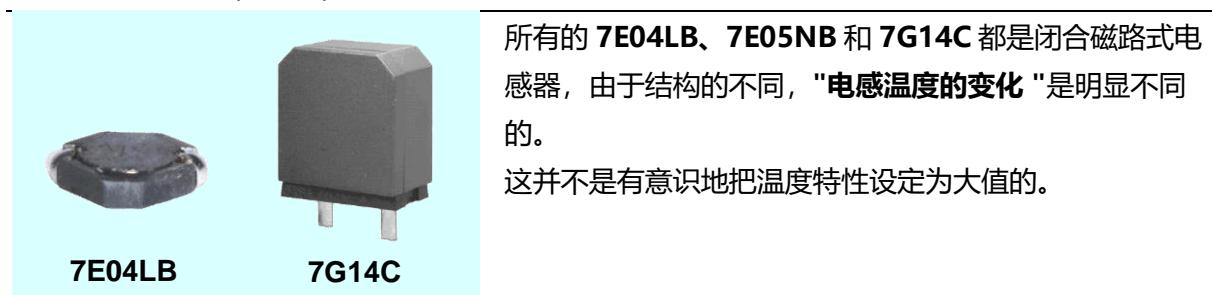
图表-1 显示是本公司的功率电感器 7E04LB 和 7E05NB 的温度特性测定例。两个线圈的结构几乎相同，但由于铁氧体磁芯材料不同，其温度特性存在差异。我们开发功率电感器时，更看重直流饱和电流而不是电感的温度特性。其结果也会反映出差异。即使外观相同，也不代表温度特征相同。因此，根据需要要对温度特性进行确认。

※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

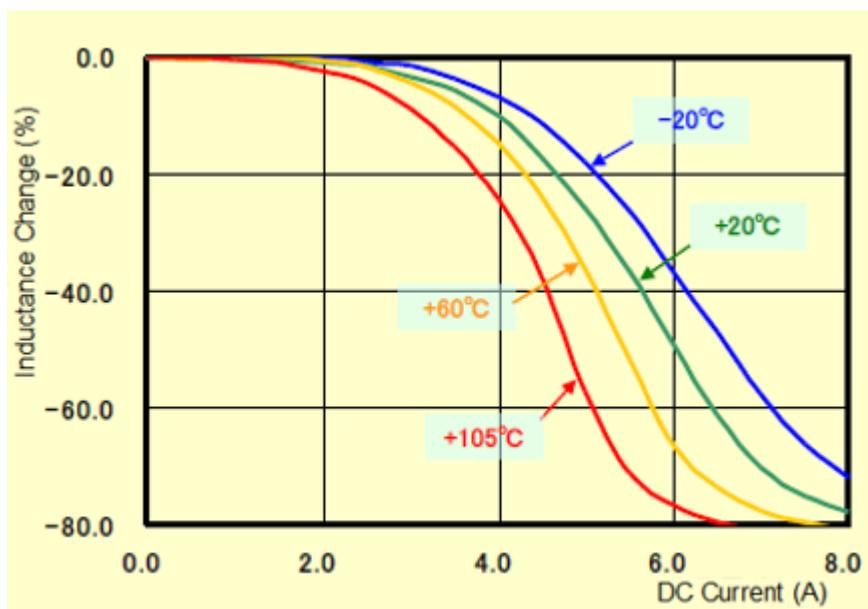


照片-1

● 直流饱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

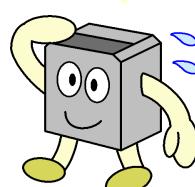
有两种铁氧体磁芯可用于线圈：镍系列 (Ni-Zn) 和锰系列 (Mn-Zn)。除了磁性特征，突出的区别是体积电阻率。镍系列为 $1000000\Omega \cdot m$ ，锰系列为 0.1 至 $10\Omega \cdot m$ 。金属的电阻更小，约为 $0.000000001\Omega \cdot m$ 。

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 $150k\Omega$ 。

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时，必须要采取一些措施的。

我是 Mn-Zn.



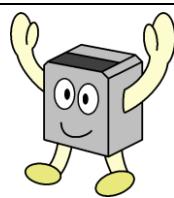
给线圈用户的提示 (第 9 节)

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 = 229kHz。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。

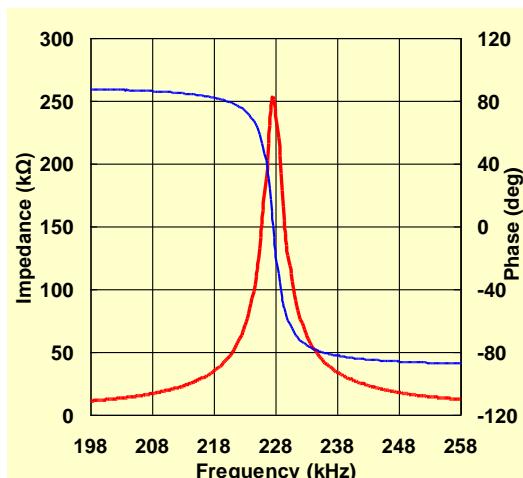


照片-1 5CHH

当电感值变化+/-5.0%时，谐振频率变化+/-

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+/-几%到+/-10%)。



图表-1 Impedance Characteristics

※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。

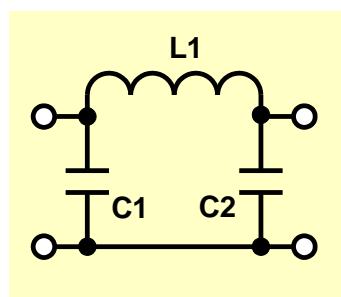


图-1 L.P.F.

给线圈用户的提示 (第 10 节)

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。

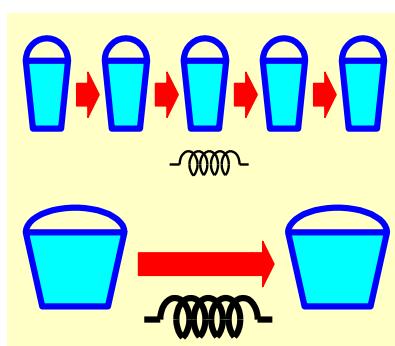


图-2
Difference of bucket size

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

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。

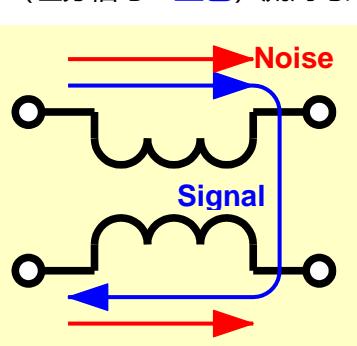


图-3
Common mode Coil

星野

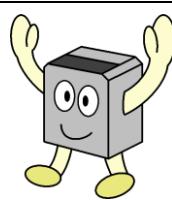
给线圈用户的提示 (第 7 节)

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。

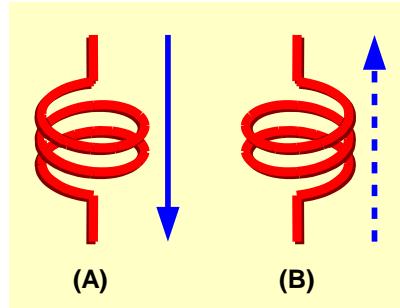


图-1 磁通量的方向

●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**。

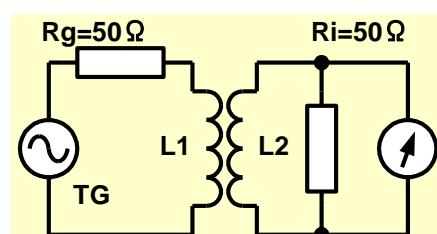
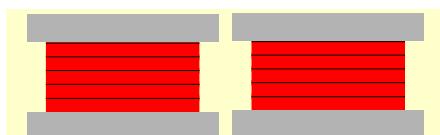


图-2 Test circuit



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-3 Coil's layout

图表-1 为本公司的开磁路 SMD 电感器

(**7A10N**) 和闭磁路 SMD 电感器

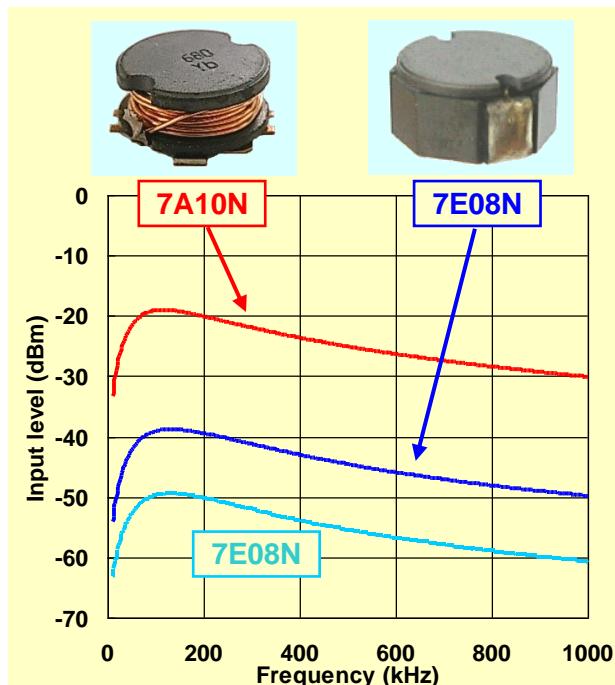
(**7E08N**) 之间的结合比较图。

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。

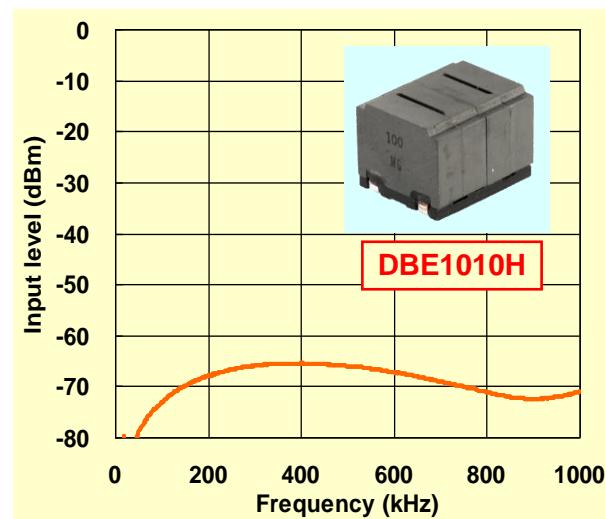
※7E10N,7E08N 该产品目前不在生产序列中。



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

●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。

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。

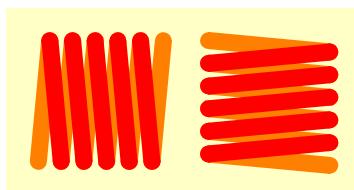
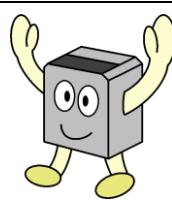


图-4 orthogonal layout of two coils

星野

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相对立关系。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！

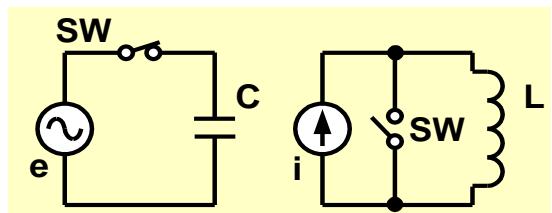


图-1 Charge to capacitor/coil

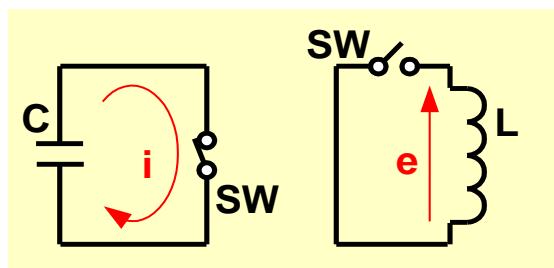


图-2 Discharge of the energy

●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。

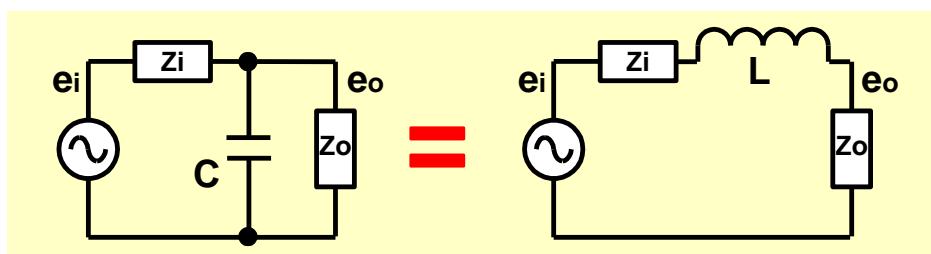


图-3 Parallel C and Series L

●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。

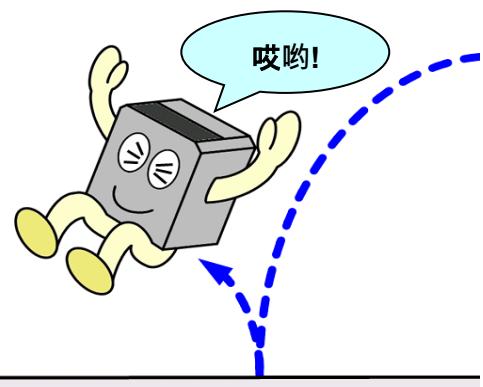
如果地板像混凝土一样坚硬，虽然时间很短（**几毫秒**），

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，现作为公司顾问继续协助工作，指导后辈。他以通俗易懂的技术讲解而闻名。业余爱好是摄影。

Notes

While we pay sufficient attention to this description in preparing this, if you have any questions or doubts in this description, please contact following address.

e-mail: sales@sagami-elec.co.jp



©All rights reserved. SAGAMI ELEC CO., LTD.

SAGAMI ELEC CO., LTD.



SAGAMI ELEC CO., LTD.