

几家公司新近推出的锰锌铁氧体材料 性能及应用(三)

Some Companies presented properties and Applications for Mn-Zn ferrite Materials

茅柳强，刘 瑶，刘九皋

耀润磁电科技有限公司 江西武宁 332300

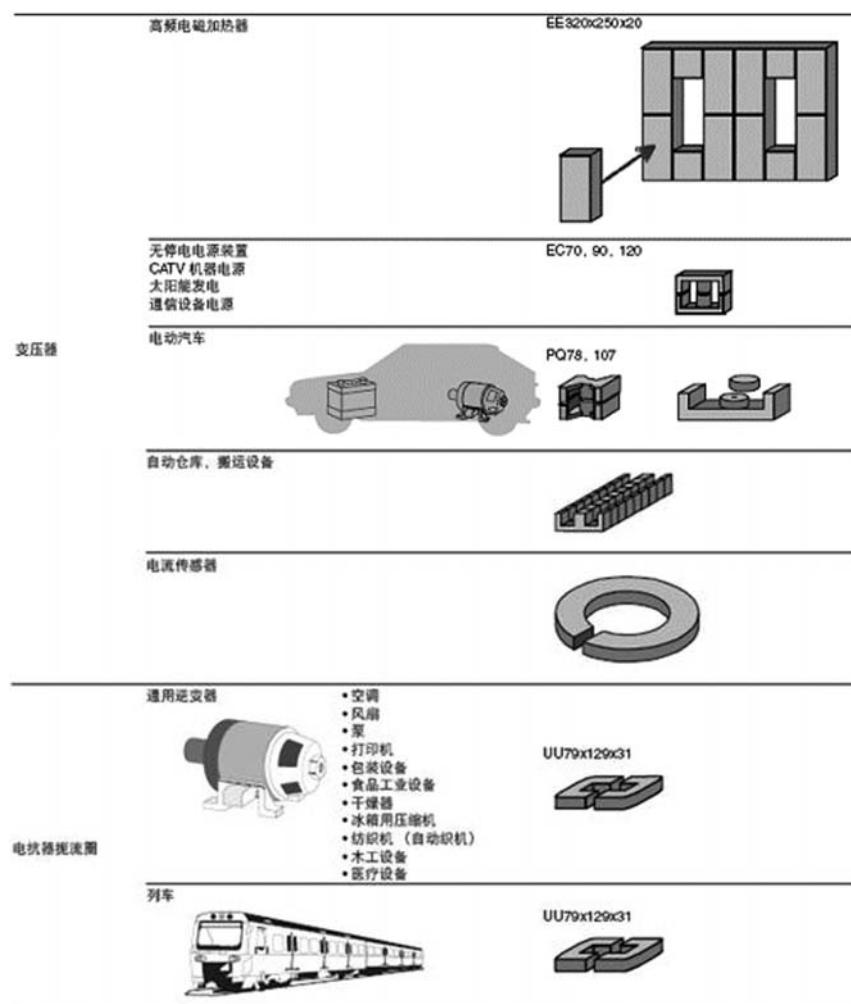
耀润电子有限公司 浙江桐乡 314504

大功率大尺寸铁氧体磁心与 PE90 材料

近几年，高频电子回路无论在工业机器中，还是民用机器中都得到广泛采用，随着电源高频化的发展，一直以

来被用作变压器磁心的硅钢片也已经变得无法再用。作为其替代产品，铁氧体是满足高频带下的磁心损耗较小等大功率要求的最佳磁性材料。

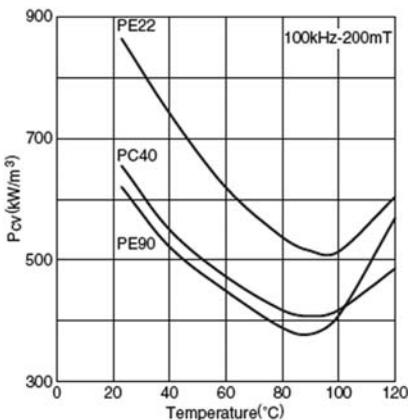
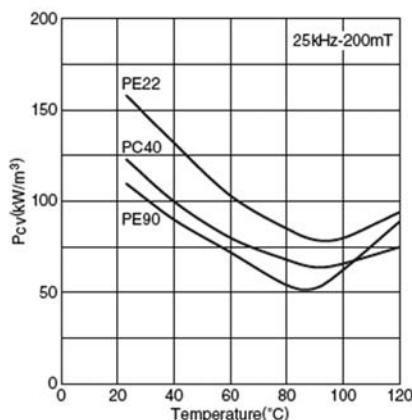
应用实例



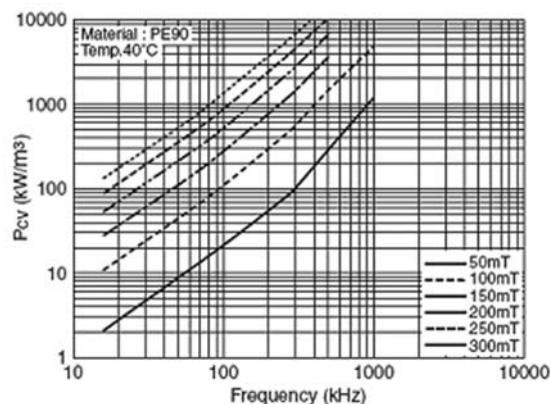
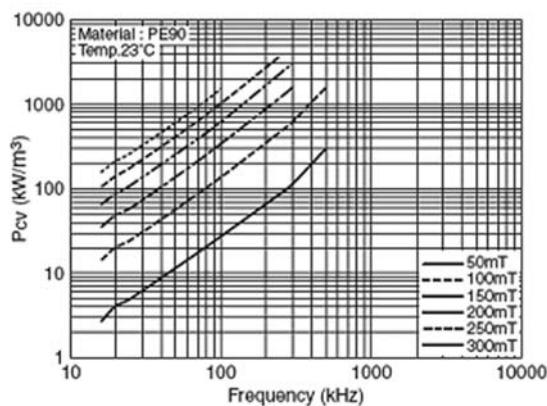
材质特性

| 材质 | | PE22 | PC40 | PE90 |
|---------------------|---|-----------|-------------------|------------------------|
| 初始磁导率 | μ_i | 23 | 1800 | 2300 |
| 居里温度 | T_c | | > 200 | > 200 |
| 饱和磁通密度* [H=1194A/m] | B_s | 23 100 | mT 410 | 510 410 |
| 剩余磁通密度 | B_r | 23 | mT | 140 |
| 矫顽力 | H_c | 23 | A/m | 16 |
| 磁心损耗 | P_{cv} 25kHz , 200mT 100kHz , 200mT | 90 100 | kW/m ³ | 79 80 520 |
| 固有电阻 | | | · m | 3 |
| 表观密度 | d_{app} | | g/cm ³ | 4.8 |
| 热膨胀系数 | | | 1/K | 12×10^{-6} |
| 导热系数 | | | W/mK | 5 |
| 比热 | C_p | | J/kg · K | 600 |
| 抗折强度 | δ_{b3} | | N/m ² | 9×10^7 |
| 杨氏系数 | E | | N/m ² | 1.2×10^{11} |
| 磁致伸缩系数 | λ_s | | | 0.6×10^{-6} |
| | | | | 0.6 × 10 ⁻⁶ |
| | | | | 0.6 × 10 ⁻⁶ |

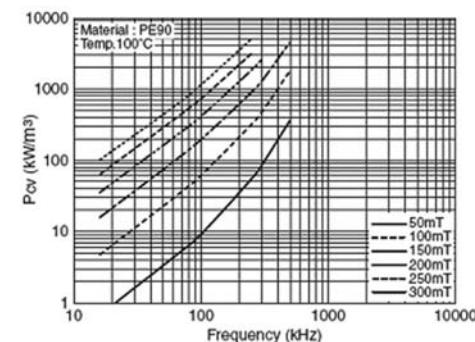
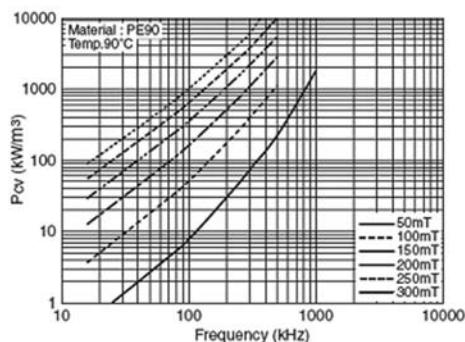
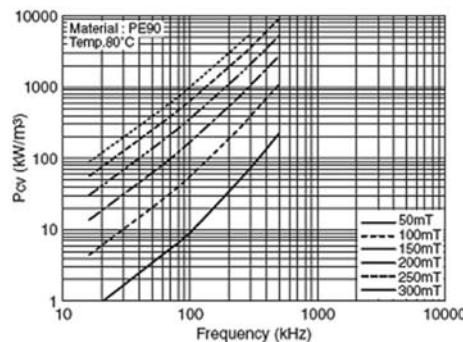
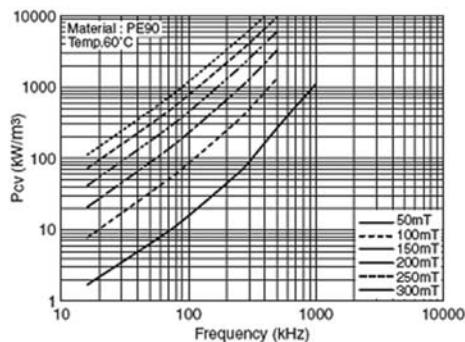
磁心损耗—温度特性



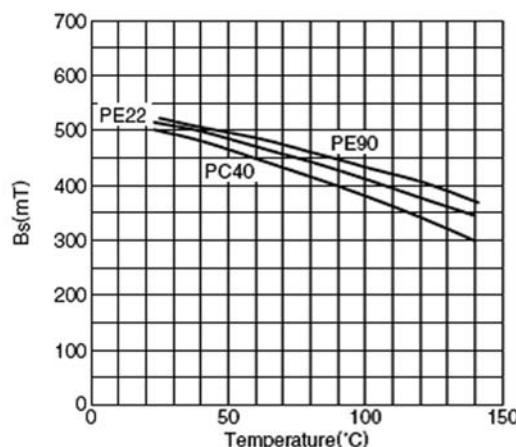
材质名: PE90



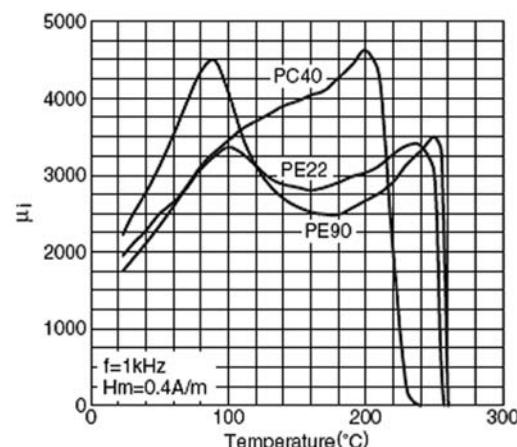
磁心损耗 - 频率特性



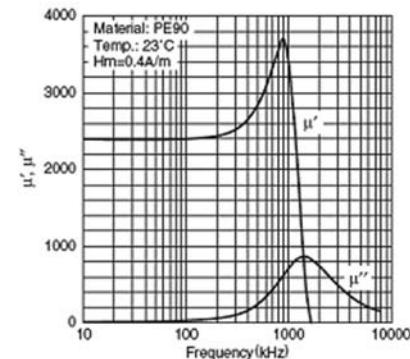
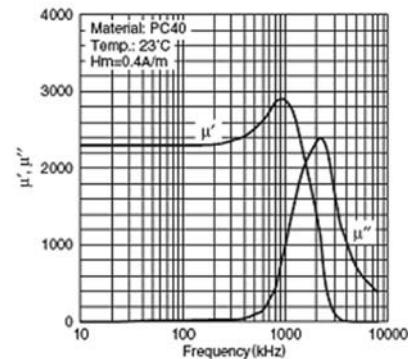
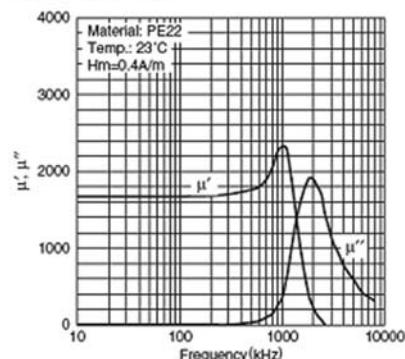
饱和磁通密度 - 温度特性



初始磁导率 - 温度特性



磁导率 - 频率特性



铁氧体材料与磁心使用须知

应用实例

| 用途 | 特性 | 材质 | 磁心形状 |
|----------|---------------------|--------|-------------|
| 输送电路 | 频率分割多重 (FDM) 变换用滤波器 | 低损耗 | H5A T 磁心 |
| | 中继器用输入输出变压器 | 高稳定 | H5C2 EP 磁心 |
| | 各种调制解调电路 | | H5C3 EPC 磁心 |
| | 滤波器用匹配变压器 | | HS72 EE 磁心 |
| | 各种信号电路匹配变压器 | | PC47 EER 磁心 |
| 数据传输电路 | | | PC95 P 磁心 |
| | FDM 用混合变压器 | 高磁导率 | HP5 T 磁心 |
| | PCM 用脉冲变压器 | 广频带低损耗 | H5B2 EP 磁心 |
| | 记忆元件输入输出脉冲变压器 | 高稳定 | H5A EE 磁心 |
| | 电子交换机器用脉冲变压器 | 高磁通密度 | H5C2 EPC 磁心 |
| 电源电路 | 中继机器用输入输出脉冲变压器 | | HS72 RM 磁心 |
| | 高输出变压器 | 高磁通密度 | PC47 EER 磁心 |
| | 高电压变压器 | 高磁导率 | HS12 P 磁心 |
| | 开关调节器用主变压器 | 低损耗 | PC47 T 磁心 |
| | 开关调节器电源用平滑扼流圈 | 低温上升 | PC95 EP 磁心 |
| 噪音对策 | 逆变器用变压器 | | EE 磁心 |
| | 整流器用变压器 | | EER 磁心 |
| | 升压变压器 | | HS72 RM 磁心 |
| | 饱和电抗器 | | HS10 T 磁心 |
| | 电源电路用共模扼流圈 | 高磁导率 | HS12 EE 磁心 |
| 应用电路·机器例 | 信号电路用共模扼流圈 | 高磁通密度 | HS12 UU 磁心 |
| | 线路扼流圈 | | HP5 |
| | | | H5A |
| | 滤波器用 | | H5B2 |
| | | | H5C2 |
| | | | H5C3 |
| | 铁路信号用滤波器 | 高磁导率 | H5A EE 磁心 |
| | 医疗设备 | 高稳定 | H5C2 EI 磁心 |
| | 测量设备 | 高磁通密度 | PC47 EER 磁心 |
| | 磁力传感器 | | 其他 P 磁心 |
| | 道路管理系统 | | |
| | 钟表用线圈、变压器 | | |

使用铁氧体磁心时的一般注意事项

选择铁氧体磁心的材质和形状时，请根据电感值，最大饱和磁通密度，磁心损耗，温度特性，频率特性，居里温度等产品手册标示的范围进行选择。

为了防止发生绝缘不良及层间短路，请选择不会发生腐蚀及反应的构件，此外，请注意避免线圈的卷绕松弛及金属线损伤。

请注意避免用所使用的设备，夹具工具等对磁心造成冲击，以免破裂。

请考虑使用外壳，线轴，胶带等作为绝缘。

请选择使用热膨胀系数尽可能与铁氧体相近的外壳，线轴等。

为避免磁心破裂及绝缘不良，请在所使用的外壳，线轴，线圈与铁氧体磁心之间留取空隙。

铁氧体磁心抗冲击性较弱，要充分注意轻拿轻放。

请勿靠近强力磁铁。

磁心抗热冲击性较弱，请注意使其避免剧烈的温度

变化。

铁氧体研磨面的边角很锋利，且有时会带有微小的毛刺，如不小心碰到，可能导致受伤。

有些铁氧体磁心较重，为防止受伤，翻倒，闪腰等，在包装箱的堆放及使用时，请多加小心。

为防止运输途中造成磁心破损，产品的内包装有时会采用较难取出的包装材料，因此在取出磁心时，要注意避免使磁心破损。

请切勿对铁氧体磁心进行再加工，否则会引起受伤等事故。

尺寸共鸣

所谓尺寸共鸣，是指对磁心外加某频率的磁场时，磁心内产生电磁波的驻波，损失增大而磁导率减小的现象。

该现象在相对于磁场垂直的磁心截面的最大尺寸为电磁波波长的约二分之一的整倍数时产生。其波长为：

$$\lambda = \frac{C}{f \times \sqrt{\mu_r \times \epsilon_r}}$$

C : 真空中的电磁波速度

μ_r : 相对磁导率

ϵ_r : 相对介电常数

f : 外加磁场(电磁波)的频率

此外，插入空隙使用时， μ_e 会减小，所以即使使用相同的磁心，通过插入空隙，也能够在更高频率范围下使用。

发生尺寸共鸣时，磁导率将会急速减小，因此在设计实际使用的频率时要注意避免发生尺寸共鸣。

如果在设计上出现发生尺寸共鸣的可能性，可利用在磁路方向上分割磁心并进行粘贴的磁心制作方法防止尺寸共鸣。

使用注意事项

1 铁氧体使用注意事项

1.1 无气隙磁心

为了实现通信装置及计算机，工业机器用的各种变压器及扼流圈类的小型化，要使用各种形状的高磁导率铁氧体磁心。

如罐形磁心及 E 形磁心，将上下磁心组合使用的产品因其接合部位上有微小气隙的磁阻，所以表现上的磁导率较低。为了尽量减少这种影响，我们对接合面进行精密加工磨光以尽可能的减少气隙。

因此，在配对磁心组装线圈时，也需要充分清除接合面上的灰尘，污渍，油脂等。

此外，在线圈装配后让磁心摩擦数次，会让磁心之间的配合更紧密，减少偏差，从而获得稳定的电感。

1.2 带气隙磁心

通信装置及无线设备的滤波器及振荡变压器等要求使用损耗低，稳定性高的电感器。

为获得这种低损耗，高稳定的线圈，需要使用带气隙的铁氧体磁心。使用罐形磁心及 RM 磁心，E 形磁心时，其气隙要加工在磁心部分(中脚部分)上。

铁氧体磁心有效磁导率的特点是，具有随着气隙增大而逐渐变低的性质，温度系数及时效也会随其降低率而变小，电感的偏差也会变得越来越窄。

1.3 关于磁心常数

“磁心常数”记载于各磁心的形状尺寸图下面。

该常数是由磁心形状决定的磁路常数，分为以下 4 种。

磁心常数 : $\sum \frac{1}{A} = C_1 (\text{mm}^{-1})$

有效磁路长度 : $l_e (\text{mm})$

有效截面面积 : $A_e (\text{mm}^2)$

有效体积 : $V_e (\text{mm}^3)$

这些常数可以在计算有效磁导率及磁场强度，磁通密度等的时候使用。

其计算式如下所示：

$$\mu_e = \frac{L}{4\pi \times N^2} \cdot \sum \frac{1}{A}$$

$$\hat{H} = \frac{N\sqrt{2} \times I}{l_e} \times 10^3 (\text{A/m})$$

$$\hat{B} = \frac{E}{\sqrt{2\pi \cdot f \cdot N \cdot A_e}} \times 10^9 (\text{mT})$$

$$\hat{B} = \sqrt{\frac{4\mu_e \cdot E \cdot I}{f \cdot V_e}} \times 10^4 (\text{mT})$$

在这里，

μ_e : 有效磁导率

L : 电感 (H)

N : 线圈圈数 (Ts)

I : 励磁电流 (Ar.m.s)

E : 外加电压 (Vr.m.s)

f : 频率 (Hz)

\hat{H} : 磁场强度峰值 (A/m)

\hat{B} : 磁通密度峰值 (mT)

关于磁心常数的计算，是假设磁心内部为均一磁通时的计算方法，在 IEC 规格的 Pub.205 中有所规定，依据该规定而求得磁心常数的值。

虽然在低磁场下使用时较好，但实际磁心的各部分截面积有时并不一定相同，在这种情况下，磁通无法像计算的一样均一。

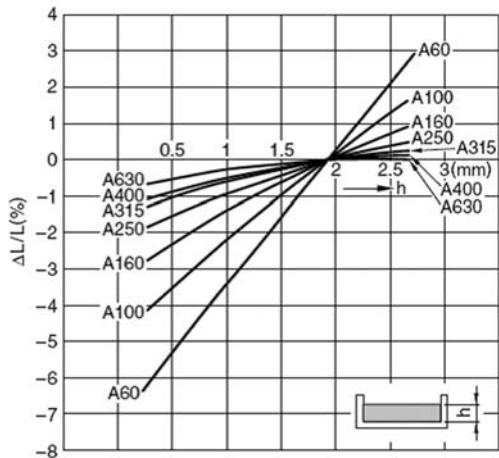
因此，当实际使用的电平较高，需要注意磁力饱和时，比起利用有效截面面积来计算，利用磁心最小截面面积更为实用。

2 设计注意事项

2.1 绕线方法与电感的关系

图 1 是表示线轴的线圈截面积中所占线圈的高度和 AL 值关系的图表。

卷线方法和电感的关系
H5AP22/13-52H



H5AP26/16-52H

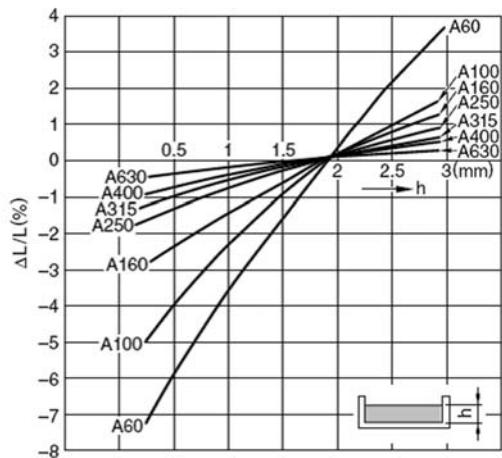


图1

一般磁心的 AL 值是在某规定的绕线条件下所保证的值，当该条件不同时，便会发生偏差。越是有效磁导率低的磁心（AL 值低的磁心），这种影响就越大。

因此，利用磁心的公称 AL 值设计线圈圈数，也会引起所制作线圈的电感与计算值不同的结果。

2.2 线圈的分布容量和电感的关系

绕制线圈的分布容量在与电感器的使用频率的关联中，会产生各种不良影响，对于电感值也不例外。线圈的圈数从数百变为数千时，即使在数 kHz 的低频下，有时也会发生表观电感与计算值不符的情况。图 2 是表示线圈的分布容量和表观电感增加率关系的图表。从该图表可知，使用频率越是接近线圈的自共振频率，表观电感与真值的差异就越大。为防止这种情况，需要按照可尽量减少线圈分布容量的条件进行卷线。

要减少分布容量，可以考虑以下对策：

绕线时不要让线圈起始层和线圈结束层互相接近。

使用分割线轴，在各个截面上均匀卷线。

将线圈起始层连接到电位较低的一方（接地侧）。

2.3 关于电感的稳定性

2.3.1 关于稳定性设计

高可靠性滤波器中使用的电感器要求具有 10~20 年的长期稳定性。进行这种电感器的设计时，要考虑以下方面：

长期容许变动范围 = 铁氧体磁心的时效变化量 + 铁氧体磁心的温度特性变动量 + 装配误差容限

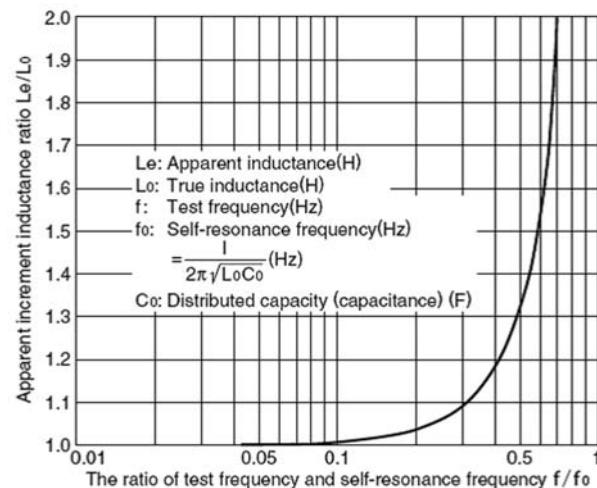


图2

误差容限是为在线圈装配及使用中受到各种冲击而引起微小变动或者最终调整时的设置误差，温度补偿误差等而设置的。并且，该值因规格的严格程度及部件数量，作业工序等的差异会有各种不同的情况。在实际使用时一般都是根据从工序分析中得到的经验数据来加以确定。铁氧体的时效变化及温度特性在材质特性表中是以磁导率减落系数和温度系数的形式来表现的，可以利用其进行计算。但是，材质特性表中所记载的温度系数是以完全闭磁路磁心（环形磁心）评价而来的，所以磁路复杂的实用磁心多少会有些不同。为此，只依靠简单的计算有时无法得出，所以按每种材质，形状，AL 值对主要磁心的温度系数的规格分别进行计算。这些值根据测定温度范围等条件的不

同而变化，因此，在特殊条件下，需要每次都进行实际确认。

2.3.2 时效变化量的推定

作为铁氧体磁心的一般性质，从烧结之后开始磁导率有随时间而降低的现象。表示该变化比例的系数作为“相对磁导率减落系数 D_F ”，其表达式见“铁氧体的术语解释与定义”。该相对磁导率减落系数如材料特性表所示，铁氧体磁心的每种材质分别具有其固定的值。在对存在长期间的电感变动量问题的精密电感器元件进行设计时，通过使用该系数可以提前对其进行预测。

磁导率，即电感的时效变化相对于时间的对数大致按直线变化，相对磁导率减落系数 D_F 的表达式可表示如下：

$$\frac{\Delta L}{L} = D_F \times \mu_0 \log_{10} \frac{t_2}{t_1} (t_2 > t_1)$$

在这里，

$\frac{\Delta L}{L}$: 从时间 t_1 到 t_2 的电感变化率

D_F : 相对磁导率减落系数

μ_0 : 时效磁导率（完全闭磁路的磁心使用初始磁导率 μ_0 ）

t_1 : 初始时间（磁心制造时点设置为“0”）

t_2 : 作为目标的终点的时间（磁心制造时点设为“0”）

如上所示，截至电感器组配完成时点的时间为 t_1 ，截至 20 年为止的时间为 t_2 。现在，设 t_1 为 2 个月， t_2 为 242 个月

$$\frac{\Delta L}{L} = 3 \times 10^{-6} \times 2138 \times \log_{10} \frac{240}{2} = 0.0133$$

即，作为电感的变化率，降低 1.33%。

注意：铁氧体磁心除了烧结后发生的时效变化以外，还有诸如磁心暴露在居里点以上高温时，受到达到饱和磁通密度一样的强磁力冲击时，以及被施加了强应力时，还会发生以这些时点为起点的磁导率减落。在此类情况下，可以按与上述例子同样的计算方法预测电感的变动量，但对于最终调整完成后的电感器元件，需要注意不要让其受到上述的强冲击。

2.4 关于直流叠加特性

直流叠加特性图用于在设计有直流通过的变压器及电感器时该选用何种材质，形状，AL 值的磁心为好，或者选用的磁心可在多大的直流磁场范围内保持稳定的电感。下图是典型的磁心直流叠加特性示例图，是在横轴上取叠加的直流磁场（安培匝数），在纵轴上含据磁心气隙的调整取各种 AL 值的图表。

从该图表可知，磁心的 AL 值越低，其可以保持一定

H5AP30/19 的直流叠加特性

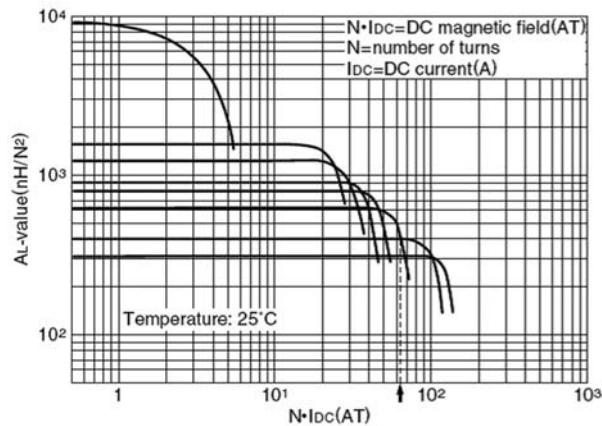


图3

电感的直流磁场的范围就越大。这是因为，由于 AL 值较低的磁心其磁导率也小，因此磁心的 B-H 曲线的斜度就会变平，相对于磁场强度的 B-H 曲线的直线范围就会变大。另一方面，B-H 曲线具有受环境温度的影响的性质，特别是在温度较高时，材质的饱和磁通密度会变低。直流叠加特性也同样，根据环境温度的变化，其可以稳定使用的直流磁场的大小也会发生变动。这种变动的比例与磁通密度的情况相同，如果以 B-H 曲线的温度特性为标准，则按照大致同等的变化率来考虑即可。

例：从图 3 中可以看出，AL 400 的磁心（带气隙，AL 400 的磁心）可保持一定值的直流磁场的极限为 65AT（图 3 中的箭头）。如果线圈为 1 圈，则可以通过 65A 的直流（环境温度为 25℃ 时）。

2.5 关于功率设计

关于功率变压器类设计的基本项目可以按下表所示：

| 项目 | 设计上的基本项目 | 限定要素 | 研究对象 |
|----|-----------------|---------|----------|
| 1 | 磁通密度 (磁心的饱和) | 输入电压 | 磁心材质 |
| | | 频率 | 磁心形状 |
| | | 容限温度 | 实效磁导率 |
| | | 初级圈数 | |
| 2 | 发热 | 磁通密度 | 磁心材质 |
| | | 环境温度 | 磁心形状 |
| | | 容限温度 | 实效磁导率 |
| | | 容许温度上升值 | 磁心损耗 |
| | 铜损耗 | 额定输送功率 | 磁心线圈截面面积 |
| | | 电流密度 | 铜的占空系数 |
| | | 环境温度 | 初级圈数 |
| | | 容许温度上升值 | 次级圈数 |
| 3 | 阻抗率 | 额定输出电压 | 磁心材质，形状 |
| | | 额定输出电流 | AL 值 |
| | | | 次级圈数 |

关于磁通密度，由于使用 1-3 项所示的算式，需要确认所选用磁心不超过容许磁通密度，同时要研究该磁通密度下的磁心损耗是否属于发热容限范围内的值。另一方面，还需要研究进行功率输送时，通过初级，次级线圈电流和因线圈电阻而产生的铜损耗所引起的发热是否在容限范围内。此外，为了输送额定功率，在考虑了与外围电路的匹配时，阻抗率也需要一个规定的值，所以，也需要就此对选用磁心的材质，形状， AL 值的适用性进行研究。

3 线圈的组装方法

为了获得更加稳定的线圈，建议注意以下所述的方面：

组配磁心时，磁心的接合部分不可有污渍。否则，不但无法得到适当的电感，而且还会产生不稳定性。此外，还会导致附件及磁心与磁心之间无法顺利装配。进行磁心与线轴的粘合时，需要注意粘合剂的种类及粘合部位。此外，粘合剂的用量应控制在最低需要限度。其原因是，铁氧体磁心与粘合剂的热膨胀系数有这巨大差异，有时会引发机械性变形，对电器特性产生不良影响。

3.1 关于粘合剂

建议粘合剂要根据粘合的部分使用以下产品：

3.1.1 线轴固定用

粘合剂：合成橡胶类粘合剂（例：索尼粘合剂 SC12N）

该粘合剂在常温下硬化约需 12 小时，此外，封装到外壳内时，涂漆后需要放置 24 小时左右，以使粘合剂中所含的有机物得到充分挥发。

3.1.2 磁心固定用

粘合剂：环氧树脂粘合剂 WA106

硬化剂：硬化剂 HV953U

混合比：环氧树脂粘合剂 WA106 100g / 硬化剂 HV953U 80g

适用期：约 2 小时（20℃）

硬化时间在常温下需要约 12 小时左右，为了让其早一些硬化，在 70℃ 左右的温度下干燥 2 小时左右比较有效。

注意：要以重量比 5 : 4 的比例混合环氧树脂粘合剂 WA106 和硬化剂 HV953U。该粘合剂的适用期为 2 小时左右，所以建议在只在使用之前混合所要的用量。

上述材料的热膨胀系数应接近磁心的热膨胀系数，以减少应力影响。

3.2 组装

3.2.1 组装的预处理

磁心内侧和外侧的灰尘请用刷子进行彻底清除。磁心接合面的油污请用浸过酒精等溶剂的印台进行擦除。该印台的表面要使用没有绒毛，尼龙之类的布。另外准备干燥的印台，用来清除磁心的湿气可方便组装。

3.2.2 线轴的粘合

将 3.1.1 项的粘合剂涂抹在磁心的内侧底面的一个点上，然后将绕线后的线圈按图 4 所示的方法插入，进行粘合。此外，最好不要把粘合剂涂抹在磁心的整个底面上。磁心与线圈到粘合为止，在常温下需要 12 小时左右。然后，将磁心组配到模具中，轻轻摩擦 2~3 次，通过目视或使用夹具进行对中。

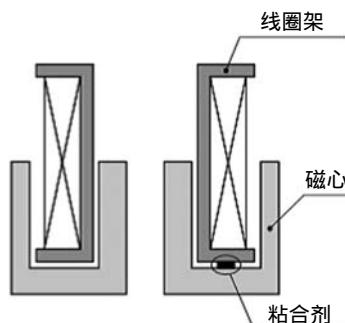


图4

只将粘合剂涂抹一个点的原因是，如果不这样做，由于热膨胀系数的差异，铁氧体和粘合剂之间会发生机械性形变，从而对各种特性产生影响。尤其是对温度特性有不良影响。

3.2.3 磁心的粘合

关于组配到模具后的磁心的粘合，建议对磁心的外侧按图 5 所示的为止进行两个点的粘合。最好不要将磁心和模具粘合在一起，所以请注意避免。建议粘合剂要使用 3.1.2

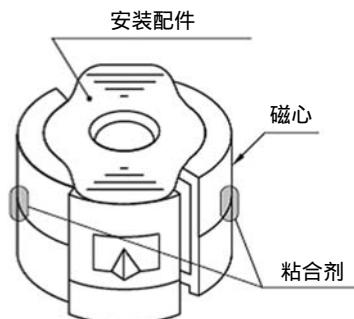


图5

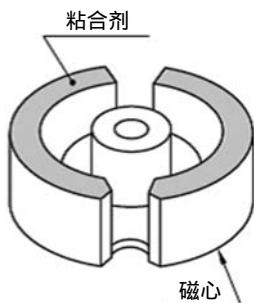


图6

中记载的环氧树脂类粘合剂。如果不使用模具，也可对接合面（环形部分）进行粘合。粘合剂要尽量涂薄，并让上下的磁心摩擦数次。在粘合剂干燥之前，粘合面上要一直保持 0.2N/mm^2 的压力。因此，铁芯部分请勿粘合。粘合后的磁心干燥时间在常温下需要 12 小时左右，要使其快一些硬化时，需要将其放入 70 的干燥机内干燥 2 小时左右。

3.3 线圈的浸渍

如果针对适度有减少影响的要求，请用蜡只对线圈进行真空浸渍。此时，蜡要使用电气性品质良好的产品。此外，操作温度要控制在各线轴的最大容许温度以下。插入线圈时，要注意不要让蜡附着在磁心的接合面上。还有，电气方面要求严格时，作为避免湿度的方法，建议采用同时具有静电屏蔽效果的密封。

3.4 通过温度循环进行的时效处理

线圈的时效处理是用于优化电感器接合部及模具配合，减少机械性形变的处理。对经过粘合并组装后的磁心建议以 0~70 的温度循环连续进行 3 次以上处理。1 次循环的时间需要达到 8 小时以上。这种磁心的时效处理要在磁心粘合后插入调整器进行了粗调的状态下进行。

本文富集了网上各公司大量资料和行业精英们不少高见，作者谨在此深致谢意！