

在功率电感和扼流圈设计中怎样选取粉芯（分布式气隙）材料

简介：

本应用指南给出了粉芯材料（MPP, Sendust, Kool Mu, High Flux 以及 Iron Powder）在电感，扼流圈以及滤波器的设计中的选型和优化。

具体选择何种材料取决于以下具体的应用情况：

- 1) 电感中通过的直流偏置电流大小。
- 2) 环境温度和允许的温升。目前的应用环境温度超过 100 已经非常普遍。
- 3) 尺寸约束和焊接方法（表面贴装或者通孔插装）
- 4) 成本考虑：铁粉芯最便宜，MPP 最贵。
- 5) 磁芯电气性能随温度变化的稳定性。
- 6) 磁芯材料的可选择性。比如：微晶公司铁粉芯主要为 #26 和 #52 材料，而 MPP 最常用的材料为磁导率为 125 的材料。

随着近年来铁磁技术的飞速发展，工程师设计优化时的材料可选择性大大提高。对于开关电源、电感、扼流圈以及滤波器设计方面，最常用的材料包括 MPP(钼坡莫合金)，High Flux（高磁通磁芯），Sendust（铁硅铝）以及铁粉芯磁芯。针对不同的应用场合，每种材料都有各自的特点。

粉芯磁芯的主要生产厂家如下：

- 1) 美国微晶公司主要生产铁粉芯。目前只有该公司的铁粉芯具有很高的热稳定性。
- 2) 美国 Magnetic 公司以及 Arnold 公司，CSC 公司，T/T 电子公司生产 MPP, Sendust(Kool Mu) 以及 High Flux 磁芯。
- 3) 日本 TDK, Tokin, Toho 生产 Sendust 磁芯。

粉芯材料磁芯是由高磁导率材料经过研磨或者喷雾造粒形成粉末，磁芯的磁导率取决于高磁导率材料微粒的尺寸和密度大小。调整微粒的尺寸和密度可以得到不同磁导率的磁芯。微粒尺寸越小，磁芯磁导率越小，直流偏置特性越好，但是成本更高。粉末微粒之间彼此绝缘，因此磁芯固有的分布气隙具有更好的储能能力，特别适合在储能电感中应用。

粉芯的分布式气隙特性确保能量储存在整个磁芯体中。这就使得磁芯的温度稳定性更高。而传统的开气隙的铁氧体磁芯由于能量储存在气隙附近，漏感较大，使得气隙损耗和电磁干扰都明显增加。有时局部气隙损耗甚至比磁芯本身的损耗都大。因此，磁芯的温度稳定性不太稳定。优化磁芯选择原则是选择能够满足所有的设计目标需求的同时，具有最小折衷的材料。如果成本是首要考虑因素，铁粉芯是最佳选择。如果温度稳定性是优先考虑因素，那么首选 MPP 磁芯。

MPP（钼坡莫合金粉芯磁芯）

成分：Mo-Ni-Fe

在所有粉芯磁芯中，MPP 粉芯磁芯具有最小的磁芯损耗和最好的温度稳定性。典型情况下，直到 140，电感的公差漂移都小于 1%。MPP 磁芯的初始磁导率(μ_i)有 26, 60, 125, 160, 173, 200, 500。MPP 磁芯具有高电阻率，低磁滞损耗和涡流损耗，在直流偏置和交流条件下都非常好的电感稳定性等优点。对于 $\mu_i=125$ 的磁芯，交流激励（交流磁化磁感应增量超过 2000 高斯）下，电感变化仍低于 2%（非常稳定）。MPP 在直流磁化或直流偏置下也不易饱和。MPP 的最大饱和磁感应强度大约为 8000 高斯（800mT）。

同其他粉芯材料相比，MPP 价格最贵，但是在磁心损耗和稳定性方面性能最好。在直流偏

置条件下应用时，必须遵循一下原则：在直流偏置下，保证初始磁导率跌落小于 20% 的对应的参数如下：对于 $\mu_i=60$ 磁芯，max. DC bias < 50 奥斯特； $\mu_i=125$ ，max. DC bias < 30 奥斯特； $\mu_i=160$ ，max. DC bias < 20 奥斯特。

特性：

1. 在所有粉芯材料中损耗最低。低磁滞损耗，因此信号失真小，剩余损耗小。
2. 最好的温度稳定性，Under 1%.
3. 最大磁感应强度为 8000 高斯 (0.8 特斯拉)
4. 电感公差: + - 8%. (3% from 500 Hz to 200 KHz)
5. 广泛用于航空，军用，医疗以及高温应用场合。

应用：

高 Q 滤波器，负载线圈，谐振电路，300 kHz 以下的射频干扰滤波器，变压器，扼流圈，差模电感滤波器，直流偏置输出滤波器。

High Flux Cores (高磁通磁芯)

成分: Ni-Fe

高磁通粉芯是由 50% 的镍和 50% 的铁组成的合金粉末。基本材料和铁镍合金带很相似。高磁通粉芯有更高的储能能力，更高的饱和磁感应强度。饱和磁感应强度大约为 15,000 高斯 (1500 mT)，与铁粉芯磁芯不相上下。高磁通磁芯比 sendust 的损耗更低，但是比 MPP 的损耗稍高。高磁通磁芯广泛用于高直流偏置情况下。不过，由于受限制于磁导率选择和尺寸选择范围不够多。它不如 MPP 和 sendust 常用。

应用：

- 1) 线路噪声滤波器中电感必须在大交流工作电压下不饱和。
- 2) 开关调整电感 (承受大直流偏置)
- 3) 由于该材料的剩余磁感强度几乎为零，因此适合用于脉冲变压器和反激变压器中，由于剩磁为零，有效磁感应增量几乎为 15K 高斯 (从 0 到 15K)，因此，是脉冲变压器和反激变压器的理想材料。

Kool Mu / SENDUST

Composition: Al-Si-Fe

Sendust 在 Magnetics 公司又名 Kool Mu。取名 Sendust 是由于该材料首次在日本一个叫 Sendai 的地方使用而得名。取名叫 'dust' core，因此名叫 Sendust。通常，sendust cores 同铁粉芯相比有更低的损耗。但是比 MPP 的损耗高。相比铁粉芯，sendust 磁芯损耗低 40% 到 50%。Sendust 磁芯也表现出非常低的磁滞伸缩系数，因此，特别适合用于要求低音频噪声的场合。Sendust 磁芯的饱和磁感应强度高达 10,000 gauss，比铁粉芯略低。然而，sendust 比 MPP 和集中气隙铁氧体磁芯的储能能力高。

Sendust 磁芯的初始磁导率分为 60 和 125。Sendust 磁芯在交流激励下的磁导率或电感量变化最小 (under 3% for $\mu_i=125$) 在高温下具有极佳的温度稳定性，从室温到 125 度电感的

变化范围小于 3%然而,当温度下降到 65 度时,对于 125 材料,电感量下降大约 15%,同时,还值得注意的是随着温度的升高,Sendust 的电感量下降,而其他的粉芯材料却是随着温度的升高,电感量增加。因此,对于需要温度补偿的场合可以采用 Sendust 和其他材料的复合结构。

Sendust 磁芯的成本低于 MPPs 或 high fluxes,但是比铁粉芯稍贵。在直流偏置应用情况下,基本原则是初始磁导率的跌落不能低于 20%。

例如: $\mu_i = 60$ cores, max. DC bias < 40 oersted; $\mu_i = 125$, max. DC bias < 15 oersted.

特性:

1. 比铁粉芯有更低的损耗。
2. 低磁滞伸缩系数,低音频噪声。
3. 良好的温度稳定性,从 -15 'C 到 125 'C 电感量偏移低于 4%
4. 最大磁感应强度为: 10,000 gauss (1.0 tesla)
5. 电感量公差: $\pm 8\%$.

应用:

1. 开关调整器或开关电源中的功率电感。
2. 反激变换器或脉冲变压器(电感)
3. 在线噪声滤波器。
4. 扼流圈。
5. 调光灯相位控制电路(低音频噪声),调速电机控制设备。

Iron Powder

成分: Fe

铁粉芯是粉芯材料成本最低的材料。与 MPP, High Flux 或 Sendust 磁芯,铁粉芯提供了低成本的设计方案选择。它是所有粉芯材料中损耗最大的材料,但是可以通过使用更大尺寸的磁芯来补偿。在许多应用中,空间占用和较高的温升不是特别重要,而成本更为重要,此时,铁粉芯是最佳的选择,铁粉芯分为两类:羰基铁粉芯和氢还原铁粉芯。羰基铁粉芯具有更低的损耗和良好的 Q 值特性和射频应用。

铁粉芯的相对磁导率从 1 到 100. 用于开关电源应用中最流行的材料为 #26 ($\mu_i = 75$), #8/90 ($\mu_i = 35$), #52 ($\mu_i = 75$) 以及 #18 ($\mu_i = 55$) 材料。铁粉芯的饱和磁感应强度为 10,000 到 15,000 gauss. 铁粉芯的温度稳定性非常好。The #26 号材料的温度稳定性为 825 ppm/C 从常温到 125 度的温度范围内, 电感变化量大约为 9%). #52 号材料电感变化量 650 PPM/C (7%). The #18 号材料电感变化量为 385 PPM/ C (4%), #8/90 号材料电感变化量为 255 PPM/C (3%).

铁粉芯材料适合应用于低频场合,由于磁芯的磁滞损耗和涡流损耗较高,工作温度必须限制在 125 度以下。

在直流偏置应用场合,必须遵循以下规则:初始磁导率在直流偏置下下跌不超过 20%

For Material #26, max DC bias < 20 oersteds;
For Material #52, max DC bias < 25 oersteds;
For Material #18, max DC bias < 40 oersteds;
For Material #8/90, max DC bias < 80 oersteds.

特性:

1. 低成本.
2. 低频下特性良好 (<100Khz).
3. 高的饱和磁感应强度: 15,000 gauss
4. 电感公差: $\pm 10\%$

应用:

1. 储能电感。
2. 低频直流输出电感。
3. 50/60 Hz 差模 EMI 线性电抗器。
4. 调光灯电抗器。
5. PFC 功率因素调整。
6. 谐振电感。
7. 脉冲和反激变压器。