



铁硅铝粉芯（Kool M μ [®]）

一种用于功率扼流圈的磁材料

简介

随着开关电源的工作频率增加，功率电感器等电路元件会受到不断增加的磁芯损耗的影响，并导致热量累积。铁粉芯非常经济，因此非常适合用于低频环境，但是在高频下它们会导致温升过度。

研制出**铁硅铝（Kool M μ ）**磁芯是为了最大程度地降低高频环境下的磁芯损耗和温升。将旧磁材料铁铝硅成分改良并改进其加工技术而产出的**铁硅铝（Kool M μ ）**磁粉芯，显著地降低磁芯损耗。

本文描述了**铁硅铝（Kool M μ ）**磁粉芯的加工过程并详

述其可成为电感元件的电磁特性。本文同时也比较了**铁硅铝（Kool M μ ）**磁粉芯与铁粉芯材料的性质。这将有助于工程师为高频功率转换设备中的功率扼流圈选用合适的材料。

磁芯的加工程序

铁硅铝 (Kool M μ) 磁芯是通常称为粉末磁芯的几种磁元件之一。粉末磁芯起源于电子元件早期。在二十世纪二十年代，铁粉芯被用于早期的收音机。在三十年代，研制出铁硅铝磁合金和钼坡莫合金合金材料 (80% 镍-铁)。在七十年代研制出高磁通磁芯 (50% 镍-铁)。

通过将现有金属合金研磨成精细粉粒来制造粉末磁芯，然后使用绝缘材料敷在这些粒子表面上 (这可以控制气隙的大小)。这些粉末在高压下压制成不同的粉末磁芯形状。

铁硅铝 (Kool M μ) 磁粉芯具有如图 1 所示的材料相图。基底材料为大约 85% 的铁、6% 的铝和 9% 的硅。用于处理粉末的特殊方法，再加上对特殊涂层材料的使用，可以生产出磁芯损耗低于原始铝硅铁粉并远低于铁粉芯的磁芯。

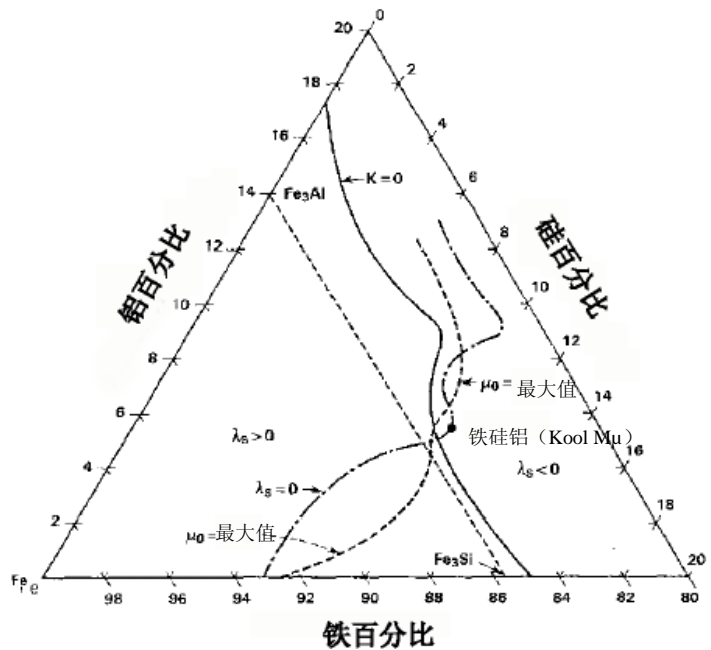
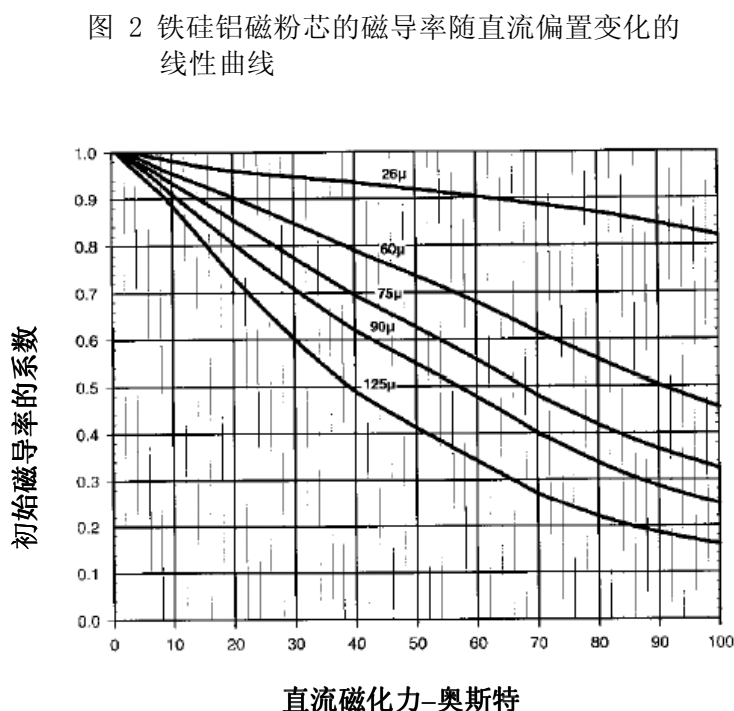


图 1 显示铁硅铝磁粉芯材料的 Fe-Si-Al 合金材料相图

铁硅铝粉芯的特色和应用

在减少磁芯的有效磁导率时，均匀分布于磁芯中的小气隙能使绕组承受较大的直流电分量而不使磁芯饱和。这是**铁硅铝 (Kool M μ)**磁芯的主要优势，使其适用于功率电感器，尤其是在开关电源中。

铁硅铝 (Kool M μ)磁芯同样也适用于回扫电路中的变压器和单极变压器。在磁芯中分布的气隙使磁芯在施加直流脉冲期间不会饱和。



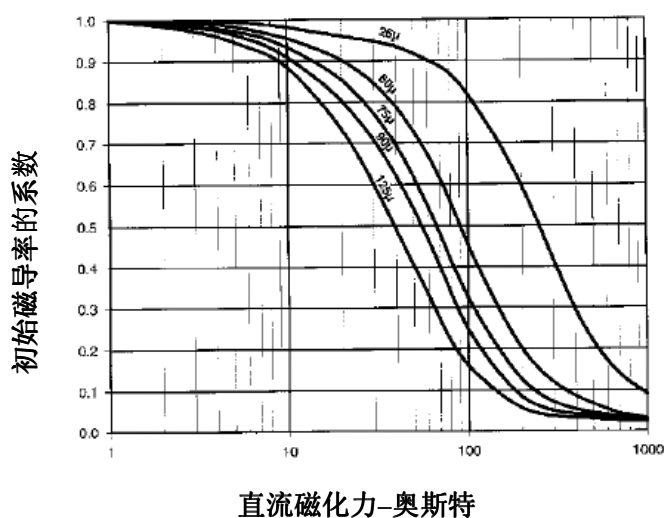
直流偏置

铁硅铝 (Kool M μ)磁芯的一个重要磁参数为直流偏置特性。图 2 中的曲线显示了对于**铁硅铝 (Kool M μ)**磁粉芯的所有 5 种磁导率，与直流偏置成函数关系的磁导率衰减曲线。

图 2 描述了这些磁芯用于变感扼流圈的性能。由于磁芯在直流电趋近于零的时候能提供高电感，因此在交换式稳压器和一些电源中，变感扼流圈能够改善电路和调整功效。

图 3 与图 2 提供的数据一样，但是它使用的是半对数图。这样做是为了显示在高磁化场下的直流偏置效应。

图 3 半对数方格图纸上的铁硅铝磁粉芯磁导率随直流偏置变化的线性曲线



为进行比较，铁粉芯（磁导率=55）和铁硅铝（Kool Mμ）磁粉芯（磁导率=60）的直列偏置特性都绘制于图4中。

尽管图4中的曲线针对两种不同的材料，但它们的形状非常类似。该结果是可以预料的，因为气隙的尺寸决定了磁芯的有效磁导率，公式如下所示：

$$L = \frac{.4\pi N^2 \times 10^{-8}}{\frac{1}{\mu e} \times \frac{l_c}{A_e}} \quad (\text{用于计算磁芯电感的一般方程式})$$

在磁芯中插入一个气隙使分母变为：

$$\frac{1}{\mu e} \times \frac{l_c}{A_e} = \frac{1}{\mu m} \times \frac{l_c}{A_e} + \frac{1}{\mu g} \times \frac{l_g}{A_g}$$

其中： l_g = 气隙的长度（厘米）

A_g = 气隙部位的截面积（平方厘米）

l_c = 磁芯的有效磁路长度（厘米）

A_e = 磁芯的有效截面积（平方厘米）

μe = 有效磁导率

μm = 磁芯材料的磁导率（100,000 以上）

μg = 气隙的磁导率（空气=1）

但是， $\mu m \gg \mu g$ ，因此，

$$\frac{1}{\mu m} \times \frac{l_c}{A_e} \ll \frac{1}{\mu g} \times \frac{l_g}{A_g} \quad \text{and} \quad L = \frac{.4\pi N^2 \times 10^{-8}}{\frac{1}{\mu g} \times \frac{l_g}{A_g}}$$

因此，带气隙的磁芯电感取决于气隙大小，而不是磁芯材料的磁导率，这样，图4中的两条曲线就非常类似了。直到磁化场达到高位值前，这两条曲线都一直保持相似。在这里，由于过早达到饱和，铁硅铝（Kool Mμ）磁粉芯的磁导率下降到低于铁粉芯。

图4 铁硅铝磁粉芯和铁粉芯的磁导率-直流偏置曲线

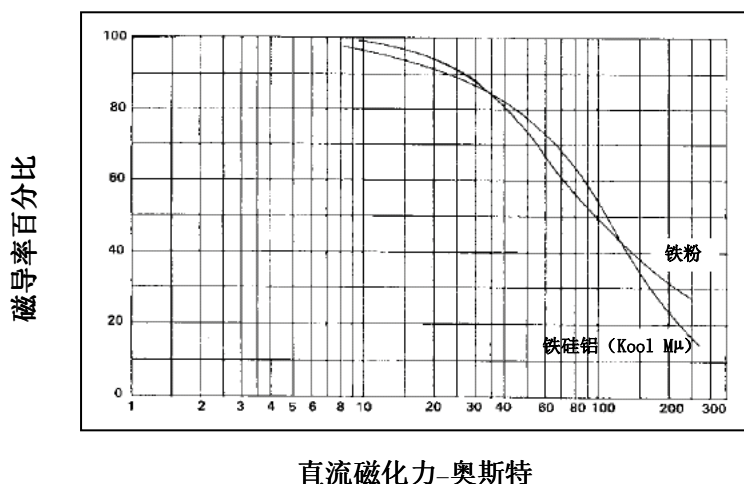
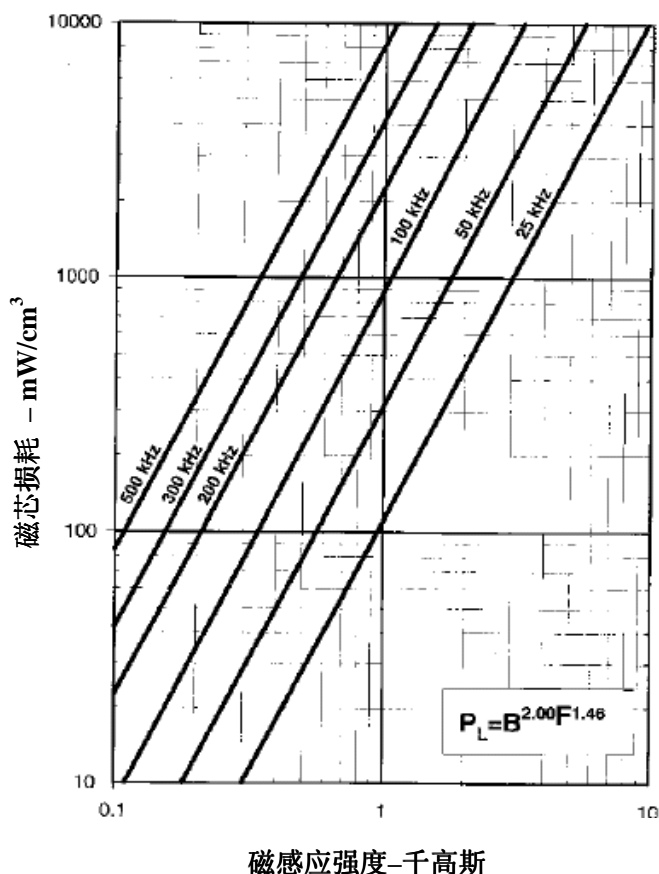


图5 在不同频率下铁硅铝磁粉芯的磁芯损耗-磁感应强度和频率曲线



磁芯损耗

铁硅铝 (Kool M μ) 磁粉芯的另外一个重要磁参数为磁芯的磁损耗。图 5 为该材料在不同频率下的磁芯的磁损耗随磁感应强度和频率变化的关系。图 6 比较了铁硅铝 (Kool M μ) 磁粉芯与现有最低损耗的铁粉芯的磁芯损耗。

这两种铁粉成分 A 和 B 都与磁导率为 60 的铁硅铝 (Kool M μ) 磁粉芯数据进行比较，因为它们的磁导率最接近。

这里比较的是在 100kHz 下对应磁感应强度的函数曲线。

从图 6 中很明显可以看出铁硅铝 (Kool M μ) 磁粉芯是一种优异的低损耗磁芯材料，在所应用的各种磁感应强度下，它的磁芯损耗仅为铁粉成分 A 的 1/2、铁粉成分 B 的 1/4。

图 7 显示在 100 高斯下磁芯损耗-频率的同等条件地比较。我们可以看出，铁硅铝 (Kool M μ) 磁粉芯在很宽的频率范围内都比现有的铁粉芯材料具有更低的磁芯损耗。在任何高斯值下都具有类似的效果。

图 6 铁粉芯和铁硅铝磁粉芯在频率为 100高斯下的磁芯损耗曲线

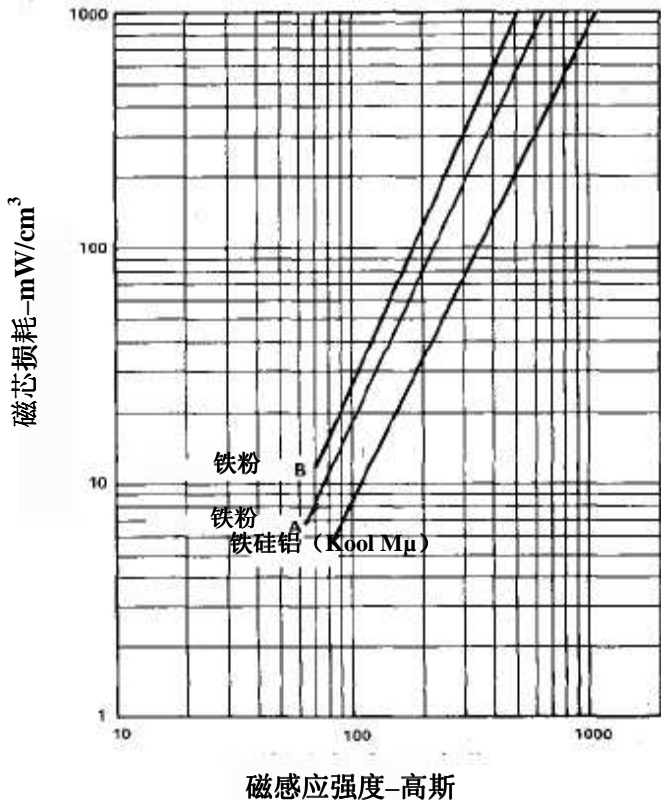
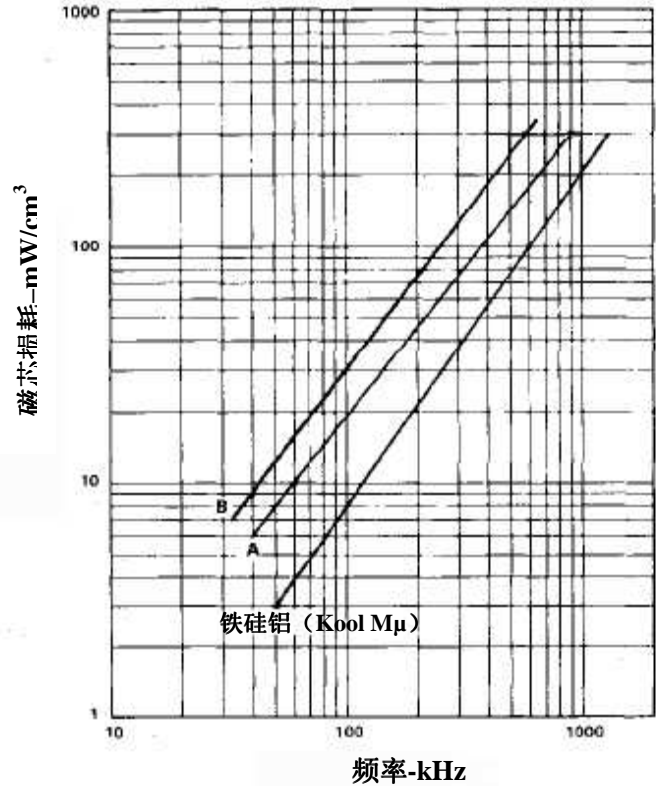


图 7 铁粉芯和铁硅铝磁粉芯在磁感应强度100 kHz情况下的磁芯损耗曲线



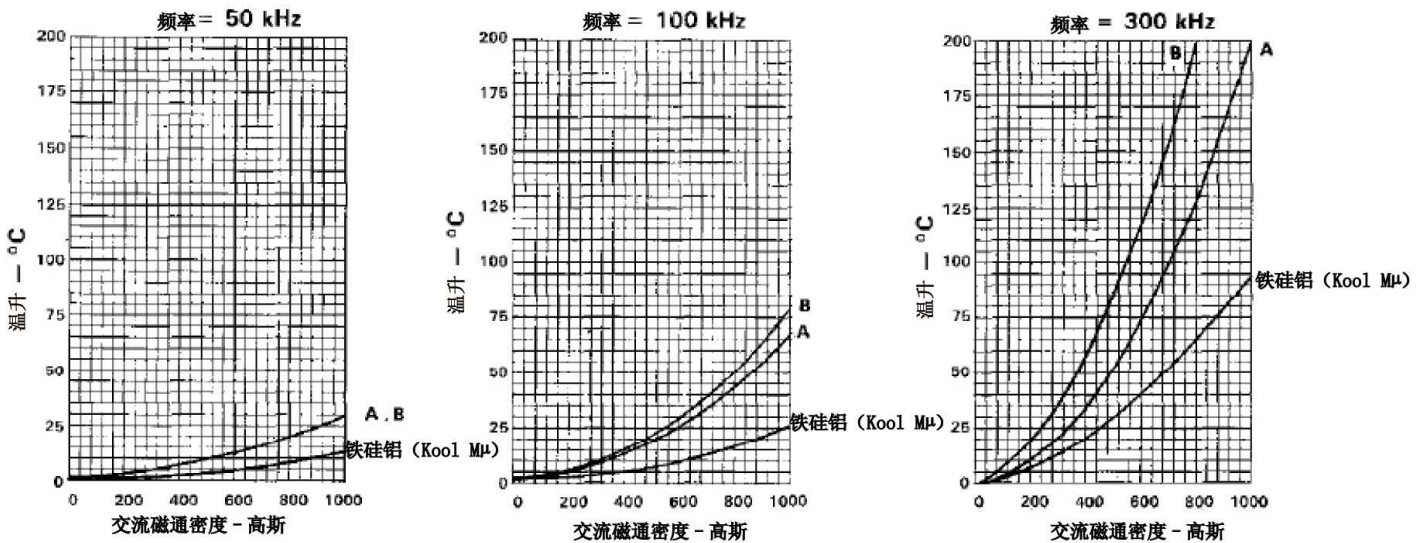
温升

说明**铁硅铝 (Kool M μ)** 磁粉芯比铁粉芯更好的另一种方法是在相同的工作条件下比较等效磁芯的温升。图 8 为不同频率下温升随磁感应强度的曲线图。铁粉芯为目前最佳的成分 A 和 B。其他成分的铁粉芯则在同样的条件下使温升更糟。

这些图显示出在同样的测试条件下**铁硅铝 (Kool M μ)** 磁芯的温升总是少于铁粉芯的一半。

在中等尺寸和大尺寸环形磁芯上，以及在使用单层绕组和绕线绕满整个绕组的绕线窗口的情况下，都可以获得类似的结果。由于直流电分量不会造成磁芯的磁损耗，因此我们没有对各种直流偏置电流进行测试。

图 8 铁硅铝磁粉芯和铁粉芯在相同的磁感应强度和频率下的温升比较



其他磁参数

图 9 和 10 呈现了铁硅铝 (Kool M μ) 磁粉芯的其他特性。图 9 显示了铁硅铝 (Kool M μ) 磁粉芯在宽温度范围内的磁导率变化。该材料的独特之处在于温度超过室温时磁导率下降。

尽管铁硅铝 (Kool M μ) 磁粉芯的居里温度有 500°C，但是磁芯涂层仅能保证在 200°C 下连续使用，因此，我们不推荐在超过此温度的情况下使用此种磁芯。

图 10 为 60 μ 铁硅铝 (Kool M μ) 磁粉芯在多个温度下的一系列磁导率-直流偏置曲线。在所有的直流偏置水平下，电感都随着温度升高而下降。因此，在有温度变化的设计中必须要考虑到这个因素。

图 9 铁硅铝磁粉芯磁导率随温度的变化曲线

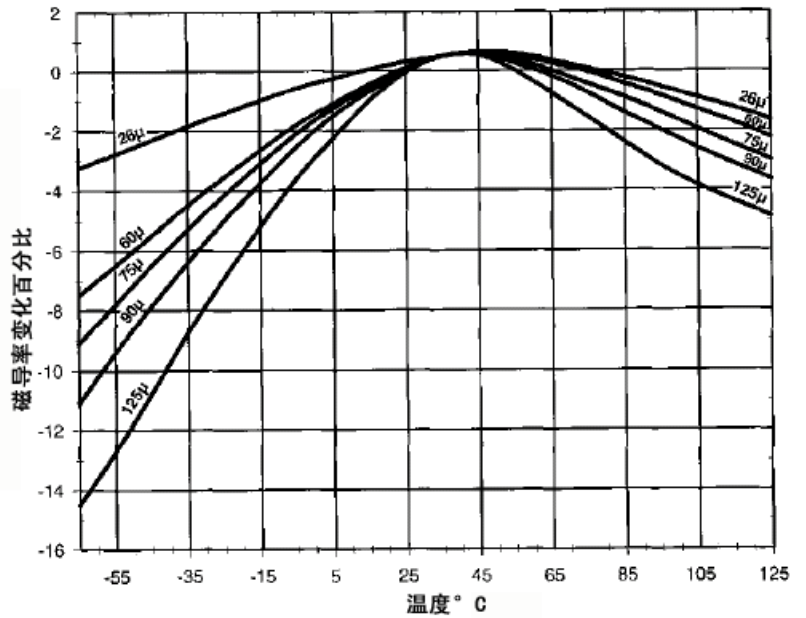
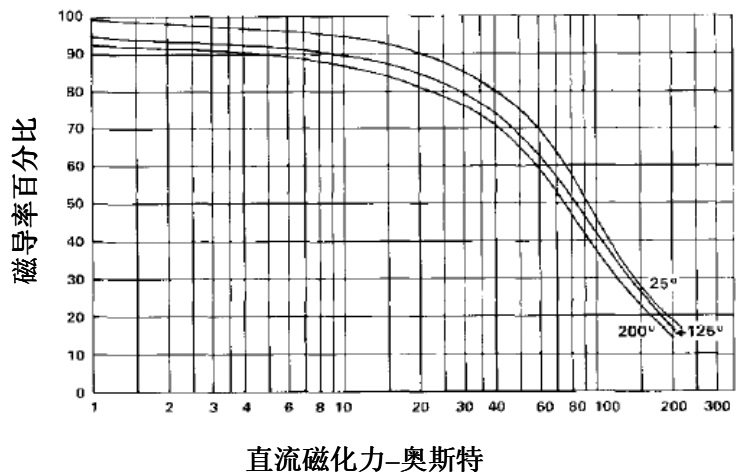


图 10 在不同温度下的铁硅铝磁粉芯其磁导率随直流偏置的变化曲线



铁硅铝 (Kool M μ) 性价比 磁芯选择

铁硅铝 (Kool M μ) 磁芯有 5 种磁导率 (26、60、75、90 和 125)。磁芯外径范围通常在 0.140 英寸到 2.25 英寸之间, 其他的尺寸的磁芯则可以根据用户的需求予以调整。所有的磁芯都具有黑色聚酯漆涂层以确保在涂层到磁芯间能够承受 500 伏电压或者在绕组间的 1000 伏电压。

尽管铁硅铝 (Kool M μ) 磁粉芯提供比铁粉芯更好的性能, 但还是有些昂贵。在 25kHz 下, 商业电源中的功率扼流圈通常使用铁粉芯就是因为其成本较低。随着开关电源的频率增加到 100kHz 及以上, 所选择的铁粉芯的尺寸会变得过大, 或者由于其高磁芯损耗而产生多余的热量。比较而言, 铁硅铝 (Kool M μ) 磁粉芯是比较好的选择: 它具有更高的电路效率和更低的温升 (或者更小的磁芯尺寸), 这样成本的略微增加就可忽略不计。

结论

铁硅铝 (Kool M μ) 磁芯非常适合用于开关电源中的功率电感器。在高频条件下, 它们优于铁粉芯并能够满足高频功率变换设备对具有极高效率的电感器的需求。



Magnetics, A Division of Spang & Co.

总公司
美国宾夕法尼亚州匹兹堡
11422 号邮箱, 15238
电话: +1 412 696 1333
传真: +1 412 696 0333
免费电话: 1 800 245 3984
电子信箱: magnetics@spang.com

亚洲销售和服务中心
中国香港
电话: +852 3102 9337
传真: +852 3585 1482
电子信箱: asiasales@spang.com

网站: www.mag-inc.com

©1999 Magnetics
保留一切权利
KMC-S1 2G