

# 高低频变压器和电抗器噪音治理

## How to reduce noise for transformer and reactor

孙文

**摘要：**简要介绍如何通过设计和工艺方法降低变压器，特别是电抗器的高低频噪声。同时结合多年设计经验给出一些设计参数供同行参考。

**关键词：**噪声，高低频，变压器，电抗器

### 0 引言

在前一篇《高低频变压器和电抗器噪音产生的根源与计算》中，我主要阐述了电抗器和变压器噪音产生的机理和主要的噪声源，通过对电抗器输入不同的谐波含量，我们发现输入的频率越高，电抗器产生的高频噪声越明显。这篇文章将从工艺和理论设计两方面和大家共同探讨一下有哪些措施可以有效地降低高低频噪声。

### 1 减小电抗器和变压器噪音影响的外部途径

#### 1.1 从噪音源处解决问题

在上一篇文章中我已经分析了电抗器和变压器的噪音主要来自于机械结构的震动和磁滞伸缩等，追根溯源跟电源的频率、高次谐波等等有很大关系。那么，如果我们能够处理好电源的输出电流 / 电压，降低谐波频率或者谐波电流的大小，噪音自然会随之减小。

#### 1.2 阻断噪音传播的通道

阻断有被动阻断和主动阻断两种方式，其中被动阻断主要是在产品本身或者外壳增加减震和阻隔材料，比如现在比较常见的是在变压器和电抗器安装孔部位增加减震垫（材料一般为橡胶），另外在外壳的内部增加隔音棉（吸音棉）等方法。

主动式阻断有点类似于有源滤波器的原理，通过设置噪音发声装置，产生相对的噪音来抵消噪音源本身发出的噪音。

#### 1.3 降噪保护

通过佩戴由硅胶或是低压泡模材质、高弹性聚脂材料制成的防噪音耳塞，其原理是插入耳道后与外耳道紧密接触，以隔绝声音进入中耳和内耳（耳鼓），达到隔音的目的。

### 2 降低电抗器和变压器噪音的设计方法

#### 2.1 通过减小设计磁密来降低噪音

我们先来回顾一下磁密与噪音的计算公式：

$$\text{Noise} = 55 + 10\lg G + 100\lg(B/1.7)$$

式中 Noise 为距离变压器主发射面 2m 处本体噪音 (dB)

G 为硅钢片重量 (t)

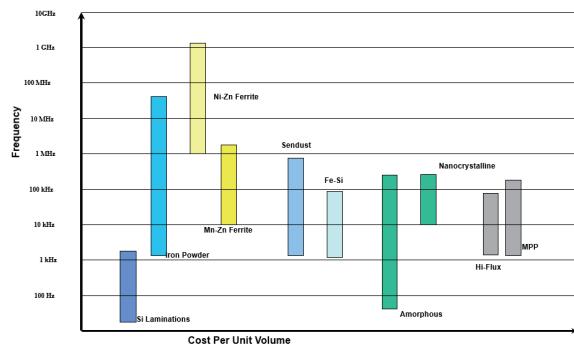
B 为铁芯中的平均磁通密度 (T)

磁密每降低 0.1T，产品可降低 2~3dB 噪声，降低磁密后，铁心截面积、变压器等值容量和造价都相应增加，从成本上来说是不划算的，所以通过磁密来降低噪音的方法比较少用在实际的工程设计中。

#### 2.2 选用不同的磁芯材料

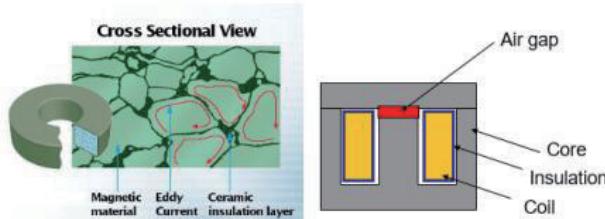
首先我们必须了解磁性器件（电感和变压器）常用的磁芯材料，通常来说不同的材料特性对应不同的频率范围，简单来说，硅钢对应低频（工频），粉芯类对应高频，具体的设计案例当中选择什么磁芯材料，除了考虑频率、使用条件外，还有成本因素等等，针对噪音，如果（电抗器）发生高频率的尖锐啸叫，那么很明显是高频（谐波）造成的，此时可以考虑选用铁硅或者铁硅铝之类的粉芯材料。

Magnetic Materials



### 2.3 磁芯气隙的设计原则

粉芯气隙分布于磁芯内部，我们可以从下图中知道硅钢类产品和粉芯类产品磁芯内部气隙的不同，由于这些固有特征，所以其气隙大小的计算方法是完全不一样的。



磁粉芯的基本生产过程为合金冶炼、机械破碎、退火处理、绝缘包裹、模压成型等步骤组成，通过以上的放大图我们可以发现，气隙无规则地分布在磁芯内部，通常工程设计和实际生产中不需再额外增加气隙，这种结构对噪音有非常好的抑制作用，在中小功率的电源应用中非常广泛。

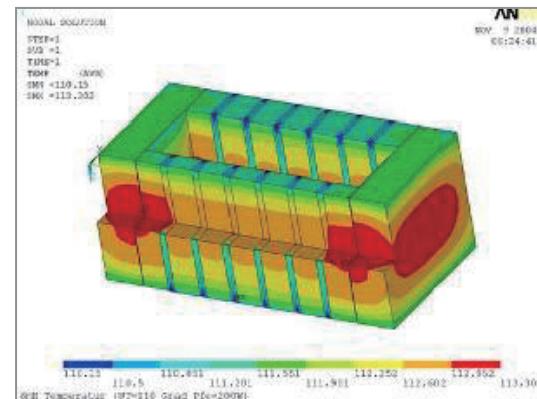
硅钢由于其内部没有分散气隙，所以目前基本上所有的硅钢类电抗器都需要在芯柱中间增加间隙放置气隙板。

以下给出气隙高度的算法公式：(N=线圈匝数、Sc=铁芯截面、L=电感量)

$$Lg = (0.4 \times \pi \times N^2 \times Sc \times 10^{-8}) / L$$



气隙的总高度包括芯柱内部和铁轭位置根据磁场仿真结果显示，通常在铁轭和芯柱之间会产生较大的漏磁场，所以往往我们在设置气隙的时候要考虑，尽量减少该位置的气隙厚度，一般要求控制在 1.5mm 以内，同样的道理气隙厚度过大也会影响到噪音的大小，所以我们的设计人员在放置芯柱气隙时要综合性能要求和成本因素。



### 3 通过工艺措施降低电抗器和变压器的噪音

#### 3.1 铁轭表面的降噪树脂

这种工艺措施操作简单，但是降噪效果有限，具体操作方法是产品完成浸漆烘烤后在铁轭上表面涂刷降噪树脂。涂层厚度一般可达 2~3mm，颜色可根据要求不同进行调配，常用颜色为黑色或者透明。



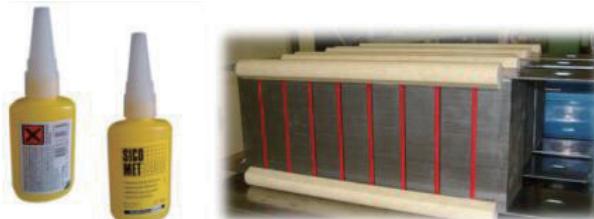
图示为未完成涂刷时的效果图

#### 3.2 不同粘接材料对噪音的影响

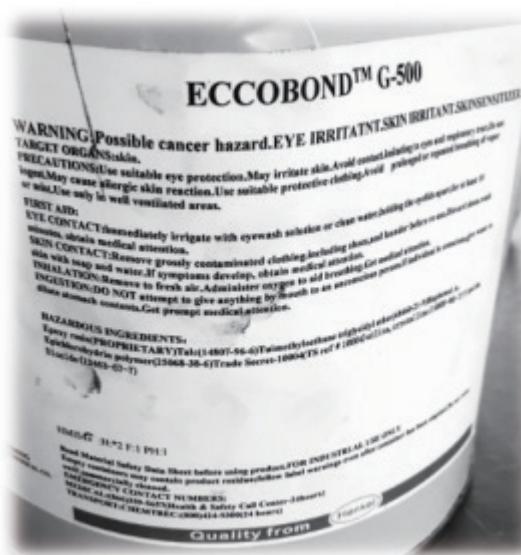
不管采用块状的粉芯材料还是片状的硅钢片，磁芯都需要进行粘接成为一个整体，我们称之为芯柱叠装。芯柱叠装在电抗器的生产过程中是最重要的一环，其影响的范围非常大，包括电感量、噪音、损耗等，全部涉及到关键参数指标。行业内各个公司对于芯柱的叠装工艺也是五花八门，有用高温胶带缠绕的，也有用 502 速干胶的，还有使用进口品牌胶水的，当然也有不用胶水胶带，完全依靠机械结构固定的。各种工艺方法各有优缺点，在选择工艺方案时应该根据产品的批量情况、成本、性能要求等因素综合考量。

笔者在这里仅围绕噪音问题进行讨论，采用德国汉高 henkel 两款胶水进行比较说明：

①汉高速干胶耐高温，常用的有两个型号规格 8400 和 40，主要区别就是粘度不同。应用到电抗器芯柱的装配方法为表面涂刷，下图所示铁芯电抗器芯柱就是经过汉高胶水固化成型，通常操作过程中会采用气动压紧装置辅助固化作业。



②汉高 G-500 属于环氧树脂胶，操作使用上比速干胶要麻烦很多，首先使用辅助工具对磁芯粘接端面进行均匀涂抹，组装完成后需要连续高温烘烤 5 到 8 个小时使其固化（具体工艺流程及参数要求根据产品大小及烘烤温度有所不同）。



从以上两款粘接胶对比来看，操作工艺 G-500 要费工费时很多，而且还多了高温固化增加了生产成本。但是 G-500 的降噪效果比 8400 和 40 要好很多，笔者亲测同样的两个电抗器样品，应用到开关频率 10KHz 的逆变电源中，采用 G-500 粘接工艺的样品大大降低了电抗器发

出的高频啸叫噪音，而另一款采用 8400 和 40 胶水的会发出尖锐的高频噪音使现场人员无法忍受。

### 3.3 灌封工艺的降噪处理

灌封工艺大多用在防水处理上面，其实灌封工艺对于噪音也有很好的抑制作用，特别是固化后仍具有弹性的软性灌封胶，这就相当于将产品整个包裹在减震介质里面，产生噪音的根源是振动，产品运行时产生的振动会被周围介质很好的吸收或者削弱。



### 4 结语

噪音无处不在，但是只要将它降低到一定程度，就不会影响周围人群的生产生活。降低噪音的方式方法很多，像上文提到的有被动降噪，也有主动降噪，总之要根据本地环境的实际情况，综合效果、成本等多重因素制定经济有效的降噪方案或者工艺改进方法。

### 参考文献

- [1] 谢毓城《电力变压器手册》2014 年机械工业出版社出版
- [2] 崔立君《特种变压器理论与设计》科学技术文献出版社出版
- [3] 机械行业标准 . JB/T10088-2004 《6 ~ 35kV 级电力变压器声级》，2008. 8.
- [4] 顾晓安, 等. 变压器铁芯振动和噪声特性的试验研究 [J]. 变压器, 2003(4).
- [5] 董志刚. 变压器的噪声 [J]. 变压器, 1995(10).