

## 开关电源音频噪声抑制技术

作者：林森

电子文摘

实用电路

单片机应用

电源电路

印制板设计

器件与应用

EDA软件应用

电子工艺

电子基础知识

资料下载

电子设计论坛

电子行业标准

电子和磁性元件的振荡频率在人耳听觉范围内时，会产生能听见的信号。这种现象在电力变换研究初期已为人知。以50和60 Hz工频工作的变压器常常产生讨厌的交流噪声。如果负载以音频元件调制，以恒定超声频率工作的开关功率转换器也会产生音频噪声。

低功率电平时，音频信号通常与转换器无关。但是，设计人员可能希望降低其电路的声波发射。低功率AC-DC转换器中，将50或60 Hz变压器的铁心薄片焊接在一起，能使交流噪声降至容许的水平。高频开关转换器中的铁氧体变压器也采用了类似的技术。

过去常用高级音频工程设备来研究开关电源的声波辐射。这种装置可以非常精确地测量绝对声压级和声谱，但人类对声音的感觉是很主观的。很难说多大的声音是能听到的，更难以确定的是在特定应用中多大的声音会被认为是难以忍受的噪声。

声波辐射与电磁辐射相似，但没有用于衡量听觉容忍度的通用基准。因此，设计者可以依据以下方针来处理与音频噪声相关的问题，减少产品的声音辐射。

### 电容噪声

所有的绝缘材料在电场的压力下均会变形，这种电致伸缩效应与电场强度的平方成正比。有些绝缘介质还呈现压电效应，即与电场强度成正比的线性位移。压电效应通常是电容产生噪声的主要途径。

廉价的小陶瓷电容中的非线性绝缘材料通常含有大比例的钛酸钡，在正常工作温度下产生压电效应。因而，这些元件会比线性绝缘成份的电容产生更多的噪声。开关电源中，电压偏移最大的箝位电路中的电容最有可能产生音频噪声。

要确定陶瓷电容是否主要噪声源，可以用不同绝缘体的电容来替换。薄膜电容是性价比不错的替代品。但应注意替换品是否能经受得住反复的尖峰电流和电压应力。

另一种具有价格竞争力的选择是用齐纳箝位电路来替代RC箝位电路。齐纳箝位的价格已与RC箝位的相当，但占用的空间小得多而效率更高。

### 变压器噪声

在大多数反激式转换器应用中，变压器是主要的音频噪声源。试验板上第一个变压器原型产生的噪声往往令人吃惊。采用众所周知的恰当的结构技巧将基本上消除噪声而不增加额外的费用。在装配原型变压器时要注意成品性能的可重复性。

有一些机制会产生变压器噪声，每种都会产生发出声音的机械位移。这些机制包括：

- 相对运动—磁芯两部分间的吸引力使其移动，压迫将其分隔的介质。
- 撞击—如果两块磁芯的表面能接触，它们响应磁通激励而移动会使二者碰撞或刮擦。
- 弯曲—仅在 E E 或 E I 结构的磁芯中间腿存在的裂隙，可使磁芯各部分沿其间吸引力的方向弯曲。
- 磁致伸缩—磁芯材料的尺寸随磁通密度变化。普通功率的铁氧体的变化率小于 1ppm。
- 骨架移动—磁芯片的位移可通过骨架传送和放大。
- 线圈移动。线圈中的电流产生移动这些导线的吸引力和排斥力。

移动源共同作用，形成了复杂的机械系统，它能在人耳听力范围内的一个或几个频点上，产生强烈的共振。10W 以下离线反激式转换器常用的结构一般产生 10k Hz 到 20k Hz 的共振。当磁通激励的基频或其谐波经过机械共振区域时，移动发出声音。设计者应全程变换负载以检验音频噪声，特别是需要动态负载时。

这些机制产生噪声的大小根据各自所处的不同位置决定。幸运的是，设计者可以应用简单的结构技术来有效衰减各种机制产生的音频噪声。

## 结构技术

几种可以降低变压器音频噪声的方法在制作时都需要正确使用恰当的粘合剂。

变压器制造商和用户的评价证明这些技术适于大批量消费类应用。

本文详细描述了两种结构技术供喜爱其它电源的用户参考，但客户应充分测试其应用所需的所有元件。

## 变压器用粘合剂

制作变压器时使用粘合剂是业界所周知的。不同的胶、粘合剂、涂层和封装能帮助变压器抵受机械冲击，排除环境污染，达到安全标准。针对这些目的，在使用粘合剂来降低音频噪声时有一些特定的注意事项。

粘合剂应是刚性的。硬环氧树脂类通常能提供所需特性，而诸如硅树脂等软性化合物却无效。变压器制造商们处在可以根据需要选择适当材料的有利地位，因为他们通常有最适合其独特工序的特定用途惯用粘合剂列表。

粘合剂的主要用于防止两块磁芯间以及磁芯和骨架间的相对移动，另外也可以衰减变压器的机械共振。

但是，误用。粘合剂会产生折断磁芯的机械应力。温度变化时，变压器结构材料的尺寸变化不同。如果各部分不能靠移动补偿这些尺寸变化，就会产生机械应力。铁氧体、骨架和粘合剂的有限移动也会产生足以导致材料失效的应力。因此，粘合剂过多或太少都不

能将音频噪声降到最低。

本文讲述了两在构造变压器时使用粘合剂的技巧。第一种方法避免了所有与机械应力相关的问题。它可以用于各种两片式磁芯结构，甚至在音频噪声无关紧要的应用中也非常有用。另一种技术必须在设计进行适当的温度测试后小心使用。

### **采用玻璃珠的变压器**

降低变压器音频噪声最有效的方法是用刚性粘合剂粘合铁氧体块的配合面。对称结构变压器中配合面间距均匀，使铁氧体和粘合剂的尺寸变化独立，防止机械应力。所需的均匀间距可通过粘合剂与玻璃隔珠的混合物可方便地得至。

此技术也适用于EI结构。EE结构中的各磁芯脚等长，无需在任何一条中磨出间隙。粘合剂中的玻璃珠保持确定电感所需的间距。

用玻璃隔珠设计和构造变压器的过程很简单、直接、经济。下一节将讲述此主题。

### **用玻璃隔珠设计和构造变压器**

用玻璃隔珠来界定粘合层是业界通用的惯例。一些制造商提供不同规格和尺寸容差的原材料。本文附录给出通用规格和知名供应商信息，但这些产品都是按同一标准筛选出来，而不包括一些质量控制更严格或客差更严格的供应商的产品。用户在选择供应商前最好先检查指标。

### **如何选择适当尺寸的玻璃珠**

气隙尺寸的计算通常假设所有磁通局限在磁芯范围内。由于总会有部分磁通溢出磁芯外，这种采用理想模型的计算并不准确。因此，设计者通常用计算好的AL（电感每匝平方）代替物理尺寸作为给定磁芯尺寸的设计参数。

当气隙长度标准时，采用玻璃胶和采用磁芯中缝的设计过程相同。设计使用玻璃胶结构的变压器时，必须知道各磁芯的AL和准备选用的玻璃珠的规格。工艺、过程和磁芯成分的不同会改变表中的值，完全有可能需要不同尺寸的玻璃球才能获得最佳设计。因此，设计者可能需要与自己特定工艺相配合的改进的AL表。

### **装配使用玻璃胶的变压器**

用玻璃胶装配变压器的最佳方法随特定的生产环境而不同。例如，在高度自动化的生产线上进行的大批量生产所用的最佳方法就不同于大部分工作由手工完成的小批量生产的方法。一者主要的差别在于选择不同的粘合剂，以及混合的细节。

大批量自动化生产可选用在常温下能很快凝固的AB胶。玻璃珠与粘合剂的混合比例与机械特性相关。

小批量生产更适用单一粘合剂，它在100℃以上温度的凝固时间超过1小时。玻璃珠在使用前与粘合剂混合，或从供应商处购买适当的已混合好的产品。

粘合剂的粘性应足以保持玻璃球形成均匀分散的悬浮体。附录列出了一些实验用和中型批量效果良好的产品。类似丙烯脂等凝固快速而粘性低的粘合剂不适用。粘合剂的额定

温度范围也必须能用在应用的温度极限值。

玻璃珠与粘合剂 10 %按重量混合，能提供大多数应用所需的高性能。尽管在此理论中各磁芯腿仅需一粒以保持所需间距，但实际上每条引脚中仍应有足够的珠子来保持粘合剂接触面平行。据估计，混合的玻璃珠少于 5 %时，很可能有的引脚没有玻璃珠，而超过 20 %的混合物会因过于浓稠而无法可靠应用和粘合。最后的结果会根据粘合剂的不同特性而改变。

变压器中玻璃珠的成本是可以忽略的。EE16型变压器约需要 20 毫克玻璃胶。如果玻璃的混合比例是10%，EE16磁芯的变压器约需 2 毫克玻璃。假设在最贵的情况下每磅需要 100美元（每克0.22美元），一个变压器中玻璃珠的成本为0.00044美元，即0.044美分。

### 构造提示

用玻璃胶装配变压器的方法有多种。本节对实验室正样和小批量试生产给出了一些可行的建议。

- 制造一个带永磁体的装置来粘接和固定变压器。从安装固化炉的铁片或支架开始，将钮扣磁铁以适当间距阵列粘合在支架上。交替磁体的南北朝向来获得最强磁场。

- 各磁铁 E 型磁芯腿朝上放置。在各条腿涂上粘合剂和玻璃珠的混合物。在构造过程中使用一次性塑料注射器（又称移液吸管）可很好地分配。

- 每个位置上的粘合剂必须足以完全填满两个配合面间的气隙。气泡会使变压器产生更多的音频噪声。但应注意中间引脚上不要使用过多的粘合剂。

- 将骨架放在涂有胶水的 E 型磁芯中，将另一个铁氧体磁芯（E 或 I 型）与之装配好。以一定的压力按压铁氧体顶部，确保两部分间距仅一层玻璃珠将安装好变压器的托盘放置在固化炉中。无需使用胶带或夹具，磁铁能提供将磁片粘合在一起的压力。

在粘合时变压器的电感可能改变，特别是用较小尺寸玻璃珠的设计中。可以预期的变化量由加工过程决定，但如果过程控制良好，结果是可以始终如一的。特殊的胶水、混合、装配技巧和夹紧的方法都能影响固化后的最终电感。

铁氧体材料渗透性的常有 25 %的变化率，这能使采用最小的磁芯和玻璃珠的变压器电感变化 6 %。使用较大磁芯和玻璃珠的设计的渗透性变化不那么敏感，设计者应确保固化后的电感在限定的范围内。在最后的电感测试时能发现磁芯外侧腿上没有玻璃珠的少见情形。

### 使用中缝胶的变压器

虽然使用玻璃隔珠在很多方面优于其它结构，还是有一些制造厂商使用粘合剂和传统的中缝结构。此变通办法能有效地降低音频噪声的产生，但用户必须对每个设计进行测试以确保在预期的极限温度下，机械应力不会导致应用中的结构失效。

由于不同供应商的磁芯强度相差很大，用户必须去信任铁氧体材料的来源。各变压器的磁芯强度必须足以承受磁芯中腿气隙结构中无可避免的机械应力。

各设计的合格证明应包括覆盖最终产品和变压器本身运输所需整个温度范围内的热应力测试。比如，最终产品所需的最低工作温度可能为 0 °C，但产品或变压器的空运将使其暴露在-40°C 的低温中。

手持式设备的电源充电器和交流适配器等合格产品通常需要经过热冲击试验，此指标通常要求 3 2 个从-40°C 到85°C 间的温度周期。每个周期中，在两种极限温度下各保持一小时，而在15秒以内转换到另一种温度。某些应用要求在-40°C 到100°C 极限值间变换。

用户应彻底了解其应用以确定正确的测试条件。几百个不同设计的变压器均按上述指标执行温冲试验。可以看到许多采用中缝填硬胶的变压器发生失效，特别是中缝大于 0.1mm 的。与此相反，采用推荐的使用玻璃珠的结构却没有失效的现象。

采用气隙设计的变压器在大批见生产时，也有较小但仍不可接受的失效率。因此，大失效可以由外部裂纹观察到，但外部检查无法探测到内部失效，但可由工作中音频噪声增大判定。

中缝小于0.1mm 的变压器失效的风险较小。热膨胀系数很高的硬胶会使间隙较小的磁芯破裂。由于机械应力比使用硬胶小得多，使用软胶没有裂纹问题，但软胶衰减音频噪声的效果差得多。

### 使用中缝胶构造变压器

两个粘合在一起的 E 型磁芯片的每条脚上涂上粘合剂。对带中缝的 E E 磁芯结构来说，最重要的是中缝必须完全涂满粘胶，而且粘性材料将磁芯各脚的整个配合面紧紧粘合在一起。

中缝中的少量粘胶将骨架粘合在一起。在使用玻璃珠的结构中，没有沿整个骨架长度粘合是很重要的。结构必须允许骨架和磁芯相应温度变化独立改变其尺寸。

### 粘合过程

粘胶的应用和过程很重要，特别是在面包板上的变压器原型的制造过程中，此过程由手工完成且是粗略的。

尽管变压器制造商可能很熟悉在制造过程中特殊材料的使用，让他们获悉工序的目的并始终使用足量的粘胶仍很重要。粘胶不足可能可以将铁片粘合在一起，但无法按预期衰减噪声。必须保持粘合过程的一致性，才能产生噪声极低的变压器。

带中缝的变压器装配中也可采用先前所述的用于玻璃隔珠的结构技巧。

配合面间增加粘胶可以减少变压器由于胶水固化时膨胀而产生的电感，特别是最初的缺口很小时。设计者应确保固化后电感在限定范围内。开始时中间腿应留下一个小缺口，以补偿外侧腿上粘胶的厚度。

如果变压器原型在涂上胶水以后仍有噪声，切开骨架检查中间腿上的胶水。大多数有噪声的变压器的中缝都没有完全填满。如果中间腿的胶水没有空隙，分离磁芯片露出外侧脚的配合面。检查整个表面的粘合情况。

由于胶水的特性决定铁氧体的机械应力，进行热测试的原型变压器使用的粘合剂必须与大批量生产时使用的完全相同。

## 其它结构技术

需要完全密封”（陶封）的磁性元件的应用通常无需降低音频噪声的额外处理。制造商有时用密封来满足特殊环境要求，或在空间狭窄的应用中满足绝缘要求。如果需要，密封还可作为成本稍高的噪声降低技术。

音频测量显示密封可与玻璃珠和中缝填胶一样有效衰减音频噪声。制造商应该了解到变压器的结构应努力达成衰减噪声的目的，确保在生产中保持一致。可以制造密封的变压器，符合任何常规环境要求，但在音频噪声方面变化仍很大。

有些制造商拥有有效衰减音频噪声的专利技术，但这些技术和其它一些变通办法一样，在产品合格验证时应在整个预期温度范围内测试。

变压器制造商常常使用清漆来改善可靠性，它可以隔离湿气，为细线增加耐久性。虽然清漆有益于降低音频噪声，设计者应慎重使用清漆浸渍。

虽然与音频噪声无关，用户还是应该了解清漆的高介电常数会导致初级绕组电容增大。这会降低变压器的自谐振频率，增大电源开关导通时的尖峰电流，降低电源的功效。

## 变压器设计中的注意事项

低峰值磁通密度产生的噪声较低。如果需要更大地降低给定结构的变压器的音频噪声，设计者可以降低峰值磁通密度。变压器的磁芯片间如果没有粘合剂，峰值磁通密度从3000高斯降为2000高斯即可将发出的声波降低10到15dB。恰当的粘合可使同一变压器的噪声降低约5dB。通常人类对10dB的声压级变化感知为2倍的声响。

注意低峰值磁通密度的设计需要更多匝数和更大的气隙，以给定的磁芯提供更大的输出功率。匝数更多会使漏感增大，需要改变电路元件值以使其保持在器件规定范围内，满足产品的指标要求。

音频噪声的大小既取决于通量持续时间，也取决于峰值磁通密度。对于给定的峰值磁通密度，从零到峰值再回到零的时间越短，产生的音频噪声越小。设计用于高频工作的变压器在功率转换时受音频信号激励产生的音频噪声较小。

## 电路包装注意事项

设计者在下与音频噪声相关的决定时应考虑其电路的封装。任何封装都能显著地削减电路插板发出的音频噪声。普通的不通风的塑封能削弱约20dB的声音。客户应当在评估封装对电路中所有元件的热特性方面的影响。

## 音频噪声远景展望

开关电源转换时的声波辐射与电磁辐射类似。在这两种情况下，设计者都需要用高级技术来克服一些不利因素。但与电磁辐射不同，没有任何一种通用标准能让设计者明确多

低水平的声波辐射是可以接受的，但经过研究人员的不断努力，相信在降低开关电源音频噪声方面，可以做得越来越好。

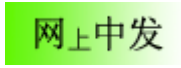
---

友情链接: [杨屹个人主页](#)

[精诚电子设计网](#)



单片机爱好者  
[www.mcfan.com](http://www.mcfan.com)



[返回首页](#) [电子文摘](#) [实用电路](#) [单片机应用](#) [电源电路](#) [印制板设计](#) [器件与应用](#) [EDA软件应用](#) [电子基础知识](#) [资料下载](#)