

# 多层平面结构高频变压器的特性分析

## Analysis of Planar Sandwich High Frequency Transformer Performance

华冬宝 供稿

**摘要**：文章介绍了两种不同绕组结构的平面多层并带气隙的高频变压器的特性分析，得出了线圈自感、电压比与频率之间的关系，磁通分布和涡流分布的数值计算方法及结果，指出电压比和匝数比是不相同的，原因是电压比与频率有关。

**关键词**：多层，平面结构，电压比，绕组结构，特性分析

中图分类号：TM4

文献标识码：B

文章编号：1606-7517(2014)09-3-127

### 1 引言

平面磁性器件的研发，解决了传统型磁性器件在结构上对现代电子设备要求小型化、低高度，热传导性能好，损耗小等的不适应性。现在，电子设备的发展进步，大量需要适用于高频变换器的，具有以上优点的小尺寸平面型磁性器件。为了能够一次性地精确设计出高频磁性元件，必须对其漏感、绕组的分布电容、趋肤效应和邻近效应等寄生成分的准确数据进行计算。经过多年实现，对于叠层变压器、矩阵变压器、圆形螺旋线圈薄膜变压器等磁性元件已经有了比较成熟的设计方法和经验数据。本文介绍两种多层平面型带气隙变压器的设计。在本设计中，首先，将电路模型以频率关系为特性，假设磁性材料是线性的，并且没有磁滞效应。因此，不需要区分输入电压的性质。其次，需要考虑线圈内的磁通分布，以便确定如何有效地利用磁芯的质量，以及如何使磁通在线圈内分布均匀。掌握磁芯中涡流分布的知识，则有助于计算线圈的铜损和磁性材料中的涡流损耗。其三，本设计磁性元件所使用的磁性材料是 TDK 公司的 MnZn 铁氧体材料，将它们用于高频多层平面磁性元件，以研究其电感和电压比与频率的特性关系，同时探讨两种不同绕组结构的磁通分布和涡流分布，并使用边界单元法编制的 CAD，CAE 软件计算有关数据。

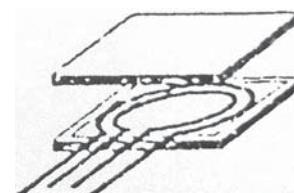
### 2 多层平面变压器结构及其计算模型

工作频率在 1MHz 左右的高频直流变换器需要几微

亨 ( $\mu$  H) 的电感值。在高频时所使用的电感器结构，最常见的是存在开路、闭路或螺旋型结构的多层磁路。在本案的设计与试验中，初级和次级线圈采用的匝数相同，型样品为 3 匝，型样品是 1 匝。铁氧体磁芯的尺寸是  $17.6 \times 17.6 \times 20(\text{mm}^3)$ 。图 1 示出了螺旋型绕组结构，而磁芯结构为基本开路型。



(a) 型磁芯结构和绕组结构



(b) 型磁芯结构和绕组结构

图1 平面叠层螺旋型绕组结构

为了方便计算，假设它们是一种二维 (2D) 轴对称的无界结构，见图 2 所示。在计算中必须考虑其所使用的铁氧体材料、绝缘材料和线圈导体材料的性能，诸如磁导率、介电常数和电导率等等参数。然后用边界单元法 (BEM) 借助 PC 机的 CAD/CAE 软件计算得出数值。

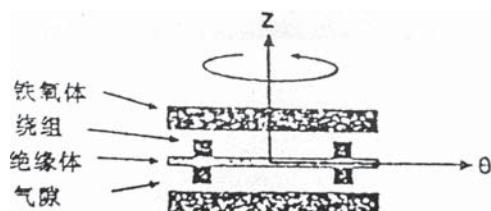
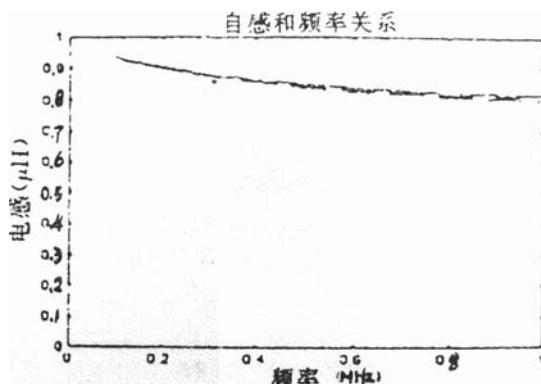


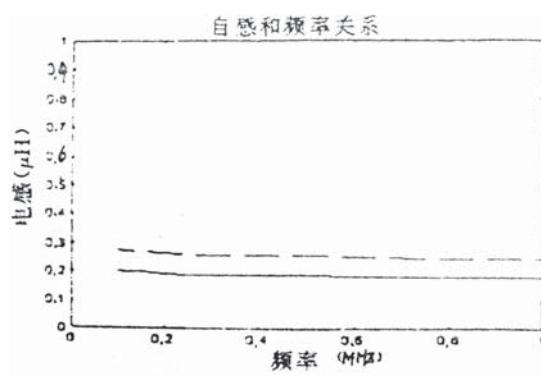
图2 由边界单元法(BEM)仿真的计算机模型

### 3 电感值与频率的特性关系

图3示出了具有螺旋型绕组结构的多层平面型磁性元件的电感值与频率之关系的实验结果。该特性曲线采用HP4285A精密LCR测试仪，在频率为100kHz~1MHz的频率范围内测得的。由于磁芯的材料之磁导率随着频率的增高而降低，为此，线圈的电感值 $L$ 也随着频率的增高而降低。



(a) C型的磁心和绕组结构

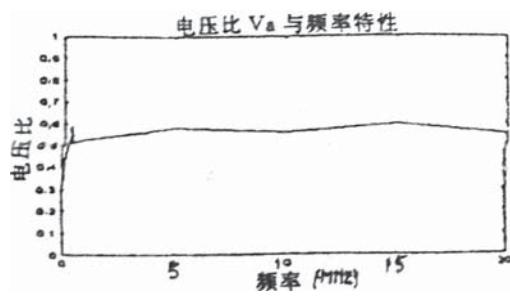


(b) U型的磁心和绕组结构

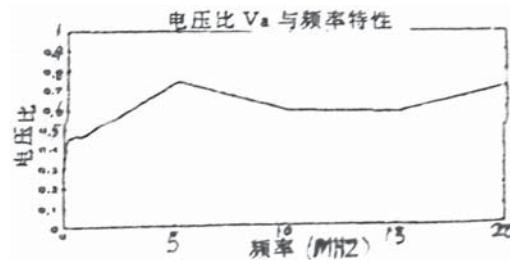
图3 自感与频率特性，图中-和—分别为初级、次级绕组的结果

### 4 电压比与频率的特性关系

我们讨论在没有负载的情况下，输入和输出电压比与频率的特性关系。图4所给出的是开路平面磁芯结构的电压比，表明了它们都具有频率特性关系。该特性关系类似



(a) C型的磁心和绕组结构



(b) U型的磁心和绕组结构

图4 电压比与频率的特性关系

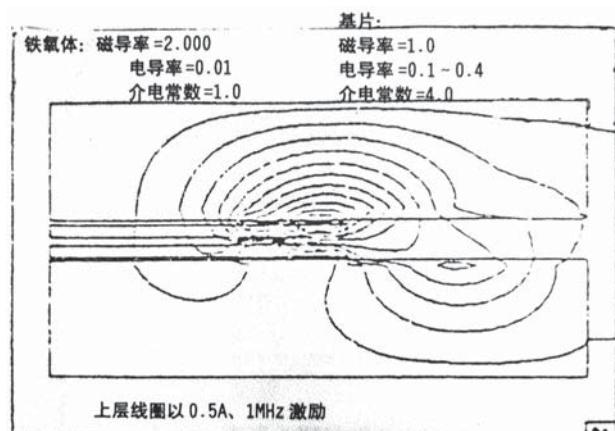
于采用闭合磁芯结构的薄膜微型变压器的频率特性结果。测试数据也表明 C型磁芯变压器的电压比相对保持着稳定状态。而 U型磁芯变压器在5MHz处有一个峰值。磁耦合在低频状况是相当弱小的。因此，变压器的电压比不等于其绕组的匝数比，即  $N_{out}/N_{in} = V_{out}/V_{in}$

### 5 频率为1MHz时，变压器的磁通分布

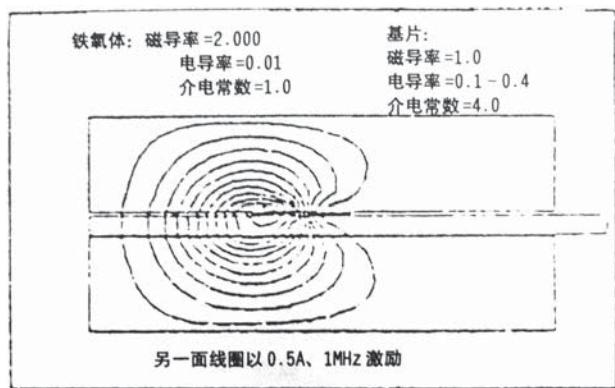
在本案例中，我们计算了磁芯和绕组内的时间谐波磁场分布，分析了变压器结构内部的尤其是绕组周围的大量边界磁场成分。图5示出了初级绕组励磁，次级绕组开路状态之下的磁通分布计算结果，这些结果的数值表明，平面开路磁芯结构中的磁通分布和传统变压器磁芯结构中的磁通分布是不相同的，前者的磁通分布由次级绕组中感应产生的涡流形成。图5(a)示出了泄漏出铁氧体磁芯的磁通，该泄漏磁场将产生电磁干扰(EMI)，它们会给设备带来一系列问题，图5(b)所示则没有外泄磁场。

### 6 在频率1MHz时，变压器的涡流分布

在高频工作时，涡流损耗是变压器磁芯和绕组共同存在的严重问题。在平面型磁芯结构中，邻近效应的影响往往比趋肤效应的影响更为严重。图6所示为数值的计算结果。在计算时，励磁电流加在初级绕组上，次级绕组则开



(a) 型的磁心和绕组结构的轴对称截面



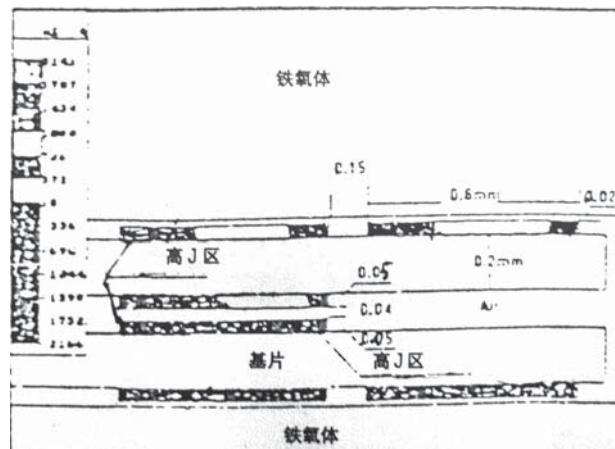
(b) 型的磁心和绕组结构的轴对称截面

图5 平面螺旋型变压器的磁通分布

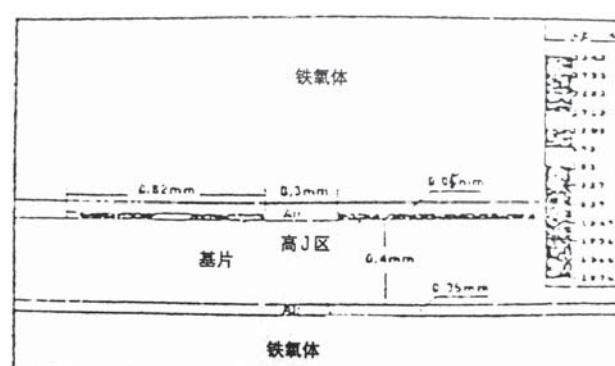
路。从图6可以看出，绕组结构对涡流分布的影响是相当敏感的。

## 7 小结

本文提供了两种平面型带气隙高频变压器的实验与计算结果，其初级绕组连接100kHz至1MHz的正弦波电流电源，次级绕组开路。从初级次级的电压比与其初次级绕组的匝数比不相等，说明了其磁耦合是相当小的。实验与



(a) 型磁心和绕组结构的轴对称截面中的涡流分布



(b) 型磁心和绕组结构的轴对称截面中的涡流分布

图6 心面螺旋型变压器感应的涡流

计算结果还表明，平面型带气隙磁芯结构中的磁通分布和涡流分布与传统变压器磁路结构时不同，用边界单元法设计的CAD/CAE程序得出了计算结果。

从实验与计算结果分析，多层平面型结构高频变压器的设计，除本文分析的磁通分布和涡流分布外，还要求有一定量值的磁耦合系数，热传导能力以及抗EMI和磁滞损耗等指标。

(参考资料略)