

浅析微型开关式变压器的发展动态

周志敏

摘要: 本文在简介微型开关变压器的特点和种类的基础上,重点论述铁氧体平面微型开关变压器特点及原理,探讨了微型开关变压器发展动态。

关键词: 特点, 原理, 动态

Development Trends of Miniature Switching Transformer

ZHOU Zhimin

Abstract: Based on the brief introduction of the characteristics and types of micro-switching transformers, this paper focuses on the characteristics and principles of ferrite planar micro-switching transformers, and discusses the development trends of micro-switching transformers.

Keywords: Characteristic, Principle, Dynamic

1 微型开关变压器的特点和种类

传统的开关变压器一般都采用在普通铁氧体磁芯上,缠绕铜线绕组结构,体积比较大,转换效率不高。随着电子技术和信息技术的飞速发展,各种电子设备、信息设备的体积重量都在不断地缩减。近年来,以移动电话和笔记本电脑为主的各种便携式装置的需求量在成倍增长,更加要求电子系统体积小、重量轻、具有可移动性和能够模块化。在这些装置中,电源部分是影响体积重量的主要因素。这是因为电源内部存在磁性元件,包括变压器和电感器,由于要满足一定功率容量的要求,不可能像电阻、电容那样大幅度减小体积重量。但是电源技术也在不断发展,工作频率的大幅度提高使磁性元件的体积大小缩小,可以实现变压器、电感器的微型化,近年来微型开关变压器在计算机、通信、航空航天领域大量出现。目前国内外已出现了平面变压器、集成变压器,甚至是采用微制造工艺的芯片式微型开关变压器。

微型开关变压器依然是利用电磁感应原理把电能在这两个电路之间传递,其基本结构与常规变压器一样,由磁芯和绕组构成。微型开关变压器和常规变压器最主要的区别在于:磁芯的尺寸形状;绕组的结构。微型开关变压器与常规变压器相比,磁芯尺寸大幅度缩小,截面积与高度的

比值更大。微型开关变压器的绕组是由叠式铜箔、印制电路板上的印制铜线条或直接沉积于磁性薄膜上的铜线条构成。而传统变压器的绕组是用漆包线或多股绞合线绕制。微型开关变压器具有功率密度高、效率高、漏感低、散热性好、成本低等优点。

目前微型开关变压器主要可分为三类:第一类是以铁氧体为磁芯,折叠铜箔或印制线路为绕组的平面变压器;第二类是采用溅射或化学沉积等微制造技术制作的薄膜变压器;第三类是其它类型的微型开关变压器,包括铁氧体粉末制成的集成变压器和非晶带叠合成磁芯的参数振荡变压器等。

2 铁氧体平面微型开关变压器

铁氧体平面变压器是目前技术最成熟、应用最广泛的微型开关变压器,采用高频损耗低的平面铁氧体磁芯,绕组采用印制铜线条的多层印制板或折叠铜箔代替漆包线及骨架。

Signal Transformer 公司的平面变压器具有此类变压器的典型特点,如图 1 所示。变压器由精确的铜引线框或一个及几个平面铜螺旋线,刻蚀在薄绝缘材料板上。螺旋线和引线框叠在扁平的高频铁氧体磁芯上形成变压器磁

路。磁芯材料用小直径颗粒的树脂胶合以降低损耗，螺旋线或引线框叠层内的高温绝缘体可确保绕组间的高度隔离。

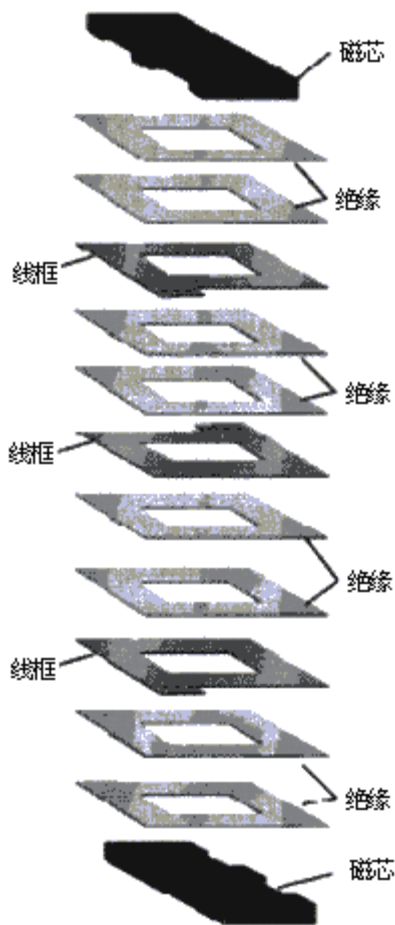


图1 采用印刷板的平面变压器

这些平面变压器用大约一半的尺寸和重量就能提供与常规变压器相同的功率，在开关频率 500kHz 时效率可达 97%。在高频状态下，由于集肤效应，电流在圆柱形导线内沿着导线表面附近区域内流动，使铜导线没有被有效地利用。在平面变压器中，绕组实际上是 0.14mm 厚铜板上的扁平铜线条。在扁平铜线条中，虽然有集肤效应，但电流是流过整个导体截面的，导体利用率高，所以具有扁平绕组的平面变压器与常规线绕变压器相比，尺寸小，效率高。

Philips 公司以其平面磁芯技术生产集成电感元件 (IIC)，利用小型单件模压铁氧体磁芯，磁芯上刻有 0.75mm 的细槽，用于将铜引线框架插入磁芯。引线框架上的 10 根引线，每根从磁芯上细槽的一端穿到另一端并弯折成标准的欧翼形状，构成电感绕组的半匝。印制电路板上的铜连线则完成另外的半匝。使电感元件也可以用高

速自动装配机装配。

上述公司制作的平面变压器，印制线条不可能做得很厚，限制了绕组的最大电流，变压器设计功率一般比较小。多用于开关电源中的小功率变压隔离器。

Flat Transformer Technology 公司在其变压器和电感器中采用了一种独特的磁芯配置结构，能在优化磁性能的同时，缩小元件的物理尺寸。常规变压器采用的方法是在单个磁芯上做上多匝绕组，FTT 公司则是在多个磁芯上用单匝（或匝数很少）的初级绕组，如图 2 所示，采用一种模块式方案。一个 FTI-12X2A-1B 模块采用两个铁氧体磁芯，同时有顶板、底板和一个延伸部分，以便连接整流器，如图 3 所示。次级绕组是粘接到矩形铁氧体磁芯内表面的一对铜片，沿着 180° 的螺旋式通路绕成。每个磁芯相对的两端就是同一绕组的各端，热传递只在铁氧体磁芯的薄壁进行。初级绕组不用模块设计，而是由用户自己决定其导线数量。根据对电源设计的要求，可以组合任何数量的模块，并调整初级绕组的绕线数量以求得预期的匝数比和电流量。这种配置可以得到很高的功率密度，输出电流很大，达到 30A/ 模块。每个模块的功率可达 100 ~ 120W。

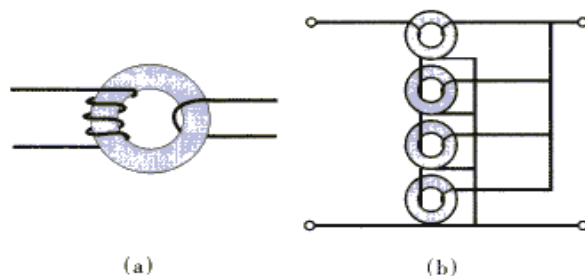


图2 常规变压器与 FTT 变压器的比较
(a) 常规变压器 (b) FTT 变压器

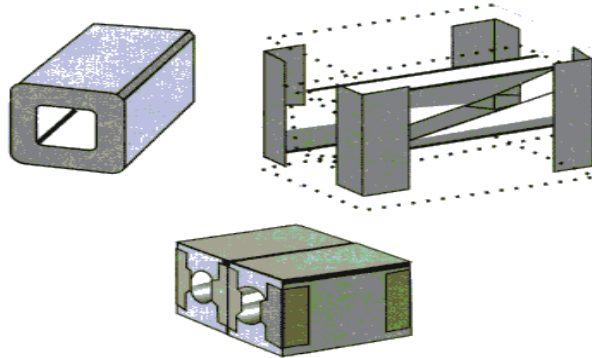


图3 FTT 变压器结构

微型开关变压器的发展是当今电子、信息技术的需求,变压器的微型化是变压器技术发展的必然趋势。就目前来看,以铁氧体为磁芯的平面变压器体积小,功率密度大,是微型开关变压器的主流。以微制造技术制作的微型开关变压器正处于研制阶段,还不能在实际中推广应用。随着电子技术的飞速发展,铁氧体平面变压器仍将在较大功率的模块电源中发挥主要作用,而微制造变压器将在功率电子领域得到广泛的应用。

3 微型开关变压器动态

在各类微型开关变压器中,采用真空溅射、化学沉积等方法制成的变压器,体积最小,只有几个毫米见方,1~2mm厚,使变压器达到了IC水平,是真正的平面变压器。这类磁性元件的研究在日本和美国已经取得了很大成果,近年来发表了许多关于其性能及各种应用的报道。

日本有人研制了FeCoBC非晶态磁性薄膜电感器,这是一种通过绝缘膜将串联且相互反绕的长方形螺旋线圈的上下两面与软磁性薄膜叠合的平面多层结构。在硅基板上采用烧结体靶的直流磁控溅射方法形成FeCoBC磁性薄膜,再通过铝氯化反应,形成AlN_x绝缘膜和FeCoBC膜相叠合的多层磁性薄膜。铜线圈采用H₂SO₄/CuSO₄和添加剂为电镀液通过电解电镀法形成。下磁性薄膜与上磁性薄膜的绝缘是硅氯化反应性直流磁控溅射方法形成的一层5μm的SiN_x薄膜,线圈间隙及与上磁性薄膜的绝缘物充填通过聚酰亚胺旋转涂敷/焙烘的方法完成。

这种电感器在兆级频率上,安装在几瓦级输出的变换器上,性能十分良好。与其配置的电源厚度为2mm,最大输出功率为3W,1.5W输出时的效率约为80%。

以上是利用磁控溅射法制作的电感器,日本还有人研制了离子束溅射法制作的变压器。这种集成式微型开关变压器应用干法技术在基片上直接制成。基片是含有10μm厚的SiO₂层的2英寸硅蚀刻出磁层。再用离子束溅射法连续沉积Cu和Ta。利用Ta作掩膜用氮离子束刻蚀Cu图形。然后采用偏压溅射沉积一层表面平整的中间绝缘膜,上下层Cu图形的连接孔用离子束刻蚀形成。

制成的变压器厚度约0.3mm,面积约(3×4)mm²。变压器线圈能产生33nH/mm²的电感。这种平面微型开关变压器适用于5MHz~40MHz高频范围工作的开关变换器。但由于此变压器的磁感低,故变换器效率也低。为

获得较高的效率,则要求微型开关变压器具有较高的磁感。

JaeYeongPark等人利用低温电镀法制造了集成磁性器件,在微制造领域取得了更有价值的成果。微制造技术用于实现电感器和变压器与多芯片封装的一体化,可以将磁性元件和芯片、传感器及其它元件紧密集成。所有工序都在低温下进行。在硅晶片上用电子束蒸镀法沉积一层由200Å铬、1500Å铜和400ÅA铬组成的网状导引层。电镀下层导体后在导引层上沉积一层15μm厚的抗光层,形成12mm×4mm的形模。然后用电镀法沉积磁性材料,形成的磁芯有两种:permalloy(80%镍-20%铁)和orthonol(50%镍-50%铁)。再电镀上下层导体的连接部分和上层导体,最后去掉聚酰亚胺和网状导引层。

尺寸为4mm×1.0mm×0.13mm和30匝多层铜线圈(40μm厚)的集成permalloy和orthonol铁心(15μm厚)电感表现出不同性能,permalloy铁心电感比orthonol铁心电感有略高的电感量,但直流饱和和电流低很多。对于4mm×4mm×0.145mm和156匝多层电镀铜线圈(40μm厚)和电镀permalloy磁芯(35μm厚)制成的电感器,没有气隙的电感量稍高(大约1.5μH),但是有气隙电感的饱和电流高得多(180mA~250mA)。这些器件的饱和电容量大(稳态直流达到3A),适合于小功率变换。

目前这类微型开关变压器的功率不高,一般不到10W,实用性不大。但其尺寸的超小型和制造技术的先进性决定了这类变压器有广阔的应用前景,随着电子技术的发展,采用微制造技术的变压器将成为微型开关变压器的发展趋势。

除了上述两种微型开关变压器,另一类是利用先进的微粉技术、线圈制版技术、加入聚合物粘结剂的铁氧体丝网印刷技术制成的集成变压器和电感器。用于磁芯的磁性复合材料由Ni-Zn或Mn-Zn铁氧体磁粉颗粒与高分子聚合物组成,混合好的铁氧体复合材料用丝网印刷在基片上。在此复合材料上面电子溅射蒸发上电极导线的铜,再刻蚀导线图形,然后再丝网印刷一层铁氧体复合剂。另一种工艺是先做出双层螺旋线圈,再在中心处用丝网印刷填入铁氧体复合材料。复合材料的电导率很低,适合作高频磁性器件,涡流损耗可被忽略。

下转160页