

# 开关电源中高频磁性元件 设计常见错误概念辨析

秦海鸿, 严仰光

(南京航空航天大学自动化学院, 江苏 南京 210016)

**摘要:** 很多电源工程师对开关电源中高频磁性元件的设计存在错误的概念, 其设计出来的高频磁性元件不能满足应用场合的要求, 影响了研发的进度和项目的按期完成。基于开关电源及高频磁性元件设计经验, 对一些概念性错误进行了辨析, 希望能给大家提供借鉴, 顺利完成高频磁性元件的设计以及整个项目的研制。

**关键词:** 开关电源; 高频磁性元件; 错误概念

## Misconceptions about Design of High-frequency Magnetic Component in Switching-mode Power Supply

QIN Hai-hong, Yan Yang-guang

**Abstract:** Common misconceptions exist in the design of high-frequency magnetic components. The resultant design cannot meet the specifications of the application, which impacts the whole R&D schedule. Some discussions about these misconceptions are given, based on the real design of high-frequency magnetic components and switching-mode power supply. It is hoped that this discussion can give an insight into these common misconceptions and help engineers to fulfill their project smoothly.

**Keywords:** Switching-mode power supply; High-frequency magnetic component; Misconception

中图分类号: TN86

文献标识码: A

文章编号: 0219-2713(2003)06-0269-03

### 1 引言

开关电源中高频磁性元件的设计对于电路的正常工作和各项性能指标的实现非常关键。加之高频磁性元件设计包括很多细节知识点, 而这些细节内容很难被一本或几本所谓的“设计大全”一一罗列清楚<sup>[1-3]</sup>。为了优化设计高频磁性元件, 必须根据应用场合, 综合考虑多个设计变量, 反复计算调整。正由于此, 高频磁性元件设计一直是令初涉电源领域的设计人员头疼的难题, 乃至是困扰有多年工作经验的电源工程师的问题。

很多文献及相关技术资料给出的磁性元件设计方法或公式往往直接忽略了某些设计变量的影响, 作了假设简化后得出一套公式; 或者并未交代清楚公式的应用条件, 甚至有些文献所传达的信息本身就不正

确。很多电源设计者并没有意识到这一点, 直接套用设计手册中的公式, 或把设计手册中某些话断章取义, 尊为“设计纲领”, 而没有进行透彻的分析和思考, 以及实验的验证。其结果往往是设计出来的高频磁性元件不能满足应用场合的要求, 影响了研发的进度和项目的按期完成。

为了使电源设计者在设计过程中, 避免犯同样的错误, 为此, 我们针对在学习和研发中遇到的一些概念性的问题进行了总结, 希望能给大家提供一个借鉴。

### 2 一些错误概念的辨析

这里以小标题形式给出开关电源高频磁性元件设计中 8 种常见的错误概念, 并加以详细的辨析。

#### 1) 填满磁芯窗口——优化的设计

很多电源设计人员认为在高频磁性元件设计中,

填满磁芯窗口可以获得最优设计,其实不然。在多例高频变压器和电感的设计中,我们可以发现多增加一层或几层绕组,或采用更大线径的漆包线,不但不能获得优化的效果,反而会因为绕线中的邻近效应而增大绕组总损耗。因此在高频磁性元件设计中,即使绕线没把铁芯窗口绕满,只绕满了窗口面积的25%,也没有关系。不必非得想法设法填满整个窗口面积。

这种错误概念主要是受工频磁性元件设计的影响。在工频变压器设计中,强调铁芯和绕组的整体性,因而不希望铁芯与绕组中间有间隙,一般都设计成绕组填满整个窗口,从而保证其机械稳定性。但高频磁性元件设计并没有这个要求。

### 2) “铁损 = 铜损”——优化的变压器设计

很多电源设计者,甚至在很多磁性元件设计参考书中都把“铁损 = 铜损”列为高频变压器优化设计的标准之一,其实不然。在高频变压器的设计中,铁损和铜损可以相差较大,有时两者差别甚至可以达到一个数量级之大,但这并不代表该高频变压器设计不好<sup>[4]</sup>。

这种错误概念也是受工频变压器设计的影响。工频变压器往往因为绕组匝数较多,所占面积较大,因而从热稳定、热均匀角度出发,得出“铁损 = 铜损”这一经验设计规则。但对于高频变压器,采用非常细的漆包线作为绕组,这一经验法则并不成立。在开关电源高频变压器设计中,确定优化设计有很多因素,而“铁损 = 铜损”其实是最少受关注的一个方面。

### 3) 漏感 = 1% 的磁化电感

很多电源设计者在设计好磁性元件后,把相关的技术要求提交给变压器制作厂家时,往往要对漏感大小要求进行说明。在很多技术单上,标注着“漏感 = 1% 的磁化电感”或“漏感 < 2% 的磁化电感”等类似的技术要求。其实这种写法或设计标准很不专业。电源设计者应当根据电路正常工作要求,对所能接受的漏感值作一个数值限制。在制作变压器的过程中,应在不使变压器的其它参数(如匝间电容等)变差的情况下尽可能地减小漏感值,而非给出漏感与磁化电感的比例关系作为技术要求。因为漏感与磁化电感的比例关系随变压器有无气隙变化很大。无气隙时,漏感可能小于磁化电感的0.1%,而在有气隙时,即使变压器绕组耦合得很紧密,漏感与磁化电感的比例关系却可能达到10%<sup>[5]</sup>。

因此,不要把漏感与磁化电感的比例关系作为变压器设计指标提供给磁性元件生产商。否则,这将表明你不理解漏感知识或并不真正关心实际的漏感

值。正确的做法是规定清楚可以接受的漏感绝对数值,当然可以加上或减去一定的比例,这个比例的典型值为20%。

### 4) 漏感与磁芯磁导率有关系

有些电源设计者认为,给绕组加上磁芯,会使绕组耦合更紧密,可降低绕组间的漏感;也有些电源设计者认为,绕组加上磁芯后,磁芯会与绕组间的场相互耦合,可增加漏感量。

而事实是,在开关电源设计中,两个同轴绕组变压器的漏感与有无磁芯存在并无关系。这一结果可能令人无法理解,这是因为,一种相对磁导率为几千的材料靠近线圈后,对漏感的影响很小。通过几百组变压器的实测结果表明,有无磁芯存在,漏感变化值基本上不会超过10%,很多变化只有2%左右。

### 5) 变压器绕组电流密度的优化值为 $2 \text{ A/mm}^2 \sim 3.1 \text{ A/mm}^2$

很多电源设计者在设计高频磁性元件时,往往把绕组中的电流密度大小视为优化设计的标准。其实优化设计与绕组电流密度大小并没有关系。真正有关系的是绕组中有多少损耗,以及散热措施是否足够保证温升在允许的范围之内。

我们可以设想一下开关电源中散热措施的两种极限情况。当散热分别采用液浸和真空时,绕线中相应的电流密度会相差较大。

在开关电源的实际研制中,我们并不关心电流密度是多大,而关心的只是线包有多热?温升是否可以接受?

这种错误概念,是设计人员为了避免繁琐的反复试算,而人为所加的限制,来简化变量数,从而简化计算过程,但这一简化并未说明应用条件。

### 6) 原边绕组损耗 = 副边绕组损耗”——优化的变压器设计

很多电源设计者认为优化的变压器设计对应着变压器的原边绕组损耗与副边绕组损耗相等。甚至在很多磁性元件的设计书中也把此作为一个优化设计的标准。其实这并非什么优化设计的标准。在某些情况下变压器的铁损和铜损可能相近。但如果原边绕组损耗与副边绕组损耗相差较大也没有多大关系。必须再次强调的是,对于高频磁性元件设计我们所关心的是在所使用的散热方式下,绕组有多热?原边绕组损耗 = 副边绕组损耗只是工频变压器设计的一种经验规则。

7) 绕组直径小于穿透深度——高频损耗就会很小

绕组直径小于穿透深度并不能代表就没有很大的高频损耗。如果变压器绕组中有很多层,即使绕线采用线径比穿透深度细得多的漆包线,也可能会因为有很强的邻近效应而产生很大的高频损耗。因此在考虑绕组损耗时,不能仅仅从漆包线的粗细来判断损耗大小,要综合考虑整个绕组结构的安排,包括绕组绕制方式、绕组层数、绕线粗细等。

8) 正激式电路中变压器的开路谐振频率必须比开关频率高得多

很多电源设计人员在设计和检测变压器时认为变压器的开路谐振频率必须比变换器的开关频率高得多。其实不然,变压器的开路谐振频率与开关频率的大小并无关系。我们可以设想一下极限情况:对于理想磁芯,其电感量无穷大,但也会有一个相对很小的匝间电容,其谐振频率近似为零,比开关频率小得多。

真正与电路有关系的是变压器的短路谐振频率。一般情况下,变压器的短路谐振频率都应当在开

关频率的两个数量级以上。

### 3 结语

为了使电源设计者在电源设计过程中,少犯同样的错误,就我们在开关电源的研发中遇到的一些与高频磁性元件设计相关的概念性问题进行了总结,希望能起到抛砖引玉的作用。

#### 参考文献

- [1] 龚绍文. 磁路与带铁心电路[M]. 北京:高等教育出版社, 1985.
- [2] 丁道宏. 电力电子技术[M]. 北京:航空工业出版社, 1995.
- [3] 张占松,蔡宣三. 开关电源原理与设计[M]. 北京:电子工业出版社, 1999.
- [4] Ferrite Cores, Magnetics. 2002.
- [5] Switching Power Magazine. Volume 3, Issue 1, Winter 2002.

#### 作者简介

秦海鸿,男,南京航空航天大学电力电子与电力传动专业硕士研究生。

## 实力铸造辉煌

### ——台达电子荣登 2002 年全球电源电子产品冠军宝座

近日,台达 UPS 事业部传出喜讯,在国际著名市场研究公司 Micro-Tech 举办的 2002 年度电源电子产品 TOP 10 销售排名调查中,台达电子战胜了其它全球知名品牌,荣登 2002 年度全球电源电子产品销售冠军宝座。一年一度的 TOP 10 评选最初由电源行业权威的调研公司 Micro-Tech 发起举办,现已发展成为全球电源行业最具权威性的销售排名之一。根据 Micro-Tech 提供的资料,从 1999 年至今,台达电子一直在 Micro-Tech 排行榜中位列三甲,在刚刚过去的 2002 年,更是一举战胜爱默生、Tyco 等强有力的竞争对手,荣登全球冠军宝座。根据 Micro-Tech 的统计,2002 年度全球电源电子产品市场规模达到 126 亿美元,较之 2001 年的 115 亿增长约 9.6%;其中,位居榜首的台达电子 2002 年度销售额达 11.97 亿美元,占全球总额的 9.5%,比第二名高出了整整一个百分点,与位列第三的厂商更是相差近 4 个百分点之多,这在很大程度上表明,台达在全球电源行业占据了无可争议的领先地位。

台达电子之所以能够在电源领域取得今天的成就,取决于它在资金力量、技术研发、生产制造等方面雄厚的综合实力。作为国际著名的开关电源和 UPS 产品的制造商,台达的开关电源产品已成为 IBM、DELL 等许多国际知名企业指定采购的零部件,UPS 产品在国内市场的销量连续多年以较大幅度上升,是国内 UPS 市场上增长最快的品牌之一。

技术实力是台达自创立以来的立身之本。台达在美国北卡罗来那州和中国上海都设有综合研发基地,并在电源领域拥有很多自行研发的专利技术。目前,台达 UPS 拥有的专利技术,能够将其它品牌依靠一组元器件实现的功能集成到一个芯片上,同时采用自主研发的 IGBT 高频功率因数校正技术,依靠 40 kHz 的超高频有效地减小电源内部磁性元件所占的体积,从而使台达 UPS 的体积大大小于同类产品。类似这样的多项专利技术,确保了台达 UPS 拥有独到的技术优势,成为目前电源市场上技术含量最高的品牌之一,为其在国内市场的不断成长奠定了基础。

生产制造更是台达的传统优势领域。目前,台达在国内已经拥有上海、天津、东莞、吴江 4 个制造基地,职工总人数达到 8 万人,年 UPS 生产能力将近 150 万台,无论是产量还是产能在国内乃至亚洲电力电子行业都处于首屈一指的地位;不仅如此,台达的制造工厂都通过了比 ISO9000 更为严格的 TL9000 认证,在这种比 ISO9000 多出 83 项的认证标准的规范下,台达的产品品质得到了众多国际著名电源厂商的认可,成为目前国际电源行业规模最大的 OEM 和 ODM 提供商。

近年来,台达在巩固中小功率 UPS 传统优势的基础上,接连推出大功率产品,向传统上由梅兰日兰等厂家占据的国内大功率 UPS 市场发起冲击,并在电力、电信、金融和政府采购等领域都取得了突破性进展。