

浅谈高频电感器铁氧体磁芯 分段气隙降低损耗探讨

聂应发

田村(中国)企业管理有限公司, 惠州 516003

摘要: 通过对扩散磁通及铁氧体高频电感设计原理和方法说明介绍, 改变气隙大小及分多段对其损耗、负载能力及温升计算方法进行详细说明, 以及如何在功率电感进行分段制造工艺设计, 达到性价比好产品。

关键词: 铁氧体分段, 功率电感设计, 损耗及温升计算

Discussion on reducing loss of section ferrite core in high frequency power inductor

Nie ying fa

Tamura corporation of china Ltd., Huizhou 516003

Abstract: Through the introduction of the design principle and method of diffusion flux and ferrite high frequency power inductor, the calculation method of loss, load capacity and temperature rise is described in detail by changing the size of air gap and dividing into several sections, as well as how to design the segmented manufacturing process of power inductor, so as to achieve good cost performance products.

Keywords: section, ferrite design power, inductor loss and temperature rise of ferrite

引言

电力电子装置技术应用技术成熟并且日益广泛, 功率储能电感器应用也日趋应用广泛, 随着功率半导体器件频率应用的大大地提高, 电感器也必须与之相对应, 并且体积大大减小, 高频率引起涡流的交流损耗控制, 显得尤为突出, 我们都知道磁性元件的损耗包括磁芯损耗和绕组损耗, 前者与工作频率、磁芯材质与结构等参数有关, 根本性的改善需要对新型磁性材料进行开发研究, 后者可以通过改善绕制技术以及对磁芯结构的合理设计来达到损耗减小的目的。我们在使用软磁铁氧体材料中锰锌铁氧体最为常见, 由于软磁铁氧体材料的电阻率高, 高频损耗很小, 易于大批量生产, 产品的一致性, 成本低等优点, 是目前磁性元件中使用最为广泛的一种磁性材料。所以研究和探讨 Mn-Zn 铁氧体用于工作频率在 0.05~3M Hz 以下的磁性元件中应用显得很有价值, 特别是应用广泛的高频功率电感器如何更加控制更充分运用在电源中作用, 本文拟

对锰锌铁氧体中轴采用分段气隙结构机理来分析损耗和温升以及如何优化制造工艺等。

我们都知道, 高频功率电感器只有一个绕, 磁芯窗口中磁场较强, 磁动势主要降落在气隙上, 如图 1 所示, 可分以下三个部分:

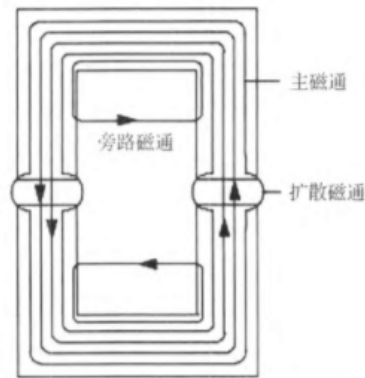


图 1 高频电感中磁通分布图

1) 主磁通: 主磁通在磁芯中构成流通回路, 存储大部分能量, 不进入磁芯窗口, 因此与绕组涡流损耗无关。

2) 扩散磁通: 气隙边缘的扩散磁通是由于气隙上、下端面的磁压降造成的, 这部分磁通进入磁芯窗口, 因此会对气附件的绕组产生涡流损耗。

3) 旁路磁通: 旁路磁通横穿磁芯窗口, 磁力线切割绕组产生涡流。

如下图所示, 对于小气隙几乎不受影响, 但对功率电感来说, 随着电流的增大, 所加气隙必须要增加的, 这样下图所示的边缘磁通(扩散磁通)就会显得很大, 所以就必须以多个分段形式来降低单个的大气隙, 这样绕组及磁芯涡流损耗明显减小。

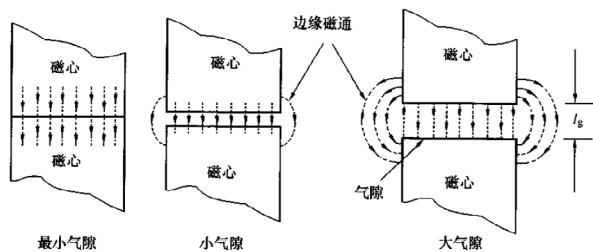


图2 气隙处的边缘磁通

如图所示我们可以清晰明白, 分布气隙结构, 气隙磁压降低, 扩散磁通影响范围减小, 所以采分布气隙可以降低损耗。

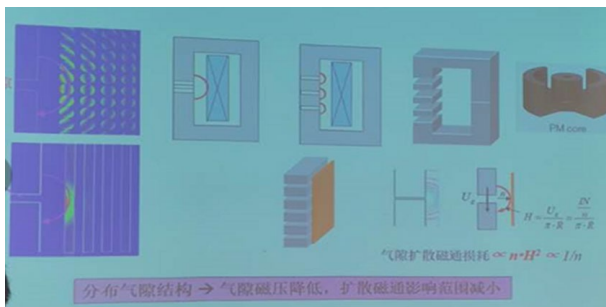


图3 分布气隙结构, 气隙磁压降低, 扩散磁通影响范围减小

我们先来推算一下电感定义式, 如下1~6个步骤就不难得出电感的计算式出来

1、法拉弟电磁定律: $L \frac{di}{dt} = N \frac{d\Phi}{dt} = N \frac{d(BwS)}{dt}$, 可推导出 $LN = \frac{N^2 BwAe}{L}$ 。

2、安培定律: $IN = Hmlm + Hglg,$

Hm: 磁芯中的磁场强度,

lm: 磁芯的有效磁路长度,

Hg: 气隙中的磁场强度,

lg: 气隙长度。

3、由以上两个公式可以导出 $L = \frac{N^2 BwAe}{Hmlm + Hglg} = \frac{N^2 BwAe}{\frac{Bw}{\mu_0 \mu'} lm + \frac{Bw}{\mu_0} lg} = \frac{N^2 Ae \mu_0 \mu'}{lm + \mu' lg} = \frac{N^2 Ae \mu_0}{\frac{lm}{\mu'} + lg}$

在没有气隙的情况下 $L = \frac{N^2 Ae \mu_0 \mu'}{lm}$

从以上公式我们就不难设计一个高频电感器了, 具体步骤如下:

1) 根据电感和电流计算需要的磁芯规格, 并选定磁芯, 一般铁氧体材料的饱和磁感应强度为390mT, 可以在150~200mT之间选取, 电流密度可按尺寸大小选择3~6A/mm²

2) 根据: $N = \frac{IL}{BwAe}$ 计算出应绕匝数或供应商的目录查出AL值, 利用 $L=ALXN^2$

3) 根据: $lg = \frac{N^2 Ae \mu_0}{L} - \frac{lm}{\mu'}$ 计算出气隙长度

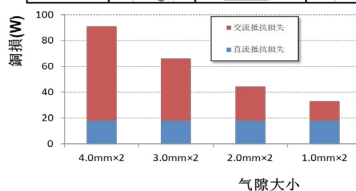
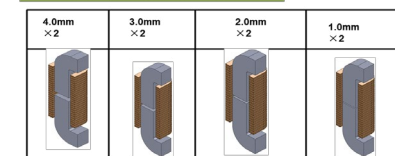
或简便计算方法, 可依据 $AL=0.4\pi x Ae / lgap$ 可得出气隙 $lgap=0.4\pi x AexN^2 / Lx10^4$ (Ae是中轴磁芯断面积单位cm²; L单位mH; lgap是气隙长度, 气隙单位mm)

4) 核算工作的磁感应强度是否符预设值, 如不合, 选取更大磁芯增加其面积

5) 利用仿真或样品测试或理论计算出温升值, 达到客户所要的值

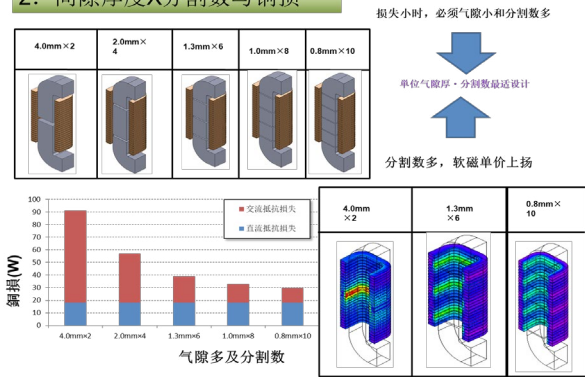
据有关资料表明, 我们对气隙分布与导体交流损耗(涡流损耗)有很大关系, 当气隙分布较小时, 交流损耗会变小很多, 但是随着负载电流增加, 小气隙会产生饱和现象。因此这就产生了分段气隙机理, 当将一个大气隙被分成几个小气隙时(气隙距离等同)所产生交流铜损会大大缩小。如下图所示。

1. 间隙厚度与铜损



损耗小, 必须气隙要小
↓
气隙厚度最适设计
↑
大电流时, 气隙必须要大, 防止饱和

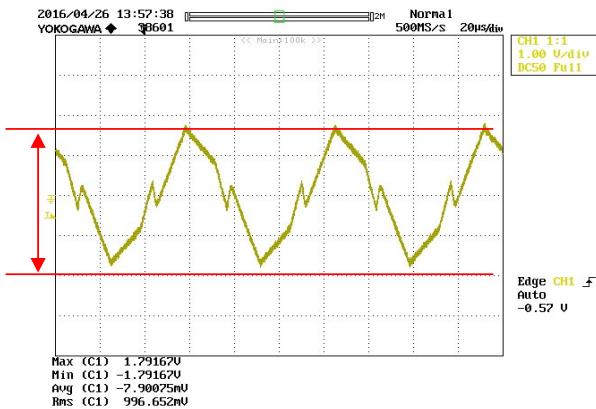
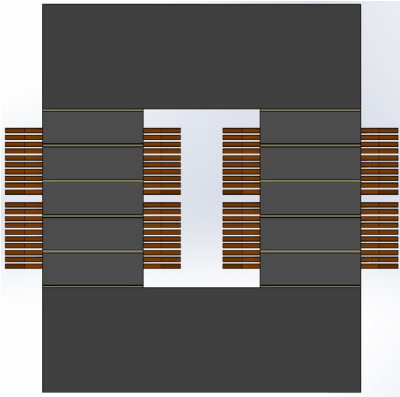
2. 间隙厚度X分割数与铜损



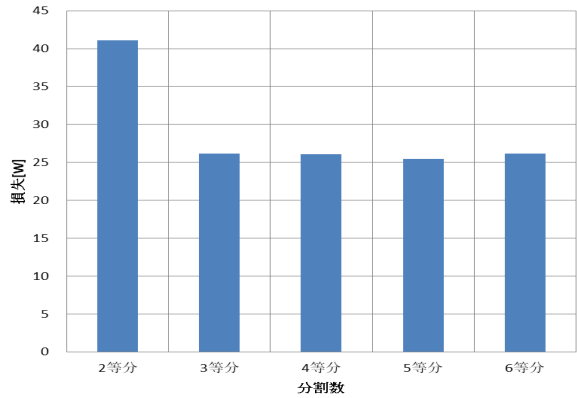
为了更加有效地验证分布气隙对电感的影响, 我们特别制作样品举例说明, 对于同种材质, 同样磁芯断面积磁心, 总气隙相同, 进行分段气隙调整分别进行样品测试。

试验目的

- ①从分割气隙数量分析、成品温度上升变化确认以及多少段是最佳气隙。
- ②同时运用 CCM、CRM 中 APFC 回路、多分割 GAP 和温度上升影响度比较。
- ③料变更和温度上上升影响(磁心材质、LITZ 线变更)。



1) 从实验测试得可得, 对于分段过多或过少都是不可取方式, 过少时损耗会变大, 过多时效果不明显, 浪费工时和人力。



2) CCM、CRM 中 APFC 回路、多分割 GAP 和温度上升影响度比较可以得出结论:

在连续模式中 CCM 中频率在 20~60KHZ 损耗影响不是会很大, 但 CRM 临界模式中分段磁心以及材质和采用 LITZ 线影响较大。

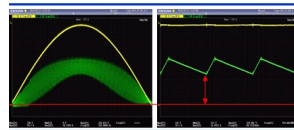
1) CCM APFC

f: 20~60kHz
Vin=AC230V
Iin=10.6A
Vout=DC390V
Pout=2330W

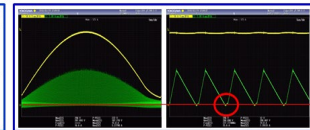


2) CRM APFC

f: 随着变化
Vin=AC210V
Iin=4.3A
Vout=DC390V
Pout=860W



f一定、ΔI 变化



f、ΔI 随着变化量

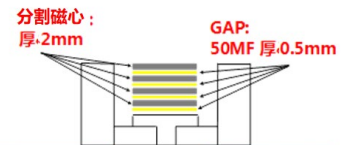
1) CCM样品规格:

线包: Φ0.2/40 2P 44T
磁心: PC44等同品, PQ4040
L值固定 140uH

2) CRM样品规格:

线包: Φ0.1/130 3P 32T
磁心: PC44等同品, PQ4040
L值固定 50uH

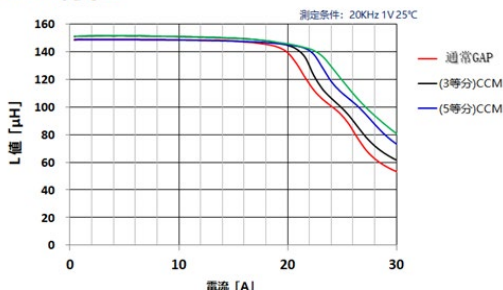
分割磁心构造



| 回路方式 | f (KHz) | 通常 | 3等分 | 5等分 | CORE材質 | | LITZ線 (兼特) | |
|-----------------|---------|----|-----|-----|--------|--------|---------------|-----------|
| | | | | | PC40等 | PC95等同 | TIW一層 0.1*133 | 銅線表面 磁性材有 |
| CCM (10A/140uH) | 20 | ○ | - | - | - | - | - | - |
| | 40 | ○ | - | - | - | - | - | - |
| | 60 | ○ | ○ | ○ | - | - | - | - |
| CRM (30A/50uH) | - | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

分段磁芯对于 L-I 负载电流也是影响的, 常用 1 个大气隙所带负载电流能力偏小, 所以可以说储能较差些, 也就是说可做更大功率电感器。

样品 L-I 特性

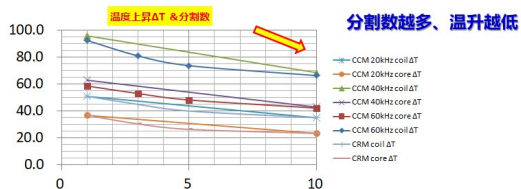


气隙分割数目、L-I特性差异如上

同时对温升也作比较分析, 如下图表所得当分割数越多时, 所得到温升越低。当然对 CCM 和 CRM 所要求也不同的温升, 分段个数越多时, 所取得温升越低, 当达到一定分段数目, 基本保持在一个较稳定数据内, 同时也可因分段个数减少生产工数。

温度上升 ΔT & 分割数

| 回路方式 | f (KHz) | 通常GAP | | 3等分 | | 5等分 | | 10等分 | |
|-----------------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | coil ΔT | core ΔT | coil ΔT | core ΔT | coil ΔT | core ΔT | coil ΔT | core ΔT |
| CCM (10A/140uH) | 20 | 92.5 | 58.7 | - | - | - | - | 57.6 | 38.8 |
| | 40 | 95.9 | 63.0 | - | - | - | - | 68.6 | 43.0 |
| | 60 | 92.5 | 58.7 | 81.0 | 53.1 | 73.8 | 48.3 | 66.4 | 42.3 |
| CRM (30A/50uH) | - | 51.0 | 36.9 | 45.0 | 30.5 | 40.1 | 26.5 | 35.1 | 23.5 |



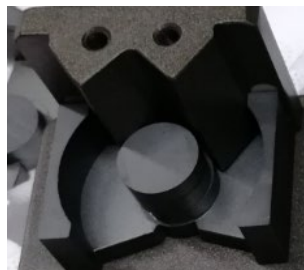
从上述我们知道分段铁氧体磁芯具有诸多的优点, 那么应用为什么很少呢? 主要是当气隙较小时, 意义不很大, 还有在气隙尺寸上比较难控制好, 特别在电感范围要求较严基础上。如我们在 2kW 汽车车载电源中采用 LLC 拓扑方式, 对主变压器及谐振电感均采用中轴分段磁芯来设计, 温升确实改善很多, 变压器只用 PQ40 来设计, 但是制造

工艺复杂多了, 因为 LLC 拓扑中对电感公差要求较小及气隙小要求很小情况下, 是相当难控制电感量大小, 因为供应商做成每个小磁片时有公差以及制造电感器将每个磁片通过环氧树脂粘着时公差无法控制, 造成整个气隙分布不精确, 而使电感变化较大。但对于气隙要求很大, 电感量很小产品, 分段气隙是个相当不错的选择。

下面我们对气隙制造工艺进行说明, 首先对磁心中轴进行平均分配, 尽可能成偶数段, 上、下均等同时, 将气隙留在中间。对于分段磁芯进行前加工, 做专门治具, 对胶水量进行控制以及干燥时采用压力合适治具压着进行干燥。如下图所示的点胶治具和干燥治具, 可以使胶水量及磁片不移位和固定较好。所以这是个关键工序也很花时间去处理, 当然制造磁芯厂商能将分段磁芯一次做好, 对于尺寸控制相当精准, 当然很受欢迎的。



采用定量针筒点胶



采用磁铁及凹槽固定



采用弹簧压着固定

铁氧体作为一种多功能磁性材料,几乎可以制作任何感性器件,作为电阻率高,损耗很小,价格便宜等优势,在高频磁性元件占有很大份额,但是还是很多不足的地方,如居里温度低及负载易饱和等缺点限制其应用范围,但是近年来还是被金属磁粉芯取代一部分。严格意义上说,金属磁粉芯只能制作电感类器件,金属磁粉芯和铁氧体制作的电感的区别:

(1) 金属磁粉芯 B_s 较高,磁导率低,同时偏磁曲线具有准线性的特征,可以承受更大的直流偏量。

(2) 金属磁粉芯的均匀分布气隙的特点,可以避免由于开气隙造成的局域损耗。

(3) 金属磁粉芯比铁氧体对于环境变化(指温度变化和机械冲击)反应迟钝,这是由于金属材料 and 陶瓷材料本身的特性决定。前者居里温度高,在工作范围内,磁导率变化极小,可靠性要优于后者。金属磁粉芯的工作温度范围比铁氧体宽,有些材料可以在 300°C 工作。

(4) 金属磁粉芯设计方法相对简单,在设计功率扼流圈时,几乎不必测试动态指标以验证设计。铁氧体由于材

料稳定性差,需要针对不同情况进行区别设计,而且需要做动态测试。

结论

通过对于铁氧体功率电感分段气隙对电感、负载能力及温升说明,以及铁氧体间隙磁心制造工艺说明,不难得出分段气隙对电感有诸多优点和应用范围。同时还需借鉴同时有益新产品和新工艺,多参加一些同行技术研讨会和材料技术学习会。只有在实践不断积累和总结,将理论知识更加丰富结合起来,同时将实际制造工艺紧密结合,一定能设计出性价比优益的产品出来。

参考文献

- 高频电感气隙布置与绕组损耗的分析 周洁敏等
功率变换器磁技术分析、测试与应用 陈为博士等
百度文献等

上接147页

同发展。网格管理规范化实行精细化运作与管理。统一的信息指挥中心与一线的队伍联巡联查联处,不仅强化了各部门在城市管理目标、措施、队伍建设等全方位、多层次的协同,确保合理分工和无缝衔接,更强化了城市管理在有效发现、问题处置和信息反馈上的敏捷度,并注重在管理的规范化和精细化上下功夫。通过制定网格化综合管理通用城市巡查管理标准,明确城市管理和服务内容方面的责任主体、专业力量和协管力量,明确现场简易处置流程和相关法律依据,指导现场简易操作。

网格化综合管理涵盖整个辖区范围内各类城市综合管理事务、市民服务热线事项、治安联防联巡、突发事件应急处置、信访办理及组团式服务等社区服务管理事项。网格化管理到网格化治理的嬗变是公共行政、公共管理到公共治理演进的必然历史逻辑,能开创治理新局面,有力地推进我国治理现代化,网格化治理是一个全新的理论,治理过程更是复杂的,将涉及到政治文化、公民自治、社会组织的发育程度与市场的成熟程度等。网格化治理取代网格化管理也需要一个相当长的时间。从实践层面不断完善网格化治理,将治理理念扎入实践土壤,将网格化治理体

系与原有的组织体系有机结合,以网格化治理的制度设计最大限度地推进新一轮行政体制改革,深入有效地将网格化治理从城市治理推向农村治理,网格化治理成为整个现代化治理的必然方式。

6 结束语

总之,网格化管理对我国的社会治理和公共管理在制度建设、组织结构、管理方式、工作机制与评价体系等方面做出了有益的探索和大大的创新,能实现城市的精细、规范、高效管理,能推进我国的治理现代化建设。网格化管理可以将过去传统、被动、定性、分散的管理,转变为今天现代、主动、定性与定量相结合、分散与系统相统一的管理。充分发挥各自治理优势,结合实际,推进符合当地实情,全面构建“全社会参与、全方位覆盖、全天候运行、全区域平安”的网格化管理服务体系,为建设富强美丽幸福新城市作出新的贡献。网格化管理服务是一项系统工程,为民服务“零距离”的实现需要在管理服务中不断创新载体,拓宽渠道,不断完善和提升网格功能,才能真正实现社区管理在“网”上提速,公共服务在“格”中提效。