

对应用于光伏逆变器组件中高频磁件 独特性能的分析

Corresponding photovoltaic inverter used in high frequency magnetic piece unique properties in the component analysis

叶云燕

摘要：本文将对新型高频磁件功率损耗与电磁特性这两个方面作分析说明。

关键词：高频磁件，功率损耗，电磁特性

Abstract: this article will be on the new type of high frequency magnetic power loss and the analysis of the electromagnetic characteristics of these two aspects.

Keywords: high frequency magnetic parts, Power loss, Magnetic properties

中图分类号：TM27 文献标识码：A 文章编号：1606-7517(2016)05-4-147

众所周知，新型高频磁件在新能源风光能逆变器与开关电源中的组件中特性好、省材料、体积小、成本低，因而获得广泛应用。为了拓展该高频磁件在各个领域中所需装置中的应用，故在此研发应用中，必须对其高频磁件独特功率损耗与电磁特性有一个清晰了解。据此，本文将对新型高频磁件功率损耗与电磁特性这两个方面作分析说明。

1 新型高频磁件的功率损耗特性

理想变压器的假设条件是：磁芯材料有足够大的磁导率，其值可等效地看作是无限大；励磁电流足够小，其值可等效地看作是零；磁芯的任何损耗都小到可以忽略；线圈绕组的电阻小到可以忽略；所有绕组之间的磁通都是完全耦合，没有磁通“泄漏”；绕组间的电容小到可以忽略。但实际变压器不是这样的，具体如下：

* 励磁电流

由于磁芯材料的相对磁导率 ur 值是有限的，则励磁电流 im 将不等于零，在原边绕组中就有励磁电流存在，励磁电流的大小及它引起的损耗与原边绕组的匝数成反比。

* 磁芯损耗

磁芯损耗包含磁滞损耗、涡流损耗和剩余损耗，它与磁芯的材质及工作条件有关：磁滞损耗与磁滞回线所围成的闭合曲线面积成正比，闭合曲线面积和工作频率成正比。

由法拉第定律可知，当磁芯中磁通交变时，磁芯中亦

会产生感应电动势，这个感应电动势会在磁芯材料上产生环形电流。这个环形电流称为涡流，涡流在磁芯的有限上引起功率损耗称为涡流损耗。涡流损耗和频率的平方成正比。

剩余损耗是由于磁化弛豫效应或磁性滞后效应引起的损耗，是磁滞损耗和涡流损耗以外的磁芯损耗。为了减小磁芯损耗，可用高电阻率的磁性材料（如铁氧体磁性材料）或用能减少涡流电流的磁芯结构。

* 漏磁通

磁通不可能完全耦合所有的线圈，即存在漏磁通的影响。漏磁通主要分为扩散磁通和旁路磁通，漏磁通一旦深入线圈将引起涡流损耗，同时影响线圈的电感量。漏磁通的大小与磁件的磁芯几何结构、线圈绕组的布置方式、线圈的绕制工艺和气隙的设置有关。

* 分布电容

在变压器的绕组中存在寄生电容。最值得注意的是线圈导线和变压器磁芯之间以及各绕组间的寄生电容。电容量的大小与绕组的几何形状、磁芯的介电常数、变压器的封装材料及线圈的匝数有关。原、副边电容效应是由线圈匝间的电容引起的，尽管匝和匝之间的电容通常是很小的，因电容串联之和要比并联的小，在分析变压器电路时每一个理想绕组两端应并联一个集中的电容，每两个理想绕组间应串联一个集中电容。

* 绕组电阻

用来绕制线圈的导线，其电阻不为零，因而每个绕组上都会产生电阻损耗。绕组的等效电阻与开关频率、绕组的布置方式、导线截面积及导线长度等有关。

* 趋肤效应

当导线流过交变电流时，在导线内部将产生与电流方向相反的电动势。由于导线中心较导线表面的磁链大，在导线中心处产生的电动势就比在导线表面附近处产生的电动势大。这样作用的结果，电流在表面流动，中心则无电流，这种由导线本身电流产生之磁场使导线电流在表面流动，就是“趋肤效应”。电流只在导线的表层流过，其表层的厚度称为“穿透厚度或趋肤深度 Δ ”，它和工作频率的平方根成反比。

由于趋肤效应使导线有效导电面积减小，电流密度有所提高，引起铜耗增加，效率下降。因此工作于高频的变压器就需考虑这一影响。频率增加，穿透厚度减小。在保持电流不变的情况下相当于电流密度增加，铜耗显著增大，使变压器温升增高。在高频变压器中的单根导线，一般线径不超过穿透厚度的2到3倍为宜，线径过大等于浪费铜线。采用绞合线，可较有效地降低电流密度。

* 邻近效应

相邻导线流过高频电流时，由于磁电作用使电流偏向一边流动。当一些导线被缠绕成一层或几层匝时，磁动势随绕组的正数线性增加，产生涡流，使电流集中在绕组交界面间流动，这种现象就是邻近效应。邻近效应随绕组层数增加而呈指数规律增加。因此，邻近效应影响远比趋肤效应影响大。弱邻近效应比减弱趋肤效应作用大。

理论和实践都说明，设计工频变压器时使用的简单方法，对设计高频变压器不适用。在磁芯窗口允许情况下，应尽可能使用直径大的导线来绕制变压器。在高额应用中常导致错误，使用直径太大的导线，则会使层数增加，叠加和弯曲次数增多，从而加大了邻近效应和趋肤效应，就会使损耗增加。因此太大的线径和太小的线径一样低效。显然由于邻近效应和趋肤效应的缘故，绕制高频电源变压器用的导线或薄铜片都有个最佳值。

2 高频磁件电磁特性分析

* 内自感比较

旁路磁通的作用是产生内自感磁链，同时其穿越铁心柱间的线圈窗口，将在线圈上感应出大的涡流和损耗。内自

感与内自感磁链成正比，而内自感磁链与绕组窗口旁路磁势以及其所链的匝数有关。通过一些合理的假设，可以对旁路磁通建立数学模型进行分析，得到 UUI 与 EE 磁芯结构绕组窗口旁路磁势以及所链匝数理论分布图，如图 1 所示。

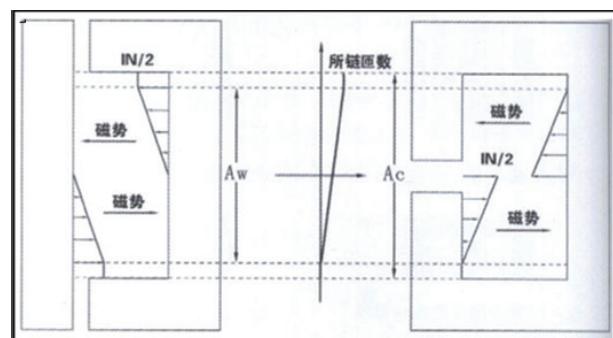


图 1 UUI 与 EE 磁芯结构绕组窗口旁路磁势以及所链匝数理论分布图

其 Aw 表示绕组高度， Ac 为磁芯窗口高度。从图 1 中可以看出两者磁势最大值虽然相同，都是安匝的一半，但其分布位置不同。故导致内自感不同。通过 Mathcad 数学软件分别计算 UUI 型和 EE 型结构的内自感，得到 UUI 型电感器和 EE 型电感器的内自感与绕组高度的关系如图 2 两磁芯结构的内自感与绕组高度关系图所示。

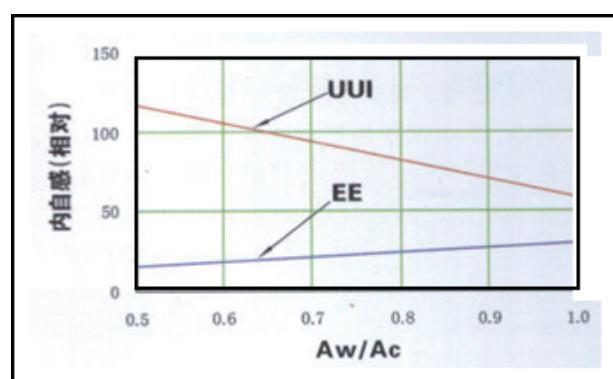


图 2(a) UUI 结构与 EE 结构的内自感随绕组增加而有所不同

从图 2(a) 可知，UUI 结构的内自感随着绕组高度的增大而减小，相反的，EE 结构的内自感是随着绕组高度的增大而增大，但 UUI 结构比 EE 结构磁芯始终具有更大的内自感。这个从图 2(b) 中更能看出，当绕组布满整个窗口（即 $Aw/Ac=1$ ）时，UUI 结构比 EE 结构的内自感大一倍；同时绕组高度越小（即 Aw/Ac 越小），UUI 比 EE 结构内自感的增加越大，在绕组高度是磁芯窗口高度的一半时，UUI 结构的内自感已达到 EE 结构的内自感的八倍。

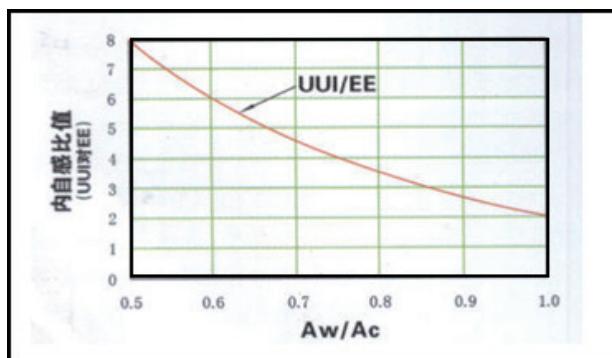


图 2(b) 两磁芯结构内自感比值与绕组高度的关系示意图

* 磁通密度分布

磁通中密度分布不均匀会导致电感较易饱和，同时也会引起损耗增加，利用有限元电磁场分析软件 Maxwell—2D 分别对 UUI 电感器和 EE 电感器进行仿真比较，得到图 3 所示的图 2：磁通密度分布图（标号为 1, 2, 3 三条线上

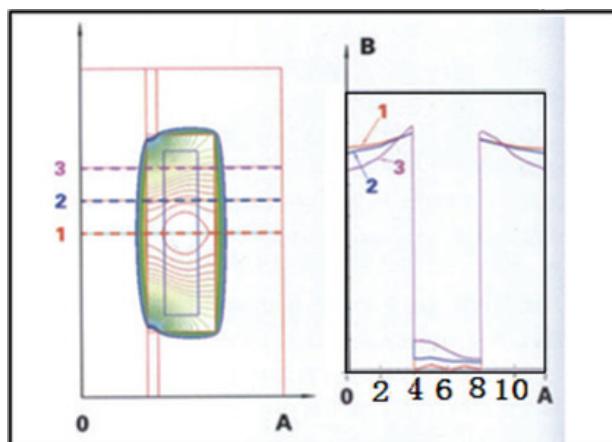


图 3(a) UUI 结构的磁通密度分布图

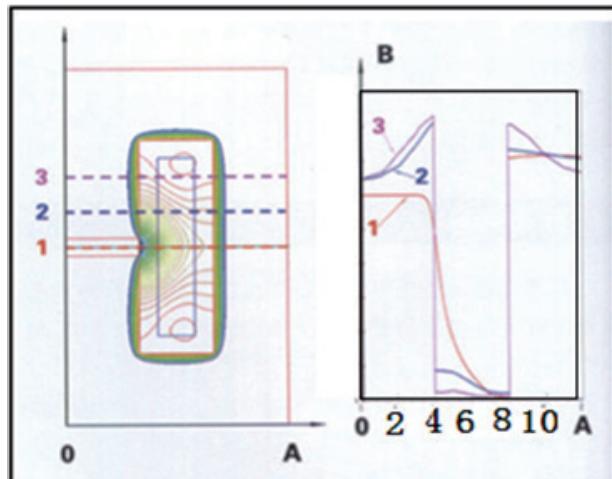


图 3(b) EE 结构的磁通密度分布图

磁通密度分布图），其图 3(a) 为 UUI 结构的磁通密度分布图，图 3 (b) 为 EE 结构的磁通密度分布图。

从图 3 标号 2 和 3 这两条线上的磁通密度分布图中可以很清楚的看到，EE 结构磁芯小的磁通密度增加的幅度比 UUI 结构要大，所以 UUI 结构比 EE 结构的磁通密度分布更均匀。

* 抗饱和能力

EE 型磁件由于边柱没有气隙，边柱磁回路的磁阻一般很小，在 1 匝原边电流下容易饱和。UUI 型磁件由于边柱有气隙，且气隙大小与 EE 型磁件气隙大小一样，因而在 1 匝原边电流下的抗饱和能力强。

* 分数匝影响

EE 型磁件由于边柱没有气隙，边柱磁回路的磁阻一般很小，0.5 匝原边会增大变压器的漏感，降低原副边的耦合系数；UUI 型磁件由于边柱有较大的气隙，0.5 匝原边对变压器的漏感和原副边的耦合系数影响很小。其图 4 为分数匝影响示意图。

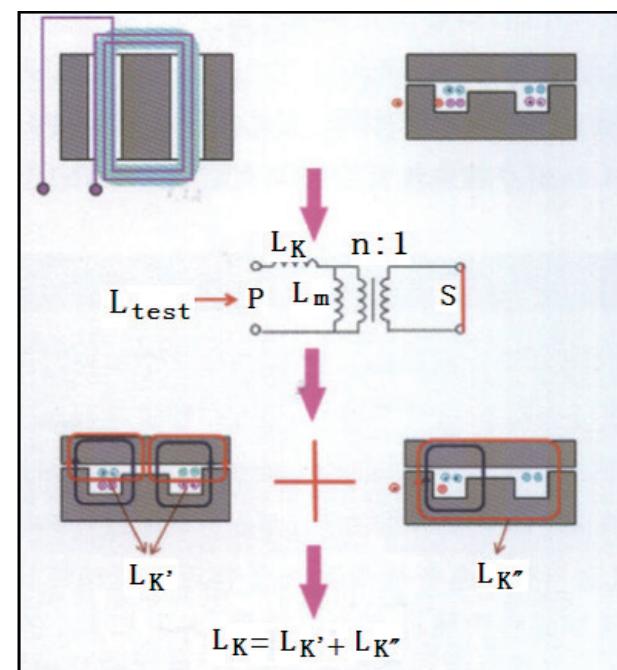


图 4 分数匝影响示意图

* 扩散磁场

EE 型磁芯的上下两块磁芯的边柱之间，不设气隙时无磁压差，因而周围基本没有泄露磁场；设气隙时有磁压差，因而周围存在较大泄露磁场，见图型 5EE 和 UUI 型磁件远场影响对比图，具体为 5(a) 和图 5(c)。UUI 型磁芯由于 I 条

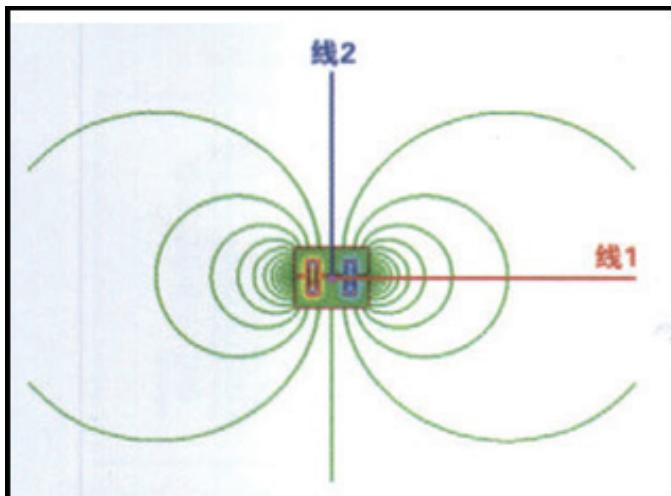


图 5(a) EE 型磁件远场模拟图

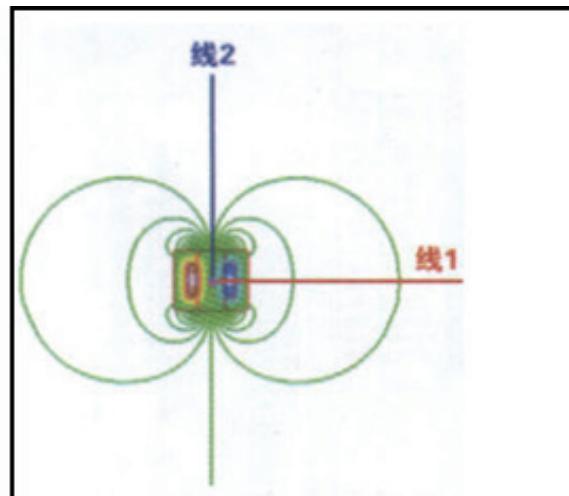


图 5(b) uui 型磁件远场模拟图

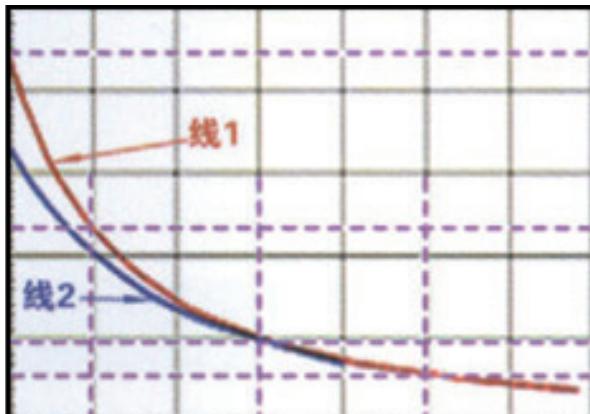


图 5(c) EE 型磁件远场强度曲线

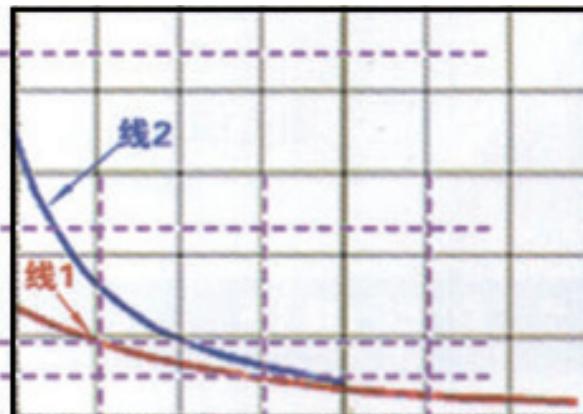


图 5(d) uui 型磁件远场强度曲线

左右两边的气隙磁压抵消，因而磁场泄露主要在气隙附近，在远处磁场小于此型边柱设隙磁芯，见图 5(b) 和图 5(d)。

EE 型磁件中柱所设气隙被绕组包围，磁场泄露较小；而 UUI 磁件的气隙分布在侧边，其气隙端面存在磁压降，因此气隙周围会有磁场泄露，这是 uui 型磁件在设计时需要特别注意的地方。其扩散范围小，局限于气隙附近。

* 高频热效应

UUI 的磁力线分布，由于两个气隙的磁势方向是左右相反的，从大范围看，两个磁势是抵消的，因此其扩散磁通只局限在气隙附近，不会形成大范围的扩散影响。实验表明，当距离超过 5 倍气隙量时，扩散磁场已经很小，影响可以忽略。在设计与使用 UUI 磁件时，气隙附近 5 倍气隙距离内不应有导电体，否则将在该导电体内产生高频热效应。