

铁氧体磁心结构对其功耗的影响

Effects of Ferrite Core Construction on Its Power Loss

陈仁小 供稿

摘要：文章以实验检测数据研究分析铁氧体磁心的结构（不同形状或相同形状不同尺寸）对其功率损耗的影响，得出了一些规律性的结果。

关键词：铁氧体磁心，功率损耗

中图分类号：TM4

文献标识码：B

文章编号：1606-7517(2014)06-2-129

1 引言

磁心器件采用功率铁氧体磁心时，对其功率损耗密度的要求是其一项非常重要的技术性能指标，也自然成为功率磁性器件设计中的主要考虑参数。例如设计功率变压器，必须考虑和选择磁心的磁感应强度 B_s 、外加磁场的大小、绕组的电阻、漏感、散热、绕组与磁心之间以及绕组与绕组之间绝缘空间，还有变压器体积、重量与成本等等。其中对磁心的设计、选择是最重要的环节。因为磁心的材质、磁心的形状、磁心的具体尺寸等等与磁心的具体性能参数，既有密切的关联，但有时又会出现矛盾。例如，在具体的设计施工中，为了考虑工艺上操作的方便高效，设计与工艺技术人员会提出修改磁心的某些尺寸或形状，如希望装配便捷，要求增大磁心的窗口、增加磁心的内深，减小磁心中心柱尺寸等

等。这些改变了磁心有效磁路参数，必须会影响到磁心的整个磁性能参数。最终则影响到变压器的效率、温升等。通过磁心形状或者同尺寸的改变测试分析，可以得到磁心结构变化对其功耗影响的相关规律，例如，磁路屏蔽效果好的磁心其功耗就小；在同样形状不同尺寸的磁心因其有效磁路常数不同，在同一条件下测得的功耗数据也有差异。

2 测试分析

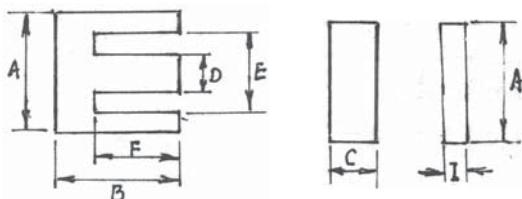
2.1 材料与磁心选择

选用相当于 PC40 材料性能的 MnZn 铁氧体材料，用 1#、2# 两付模具压制而成 EI40 型磁心，并在同一台氮气炉窑内同时烧结，然后磨削加工成不同的尺寸后，在同一条件下测试它们的功耗，测试所得参数见表 1。

表1 同一材料不同尺寸EI40磁心功耗测试参数对照表

编号	尺寸							有效磁路		重量 (g)	功耗 100kHz/200mT/100
	A	B	C	D	E	F	I	C_1 (mm ⁻¹)	A_e (mm ²)		
1	40.2	27.2	11.65	11.8	27.8	20.2	7.5	0.515	149	77.0	60
2	40.2	27.2	11.65	11.8	27.8	21.5	7.5	0.544	145	78.6	58
3	40.2	27.2	11.65	11.8	27.8	20.5	7.5	0.530	145	76.6	56
4	40.2	27.2	11.65	11.8	27.0	20.2	7.5	0.502	152	76.5	62
5	40.2	27.2	11.4	11.4	27.8	20.2	7.5	0.534	144	77.0	59

注： EI40 磁心尺寸见下图； 功耗测试用仪表为 JP258



从表 1 可以看出，对于同样形状的磁心，如其窗口增大、中柱减小、深度增加则都将会使功耗增大。

选择以上同样材质、同一批号，但不同形状的磁心同时在同一台氮窑内一起烧结，并在相同条件下检测其功耗，结果列于表 2。

由表 2 可见，同材质不同形状的磁心，其功耗是不相同的，表中所列者为 EP 型功耗最小。

表 2 同种材质不同形状磁心的功耗测试结果对照表

磁心形状	重量(g)	功耗(mw/g) @100kHz/200mT/100	
		C ₁	A _e
环形	8.5	75	
EE16	4	80	
EP13	5.1	55	
EI40	60	87	

注：测试用仪表为 JP2581 功耗测试仪

飞利浦公司产品目录中用同种材料 3c85（注，其技术性能指标相当于 pc40）制作的不同形状磁心的功耗检测结果对照列于表 3。

表3 飞利浦公司产品目录中提供的不同形状磁心
损耗测试结果对照表

磁心形状	有效磁路常数			重量 (g)	功耗(mw/g)最大值 @100kHz/100mT/100
	C ₁ (mm ⁻¹)	A _e (mm ²)	L _e (mm)		
EE20/15/5	1.37	42.8	31.2	4	62.5
EE42/21/15	0.548	97.0	178	44	72.7
EP13	1.24	24.2	19.5	2.4	37.5
P18/11	0.56	26.7	47.5	7	32.9
PT18/11	0.67	27.2	40.6	6	33.3

（摘自飞利浦公司产品目录）

从表 2、表 3 中可以看出，屏蔽效果最好的罐形磁心（如表中的 P18/11、PT18/11）之功耗最小，EP 型磁心次之，E 型则最大。而且，同样形状的 E 型磁心，小尺寸磁心比大尺寸磁心的功耗密度小。

2.2 理论分析

a. 影响磁心功耗的材质因素

磁性材料的损耗，在弱磁场条件下用损耗来表示；在强磁场条件下用功率损耗密度来表示。磁性材料的总损耗主要有三种损耗组成，即磁滞损耗、涡流损耗和剩余损耗，一般以如下表达式阐述：

$$W = tg\delta m / \mu = k_1 \hat{B} + k_2 f + k_3 \quad (1)$$

式中，系数 K₁ 和 K₃ 与材料特性有关，K₂ 除了与材料特性有关外，还与磁心的形状和尺寸有关。因此，虽然是用同

一种材料，但由于其形状和尺寸不同，其损耗（功率损耗密度）是不一样的。

b. 磁心的有效磁路常数对功耗的影响

磁心的有效磁路常数也就是磁心的有效尺寸，通常包括 C₁、L_e、A_e 和 V_e。由于在外加磁场时，磁心各部位的磁化状态是不均匀的，而且磁心的形状越复杂，磁心各部位磁化的状态之差异越大，所以，磁心的有效磁路常数和磁心的实际尺寸并不是一致的，而且与磁心形状有关。鉴于此，用磁心的有效磁路常数来表述或计算磁心的性能参数具有更实际的意义。

计算磁心有效磁路常数的方法是沿磁路积分：

$$NI = \oint_l \vec{H} \cdot d\vec{l} = \frac{\phi}{\mu_0} \oint_l \frac{dl}{\mu A} \quad (2)$$

$$\phi = \frac{\mu_0 NI}{\oint_l \frac{dl}{\mu A}}$$

式中，右侧分母的线积分表示磁路的磁阻，μ 为磁导率。由于在大多数情况下，磁心的磁感应强度比较低，所以，可以忽略磁导率随磁感应 μ 已经被假定为常数，所以，磁路的磁阻可以表述为：1/μ I/A；而相应的理想磁路的等效磁阻为 L_e/μA_e；(L_e/A_e = L/A) 被称为磁心的尺寸因子 C₁。为了求得 L_e 和 A_e 的表达式，通常还要定义另一个磁心的尺寸因子 C₂，令 C₂ = L/A_e，C₂ 的计算方法也是沿着磁路积分，求出面积为 A 的磁路，每磁化一周时，其磁滞损耗为：

$$W_h = \frac{8}{3} \mu_0 a_{02} \phi \hat{H}^3 Adl = \frac{8}{3} \frac{a_{02}}{\mu_0^2 \mu^3} \phi \hat{B}^3 Adl$$

$$= \frac{8}{3} \frac{a_{02}}{\mu_0^2 \mu^3} \phi \frac{\hat{d}l}{A_e} = \frac{8}{3} \frac{a_{02}}{\mu_0^2 \mu^3} \frac{\hat{d}l}{A_e^2} l_e \quad (3)$$

所以，

$$\frac{l_e}{A_e^2} = \sum \frac{1}{A^2} \quad (4)$$

根据 C₁、C₂ 的定义，可以得到下列关系式：

$$A_e = \frac{\sum L}{\sum \frac{L}{A^2}} = \frac{C_2}{C_1} \quad (5)$$

$$L_e = \frac{\left(\sum \frac{L}{A} \right)^2}{\sum \frac{L}{A^2}} = \frac{C_1^2}{C_1} \quad (6)$$

$$V_e = A_e L_e = (\Sigma L / A)^3 (\Sigma L / A)^2 = C_1^3 C_2^2 \quad (7)$$

通常可以采用式(5)、式(6)、式(7)计算任何形式磁心的有效磁路常数。

综上表达式及式(3)可见，磁心的功率损耗与磁心的形状、尺寸对有效磁路常数有密切的关系。

3 小结

从文章所做的实验分析中，可以得出如下结果；磁心的功率损耗与磁心的形状及尺寸有密切的关系，磁心结构具有良好屏蔽效果的磁心（如罐型）损耗就小；同样形状

的磁心，其尺寸不同功率损耗密度也不同，单纯增大窗口尺寸和增加深度尺寸，减小中心柱尺寸都将使磁心的功耗密度增大。另外，我们还注意到，同样形状、不同尺寸的磁心在相同工艺条件下烧结，其功耗密度也不一样，一般情况下是小尺寸磁心的功耗密度要小一些。

参考资料

- [1] 飞利浦公司产品目录
- [2] 新编电子变压器设计手册 王全保主编
- [3] Electronic Transformer Times 2003年8月刊