

节能灯电子镇流器铁氧体磁芯的 磁性参量与应用

华东计算所华浦电子元件厂 须 栋

摘要 本文就节能灯电子镇流器铁氧体磁芯的几个磁性参量意义和实际应用作了介绍和讨论,给出了一些定性参量的磁芯选择、磁芯测量的方法和建议,以供电子镇流器研制和磁芯材料研制的工程技术人员参考。

引言

自能源危机以来,世界各国都开始重视节约能源,节能灯新光源作为节约照明电能一种有效方法已为人们所共识。铁氧体磁芯为节能灯电子镇流器必备元件,铁氧体磁芯的磁性参量概念及应用问题是工程技术人员必须了解的知识。

一、磁芯的磁导率与电感系数

磁导率有材料起始磁导率和有效磁导率两种,在磁学中收材料磁导率和器件磁导率。

起始磁导率 μ_i 的定义是:

$$\mu_i = \lim_{H \rightarrow 0} \frac{\beta}{H} (\text{emu制}), \mu_i = \frac{1}{\mu_0} \lim_{H \rightarrow 0} \frac{\beta}{H} (\text{SI制})$$

其物理意义是物质在无外磁场情况下自发磁化程度。使用磁芯的厂家通常指的是有效磁导率(或叫器件磁导率) μ_e , 计算公式如下:

$$\begin{aligned} \mu_e &= \frac{L_e}{N^2 S_e} L_x (\text{emu制}) \quad \mu_e \\ &= \frac{L_e}{\mu_0 N^2 S_e} L_x (\text{SI制}) \end{aligned}$$

这里 L_e 为有效磁路长度, N 为线圈匝数, S_e 为有效截面积, L_x 为电桥测得的电感, μ_0 为空气磁导率。

其意义是磁芯由不同的材料和不同的形状构成闭合磁路(也可能包括气隙)的器件在杂散磁通可以忽略时的电感值所确定的磁导率。

材料磁导率和器件磁导率完全是两个概念,只有截面为园形的磁环体(假设磁性材料全部填充)均匀绕线圈测得的电感值,用有效磁导率公式看出来的数值才接近磁环体材料的磁导率。

工业上用铁氧体磁芯,通常以磁芯的电感系数来表示,电感系数是单位匝数所引起磁芯线圈的自感。 $AL = L / N^2$, 通常用100匝线圈测量磁芯的电感值进行换算就是了,其单位为 nH / N^2 。例如 EE19、100匝电感值为 8mH , 则其电感系数为 $800\text{nH} / N^2$ 。

实际应用中,还是以电感值范围最为方便。我们厂为了和电子镇流器生产单位配合,EE、EI、EC、PQ、RM型等通常以100匝线圈电感值分档,例如, EI28磁芯100匝线圈电感值分档为 17-21.9MH, 22-23.9MH, 24-26.9MH, 27-30MH, 30MH 在上。 Φ 、10、 Φ 18.5、 Φ 25等磁环以单匝电感值分档。例如 Φ 10 * 6 * 5 单匝电感值分档 1.60-1.79 μH , 1.80-1.99, 2.0-2.19, 2.2-2.39 μH , 2.4-2.60 μH , 单匝

电感值小于 $1.60\mu\text{H}$ 和大于 $2.60\mu\text{H}$ 者就不算正品了。

在使用过程中，根据有效磁导率公式可知电感值 L_x 与线圈匝数平方 N_2 成正比，就可以算得需用那一档磁芯，或需绕多少匝线圈了。

这里必须提醒一下，电子镇流器用磁芯，其材料必须是高 B_s (B_s 在 $4500\text{--}5000\text{Gs}$) 居里温度在 180°C 以上的锰锌铁氧体材料。目前普遍采用的就是这种材料 (即 $\mu_i = 2000\text{--}3000$, $B_s = 4500\text{--}5000\text{Gs}$, $T_c = 180\text{--}230^\circ\text{C}$ ，但是有些贸易商对磁性材料不了解，或是只顾牟取利润，不负责地将 μ_i 大于 5000 ， T_c 为 130°C 的材料做成的磁芯，其实际 μ_i 值可能也是 $2000\text{--}3000$ ，供给电子镇流器生产厂家，这些磁芯不能正常工作。因为 $\mu_i = 5000$ 材料可制成 $\mu_i = 2000\text{--}3000$ 的磁芯，电感值好象差不多，但其 B_s 只有 $3500\text{--}4000\text{Gs}$ ， $T_c = 130^\circ\text{C}$ ，同样尺寸下功率只有高 B_s 材料的 $1/2\text{--}2/3$ ，磁芯的居里温度又低，所以工作时检易饱和、发烫而失磁，还会进一步烧坏电路。

由此可见磁芯选择必须要求两个指标：
1. 磁芯所用的磁性材料，如：磁导率为 2000 ， B_s 为 5000Gs ， $T_c = 200^\circ\text{C}$ (TDK 公司 H7C1 材料指标为 $\mu_i = 2500$ ， $B_s = 5100\text{Gs}$ ， $T_c = 230^\circ\text{C}$)。2. 磁芯绕以一定匝数线圈的电感范围，例如 EI28 磁芯 100 匝电感值 $22\text{--}24\text{mH}$ 。或者用电感系数，例如 EE19， $800\text{nH}/N \pm 20\%$ 。

二、饱和磁通密率 B_s 与磁芯饱和

饱和磁通密度 B_s 的定义是物质在外磁场作用下磁化到饱和时的磁感应强度，单位面积的磁通量。用冲击检流计或 B-H 测量仪测得。但是许多使用磁芯的单位没有这种仪器。在这里我们介绍一种简易的比较鉴定方法，用来鉴别高 B_s 材料与低 B_s 材料。

依据是由于高 B_s 材料 B_s 高， H_c 也相应大一些，不易磁化到饱和的特点。再根据实测各种磁芯的 $\mu_e\text{--}I$ 曲线特性，积累的经验 and 计算结果用 LA/LO 表示 B_s 高低的比较方法。

L_0 为磁芯直流电流为零时的 100 匝线圈的电感值， LA 是电流为 A 时 100 匝线圈时的电感值。 LA/L_0 当电流 A 值加大时，趋于零，磁芯完全饱和。

当 $LA/L_0 > 0.85$ 满足设计要求时， A 值越大， B_s 越高。每次是固定线圈，固定电流值 A ，确保磁芯线圈 $LA/L_0 > 0.85$ ，就可以确保磁芯所用材料的 B_s 值符合要求。

电子镇流器用铁氧体磁芯，要求铁氧体磁性材料 B_s 高，已成为工程技术人员的共识了。但是用于功率类的锰锌铁氧体其 B_s 为 5500GS 左右，兼顾其它磁性参量因素，日本 TDK 公司工业用锰锌铁氧体 H7C1，H7C4 材料的 B_s 也只有 5100GS ，我国生产的工业用锰锌铁氧体高 B_s 材料的 B_s 值一般在 $4800\text{--}5000\text{GS}$ 水平。

根据材料的性能和磁芯的尺寸，用安培磁环路定律 $\oint Hdl = NI$ ， $NI = B_s L_e / \mu_e$ 可以算出磁芯的最大安匝数 (饱和安匝数)。在应用中接近或超过最大安匝数就要用磁路隙隙来避免磁芯饱和。目前许多工程技术人员对 E 形磁芯采用双边脚垫隙的方法来解决磁芯饱和问题，这样会带来许多问题，一是器件电感值不稳定，一振动电感值就变了，给电路设计和电子镇流器生产带来许多麻烦。二是器件产生的漏磁，电磁干扰会影响其他电子元件，而且是国际上 FCC 抗电磁干扰不容许的。我们根据磁路设计原理，配合电子镇流器研制，采用 E 形磁芯中脚磨隙来解决磁芯饱和问题，效果特别好，器件电感值稳定了，磁芯边脚漏磁也解决了，提高了电路的稳定性。

三、磁芯损耗与电子镇流器温升

磁性材料损耗有磁滞损耗，涡流损耗，剩余损耗和后效损耗。在高频中强磁场下主要有磁滞损耗和涡流损耗。软磁铁氧体磁性材料虽有高电阻率和狭长的磁滞回线，可以使得涡流损耗，磁滞损耗都较小，但是磁芯生产所用原材料的纯度和磁芯生产设备工艺条件都会直接影响磁芯的电阻率和磁滞回线（即漏流损耗和磁滞损耗），在我国磁芯所用原材料纯度和生产工艺设备都较落后。所以，国产磁芯普遍损耗高。

在磁芯应用中以 $P-T$ 曲线代表磁芯的损耗曲线特性。 P 为磁芯损耗以 mw/g 计值， T 为磁芯温度，这条曲线在实际应用中尤为重要。

为了缩小磁芯器件的体积，往往采用尺寸的铁氧体磁芯。磁芯几乎一直工作在接近饱和状态，工作温度在 $70^{\circ}\text{C}-100^{\circ}\text{C}$ 范围。由此可见，电子镇流器用磁芯必须采用高 B_s ，低损耗，高居里温度，负温度系数功耗（在磁芯温度升高时，功耗降低）的磁性材料。我三调整材料生产工艺，生产这种材料的磁芯，而且使 $P-T$ 曲线在 $60^{\circ}\text{C}-100^{\circ}\text{C}$ 时为低谷，即材料在 $60^{\circ}\text{C}-100^{\circ}\text{C}$ 范围内损耗最低。这样一来，磁芯刚开始温升速度略高一些，但到 $60^{\circ}\text{C}-80^{\circ}\text{C}$ 时，磁芯速度就降下来了，器件就不会恶性循环了，加上材料居里温度高，即使磁芯温度升到 150°C 时，电子镇流器仍照样工作。当然磁芯尺寸选择大一些，可以降低电子镇流的温升。

另外值得注意的是：电子镇流器与开关电源有明显的区别，电子镇流器是连续工作的，而开关电源是开关状态工作的。电子镇流器工作温度比开关电源高。所以必须选择功耗低谷在器件工作温度的磁性材料制作磁芯，绝对不能选择正功耗磁性材料（随磁性温度升高，材料功耗上升的磁性材料）制作磁芯。否则会造成器件恶性循环以致烧坏其

它电路。同时还必须知道在开关电源中所用功率的磁芯尺寸，在同一功率的电子镇流器中就不能使用，需要适当加大或磁中开隙。

四、居里温度与磁芯工作温度范围

居里温度 T_c 是指铁氧体磁性材料由亚铁磁状态转变不顺磁状态的临界温度，即磁芯失去磁性的温度。居里温度不同于前面所讲到几个磁性参量，它是磁性材料的本征参量，它与材料的化学成分（配方）、微观的晶体结构（锰锌铁氧体为尖晶石晶体结构）有关，与加工工艺中形成的宏观结构（如晶体大小，完整性、密度等）无关。所以实际应用中，测量磁芯的居里温度呆以基本确定是那一类配方的材料。 T_c 高上些，只要保证材料密度等因素正常，其 B_s 也相应高一些。

T_c 实际测量方法是：将绕成线圈的磁芯悬挂在盛有硅油的烧杯里，测得线圈的电感值，烧杯通过密封电炉逐渐加热升温，当温度升到某一温度时，磁芯线圈电感值迅速下降为零时，其温度值为材料的居里温度，温度可用于水银玻璃温度计显示测量，温度计应悬挂着尽量靠近被测磁芯。

将逐点测得的电感值换成 μ_e ，就得到磁芯的磁导率温度特性曲线（ μ_e-T 曲线）。 μ_e-T 曲线平坦，磁芯器件电感值稳定，工作温度范围宽，电路设计容易。 T_c 高磁芯保险工作温度范围宽，不易失磁而烧坏电路其它元件。

结论

以上是介绍和讨论一些电子镇流器铁氧体磁芯应用中最直接的磁性参量和磁芯器件应用问题。实际应用中还要知道其他磁性参量和有关磁学理论，具体应用问题（如磁隙尺寸计算，最佳安匝数等等）需要同时考虑各个磁性参量作用，待以后再和大家讨论。