

# 铁氧体材料的磁滞损耗特性

刘志存

(陕西师范大学 物理学与信息技术学院, 陕西 西安 710062)

**摘要:**对偏转磁芯所用的铁氧体材料的磁滞损耗特性进行了分析,介绍了磁滞回线测量的方法原理,由测试结果可计算出磁滞回线面积。得出磁滞损耗功率与频率、磁通密度及温度的经验公式。对磁滞回线中涡流的影响进行了讨论,指出目前应用的偏转频率下,在磁芯损耗中磁滞损耗占主要部分。

**关键词:**铁氧体材料;磁滞损耗;偏转磁芯

**中图分类号:**O482.52<sup>+</sup>3 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-274 X (2003)04-0394-03

铁氧体材料是一种重要的磁性材料,被广泛应用于显像管偏转系统。随着大屏幕高清晰度电视和高分辨率显示器的发展,偏转线圈的扫描频率越来越高。偏转频率的提高,使偏转系统发热和能量损耗增大,直接影响显像管性能,并导致图像质量不稳定<sup>[1]</sup>。因此,如何减小能量损耗是偏转系统设计中不可忽视的重要问题。

偏转系统的能量损耗除了偏转线圈的损耗以外,磁芯的损耗也很大。偏转磁芯中的能量损耗主要是所用铁氧体材料的磁滞损耗和涡流损耗,因此分析铁氧体的磁滞损耗特性,对分析如何降低系统能量损耗十分有意义。

本文通过测量铁氧体磁性材料的磁滞回线,对偏转系统的能量损耗进行了分析。

## 1 铁氧体材料的磁滞损耗特性

磁性材料在交变磁场中存在磁滞损耗,磁性材料的磁滞回线如图1所示。图1中虚线表示未磁化的磁性材料初次磁化时的B-H的关系,阴影部分的面积表示磁场交替变化时,磁场每变化一周的能量损耗密度(即单位体积内的能量损耗)。

磁性材料中的磁滞损耗密度可以表示为

$$W_h = \oint H dB. \quad (1)$$

当交变磁场的频率为  $f$  时,每秒钟的磁滞损耗

密度即磁滞损耗功率密度  $P_h$  可以表示为<sup>[2]</sup>

$$P_h = W_h f. \quad (2)$$

磁性材料中总的磁滞功率损耗  $P_h$  为磁滞功率损耗密度对体积的积分,

$$P_h = \iiint P_h dV. \quad (3)$$

从式(2)可以看出,偏转系统的磁滞损耗功率密度是与偏转频率成正比的。但是,受到涡流损耗的影响,所测得的磁滞回线的面积将随频率而变化,这样得到的偏转磁芯的功率损耗和频率将呈现非线性变化规律。

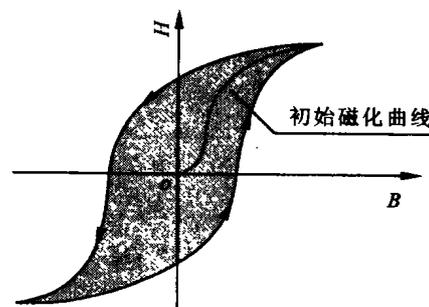


图1 初始磁化曲线和磁滞回线

Fig. 1 The hysteresis loop and initial magnetization curve  
偏转磁芯的涡流损耗  $P_e$  和频率的关系为

$$P_e = \zeta B_{max}^2 f^2, \quad (4)$$

则每一周的涡流损耗密度可以表示为

$$W_e = P_e / f = \zeta B_{max}^2 f. \quad (5)$$

在交流或动态情况下测得的磁滞回线将包括磁

收稿日期:2002-12-12

基金项目:教育部高等教育骨干教师科研基金资助项目(200065)

作者简介:刘志存(1962-),男,陕西韩城人,陕西师范大学讲师,从事材料物理学研究。

滞损耗和涡流损耗,磁滞回线中纯磁滞损耗或直流磁滞损耗部分与频率无关,而涡流损耗部分与频率成正比<sup>[3]</sup>。在交流情况下根据磁滞回线和式(2)计算得到的磁滞损耗  $P_h = P_{h(AC)}$  可以表示为

$$P_h = P_{h(DC)} + P_e = W_{h(DC)} + W_e f. \quad (6)$$

如果交变磁场的最大磁通密度为  $B_{max}$ ,则磁滞回线的面积也将随  $B_{max}$  的增大而增大。因此,在交流情况下的磁滞损耗功率密度与  $f, B_{max}$  的关系用以下的经验公式<sup>[4]</sup> 来表示

$$P_h = \eta f^n B_{max}^m, \quad (7)$$

式中:  $\eta$  为常数;  $n$  和  $m$  为经验值。下面将交流下测得的包含涡流损耗在内的磁滞损耗仍称为磁滞损耗,而将直流下测得的磁滞损耗称为直流磁滞损耗或纯磁滞损耗。

对偏转系统所用磁性材料的标准磁环进行磁滞回线测量,作为计算磁滞损耗的参考参数。在一定磁通密度下改变测量频率,可以得到磁滞损耗密度与频率的关系和指数  $n$ ,在一定频率下改变磁通密度,可以得到磁滞损耗密度与最大磁通密度的关系和指数  $m$ 。根据式(2)就可以得到在参考磁通密度和一定频率下的磁滞损耗功率密度,并由此可计算式(7)中的  $\eta$  值。

当式(7)中的各项系数都得到以后,可以将该公式应用于偏转系统磁滞损耗的估测。对于偏转系统,由于行偏转的频率远远高于帧偏转的频率,因此,对帧偏转的磁滞损耗可以忽略。如果采用计算和测量的方法可以确定行偏转情况下最大磁通密度  $B_{max}$  的分布,则应用式(7)就可以计算出偏转系统中磁滞损耗功率的分布,对整个偏转磁芯的体积进行积分,可得到整个偏转磁芯的磁滞损耗功率。

## 2 磁滞回线的测量

在由铁氧体材料制成的标准环(内径为  $D_1$ ,外径为  $D_2$ )上绕  $N_1$  匝初级线圈和  $N_2$  匝次级线圈,初级线圈加激励电流  $I$ ,在标准环中产生的磁场  $H$  可以表示为

$$H = N_1 I / (\pi D) = KI. \quad (8)$$

式中:  $K = N_1 / (\pi D)$  为比例系数;  $D = (D_1 + D_2) / 2$  为平均直径。当  $I$  为正弦交变电流时,在次级线圈中将感应感生电动势  $e_2$  和磁通  $\Phi_m$ 。它们也将是正弦变化的,只是相位不同,  $I$  和  $\Phi_m$  之间的相位差将反映  $H-B$  之间的相位差,即磁滞。信号作用一个周期形成一条磁滞回线。标准环中的  $B$  可以表示为

$$B = \frac{\Phi_m}{A} = \frac{1}{N_2 A} \int e_2 dt. \quad (9)$$

这里  $A$  为标准环的截面积。由式(8,9),根据测得的激励电流、感应电动势和标准环的几何参数,就可以得到  $B-H$  的关系,磁滞回线测试系统的原理图如图 2 所示。

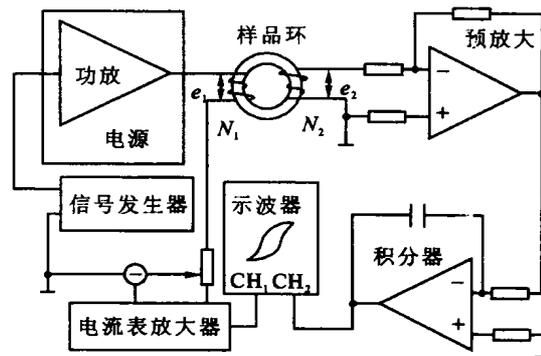


图 2 磁滞回线测量原理

Fig. 2 Principle of hysteresis loop measurement

该系统由信号发生器、功率放大器、预放大器、积分器、电流表和示波器几部分组成。

由信号发生器产生的正弦波信号,经功放放大以驱动初级线圈,使其达到一定的磁场强度,由电流表检测初级线圈激励电流,得到和磁场强度的关系;次级线圈产生的感应电压信号,经预放大器放大送积分器,从而得到和磁通密度的关系。

示波器上显示的仅仅是测量的电流和电压的相位滞后关系,如要得到  $B-H$  的关系还要进行定标转换。为了方便地得到磁滞回线面积,我们使用了 TH-MHC 型智能磁滞回线测试仪的数据采集系统,将样品尺寸和测量电路参数送入计算机进行计算,可以方便地画出磁滞回线并得到其面积。

## 3 测试结果与分析

从前面的分析中得知,直流下测出的值更准确地反映了纯磁滞损耗,而交流下测出的值更接近包括涡流在内的总损耗,因此,更具有实际意义。本文应用上述测量方法对监视器偏转系统的 3C2 铁氧体材料的交流磁滞损耗进行分析。

在 50 mT 磁通密度下测得的磁滞回线面积随频率变化的关系曲线如图 3 所示。反向延长曲线与面轴(垂直轴)相交,根据式(6),该点表示每一周期的纯磁滞损耗密度,而该曲线与频率的乘积,则表示每一周期总的磁滞损耗密度。根据图 3 可以看出在

最大频率下,涡流损耗约占总损耗的 1/3,磁滞损耗占 2/3.因此,在目前 64 kHz 以下扫描频率的偏转状态下,磁滞损耗所占的比例较大。

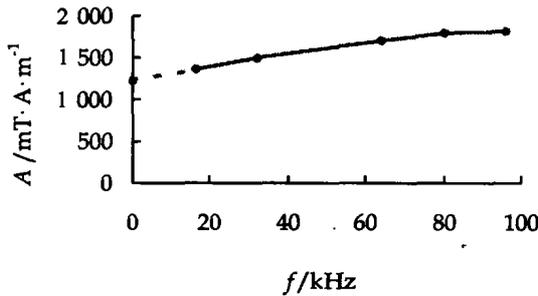


图 3 磁滞回线面积随频率的变化

Fig. 3 The relationship between the hysteresis loop area and the frequencies

磁滞功率损耗密度为面积值乘以频率,其与频率的关系如图 4 所示.如选择 50 mT, 64 kHz 时的磁滞损耗功率密度为参考值,从图 4 的关系可以求得经验公式(7)中的  $n$  近似为 1.15.

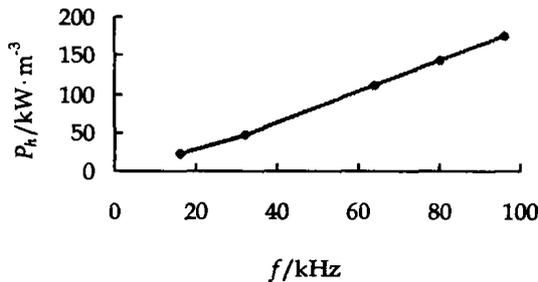


图 4 磁滞功率损耗密度与频率的关系

Fig. 4 The relationship between the hysteresis power loss and the frequencies

在 64 kHz 条件下,磁滞回线面积与最大磁通密度的关系曲线如图 5 所示.如选择 50 mT, 64 kHz 时的磁滞损耗功率密度为参考值,从图 5 的关系可得出式(7)中的  $m$  在  $B_{max} < 50$  mT 时近似为 2.86,  $B_{max} > 50$  mT 时约为 2.45.这样,经验公式中的  $n$  和  $m$  都得到了. $\eta$  值可以根据选择的参考点的磁滞回线面积和对应的频率、磁通密度计算得到。

在长时间工作以后,偏转线圈发热和磁芯的磁滞损耗将引起偏转磁芯的温度升高,同时影响磁滞回线的面积,从而对总损耗的估测产生影响.因此,温度升高对磁滞损耗的影响是必须考虑的.磁滞回线面积随温度变化的关系如图 6 所示.从图 6 可以

看出,磁滞回线面积随温度变化的关系可以近似认为是线性的,这个温度特性可以将其考虑进式(7)的  $\mu$  中,进而在对偏转系统分析时,根据偏转磁芯的温度分布,对结果进行修正。

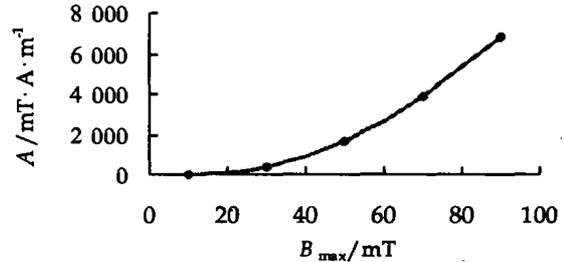


图 5 磁滞回线面积随磁通密度的变化关系

Fig. 5 The relationship between the hysteresis loop area and the magnetic flux density

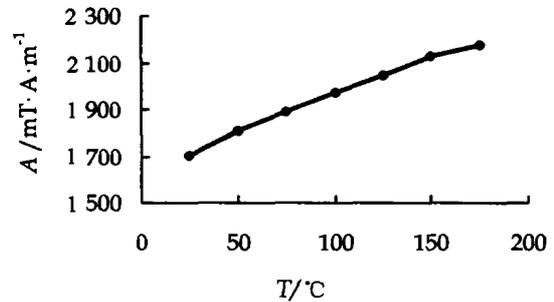


图 6 磁滞回线面积随温度的变化关系

Fig. 6 The relationship between the hysteresis loop area and the temperature

通常认为磁滞回线面积随温度的升高将呈现减小趋势<sup>[5]</sup>,但这仅是指静态磁滞回线.实际测量数据表明,磁滞回线面积是随温度的升高而增加的,与通常的磁滞损耗的分析不同.这是由于 3C2 材料的电阻率较小,因此在交流情况下,涡流随温度的增加将使测量得到的交流磁滞回线面积增加。

## 4 结 论

偏转磁芯用铁氧体材料的磁滞损耗,是偏转磁芯的主要损耗.磁滞功率损耗与频率、磁通密度和温度的关系可以用经验公式来表示。

应用该经验公式和偏转磁场计算软件,可以计算偏转磁芯总的能量损耗,同时可得到磁滞损耗的分布.以此作为热源,结合热分布的计算,可以得到偏转磁芯的温度分布.因此,对偏转磁芯材料的磁滞损耗进行分析是很有意义的。

(下转第 400 页)

以克服系统工况变化和非线性的严重影响,充分发挥模糊变参数 PID 调节的优点,获得满意的动态过程控制,而且也保证了系统的稳定性。

### 参考文献:

- [1] 黄家栋. 变结构模糊控制算法在电力系统频率控制中的应用[J]. 电力系统及自动化学报, 1997, 9(1): 8-13.  
[2] 欧阳威泰. 一种变结构模糊逻辑控制器设计[J]. 电气传动自动化, 1997, 19(2): 32-35.

- [3] 郭刚, 朱建坤. 模糊和 PID 结合的控制器的设计方法[J]. 仪表技术与传感器, 1997, (3): 43-47.  
[4] 赵震宇, 徐用懋. 模糊理论和神经网络的基础与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1996.  
[5] 于旭亮. 一种自调整 PID 调节器的应用[J]. 炼油化工自动化, 1997, (6): 23-26.  
[6] 李友善. 模糊控制理论在工业过程控制中的应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1993.

(编辑 曹大刚)

## Design of variable parameter PID controller

ZHU Jian-gong, ZHANG Jun-jun

(School of Manufacturing Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621000, China)

**Abstract:** Variable parameter PID controller is a dual ring with layered structure, which consists of an outside ring of traditional PID control and an inside ring of parameter governing. It can adjust PID parameter to make it updated according to working systems and overcome the effects resulting from the no linearity of systems. It can make the conditions relatively best. It is indicated by simulation results that variable parameter PID has better dynamic behaviors and stability of system than traditional PID.

**Key words:** variable parameter; PID; fuzzy control

(上接第 396 页)

### 参考文献:

- [1] MASUDA Y, AKIYAMA T, KITAOKA M, *et al.* Development of New Ferrite Material for Deflection Yoke Core[J]. SID 98 Digest, 1998, 343-346.  
[2] 北京大学物理系. 铁磁学[M]. 北京: 科学出版社, 1976. 220-222.

- [3] 张锡纯. 电子示波器及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997. 268-282.  
[4] 戴京营. 电源铁氧体中的磁滞损耗和涡流损耗研究[J]. 磁性材料及器件, 1994, 25(2): 12-15.  
[5] VONSOVSKII S V. Magnetism[M]. New York: John Wiley & Sons, 1974.

(编辑 曹大刚)

## Research and application of hysteresis loss characteristics of ferrite material

LIU Zhi-cun

(College of Physics and Information Technology, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

**Abstract:** The hysteresis loss characteristics of the ferrite material used in deflection yoke rings were studied. The principle and method of hysteresis loop measurement have been introduced. An empirical formula describing the dependence of the power of hysteresis loss on frequency, magnetic flux density and temperature was derived. The influence of the eddy current on the hysteresis loop was also discussed. The results show that under the deflection condition, the hysteresis loss dominates the total loss of the yoke ring.

**Key words:** ferrite material; hysteresis loss; deflection yoke ring