

doi: 10.7690/bgzdh.2015.08.016

## 一种自动测绘磁导率曲线的方法

张宇光

(绵阳市维博电子有限责任公司传感器技术部, 四川 绵阳 621000)

**摘要:** 为测绘软磁材料超微晶的磁导率曲线, 采用电流电压法对其进行测量, 并对测量系统及方法进行优化改进, 设计上位机软件, 采用标准 RS232 通信接口, 实现对测试仪器的自动控制及测量数据的实时记录, 最终描绘出磁导率随交流磁场强度变化的曲线。结果表明: 该方法能准确测出初始磁导率和最大磁导率, 其测绘结果与厂家数据手册基本相符, 有一定的工程利用价值。

**关键词:** 软磁材料; 磁导率; 退磁; 上位机软件

**中图分类号:** TP206 **文献标志码:** A

## Method for Automatic Mapping Permeability Curve

Zhang Yuguang

(Department of Sensor Technology, Mianyang Weibo Electronics Co., Ltd, Mianyang 621000, China)

**Abstract:** In order to describe the permeability curve of soft magnetic material ultra crystallite, the current voltage meter is used to measure, and optimize the system and method of measurement, the instrument's automatic controlling and the data's real-time recording are realized through standard RS232 communication interface. Finally map the permeability variation curve by influence of AC magnetic field intensity. The result shows that the method can accurately measure the initial and maximum permeability. The result conforms to the data sheet, which has a certain engineering value in use.

**Keywords:** soft magnetic material; permeability; demagnetization; host PC software

### 0 引言

软磁材料是一种磁性材料, 具有低矫顽力和高磁导率的特点, 并且易于磁化及退磁。这些优异的性能使得它被广泛应用于工业自动化、开关电源、家用电器及绿色照明等电工电子设备中<sup>[1]</sup>。

软磁材料性能的优劣直接影响设备品质的好坏, 而磁导率是衡量软磁材料性能的一项重要指标, 它表征的是一种材料导通磁通的能力。在某一特定磁感应强度下, 磁导率的大小是软磁材料能够被磁化到这个磁感应强度难易程度的量度。它的定义是磁感应强度  $B$  对磁场强度  $H$  的比值。由于软磁材料的磁化过程是非线性的, 导致其磁导率并非常数, 而与器件的工作状态密切相关。

软磁材料磁化到饱和后, 又将磁场强度下降到零时, 软磁材料中仍会残留一定的磁感应强度, 称为剩余磁感应强度, 简称“剩磁”。这种现象称为磁滞现象, 它表现为磁感应强度  $B$  的改变滞后于磁场强度  $H$ 。在实验时, 若试样处于某一剩磁状态, 那么将会影响其磁化曲线的测量结果。为尽量减小磁滞现象带来的测量误差, 在实验前一定要对待测样品进行退磁处理。

退磁方法<sup>[2-3]</sup>主要有热退磁法和交流退磁法 2 种。热退磁法是将试样加热至居里点以上, 然后在无外加磁场的条件下缓慢冷却到室温, 以此得到杂乱无章的磁畴排列方向, 从而达到退磁目的。虽然这种方法可以获得完全退磁的效果, 但操作过程复杂, 并有可能导致试样晶体结构变化而影响性能, 通用性较差。笔者采用工频下的交流退磁法对试样进行退磁, 该方法可以保证试样磁感应强度的改变均匀而缓慢, 让磁畴有足够的时间重新分布, 以此来获得较好的退磁效果。

目前软磁材料磁导率的测量方法<sup>[4-5]</sup>主要有谐振腔法<sup>[6]</sup>、交流电桥法<sup>[7]</sup>和电流电压法<sup>[8-9]</sup>等。谐振腔法是将试样放入腔内磁场波腹处, 测量放入样品前后谐振频率和品质因数的变化, 从而计算出磁导率。交流电桥法是目前较常用的测量磁导率的方法, 但其对仪器的要求太高, 且受测试环境影响较大。笔者采用电流电压法进行测量, 对测量系统及方法进行优化改进, 利用上位机软件, 通过标准 RS232 通信接口对测试仪器进行自动控制, 对实验数据进行实时记录和自动处理, 从而测绘出磁导率随交流磁场强度变化的曲线。

收稿日期: 2015-04-22; 修回日期: 2015-05-24

作者简介: 张宇光(1988—), 男, 河南人, 硕士, 助理工程师, 从事智能电量隔离传感器的设计与开发研究。

### 1 测量系统及原理

尽管目前有许多测试仪器设备可以测量软磁材料的交流磁化曲线,并计算其磁导率,但是一般测试人员未必有这种设备,故实验室一般采用电流电压法进行测量。

笔者介绍的测量方法也是基于这种原理,如图 1 所示,被测磁芯为环状,在磁芯上绕 2 个线圈  $N_1$ 、 $N_2$ ,其中, $N_1$  为激励绕组, $N_2$  为检测绕组,磁芯的截面积为  $A$ ,平均磁路长度为  $l$ 。图中 BD3100 为交流电流源(八达 BD3100 三相交直流多功能检定装置),交流电流档输出精度为 0.05%,其液晶屏上可实时显示加在绕组  $N_1$  上的电流有效值;V 为电压表(安捷伦 34401A 多用表),交流电压档检测精度为 0.06%,从其显示屏上可读出绕组  $N_2$  两端所感应出的电压有效值。

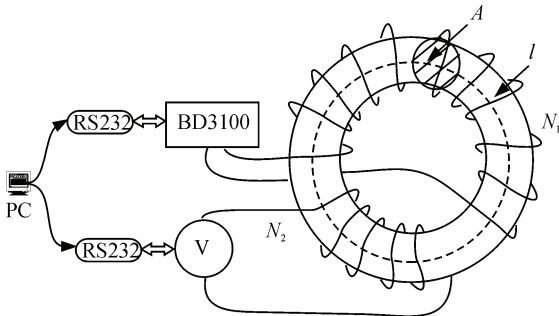


图 1 电流电压法测量系统

调节交流电流源 BD3100 加在绕组  $N_1$  上的激励电流,并逐个记录下交流电流源 BD3100 上显示的电流值  $I$  以及电压表 V 对应的电压值  $U$ 。

由安培环路定律<sup>[6]</sup>可得外加在磁环上的磁场强度

$$H = \frac{N_1 \cdot \sqrt{2} I}{l} = k_1 I \quad (1)$$

磁感应强度

$$B = \frac{U}{4.44 f A N_2} = k_2 U \quad (2)$$

式中: $k_1 = \sqrt{2} N_1 / l$ ;  $k_2 = 1 / (4.44 f A N_2)$ 。分别计算出  $B$  和  $H$  的值,即可由公式  $\mu = B / H$  求出软磁材料的磁导率  $\mu$ ,进而绘制出  $\mu-H$  曲线。

在以往的测试中,整个过程都需要人工更改激励电流及人工描点,不但操作复杂还影响测量准确度。笔者对上述测量方法进行了优化改进,如图 1 所示,将交流电流源和电压表分别通过标准 RS232 通信接口与上位机相连,并通过对上位机软件进行

编程,实现对这 2 个测试仪器的自动控制和测量数据的实时记录处理。待测试完成,由上位机软件对数据进行批量处理,并输出磁导率随交流磁场强度变化的曲线,最终达到自动测绘磁导率曲线的目的。

### 2 实验

按照图 1 所示连接好测量系统,首先采用工频下的交流退磁法对试样进行退磁。由上位机软件控制交流电流源 BD3100 输出信号的各项参数,在保证频率不变的情况下,使其输出电流的振幅由某一最大值均匀并且缓慢地减小到零,从而保证试样的剩磁最小。

上位机软件内部操作流程如图 2 所示。待退磁完成后,开始对试样的磁导率进行测量。通过上位机软件控制交流电流源 BD3100 输出一个很小的激励电流  $I$ (如 1 mA),同时利用公式 (1) 计算磁场强度  $H$ ,待输出稳定后,与电压表 V 建立通信,读取电压表示数  $U$ ,利用公式 (2) 计算磁感应强度  $B$ ,接着求出该磁场强度  $H$  下对应的磁导率  $\mu$ ,并自动记录此刻的值为数组  $(H_1, \mu_1)$ 。

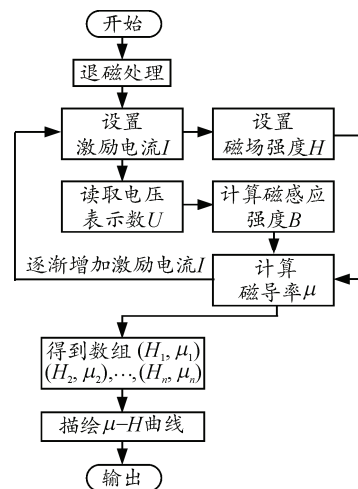


图 2 上位机软件内部操作流程

然后,逐渐增加激励电流  $I$ ,得到各磁场强度  $H$  下对应的磁导率  $\mu$ ,当随着激励电流  $I$  的增加,电压表示数  $U$  变化趋于平缓时,即磁感应强度  $B$  不再随磁场强度  $H$  的增加而显著增大,可以认为磁芯已趋于饱和,此时,停止测试,输出数组  $(H_1, \mu_1), (H_2, \mu_2), \dots, (H_n, \mu_n)$ ,并以  $H$  为横轴, $\mu$  为纵轴绘制  $\mu-H$  曲线。

### 3 测量结果与分析

按照上述测试步骤,对牌号为 1K107 的超微

晶环状磁芯的磁导率进行了测量, 测绘结果如图3所示。横轴为磁场强度  $H$ , A/m; 纵轴为磁导率  $\mu$ , mH/m。从曲线的走势可以看出, 随着磁场强度的增大, 该软磁材料的磁导率是一个非线性变化的过程。

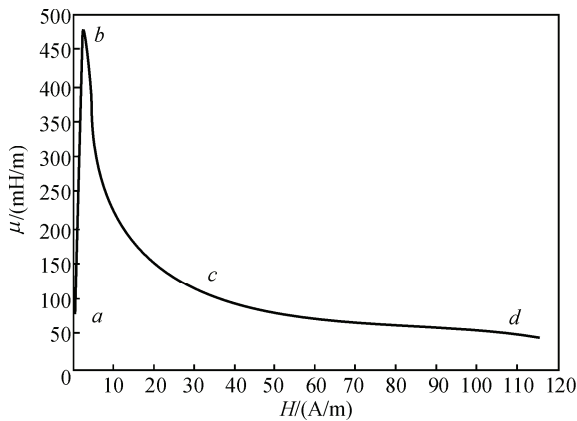


图3 磁导率曲线测绘结果

由于超微晶具有极高的弱磁场导磁率, 一个很弱的磁场  $H$  就会使其磁感应强度  $B$  迅速增大; 因此, 在  $a \sim b$  段, 磁导率的变化非常陡峭, 磁场强度  $H$  的细微改变就会使得磁导率  $\mu$  急剧增大, 并在  $b$  点达到最大值  $\mu_m$ 。当磁导率达到最大值时, 此时磁芯并未饱和, 继续增加磁场强度  $H$  可以使磁感应强度  $B$  缓慢增大, 但磁感应强度  $B$  的增加远不及磁场强度  $H$  的增加量; 因此, 在  $b \sim c$  段, 磁导率随着磁场强度  $H$  的进一步增大而逐渐减小。在  $c \sim d$  段, 此时磁芯已经趋于饱和, 磁感应强度  $B$  几乎不再随着磁场强度  $H$  的增加而增大。对于理想磁芯, 当磁芯饱和时, 磁导率为零。但实际情况并非如此, 当达到饱和磁感应强度时, 磁导率会减小至一恒定值, 并不会降为零, 测试结果亦是如此。

对于基本磁化曲线来说, 当激励磁场强度  $H \rightarrow 0$  时的磁导率称为初始磁导率  $\mu_i$ , 图3中  $a$  点即表示该测试样品的初始磁导率, 其值为 56 mH/m, 对应

相对磁导率为 44 563; 在某一磁场强度下, 磁导率达到最大值, 称为最大磁导率  $\mu_m$ ,  $b$  点即表示其最大磁导率, 为 475 mH/m, 对应相对磁导率为 377 993。测试结果与相关资料基本相符。

#### 4 结束语

笔者对软磁材料磁导率曲线测绘方法进行了研究, 通过对上位机软件编程, 实现了一种自动描绘其磁导率随交流磁场强度变化曲线的方法。其中, 退磁处理保障了测试结果的真实性, 上位机的自动控制免去了人工更改激励电流及人工描点的麻烦, 可用于自动化测试, 大大提高了测量效率及数据准确度。实验结果表明: 该测试方法具有原理简单、操作方便、易于实现等优点, 并且测量数据与相关资料相符, 可用于软磁材料的性能测试及研发, 具有一定的借鉴意义。

#### 参考文献:

- [1] 赵占奎, 邓娜, 昝朝, 等. 高性能软磁材料的研究进展[J]. 长春工业大学学报: 自然科学版, 2012, 33(5): 521-528.
- [2] 陈亚杰. 去磁现象与退磁方法[J]. 物理教师, 2003, 10(24): 49-50.
- [3] 刘兴民. 关于退磁方法的讨论[J]. 宇航计测技术, 2002, 5(22): 13-15.
- [4] 张冲, 董威. 基于三电压法的弹性磁导率测量[J]. 物理测试, 2013, 31(2): 43-52.
- [5] 张近民, 丁印福, 王立欣. 一种测量软磁铁氧体磁芯磁导率的方法[J]. 电测与仪表, 2009, 46(522): 26, 67.
- [6] 张关汉. 软磁铁氧体高频复数磁导率的测量方法[J]. 磁性材料及器件, 2000, 30(3): 54-56.
- [7] 梅文余. 动态磁性测量[M]. 北京: 机械工业出版社, 1985: 212-227.
- [8] 赵修科. 开关电源中磁性元器件[M]. 南京: 南京航空航天大学自动化学院, 2004: 41-43.
- [9] 白旭东, 刘巧凤, 王飞, 等. 铁磁材料磁导率测量实验研究[J]. 大学物理实验, 2009, 22(3): 5-7.