

# 不同磁芯材料对电流探头传输阻抗 $Z_t$ 的影响

刘 荣

(南京师范大学 动力工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 通过对铁基、钴基非晶合金与铁氧体软磁材料的性能和实际实验结果的分析、比较, 由于非晶合金自身良好的磁性能, 将其用于电磁兼容性试验设备中作为低频干扰电流探头的磁芯材料, 实验证明选用铁基、钴基非晶合金, 可使电流探头的检测灵敏度、精确度大大提高, 从而为扩大非晶合金这一功能性材料的应用范围提供了实验依据。

[关键词] 非晶态合金, 铁氧体, 干扰电流, 电流探头

[中图分类号]TG139.8, [文献标识码]B, [文章编号]1672-1292(2004)02-0053-03

## 0 引言

电流探头是电磁兼容性试验中一种将流过导线的电流成比例地转换为电压的耦合装置, 用以测量一定频率的干扰电流. 实际上, 电流探头是一个带有环形磁芯的宽带电流互感器, 其结构形式如图 1. 它的核心部分是一个分成两半环的高磁导率磁

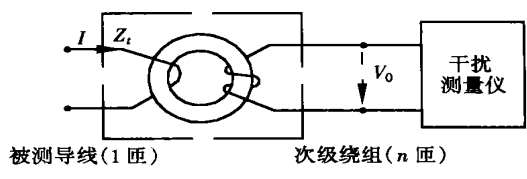


图2 探头测试原理

芯, 目前国内探头磁芯材料多采用铁氧体软磁材料, 在低频范围内  $Z_t$  随频率的变化影响大, 造成铁氧体磁芯探头在低频范围内的测试灵敏度和精确度差, 数据不准确。

非晶态合金是指由一定成分的液态合金经高速冷却 ( $10^6$  K/s) 而形成的在常温和低温固态保持原子长程无序状态的合金, 这类合金既具有金属的性质, 同时又象玻璃是非结晶的固体<sup>[5]</sup>. 非晶态软磁合金可以分为铁基、钴基、铁镍基和铁钴基等合金, 目前非晶态合金铁芯元件代替硅钢、玻莫合金、铁氧体等传统软磁材料铁芯元件, 被广泛应用于变压器、互感器、电抗器、逆变电源、开关电源、电保护器、电感等磁性器件中, 显示出体积小、效率高、节能等优点<sup>[6]</sup>.

本实验所选用的铁基非晶合金和钴基非晶合金与铁氧体材料相比, 其饱和磁感应强度、磁导率高, 而矫顽力、损耗、饱和磁致伸缩系数低, 见表 1. 考虑到非晶合金的这一良好特性, 本文通过大量的实验来验证采用非晶合金为磁芯材料的探头在测试低频干扰电流时,  $Z_t$  与频率之间的关系及探头实际测试特性。

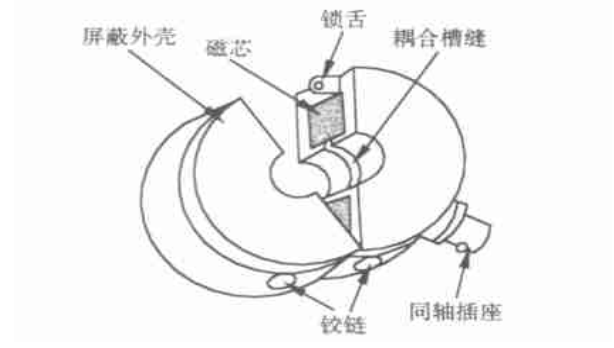


图1 探头结构示意图

芯, 在磁芯上绕有  $n$  匝线圈, 当电流探头卡到被测导线上之后, 被测导线与环上  $n$  匝次级绕组就构成了一个互感器, 其等效电路如图 2<sup>[1]</sup>. 如果把探头看成是一个二端对网络, 其传输阻抗就反映被测电流与输出电压之间的数量关系<sup>[1]</sup>:

$$I = \frac{V_0}{Z_t} \tag{1}$$

由式(1)看出, 在测试干扰电流时, 最关键的是要知道探头的传输阻抗  $Z_t$ , 以便将干扰测量仪上测得的干扰电压  $V_0$  换算为干扰电流  $I$ : 若  $V_0$ 、 $Z_t$  及  $I$  均用 dB 表示<sup>[1]</sup>, 则有

$$I_{\text{dB}\mu\text{A}} = V_{0\text{dBV}} - Z_{t\text{dB}\Omega} \tag{2}$$

探头的主要参数  $Z_t$  与探头磁芯材料的磁性能

表 1 铁基非晶合金磁芯与铁氧体磁芯基本参数比较 <sup>[2,6]</sup>			
基本参数	铁基非晶磁芯	钴基非晶磁芯	铁氧体磁芯
饱和磁感应强度 $B_s/T$	1.56	0.6~ 1.1	0.5
电阻率	130	115~ 190	$10^6$
最大导磁率 $\mu_m/(Gs/Oe)$	450 000	300 000~ 530 000	5 000~ 6 000
矫顽力 $H_c/(A/m)$	4	$\leq 1.2$	6
饱和磁致伸缩系数 $\lambda/(\times 10^{-6})$	2	—	4

# 1 探头性能测试结果与分析

## 1.1 传输阻抗的测试结果

本试验制作了铁基、钴基非晶合金作为磁芯材料的试验用电流探头(Fe 基 30 匝、Fe 基 37 匝、Co 基 30 匝、Co 基 37 匝),目的是测试不同非晶合金和线圈匝数对探头性能的影响,同时测试铁氧体材料作为磁芯的探头(EATON)性能,以便比较不同磁芯材料对探头性能的影响.

用信号发生器产生的信号源接到电流探头专用同轴式校准装置的输入端,探头卡在校准用同轴线的内导体上,输出端接微伏表.改变信号发生器频率,测定输入端电压  $V_1$  和输出端电压  $V_2$ ,由式(3)<sup>[1]</sup>计算探头的传输阻抗.测试原理<sup>[4]</sup>如图 3,实测数据见表 2.

$$Z_{idB\Omega}=34+V_{2dBV}-V_{1dBV}$$

(3)

将上述数据绘制成传输阻抗  $Z_i$  与频率的关系图,如图 4、图 5、图 6 所示.

## 1.2 传输阻抗测试结果分析

由测试数据及关系图可以看出:

(1)采用非晶磁芯材料的电流探头在25Hz到

表 2 探头传输阻抗  $Z_i$  实测数据表

频率 /Hz	传输阻抗 $Z_i$				
	Fe 基 30 匝	Fe 基 37 匝	Co 基 30 匝	Co 基 37 匝	EATON
25	- 44.5	- 43.2	- 43.5	- 42	- 64
50	- 39.3	- 37.8	- 38.5	- 36.7	- 63
100	- 33.8	- 32	- 32.5	- 30.8	- 60
300	- 24.5	- 22.6	- 23.1	- 21.5	- 52.5
500	- 20.2	- 18.3	- 18.8	- 17.2	- 48.7
1 k	- 14.2	- 12.2	- 13	- 11.2	- 43.1
3 k	- 3.7	- 3.5	- 3.5	- 1.7	- 31.9
5 k	- 0.2	- 0.3	- 0.3	1.2	- 29
10 k	3.2	2	3.2	2.5	- 23.3
30 k	4.7	2.9	4.5	2.8	- 14
50 k	4.9	3.2	4.8	3.2	- 8.4
100 k	4.9	3.2	4.9	3.2	- 2.7
300 k	5	3.2	5	3.2	5.4
500 k	5.1	3.25	5	3.3	11.6
1 M	5.1	3.3	5.1	3.3	13
2 M					13.6
3 M					13.9
4 M					14.1
5 M					14.3
6 M					14.4
10 M					14.5
50 M					14.3
100 M					11.3

注:EATON 探头在 2 MHz 以上改用干扰接收机及跟踪源测试,频率响应测到 100 MHz.

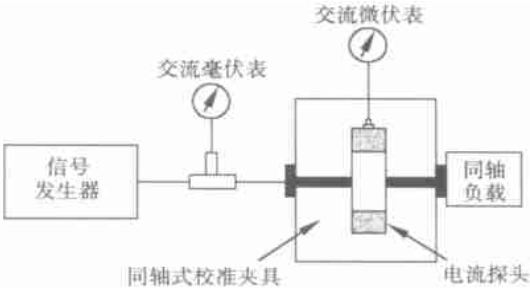


图 3 测试原理图

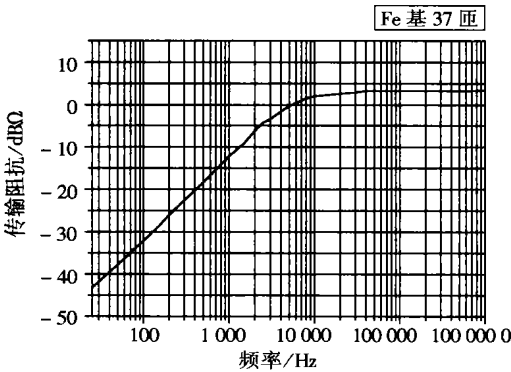
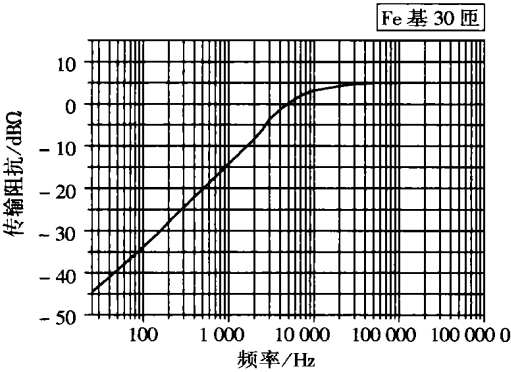


图 4 铁基非晶  $Z_i$  与频率的关系曲线

10 kHz 左右频率范围,测得的传输阻抗  $Z_i$  与频率之间呈直线递增趋势变化,即单一线性关系,这对于在此频率段确定探头的  $Z_i$  比较方便,在 10 kHz 到 1 MHz 频率之间,出现  $Z_i$  几乎不受频率影响的

特征.而采用铁氧体磁芯材料的探头在 25 Hz 到 5 MHz 频率之间,  $Z_i$  均随频率的变化出现非线性波动,  $Z_i$  受频率影响大;同时在同样频率下,  $Z_i$  的数值较大,由式(2)可得出,探头的测试灵敏度和准确

性会降低。

(2) 在 25 Hz 到 1 MHz 频率范围内, 选用不同类型的非晶合金(铁基、钴基), 对探头  $Z_t$  的频率响应影响不大。

(3) 采用非晶合金作为磁芯材料的探头, 在 25 Hz 到 1 MHz 频率范围内, 探头的  $Z_t$  与频率的变化关系受线圈绕组匝数的影响不大。

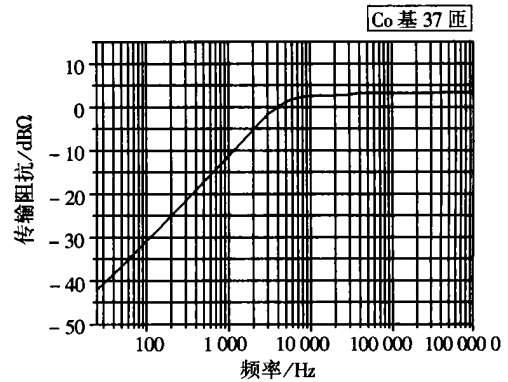
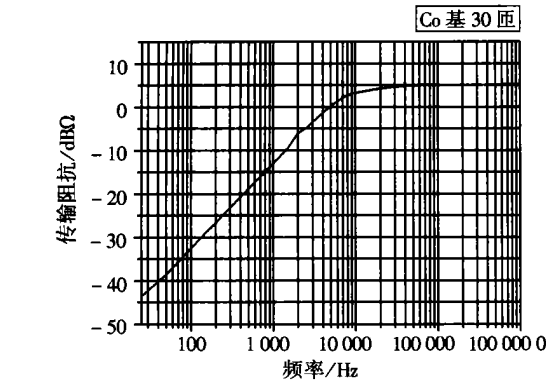


图 5 钴基非晶  $Z_t$  与频率的关系曲线

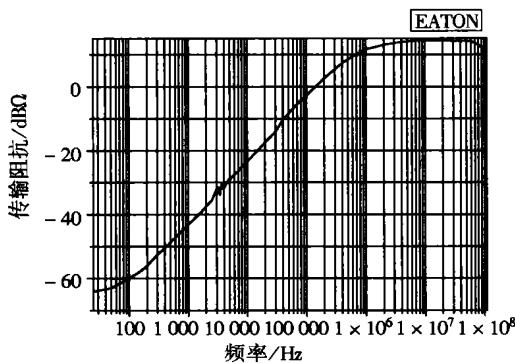


图 6 铁氧体  $Z_t$  与频率的关系曲线

## 2 结论

通过上述的实验研究表明, 在对探头的合理设计和加工制作的前提下, 正确选用非晶材料可以改善电流探头的传输阻抗  $Z_t$  在低频时随频率变化影响大的问题, 这一特性可以提高电流探头在低频范

围的测试性能(此结果在实际的应用测试中也得到了证实), 说明采用非晶合金作为探头的磁芯材料可以提高干扰电流探头在低频段的测试灵敏度, 这是铁氧体材料所无法胜任的。

### [参考文献]

- [1] 曲长云, 蒋全兴, 吕仁清. 电磁发射和敏感度测量[M]. 南京: 东南大学出版社, 1988.
- [2] 陈国钧, 李茂昌, 周元龙. 金属软磁材料及其热处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986.
- [3] 王一禾, 杨膺善. 非晶态合金[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1989.
- [4] 中华人民共和国国家军用标准 GJB152A-97, 军用设备及分系统电磁发射和敏感度测量[S].
- [5] 田蔚. 功能材料[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1995.
- [6] 国家非晶微晶合金工程技术研究中心. 非晶微晶合金铁芯[M]. 北京: 安泰科技股份有限公司, 1998.

## Influence of Magnetic Core Materials on Transfer Resistance $Z_t$ in Current Probe

LIU Rong

(School of Power Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

**Abstract:** The results of low frequency interference current probe made from ferrite and from Fe-based and Co-based amorphous alloy, were compared and analyzed. The potential application of Fe-based and Co-based amorphous alloy in the experimental equipment of electromagnetic compatibility (EMC) was discussed based on its good magnetic performance in the test of magnetic core material of the low frequency interference current prob. The sensitivity and precision of current probe could be greatly improved by using the above mentioned amorphous alloy, thus providing experimental bases for the extention of application range of this functional material- amorphous alloy.

**Key words:** amorphous alloy, ferrite, interference current, current probe

[责任编辑: 严海琳]