

用一种非晶软磁薄膜为芯制成的磁探测器的分辨率研究

黄虎坤 黄得星

(黑龙江大学敏感技术研究所, 哈尔滨 150080)

摘要 以两根非晶软磁薄膜条 ($0.025 \times 1.0 \times 60 \text{ mm}^3$) 为芯绕成差分复绕初级和次级线圈的探测器具有良好的磁敏感特性和温度特性。试验表明, 这种非晶软磁薄膜为芯的磁探测器次级输出的倍频信号电平与外界磁场具有良好的线性关系。其磁分辨率可达 $10^{-10} \sim 10^{-11} \text{ T}$, 而且在 $-40^\circ\text{C} \sim 120^\circ\text{C}$ 的温度范围内, 温度系数为 $0.05\% / ^\circ\text{C}$ 。其磁分辨率随芯的长度变长而变高, 而与芯的厚度和宽度在一定的范围内基本无关。这种探测器同多晶软磁薄膜为芯的探测器相比较, 具有体积小, 稳定性好, 耐用及温度特性好的优点。

关键词 磁探测器; 非晶软磁薄膜; 磁分辨率。

1. 引言

以多晶软磁薄膜为芯制成的磁探测器的分辨率达到 $10^{-11} \sim 10^{-12} \text{ T}$, 但它的探测器体积大, 使用温度一般达到 60°C 左右^[1-3]。

十年来人们发现了非晶软磁薄膜具有许多优良的磁特性: 矫顽力小, 矩形度可达到 0.995, 温度特性好等^[4]。

2. 原理

非晶软磁薄膜的磁滞回线如图 1 所示。图中 H_c 为矫顽力, B_r 为剩磁感应强度, B_s 为饱和磁感应强度。探测器主要有单根式和差分式结构两种, 如图 2 所示。在单根式初级线圈上加以电压 V_i ,

$$V_i = V_{i0} \exp(j\omega_0 t) \quad (1)$$

式中 V_{i0} 为输入电压的振幅, ω_0 为基频。

在外磁场 $H_0 = 0$ 时, 在初级线圈内产生的交变磁场 H 为

$$H = H_m \exp(j\omega_0 t) \quad (2)$$

式中 H_m 为交变磁场的振幅。

当 $H_m > H_c$ 时, 在 $H \approx \pm H_c$ 处磁芯的磁化方向突变, 在次级线圈上将产生感应电压, 即产生尖脉冲电压。在 $H \neq \pm H_c$ 处, 由于磁芯磁饱和使感应电压变化不大, 所以次级线圈上的感应电压为零或很小。在外磁场 $H_0 = 0$ 时, 次级线圈上将产生对时间完全

1991.10.04 收到, 1992.06.12 定稿。

黄虎坤 男, 1963 年出生, 讲师, 现从事半导体物理与敏感技术的教学与科学研究工作。

黄得星 男, 1935 年出生, 教授, 现从事半导体器件与敏感技术的教学与科学研究工作。

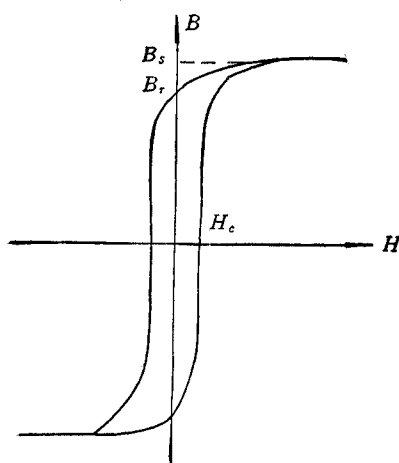


图 1 非晶软磁薄膜的磁滞回线

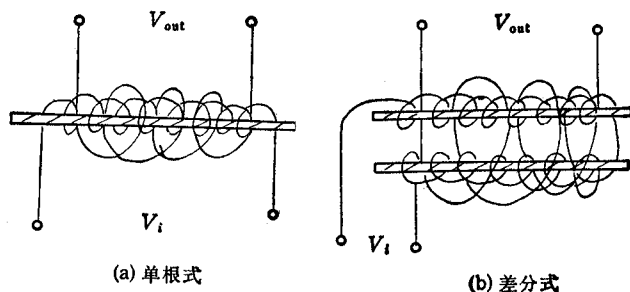


图 2 探测器的基本结构

对称的正负脉冲。这脉冲电压按傅里叶级数展开, 只有奇数倍频波, 而偶数倍频波均为零。

当外磁场 $H_0 \neq 0$, 且 $H_0 < H_c$ 时, 在初级线圈内产生的磁场 H 为

$$H = H_0 + H_m \exp(j\omega_0 t), \quad (H_0 + H_m > H_c) \quad (3)$$

这时, 在次级线圈内将产生对时间不对称的脉冲电压。这不对称脉冲电压 V_{out} 按傅里叶级数展开, 得

$$V_{out} = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \exp(jn\omega_0 t) \quad (4)$$

式中 A_n 为第 n 倍基频谐波的振幅, 其中倍频谐波的振幅 $A_2^{[9]}$ 为

$$A_2 = -\frac{4}{\sqrt{2\pi}} \mu AN \omega_0 H_0 \left[2 \frac{H_c}{H_m} \sqrt{1 - \left(\frac{H_c}{H_m} \right)^2} \right] \quad (5)$$

式中 N 为次级线圈的有效匝数, A 为线圈的有效截面积, μ 为磁芯的导磁率。

由(5)式可见, 倍频谐波振幅 A_2 与外界磁场 H_0 有线性关系。

差分式复绕初级线圈是由磁化方向相反的单根式初级线圈组成的(图 2(b))。因此, $H_0 = 0$ 时, 由两根单根线圈上产生的感应电压相互抵消, 消除了奇数倍频的谐波。在 $H_0 \neq 0$ 时, 次级线圈上只产生偶数倍频谐波。因此, 这种探测器也叫做倍频多谐发生器, 简称倍频发生器。

由探测器产生的脉冲电压经过倍频滤波, 就得倍频信号 $V_{out} = A_2 \exp(j2\omega_0 t)$, 然后, 再经全波整流和放大, 就得与外磁场成正比的直流电压。磁场方向只与倍频信号的位相有关。若改变磁场方向, 则倍频信号位相改变 π 。因此, 通过位相鉴别器可以判断磁场方向。

3. 试验结果

我们选用 Fe 基非晶软磁薄膜 (Fe62.4 Ni15.6 B14 Si8), 其厚度: $25 \mu\text{m}$, 矫顽力: 60 mOe 。

图 3 是用这种探测器做的磁场计的框图。它是由产生基频正弦波的振荡器、倍频滤

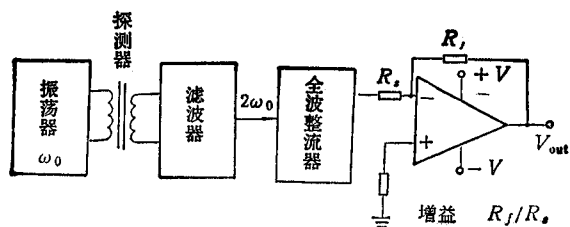


图 3 磁场计的框图

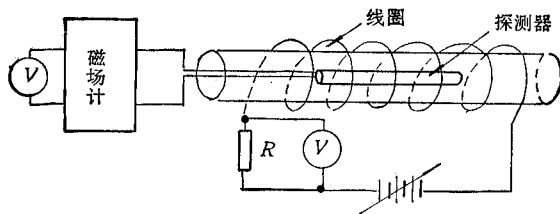


图 4 测试探测器输出特性的原理图

波器、全波整流器和放大器组成,其中,放大器的增益为 R_f/R_i 。我们采用的增益为 1.4, 4.7 和 10 倍。

图 4 是测试探测器输出特性的原理图。磁源线圈长度 $L = 39.5\text{cm}$; 匝数 $N = 12.5$ 匝/cm; 内径 $\Phi = 4.2\text{cm}$; 电流取样电阻 $R = 312\Omega$; 在线圈内产生的磁感应强度 $B = \mu_0 4\pi NI/10$, 式中 μ_0 是空气的磁导率,一般取为 1, I 为通过线圈的电流,单位为 A, N 为每厘米的匝数, B 的单位为 10^{-4}T 。

把探测器放在用六层软磁坡莫合金叠合而成的屏蔽式磁屏蔽室,其中放置磁源线圈,它的长度 $L = 14.7\text{cm}$,匝数 $N = 27$ 匝/cm,内径 $\Phi = 2\text{cm}$; 电流取样电阻取为 $1\text{M}\Omega$ 。它的磁屏蔽效果大致为 1/100 左右。

磁探测器的分辨率是由以它为探头制成的磁场计输出电压能分辨随外磁场变化的最小量程来确定的。因此,它的分辨率是与探测器的特性有关以外,还与电源、线路等噪声电平有关。我们把磁源线圈放在磁屏蔽室内,然后采用如下两种方法测量的。(1)用示波器测量输出信号的噪声电平和磁场计的灵敏度的方法;(2)在电流取样电阻上加一定的 $+V$ 和 $-V$ 电压的电位器来回改变电压时,在示波器上观察输出电平跟随它变化的方法。具体地说,用电位器来回改变 1V 时,在线圈中产生 10^{-6}A ,这时在示波器上可以观察到 10mV 左右的变化(最后一级放大增益为 10 时)。1V 电压在磁源线圈内产生 $3 \times 10^{-9}\text{T}$ 的磁场。因此,示波器能分辨的电平为 0.1mV 数量级,表明它的分辨率为 10^{-11}T 数量级。另外,磁场计的灵敏度 S 定义为在单位磁场下输出电压的变化量,所以它是输出曲线的斜率;分辨率在上述测量方法(1)情况下定义为噪声电平与灵敏度的比值。测试中示波器能分辨的电平为 $\pm 0.1\text{mV}$ 数量级时,输出级的噪声电平可以做到 $\pm 0.1\text{mV}$ 数量级。

图 5 是用 1.0mm 宽的薄膜做的探测器在不同的长度下输出特性。由图可见,磁强计的灵敏度随长度变短很快下降。

表 1 给出非晶软磁薄膜芯长度与灵敏度和分辨率的关系。

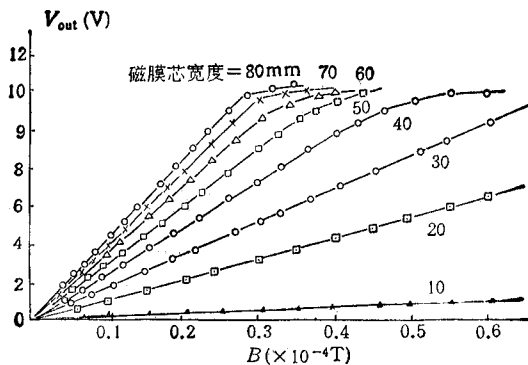


图 5 探测器的输出特性与芯长度的关系

表 1 非晶软磁薄膜芯长度与灵敏度和分辨率的关系(芯宽度: 1mm;增益: 1.4)

长度 (mm)	80	70	60	50	40	30	20	10
灵敏度 $S(V/G)$	43.0	39.7	35.4	31.3	25.0	18.2	11.1	1.5
分辨率 ($10^{-10}T$)	2.3	2.5	2.8	3.2	4.0	5.5	9.0	67

图 6 和表 2 分别表示非晶软磁薄膜芯宽度与它的输出特性曲线和非晶软磁薄膜芯宽度与灵敏度和分辨率的关系。可见,非晶软磁薄膜芯宽度与其输出特性基本无关。

图 7 给出在最后一级放大增益为 1.4, 4.7 和 10 时, 磁场计的输出特性。表 3 给出它的灵敏度和分辨率的测试结果。

由上述输出特性的测试结果看, 输出曲线在饱和以前基本是直线。这与(5)式给出的线性关系相符合。

表 2 非晶软磁薄膜芯宽度与灵敏度和分辨率关系(长度: 60mm; 增益: 1.4)

宽度 (mm)	0.5	1.0	1.5	2.0
灵敏度 $S(V/G)$	31	29	33	32
分辨率 ($10^{-10}T$)	3.2	3.4	3.0	3.1

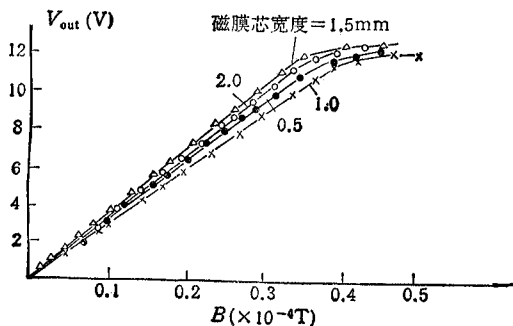


图 6 非晶软磁薄膜宽度与它的输出特性

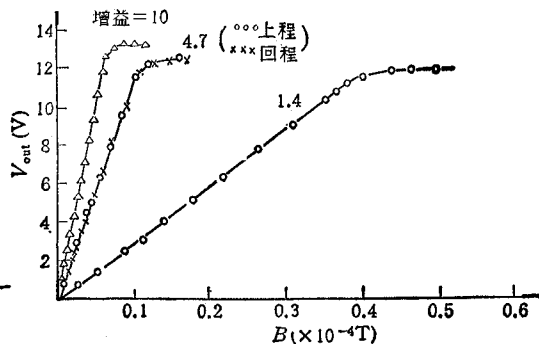


图 7 探测器在不同增益下的输出特性

探测器的温度特性测试结果, 在 10—120℃ 内温度系数为 0.05%/℃。

表 3 探测器在不同增益下的灵敏度和分辨率(芯的尺寸: $60 \times 1.0 \times 0.25 \text{ mm}$)

增 益	1.4	4.7	10
灵敏度 $S(\text{V/G})$	31	116	220
分辨率 (10^{-10} T)	32	86	4.5

上述试验表明,这种探测器的分辨率可以达到 $10^{-10} \sim 10^{-11} \text{ T}$, 因测试条件有限,很难测到更高数量级的分辨率。这同多晶膜为芯的探测器相比较,具有尺寸小和温度特性好等优点。

参 考 文 献

- [1] F. Primdahl, *Sci. Instrum.*, 24(1979)4, 241—245.
- [2] P. Dyal et al., *IEEE Trans. on GE*, GE-8(1970)4, 203—215.
- [3] M. H. Acuna, *IEEE Trans. on MAG*, MAG-8(1974), 519—523.
- [4] 孙玉魂等编著,金属软磁材料及其应用,冶金工业出版社,北京,1974年,第一章第三节,第二章第三节,第十二章。
- [5] S. H. Noble, *Proc. IEEE*, 40(1952), 99—106.

STUDY OF THE MAGNITEC RESOLUTION OF A MAGNETIC DETECTOR MADE OF AMORPHOUS SOFT MAGNETIC FILM CORES

Huang Hukun Huang Dexing

(Sensor Technology Institute, Heilongjiang University, Harbin 150080)

Abstract The magnetic detector made of amorphous soft magnetic film cores has better characteristics. Experimental results indicate that the detector has a good linear relation between the double-frequency single voltage output and the magnetic field, a magnetic resolution of $10^{-10} \sim 10^{-11} \text{ T}$, and a temperature coefficient of $0.05\%/^{\circ}\text{C}$ between $-40 \sim 120^{\circ}\text{C}$. The magnetic resolution of the detector increases with lengthening the core, but it is independent of the width and thickness of the core in a certain range. This kind of detector compared with the detector using polycrystal soft magnetic thin film has many advantages, such as smaller size, better durability, stability and temperature characteristic.

Key words Magnetic detector; Amorphous soft magnetic thin film; Magnetic resolution