

高温超伝導コイルとインダクタンス変調方式 を用いた磁気センサの開発

円福 敬二*, 吉田 悠次郎, 山下 重弥, 松尾 政明, 笹山 瑛由, 吉田 敬
九州大学システム情報科学研究院

Magnetometer Based on Inductance Modulation in Coils Made of High-T_c Superconductor
Keiji Enpuku, Yujiro Yoshida, Shigeeya Yamashita, Masaaki Matsuo, Teruyoshi Sasayama, Takashi Yoshida
Kyushu Univ.

励起磁場中での動作が可能であり、かつ、1 Hz 程度の低周波磁界を高感度に計測する磁気センサはこれまで充分に開発されていない。このため、高温超伝導コイルとインダクタンス変調方式を用いた磁気センサを開発している。[1] Fig. 1(a) にその等価回路を示す。検出コイル(L_p)と変調コイル(L_m)は高温超伝導体で作製し、低抵抗($R_c=27 \mu\Omega$)で接続することにより、閉ループを形成している。信号磁束 Φ_s が検出コイルに鎖交した場合には、閉ループに電流 I_s が流れ磁束が変調コイルに伝達される。この閉ループの時定数は $\tau=(L_p+L_m)/R_c$ で与えられるため、 $L_p+L_m=115 \mu\text{H}$ の場合には $\tau=4.26 \text{ s}$ となり 1 Hz 程度の低周波磁束を伝達できる。また、変調コイルを励起磁界の外に設置すれば励起磁界中での動作が可能となる。

変調コイルに伝達された磁束を電気信号に変換するため、コイルのインダクタンス L_m を時間的に変調する方式を用いた。この方式の原理は直交型基本波フラックスゲートと同様である。すなわち、変調コイル内に磁性ワイヤを挿入し、磁性ワイヤに変調電流 $I_m=I_{DC}+I_{AC}\sin(2\pi f_m t)$ を流すことにより、磁性ワイヤの透磁率を時間的に変化させる。この結果、変調コイルのインダクタンスが $L_m(t)$ と時間的に変調され、センサの端子 (P-Q) には $V_s = I_s \times (dL_m/dt)$ の出力電圧が得られる。

検出コイルと変調コイルは高温超伝導テープ線材 (SuperPower 社 SF2050) を用いて作製した。検出コイルのパラメータは平均直径 $D_p=25 \text{ mm}$ 、巻数 $N_p=50$ 、 $L_p=65 \mu\text{H}$ である。また、変調コイルのパラメータは $D_m=20 \text{ mm}$ 、 $N_m=60$ 、 $L_m=50 \mu\text{H}$ である。コイルは液体窒素を用いて冷却して超伝導状態とした。磁性ワイヤは幅 $500 \mu\text{m}$ 、厚さ $35 \mu\text{m}$ の物 (愛知製鋼: 120FC20) を用いた。磁性ワイヤには $I_{DC}=70 \text{ mA}$ 、 $I_{AC}=35 \text{ mA}$ 、 $f_m=400 \text{ kHz}$ の変調電流 I_m を流してインダクタンス L_m を時間的に変調した。この時の磁気センサの電圧感度 (電圧/磁界変換係数) は $K_{VB}=885 \text{ V/T}$ となった。

Fig. 1(b)にセンサの磁界雑音スペクトルを示す。センサの電圧雑音スペクトル $\sqrt{S_V}$ の測定値と電圧感度 K_{VB} を用いて計算した結果($\sqrt{S_B}=\sqrt{S_V}/K_{VB}$)であり、磁界雑音 $\sqrt{S_B}$ は 20 Hz 以上の周波数帯ではほぼ白色雑音となり、 $1.3 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ となった。20 Hz 以下の低周波数帯では磁界雑音は周波数の低下とともに増加する $1/f$ 雑音となり、1 Hz では $5.6 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$ となった。

参考文献

1. K. Enpuku et al, Appl. Phys. Express 10, 113101 (2017).

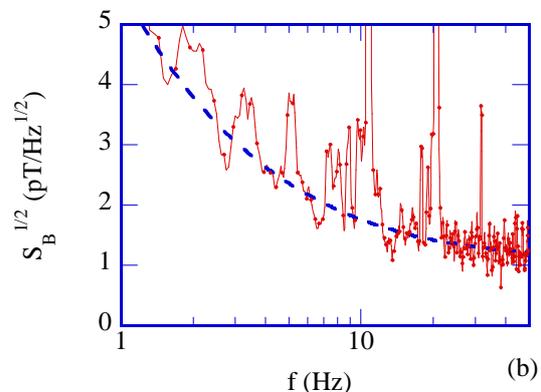
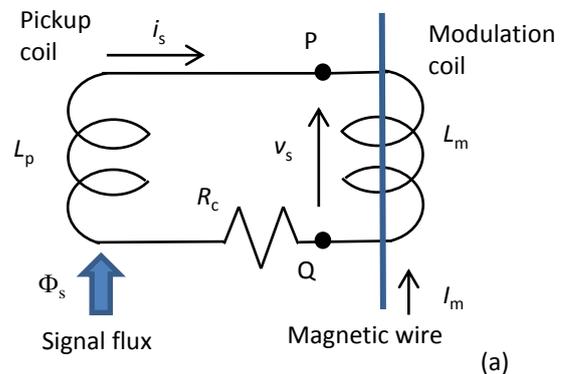


Fig.1. (a) Equivalent circuit of the magnetometer.
(b) Noise spectrum of the magnetometer