

## サーチコイル磁力計プリアンプの低電流雑音アナログ ASIC 開発

# 尾崎 光紀 [1]; 高橋 健 [2]; 八木谷 聡 [3]; 小嶋 浩嗣 [4]  
[1] 金沢大・理工・電情; [2] 金沢大・自然科学・電情; [3] 金沢大; [4] 京大・生存圏

## Development of a low noise current ASIC preamplifier for search coil magnetometers

# Mitsunori Ozaki[1]; Ken Takahashi[2]; Satoshi Yagitani[3]; Hirotsugu Kojima[4]  
[1] Electrical and Computer Eng., Kanazawa Univ.; [2] Electrical and Computer Eng., Kanazawa Univ.; [3] Kanazawa Univ.; [4] RISH, Kyoto Univ.

With increasing demands of multiple observations of natural electromagnetic waves, further reductions in the mass, volume, and power of analog circuits using application specific integrated circuits (ASICs) are continually being made in scientific instruments design for electromagnetic waves. Conventional instruments have been assembled from qualified parts mounted on printed circuit boards. In this study, in order to considerably reduce circuits resources (mass, volume, and power) of a preamplifier for search coils, a current-sensitive ASIC preamplifier has been developed by using 250 nm complementary metal-oxide semiconductor (CMOS) technology. The preamplifier using CMOS technology can improve the power and the input noise current in comparison with a preamplifier using bipolar transistors because of the very low bias current of MOS transistors. The current-sensitive preamplifier consists of a low noise current amplifier and an equalizer. A current through the search coil is amplified by the current amplifier. Subsequently, the frequency response is adjusted by the equalizer to improve the dynamic range in the target frequency range. The channel length  $L$  and width  $W$  of the input transistors of the current amplifier should use a large area to achieve a sufficient noise property, because the flicker ( $1/f$ ) noise depends on the area. The input MOS transistor took  $W$  (mm)/ $L$  (mm) = 20/0.02 and the prototype ASIC preamplifier was fabricated on a 1.9 mm times 3.3 mm silicon chip. The measured noise voltage and current spectral densities of the developed ASIC preamplifier show the flicker noise voltage  $7 \text{ nV/Hz}^{1/2}$  at 10 Hz, the thermal noise voltage  $4 \text{ nV/Hz}^{1/2}$  above a frequency of 100 Hz, the flicker noise current  $100 \text{ fA/Hz}^{1/2}$  at 10 Hz, and the thermal noise current  $60 \text{ fA/Hz}^{1/2}$  above a frequency of 100 Hz. The magnetic sensitivity combined with a 100-mm-long search coil (16 000 turns) is  $3.5 \text{ pT/Hz}^{1/2}$  at 10 Hz and  $30 \text{ fT/Hz}^{1/2}$  at 2 kHz, which is the resonant frequency of the search coil. These electrical performances are equivalent to or lower than those of the conventional low noise preamplifier for search coil assembled by discrete parts.

In this presentation, we will present the design principles of the current-sensitive preamplifier using CMOS technology and report its electrical performances in detail.

現象の時空間変化を捉えるため、複数点での自然電磁波観測の需要が高まってきており、電磁波観測機器の小型化、軽量化、低消費電力化が求められている。しかし、従来の観測機器は既製品を組合せて設計・開発されており、回路資源や電気特性（利得や雑音など）に対する要求に対し、極端な小型化や最良な特性を得ることは困難であった。これに対し、自然電磁波観測の分野においてアナログ ASIC を用いた観測機器の超小型化および低消費電力化が進められている。

本研究では、250 nm CMOS テクノロジーを用いて、交流磁界センサの一種であるサーチコイル用プリアンプの ASIC 化を進めている。本研究ではサーチコイルの電流検出型プリアンプを対象としており、バイポーラトランジスタに比べて消費電力が少なく、かつ電流雑音が優れている CMOS デバイスを採用している。電流検出型プリアンプは、サーチコイルに流れる電流を検出するために低雑音電流アンプと、電流アンプの周波数応答を改善するためのイコライザー用オペアンプから構成される。電流アンプのフリッカ雑音の低減を図るためには、電流アンプの初段 MOS トランジスタのチャネル長  $L$  およびチャネル幅  $W$  を十分に大きくとる必要がある。設計回路では、初段の MOS トランジスタを  $W$  (mm)/ $L$  (mm) = 20/0.02 と非常に大きなサイズで設計し、従来 100 mm x 100 mm 程度のプリント基板に作られていたプリアンプをわずか 1.9 mm x 3.3 mm のシリコンチップ内に実装した。設計したサーチコイル用電流検出型プリアンプを実際にチップ化し、電気特性を測定したところ、フリッカ雑音電圧は 10 Hz で  $7 \text{ nV/Hz}^{1/2}$ 、熱雑音電圧は 100 Hz 以上で  $4 \text{ nV/Hz}^{1/2}$ 、フリッカ雑音電流は 10 Hz で  $100 \text{ fA/Hz}^{1/2}$ 、熱雑音電流は  $60 \text{ fA/Hz}^{1/2}$  という低雑音特性が得られた。また、この試作した ASIC プリアンプに長さ 10 cm のサーチコイル（16000 回巻）をつないで、最小磁界検出感度を測定したところ 10 Hz で  $3.5 \text{ pT/Hz}^{1/2}$ 、センサの共振周波数に相当する 2 kHz で  $30 \text{ fT/Hz}^{1/2}$  という特性を得た。この結果は、従来の自然電磁波観測用サーチコイルの特性と比べて、遜色ないレベルである。

本発表では、試作したサーチコイルの電流検出型 ASIC プリアンプの設計原理とその電気特性について詳細に報告する。