

高精度デジタル方式フラックスゲート磁力計のためのデルタ・シグマ DAC 開発と特性評価結果

井口 恭介 [1]; 松岡 彩子 [2]
[1] 総研大; [2] JAXA 宇宙研

Evaluation results of developed sigma-delta DAC performances for a high-accuracy digital-type fluxgate magnetometer

Kyosuke Iguchi[1]; Ayako Matsuoka[2]
[1] Sokendai; [2] ISAS/JAXA

Conventional analog-type fluxgate magnetometers have many advantages, good accuracy, small-size, lightweight, and low-power consumption. Therefore they have been most widely used for space science missions to measure the Earth, planetary and interplanetary magnetic fields. Recently it is required to further reduce the resources of the scientific instruments for space missions keeping the high performance levels of conventional instruments.

Since 1990s, digital-type fluxgate magnetometers have been developed by European and US teams [Auster et al., 1995]. Their magnetometers have more advantages in the weight, size and power consumption than the conventional types. The accuracy of the digital type is determined by the accuracy of the Digital-to-Analog Converter (DAC) in the electronics circuit. The commercial DAC for the space applications does not have better resolution than 12 bits, therefore is not useful for the high-resolution (> 12 bits) digital-type fluxgate magnetometers.

In order to improve the accuracy of the digital-type fluxgate magnetometer, we adopted the high-resolution sigma-delta DAC. Sigma-delta modulation techniques are often used for high-bits (more than 16 bits) DAC in many fields. Input value is modulated to pulse density signal. Pulse density signal is demodulated into analog value through analog low-pass filter. Developed sigma-delta DAC consists of a 2nd-order 1-bit sigma-delta modulator implemented with a Field Programmable Gate Array and a 4th-order analog low-pass filter using tolerant OP-amps of the space environment.

In order to examine the noise sources of the developed sigma-delta DAC, the spectrum of the DAC output value against the various DC input levels was measured. The experimental result showed that the resolution of the sigma-delta DAC was about 18 bits and the linearity accuracy was 15.6 bits. The measured noise of the sigma-delta DAC was found to consist of followings.

1) Noise caused by the difference of the performance from the ideal one of the logic device supplying the modulated pulse signal.

2) Noise from the analog low-pass filter and from the voltage reference device.

3) Noise from the measurement system (e.g., Analog to Digital Converter)

We examined the experimental and simulated noise of the DAC to evaluate the contributions of the above factors. We will discuss the future work to improve the resolution of the DAC.

従来のアナログ方式フラックスゲート磁力計は小型、軽量、省電力でありながら高精度な磁場測定が可能である。そのため、アナログ方式フラックスゲート磁力計は古くから科学観測衛星に搭載され、地球や他の惑星磁気圏、惑星間空間の磁場を観測してきた。近年では、磁気圏探査衛星に搭載される科学観測機器は従来の性能を保ちながら、電力や重量等を削減しなければならない。実際に計画・進行中の磁気圏探査計画や将来の科学観測ミッションにおいてリソースの削減は重要な課題である。

我々が開発する磁力計には、センサの検出信号をプロセッサで処理して磁場を算出するデジタル方式を採用している。デジタル方式は1990年以降開発が進み、従来方式に比べて小型、軽量化がなされ、経年変化や温度特性も改善されている。しかし、磁場測定精度の向上は未だに課題となっている。デジタル方式フラックスゲート磁力計の磁場分解能は電気回路部のデジタル・アナログ変換器 (DAC: Digital to Analog Converter) の分解能に依存する。磁力計に適した宇宙機用 DAC デバイスの分解能は12ビットまでしかないので、それ以上の高磁場分解能化が困難であった。

本研究ではデルタ・シグマ変調方式のDACを採用することにより、宇宙機で使用可能なプロセッサとオペアンプのみを用いて2次型デルタ・シグマDACを開発した。デルタ・シグマ変調器は、プロセッサ (FPGA) により入力値をパルス密度変調し、パルス密度から入力値を逆算 (復調) できる仕組みになっている。復調は変調されたパルスをアナログ・ローパス・フィルタに通すことで可能となる。

開発したDACの分解能は18ビットで、線形精度は15.6ビットであった。分解能を決定づけるノイズ源について調べるために、DACに様々なDC値を入力し、出力のスペクトルを評価した。その結果、ノイズ源は以下の3つであることが分かった。

- 1) 変調パルスを出力するロジック・デバイスの特性に依存したノイズ
- 2) アナログ・ローパス・フィルタや電圧リファレンス・デバイスのノイズ
- 3) 測定系のノイズ

発表では、特にノイズ源のデータについて詳細を示し、デジタル方式フラックスゲート磁力計の精度を左右するDACの分解能評価結果及び精度向上のための対策について議論する。