

変調方式デジタル-アナログ変換器を用いた高精度磁力計の開発

井口 恭介 [1]; 松岡 彩子 [2]; 高橋 隆男 [3]

[1] 東海大学大学院 工 航空宇宙; [2] 宇宙研; [3] 東海大・計セ・情報

Development of high resolution digital fluxgate magnetometer using delta-sigma DAC

kyosuke Iguchi[1]; Ayako Matsuoka[2]; Takao Takahashi[3]

[1] Tokai Univ.; [2] ISAS/JAXA; [3] Information Science Laboratory, Tokai University

Fluxgate magnetometers have good accuracy and are very small, lightweight and low power. Therefore they are most widely used for space science missions to measure the earth, planetary and interplanetary magnetic field.

Our objective is the development of the digital fluxgate magnetometers for the SCOPE (Scale COupling in the Plasma universE) mission and the sounding rocket (S310-40th) mission. To install fluxgate magnetometer in S310-40th, we have to achieve high resolution (2 nT/bit, 16bits at +/-60000 nT range) to satisfy the requirement.

A fluxgate magnetometer consists of sensor unit, signal processing unit and negative feedback system to the sensor. Since feedback level is controlled to cancel the external magnetic field at the sensor, it corresponds to the external magnetic field.

Conventional analog fluxgate magnetometers derive feedback value in analog electronic circuit. In contrast, Digital Fluxgate Magnetometer (DFG) does by digital signal processor. Since 1990s, DFGs are developed by Austria and U.S teams. Their DFG has more advantage in the weight, size and power consumption than analog types. Analog types have following weak points caused by analog devices in the circuit.

1 The offset changes in the long term due to the degradation of the analog devices

2 Changes in the output characteristics against the temperature change caused by the temperature characteristic of the analog devices.

DFG improved these weak points by subtracting many analog devices.

If feedback current does not have enough resolution, the magnetometer output has errors as well, because the magnetic field at sensor is not completely cancelled by the feedback current. Clearly the accuracy and resolution of fluxgate magnetometer are not better than the resolution of the feedback current. Feedback-current resolution is determined by the resolution of Digital to Analog Converter (DAC). In the feedback loop, DAC changes the feedback value calculated on the processor from discrete-time signal to continuous-time one.

High-bits delta-sigma DAC for space applications is not available currently. It means that high resolution DFGs have not developed until now. We adopted delta-sigma modulation and developed a high-bits delta-sigma DAC system which consists of the devices tolerant of the space environment.

Delta-sigma modulation techniques are used in high-bits (more than 16 bits) DAC in many fields. Input value is modulated to pulse density signal. Pulse density is demodulated into analog value through analog low-pass filter. Delta-sigma modulator consists of simple modules (integrator, quantizer and delay module). The delta-sigma DAC can be made of micro controller and analog low-pass filter.

We developed a second-order delta-sigma modulator and examined the errors in the output signal of DAC against the varying input signal. When the over sampling ratio is 171, resolution of DAC is around 16 bits in the case of dc input. We designed a third-order analogue low-pass filter. Developed DAC consists of micro controller (PIC) and third-order multi-feedback analog low-pass filter using OP-amp. We report the result of developed delta-sigma DAC and characteristics of DFG test model in which that DAC is installed.

フラックスゲート磁力計は高精度で小型・軽量・省電力であるため、地球や惑星の磁気圏、惑星間空間の磁場等の観測を目的として科学衛星に搭載される。

本研究では、現在進行中の SCOPE (Scale COupling in the Plasma universE) 計画および科学観測ロケット S310-40 号機搭載に向けたデジタル方式フラックスゲート磁力計の開発を行っている。ロケット実験の要求分解能の約 2 nT/ビット (± 60000 nT で 16 ビット相当) を目標に開発を行う。

フラックスゲート磁力計はセンサと信号処理回路がネガティブフィードバック系で構成されている。信号処理回路はセンサの測定した磁場を打ち消すようにフィードバック量を制御し、外部磁場に相当する制御量を出力する。フラックスゲート磁力計は制御量の演算方式によって 2 種類に分類される。1 つはアナログ電子回路で計算されるアナログ方式 (従来方式) もう一方はデジタル演算によるデジタル方式がある。1990 年代以降、デジタル方式の開発が進み、アナログ電子部品を大幅に削減することに成功している。その結果、より一層の小型、軽量化やアナログ方式の欠点である経年変化や温度特性も向上させた。現在、デジタル方式は磁場の高分解能化と線形性の向上が最大の課題となっている。

センサ内部の磁場を打ち消すフィードバック量の分解能が低いと、磁場を完全に打ち消すことができないため、残った磁場が誤差になってしまう。したがって、フィードバック量の分解能はそれ以下の測定精度を得ることができず、磁力計の分解能を大きく左右する。これまでデジタル方式の高分解能化が困難であった理由は、宇宙機用として承認されている DAC 部品が分解能 12 ビットまでしか存在しないためである。そこで、本研究では 変調方式 DAC を採用し、宇宙機で使用可能な部品のみを用いて 16 ビットの高分解能化と線形性の評価を行う。

変調方式は 16 ビット以上の高分解能 DAC として開発されているが、宇宙機用としては存在しない。変調器の出力は入力をパルス密度変調したもので、パルス密度から入力値が逆算（復調）できる仕組みになっている。この復調は出力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。変調器は積分器、量子化器、遅延器からなり、マイクロコンピュータ程度の演算装置で簡単に構成できることも利点の一つである。

変調器のパラメータ設計結果から 2 次型変調器を採用し、オーバーサンプリングレートを 171 とした場合に約 16 ビットの分解能を得ることが、シミュレーションによって確認できた。また、パラメータ設計をもとに、マイクロコンピュータと 3 次型アナログローパスフィルタで DAC を試作し、分解能と線形性の評価を行っている。変調器のパラメータ設計結果と試作した DAC の性能評価結果を報告する。