

## 宇宙圏電磁環境モニターセンサーノード用アナログフィルタ回路部集積化に関する研究

# 齋藤 悠人 [1]; 水落 悠太 [1]; 小嶋 浩嗣 [2]; 上田 義勝 [3]; 山川 宏 [4]  
[1] 京大・生存圏; [2] 京大・RISH; [3] 京大・RISH; [4] 京大・生存圏研

### Study on Analog Integrated Filter Circuits of the Space Electromagnetic Environment Monitor Sensor Nodes

# Yuto Saito[1]; Yuta Mizuochi[1]; Hirotsugu Kojima[2]; Yoshikatsu Ueda[3]; Hiroshi Yamakawa[4]  
[1] RISH, Kyoto Univ.; [2] RISH, Kyoto Univ.; [3] RISH, Kyoto Univ.; [4] RISH, Kyoto Univ.

Plenty of artifacts have been launched to space in the progress of space developments. These structures are known to interact electromagnetically with space plasmas. A practical method of observing details of the phenomena taking place as the results of the interaction has not been established. Since the human activities in space will become higher in the future, it is necessary to establish the system for monitoring the electromagnetic environments around artificial constructions in space. We are proposing "Monitor System of Space Electromagnetic Environments" in order to comply the demand mentioned above. Since the disturbances are expected to be very anisotropic, unlike the conventional one-point observations scientific satellites, this system requires the multi-point observations targeted to artificial disturbance. The system is comprised of a number of palm-sized sensor nodes enabling multi-point observations. Each sensor node has antenna sensors for the measurements of electromagnetic six components on the chassis covered by solar battery panels. They have simple communication equipments for transmitting the measured data and location information of each node. Since sensor nodes are consumables, the operation term of each node is a few days at maximum. After operations, nodes plunge into the atmosphere and burn up.

Sensor nodes are required to be small as well as be lightweight and inexpensive for mass production because it is necessary to transport a lot of sensor nodes to space. The basic concept of the circuit system of the sensor node is almost the same with that of the scientific instruments for observing plasma waves onboard spacecraft. However, we need to miniaturize the hardware in order to install all of the function into a palm-size sensor node. Therefore, we make use of the ASIC(Application Specific Integrated Circuits) technology to satisfy requirements mentioned above. That technology enables us to make analog circuits small and lightweight drastically to mount vast amounts of elements on one chip. Also, we can make new circuit blocks with the technology which could not realize with discrete parts. The more chips are manufactured, the more inexpensive it becomes because most cost of making chips is to create mask patterns. It is, however, necessary to take measures to specific noise to MOS transistor and influences caused by space radiation.

Analog circuits of monitor system consist of two main parts that signal amplification and filters for signal selection. On first step, differential amplifier rejects common mode noise on the inputs from antennas. Then signals pass through amplifier and whose frequency is more than 100kHz are cut off by bandlimiting filter. Next step, band-limited signals enter into parallel circuits consisting of band pass filter which have different center frequency and smoothing circuits. This circuit construction enables observer to select desired frequency by switching of channels. Final step, selected signals are converted to digital data by A/D converter and enter to digital circuits.

We have designed differential amplifiers, bandlimiting filters and the A/D converter. Now in addition, we designed band pass filters with different center frequencies. We use Gm-C filter concept which is made up of OTA(Operational Transconductance Amplifier) and capacitor to realize filter circuits on the chip. When we built up band pass filter with old designed OTAs, the attenuation in low-frequency region was not desirable value: -20dB. It was caused by the undersize of OTA output impedance. Then we redesigned new OTAs with cascode structure and realize band pass filter with -80dB attenuation in low-frequency band. In the paper, the summary of monitor system and designs of filter circuits will be presented.

近年の宇宙開発の進展に伴い、数多くの人工物が宇宙空間へと投入されてきている。これらの構造物は宇宙プラズマと電磁的な相互作用を起こすことが知られている。その現象の詳細について実際に観測する手法はこれまで確立されておらず、今後のさらなる宇宙開発に

向けて実際に構造物周りの電磁環境を測定するシステムの構築が欠かせないと言える。本研究グループでは上述の要求に対して「宇宙圏電磁環境モニターシステム」を提言している。本システムは、これまでの科学衛星が行ってきた自然現象を対象とした高精度な一点観測とは大きく異なり、人工物による擾乱を対象としてそれほどの精度を要求しない多点観測を行う。モニターシステムは多点観測を可能とするために手のひらサイズのセンサーノードを多数用いて構成される。各センサーノードは太陽電池パネルで覆われた筐体に電磁界 6 成分を計測するアンテナを有し、簡単な通信装置を搭載して近くのセンサーノード同士で測定データおよび距離計測から算出された自己位置データの授受を行う。センサーノード自体の運用期間は一日～数日と考えており、使用後は大気圏へ突入させることで非デブリ化対策とする。

宇宙空間へ大量のセンサーノードを輸送することが求められるので、装置自体は小型であることに加え、軽量なおかつ安価に大量生産が可能であることが必要である。一方過去の科学衛星などが大型であった一因としてはアナログ回路部が面積重量共に決して小さくなかったという点が挙げられる。このような状況を打開し、求められる仕様を満たすための技術として、本研究グループでは ASIC(Application Specific Integrated Circuits:特定用途向け集積回路) 技術を用いている。ASIC は一つのチップ中に膨大な数の素子を搭載し、アナログブロックを実現することが可能であり、アナログ回路部について大幅な小型軽量化が見込める。また、チップ化することにより、従来ディスクリート部品では実現できなかった回路ブロックの実現も可能である。さらにチップ作成の際にはマスクパターンの作成費がほとんどであり、チップそのものを大量に生産すればするほど単価は安くなる。しかしながら、ASIC 上ではすべての回路を MOS トランジスタを用いて実現させることから、MOS 特有の雑音が大きいことや、宇宙空間での放射線の影響などに対策が必要である。

モニターシステムのアナログ回路部は、大きく分けて信号増幅のアンプと信号選択を行うフィルタとで構成される。アンテナからの入力はい初段の差動アンプで同相ノイズを除去された後、増幅アンプを介して、帯域制限フィルタで 100kHz 以下の信号のみが次段へと伝達される。次いで異なる中心周波数を有するバンドパスフィルタ (BPF) と平滑化回路の羅列回路へ並列的に入力され、後段ではチャンネルを切り替えることによって所望の周波数を選択することができる。最終段において AD コンバータを介してデジタル部へと入力される。

本研究グループでは過去に差動アンプ、帯域制限フィルタ、AD コンバータの設計を行っており、本研究では BPF について設計を行っている。ASIC 上でフィルタを実現する手段としては OTA(Operational Transconductance Amplifier) とキャパシタを組み合わせた Gm-C フィルタを用いている。過去の研究において作成した OTA を用いてフィルタを構成したところ、低域側での減衰が -20dB 程度と十分でなかった。これは OTA の出力インピーダンスが低いことが原因となり、正常に動作しなかったと考えられる。そこで OTA にカスコード増幅方式を適用して再設計し、この OTA を用いてフィルタを構成したところ、低域側での減衰が -80dB と十分なフィルタが実現できた。発表ではモニターシステムの概要およびフィルタ回路の設計について述べる。