

## 積分器を組み込んだ

## 相補型デルタアナログ-デジタル変換器の動作実証

## Demonstration of the complementary delta analog-to-digital converters with an embedded integrator

楠本哲也 宮嶋茂之 松岡宏弥 藤巻朗  
Tetsuya Kusumoto Shigeyuki Miyajima Hiromi Matsuoka Akira Fujimaki

名古屋大学大学院工学研究科量子工学専攻  
Dept. of Quantum Engineering Nagoya University

## 1. はじめに

単一磁束量子(SFQ)回路を用いると、デバイスそのものが持つ極低温動作かつ高速動作という性質から高感度・広帯域なアナログ-デジタル(A/D)変換器が実現可能である。その中でも我々が現在開発を進めている相補型デルタ A/D 変換器は高感度性に優れており[2]、超伝導検出器の信号処理用の A/D 変換器として適している。超伝導検出器は半導体検出器に比べ 2 桁程度優れたエネルギー分解能を持っており(5.9 keV の入射光子に対しおよそ 1 eV)、入射したエネルギーに応じた電流(数 $\mu$ A)を出力するため、この超伝導検出器の性能を信号処理の段階で劣化させないためには SNR が 74 dB 以上、感度が数十 nA の A/D 変換器を用いなければならない。現在までに相補型デルタ A/D 変換器の原理動作実証はすでに行われている[3]。しかし相補型デルタ A/D 変換器に不可欠な積分器を搭載していなかったため、その SNR はいずれも 50 dB 未満であった。積分器を相補型デルタ A/D 変換器に組み込むことで 20 dB 程度 SNR を改善できる。我々は積分器導入の第一段階として、まず相補型デルタ A/D 変換器のデジタル回路部にあたる積分器と間引きフィルタをまとめて設計し、その動作実証に成功した[4]。そこで、次のステップとして本報告では同回路に変調器を組み合わせた相補型デルタ A/D 変換器全体での評価について報告する。

## 2. 相補型デルタ A/D 変換器の設計

我々の用いている相補型のデルタ変調器は、入力アナログ信号の振幅の変化をパルス密度に変調する変調器である。パルス密度変調にはジョセフソン接合の交流ジョセフソン効果を利用している。パルス密度に変調された信号は Delay-Flip-Flop セルに入力され、標本化が行われる。DFF セルへのクロック入力とは同一チップ上のリングオシレータを用いておよそ 6.4 GHz までサンプリング周波数を変動できるようにした。入力アナログ信号は 5 MHz の正弦波を仮定し、この入力において積分器がオーバーフローやアンダーフローを起こさないよう、積分器のビット数は 10 とした。また間引きフィルタの間引き率は 64、ビット数は 16 とした。

回路は CONNECT セルライブラリを使用して設計を行い、ISTEC 標準 2 プロセスによって試作された。試作された相補型デルタ A/D 変換器の顕微鏡写真を図 1 に示す。ジョセフソン接合数は 4576、回路面積は  $3.3 \times 1.9 \text{ mm}^2$ 、バイアス電流の合計は 588.4 mA である。

## 3. 測定結果

本回路の動作実証に当たっては 5 MHz の正弦波をアナログ信号として回路へ入力した。図 2 は、得られたデジタル値をもとに再現した波形である。この再現波の周波数は 5 MHz であり、正しく A/D 変換されていることがわかる。以上のように我々は積分器を組み込んだ相補型デルタ A/D 変換器の動作実証に成功した。一方、得られた SNR は帯域 100 kHz ~ 20 MHz において 22.07 dB であった。これは、A/D 変換の際に一定の割合で単調減少する信号が混入してしまったためである。この原因については現在調査中である。

## 謝辞

本研究の一部は科学研究費(基盤研究(S)No.23226019)によった。

## 参考文献

- [1] A. Fujimaki, K. Nakazono, M. Onogi, K. Okada, A. Sekiya, and H. Hayakawa, "Numerical Analysis of Superconductive Oversampling Analog-to-Digital Converters,"  
IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 13, No. 2, JUNE 2003
- [2] 西土佳典 「超伝導相補型 A/D 変換器の設計と動作実証」 応用物理学関係連合講演会 2005 年 3 月
- [3] 楠本哲也 「相補型デルタアナログ-デジタル変換器用間引きフィルタの動作実証」 電子情報通信学会 2010 年 9 月

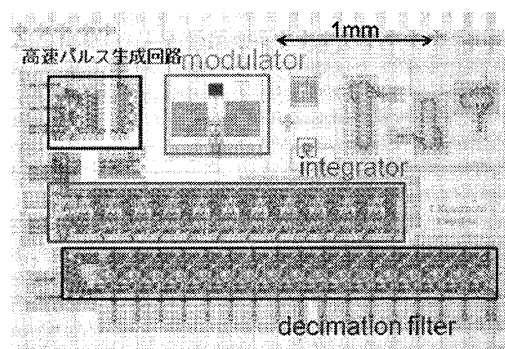


図 1 : 相補型デルタ A/D 変換器の顕微鏡写真

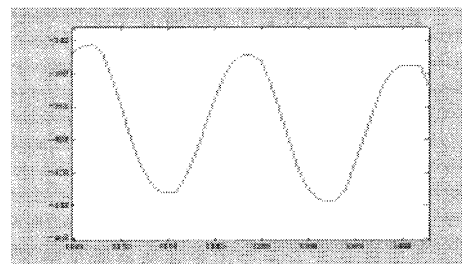


図 2 : デジタル値からの再現波形