

高速動作化を目指した

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 for higher frequency operation

伊藤圭介 楠本哲也 宮嶋茂之 藤巻朗
Keisuke Ito Tetsuya Kusumoto Shigeyuki Miyajima 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 μ A)を出力する。よって、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帯域 100k ~ 20 MHz において 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]。しかし得られた SNR は帯域 100k ~ 20 MHz においていずれも 40 dB 未満であり、検出器システムへの応用に向けては SNR を向上させる必要がある。

SNR を向上させる一つの方法として、サンプリング周波数を増加させることが挙げられる。サンプリング周波数を 2 倍にすることで、SNR を 6 dB 改善することが可能であり、有効ビット数についても 1 bit 増加する。そこで本報告ではサンプリング周波数を従来の 2 倍にした 30 GHz での相補型デルタ A/D 変換器の動作実証について報告する。

2. 相補型デルタ A/D 変換器の設計

標本化器は単なる Delay-Flip-Flop セルであり、高速動作化は容易である。しかし、標本化器後段の間引きフィルタはクロック間にデータが複数回入力されるため、従来以上の高速動作は困難である。したがって間引きフィルタの速度的負荷を増加させることなくサンプリング周波数を上げる方法を考案しなければならない。そこで我々はマルチビットデコーダを用いて標本化器出力をマルチビット化し、その分周波数を落として間引きフィルタに入力する方法を提案する。図 1 にマルチビットデコーダの概略図を示す。標本化器より"1"、"0"、"-1"の 3 値で送られてきた情報を 2 クロック分足し合わせ、半分の周波数で間引きフィルタに伝達する回路となっている。

標本化器へのクロック入力にはリングオシレータを用い、その設計周波数を 30 GHz とした。また後段の間引きフィルタの次数は 1、間引き率は 256 とした。本回路の数値解析を行った結果、従来の相補型デルタ A/D 変換器に比べ SNR は 5.2 dB、有効ビット数は 0.86 bit 改善可能であることがわかった。

回路は CONNECT セラ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。ジョセフソン接合数は 960、回路面積は $2.1 \times 0.95 \text{ mm}^2$ 、バイアス電流の合計は 114.2 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。またこの時のサンプリング周波数は 33.7 GHz であった。このように、我々は高速動作化した相補型デルタ 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 15.1 dB と低い値であった。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)による。

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

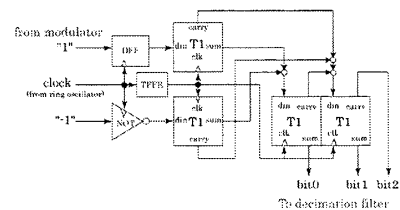


図 1: マルチビットデコーダの概略図

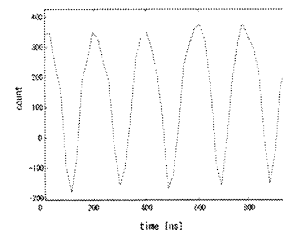


図 2: デジタル出力からの再現波形
(横軸:時間[ns]、縦軸:カウント値)