

System Self-Timing Methodology and Design Techniques for BSFQ circuits (BSFQ回路向けのシステム自己同期方式 と設計技術の構築)

氏名 テーチェンコン

ジョセフソン接合を使用する単一磁束量子回路 (SFQ回路) は、100GHzを越える高いスイッチング速度、およびゲート当たり1nW/GHzの低い消費電力を有するため、大いに注目された。我々のグループはいままでBSFQ (Boolean SFQ) 回路を提案してきた。BSFQ回路は、他の方式のSFQ回路とは異なり、直接にブール演算をサポートする、その基本回路及び組合せ回路が同期信号の必要がない、といったメリットを有している。しかしながら、いままではゲート単位のタイミング記述だけ考慮されており、システムにおけるグローバルなタイミングの記述はまだ定められていない。本研究は、斬新なシステム自己同期方式「2重コーディング階層化パイプライン方式」(DEHP方式)を提案する。この方式では、2つのコーディングを利用し、一つがローカルのBSFQ回路に十分なタイミング情報を提供し、もう一つがグローバル機能ブロックにタイミング情報を提供する。その上、自己同期のマイクロパイプライン、メタパイプライン、及びパイプラインを用いて任意の非同期BSFQシステムを階層的に構築していく。

この方式を実現するために、新しいBSFQ回路を構築し、その正常動作を確認した。これは非破壊的メモリセル、破壊的メモリセル、新しいXORセル、Sumセル、Carryセル、スイッチ、非破壊的キャッシュを含んでいる。また、この方式の有効性を示すために、出力がデマルチプレックスされたシリアル全加算器及び4ビットのCarry Look Ahead (CLA) 全加算器を設計した。さらに、大規模回路の設計でその手間を減らすために、27種類の回路、計65個のレイアウトを有するBSFQ標準セルライブラリを、NECの2.5kA/cm²標準Nb/AlO_x/Nbプロセスに基づいて設計した。BSFQセルのバイアス電流の動作マージンを測定し、その理論値に比べて検証を行った。

一方、本研究では、バイアス電流の変動を最小限にし、共通グランドを提供するため、キャパシタンスのグランドを利用した改良版の電流再利用法を提案する。電流再利用法は、バイアス電流の供給を数アンペアから数百ミリアンペアにすることができ、大規模のSFQ回路を実現するために不可欠な技術である。本研究は最適化されたドライバーおよびレシーバを示し、その実行可能性、かつその特性を評価した。