

半磁束量子回路の実証に向けた動作解析

Operation analysis for the demonstration of the half flux quantum circuits

名大院工¹, JST さきがけ² ○(M1)長谷川 大輝¹, (M2)竹下 雄登¹, 李 峰¹, 佐野 京佑¹,田中 雅光¹, 山下 太郎^{1,2}, 藤巻 朗¹Nagoya Univ¹, JST-PRESTO² ○Daiki Hasegawa¹, Yuto Takeshita¹, Li Feng¹, Kyosuke Sano¹,Masamitsu Tanaka¹, Taro Yamashita^{1,2}, and Akira Fujimaki¹

E-mail: hasegawa@super.nuee.nagoya-u.ac.jp

単一磁束量子 (SFQ) 回路は、磁束量子を情報担体とし、低消費電力性と高速動作性を特徴に持つ超伝導回路であるが、回路の大規模化に向けてさらなる低消費電力化が求められている。そこで我々は、半磁束量子 (HFQ) 回路[1]の検討を進めている。これまでに、HFQ 回路の実証に向けて、集積化に適したプロセス技術の開発を行ってきた[2]。このプロセスでは、HSTP[3]と呼ばれる確立された Nb4 層プロセスで作製された 2 つの 0 接合の上に、 π 接合 (磁性ジョセフソン接合) を追加した「0-0- π SQUID」を基本素子構造として用いる。

HFQ 信号を生成・変換する SFQ-HFQ および HFQ-SFQ コンバーターは、HFQ 信号を生成・変換し、DC-SFQ および SFQ-DC コンバーターと組み合わせることによって HFQ 信号の入力や検出が可能になる。SFQ 回路および HFQ 回路はどちらも電圧パルスによって駆動されるため、SFQ-HFQ と HFQ-SFQ コンバーターは、両回路の間に抵抗を挿入するだけで構成可能である。

上記を用いて、トグルフリップフロップ (TFF)、ジョセフソン伝送ライン、リングオシレーターなど、数種類の HFQ 回路を解析した。図 1 に示す TFF の数値解析では、350 GHz までの周波数で正常動作が得られた。この値は、RSFQ 回路での値とほぼ同じである。また、TFF に供給されるバイアス電流は、2 μ A 程度でも正常動作を得ることができ、同じ臨界電流値の接合を用いた RSFQ-TFF の 1/35 程度まで低減できることがわかった。図 2 に動作周波数 100 GHz、バイアス電流 3 μ A での TFF の動作を示す。入力となる SFQ パルスに対し、左右の接合が交互にスイッチしており、TFF としての動作が確認される。数値解析の結果は、SFQ-HFQ および HFQ-SFQ コンバーターが十分動作することと、これらを用いて HFQ 回路の実証ができる可能性を示している。

講演では、各種 HFQ 回路の数値解析について議論する。

謝辞 本研究は科研費特別推進研究 (JP18H05211) 及び基盤研究 (S) (JP19H05615) の支援を受けて実施したものである。

参考文献

- [1] T. Kamiya et al. IEICE Trans. Electron. E101-C 385, 2018.
 [2] 長谷川 他. 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 20p-C213-2, 2019
 [3] M. Hidaka et al. J. Cryo. Super. Soc. Jpn, vol. 52, No. 5, pp. 315-322, 2017

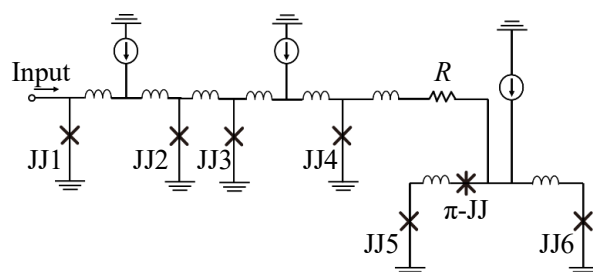
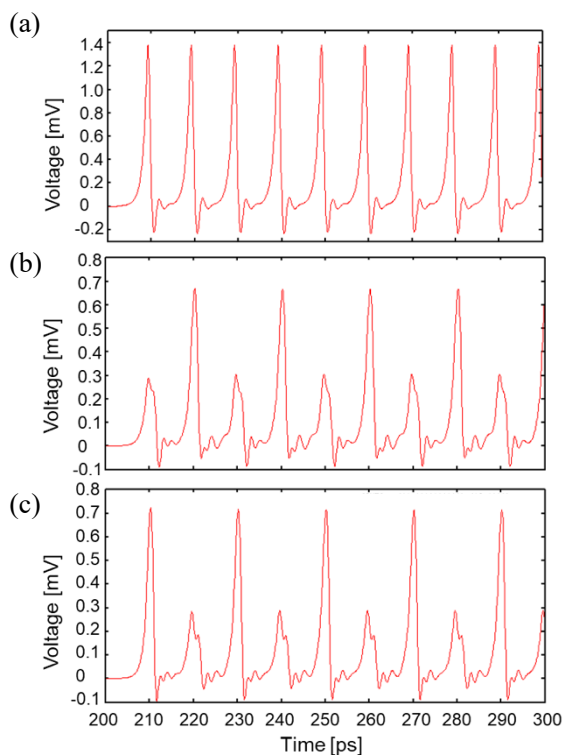
図 1 0-0- π SQUID によるトグルフリップフロップ

図 2 TFF における各接合の電圧パルス

(a) JJ4, (b) JJ5, (c) JJ6