

半磁束量子-単一磁束量子変換回路の実証

Demonstration of convertor circuits between half-flux-quantum and single-flux-quantum logic

名大院工 °(M1)中村 祐介, (M2)長谷川 大輝, (D1)竹下 雄登, 李 峰,

田中 雅光, 山下 太郎, 藤巻 朗

Nagoya Univ. °Yusuke Nakamura, Daiki Hasegawa, Yuto Takeshita, Li Feng,

Masamitsu Tanaka, Taro Yamashita, Akira Fujimaki

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

単一磁束量子 (SFQ) 回路は CMOS 集積回路と比較して低消費電力性や高速動作性といった特徴を持つ超伝導回路であるが、我々は更なる低消費電力化のため、磁性ジョセフソン接合による π 接合を用いた半磁束量子 (HFQ) 回路[1]を提案している。HFQ 回路の動作を実験的に確かめるため、これまでに Nb 4 層プロセス[2]で作製されたデバイス上に π 接合を作製することで HFQ 回路を実現するプロセス技術の開発を行った[3]。HFQ 回路の実証に向けては、更に室温とのインターフェイス回路を開発する必要がある。

本研究では、HFQ 信号を生成及び変換する DC/HFQ, HFQ/DC 変換回路を実現するため、SFQ/HFQ, HFQ/SFQ 変換回路を開発した。これらと既存の DC-SFQ, SFQ/DC 変換回路と組み合わせることで、室温と HFQ 回路とのインターフェイスを実現することができる。図 1 に SFQ/HFQ 変換回路及び HFQ/SFQ 変換回路の等価回路を示す。SFQ 回路と HFQ 回路はともに電圧パルス駆動であるため、両回路間に適切な抵抗を挿入することで接続できる。挿入する抵抗は最適化の結果、いずれも $2\ \Omega$ とした。HFQ パルスのエネルギーは SFQ パルスのエネルギーより小さいため、HFQ/SFQ 変換回路は SFQ/HFQ 変換回路よりも慎重に回路パラメータを設計する必要がある。我々はシミュレーションに基づき、抵抗 $R_{H/S}$ の後段の 0 接合 J_1, J_2, J_3 の臨界電流値 I_c をそれぞれ $50\ \mu\text{A}, 100\ \mu\text{A}, 210\ \mu\text{A}$ とした。

図 2 に設計した変換回路のテスト回路の顕微鏡写真を示す。ここでは室温からの信号を SFQ、HFQ に変換し、HFQ Josephson transmission line (JTL) を経由して元に戻す動作のテストを行った。図 3 に測定結果を示す。上の波形は DC/SFQ 変換回路への入力信号を示す。下の波形は SFQ/DC 変換回路から得られた出力を示す。入力の立ち上がりで SFQ が生成されて HFQ 信号に変換される。HFQ が SFQ に変換された後で SFQ/DC に入力されると出力電圧が反転する。図から、変換回路が正しく動作すること、及び、生成された HFQ 回路が正しく HFQ JTL を伝搬していることが確認できた。HFQ JTL の動作に必要な電流は約 $20\ \mu\text{A}$ であり、同じ I_c の接合を使った SFQ 回路による JTL に比べ、駆動電流は 1/11 に低減できることを確認した。

謝辞 本研究は科研費特別推進研究 (JP18H05211) 及び基盤研究 (S) (JP19H05615)、JST CREST (JPJPMJCR20C5) 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] M. Hidaka et al. J. Cryo. Super. Soc. Jpn, vol. 52, No. 5, pp. 315-322, 2017.
 [3] 長谷川 他. 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 20p-C213-2, 2019.

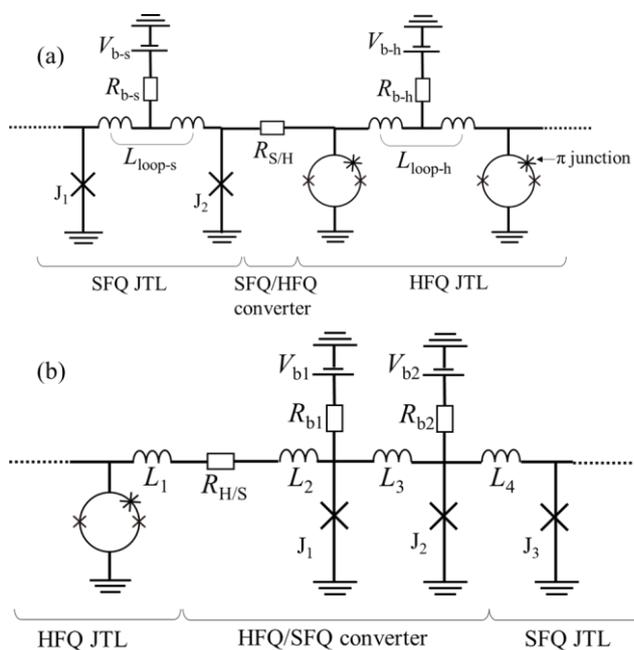


Fig. 1 Schematics of the (a) SFQ/HFQ converter and (b) HFQ/SFQ converter.

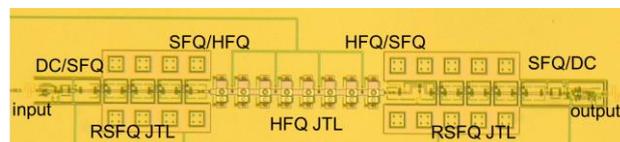


Fig. 2 Photograph of the HFQ-JTL consisting of DC/SFQ, SFQ/HFQ, HFQ/SFQ, SFQ/DC.

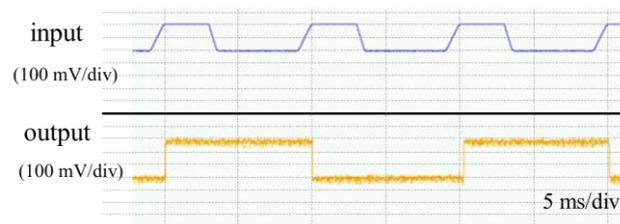


Fig. 3 Measurement waveforms of input and output.