

接合付加による半磁束量子回路の低消費エネルギー化

Lowered Energy Consumption for HFQ Circuits by Adding Extra Junctions

名大工¹, JST-PRESTO² ◦藤巻 朗¹, Li Feng¹, 竹下 雄登¹, 長谷川 大輝¹, 佐野 京佑¹,
田中 雅光¹, 山下 太郎^{1,2}

Nagoya Univ.¹, JST-PRESTO², ◦Akira Fujimaki¹, Feng Li¹, Yuto Takeshita¹, Daiki Hasegawa¹,
Kyosuke Sano¹, Masamitsu Tanaka¹, Taro Yamashita^{1,2}

E-mail: fujimaki@nagoya-u.jp

1. はじめに

我々の生活を支えている半導体集積回路であるが、現在は発熱や配線遅延の障害に直面し、その性能向上が阻害されている。この課題を打破し得る回路として、我々は半磁束量子(HFQ)回路を提案した[1]。この回路は、通常のジョセフソン接合と位相差が最初から π だけシフトした π 接合によって構成される $0-\pi$ SQUID を基本要素とする。HFQ 回路の最大の特長は、容易に小さな臨界電流を具現化できることであり、これが高いエネルギー効率に直結する。このほか、受動配線も含め、従来の RSFQ 回路で構築した技術はそのまま適用可能であるほか、 π 接合も含めた集積化技術も確立しつつある[2]。今回は、HFQ 回路のさらなる高エネルギー効率化、すなわち低消費エネルギー化に向けた検討を行ったので報告する。

2. 数値解析

HFQ 回路での動的エネルギー消費は、ジョセフソン接合がスイッチングする際に発生する。電流源で駆動している場合は、スイッチングする接合の位相差の変化量を小さくすることができれば、発生する電圧が小さくなり、結果として消費エネルギーは小さくなる。この思想に基づき、HFQ 回路の基本要素である $0-\pi$ SQUID に新たに 0 接合を1個もしくは2個加え、 $0-0-\pi$ SQUID、 $0-0-0-\pi$ SQUID を基本要素として、動的消費エネルギーを計算した。なお、その際新たに加えた接合の臨界電流は、スイッチングする接合の K 倍と仮定した。また念のため、 $\pi-\pi-\pi$ SQUID を基本要素とした場合も計算した。スイッチしない接合は、カイネティックインダクタンス L_k として機能することを想定し、計算では L_k もループインダクタンス L に含めて計算している。スイッチする接合の臨界電流を $100\mu\text{A}$ 、 Lk 積を $0.25\Phi_0$ とした。

計算結果を Fig. 1 に示す。K が大きい場合が $0-\pi$ SQUID を用いたときの動的消費エネルギーに対応する。図から明らかなように、接合の挿入とその接合の臨界電流値をスイッチング接合に近づけることで、約半分にまで動的消費エネルギーを下げる事が可能となる。

3. まとめ

HFQ 回路の動的消費エネルギーの低減化に、接合の挿入が有効であることを示した。ここでは議論しなかったが、動的消費エネルギーの低減化は静的消費エネルギーの低減化と直結する。低電圧駆動とした場合の、静的消費エネルギーの低減化についても、当日報告する予定である。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費特別推進研究(18H05211)、基盤(S)(19H05615)の支援を受けている。

参考文献 [1] T. Kamiya, *et al.*, IEICE Trans. Electron., E101-C (2018), p.385.

[2] 第 80 回応用物理学学会秋季学術講演会, 長谷川 *et al.*, 20p-C213-2 (2019).

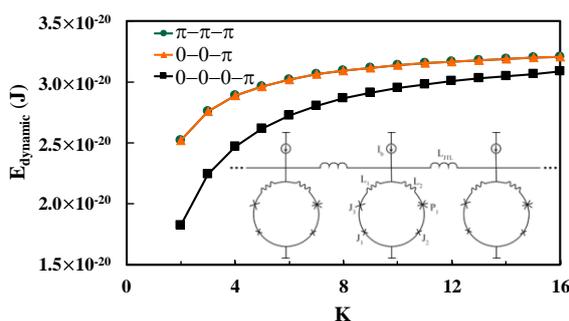


Fig. 1 Dynamic energy consumption in a single switching for $0-0-\pi$ SQUID, $0-0-0-\pi$ SQUID, and $\pi-\pi-\pi$ SQUID. K is the ratio of the critical current of inserted junctions to that of a switching junction.