

位相シフタとして π 接合 rf-SQUID を用いた量子化磁束パラメトロン

Quantum-flux-parametron using rf-SQUIDs with Josephson π -junction as phase shifters

大同大工¹, 名大院工², [○]赤池 宏之¹, 藤巻 朗²

Daido Univ.¹, Nagoya Univ.², [○]H. Akaike¹, A. Fujimaki²

E-mail: h-akaike@daido-it.ac.jp

1. はじめに

近年、ジョセフソン π 接合を新たに単一磁束量子(SFQ)回路に導入することにより、回路の高性能化を目指す研究がなされている[1-3]。これらは、 π 接合の特徴、すなわち、接合基底状態において超伝導巨視的波動関数の電極間位相差が π となることに着目、この接合を含む超伝導ループでの位相シフト効果を積極的に利用したものである。さらに、 π 接合を位相シフト効果のみならず、回路内でのスイッチング素子として有効に利用している。それに対し、位相シフト効果のみを利用する方法も考えられる。そこで、今回、我々は、 π 接合からなる rf-SQUID を位相シフタとして着目、この位相シフタを量子化磁束パラメトロン回路に適用し、励起電流の低減を試みた。

2. シミュレーション及び考察

回路の解析にあたり、回路シミュレータとして主に WinS [4]を用いた。まず、図1中の π -rf-SQUID において、 π 接合の臨界電流 $I_c=0.4$ mA、各インダクタンスの和 $L_1+L_2=2.0$ pH、端子 ab 間電流 0mA の条件下で、端子 ab 間の位相差 θ を見積もった(図1)。 L_2 に対して L_1 の割合が大きい方が、 θ が大きいことわかる。これは、 π 接合の存在により発生する周回電流がもたらす L_1 での磁束が大きくなり、それによる位相差が大きくなるためである。次に、 $L_1=1.5$ pH、 $L_2=0.5$ pH の条件下で、 I_c を変化させたときの θ を見積もった。その結果を図2に示す。 $I_c=0.16$ mA 以上において、 I_c の増加に対して θ は急激に増加するものの、やがてその増加率は緩やかになった。また、 $I_c=1.0$ mA のとき、 $\theta=2.0$ rad となった。

以上の結果を基に、この π -rf-SQUID を QFP ゲートに組み込み、その回路動作を調べた。図3にその回路図を示す。図中 PS1 及び PS2 が、 π -rf-SQUID に対応する。用いた π -rf-SQUID は、 $I_c=0.6$ mA のとき、 $\theta=1.8$ rad を示す素子である。その結果、励起電流 I_x を波高値 0.2 mA で正常動作することを確認した。位相シフト効果による QFP ゲートの励起電流の抑制は、磁性パターンを用いた位相シフタにより実現されているが[5]、同様の励起電流低減効果が π -rf-SQUID により期待できることが分かった。

謝辞:本研究は、JSPS 科研費 18K04291 の助成を受けたものである。
参考文献

- [1] T. Kamiya, et al.: IEICE Trans. Electron. Vol. E101-C (2018), pp.385.
- [2] Y. Yamanashi, et al.: Supercon. Sci. Technol. Vol. 31 (2018), 105003.
- [3] K. Arai, et al.: J. Appl. Phys. Vol. 125 (2019), 093901.
- [4] A. V. Ustinov, et al.: J. Appl. Phys., vol. 94 (2003), pp. 5405.
- [5] H. Ito, et al.: 2016 Appl. Supercond. Conf. (ASC2016), 1EO2B-04.

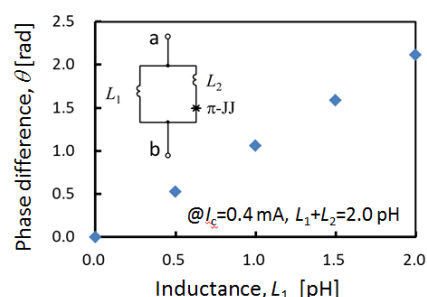


Fig. 1. Dependence of phase difference in π -rfSQUID on L_1 .

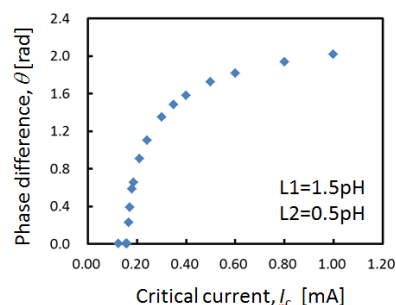


Fig. 2. Dependence of phase difference in π -rfSQUID on I_c .

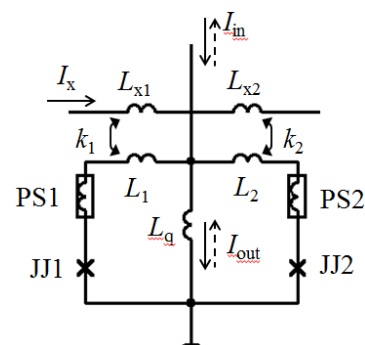


Fig.3. A QFP gate with phase shifters (PS1, PS2) consisting of a π -rf-SQUID.