

π 接合を用いた多段接続磁束伝送回路の評価

Evaluation of cascaded flux transmission circuits using π junctions

名大院工 ○堀裕貴、佐藤太一、李峰、田中雅光、藤巻朗

Nagoya Univ, ○Hiroki Hori, Taichi Sato, Feng Li, Masamitsu Tanaka,
and Akira Fujimaki

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

背景

超伝導ループに π 接合を並列に挿入した磁束伝送回路(以下、 π -FTC)は、 π 接合の負性インダクタンス特性により従来の限界を超えた磁束の伝送係数を実現できることが数値解析や実験によって示されている[1]。 π -FTCは内部磁束-外部磁束特性においてヒステリシスのない単一接合超伝導量子干渉素子を基としているため、 π 接合の臨界電流値 $I_{c\pi}$ とループインダクタンスの積 β に制約が発生する。その結果、インダクタンスがある閾値を超えると、入力電流の有無に関わらず内部に周回電流が流れ FTC として使用できない。そこで、 π -FTC を多段に接続することで、ループインダクタンスの制約を回避しながら大きな磁束伝送係数を実現する手法が提案されている。Fig.1 に π -FTC を2段接続した回路の等価回路図を示す。現在、数値解析により多段 π -FTC が π 接合の経路のない1つの超伝導ループからなる通常の FTC よりも大きな磁束伝送係数を実現でき、長距離ほど大きな磁束を伝送することさえできる可能性が示されている[2]。本稿では、 π -FTC の多段接続による磁束伝送係数向上の実験的な原理実証を目的とし、異なる入力電流に対して出力に誘起される磁束について調査した。

実験

我々は今回、産業技術総合研究所 Qufab の Nb 四層プロセス($J_c = 10\text{kA/cm}^2$)上に π 接合 (Nb/Pd₈₉Ni₁₁/Nb) [3]を作製し、複数段の π -FTC を含む回路を作成した。Fig.2 に2段の π -FTC の顕微鏡写真を示す。 π 接合の臨界電流値を精密に制御することが困難であるため、従来のジョセフソン接合(以下、0 接合)を π 接合に直列に挿入し、 β の制御を行った。0 接合の臨界電流値は $I_c=49\mu\text{A}$ であり、 π 接合の臨界電流値よりも十分小さいため、0 接合と π 接合のペアは臨界電流値 $I_{c\pi} = I_c$ を持つ一つの等価的な π 接合とみなせる。なお、 π -FTC の接続距離は Fig.1 における L_{wire} により決定される。本回路の接続距離は $47\mu\text{m}$ であり、1 段の回路において同一 I_c という条件の下、 L_{wire} を増加させることで2段と同一距離を実現することは β の制約上できない。実験では、電流源を用いて入力側から入力電流 I_{in} による磁束を印加し、出力側の十分な大きな負荷のインダクタンスに流れる微小な電流 I'_{out} を FLL を構成した検出用 SQUID を用いて測定した。検出用 SQUID において、 I'_{out} による磁束とフィードバック電流 I_{fb} による磁束の和が0になるため、フィードバック電流を測定することで間接的に出力電流を検出することができる。Fig.3 に2段の π -FTC のシミュレーション及び測定結果を示す。シミュレーションでは、同じ入力に対して通常の FTC よりも大きなフィードバック電流が流れており、より大きな出力電流が得られていることがわかる。実験結果について、入力電流

が $40\mu\text{A}$ 以下ではフィードバック電流の変化が小さくなっており、検出用 SQUID の動作点に関して今後議論を進める必要があるが、多段接続した π -FTC による磁束の伝送を確認した。今後通常の FTC と比較することで、 π -FTC の多段接続効果に関する議論を行う。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 (23H05447, 18H05211, 22H01548, 23K13376) 及びの支援を受けて実施した。

参考文献

- [1] M. Higashi et al., *Supercond.Sci.Technol.* 37(2024) 4, 045003.
- [2] 東正志ほか, 第71回応用物理学会春季学術講演会, 2024.
- [3] H. Ito et al., *Appl. Phys. Exp.* Vol. 10, 033101, 2017.

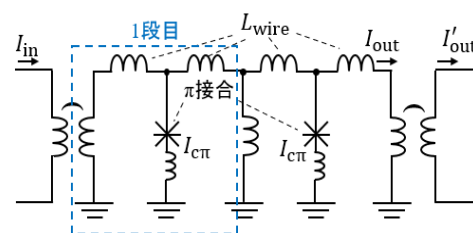


Fig. 1 The equivalent circuit of a 2-stage π -FTC.

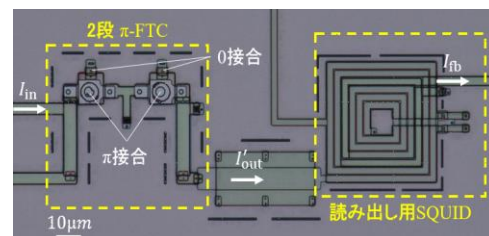


Fig. 2 The photograph of the fabricated

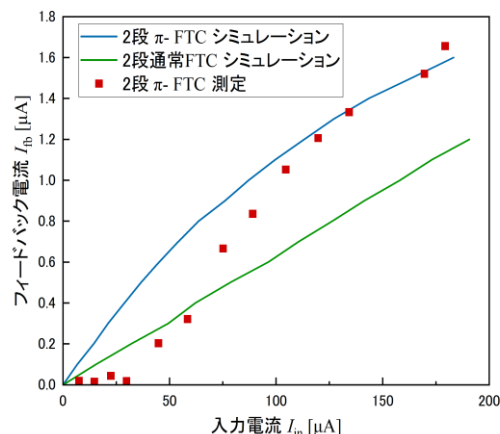


Fig. 3 The feedback current I_{fb} as a function