

シャント抵抗制御型 DFQ アンプの再設計と動作検証

Redesigned of Double-Flux-Quantum Amplifier with a Single Line for Flux Biasing

電通大院 情報理工 ○荒井祐真, 樋口孔明, 島田宏, 水柿義直

Univ. of Electro-Comm., Y. Arai, K. Higuchi, H. Shimada, and Y. Mizugaki

E-mail: arai@w8-7f.ee.uec.ac.jp

1. 背景と目的

Double-Flux-Quantum(DFQ)アンプは、アンダーダンプ接合における DFQ 生成を利用し、量子精度で電圧を増倍可能な回路である[1]。その電圧振幅率（電圧増倍率）は原理的に整数となるため、我々は DFQ アンプの電圧標準応用に関する研究を行っている[2]。従来の DFQ アンプは臨界電流制御型であり、磁束バイアス線を 2 本用いて動作実証が行われてきた。しかし、回路の簡易化やバイアス電流量抑制のため、磁束バイアス線を減らす取り組みが行われている[3]。本研究では、磁束バイアス線を 1 本のみ用いたシャント抵抗制御型 DFQ アンプ回路の再設計・試作および動作検証を行った。

2. 回路の再設計と試作

磁束バイアス線を 1 本使用した DFQ アンプ基本セル (Three-Junction Loop: 3JL) の等価回路を Fig. 1 に示す。シャント抵抗の無い接合 B で DFQ を生成する。磁束バイアス線を廃止したシャント抵抗制御型 DFQ アンプ回路のパラメータ[3]をもとに、正常動作可能な入力電圧 V_{in} の範囲拡大に有効な一方の磁束バイアス線のみを採用した。また本研究では、従来の等価回路で無視されていた GND 線側のインダクタンス L_4 を考慮し、等価回路の精密化を実施した。InductEX でインダクタンスの抽出を行いレイアウトの再設計を行った。設計した 20 倍 DFQ アンプ回路の試作は産業技術総合研究所 Nb-STP2 プロセスを用いて試作した。

3. 結果

測定は液体 He 中で行った。オーバーバイアス法で SFQ パルス列を入力し、オシロスコープで入出力特性を測定した (Fig. 2)。磁束バイアス電流 I_{fb1} を印加しない場合、最大入力電圧 V_{inmax} は $68 \mu\text{V}$ (青色) であり、先行研究[3]の V_{inmax} の $16 \mu\text{V}$ (緑色) と比較して約 4.2 倍に増加した。さらに、磁束バイアス電流 I_{fb1} に 1.00 mA の電流を印加すると V_{inmax} は $111 \mu\text{V}$ (赤色) まで上昇した。これらの結果より、本研究で回路の簡素化と動作範囲の拡大が示された。

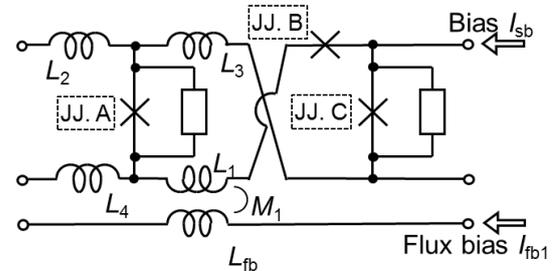


Fig. 1 Three-Junction Loop (3JL) working as one stage of a DFQA

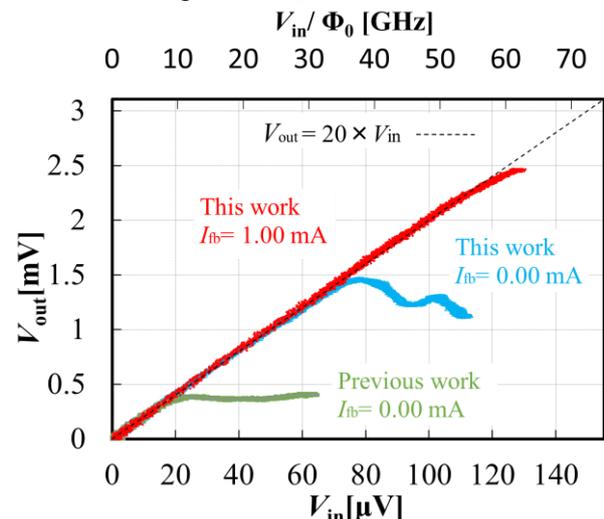


Fig. 2 Input-Output (V_{in} - V_{out}) characteristics demonstrating 20-folds voltage multiplication

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 15K13999 の助成と、東京大学 VDEC を通した日本ケイデンス株式会社の協力で行われた。本研究に使用された回路は、(独) 産業技術総合研究所 (AIST) の超伝導クリーンルーム (CRAVITY) において、AIST-STP2 プロセスを用いて作製された。

参考文献

- [1] Q. P. Herr, IEEE Trans. Appl. Supercond. **15** (2005) 259.
- [2] Y. Mizugaki et al., Electronics Lett., **50** (2014) 1637-1639
- [3] Y. Mizugaki et al, IEEE Trans. Appl. Supercond. **26** (2016) 1301104