

パルス数増倍器を入力に備えた200倍DFQアンプの高周波入力応答

Evaluation of Voltage Multiplication Factor in 200-fold Double-Flux-Quantum Amplifier

電通大¹, 産総研², [○]浦井芳彰¹, 高橋義隆¹, 島田宏¹, 前澤正明², 水柿義直¹Univ. of Electro-Comm.¹, AIST²,[○]Yoshiaki Urai¹, Yoshitaka Takahashi¹, Hiroshi Shimada¹, Masaaki Maezawa², Yoshinao Mizugaki¹,

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

1. 背景

次世代交流電圧標準に向け、単一磁束量子(Single Flux Quantum: SFQ)回路によって構成される周波数変調型(frequency modulation: FM-type) RSFQ-DACの研究が行われている[1]。FM-type RSFQ-DACは可変パルス数増倍器と電圧増倍器(Voltage Multiplier: VM)によって構成される[2]。我々はVMデバイスとして増倍率にバイアス電流が依存しないDouble-Flux-Quantum Amplifier (DFQA)[3]に着目している。これまでに我々は1000倍DFQAを入力にDC/SFQ変換器を用いて600 MHzまでの周波数で相対誤差 $\pm 0.1\%$ 以内での動作を実証した[4]。FM-type RSFQ-DACの実現には10 GHz以上のパルス列でDFQAを動作させる必要があり、更なる高周波数領域での増倍率評価を行う必要がある。しかし、我々の実験系ではGHzを超える高周波を直接入力することができない。

そこで本研究では、既に動作実績のある64倍パルス数増倍器(Pulse Number Multiplier: PNM)を入力に接続し200倍DFQAの電圧増倍率を12.3 GHzまでの周波数で評価した。

2. 回路構成

回路構成のブロック図をFig.1に、CADレイアウト図をFig.2にそれぞれ示す。本研究ではDFQ生成セルを199段接続して200倍DFQAを実現した。また、FM-type RSFQ-DACで用いられる12.3 GHzまでの高周波数で増倍率評価を行うために、200倍DFQAの入力部には64倍PNMを接続した。この64倍PNMに周波数 f_{IN} のSFQパルス列を入力すると平均周波数 $\langle 64 \cdot f_{IN} \rangle$ のSFQパルス列が生成される。このパルス列を200倍DFQAに入力することにより高周波領域での増倍率評価を行った。このときの200倍DFQAの出力電圧 V_{200} は

$$V_{200} = 200 \cdot \langle 64 \cdot f_{IN} \rangle \cdot \Phi_0 \quad (1)$$

となる。ただし、 $\Phi_0 = h/2e = 2.07 \times 10^{-15}$ Wbである。

3. 測定結果及び増倍率評価

測定では64倍PNMに周波数 f_{IN} (3.1~192.2 MHz) のパルス列を入力し、64倍PNMにより平均周波数 $\langle 64 \cdot f_{IN} \rangle$ (0.2~12.3 GHz)となったパルス列を200倍DFQAに入力した。200倍DFQAの出力電圧 V_{200} は Digital Multi-Meter (DMM)を用いて測定した。Fig.3に $\langle 64 \cdot f_{IN} \rangle$ - V_{200} 特性の測定結果、 V_{200} の測定値と(1)式の値との相対誤差 RE_{200} を示す。また、DMM測定値に含まれる誤差 V_{err} に起因する相対誤差について $V_{err} = \pm 3 \mu\text{V}$ とした結果も示す。

$\langle 64 \cdot f_{IN} \rangle$ が4.0~12.3 GHzの範囲では、 RE_{200} が $\pm 0.1\%$ 以内に収まっており、高周波動作においても以前の報告同様の増倍率精度が確認できた(最大出力電圧は5.1 mV)。 $\langle 64 \cdot f_{IN} \rangle$ が4.0 GHz未満では、 RE_{200} が $\pm 0.1\%$ の範囲外であるが、これは V_{200} の測定に含まれる誤差($V_{err} < 3 \mu\text{V}$)に起因するものであると考えられる。

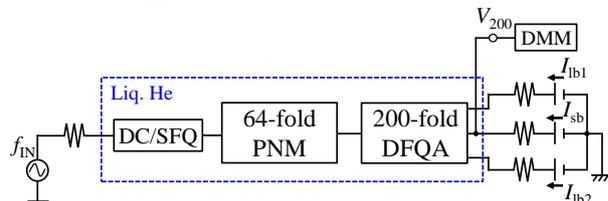


Fig.1 Measurement setup for 64-fold PNM and 200-fold DFQA.

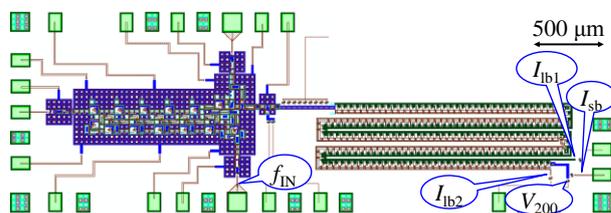
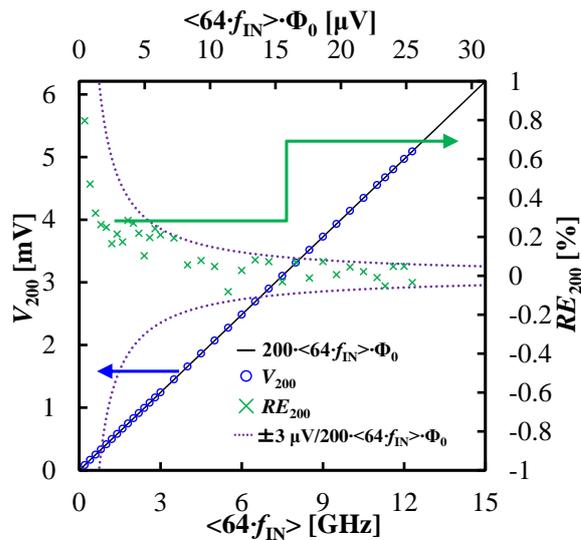


Fig.2 Layout of 64-fold PNM and 200-fold DFQA.

Fig.3 Experimental results of relationship between $\langle 64 \cdot f_{IN} \rangle$ and V_{200} (blue circles). The relative errors RE_{200} between V_{200} and $200 \cdot \langle 64 \cdot f_{IN} \rangle \cdot \Phi_0$ are also plotted (green X marks).

謝辞

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。本研究の一部は、公益財団法人旭硝子財団研究助成金により行なわれた。また本研究の一部は、東京大学VDECを通して日本ケイデンス株式会社の協力でなされた。

参考文献

- [1]M.Maezawa, et al., Physica C, 426-431(2005) 1674.
- [2]Y.Mizugaki, et al., IEEE Trans. Appl. Supercond., 21, (2011) 3604.
- [3]Q. P.Herr, IEEE Trans. Appl. Supercond., 15, (2005) 259.
- [4]Y.Mizugaki, et al., Jpn. J. Appl. Phys., 53, (2014) 053101.