

断熱量子磁束パラメトロンを用いた位相判別回路の 低臨界電流密度 Josephson プロセスにおける設計

Design of a phase discrimination circuit using adiabatic quantum flux parametron
with low current density Josephson process

横国大院理工¹、横国大 IAS² ○永松 義瑛¹、山梨 裕希^{1,2}、吉川 信行^{1,2}

Yokohama National Univ.¹, Yokohama National University IAS.²,

Yoshiaki Nagamatsu¹, Yuki Yamanashi^{1,2}, Nobuyuki Yoshikawa^{1,2}

1. はじめに

近年、社会課題を解決する上で、最適化問題に対処する必要が出てきた。このような問題に対して有効であると考えられているのが量子コンピュータである。中でもアニーリングシステムは組み合わせ最適化問題に代表される、計算量が指数関数的に増加する問題に適している。

しかしこの技術はスケーラビリティの問題を抱えており、多ビットを安定的に扱う技術が必要である。それを妨げる原因の一つとして、量子ビットに対する制御が室温環境から行われていることが挙げられる。この制御回路を極低温環境に置くことで回路の安定化を図ることができる。ここで、断熱量子磁束パラメトロン (AQFP[1][2]) の特性である極低温下動作や低消費電力性を用いることができる。

我々の目標は、制御回路を極低温環境下に置いたシステムの構築である。量子ビットからの出力である微小な電流を論理情報に変換する回路として、AQFP を用いた位相判別回路を以前設計した。さらに本研究では、ジョセフソン接合が発する熱雑音がより少ないプロセスである、 $J_c=1\text{kA/cm}^2$ の低臨界電流密度プロセス(1KP)を用いて設計した。

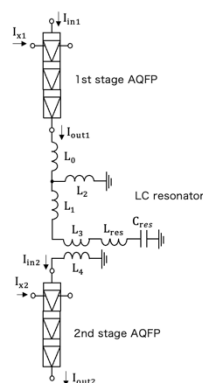


Fig.1. Phase discrimination circuit

2. 位相判別回路の構成と評価方法

入力信号の論理状態を判別するために、図1のような位相判別回路を考え、シミュレーションにより回路の論理判別におけるグレーゾーンの評価を行った。入力電流に対する論理"1"の出力確率が曖昧になる領域をグレーゾーンと呼

び、これが小さくなるほど感度が高くなったと評価することができる。

この回路はAQFPバッファ1段目、LC共振器、AQFPバッファ2段目で構成されており、1段目の出力電流を共振器で増幅、安定化させ、2段目での出力が正確に行われることを目的として設計した。

3. シミュレーション結果

入力電流を $-4\mu\text{A}\sim 4\mu\text{A}$ の間で変化させ、各入力電流につき1000回の論理確認を行うことで出力確率を計算した。

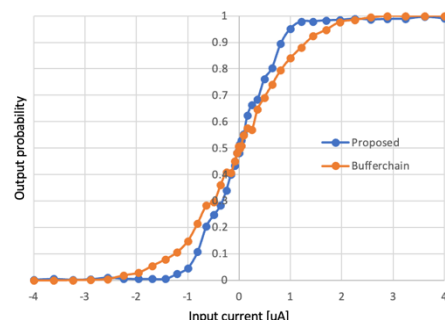


Fig.2. Grayzone of phase discrimination circuit

図2の結果を誤差関数を用いてフィッティングして計算したグレーゾーン幅は $1.68\mu\text{A}$ であった。通常のAQFPバッファの $2.51\mu\text{A}$ と比べると約30%小さくなっている。この結果から入力感度向上が確認できた。

以上により、低臨界電流密度プロセスのAQFPバッファに共振器を挿入し電流を増幅させることで、入力電流に対する応答性を高められることがシミュレーションにより確認された。

謝辞

本講演で発表した研究の一部は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務(JPNP16007)の結果得られたものです。

参考文献

- (1) N.Takeuchi, D.Ozawa, Y.Yamanashi, N.Yoshikawa : "An Adiabatic quantum flux parametron as an ultra-low-power logic device", Supercond. Sci. Technol., 26, 035010 (Jan 2013)
- (2) Y.Harada, H.Nakane, N.Miyamoto, U.Kawabe, E.Goto, T.Soma : "Basic Operations of the Quantum Flux Parametron", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, Vol. MAG-23, No.5 (SEPTEMBER 1987)