

可逆量子磁束パラメトロン・フリップフロップの消費エネルギーの検討

Study on the energy dissipation of a reversible quantum-flux-parametron flip-flop

横国大院理工¹, 学振特別研究員², 横国大 IAS³

○(D1)山栄 大樹^{1,2}, 竹内 尚輝³, 吉川 信行^{1,3}

Dept. of Electrical and Computer Eng., Yokohama Natl. Univ.¹,

JSPS Research Fellow², IAS, Yokohama Natl. Univ.³

○Taiki Yamae^{1,2}, Naoki Takeuchi³, Nobuyuki Yoshikawa^{1,3}

E-mail: yamae-taiki-yw@ynu.jp

可逆計算は熱力学的に可逆な過程であるため、計算に伴う消費エネルギーを無限小にすることができる。これまでに、断熱量子磁束パラメトロン (AQFP) [1] を用いた可逆論理ゲートである可逆 QFP (RQFP) [2] を用いて、様々な論理回路を提案し、実証した。しかしながら、フリップフロップのような順序回路の消費エネルギーがどのようになるのかは明らかにされていない。今回は、RQFP を用いたフリップフロップの消費エネルギーについて検討した。

Fig. 1 に RQFP を用いた SR フリップフロップ (SR-FF) の回路図を示す。SR-FF は RQFP 一個と AQFP buffer 数個で実現することができる。演算に不要なゴミの出力数は 2 である。Fig. 2 に 4.2 K 動作時の可逆 SR-FF の消費エネルギーの数値計算結果を示す。青の丸印と赤の三角印はそれぞれ入力 $(S, R) = (0, 1)$ or $(1, 0)$ と $(0, 0)$ or $(1, 1)$ の場合の計算結果、実線はフィッティング曲線である。Fig. 2 より、消費エネルギーは入力パターンまたは内部状態の変化の有無に依らず $2k_B T \ln 2$ に飽和していることが確認できる。これは最終段の AQFP の状態がリセットされる際、熱力学的な不可逆過程により、1 出力あたり $k_B T \ln 2$ だけ自由エネルギーが減少するためである。以上より、準静的過程において、RQFP を用いたフリップフロップは単位出力あたり $k_B T \ln 2$ だけのエネルギー散逸で動作

することを示した。

本研究は JSPS 科研費 (18H01493、19H05614、20J20495) の助成を受けたものである。

[1] N. Takeuchi, et al., Supercond. Sci. Technol., 26, 035010, (2013).

[2] N. Takeuchi, et al., Sci. Rep., 4, 6354, (2014).

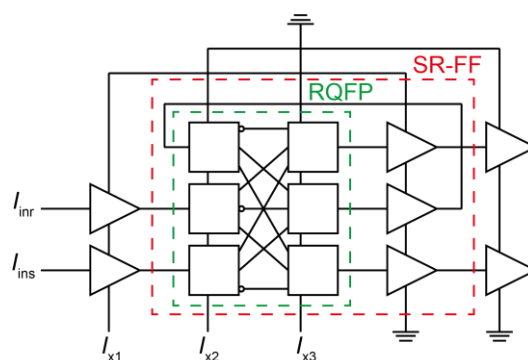


Fig. 1 Schematic of an SR-FF using RQFP, where I_{x1} , I_{x2} , I_{x3} are excitation currents, I_{ins} and I_{inr} are input currents.

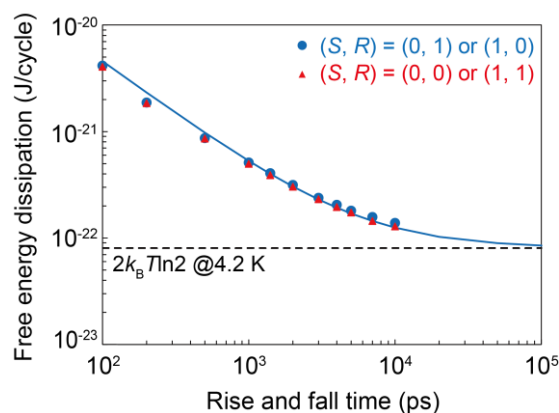


Fig. 2 Simulation results for the energy dissipation of the reversible SR-FF as a function of the rise and fall time of excitation and input currents.