

素子特性のばらつきが単一磁束量子シフトレジスタ回路の バイアスマージンに与える影響の調査

Study on Effect of Circuit Parameter Spreads on Bias Margins of Single-Flux-Quantum Shift Registers

名大工 °黒川 綜太, 喜多祐真, 田中 雅光, 藤巻 朗

Nagoya Univ., °Sota Kurokawa, Yuma Kita, Masamitsu Tanaka, Akira Fujimaki

E-mail: sota.k@super.nuqe.nagoya-u.ac.jp

単一磁束量子 (SFQ) 回路において、ジョセフソン接合 (JJ) の臨界電流値 (I_c) などの素子特性のばらつきは、バイアスマージンの低下や歩留まりの悪化を招き、大規模化を阻害する原因となる。現在、SFQ 大規模回路に用いられている Nb/ AlO_x /Nb 接合は、 I_c のばらつき (1σ) が 1%未満と優れた均一性が実現されている。しかし、実際の SFQ 回路のバイアスマージンは、ばらつきの分布が単純にガウス分布に従うと仮定した場合に比べ、大規模化に従ってマージンが急激に減少することが経験上知られている[1]。この原因として、特性が分布の中心から大きく外れたごく少数の素子が、大規模回路においてバイアスマージンを支配していることが疑われる。本稿では、このような素子特性のばらつきが大規模回路に与える影響を調査したので報告する。

調査対象は、図 1 に示す D フリップフロップで構成されたシフトレジスタとした。図の JJ1 と JJ2 は D フリップフロップの動作の鍵となるコンパレータ構造となっており、回路内に磁束が保持されているか否かに応じてどちらかの接合がスイッチする。4 bit、8 bit、32 bit の異なる規模のシフトレジスタについて数値解析を行った結果、JJ1 及び他の JTL を構成するいずれか 1 つの JJ の I_c が設計値の 80%に小さくなくても回路全体のバイアスマージンに影響はないが、JJ2 の I_c が設計値の 80%となると、回路規模に関わらずバイアスマージンの上側が 2%小さくなることが分かった。従って、シフトレジスタにおいては、回路中どこかの JJ2 の I_c が大きく設計値からずれると、全体のバイアスマージンが影響を受けることが示唆された。現在、意図的に JJ2 の I_c の値を小さくしたシフトレジスタの試作しており、今後バイアスマージンの回路規模依存性を実験的に評価する予定である。

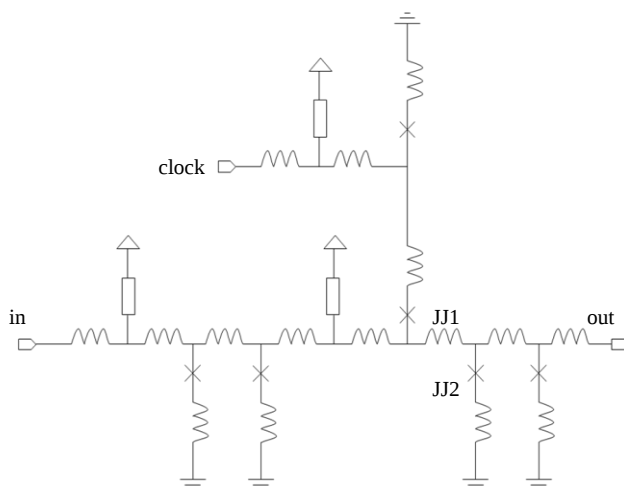


図 1 D フリップフロップの等価回路図

謝辞 本研究は科研費 (22226009, 24760276), JST ALCA の助成を受けたものである。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。また、本研究の一部は東京大学大規模集積システム設計教育研究センター (VDEC) を通しケイデンス株式会社の協力で行われたものである。

[1] 入江ほか、電子情報通信学会ソサイエティ大会、2005 年。