

低消費電力単一磁束量子シフトレジスタの評価 Evaluation of low-power single-flux-quantum shift register.

伊藤将人*1
Masato Ito

北山敦史*1
Atsushi Kitayama

田中雅光*1
Masamitsu Tanaka

藤巻朗*1
Akira Fujimaki

名古屋大学*1

Nagoya University

1. はじめに

単一磁束量子回路(SFQ回路)は、高速動作性及び低消費電力性を有した回路である。最近になって、SFQ回路の更なる低消費電力化が求められてきている。その理由として、冷凍機も含めた計算機システム全体の消費電力を比べた場合、半導体システムに対して十分優位であるとは言えないためである。

SFQ回路の消費電力は、ジョセフソン接合(JJ)のスイッチによる動的消費電力と、バイアス抵抗等で消費する静的消費電力に大別される。現在我々が用いているCONNECTセルライブラリ[1]では、接合がスイッチした際に生じる電圧よりも十分大きい2.5mVの電源電圧 V_b とバイアス抵抗 R_b を用いることにより等価的な電流源として、一定なバイアス電流を回路に供給している。従って、CONNECTセルライブラリでは静的消費電力が全体の消費電力の大部分を占めている。この静的消費電力を抑えるには V_b を小さくすることが必須となるが、このために、 R_b を大きなインダクタンス L_b と小さな R_b に置換する(LRロード)提案[2]がなされている。この方法では、バイアス供給部の時定数 $\tau(=L_b/R_b)$ を最適にすることが必要であるとされる。

本稿では、LRロードを用いた8bitシフトレジスタの動作評価によりバイアスマージンの L_b 依存性の調査を行った結果について述べる。また、従来のCONNECTセルの最小臨界電流値100 μ Aから小さくすることにより、更なる低消費電力化を図り、臨界電流値の違いによるバイアスマージンの変化の調査を行った。

2. 8bitシフトレジスタの動作評価

本実験で用いた8bitシフトレジスタの臨界電流値 I_c 、電源電圧 V_b の値を表1に示す。シフトレジスタ(A)-(C)でバイアス供給線の L_b の値を4pH,15pH,30pHで設計し、時定数を変えた場合のバイアスマージンの変化の測定を行った。試作したシフトレジスタの一例を図1に示す。

オンチップによる高速試験の結果、一つのシフトレジスタを除き、 $\pm 20\%$ のバイアスマージンを持ち20GHz程度までの動作を確認した。動かなかったシフトレジスタはレイアウトミスが原因である。

シフトレジスタの測定結果の一例としてシフトレジスタ(C)のバイアスマージンの周波数特性を図2に示す。この結果より、10GHz以上の周波数領域ではインダクタンスの値が小さいとバイアスマージンが狭くなることがわかった。それ以外のシフトレジスタ(A)(B)ではインダクタンスの値に依らずバイアスマージンはほぼ一様であった。電源電圧及び臨界電流値を低下させることで必要なインダクタンスの大きさが変化する。

ただし、今回の実験では20GHzまでの測定であったので各シフトレジスタの周波数特性に差があまり見られな

かった。そこで、40GHz程度まで評価できる回路を設計し動作評価を行うこと及び時定数の評価を行う予定である。

謝辞

本研究は、科研費(基盤S 22226009)の助成を受けたものである。本研究に用いた回路はISTECのSTP2プロセスを用いて作製した。また、本研究に用いた回路の作成には、産業技術総合研究所が一部寄与している。

参考文献:

- [1] S. Yorozu "A single flux quantum standard logic cell library," *Physica C: Superconductivity*, vol. 378-381, part 2, pp.1471-1474
- [2] Y. Yamanashi "Study of LR-Loading Technique for Low-Power Single Flux Quantum Circuits" *IEEE Transactions on applied superconductivity*, vol. 17, No. 2, June 2007.

表1. シフトレジスタの電源電圧、臨界電流値、消費電力、ただし、臨界電流値、消費電力、 R_b はCONNECTセルとの比較

SR	電源電圧(mV)	臨界電流値	消費電力	R_b
A	0.5	1/2	1/10	2/5
B	0.1	1/2	1/50	2/25
C	0.1	1/4	1/100	4/25

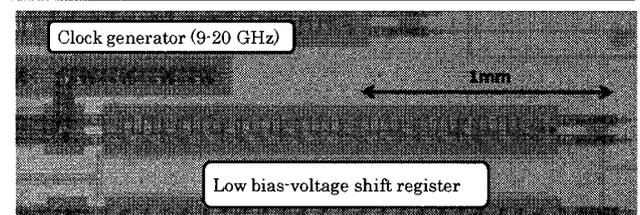


図1. STP2プロセスで試作したシフトレジスタのチップ写真

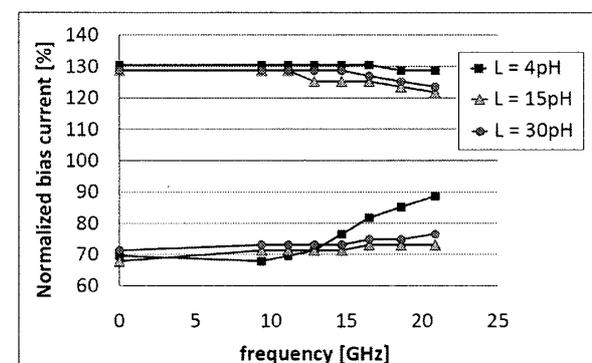


図2. シフトレジスタ(C)のバイアスマージンの周波数特性