

単一磁束量子リング・オシレータのジッタの評価

Evaluation of the Jitter of Single-Flux-Quantum Ring Oscillators for Time-to-Digital Converters

横浜国大院工 ○下田 知毅, 佐野 京佑, 阿部 裕, 山梨 裕希, 吉川 信行

Yokohama National University, ○T. Shimoda, K. Sano, Y. Abe, Y. Yamanashi, N. Yoshikawa

E-mail: shimoda-tomoki-xm@ynu.jp

近年、飛行時間型質量分析法(TOF-MS, Time-Of-Flight Mass Spectrometry)において、SFQ回路を利用した遅延測定回路(TDC, Time-to-Digital Converter)で構成される高分解能 TOF-MS システムの開発が行われている[1]。極めて高い時間分解能を有した二重発振器型 TDC では、2.5 ps の時間分解能が実現されている[2]。しかしながら、二重発振器型 TDC は内部発振器のジッタによって、性能が大きく制限されてしまう。今回、スペクトル・アナライザを利用してジョセフソン伝送線路で構成される SFQ リング・オシレータの発振スペクトルを測定し、発振器のジッタの評価を行った。

ジッタは、ジョセフソン接合で生じる熱雑音電流の影響を大きく受け、ジョセフソン線路の接合数の増加に伴い増大する。今回、リング・オシレータの接合数と β_c を変化させることで、発振器のジッタを調査した。Fig. 1 に、リング・オシレータのジッタの測定系を示す。リング・オシレータからの SFQ パルス出力を整合回路(IMN)に通すことで、SFQ パルスの発振スペクトルの直接測定が可能である[3]。IMN の帯域は 3-7 GHz であり、パラメータの変更により発振周波数が増加した場合は、TFF (Toggle Flip-Flop)を利用して周波数を調整した。

Fig. 2 に測定スペクトルの一例を示す。スペクトル・アナライザは、分解能帯域幅を 30 kHz、掃引速度を 120 ms、周波数スパンを 10 MHz に統一した。動作安定性の評価は、スペクトルの半値全幅(FWHM, Full Width at Half Maximum)を用いた。今回測定したリング・オシレータの性能と測定結果を Table 1 に示す。ここで示す発振周波数は、標準バイアス($I_B/I_C = 70\%$)におけるシミュレーション結果である。接合数にのみ着目すると、半値全幅から判断して、Type 1 のジッタが最も小さいことが分かる。接合数の少ない Type 2 の半値全幅が大きくなった原因として、TFF の影響が考えられる。Type 2 は、TFF が 3 段接続されており、TFF の影響を大きく受けるためである。また、 β_c に着目すると、Type 4 のジッタが最も小さいことが分かる。Type 4 は β_c を増加させたリング・オシレータであ

り、熱雑音電流が小さい。以上の結果から、 β_c が発振器の低ジッタ特性に大きく影響を与えることが確認できた。

本研究に使用された SFQ 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 を用いて作製された。

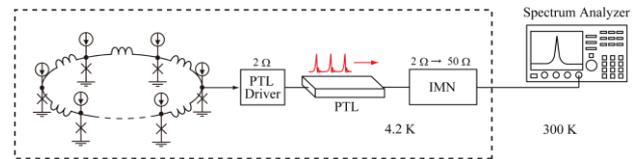


Fig. 1 An experimental setup for the jitter measurement.

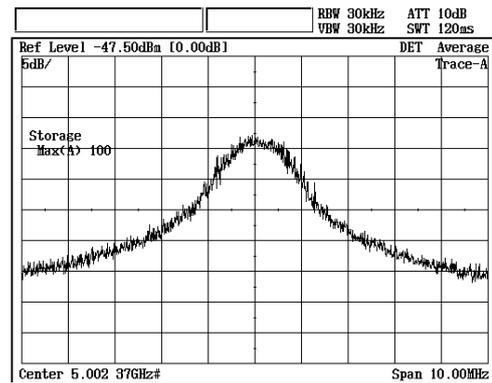


Fig. 2 An example of a frequency spectrum of a voltage oscillation in SFQ ring oscillator. (Vertical axis : 5 dB/div, Horizontal axis : 1 MHz/div)

Table 1 Parameters and FWHM of SFQ ring oscillators

	Number of JJ	β_c	Oscillation Frequency	FWHM
Type 1	50	0.89	4.8 GHz	1.90 MHz
Type 2	5	0.89	42.1 GHz	6.08 MHz
Type 3	20	0.89	11.7 GHz	4.06 MHz
Type 4	20	10	20.0 GHz	0.60 MHz
Type 5	20	0.2	6.2 GHz	4.53 MHz

参考文献

- [1] N. Yoshikawa *et al.*, ISEC 2009, SP-P44, 2009.
- [2] K. Nakamiya *et al.*, *Physica C*, vol. 463, p. 1088, 2007.
- [3] 下田ら, 応用物理講演会, 17pD41, Mar. 2014.