

複数 SQUID を用いた高速な線形化読み出し方式

Numerical Linearization of Readout Using Multiple SQUID Elements

産総研 ○平山文紀, 神代暁, 福田大治, 山森弘毅, 佐藤泰, 山田隆宏, 永沢秀一, 日高睦夫

AIST, °Fuminori Hirayama, Satoshi Kohjiro, Daiji Fukuda, Hirotake Yamamori,

Yasushi Sato, Takahiro Yamada, Shuichi Nagasawa, Mutsuo Hidaka

E-mail: f.hirayama@aist.go.jp

はじめに 極低温検出器からの信号を周波数分割多重化して読み出す回路として、rf SQUID のインダクタンス変化を共振周波数変化として測定するマイクロ波 SQUID システムを開発している[1,2]。一般に非線形検出器である SQUID では入力への負帰還により応答を線形化する磁束ロックループ(FLL)方式が用いられるが、負帰還信号には線形性が高くダイナミックレンジの広い経路が必要となる。そのような負帰還信号をマイクロ波帯で多重化することは困難であるため、FLL を用いずに SQUID への入力に磁束量子以上の幅の変調磁束を重ねて入力信号を線形化して読み出す方法が提案されている[3]。しかし、この方式では磁束変調周波数は読み出したい信号周波数よりも十分高い必要があるが、変調周波数上限は共振器帯域、共振周波数変位幅等で制限されるため高速な信号読み出しが困難となる。そこで今回、変調を用いずに2個の SQUID の非線形な出力信号から直接入力信号を推定する方法を提案し、磁束量子以上の大きさの信号を線形化する原理実証をおこなったので報告する。

実験・結果 マイクロ波 SQUID では、印加磁束によるインダクタンスの変化を共振器を用いてマイクロ波の位相振幅変化として出力するが、適切な信号処理により図1の1曲線のような dc SQUID と同様の磁束・電圧特性が得られる。磁束量子単位で繰り返す周期関数であり、1磁束量子周期内に限っても入力変化に対して感度のない領域が2か所あり出力から入力を推定するのは困

難である。そこで図2のように固定の磁束バイアスを与えた2個の SQUID に同一の信号を入力し、これらの出力を同時に読み出すことを考える。90度位相の異なる正弦波の XY プロットのアナロジーから想像できるように、適切な磁束バイアスを与えることで磁束量子周期内部では2つの出力から入力磁束が一意に決定できることになる。また、入力の変化に対し十分なサンプリング周波数とすることで磁束量子周期を超える入力に対しても追従可能である。そこで、マイクロ波 SQUID チップの2つの素子を図2の構成にして磁束バイアスを加え、図1の SQ1, SQ2 の特性を得た。この状態で入力に2磁束量子程度の振幅の10 kHz 正弦波を入力したところ、それぞれの SQUID 出力は図3(a), (b)のようになった。図1の特性とこれらの出力から入力を上記のように推定したところ、図3(c)のように正弦波を復元することができることが確かめられた。今後この方法による推定値の誤差、雑音を少なくするアルゴリズムの検討やその実験的検証を行っていきたいと考えている。

謝辞 本研究に使用されたデバイスは、(独)産業技術総合研究所 (AIST) の超伝導クリーンルーム CRAVITY において作製された。

[1] F. Hirayama *et al.*, IEEE Trans. Appl. Supercond., 23, 2500405 (2013).

[2] 第74回応物講演会17p-C10-8 (2013秋)

[3] J.A.B. Mates *et al.*, J. Low Temp. Phys., 167, 707 (2012).

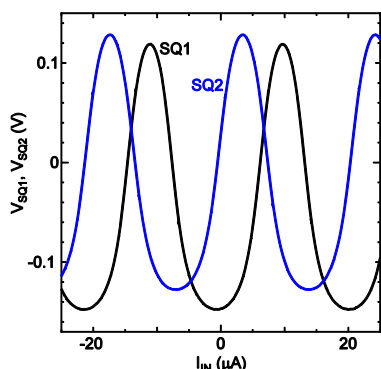


図1 マイクロ波 SQUID 入出力特性

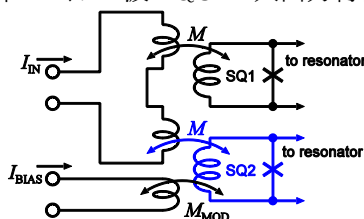


図2 磁束バイアス付2-SQUID ペア構成

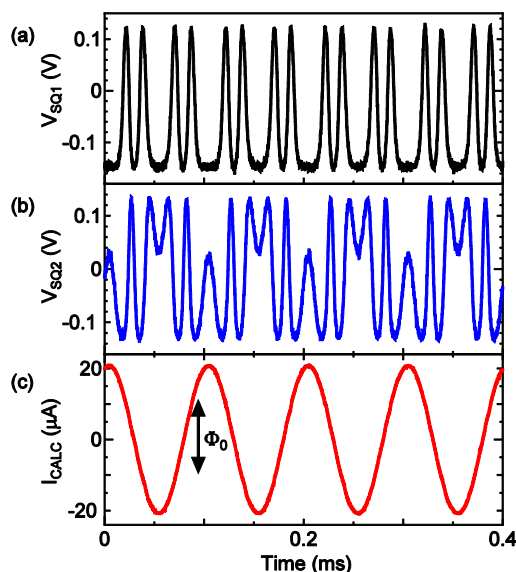


図3 磁束量子を超える大きさの正弦波復元例