

# 磁束変調駆動を可能とする高温超伝導 rf-SQUID 用 サブサンプリング-デジタル FLL システム

Digital flux-locked loop system equipped with sub-sampling technique  
for high-Tc rf-SQUID controlled by magnetic flux modulation

阪大基礎工, °宮戸 祐治, 渡邊 一樹, 赤羽 英夫

Osaka Univ., °Yuji Miyato, Kazuki Watanabe, Hideo Sato-Akaba

E-mail: miyato@sup.ee.es.osaka-u.ac.jp

高周波で駆動する高温超伝導量子干渉素子(high-Tc rf-SQUID)は、シンプルな構造でありながら非常に高感度な磁気センサとして知られている。しかし、高周波ノイズに弱く、また長時間安定性が欠ける場合があるなど課題が多くあった。これらの解決のため、本研究では、rf-SQUID を駆動・制御し、線形な出力応答を得る際に必要となる磁束ロックループ(FLL)回路に注目している。特に、dc-SQUID の FLL では一般的ではあるが、測定帯域よりも高い周波数で磁束を変調し、それに対する rf-SQUID の応答を検出・制御対象とする方法が有効と考えられる。今回は、Fig.1 に示すように正弦波状の変調磁束を与え、90° 位相がずれた A,B 点の出力電圧の差 ( $V_F = V_A - V_B$ ) がゼロになるように、フィードバックコイルより磁束( $\Delta\Phi$ )を rf-SQUID に加えた。このとき加えられた  $\Delta\Phi$  から外部磁束変化を知ることができる。これを実現するにあたり、FPGA を用いたデジタル FLL システムを開発した。一般的なアナログ FLL システムでは、rf-SQUID からの反射波を送信波の同期信号とミキシングして検波するが、本デジタル FLL システムは、反射波を AD コンバータに直接入力し、サブサンプリングによって I/Q 検波するもので、機能付加/変更も FPGA を再プログラムすることにより比較的容易に行える。本システムの構成の概略を Fig.2 に示す。これにより Fig.3 に示すように、磁束変調を行わない場合よりも、高周波ノイズに対する耐性が高くなった。一方、システム内の遅延の影響で測定帯域幅が狭いという問題が判明し、その改善法も検討した。当日は、その改善結果についても議論する。

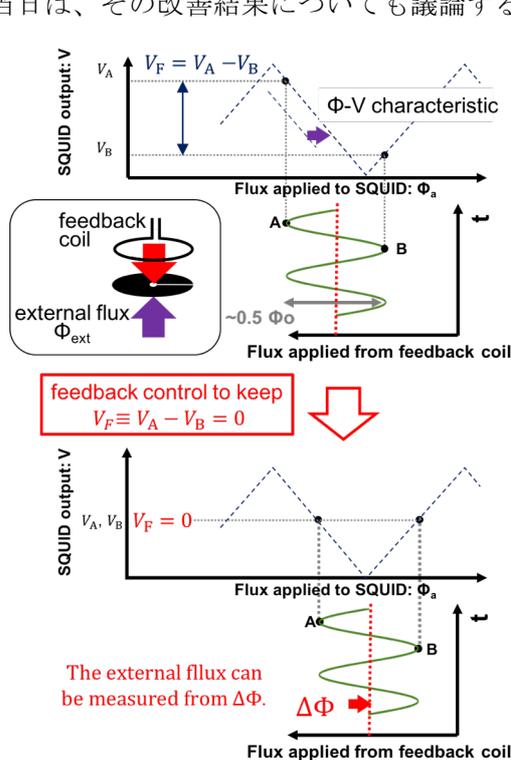


Fig. 1. Concept of flux modulation method for FLL.

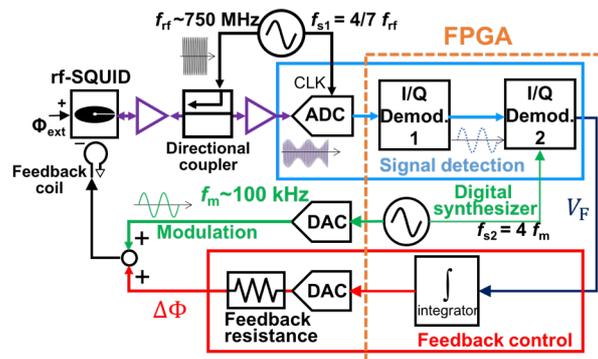


Fig. 2. Block diagram of the developed digital FLL system.

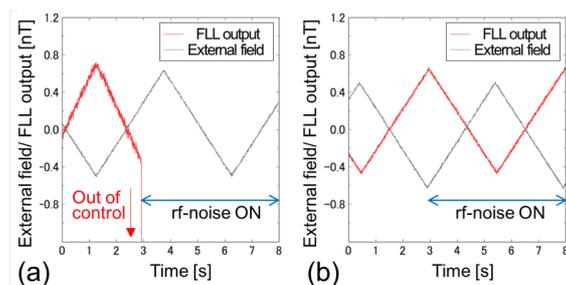


Fig. 3. Comparison of rf-noise tolerance. (a) Commercially available FLL system without flux modulation method. (b) Developed digital FLL system with flux modulation method.