

超伝導量子干渉素子を用いた 24-bit デジタル-アナログ変換器

24-bit Digital-to-Analog Converter using
Superconducting Quantum Interference Device

(独) 産業技術総合研究所 計測標準研究部門 ○ 中西 正和

AIST MIJ ○ Masakazu Nakanishi

E-mail: m.nakanishi@aist.go.jp

超伝導量子干渉素子 (Superconducting Quantum Interference Device) を用いた Digital-to-Analog 変換器 (SQUID DA) は SQUID の磁束周期性を利用しており、出力は原理的に線形である [1]。市販の rf-SQUID を用いて、ダイナミックレンジが約 24-bit の SQUID DA を製作したので報告する。

rf-SQUID で Cryogenic Current Comparator (CCC) を構成した。N-turn sensing coil と SQUID-ring の等価相互インダクタンス ($M_{\text{eff}}(N)$) は N に比例する。原理を図 1 に示す (超伝導製 sheath 表面に流れる遮蔽電流の大きさは N に比例し、sensing coil の位置に依存しないので、 $M_{\text{eff}}(N) \propto N$)。

24-bit SQUID DA 回路概略を図 2 に示す。

基本回路に secondary coil (N_s -turn) と secondary 電流回路を追加した。既に報告したように primary coil (N_p -turn) に流れる電流 (I_p) は SQUID-ring に $n_p \Phi_0$ ($n_p = 0 \dots 3420$, $\Phi_0 = h/2e$: 磁束量子, h : Planck's constant, e : elementary charge) を誘導する [1, 2]。SQUID-ring に $n_s \Phi_0 / 4096$ を誘導するように secondary coil に流れる電流 ($I_s(n_s)$) を制御すれば、ダイナミックレンジは $3420 \times 4096 \simeq 1.4 \times 10^7 \simeq 23.7$ bits になる。

最初に $N_s = 2048$ とする。FLL 回路の peak detection を利用して、SQUID-ring にそれぞれ $\Phi_0/2$, $\Phi_0 \dots (2048 - 1/2)\Phi_0$, $2048\Phi_0$ を誘導する $U_s(n_s) = R_s I_s(n_s)$ を測定する ($U_s(1) \dots U_s(4096)$)。電圧源 (横河電機製 7651) の電圧安定性が $U_s(n_s)$ の測定誤差の主要因で ($|\Delta U_s(n_s)| \simeq 0.02$ mV)、約 44 $m\Phi_0$ に相当する。次に $N_s = 1$ とする。 $U_s(n_s)$ は SQUID-ring に $n_s \Phi_0 / 4096$ を誘導する。 $|\Delta U_s(n_s)|$ は約 0.021 $m\Phi_0$ に相当する。

Quantum Design 社製 rf-SQUID (model-2000) の磁束分解能は約 $0.2m\Phi_0$ 、同 rf-SQUID を用いた SQUID DA 出力揺らぎ (測定値) は約 $0.25m\Phi_0$ で、磁束分解能が主要因である。同 SQUID DA の最小制御出力 ($\Phi_0/4096 \simeq 0.24m\Phi_0$) は出力揺らぎにほぼ等しい。 $N_p = 47$ の場合、最大出力電流は約 1.4 mA、最小制御電流及び出力電流揺らぎは約 100 pA である。

参考文献

- [1] M.Nakanishi, Rev. Sci. Instrum. **83**, 114701 (2012).
[2] M.Nakanishi, Rev. Sci. Instrum. **81**, 094703 (2010).

Fig.1 CCC の原理.

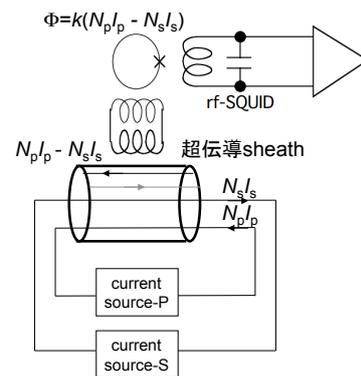


Fig.2 23-bit SQUID DA.

