

超伝導量子干渉素子の周期性を利用した高線形性 DA 変換器

Digital-to-Analog Converter of High Linearity based on Magnetic Flux Periodicity of Superconducting Quantum Interference Device

産総研 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: SQUID) は、超伝導ループ (SQUID loop) 内にジョセフソン接合素子 (Josephson junction: JJ) を 1 個持つ rf-SQUID と 2 個持つ dc-SQUID の 2 種類がある [1]。SQUID 特性は SQUID loop 鎖交磁束 (Φ) に対し周期的に変化する (周期は磁束量子: $\Phi_0 = h/2e \simeq 2.07 \cdot 10^{-15}$ Wb, h : Planck's constant, e : elementary charge)。

SQUID に input coil を取り付け、電流検出器として用いる事もできる。FLL 法 (Flux Locked Loop)[2] 等のピークディテクションと feedback 電流源を組み合わせ、 $\Phi = n\Phi_0$ になるように input coil に流す電流 ($I = I_c + I_f$) を制御すれば、電流出力型 DA 変換器となる ($I = n\Phi_0/M_{is}$, M_{is} は input coil と SQUID loop の mutual inductance)。極低温電流比較器 (Cryogenic Current Comparator: CCC) の N_c -turn sensing coil と SQUID loop の等価 mutual inductance は N_c に比例するので ($M_{cs}(N_c) = N_c \cdot M_{cs}(1)$)[3]、CCC を用いると電流を微調整可能な DA 変換器となる (Figure, $I = n\Phi_0/N_c M_{cs}(1) \propto n/N_c$)。

半導体製高性能 AD・DA 変換器が多種類市販されており、最近では超伝導デバイス製 AD・DA 変換器が各種報告されている [4]-[6]。殆どの AD・DA 変換器 (超伝導デバイスを含む) の線形性は抵抗器や Zener 電圧発生器等に依存しているので、性能を十分に発揮するためには定期的な校正が必要である。文献 [6] の DA 変換器は JJ の量子効果を利用しているので原理的に線形だが、マイクロ波伝送路内に JJ を集積しているため LSB (Least Significant Bit) の電圧可変範囲が小さい。本 DA 変換器は SQUID の周期性を利用しているので原理的に線形性で、前述の様に出力電流の制御範囲も広い。市販の rf-SQUID (Quantum Design 社製、model 2000) を用い DA 変換器を製作、DMM (Digital Multimeter, Agilent 社製 hp34420A) の線形性を評価したデモンストレーション結果を、当日併せて報告する。

参考文献

- [1] For example, A. Barone et.al, *Physics and Applications of the Josephson Effect* (Wiley, 1982).
- [2] M. Nakanishi and Y. Sakamoto, IEEE Trans. Circuits Syst.-II **43**, 570 (1996).
- [3] D. B. Sullivan and R. F. Dzuiba, Rev. Sci. Instrum. **45**, 517 (1974).
- [4] J. P. Hurrell, D. C. Pridmore-Brown and A. H. Silver, IEEE Trans. Elec. Dev., **27(10)** 1887 (1980).
- [5] F. Hirayama, M. Maezawa, S. Kiryu, H. Sasaki and A. Shoji, Supercond. Sci. Technol., **15** 494 (2002).
- [6] C. A. Hamilton, F. L. Lloyd, R. L. Peterson and J. R. Andrews, Appl. Phys. Lett., **35(9)** 718 (1979).

Ex. Magnetic flux-voltage (Φ - U) of a current biased dc-SQUID.

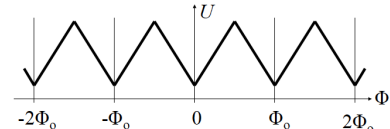


Fig. DA converter using a CCC.

