

非対称 2 接合 SQUID でのゼロ・クロッシング・シャピロ・ステップ を利用した 3bit 平衡 3 進デジタル - アナログ変換器

Three-bit balanced ternary D/A converter based on zero-crossing Shapiro steps in asymmetric 2J-SQUIDs

電気通信大学 ○守屋雅隆, 瀧澤宏幸, 水柿義直

The Univ. of Electro-Comm., ○Masataka Moriya, Hiroyuki Takizawa, Yoshinao Mizugaki

E-mail: moriya@ee.uec.ac.jp

はじめに

零バイアス電流軸を横切るシャピロ・ステップ(Zero-Crossing Shapiro Step: ZCSS)は、直流電圧標準において利用されており、次世代の交流電圧標準や高精度デジタル - アナログ変換器への応用も期待される。我々はマイクロ波駆動した非対称 2 接合 超伝導量子干渉素子(SQUID)を用いて制御性良く ZCSS が得られることを実証してきた[1]。非対称 2 接合 SQUID にマイクロ波を照射し、入力として制御電流(I_{ctrl})の値を負、正と切り替えることで、 $-\Phi_0 \cdot f$ 、 $+\Phi_0 \cdot f$ の ZCSS を得ることができる。ここで Φ_0 、 f はそれぞれ磁束量子、マイクロ波の周波数である。本研究では、制御電流を切り替えることで生じる ZCSS を利用した 3bit 平衡 3 進デジタル - アナログ変換器(DAC)を試作した。

回路の設計, 実験結果

3bit 平衡 3 進 DAC の等価回路を Fig.1 に示す。回路の第 1, 第 2, 第 3 セグメント(seg.)はそれぞれ 1, 3, 9 個の非対称 2 接合 SQUID によって構成されている。 I_b は直流バイアス電流、 I_{rf} はマイクロ波電流である。 $I_b=0$ の時、 T_V 端子とグラウンドの間に発生する電圧 V は以下の式で表すことができる。

$$V = \sum_{n=1}^3 B_n \cdot 3^{n-1} \cdot \Phi_0 f \quad \dots(1)$$

B_n は各ビットの入力で、第 n セグメントと磁氣的に結合したインダクタンスに流した制御電流(I_{ctrln})の方向を負方向、ゼロ、正方向に切り替えた時にそれぞれ -1, 0, +1 の値をとる。 B_1 、 B_2 、 B_3 の組み合わせにより、 $-13\Phi_0 \cdot f$ から $+13\Phi_0 \cdot f$ までの量子化された電圧を発生可能である。

設計した回路は ISTEK ニオブ標準 2 プロセスによって試作された。非対称 2 接合 SQUID に含まれる 2 つのジョセフソン接合 JJ_1 および JJ_2 の臨界電流は 0.60 mA と 0.20 mA、シャント抵抗は 0.24 Ω と 0.60 Ω である。Fig.2 に $I_b=0$ において 8.00GHz のマイクロ波を照射し、 I_{ctrl1} 、 I_{ctrl2} 、 I_{ctrl3} を切り替えながら発生させた電圧の

観測結果を示す。 $-13\Phi_0 \cdot f$ から $+13\Phi_0 \cdot f$ まで量子化された電圧が発生していることがわかる。

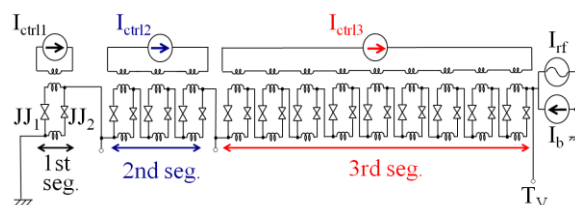


Fig. 1 Equivalent circuit of three-bit balanced ternary D/A converter.

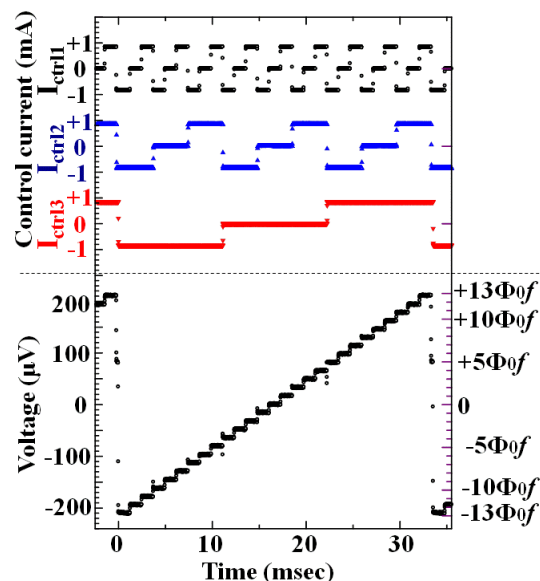


Fig. 2 Time dependence of I_{ctrl1} , I_{ctrl2} , I_{ctrl3} and V . $I_b=0$ and frequency of I_{rf} is 8.00GHz.

謝辞

有益なご助言を頂いた電気通信大学の島田宏先生、栗原正純先生、黒岩桂介氏、佐藤裕介氏に感謝申し上げます。本研究の回路の作製には産業技術総合研究所が一部寄与している。本研究の一部は東京大学 VDEC を通し日本ケイデンス株式会社の協力で行われ、また本研究の一部は、公益財団法人 旭硝子財団の研究助成金により行われた。

参考文献

[1] Y. Mizugaki et al., J. Appl. Phys., 100 (2006) 064503