

平坦な入出力特性を持つ超伝導ニューロン回路の設計と試作

Implementation of Superconducting Neural Circuit with a Flat Output Characteristic

東北大電通研 ○小野美 武, 中島 康治

Research Inst. Electrical Communication, Tohoku Univ., ○Takeshi Onomi, Koji Nakajima

E-mail: onomi@riec.tohoku.ac.jp

【はじめに】近年我々はホップフィールド型のニューラルネットワーク[1]を、結合 SQUID デバイスによるニューロン回路[2]により構成することを検証している。そのネットワークは数値シミュレーションによって組み合わせ最適化問題を解くことが可能であることが示されている[3]。本発表では、同ネットワークを実現するうえで重要なニューロン回路の入出力特性として、出力が平坦なしきい値特性を有するニューロン回路の設計・試作・測定を行ったので報告する。

【回路設計】図 1 に設計したニューロン回路を示す。回路は 2 段の結合 SQUID により構成され、初段は従来と同じ回路パラメータを持つ。一方、2 段目は平坦な出力特性を得るために、1 接合 SQUID の LI_c 積を大きくした構成である。 LI_c 積を大きくすることで、2 段目の結合 SQUID 単独ではヒステリシスを伴う入出力特性を示すが、初段の出力がステップ的であり、2 段目の出力はヒステリシス領域を通過した領域で出力電圧を発生する。結果として図 2 の数値解析結果に示すような、平坦な出力特性を持つしきい値特性が得られる。

【試作と測定】実際の回路上での動作を確認するために、ISTEC 2.5kA/cm² 標準プロセス(STP2)により回路を試作し、測定を行った。図 3 は 2 段の結合 SQUID によるニューロン回路の入出力特性である。上下の輝線は 2 段目と 1 段目の出力電圧を示している。2 段目の出力特性は、しきい値の立ち上がり部分での若干の出力低下によるラウンドが見られるが、概ね平坦な特性が得られている。立ち上がり部分の出力低下は、別途行った評価用のテスト回路により原因が判明している。2 段目の SQUID 単独ではヒステリシスを持つ特性が得られるはずであるが、評価回路ではヒステリシスが得られておらず、その原因として結合部分のインダクタンスが設計値より小さいことが判明している。

【まとめ】平坦な入出力特性を有する超伝導ニューロン回路の設計、試作を行った。試作した回路のインダクタンス値が設計値より小さく、しきい値近傍において若干の出力低下が見られたが、平坦な出力特性が得られている。しきい値近傍における平坦性は、回路レイアウトの調整によって改善可能であると考えている。

参考文献 [1] J. J. Hopfield et al., *Biol. Cybern.*, vol. 52, no. 3, pp. 141–152, 1985. [2] Y. Mizugaki, et al., *IEEE Trans. Appl. Superconduct.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–8, 1994. [3] T. Onomi, et al., *IEEE Trans. Appl. Superconduct.*, vol. 21, no. 3, pp. 701–704, 2011.

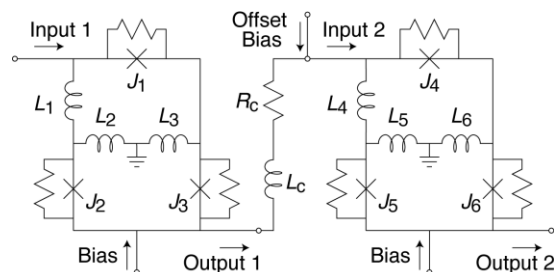


図 1. 2 段の結合 SQUID 素子によるニューロン回路

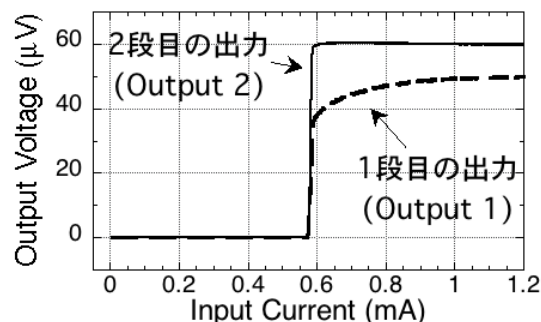


図 2. 数値解析による入出力特性

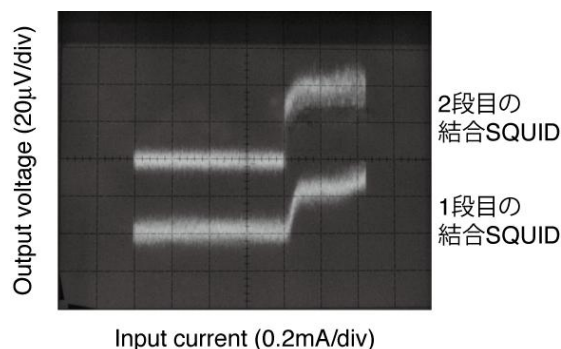


図 3. 測定結果