

VO₂ 金属絶縁体転移素子を利用したニューロン回路の安定性の研究

Stability analysis of neuron circuits using VO₂ metal-insulator transition

東大マテ¹ ○矢嶋 赳彬¹, 西村 知紀¹, 鳥海 明¹

Univ. of Tokyo¹, ○Takeaki Yajima¹, Tomonori Nishimura¹, and Akira Toriumi¹

E-mail: yajima@adam.t.u-tokyo.ac.jp

次世代の非ノイマン型回路の一つとして、神経回路の動作メカニズムを模倣するニューロモルフィック回路研究が盛んに行われている。ニューロモルフィック回路は、ニューロンに対応するアナログ回路が多数集まってネットワークを形成し、スパイク信号を介して情報伝達する。従って、個々のニューロン回路でいかにコンパクトにスパイク信号を生成するかが、集積化のために重要となる。従来の回路では、キャパシタとトランジスタからなるフィードバック回路によってそのようなスパイク信号を生成していたが、それでは個々のニューロン回路を極限まで微細化することができない。そこで近年、抵抗変化材料が示す負性抵抗を利用して、回路を不安定化しコンパクトにスパイク生成することが提案されている[1,2]。しかし、抵抗変化材料を負性抵抗素子として利用した時のアナログ回路の安定性については、十分に議論されているとは言えない。そこで本研究では、典型的な相転移型抵抗変化材料である VO₂ にキャパシタと抵抗を接続した図 1a の回路を作製し、その安定性の条件を系統的に調べた。その結果、本来回路が不安定化してスパイク信号を生成するはずの条件であっても、回路の時定数（リミットサイクルの周期）が材料の時定数（VO₂ の熱拡散時定数）を下回ると、回路が安定化してスパイク信号を生成できなくなることが分かった。このように、抵抗変化現象をアナログ応用する際には、材料の時定数を考慮した設計が不可欠であり、ニューロモルフィック回路を設計する上での重要な手掛かりが得られたといえる。

実験で使用した VO₂ は絶縁状態から金属状態へと相転移する過程で、図 1b の黒実線のように電流が増加しながら電圧が減少する負性抵抗を示す。このような負性抵抗は、回路を容易に不安定化し、図 1b の赤線のように不安定点を囲むリミットサイクルを形成して、直流電圧下でスパイク電圧を生成する。しかし図 1a の回路の安定性を V_0 と C_p に対して詳細に調べた結果（図 1c）、本来回路が不安定化する条件であっても、リミットサイクルの周期（ $\sim 2\pi R_s C_p$ ）が VO₂ の熱拡散時定数を下回ると、回路は赤色の領域のように安定化しスパイク電圧を生成できないことが分かった。さらにこの結果は、VO₂ の温度に関する微分方程式を回路方程式に連立させることで、定量的に再現できることを明らかにした。本研究は JST CREST Grant Number JPMJCR14F2 の支援によって行われ、またその一部は JSPS KAKENHI 17H04812 の支援によって行われた。[1] M. Pickett *et al.*, Nat. Mater. **12**, 114 (2012). [2] K. Moon *et al.*, IEDM (2015).

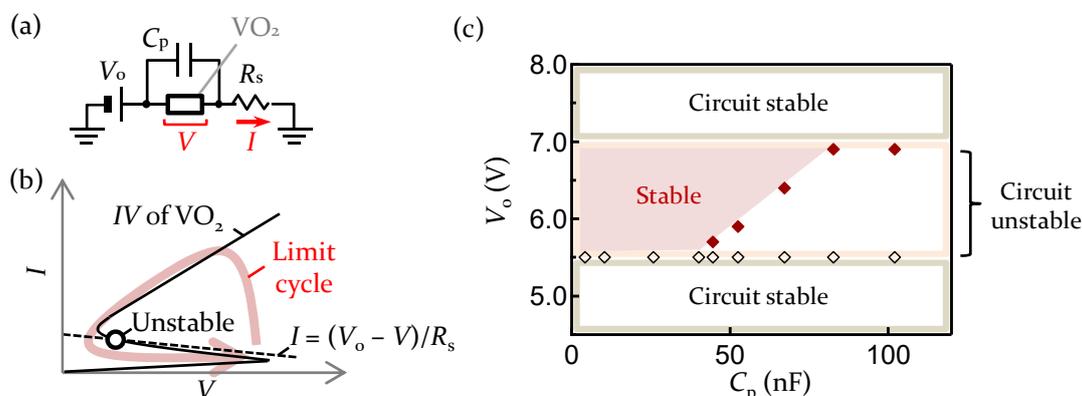


Fig. 1: (a) The spiking circuit using VO₂, and (b) its limit cycle in the IV characteristics. (c) The experimentally obtained stability diagram of the circuit for various V_0 and C_p at $R_s = 1.5\text{k}\Omega$.