

### 四安定 STDP 回路に対する一検討

#### A Study on a Quad Stable STDP circuit

○周藤丈瑠<sup>1</sup>, 菊池優作<sup>2</sup>, 山口拓人<sup>3</sup>, 佐伯勝敏<sup>4</sup>

\*Takeru Shuto<sup>1</sup>, Kikuchi Yusaku<sup>2</sup>, Takuto Yamaguchi<sup>3</sup>, Katsutoshi Saeki<sup>4</sup>

Abstract: Neurons, the smallest units of the brain, send signals to other neurons through axons. The STDP learning side, in which synaptic connections change depending on the firing time difference between two cell bodies connected by an axon and the firing pattern, has been reported. In this paper, we investigate the connection weight in an asymmetric STDP circuit using a comparator and a bistable circuit. As a result, we are able to stabilize the coupling load to four values.

#### 1. まえがき

脳を構成する最小単位であるニューロンは、他のニューロンから樹状突起で信号を受け取り、軸索を通して他のニューロンに信号を送っている。ニューロンの細胞体同士で何かを学習や記憶を行う時には、閾値電圧を超えると膜電位が急上昇する細胞の発火のパターンによって情報伝達がされる<sup>[1]</sup>。軸索によって結ばれた2つの細胞体による発火時間差と、発火パターンによってシナプスの結合が変化する STDP(Spike-Timing-Dependent synaptic Plasticity)(スパイクタイミング依存シナプス可塑性)学習則が報告されている<sup>[2]</sup>。先に我々は STDP 特性を有する回路モデルを提案している<sup>[3][4]</sup>。Sathiya らは双安定回路を用いることで結合荷重値を保持できるモデルを提案している<sup>[5]</sup>。

今回我々は、非対称型 STDP 回路の結合荷重値を4値に維持することを目的とし、回路シミュレータを用いて検討を行った。

#### 2. 本論

Figure 1 に今回提案する回路のブロック図を示す。また、Figure 2 に今回使用した非対称型 STDP 回路を示す。ここで、 $V_{pre}$  にパルス波を入力し、 $V_{post}$  は  $V_{pre}$  の前後  $30\mu s$  で  $0.1\mu s$  間隔でパルス波を入力した。

Figure 3 に先に記した条件のもとシミュレーション結果を示す。同図は  $V_{post}$  が先、 $V_{pre}$  が後に発火した場合は結合荷重値が低く、 $V_{pre}$  が先、 $V_{post}$  が後に発火した場合は結合荷重値が高くなることを示している。同図は、縦軸を非対称型 STDP 回路による結合荷重値、横軸を  $V_{pre}$  と  $V_{post}$  による発火時間差を示している。

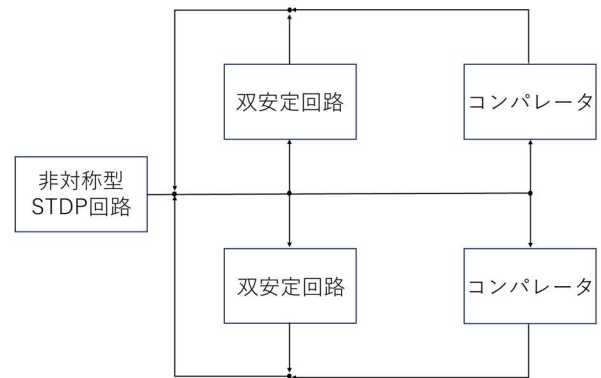


Figure 1. 結合荷重値の4値安定を目的とした回路のブロック図

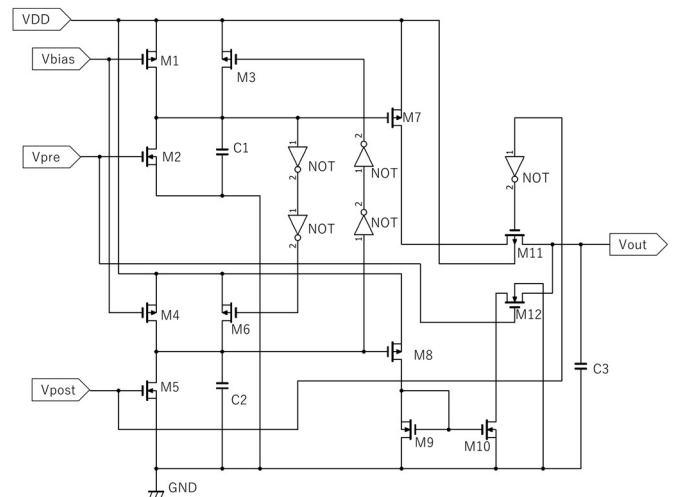


Figure 2. 非対称型 STDP 回路

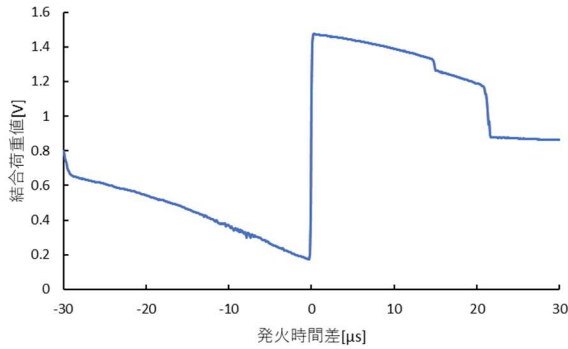


Figure 3. 非対称型 STDP 回路のシミュレーション結果

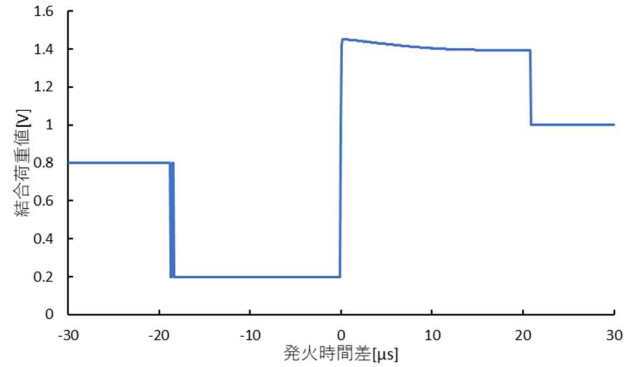


Figure 5. 結合荷重値の4値安定を目的とした回路のシミュレーション結果

Figure 4 に今回提案する双安定回路を示す. 同図は,  $V_{thr}$  と  $V_w$  に入る電圧の値を比較したときに  $V_{thr}$  の方が大きい場合には, 回路の右側において nMOS が動作して  $V_{out}$  は回路の下段の任意に決めた  $V^-$  の値に安定する. 反対に  $V_w$  の方が大きい場合には, 回路の右側において pMOS が動作して  $V_{out}$  は回路の上段の任意に決めた  $V^+$  の値に安定する.

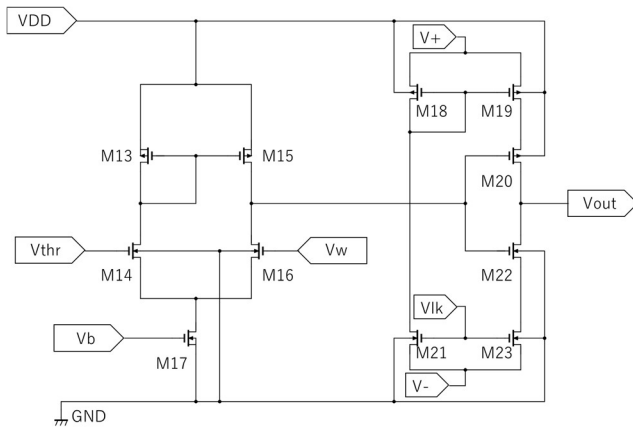


Figure 4. 双安定回路

4 値安定を目的とした回路を作成するにあたり, Figure 4 で示した双安定の回路を 2 つそれぞれ並列に接続した. また, 2 つの回路で非対称型 STDP 回路による結合荷重値によって動作する範囲を区別するためにコンパレータを用いた. 今回は, 基準値を  $0.85V$  とし, この基準値を境にそれぞれの双安定の回路が結合荷重値の値に合わせて 4 値に区別する回路を構築した.

Figure 5 に双安定回路の  $V_{thr}$  を, それぞれ  $0.5V$ ,  $1.25V$  とし, 安定値をそれぞれ  $0.2V$ ,  $0.8V$ ,  $1.0V$ ,  $1.4V$  とし, シミュレーションを行った結果を示す. 同図は, 縦軸を非対称型 STDP 回路による結合荷重値, 横軸を  $V_{pre}$  と  $V_{post}$  による発火時間差を示している. 同図は,

Figure 3 と比較すると今回作成した回路を用いることで, 結合荷重値を 4 つの電圧値に安定することを示している.

### 3. まとめ

今回は, 非対称型 STDP 回路における結合荷重値を 4 値に維持することを目的とし検討を行った. その結果, 双安定回路とコンパレータを用いることによって結合荷重値を 4 値に安定できることを明らかにした.

今後は, 提案した回路の集積化を行うと共に, さらに多値化を行う予定である.

### 4. 参考文献

- [1] Mary B. Kennedy, "Synaptic Signaling in Learning and Memory," National Institutes of Health, 2016.
- [2] S. Song, K. Miller, and L. Abbott, "Competitive Hebbian learning through spike-timing-dependent synaptic plasticity," Nature Neurosci., vol. 3, pp. 919–926, 2000.
- [3] Katsutoshi Saeiki, Yugo Hayashi, Yoshifumi Sekine, Robustness of a Pulse-type Hardware Neural Network with STDP Synapses, Proc. 2006 IEEJ International Analog VLSI Workshop, 2006.
- [4] 唐鎌侑馬, 佐伯勝敏, 佐々木芳樹, "発振タイミングと発振周波数に依存した TSTDTP シナプスモデルに対する一検討" 日本大学理工学部 学術講演会予稿集, M-26, pp.1093-1094, 2018.
- [5] Sathiy Jothi, S. Binsu, J. Kailath : "Bistable-Triplet STDP circuit without external memory for Integrating with Silicon Neurons", AI IoT Congress (AllIoT), World(2021), pp.297-302, 2021.