

低周波動作可能なバーストニューロンモデルの構築に対する一検討

A Study on Construction of Bursting Neuron Model Capable of Low Frequency Operation

○戸泉孝太¹ , 佐伯勝敏²

○Takahiro Toizumi¹, Katsutoshi Saeki²

Abstract: Since neural networks have superior information processing function, many investigators attempt to model biological neurons and their networks. Furthermore, a number of studies of neural networks have recently been undertaken with the purpose of applying engineering to the brain.

In this paper, we constructed a low frequency bursting neuron model at low capacity for high integration. As a result, we clarified that it is possible to construct a bursting neuron model capable of low frequency operation even with low capacity by using edge detection circuits and a low frequency oscillation circuit.

1. まえがき

脳の広範囲な領域でガンマ周波数帯(20~80Hz)の律動発火や同期発火が観察され、注意や予測などの認知や運動生成に必要な情報処理に関係すると考えられている。ガンマ周波数帯でバースト発火を示すニューロンはこのガンマ周波数帯の神経活動のペースメーカーの役割を果たしていると推測され、生体と同様な認知や運動生成を行う情報処理機構をモデル化する場合、生体のニューロンと同様に低周波で動作するモデルが必要である。しかし、生体と同様な低周波の出力波形を得るためには、大容量のコンデンサが必要であり、実装面積の増加が起こる。

先に我々は、生体において確認されているバースト発火を再現可能なニューロンモデルの構築を行った^[1]。しかし、このモデルで生体と同様な低周波数のバースト発火波形を得るためには、大容量が必要である。

本稿では、認知や運動生成を行う情報処理システムへの応用を目的として、低容量を用いて構築可能な低周波数バースト発火可能なニューロンモデルの構築について検討を行った。

2. 本論

図 1 に今回提案する低周波動作可能なバーストニューロンモデルのブロック図を示す。

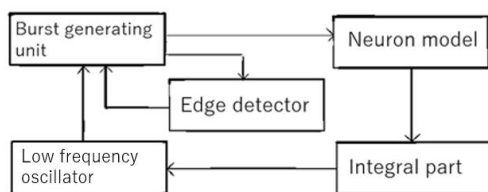


図 1 バーストニューロンモデルのブロック図

図 2 に低周波動作可能なバーストニューロンモデルの回路構成を示す。バーストニューロンモデルは発火非発火の低周波信号を生成するバースト生成回路と連続発火を引き起こすニューロンモデルにより構成されている。また、バースト生成回路は、立ち上がりエッジ検出回路と低周波発振回路により構成されている。

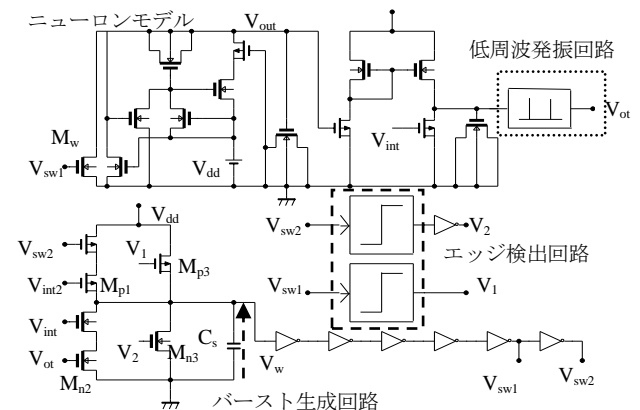


図 2 低周波動作可能なバーストニューロンモデル

次に、今回提案するバーストニューロンモデルの動作原理を示す。まず初期状態として、 V_w が 0 [V] とするとその状態から、 M_{p1} を通して電荷が供給され V_w が上昇していく。そして V_w がインバータ群の閾値を超えることで、インバータ群の出力が High と Low で切り替わる。 V_w の信号をインバータ群に通すことで、 V_w の信号が方形波に成形される。そして、 V_w が上昇し、インバータ群の出力が切り替わった場合、 V_{sw1} は立ち上がるため、立ち上がりエッジ検出回路により立ち上がりのエッジを検出し、 M_{p3} が ON となる。 M_{p3} が ON になることにより V_w が強制的に V_{dd} に近づけられる。また V_w が上昇したことにより V_{sw2} は Low になるため M_w は OFF となりニューロンモデルの閾値が低下し、

1: 日大理工・院(前)・電子, 2: 日大理工・教員・電子

ニューロンモデルが連続発火を繰り返す。そして、ニューロンモデルの出力は積分回路を通し、低周波発振回路に入力される。低周波発振回路は、ニューロンモデルが発火している場合のみ低周波信号を生成し、 M_{n2} を一定間隔で ON にし、 V_w を減少させていく。そして、再びインバータ群の閾値を超えることで、インバータ群の出力が切り替わる。 V_w が減少し、インバータ群の出力が切り替わった場合、 V_{sw2} は立ち上がるため、 V_{sw2} の立ち上がりエッジを検出し、 M_{n3} を ON にする。 M_{n3} が ON になることにより、 V_w は強制的に 0 [V] に近づけられる。そして再び M_{p2} を通し、電荷が供給されることにより、発火・非発火のバースト発火を再現することが可能となる。ニューロンの出力を低周波発振回路を通し、フィードバックすることで、MOS のアスペクト比とコンデンサ容量による時定数を低くするだけでなく、引き抜きを一定周期で行うことで低容量での低周波バースト発火を可能にする。またエッジ検出回路を用いることで、ニューロンモデルの発火・非発火の閾値付近に V_w が停滞してしまうことを防ぎ、低周波でのバースト発火が再現可能である。

図 3 に今回提案するバーストニューロンモデルの出力波形を示す。同図から、今回提案するニューロンモデルが生体において確認されているバースト発火を再現可能であることを示している。

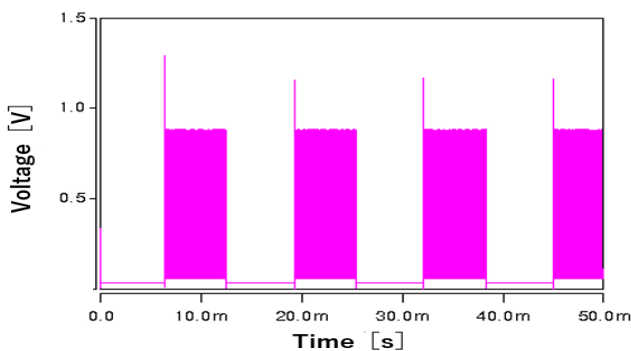


図 3 バースト波形(V_{out})

図 4 にエッジ検出回路がある場合 ($C_s=200$ [fF]) とない場合 ($C_s=400$ [fF]) での V_w の変化を示す。同図から、エッジ検出回路がない場合、発火・非発火の閾値付近で V_w が停滞してしまっていることがわかる。また、立ち上がりエッジ検出回路単体の実装面積は 97.6 [μm^2] であるため、エッジ検出回路二つを実装するためには、195.2 [μm^2] となる。そして、200 [fF] のコンデンサは 200 [μm^2] で実装可能であるため、同図からエッジ検出回路を用いることにより、低容量での低周波数バーストが可能であることを示している。

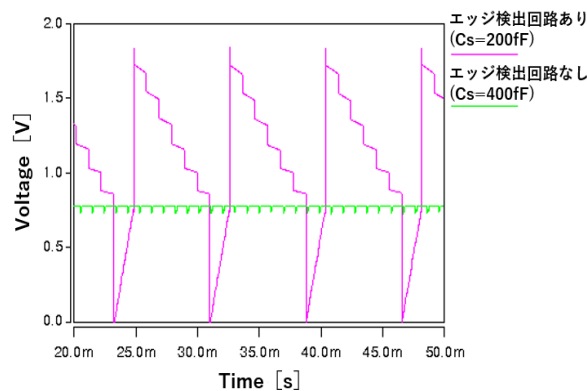


図 4 エッジ検出回路による V_w の変化

図 5 に C_s の容量値を変化させた場合の出力周波数の変化を示す。同図から、今回提案するバーストニューロンモデルは以前提案したモデルと比べ、低容量で低周波数の出力を得られることを示す。また、低周波発振回路の有無を比較したとき、低周波発振回路がない場合、ある場合と同等の周波数を得るためには 200 [fF] 以上のコンデンサが必要であることを示している。

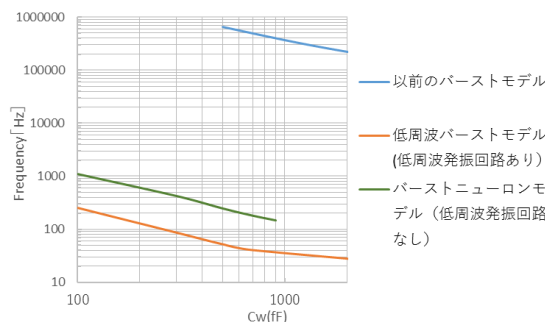


図 5 周波数比較

3. まとめ

今回、認知や運動生成を行う情報処理システムへの応用を目的として、低容量を用いて構築可能な低周波数バーストニューロンモデルの構築を行った。その結果、エッジ検出回路と低周波発振回路を用いることにより低容量でも低周波動作可能であることを明らかにした。

今後は、VDEC を通して、今回提案したバーストニューロンモデルの IC チップ化について検討を行う予定である。

4. 参考文献

[1] 佐伯勝敏, 関根好文, 合原一幸: 「エンハンスメント型 MOSFET を用いたパルス形バーストニューロンモデル」, 電子情報通信学会論文誌 C, Vol.J85-C, No.3, pp174-180, 2002.