

低周波発振可能な低容量を用いた細胞体モデルに対する一検討
 A Study on a Cell-body Model using Low Capacitance to Low Frequency Oscillation

○奥山敦司¹, 佐伯勝敏², 関根好文³

*Atsushi Okuyama¹, Katsutoshi Saeki², Yoshifumi Sekine³

Abstract: In recent years, neurons on neural networks have been conducted with the purpose of applying engineering to the superior functions of the living body. Cell bodies, present in the living body, oscillate at low frequencies. Therefore, when reproduced in an electronic circuit, a cell body model is necessary to oscillate at low frequencies.

In this paper, we look into circuit ability to obtain low frequency oscillation waveform from a cell body model, using a low capacitance value. As a result, it is clearly shown that an output period from the cell body model expands to millisecond-order from nanosecond-order.

1. まえがき

近年、ロボットを開発する上で、ロボスタ性に優れた歩行機能、自律的なリズム運動を生成・制御可能^[1]等の、生体の機能を有するロボットが有効であると考えられている。生体の機能を有する情報処理システムを電子回路で再現する場合、生体の細胞体と同様に、低周波数で発振する細胞体のモデルが必要である。また、CMOSプロセスで大規模なネットワークを構築する場合、素子数や回路規模は小さいことが要求される。しかし、低周波数の発振波形を得るためには大容量値が必要であり、回路規模が拡大し集積化困難である。

本稿では、低容量の細胞体モデル^[2]単体で低周波数の出力波形を得る回路の構築について検討を行った。

2. 本論

Fig. 1にカレントミラーを接続した細胞体モデルを示す。同図は、生体の膜容量に相当するキャパシタ C_M 、漏れ抵抗部 M_R 、動的バイアス部 C_g 、静的バイアス部 M_D 、発火周期増加を補助する M_C 、 Δ 形負性抵抗素子に相当する M_{AN} 、 M_{AP} 、インバータ部 M_X 、 M_Y 、カレントミラー部 M_{N1} 、 M_{P1} 、 M_{P2} で構成している。本モデルは、外部入力 i_{in} により出力波形 v_{out} を得ることができる他励振細胞体モデルを構成可能である。また、 V_A を自励振発振しない電圧に調整することで、 i_{in} 無しで v_{out} を得ることができる自励振細胞体モデルを構成可能である。カレントミラーの出力は、後細胞体モデルの i_{in} に inputs する構成としている。

Fig. 2に細胞体モデルの各出力特性を示す。同図の特性は、自励振細胞体モデルにおける各電流と電圧の特性である。同図は、各MOSFETのW/Lを $M_{AN}=M_{AP}=1.5/0.2$ 、 $M_C=3.5/10.0$ 、 $M_R=0.3/5.0$ 、 $M_D=0.3/5.0$ 、 $M_X=M_Y=1.0/0.2$ 、 $M_{N1}=1.0/5.0$ 、 $M_{P1}=M_{P2}=1.0/5.0$ としている。また、 $C_g=16$ [fF]、 $C_M=32$ [fF]としている。初期状態として、 C_M と C_g には電荷が蓄積していないため、 v_{CM} は0[V]である。 C_g には、電源電圧 V_A から M_D を通し、 C_g に電荷が蓄積され、 C_g の両端電圧(v_{Cg})は徐々に増加する。 v_{Cg} の上昇により i_{Cg} が流れ、 v_{CM} が増加することで、

M_R が起動する。 M_R に流れる電流が、 $i_{mr} > (i_{\Delta} + i_{mc} + i_{Cg})$ の場合には、 M_R により電荷は引き抜かれ v_{CM} の増加は停止する。 v_{Cg} のさらなる増加により、 Δ 形負性抵抗素子が起動し、 $i_{mr} < (i_{\Delta} + i_{mc} + i_{Cg})$ となった場合 v_{CM} が急激に増加する。ここで、 C_M から電荷を引き抜く際、fFオーダーの容量を使用しているため、回路の応答が遅れ、数nsオーダーの時間解析の場合収束するかに見える。しかし、Fig. 2から分かるように、 $i_{mr} - (i_{\Delta} + i_{mc} + i_{Cg}) > 0$ の微小な電流により C_M から電荷を引き抜いていることが分かる。このことから、数ms周期で発振をくり返す構成となっている。 v_{CM} の出力をインバータに通すことで、細胞体モデルの発振を再現している。Fig. 1中、 M_C は $i_{mr} - (i_{\Delta} + i_{mc} + i_{Cg})$ の値を小さくし、 C_M から引き抜く電流量を減少させる役割を有している。その結果、低容量値を用いて構成した細胞体モデルの出力周期を、数nsオーダーから数msオーダーに拡大可能であることを示している。

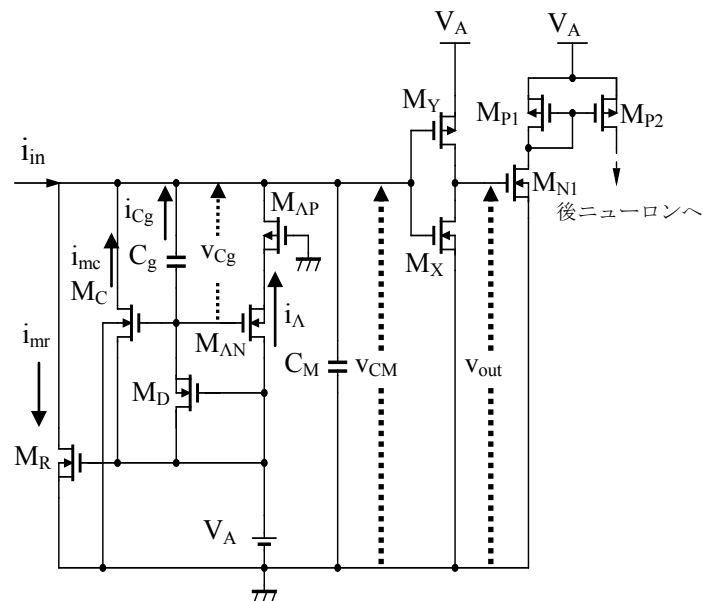


Fig. 1 Cell body model

1 : 日大理工・院(前)・電子 2 : 日大理工・教員・電子 3 : 日大名誉教授

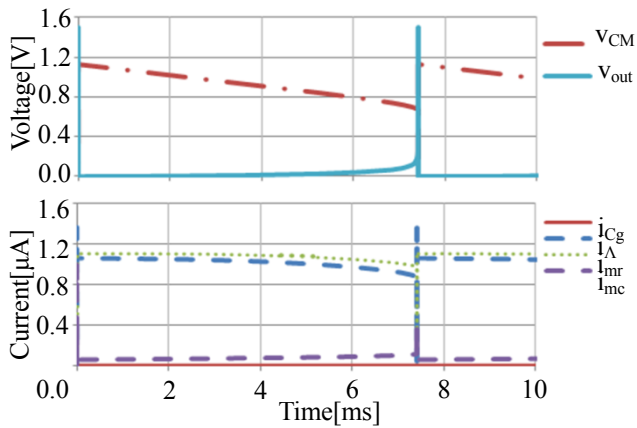


Fig. 2 Waveforms of a cell body model

Fig. 3に細胞体モデルの不应期特性を示す。同図は、自励振細胞体モデルに外部入力 i_{in} を入力した際の各特性を示している。実線は1.919138[ms]、点線は1.91915[ms]、一点鎖線は1.91916[ms]に i_{in} を入力した場合の特性を示している。同図、下段のグラフの上の波形は V_{CM} 、下のパルスは i_{in} を示している。同図より、 V_{CM} が立下った直後に i_{in} を加えた場合、発火が抑制されていることを示している。また、立下りから時間をおき i_{in} を入力した場合は、 V_{CM} が発振していることを示している。このことから、Fig. 1の細胞体モデルは不应期特性を有するモデルであることを示している。

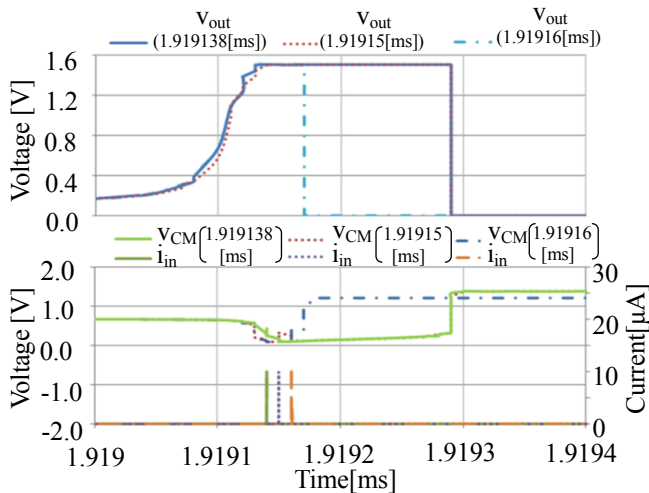


Fig. 3 Characteristics of refractory period

Fig. 4に細胞体容量一周波数特性を示す。図中、細胞体容量は、Fig. 1中 C_M+C_g に相当する容量を示している。同図より、今回提案する細胞体モデルは、大容量を使用した場合より低い容量値で、1[Hz]~100[Hz]程度の低周波数の発振が可能であることを示している。このことから、低容量値を用いた細胞体モデルで、大容量値を使用した細胞体モデルより低周波数特性を生成可能であることを示している。

Fig. 5に後細胞体モデルを接続した場合の各出力波形を示す。同図は、細胞体モデル2つをカレントミラーにより結合した際の応答を示している。前細胞体モデル(CellA)は自励振細胞体モデル、後細胞体モデル(CellB)は他励振細胞体モデルで構成している。 v_{outA} は

CellAの波形であり、 v_{outB} 、 v_{CMB} 、 i_{inB} はCellBの各波形を示している。同図より、CellBがCellAの出力 v_{outA} を受けた場合、 v_{outB} は方形波となることを示している。また、 v_{CMB} が立ち上がっている時に i_{inB} が入力された場合、 v_{CMB} の電圧は一時的に増加するがすぐに元の電圧値に収束する。そのため、 v_{CMB} が立ち上がった時に外部入力加わった場合、 v_{outB} の出力は変化しないことを示している。

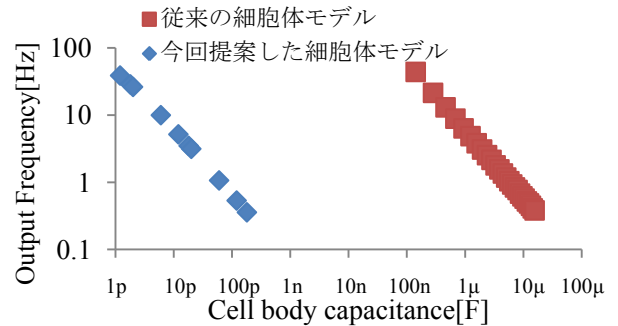


Fig. 4 Characteristic of Frequency-Capacity

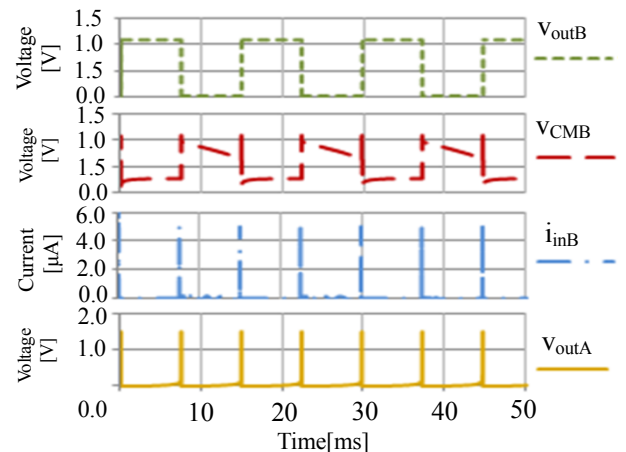


Fig. 5 Output waveform connecting the post cell body model

3. まとめ

今回、低容量の細胞体モデル単体で低周波数の出力波形を得る回路の構築について検討を行った。その結果、低容量値を用いて構成した細胞体モデルの出力周期を、数nsオーダーから数msオーダーに拡大可能であることを明らかにした。また、低容量値を用いた細胞体モデルで、大容量値を使用した細胞体モデルより低周波数特性を生成可能であることを明らかにした。

今後は、今回検討を行った細胞体モデルを用いてニューラルネットワークに応用し特性を評価する予定である。

4. 参考文献

- [1] 高草木薫:「歩行の神経機構Review」, Brain Medical Vol.19, No.4, pp.307-315, 2007.
- [2] 関根好文, 佐伯勝敏:「カオス発生可能なパルス形ハードウェアニューロンモデルのCMOS実装とその応用」, JNNS, Vol.15, No.1, pp.27-38, 2008.