

## 他励振細胞体モデルの確率共鳴現象に対する検討

## A Study on Stochastic Resonance Phenomenon in Cell-body Model of Separate Excitation

○後藤康一郎<sup>1</sup>, 佐伯勝敏<sup>2</sup>, 佐々木芳樹<sup>2</sup>\*Kouichiro Goto<sup>1</sup>, Katsutoshi Saeki<sup>1</sup>, Yoshiki Sasaki<sup>1</sup>

Abstract: In recent years, a number of studies of neural networks have been conducted with the purpose of applying engineering to the brain. Improvement of sensitivity to weak signals due to noise has been recognized in living organisms.

In this paper, we analyze the effect of the output when the noise is applied to propose a cell-body model of separate excitation. As a result, it is shown that the neuron model causes the stochastic resonance by white noise.

## 1. まえがき

我々の周囲には自然系および非自然系を問わず雑音が存在し、システムを扱う上で考慮する必要がある。生体において微弱な信号の検出能力が高まることは、潜在的に弱いリズムをもつ非線形系に、ある最適な雑音に加わるとそれまで隠れていたリズムが感度よく検知される確率共鳴現象<sup>[1]</sup>として報告されている。確率共鳴現象を評価する上で、雑音強度対 SN 比の特性をとり、雑音強度が弱い時と強い時には SN 比は小さくある適正な雑音強度においてピークをもつベルカーブ形の特性に着目し、この特性が得られた時に確率共鳴現象が起きていると報告されている<sup>[1]</sup>。

先に我々は、CMOS プロセスで集積可能なパルス形ニューロンモデル<sup>[2]</sup>を提案し、内部電源に雑音を印加した場合の確率共鳴現象に対する検討を行った<sup>[3]</sup>。今回、外部からの入力信号に対して出力する他励振細胞体モデルに外部からホワイトノイズを印加した時の確率共鳴現象について、回路シミュレータ HSPICE を用いて検討を行った。

## 2. 本論

## 2.1 他励振細胞体モデル

図 1 に、今回使用する他励振細胞体モデルの回路構成を示す。同図は、 $\Delta$ 形負性抵抗素子を構成する  $M_1$  および  $M_2$ ,  $\Delta$ 形負性抵抗素子に動的なバイアス電圧を供給する  $C_G$ , 動的なバイアス電圧を増加に導く電荷注入素子  $M_{DD}$ , 動的なバイアス電圧を減少に導く電荷引抜き素子  $M_{DR}$ , 電荷引抜き素子の動作に制限を加える  $M_{LT}$ , 漏れ抵抗に相当する FET 負荷電流源  $M_{SK}$ , および生体の膜容量に相当するキャパシタ  $C_M$  により構成している。同図において、膜容量  $C_M$  の両端電圧である  $V_{OUT}$  が取りうる最大電圧は、動的バイアス  $V_{BIAS}$  の最大電圧時における  $\Delta$ 形負性抵抗素子と負荷電流源により構成

する多安定回路の HIGH 側安定電圧により決定される。なお、動的バイアスのとりうる最大バイアス電圧は同図を直流解析した際の  $C_G$  両端電圧と等価である。

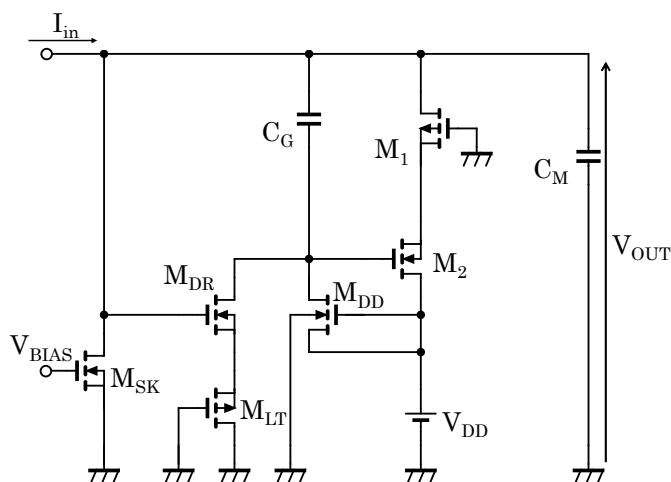


図 1 他励振細胞体モデル

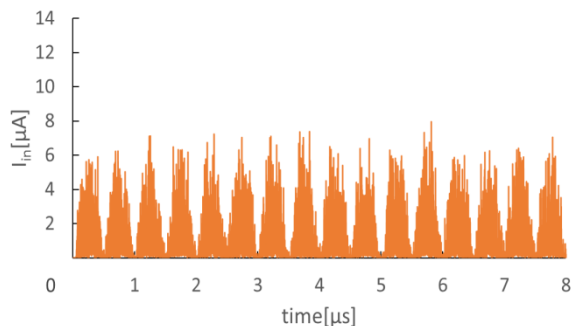
発振状態にある他励振細胞体モデルは、寄生容量によりバイパスされる電流やチャージ時間などの影響等も受けるため、連続的な発振が誘発された際、最大バイアス電圧より低いバイアス電圧が供給される。以上の解析によって得られる多安定回路の HIGH 側の安定電圧は、直流解析により推定しているため静電容量の影響をほとんど受けない。しかし、生体と同様な発振波形である発火を得るためにはバイアス電圧が動的に減少する必要がある。バイアス電圧が動的に減少すると、 $\Delta$ 形負性抵抗素子の出力電流最大値が負荷電流値を下回り、多安定回路が単安定回路になる。これにより、単安定回路は LOW 側の安定電圧より高い電圧では常に  $\Delta$ 形負性抵抗素子の出力が負荷電流源を下回るため、電圧を維持できなくなった  $V_{OUT}$  が LOW 側の安定電圧へと遷移する。この一連の動作により、発火が成り立つ。

## 2.2 確率共鳴現象

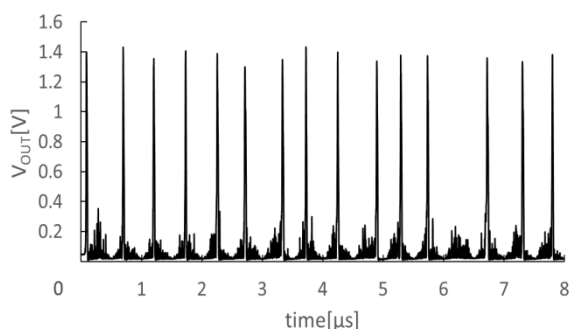
図 2 に他励振細胞体モデルの外部入力にノイズを印可した(ノイズパワー係数: $N_p=1.15$ )場合の入出力波形を示す. また, ノイズはホワイトノイズを用いている. 同図(a)は入力波形, (b)は出力波形を示す. 図中, 横軸に時間を, 縦軸に(a)入力電流, (b)出力電圧を示す. なお, ノイズパワー係数として, HSPICE の trannoise 解析における scale パラメータを用いた.

同図が示すとおり,  $N_p=1.15$  のノイズを入力した場合, 他励振細胞体モデルは閾値を満たすことができ, 入力に対してパルスを出力していることを示している.

他励振細胞体モデルの外部入力に対してノイズを印加しない場合, 細胞体モデルの外部入力信号は閾値を満たすことが出来ず, パルスを出力できない.



(a)入力波形



(b)出力波形

図 2 入力ノイズのパワーに対する出力電圧 ( $N_p=1.15$ )

図 3 にノイズのパワー係数に対する他励振細胞体モデルの発火レート特性を示す. 図中, 1つの入力信号に対して出力のパルス信号がどの程度出力されているかを表している発火率を縦軸に, 横軸にノイズパワー係数を示す. 同図が示すとおり, ノイズパワー係数に対してベルカーブ形の特性を得られることを示している. このことは, 他励振細胞体モデルの外部入力にノ

イズを印可した場合, 確率共鳴現象が起こることが示唆される.

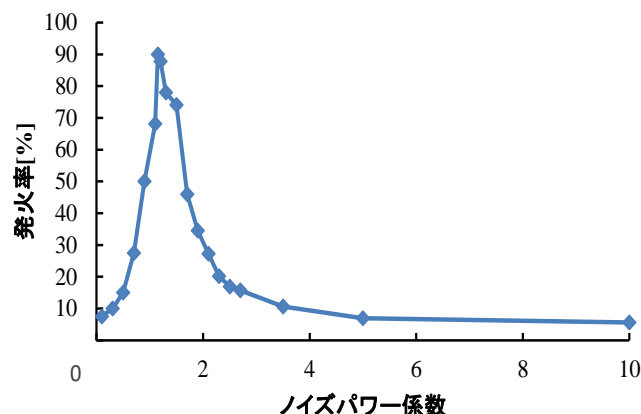


図 3 発火レート

## 3. まとめ

今回, 我々が提案している他励振細胞体モデルに雑音を印加したときの確率共鳴現象に対して検討を行った. その結果, 他励振細胞体モデルの外部入力にホワイトノイズを加えたとき発火レート特性がベルカーブ特性となることから, 確率共鳴現象がおきていることを明らかにした.

今後は, VDEC を通して今回検討した他励振細胞体モデルをチップ化し実測を行うとともに, 学習機能を有するニューラルネットワークの構築を行う予定である.

謝辞

本研究の一部は, 東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通し, シノプシス株式会社, および日本ケイデンス株式会社, ローム株式会社の協力で行われたものである.

## 4. 参考文献

- [1] M.D. McDonnell, D. Abbott : “What Is Stochastic Resonance? Definitions, Misconceptions, Debates, and Its Relevance to Biology”, PLOS Computational Biology, Vol.5, No.5, pp.1-9, May 2009.
- [2] 佐々木芳樹, 佐伯勝敏, 関根好文 : 「低容量化パルス形カオスニューロンモデル」, 電学論 C, Vol.136, No.10, pp.1424-1430, 2016.
- [3] Diana Elizabeth Jimenez Bejarano, Katsutoshi Saeki: “Stochastic Resonance in a Pulse-type Cell Body Model”, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, (Accepted).