

基礎的な電子回路設計を学習するための 生体の情報処理に基づくアナログ電子回路

西尾 公裕* 岩本 瞬**

Analog circuit based on information processing of the biological system for studying the basic electronic circuit design

Kimihiro NISHIO and Syun IWAMOTO

We proposed in this study the analog complementary metal oxide semiconductor (CMOS) circuit based on the information processing of the biological system for studying the basic electronic circuit design. The structure of the circuit is simple. The circuit is constructed with the integrator, the circuit for threshold processing, and the reset circuit. The circuit is evaluated by a student of the Nishio's laboratory. It was clarified from the simulation results of the simulation program with integrated circuit emphasis (SPICE) that the output voltage of the proposed circuit is corresponding to the output signal of the biological model. By using the proposed circuit, it is possible to study the basic biological model and the basic electronic circuit design.

Key words: Analog circuit, Biological system, Electronic circuit design

1. 緒 言

本学の電気電子工学科の西尾研究室では、生体の脳機能に学んでシンプルな Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) 電子回路の設計・構築を行っている。これにより、現在のコンピュータを用いた典型的な処理システムと比較して、コンパクト、低消費電力、高速処理の特長を有する新しいシステムの実現を目指している。これまでに、視覚機能に基づく輪郭検出・動き検出電子回路¹⁻³⁾、聴覚機能に基づく音源方向検出電子回路^{4,5)}、嗅覚機能に基づく匂い源検出電子回路⁶⁾を構築してきており、良好に動作することが確認された。

以上のように、本研究室では、電子回路の知識と生体機能の知識が必要になる。電気電子工学科の学生にとって、電子回路の知識はある程度はあるものの、研究室配属当初は、その設計技術はあまり身につけていないように考えられる。また、生体機能・モデルに関

しての知識はほとんどないため、生体と電子回路が研究としてつながることは、想像もできていないと考えられる。この部分をうまくつなげることができれば、学生の理解は進み、卒業研究も充実する上、本研究はさらに発展すると考えられる。

生体の基礎的なモデルとそれに基づく基礎的な電子回路があれば、それを学習・実験することで、ある程度の知識は身につけることができると共に、電子回路の設計技術なども身につけることが可能になる。そのためには、研究室配属される時期に、簡単に触れることができる程度の生体の機能に基づく簡単な電子回路を学生に与えられる環境にしておく必要がある。

生体の脳は、神経細胞で構成され、いろいろな機能を有する。これまでに、神経細胞に学んだモデル⁷⁾が考案されている。このモデルは、パルス信号を扱い、信号の積分、しきい値処理、リセットなどを行う比較的シンプルなモデルである。この基礎モデルをしっかりと理解することで、生体機能に興味を持つようになると考えられる。また、このモデルは、以上のような機能を持つため、電子回路設計を学習するための基礎的な電子回路を構築することが容易にできると考えられる。この基礎的な電子回路を学生らは扱うことで、電子回路の学習と生体のモデルを学ぶことができるよう

原稿受付 平成 23 年 8 月 31 日

*電気電子工学科

**電気電子工学科学生 5 年

になる。

生体のモデルを学習すると共に、基礎的な電子回路設計を学習するためのアナログ電子回路の構築を目指した。本内容は、電気電子工学科4年生の課題研究で実施した。実際に学生によって設計した回路の評価などが行われており、学生にとっても十分に扱うことができる電子回路になっている。

以下、2章には神経細胞モデルについて説明があり、3章には電子回路について述べられている。いずれの章の執筆の大部分を第2著者である学生(当時4年生)の岩本が下書きしており、神経細胞モデルと電子回路の内容を十分に理解できていることがわかる。4章は、電子回路の評価結果を示し、5章をまとめとする。

2. 神経細胞モデル

脳の中には百数十億もの数多くの神経細胞があり、これらが複雑につながりあって、大きな神経回路を形成している。脳の中の個々の神経細胞は、多いものではほかの 10^4 以上もの細胞から信号を受けとり、またその細胞自身もほかの 10^4 以上もの細胞へ信号を送りだしている。このことから、脳の神経回路は大規模な超並列回路であることがわかる。

神経細胞が持っている諸機能のうちで重要なのは、シナプスにおいて多数の入力が空間的な並びに時間的に加算されるという性質と、細胞体の発火のしきい値の作用であると考えられる。このことから神経細胞は多くの細胞から入力を受けて出力を出すことに注目すると、多入力1出力の素子として考えることができる。他の細胞の出力はシナプス結合を介して入力として与えられるが、このときシナプス前部の細胞からシナプス後部の細胞へ及ぼす影響の強さは各細胞によって異なっていると考えられる。

図1に神経細胞の基本機能⁷⁾を示す。1つの神経細胞が n 個の細胞から入力 $x_n (1 \leq n)$ を受けているとする。シナプス前細胞の出力をそれぞれのシナプス結合の強さを w_n と表すと、最も単純には、 n 番目の細胞からの影響は $w_n x_n$ と表される。各細胞からの影響 $w_n x_n$ が単純に加算されたものが細胞の入力とするとこの和がしきい値 θ を超えたときに細胞が興奮し、発火する。

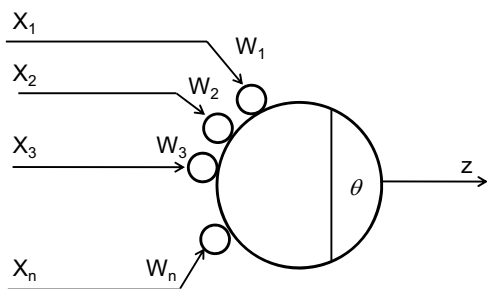


図1 神経細胞の基本機能

図2に神経細胞モデル⁷⁾を示す。図3に神経細胞モデルの出力信号を示す。 X が1つの細胞であり、入力信号は I である。 V_{out} が出力信号である。基礎的な電子回路の設計を目的としており、モデルを簡単にするために、図1のすべての w を同じ値になるように1に設定した。各入力信号をパルスとし、入力信号は積分器により積分され、信号 V_1 を得る。 V_1 がしきい値 V_{th} を超えると V_{out} を出力する。同時にリセット回路により Δt 秒後で V_1 を減少させる。この V_1 が V_{th} より下がると V_{out} は0となる。このモデルでは、入力信号があるしきい値を超えると、パルス信号を生成することができる。

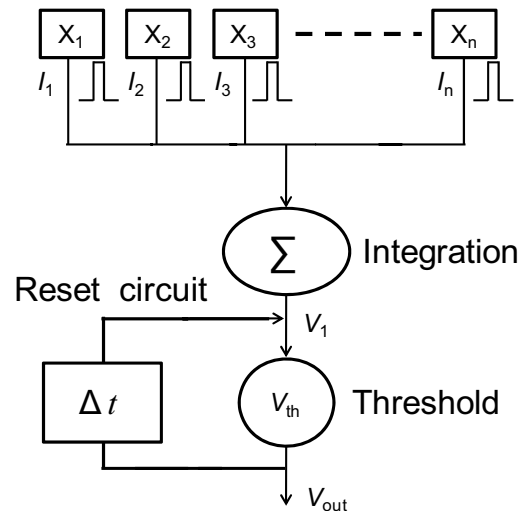


図2 神経細胞モデル

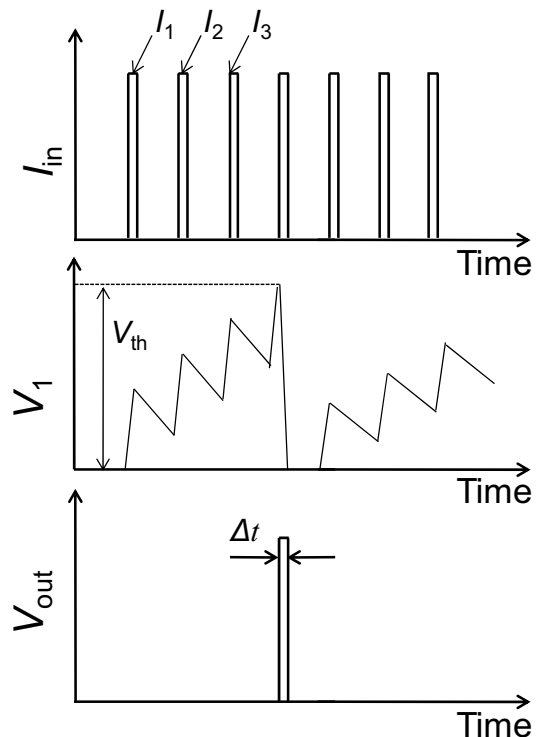


図3 神経細胞モデルの出力信号

3. 電子回路化

図4に考案した電子回路を示す。回路図で示してある積分器(Integration)、しきい値処理回路(Threshold)、リセット回路(Reset)は図2のモデルの各部分とそれぞれ対応させている。また、電圧 V_1 および V_{out} も図2の信号 V_1 および V_{out} とそれぞれ対応している。

入力電流 I をパルス電流とする。図2のモデルでは、 x_1 から x_n までの複数の x が用いられているが、図4の回路ではこれらを1つの電流源で代用した。これは、回路を簡単に設計するためであり、電流源1つでもモデルと同等の入力パルス信号を生成することが可能だからである。 I がキャパシタ C_1 と nMOS トランジスタ M_{n1} で構成した積分器に入力されると電圧 V_1 が上昇する。 C_1 の容量や M_{n1} などのチャンネル長や幅を変化させることで V_1 の上昇速度を変化させることが可能である。 V_1 が上昇すると M_{n2} に電流が流れる。それによって電圧 V_2 が0に近い値になり、pMOS トランジスタ M_{p5} に電流が流れ、同時に V_{out} が V_{DD} を示す。キャパシタ C_2 にも電流が流れることになる。 C_2 と M_{n4} は積分器と同様な働きをして電圧 V_3 を変化させる。なお、 C_2 の容量を変えることにより V_3 の上昇する時間を変化させることができる。 V_3 が上昇すると M_{n5} に電流が流れ、 V_1 が0まで減少する。 V_1 が減少することで M_{n2} に電流が流れなくなり、 V_2 が電源電圧 V_{DD} に近い値になる。これにより、 V_{out} は0になる。

以上のことから V_{out} はパルス電圧になる。よって、本回路はパルス電流の入力があるとき、パルス電圧 V_{out} を出力することができる。

4. シミュレーション結果

考案した電子回路を電子回路シミュレータ (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis : SPICE) を用いて評価した。電源電圧 V_{DD} を5Vとし、 V_g を4.0V、 V_s を1.04Vに設定した。

キャパシタ C_1 および C_2 をそれぞれ20pF および190pF に設定した。このときのシミュレーション結果を図5に示す。図5(a)は入力電流であり、パルス電流が与えられた。図5(b)は電圧 V_1 を示す。パルス電流が入力されると上昇することがわかった。 $t=300\mu s$ のとき約650mV になることが確認できた。図5(c)は出力電圧 V_{out} を示す。 $t=300\mu s$ のときパルス信号が出力され、正常に動作することが確認できた。

以上より、本回路の出力電圧とモデルの出力信号がある程度一致することがわかった。また、学生によって十分に回路を動作させることができることも示すことができた。

5. まとめ

生体のモデルを学習すると共に、基礎的な電子回路設計を学習するためのアナログ電子回路を構築した。考案した回路には、信号の積分、しきい値処理、リセットなどの処理を行う比較的基礎的でシンプルな回路が用いられている。これにより、電子回路の学習を容易とする電子回路を構成できたと考えられる。また、実験結果から、回路の出力信号とモデルとの出力信号の様子が同様であることが確認できており、本回路を

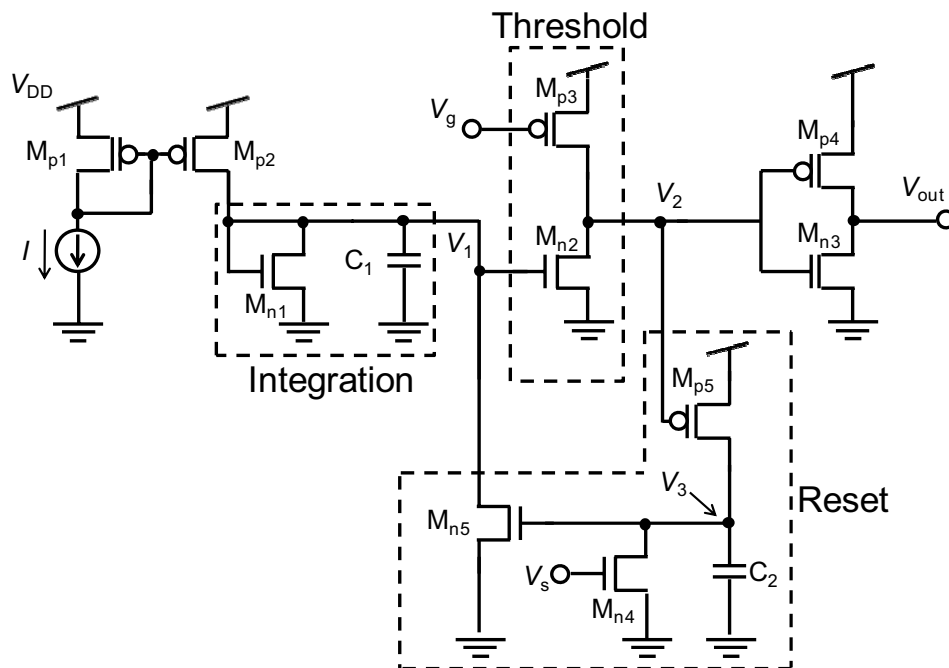


図4 電子回路

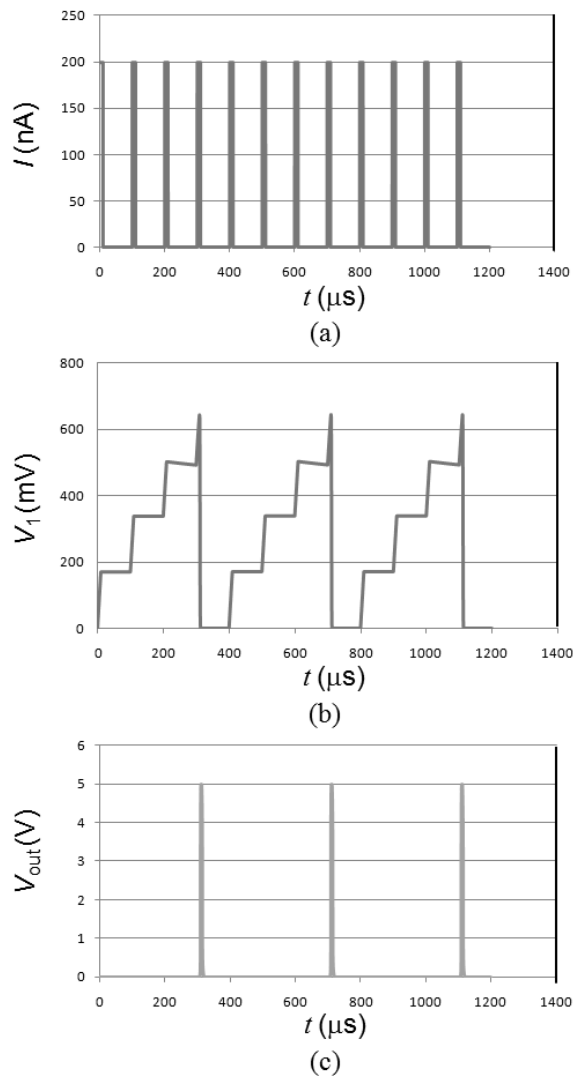


図5 シミュレーション結果 (a) 入力電流 (b) 電圧 V_1 (c) 出力電圧 V_{out}

扱うことで、生体モデルに興味を持ち、学習するようになることが期待できる。

本内容は、電気電子工学科4年生の課題研究で実施した。実際に学生によって、設計した回路の評価などが行われ、学生にとっても十分に扱うことができる電子回路になっていることが確認できた。今後、学生には本回路を利用して、生体の情報処理に基づく電子回路を学習してもらい、新たな機能を有する電子回路の設計ができるようになることを期待している。

参考文献

- 1) K. Nishio and T. Yamamoto, "Simple Analog-Digital Motion Detection Circuit and Its Application to Target Tracking System", *Artificial Life and Robotics*, vol. 16, pp. 57-60, 2011.
- 2) K. Nishio, Y. Kondo, T. Yamasaki and T. Furukawa, "Analog Circuit for Motion Detection Using CCD Camera Based on a Biological Vision System and Its Application to Mobile Robots", *Artificial Life and Robotics*, vol. 16, pp. 61-64, 2011.
- 3) K. Nishio and T. Yasuda, "Application System Using Simple Analog Motion Detection Circuit and Mobile Robot", *Far East Journal of Electronics and Communications*, vol. 4, pp.15-24, 2010.
- 4) K. Nishio and T. Tomibe, "Analog-Digital Circuits for Sound Localization Based on the Biological Auditory System", *Artificial Life and Robotics*, vol. 15, pp. 73-79, 2010.
- 5) T. Tomibe and K. Nishio, "An Analog-Digital Circuit for Sound Localization Based on the Biological Auditory System", *Proc. of The 15th Int. Symp. on Artificial Life and Robotics*, pp. 802-805, 2010.
- 6) 井原, 西尾, "蚕蛾のフェロモン源定位に基づくにおい検出電子回路の構築", *The 12th IEEE Hiroshima Student Symposium*, B-13, 2010.
- 7) 福島, 大串, 斉藤, 視聴覚情報処理, 森北出版, 2001.