

M-21

リズム周期調整可能な CPG 用バースト発火回路に対する一検討

A study on burst firing circuit for CPG with adjustable rhythm cycle

○鈴木克典<sup>1</sup>, 佐伯勝敏<sup>2</sup>, 佐々木芳樹<sup>2</sup>

\*Katsunori Suzuki<sup>1</sup>, Katsutoshi Saeki<sup>2</sup>, Yoshiaki Sasaki<sup>2</sup>

Abstract: It is well known that basic locomotion in living organisms is controlled by the central pattern generator(CPG), a system in which configured interstitial cells receive instructions from the higher central nervous system to generate rhythm patterns and changes depending on a particular situation or environment. Moreover, by changing the rhythm pattern, it is possible to change the direction. In this paper, we suggest a circuit of burst firing that can adjust the rhythm pattern by changing the capacitance value.

1. まえがき

動物の歩行運動は、上位中枢に存在する CPG(Central Pattern Generator)と呼ばれる中枢神経内のニューロン群で生成されることが知られている<sup>[1]</sup>。動物は、CPGで生成されるパルスパターンやリズムを変化させることで、方向調節や歩行形態を変えている。先に我々は、アナログ CMOS プロセスのみで構成可能な CPG モデルについて検討を行った<sup>[2]</sup>。今後、センサ等からのフィードバックで方向調節などの動作を行えるよう、リズム周期の調整が可能な CPG モデルのためのバースト発火回路に対する検討を行ったので報告する。

2. 本論

図 1 に、今回提案するバースト発火を出力するシステムのブロック図を示す。本システムは、低周波数発振回路、立下りエッジ検出回路、デューティ比調整回路、波形整形部および細胞体モデルで構成している。同図は、低周波数発振回路の出力立下り波形を立下りエッジ検出回路が検出することで信号を後段に伝達し、低デューティ比パルスを出力する。その後、デューティ比調整回路によって出力パルスの幅を広げてデューティ比の調整を行い、波形整形回路を通して細胞体モデルの出力段と並列になるよう接続した nMOS のゲート端子に入力する。これにより、この広げたパルス幅の時間だけ nMOS が動作し、細胞体モデルが発火しないよう、出力段のコンデンサに貯まった電荷を抜き続ける。この動作により、強制的に電圧を 0 にする区間を作り低周波数バースト発火の出力を行う。

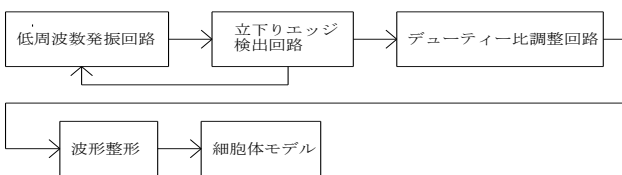


図 1 バースト発火を出力するシステムのブロック図

図 2 に、図 1 中、低周波数発振回路を示す。同図は、異なる時定数を持つ RC 回路を並列に 2 つ構築し、それぞれの RC 回路のコンデンサ  $C_1$ 、 $C_2$  と並列になるように  $M_{n1}$  および  $M_{n2}$  を接続している。このとき、 $C_2$  に対して  $C_1$  の方が立ち上がる時間が短くなるよう設計した。そして、 $M_{n1}$  のゲート端子を  $C_2$  と同電位になるように、 $M_{n2}$  のゲート端子に立下りエッジ検出部の出力をフィードバックさせるように接続する。この回路の動作として、まず、 $C_1$  および  $C_2$  の極板間電圧がともに上昇していく。そして、 $C_2$  の極板間電圧が  $M_{n1}$  のしきい値電圧を超えることで  $M_{n1}$  がオンになり、 $C_1$  に貯まった電荷の引き抜きを行う。この動作により  $C_1$  の極板間電圧が下がり、立下りエッジ検出回路の出力パルスが立ち上がる。その後、立下りエッジ検出回路の出力パルスが立ち上がっている時間だけ  $M_{n2}$  がオンになって  $C_2$  から電荷を引き抜き電圧が減少する。これによって  $M_{n1}$  がオフになり、 $C_1$  に再び電荷が貯まり始める。そして再度  $M_{n2}$  がオンになり  $C_1$  の電荷を引き抜き、立下り検出回路が反応することで周期的な動作を行っている。同図に示した素子値を用いる場合、立下りエッジ検出回路に出力パルスが立ち上がる間隔は 1.06s とする。

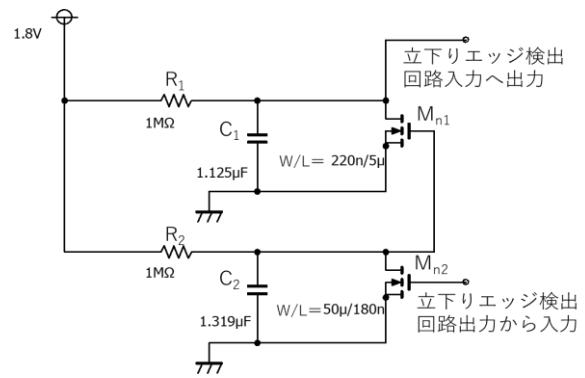


図 2 発振回路

1: 日大理工・学部・電子, 2: 日大理工・教員・電子

図3に図1中のデューティ比調整回路を示す. 図中のW/LはそれぞれMOSのゲート幅およびゲート長を示している. 同図の動作は, 立下り検出回路の出力パルスを受けることで,  $C_3$ に瞬間的に電荷が蓄積して極板間の電圧が上昇する. その後, この $C_3$ と並列に接続している $M_{n3}$ によって $C_3$ に蓄積した電荷が引き抜かれ, 次第に電圧が0に近づいていく. このとき, 下がっていく極板間電圧が, 次段の波形整形回路で用いているCMOSインバータ2段のしきい値電圧を超えている間だけ次段にパルスが出力され, 電荷が抜けていく速度は $C_3$ の容量および $M_{n3}$ のアスペクト比で変わる. この結果, 立下り検出回路の出力パルスに比べてデューティ比が伸びる. 今回は, デューティ比が約50%となるように素子値を調整し, 外部からのフィードバック等は考慮しないものとした.

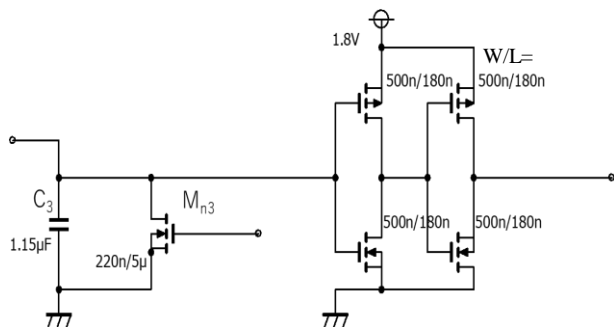
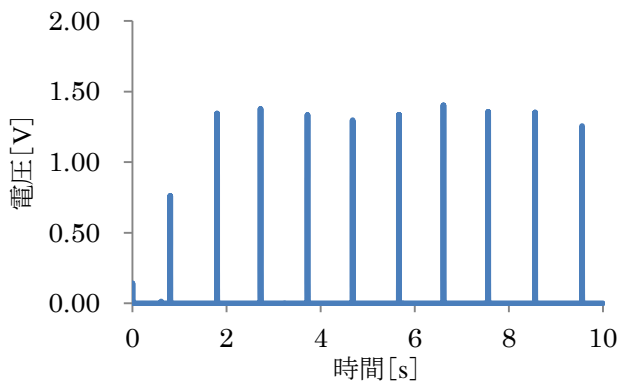
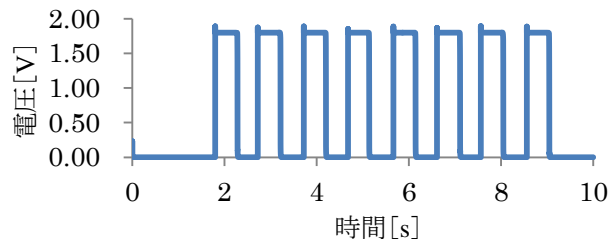


図3 デューティ比調整回路

図4に, 図1で示したシステムの入出力波形を示す. 同図(a)は立下り検出回路の出力パルス, 同図(b)はデューティ比調整回路を通した後のパルス波形である. 立下り検出パルスのHigh時間は3.5ms, デューティ比調整後のパルスのHigh時間は0.5sを示している. また, その周期は1.002sを示し, デューティ比が0.35%から49.9%に伸びていることを示している.



(a)デューティ比調整前のパルス



(b)デューティ調整後のパルス

図4 デューティ比調整回路の入出力波形

図5に細胞体モデルの出力電圧波形を示す. 同図は, 本システムは周波数0.998Hz, デューティ比50.8%を有するバースト発火波形であり, 人間の歩行周波数を示している. 細胞体モデル出力段と並列につなげたnMOSのゲート端子に図4(b)のパルスが入力されている間だけnMOSが動作し, バースト発火の動作をする.

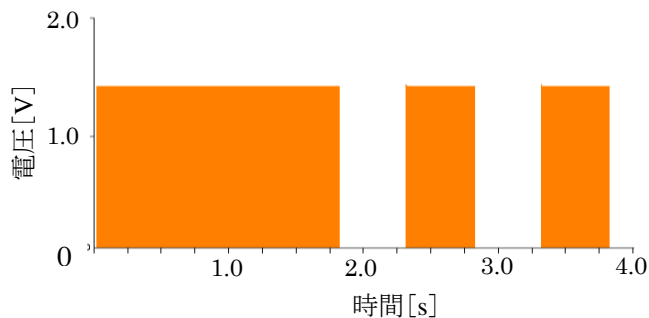


図5 バースト発火波形

### 3. まとめ

今回, リズム周期調整可能なCPGモデルのためのバースト発火回路の検討を行った. その結果, 容量値を可変させ, コンデンサの電圧を調整することでデューティ比の調整が可能なバースト発火回路を構築できることを明らかにした.

今後は, フィードバックによるデューティ比調整を検討するとともに, 今回の回路を用いてCPGモデルを作成し, 歩行制御を行う予定である.

### 4. 参考文献

- [1]日置智子, 西井淳: “基本的な運動パターンを実現するための階層的な運動学習モデル”, 信学技報 NC, pp.47-52, 2004.6.
- [2]二瓶乃亮, 佐伯勝敏, 関根好文: “0.18µm CMOS プロセスで構成した CPG モデルのロボット制御に対する一検討”, 日本大学理工学部学術講演会予稿集, M-4, pp.1055-1056, 2013.12.