

A-1-3 心臓プルキンエ発振型電子回路モデル結合系の加速現象

Acceleration phenomena of hardware models for Purkinje fiber cells

前田義信 坂口信也 牧野秀夫 土居伸二*

Yoshinobu MAEDA Shinya SAKAGUCHI Hideo MAKINO Shinji DOI*

新潟大学工学部 *大阪大学大学院工学研究科

Faculty of Engineering, Niigata University *Graduate School of Engineering, Osaka University

1. はじめに

拡散により結合された BVP 振動子群(緩和振動)のパラメータ値を調節すると、各振動子の固有周期に比して振動周期が小さくなるという振動の加速現象が知られ、解析されている¹⁾。本稿では、提案する電子回路モデルにおいて振動の加速現象が観察されることを報告する。

2. 回路構成

BVP 振動子は自動能を持つ心筋細胞の電気発振を再現する最も簡略化された数学モデルであり、活動電位においてプラトー相が観察される。我々はバースト発振回路モデル²⁾を修正することで、プラトー相を再現する回路を得た。

回路図を図1に示す。この回路は心臓プルキンエ細胞モデル(付録参照³⁾)と、厳密ではないが対応関係がある。左のコンデンサ C_m には容量性電流(式(2)の第1項)が流れ、両端に膜電位 V_m [V]が生じる。図中の破線矢印は、左から Na 電流(式(2)の第2項)、漏れ Na 電流(式(2)の第3項。ペースメーカー電流と呼ばれる)、一過性 K 電流(式(2)の第4項)、遅延性 K 電流(式(2)の第5項)である。K 平衡電位を 0[V]としたので図1では V_k を省略した。また、Noble 方程式³⁾では Cl チャネルのコンダクタンスが0に設定されているので、図1で Cl チャネルを省略した。

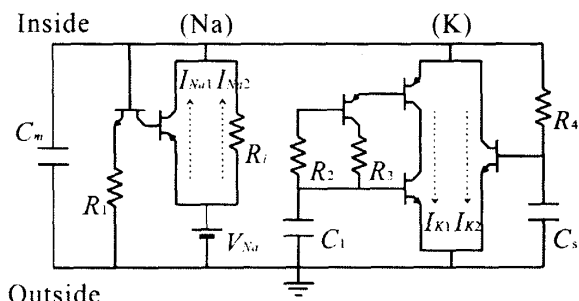


図1: 提案する心臓プルキンエ発振型回路

3. 結果

図1の回路を2つ作製した(モデル1とモデル2)。図2(a)~(d)に膜電位の時間波形($C_m = C_1 = 10$ [μ F], $R_1 = 200$ [k Ω], $R_2 = R_3 = 100$ [k Ω], $R_4 = 10$ [k Ω], $V_{Na} = 5$ [V], R_i と C_s は可変パラメータ)を示す。(a),(b)はそれぞれ結合前のモデル1,2の時間波形であり、 R_i と C_s を調節して、周期 $T = 1$ [s]かつ活動度 A :

$$A \equiv \frac{T_p}{T}, \quad (1)$$

が、モデル1,2で異なるようにした((a) $A = 0.250$, (b) $A = 0.615$)。ここで、 T_p [s]はプラトー相が続く時間である。(c),(d)に、それぞれモデル1,2の結合後(結合抵抗100 [Ω])の時間波形を示す。次に、モデル2のパラメータ($A = 0.615$)を固定し、モデル1の活動度を小さく変化さ

せて、活動度の差を人工的に与えた。図3に、活動度の差を変えたときの結合後の周期(左)と結合前に対する結合後の消費電力(右)を示す。 B^2 -SPICEによりデータを取得後、多項式近似によって曲線を当てはめた(左:6次,右:5次)。

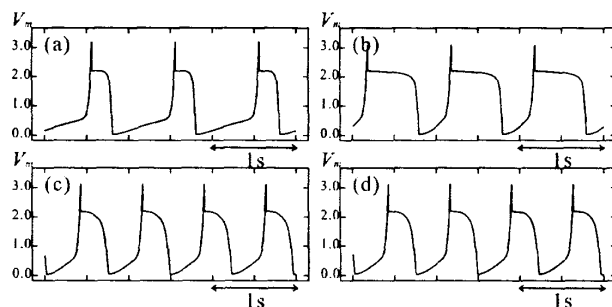


図2: 時間波形 (B^2 -SPICEによる)

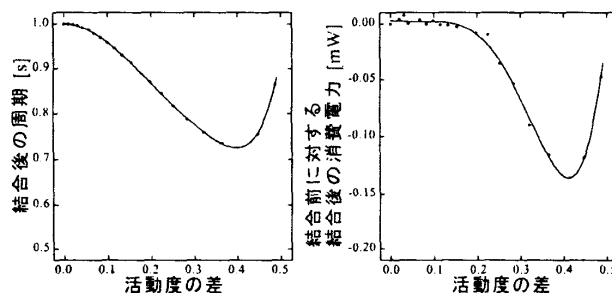


図3: 結合後の周期と消費電力 (B^2 -SPICEによる)

4. おわりに

本稿では、非線形振動子の拡散結合系が示す振動の加速現象に対して、2個の電子回路モデルを結合させることにより振動が加速することを示した。また、加速が生じると消費電力が低下することも示唆した。今後は3個以上の結合系における加速現象を調査し、消費電力と加速の関係を明らかにする。また、ノイズを付加したときの加速現象への影響も調べる。

謝辞 本研究の一部は財団法人山口育英奨学会の学術研究助成によった。

付録: Noble 方程式³⁾

$$C_m \frac{dV_m}{dt} + I_{Na1}(V_m, m, h) + I_{Na2}(V_m) + I_{K1}(V_m) + I_{K2}(V_m, n) = 0, \quad (2)$$

文献

- 1) 河崎他, 信学技報 MBE93, No.84, pp.121-128 (1993)
- 2) Y. Maeda et al., BioSystems, vol.58, pp.93-100 (2000)
- 3) J. Keener and J. Sneyd, "Mathematical Physiology," pp. 142-153, Springer (1998)