

Aukštadažnės stimuliacijos poveikis Fitzhugh-Nagumo modelio neuronui

Effect of high-frequency stimulation on nerve pulse propagation in the Fitzhugh-Nagumo model

Irmantas Ratas, Kęstutis Pyragas

Fizinių ir technologijos mokslų centro puslaidininkių fizikos institutas, A. Goštauto g. 11, LT-01108 Vilnius

irmantas.ff.vu@gmail.com

Aukštadažnė stimuliacija taikoma Parkinsono ligos simptomų slopinimui. Kodėl stimuliacija taip efektyviai veikia dar nėra visiškai suprasta. Siekdami išsiaiškinti kokią įtaką aukštadažnė stimuliacija daro pavieniams neuronams ištyrėme [1] Fitzhugh-Nagumo modelį veikiamą periodine jėga, kurios amplitudė a ir dažnis ω :

$$\begin{aligned}\frac{\partial v}{\partial t} &= v - \frac{v^3}{3} - w + \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + a \cos(\omega t); \\ \frac{\partial w}{\partial t} &= \varepsilon(\beta + v - \gamma w);\end{aligned}\quad (1)$$

Pagrindinis sistemos kintamasis yra v , kuris imituoja realaus neurono potencialą.

Sistema (1) yra neautonominė, kadangi pridėta stimuliacija tiesiogiai priklauso nuo laiko. Stimuliacijos periodas daug kartų mažesnis už neurone vykstančių procesų charakteringuosius laikus, todėl galima taikyti vidurkintų lygčių metodą [2]. Pasinaudojus šiuo metodu pradines lygtis (1) pavyksta perrašyti lėtai kintančiai potencialo daliai $(v, w) \rightarrow (\bar{v}, \bar{w})$. Naujoji sistema bus autonominė:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} &= \bar{v} \left(1 - \frac{A^2}{2}\right) - \frac{\bar{v}^3}{3} - \bar{w} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2}; \\ \frac{\partial \bar{w}}{\partial t} &= \varepsilon(\bar{v} + \beta - \gamma \bar{w}).\end{aligned}\quad (2)$$

Dviejų laikų metodas taip pat sumažino ir stimuliacijos parametrų skaičių: iš amplitudės ir dažnio į jų santykį $A = a/\omega$.

Pereinant į greičiu c judančią koordinatų sistemą ir joje nagrinėjant tik stacionarius procesus, tiriamas lygtis iš dalinių išvestinių galima perrašyti į tris paprastasias diferencialines lygtis. Impulso greitis c bus randamas vėliau.

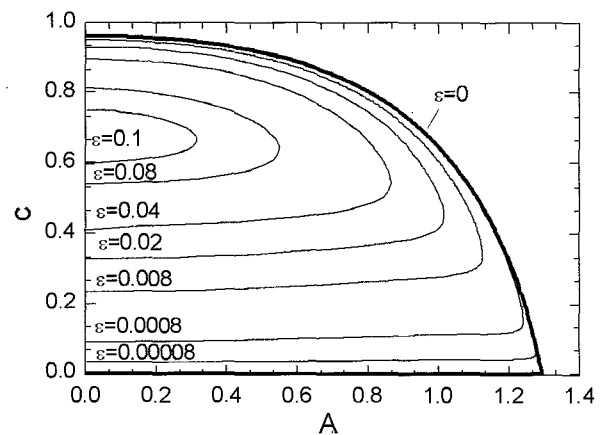
Naujoje koordinatų sistemoje impulsą atitiks homoklininė trajektorija (trajektorija, kuri išeina ir sugrįžta į sistemos rimties tašką). Homoklininių trajektorijų radimas bendru atveju yra sudėtingas uždavinys, tačiau esant mažo parametro sąlygai trajektorijos randamos singuliarios perturbacijos metodu [3].

Singulios perturbacijos metodas remiasi tuo, kad mažas parametras (sistemos (1) atveju $\varepsilon \rightarrow 0$) impulsą suskaido į priekinį ir galinį frontus, kuriuos galima aprašyti dviem diferencialinėmis lygtimis, bei į lėtos relaksacijos atkarpas.

Frontus aprašančios lygtys turi sudaryti heteroklinines trajektorijas. Iš šios sąlygos galima atrasti impulso greičio priklausomybę nuo stimuliacijos intensyvumo A . Didinant stimuliacijos intensyvumą impulso greitis mažėja (žr. 1 pav. juodos linijos), kol pasiekus kritinę vertę greitis pasidaro lygus 0 ir impulsas išnyksta. Singulios perturbacijos atveju kritinė intensyvumo A vertė randama analizinė išraiška.

Singulios perturbacijos metodu nustatyta $c(A)$ priklausomybė yra maksimali impulso greičio riba. Tai patvirtina ir atlikti skaitmeniniai skaičiavimai (žr. 1 pav.).

Vidurkintų lygčių (2) skaitmeninis integravimas patvirtino, jog viršijus kritinę stimuliacijos intensyvumo vertę neurone sužadavimo inicijuotas impulsas negali sklirti.



1pav. Fitzhugh-Nagumo modelio susidariusio impulso greičio c priklausomybė nuo stimuliacijos intensyvumo A .

Reikšminiai žodžiai: Fitzhugh-Nagumo modelis, singulios perturbacija, aukštadažnė stimuliacija.

Padėka

Darbas parengtas remiant visuotinės dotacijos projektu Nr. VP1-3.1-ŠMM-07-K-01-025

Literatūra

- [1] I. Ratas, K. Pyragas, *Nonlinear Dyn.* (2011), Spauldoje
- [2] I. Blekman, *Selected topics in vibrational mechanics* (Singapore, London, 2004).
- [3] A. C. Scott, *Rev. Mod. Phys.*, **47**, 487–533 (1975).