

## Нейроподобный генератор с возбудимым и автоколебательным режимом\*

*А. С. Васин*<sup>1</sup>✉, *Д. И. Большаков*<sup>1</sup>,  
*М. А. Мищенко*<sup>1</sup>, *И. В. Сысоев*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского

<sup>2</sup>Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского

✉ [sania-vs.vasin@yandex.ru](mailto:sania-vs.vasin@yandex.ru)

Моделирование динамики нейронов и их сетей остается важным инструментом для понимания физиологии работы мозга и нервной системы. Актуальность разработки аппаратных моделей нейронов обусловлена возможностью электронных устройств работать с большими ансамблями в режиме реального времени. Кроме того, при моделировании биологических нейронов электронный нейрон является важным переходным этапом между численным и биологическим экспериментом.

В данной работе рассматривается модель нейроподобного генератора на основе ФАПЧ с полосовым RC-CR фильтром, которая имеет состояние равновесия при параметре расстройки частоты системы  $\gamma < 0$  за счёт включения в цепь полосового фильтра параллельно дифференцирующему звену электронно-управляемого ключа с управляющей петлёй слежения за сигналом, описываемая системой (1). В остальном пространстве параметров наблюдаются различные автоколебательные режимы, соответствующие различным предельным циклам разной кратности в цилиндрическом фазовом пространстве.

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi}{dt} &= y, \\ \frac{dy}{dt} &= z, \\ 3\varepsilon_1\varepsilon_2 \frac{dz}{dt} &= (\gamma - y)(d + 1) - (\varepsilon_1(d + 1) + 2\varepsilon_2)z - \varepsilon_2 \cos \varphi + \\ &+ h(\gamma) ((\gamma - y)d - (\varepsilon_1 d + \varepsilon_2)z - d \sin \varphi - \varepsilon_2 \cos \varphi), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\varphi$  — текущая разность фаз подстраиваемого и опорного генератора,

\*Работа выполнена при поддержке Гранта Президента для молодых учёных–докторов наук МД-3006.2021.1.2.

$\gamma$  — начальная частотная расстройка,  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  — параметры инерционности фильтров,  $d$  — безразмерный параметр,  $h$  — функция Хэвисайда.

Ранее динамика нейроподобного генератора рассматривалась только в различных автоколебательных режимах численно [1] и экспериментально [2]. В фазовом пространстве модели существуют аттракторы вращательного типа различной сложности. Этим аттракторам соответствуют различные динамические режимы модели. В работе рассматривается динамика генератора. В данной же работе проводилось исследование модели нейроподобного генератора на основе ФАПЧ в состоянии равновесия при  $\gamma < 0$ . Вывести систему из состояния равновесия согласно работе [3] можно путём кратковременного изменения параметра  $\gamma$  в результате подачи прямоугольного возбуждающего импульса. Также в работе [3] было показано, что ключевую роль играет площадь подаваемого воздействия. В рамках данной работы была получена минимальная пороговая площадь единичного возбуждающего импульса  $S = A\Delta t = 0.3$  В·мс, достаточная для генерации колебания при  $\gamma = 0$ , где  $A$  — амплитуда импульса,  $\Delta t$  — длительность импульса.

### Список литературы

1. Мищенко М. А., Шалфеев В. Д., Матросов В. В. // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2012. Т. 20, № 4. С. 122–130.
2. Мищенко М. А., Большаков Д. И., Матросов В. В. // Письма в ЖТФ. 2017. Т. 43, № 13. С. 10–18.
3. Мищенко М. А., Жукова Н. С., Матросов В. В. // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2018. Т. 26, № 5. С. 5–19.