

**Возбуждение фазоуправляемого генератора
импульсным воздействием**

М. А. Мищенко, Н. С. Жукова, В. В. Матросов

Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского
Россия, 603950 Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23
E-mail: mischenko@neuro.nnov.ru, natalizhukova29@gmail.com, matrosov@rf.unn.ru
Автор для переписки Мищенко Михаил Андреевич, mischenko@neuro.nnov.ru
Поступила в редакцию 26.02.2018, после доработки 11.05.2018

Предмет исследования. Возбуждаемые динамические системы - системы, которые находясь в состоянии покоя, способны в ответ на достаточно слабое воздействие генерировать колебание большой амплитуды, возвращаясь далее в состояние покоя. Исследование таких динамических систем является на сегодняшний день одной из наиболее интересных и актуальных проблем современной науки. В настоящей работе исследуется динамика модели системы фазовой автоподстройки частоты с полосовым фильтром в цепи управления и при внешнем импульсном воздействии. **Новизна.** Исследована возбудимость фазоуправляемого генератора под воздействием прямоугольных импульсов. Определены параметры импульсного воздействия, необходимые для появления колебаний большой амплитуды (надпорогового отклика). **Методы исследования.** Качественная теория динамических систем и численное моделирование, базирующиеся на методах теории нелинейных колебаний. **Полученные результаты.** Исследована модель фазоуправляемого генератора на основе системы фазовой синхронизации, находящегося в возбужденном состоянии. Проведен анализ состояний равновесия автономной модели; показано, что состояния равновесия существуют только при значении параметра $\gamma = 0$; множество таких состояний – континуум, и все они негрубые. Установлено, что структура поверхности гиперболических переменных зависит от значений фазовой переменной β ; определен диапазон β , где эта поверхность устойчива, а состояния равновесия определяют устойчивый стационарный режим генератора. Исследована возбудимость генератора под воздействием прямоугольных импульсов. Установлено, что возникающие колебания качественно похожи на импульсные и пачечные колебания мембранного потенциала нейрона. Определена амплитуда стимула, необходимая для появления на генераторе надпорогового отклика, сопоставимого по амплитуде с известными автоколебательными режимами. Показано, что требуемая амплитуда существенно зависит от начальных условий. Обнаружено, что на появление отклика генератора оказывает влияние не только амплитуда стимулирующего импульса, но и его длительность. При этом ключевым фактором является площадь стимулирующего

воздействия, которая может быть результатом воздействия нескольких импульсов.

Выводы. Рассматриваемый фазоуправляемый генератор является возбудимой динамической системой, способной демонстрировать отклик на внешнее импульсное воздействие, аналогичный нейроимпульсам. Система фазовой автоподстройки частоты с полосовым фильтром может рассматриваться в качестве модели нейроподобного генератора.

Ключевые слова: фазоуправляемый генератор, возбуждение колебаний, импульсная стимуляция, возбудимая система.

<https://doi.org/10.18500/0869-6632-2018-26-5-5-19>

Образец цитирования: Мищенко М.А., Жукова Н.С., Матросов В.В. Возбуждение фазоуправляемого генератора импульсным воздействием // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2018. Т. 26, No 5. С. 5-19.
<https://doi.org/10.18500/0869-6632-2018-26-5-5-19>

Excitability of neuron-like generator under pulse stimulation

M. A. Mishchenko, N. S. Zhukova, V. V. Matrosov

National research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod
23, Gagarin ave., 603950 Nizhny Novgorod, Russia

E-mail: mischenko@neuro.nnov.ru, natalizhukova29@gmail.com, matrosov@rf.unn.ru

Correspondence should be addressed to Mishchenko Mikhail. A., mischenko@neuro.nnov.ru

Received 26.02.2018, revised 11.05.2018

Subject of the study. Excitable dynamic systems are the systems having a stable equilibrium and capable of generating a large amplitude response to a weak stimulation. Excitable dynamic systems research is one of the most interesting and actual problems of modern nonlinear science. In the present paper dynamics of phase-locked loop with bandpass filter is studied under external pulse stimulation. **Novelty.** Excitability of the phase-controlled generator is studied under external pulse stimulation. The parameters of stimulation to excite a large amplitude response (super-threshold response) are found. **Methods.** Qualitative theory of dynamic systems, numerical simulations based on nonlinear oscillations theory. **Results.** The model of phase-controlled generator based on phase-locked loop is studied in excitable state. The analysis of equilibrium states of the autonomic model shows presence of equilibrium only with $\gamma = 0$. The number of the equilibrium is continuum and all of them are

non-robust. The structure of hyperbolic manifold depends on phase variable θ . The diapason of θ is found where the manifold is stable and equilibrium states define a stable stationary state of the generator. Excitability of the phase-controlled generator is studied under external pulse stimulation. The super-threshold responses of the generator are qualitatively similar to spikes and bursts of neuron's membrane potential. The amplitude of stimulus required for the appearance of the super-threshold response is determined. The dependence of this amplitude on initial conditions is shown. Both the amplitude and duration of the stimulus have the effect on response appearance and the key factor is the square of the stimulus that could be a sum of several consecutive pulses. **Discussion.** The phase-controlled oscillator is an excitable dynamic system capable to response on external pulse stimulation. These responses are qualitatively similar to spikes and bursts of neuron's membrane potential. The phase-locked loop with bandpass filter could be considered as a neuron-like generator.

Key words: phase-controlled generator, oscillation excitation, pulse stimulation, excitable system.

<https://doi.org/10.18500/0869-6632-2018-26-5-5-19>

References: Mishchenko M.A., Zhukova N.S., Matrosov V.V. Excitability of neuron-like generator under pulse stimulation. *Izvestiya VUZ, Applied Nonlinear Dynamics*, 2018, vol. 26, iss. 5, p. 5–19. <https://doi.org/10.18500/0869-6632-2018-26-5-5-19>