

Химерные состояния в пик-волновых разрядах малых сетей нейроосцилляторов*

А. А. Капустников^{1,2}✉, И. В. Сысоев^{1,2}, М. В. Сысоева^{1,3}

¹Саратовский филиал Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН

²Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

³Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.

✉ anton.kapustnikov.02@mail.ru

В течение последнего десятилетия в широком спектре систем было исследовано явление, известное как химерные состояния [1] — наличие сосуществующих синхронного и асинхронного кластера в ансамбле идентичных элементов. Такого рода состояния могут быть полезны при моделировании различных заболеваний мозга [2]. С этой точки зрения интересны химеры в сетях модельных нейронов. В данной работе рассматриваются сети нейронов Моррис–Лекара (ML) и Ходжкина–Хаксли (HH) — физиологически корректных моделей нейрона — моделирующие таламокортикальную систему и построенные по её известным анатомическим принципам и принадлежащие к тому же классу мезомасштабных моделей, что и модель, описанная в [3]. Для детектирования синхронности использовался индекс фазовой синхронизации (1) из [4]. Фаза рассчитывалась с использованием преобразования Гильберта.

$$I_{k,j} = \left| \langle e^{i(m\phi_k - n\phi_j)} \rangle_t \right|. \quad (1)$$

где $k, j = 1, 2, \dots, 14$; i — мнимая единица; m и n введены для возможности детектирования синхронизации $m : n$.

Рассмотрим матрицу значений коэффициента фазовой синхронизации на модели ML рис. 1, а, определение, наличия синхронизации, асинхронизации и химерных состояний между нейронами, производилось на основе статьи [5]. Исходя из этого, можно отметить наличие нескольких синхронных кластеров, например, PY -клетки синхронизовались между собой, а также с TC -клетками и интернейроном (IN). За исключением клетки $RE4$, все RE -клетки тоже синхронизовались между собой. Асинхронные клетки, в данном случае — это $RE4$, которая не синхронизируется ни с PY -клетками, ни с TC -клетками, ни с IN . Следует отметить,

*Работа поддержана РФФ, грант № 19-72-10030.

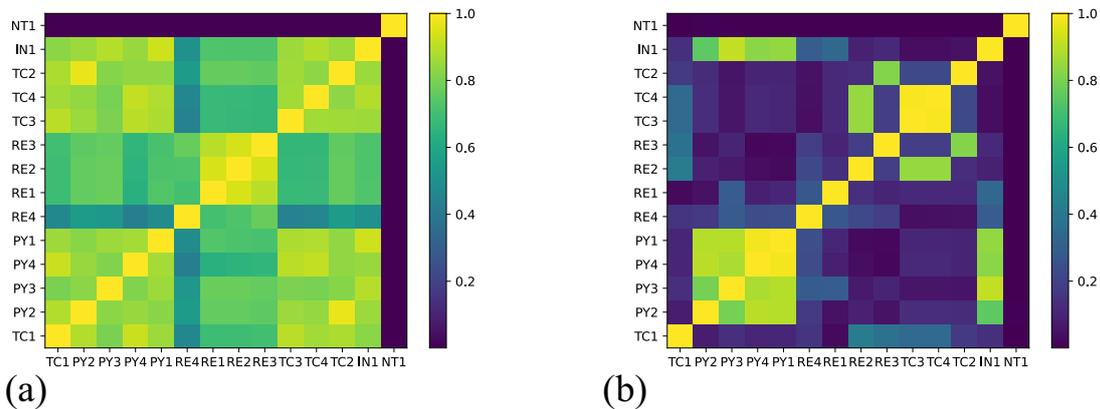


Рис. 1. Значения коэффициента фазовой синхронизации для переходных процессов в моделях Моррис–Лекара (а) и Ходжкина–Хаксли (б)

что $RE4$ все же синхронизируется с RE -клетками, хоть и довольно слабо, аналогичная ситуация происходит и с остальными RE -клетками. Они также слабо синхронизируются с PY и с TC клетками. В модели HH , на рис. 1, b видно, что число синхронных клеток сильно сократилось, в сравнении с ML . Отметим, что $PY4$ и $PY1$ синхронизовались со всеми PY -клетками и с IN . $PY3$ же синхронизовалась с IN , но между $PY3$ и $PY2$ слабая синхронизация, а последняя ещё слабо синхронизируется с IN . TC -клетки синхронизируются между собой (что удивительно, так как они не имеют непосредственных связей) и с RE -клетками, но не все и не со всеми, например, $TC1$ ни с кем не синхронизируется. Все оставшиеся клетки находятся в асинхронном состоянии.

Список литературы

1. Bera B. K., Majhi S., Ghosh D., Perc M. Chimera states: Effects of different coupling topologies // EPL (Europhysics Letters). 2017. Vol. 118. 10001.
2. Uhlhaas P. J., Singer W. Neural synchrony in brain disorders: relevance for cognitive dysfunctions and pathophysiology // Neuron. 2006. Vol. 52. P. 155–168.
3. Kapustnikov A. A., Sysoeva M. V., Sysoev I. V. Modeling Spike–Wave Discharges in the Brain with Small Neurooscillator Networks // Mathematical Biology and Bioinformatics. 2020. P. 139–146.
4. Mormann F., Lehnertz K., David P., Elger C. E. Mean phase coherence as a measure for phase synchronization and its application to the EEG of epilepsy patients // Physica D: Nonlinear Phenomena. Vol. 144, no. 3–4. P. 358–369.
5. Kanika Bansal, Javier O. Garcia, Steven H. Tompson, Timothy Verstynen, Jean M. Vettel, Sarah F. Muldoon. Cognitive chimera states in human brain networks // Science Advances. 2019. Vol. 5, no. 4.