

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Куркина Семёна Андреевича

на диссертационную работу Большакова Дениса Ивановича
«Электронное моделирование и исследование динамики нейроподобного генератора на базе системы фазовой автоподстройки частоты»

Актуальность темы диссертации не вызывает сомнений. Исследование и моделирование активности отдельных нейронов и их сетей — одно из наиболее широко и быстро развивающихся направлений в науке сегодня. Создание моделей в виде электронных схем является следующим после математического моделирования шагом на пути решения этой важной задачи. Исследование режимов поведения построенных моделей и их модификация с целью лучшего соответствия известным фактам о динамике биологических нейронов также являются важными составляющими решения поставленной задачи. Проверка работоспособности построенных электронных моделей и их соответствия лежащим в основе математическим моделям также, несомненно, представляет интерес в рамках решаемой задачи. Исследование методов конструирования синапсов между электронными нейронами как отдельных компонентов электроники также важно, поскольку синапсы в значительной степени определяют динамику биологических нейронных сетей, и без их моделирования нельзя достичь значимого успеха на пути воспроизведения в электронных устройствах динамики биологических объектов.

Научная новизна работы естественно вытекает из её результатов. В работе впервые создан генератор нейроподобных колебаний на основе системы фазовой автоподстройки частоты, впервые исследованы режимы работы экспериментального генератора и сопоставлены с тем, что было известно в литературе о математической модели. Впервые записаны доработанные уравнения модели с учётом возможности существования возбуждаемого режима в широкой области управляющих параметров. Впервые создана электронная модель такого генератора. Впервые по экспериментальным данным измерены параметры генератора путём реконструкции модели, и получено представление о соответствии известной из литературы математической модели генератора экспериментально созданному устройству. Впервые сконструирована и исследована схема из двух таких генераторов, связанных мемристивной связью. Таким образом, каждая глава диссертационной работы содержит новые научные результаты по теме исследования.

Обоснованность и достоверность научных положений диссертации определяется характером работы и связанностью результатов работы с известными в литературе результатами и друг с другом. В частности, обоснованность положения 1 вытекает из факта функционирования построенного диссертантом экспериментально генератора, а также из качественного соответствия экспериментально обнаруженных режимов его работы режимам математической модели, на которой он базируется. При этом неполное соответствие между генератором и математической моделью вполне естественно и логично объясняется в работе, в том числе подтверждая реальность построенной установки. Обоснованность и достоверность положения 2 подтверждены как аналитически при построении метода реконструкции уравнений генератора, так и количественно при анализе результатов. Важно, что автор исследовал различные режимы функционирования генератора. Полученные оценки параметров отличаются от теоретически ожидаемых, в ряде случаев довольно существенно,

что непротиворечиво объяснено в работе. При этом наблюдается общая закономерность, по которой оценки одного из параметров существенно ближе к ожидаемым, чем второго, что теоретически обосновано их влиянием на динамику модели, а также следует из особенностей процедуры получения данных, в том числе наличия постоянного смещения при измерении. Обоснованность положения 3 подтверждается, во-первых, в силу использованного подхода к построению модифицированного генератора, во-вторых, экспериментально путём наблюдения режимов в электронном генераторе. Новые режимы возбудимых колебаний, отсутствовавшие в оригинальной модели, вполне вписываются в общую картину и логично дополняют динамику генератора. В подтверждение положения 4 можно высказать общетеоретические аргументы, следующие из принципов работы мемристивных элементов. В частности, наличие памяти приводит к возможности кратковременной адаптации к изменяющимся внешним условиям, что в представленной модели фактически приводит к смещению (запаздыванию) ответа в электронном синапсе, которое наблюдается и в химическом синапсе биологических нейронов. Практические аргументы следуют из наблюдаемых результатов, которые не противоречат теоретическим представлениям о системе и имеют внутреннюю логику.

Личный вклад диссертанта не вызывает сомнений: им непосредственно проделаны все основные работы по конструированию электронных генераторов и электронных синапсов, сняты экспериментальные данные, проведён анализ режимов и оценка параметров. Методы и модели разрабатывались и анализировались совместно с научными руководителями, совместно с ними оформлялись публикации по теме работы.

Общая характеристика работы однозначно положительная. В первую очередь, она обоснована значительной новизной всех полученных в работе результатов, а также общих идей работы. Таких две: во-первых, использовать для моделирования нейроподобной активности системы, не являющиеся радиотехническими реализациями математических моделей нейронов, а построенные из других соображений (в работе это системы фазовой автоподстройки частоты с полосовым фильтром); во-вторых, использовать методы реконструкции для верификации моделей и измерения величин (в данном случае сама идея не нова, но впервые доведена до практической реализации в данном контексте). Объём работы достаточен для работы на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук.

Структура работы вполне чёткая и естественная: в первой главе рассматривается задача экспериментальной реализации генератора по уже ранее известной и исследованной математической модели, а также его исследования. Во второй главе исследование модели дополняется реконструкцией параметров модели по экспериментальным данным, что позволяет её однозначно верифицировать и дать оценку степени соответствия математической модели установке и упрощениям, заложенным при выводе модели. В третьей главе модель модифицируется, и в неё вносится дополнительный режим, важный для практического применения. В четвёртой главе рассматривается система из двух модифицированных генераторов, предлагается схема синапса (связи) между ними, и подробно исследуется динамика связанной системы. По каждой главе сформулировано одно положение, и имеется одна статья в рецензируемом журнале, включённом в базы данных Scopus/WoS, а также несколько публикаций в материалах конференций. Такое количество публикаций является исчерпывающим и полностью удовлетворяет требованиям положения «О порядке присуждения учёных степеней». Анализ публикаций по теме работы показывает, что она выполнялась именно в том порядке, в котором изложена.

Материалы исследований, легших в основу диссертации, неоднократно докладывались диссертантом на профильных конференциях в разных городах России: Нижнем Новгороде,

Самаре, Саратове, а также за рубежом — в Берлине в 2018 г. Таким образом, на основании анализа выступления диссертанта и анализа публикаций по теме работы, содержащих 2 статьи в международных журналах первого квартиля, можно заключить, что материалы работы хорошо представлены международной научной общественности.

Сущность диссертации соответствует специальностям. В частности, по основной специальности (1.3.5. «Физическая электроника») получены результаты во всех главах. Результаты относятся к п. 2 паспорта специальности — твердотельная электроника. В работе созданы новые электронные приборы (лабораторные макеты), для которых показана возможность генерации специфического типа колебаний (нейроподобной импульсной активности) на физических принципах, на которых ранее в эксперименте электронные полупроводниковые приборы таких режимов не демонстрировали. Это соответствует традиционному пониманию специальности «Физическая электроника» в части физико-математических наук. В главах 1, 2, 3 имеются значимые результаты по второй специальности диссертации — 1.3.4. «Радиофизика». В частности, согласно паспорту специальности, к радиофизике относятся исследование колебаний в физических системах, нелинейная динамика (в работе исследованы экспериментально бифуркационные механизмы смены режимов в генераторе в различных сечениях пространства параметров), анализ сигналов в условиях помех — материал главы 2, где сигналы анализируются путём реконструкции по ним уравнений модели, при этом учёту различных помех и шумов уделено большое значение, в том числе метод реконструкции, разработанный в других работах ранее, существенно переделан для снижения влияния шумов и возможности учёта постоянного смещения. На основании приведённых заключений считаю, что защита работы по двум специальностям оправдана, выбор специальностей хорошо обоснован.

По работе имеются следующие замечания, вопросы и предложения:

1. В Главе 1 диссертационной работы утверждается, что полученные осциллограммы (рис. 21) «качественно согласуются с результатами численного исследования математической модели...», однако, отсутствуют какие-либо количественные оценки данного соответствия.
2. На основании чего в Главе 1 делается вывод, что в системе при определенных значениях управляющих параметров реализуется именно хаотический режим (см. рис. 22)? Проводилась ли оценка показателей Ляпунова?
3. Сложно говорить об «относительно небольшой погрешности реконструкции параметров β_1 и β_2 в сопоставлении их с теоретически ожидаемыми» (см. Главу 2), когда уровень этой погрешности колеблется от 2% до 52% (погрешности >5% вряд ли можно назвать небольшими). Как я понял из диссертационной работы, для каждого из реализуемых режимов оценка погрешности делалась только для одного набора параметров. Какова будет средняя погрешность для каждого из режимов, если её оценку проводить по множеству точек на карте режимов?
4. Как следует из представленных в Главе 3 карт режимов (см. рис. 39) в модифицированной модели нейроподобного генератора отсутствует хаотический режим. Чем обусловлено его исчезновение?
5. В Главе 4 утверждается, что «в дальнейшем состояние мемристивного элемента продолжает смещаться в сторону проводящего состояния, и слишком сильная связь нарушает синхронизацию». С чем связан срыв режима синхронизации при больших силах связи? Можно ли оценить границы зоны синхронизации?

Однако отмеченные замечания не являются принципиальными и не снижают общей положительной оценки диссертации.

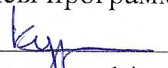
На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Дениса Ивановича Большакова «Электронное моделирование и исследование динамики нейроноподобного генератора на базе системы фазовой автоподстройки частоты» соответствует всем требованиям пунктов 9-11, 13, 14 положения «О порядке присуждения учёных степеней» от 24.09.2013, утверждённого приказом №842 со всеми внесёнными в него последующими изменениями, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а её автор — Денис Иванович Большаков — заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.3.5. «Физическая электроника» и 1.3.4. «Радиофизика».

Ведущий научный сотрудник Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», доктор физико-математических наук по специальности 05.13.18 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Куркин Семён Андреевич

Адрес: 236041, Российская Федерация, Калининград, ул. А. Невского, 14,

E-mail: kurkinsa@gmail.com

 30.11.2022г.

Подпись

Куркина Семёна Андреевича

заверяю:

Ответственный секретарь Ученого Совета

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»

Шпилевой А.А.

