

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD)
по специальности «6D071900 – Радиотехника, электроника и
телекоммуникации»

ИСИМОВА АЙГЕРИМ ТОКТАРОВНА

Устройство преобразования механических колебаний в электрический сигнал

Общая характеристика работы.

Диссертационная работа посвящена исследованию системы преобразования вибрационной энергии в электрическую с использованием электромагнитного генератора. Виброгенератор преобразует механические вибрации в электрические сигналы. Основная задача работы заключается в разработке эффективной системы, способной преобразовывать вибросигналы в электрический ток. В работе рассмотрены основные принципы работы электромагнитных генераторов и принципы преобразования вибрационной энергии в электрическую. Описаны различные типы электромагнитных генераторов и их применение в современной технике.

Для решения задачи была разработана система, состоящая из двух постоянных магнитов и катушки. Для проверки работы системы было проведено экспериментальное исследование устройства. Эксперимент проводился в диапазоне от 2 Гц до 600 Гц, то есть от низкочастотных сигналов до сигналов высоких частот. Форма выходного сигнала снималась с помощью осциллографа. Результаты показали, что система способна эффективно преобразовывать вибросигналы в электрическую энергию с высокой эффективностью, а прототип харвестера может работать на широкополосных сигналах. Построена теория данной системы и создано компьютерное моделирование, которое полностью описывает работу харвестера. Численные расчёты проведены в программе Python. Показано, что такие параметры, как коэффициент восстановления и самоиндукция, играют важную роль в эффективной работе сборщика энергии электромагнитных колебаний.

Таким образом, разработанная система может использоваться в различных областях, где необходимо преобразование вибрационной энергии в электрическую, например, в современной медицине (для работы датчиков и различных устройств), а также в промышленности для использования в системах автоматизации и контроля.

Актуальность темы

В последнее десятилетие были проведены обширные исследования по разработке сборщиков вибрационной энергии для Интернета вещей (IoT). Это связано с достижениями в области сверхмаломощных (ULP) схем, а также с

потребностью в беспроводных датчиках. Современные узлы беспроводных датчиков (WSN) обычно используют электрохимическую батарею для питания. Однако обычные батареи имеют ограниченный срок службы (до 15 лет при использовании токов в диапазоне мВт). В некоторых случаях замена таких батарей оказывается либо слишком сложной, либо слишком дорогостоящей.

Возобновляемые источники энергии, такие как солнечное излучение, тепловая энергия и энергия ветра, хорошо изучены и применимы на открытом воздухе. Однако большинство из них сильно зависят от погодных условий и генерируют значительно меньшую мощность при работе в помещении. Это делает сборщики вибрационной энергии выгодной альтернативой, поскольку вибрации присутствуют во многих реальных условиях. Такие устройства преобразуют механические колебания в электричество. Харвестеры вибрационной энергии обычно делятся на пьезоэлектрические, электростатические и электромагнитные, в зависимости от их принципа работы, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки.

В последние годы метод сбора энергии на основе вибрации считается перспективной технологией и привлекает значительный исследовательский интерес благодаря долговечности и высокой плотности энергии. Эти качества крайне необходимы для источников питания беспроводных сенсорных сетей, используемых в медицине, мониторинге окружающей среды и современных электронных продуктах.

Большинство вибрационных накопителей энергии (ВЭУ) спроектированы на основе одного конкретного механизма преобразования: пьезоэлектрического, электростатического, электромагнитного или трибоэлектрического. В последние годы был сделан значительный шаг в разработке решений по сбору энергии для обеспечения питания беспроводных датчиков и создания установок с автономным питанием. Это не только решает проблемы, связанные с высокой стоимостью кабельной проводки и сложностью замены батарей, но и соответствует мировым тенденциям в области возобновляемых и устойчивых решений.

По мере увеличения значимости специализированных датчиков в промышленных комплексах будет возрастать и потребность в автономном электропитании таких устройств. К счастью, энергия, теряющаяся в окружающей среде (тепловая, магнитная, электрическая и механическая), может быть использована для питания узлов датчиков с помощью технологий сбора энергии (ЕН). Такой подход продлевает срок службы сенсорных узлов, снижает затраты на обслуживание и предотвращает загрязнение окружающей среды батареями. Несмотря на доступность таких источников энергии, остаются проблемы с разработкой эффективных сборщиков, способных работать в различных вибрационных условиях.

Цель работы:

Разработка прототипа энергосберегающего устройства для преобразования механических вибраций в электрическую энергию и исследование его характеристик.

Объекты исследования:

Электромагнитная система, собирающая энергию вибрационных колебаний, состоящая из двух постоянных и свободно движущихся магнитов и катушки.

Предмет исследования:

Зависимость электродвижущей силы от частоты механических колебаний

Методы исследования:

1. Экспериментальное исследование работы электромагнитной системы вибрационных сигналов.
2. Теоретический анализ движения магнитов при механическом воздействии.
3. Компьютерное моделирование данной системы.

Задачи исследования:

1. Разработка прототипа харвестера на основе двух постоянных и свободно перемещающихся магнитов.
2. Создание экспериментального стенда для изучения зависимости величины ЭДС, генерируемой катушкой, от внешнего вибрационного сигнала.
3. Проведение экспериментов на подготовленном стенде.
4. Создание математической модели, описывающей частотную зависимость вырабатываемой энергии.
5. Проведение численного моделирования и сопоставление его результатов с экспериментальными данными.
6. Исследование возможности применения разработанной системы в системах Интернета вещей (IoT) для обеспечения автономного питания беспроводных сенсоров и мониторинговых устройств.

Научная новизна:

1. Разработан усовершенствованный прототип электромагнитного преобразователя, включающий малогабаритный и свободно перемещающийся магнит, что обеспечивает высокую чувствительность системы к внешним вибрационным воздействиям.
2. В ходе экспериментов определена рабочая частота прототипа, и установлено, что устройство обладает широкополосным спектром работы, что делает его универсальным для различных условий эксплуатации.
3. Разработана детализированная математическая модель, позволяющая предсказать зависимость количества вырабатываемой электрической энергии от частоты механических колебаний и характеристик системы.
4. Проведенные исследования подтвердили, что предложенное устройство может эффективно использоваться в автономных системах питания датчиков Интернета вещей, обеспечивая стабильное энергоснабжение без необходимости

в традиционных источниках питания.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Разработка и создание прототипа преобразователя, основанного на взаимодействии двух постоянных магнитов, свободно перемещающихся в магнитном поле;

2. Создание экспериментального стенда для определения зависимости величины ЭДС, генерируемой вдоль устройства, от внешней вибрационной силы, а также проведение экспериментов;

3. Создание математической модели, описывающей частотную зависимость величины электрической энергии, вырабатываемой электромагнитным преобразовательным устройством. Численное компьютерное решение величин, описываемых созданной математической моделью, а также проверка соответствия результатов математической и компьютерной модели экспериментальным результатам.

4. Применение электромагнитного преобразователя, состоящего из двух свободно движущихся магнитов, в системах Интернета вещей.

Теоретическая и практическая значимость работы

Результаты диссертационной работы позволяют создать эффективную энергосберегающую систему на основе электромагнитного устройства, которая способна преобразовывать вибрационные сигналы накопленные из окружающей среды. А энергосберегающая система электромагнитных колебаний можно использовать для питания датчиков источником питания и при автономном питании при мониторинге. Теоретические представления могут быть использованы при расчете показателей устройства электромагнитной системы вибрационных сигналов.

Достоверность результатов

Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы подтверждается наличием публикаций в изданиях, представленных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МНВО РК, в журналах, входящих в международные информационные ресурсы Web of Science (Clarivate Analytics, США) и Scopus (Elsevier, Нидерланды) и в международных научных конференциях, и по результатам, полученным другими авторами..

Личный вклад автора

Автор принимал полное участие в научно-исследовательской работе на всех этапах выполнения диссертации. Он занимался созданием прототипа энергосберегающего устройства на основе электромагнитных колебаний, подготовкой стенда для проведения исследований, а также выполнением экспериментальных исследований. Работа осуществлялась совместно с научным руководителем, включая постановку задач, утверждение плана работ, построение математической модели, расчет компьютерной модели и анализ полученных результатов.

Апробация работы

По материалам диссертации опубликовано 3 печатных работ, в том числе 1 – в высокорейтинговых журналах (Q1), включенных в международную базу данных Scopus, 1 – в изданиях, рекомендуемых Комитетом по контролю в сфере образования и науки МНВО РК, 1 в европейской научной конференций b 1 фвторское свидетельство.

Статьи с высоким импакт-фактором в публикациях, включенных в базу данных Thomson Reuters или международную научную базу данных Scopus:

1. Kurt E., Issimova A., Medetov B. A wide-band electromagnetic energy harvester //Energy. – 2023. – Т. 277. – С. 127693. Quartile: Q1, IF 8

Статьи, опубликованные в изданиях, представленных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МНВО РК:

1. Исимова А.Т., Толегенова А.А., Курт Е., Медетов Б.Ж. Екі тұрақты магниттен құрастырылған электр тогының генераторы // Вестник КазНИТУ. – 2020. - №1. – С. 190 – 196

Публикации конференции:

1. Kurt E., Issimova A., Medetov B. Algebraic modeling of a new electrtomagnetic mechanical vibration energy harvester // European conference on renewable energy system. – Istambul, 2020. – p. 221-226

Авторское свидетельство:

Исимов А.Т., Медетов Б.Ж. Екі тұрақты магниттен құрастырылған электр тогының генераторы // Авторлық куәлік, 2023. №37045

Диссертациялық жұмыстың құрылымы мен көлемі

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Работа содержит 45 рисунков, 51 формулу, 5 таблиц, 110 ссылок и 88 страницы.