УДК 519.876.5

применениЕ цифровых двойников для повышения надёжности имплантируемых микроэлектронных систем

*Миндубаев Эдуард Адипович, к.т.н., ведущий инженер,  
edmindubaev@gmail.com*

*НИУ МИЭТ, г.Москва, г.Зеленоград*

Аннотация: В работе описываются результаты проектирования прототипа цифрового двойника системы индуктивной передачи энергии к имплантируемому медицинскому прибору. В основе цифрового двойника математическая модель для расчёта электрических характеристик системы, а также конечно-элементные модели для оценки нагрева и электрических характеристик катушек индуктивности.

Ключевые слова: цифровой двойник, имплантируемые медицинские приборы, индуктивная передача энергии.

Введение

Специфика применения медицинских имплантатов значительно ограничивает возможности мониторинга их состояния во время эксплуатации устройства. При этом неполадки в работе и отказ имплантируемой системы связаны с риском для жизни пациента. Это делает актуальным развитие методов прогнозирования состояния таких систем с целью повышения надёжности данных устройств.

Возможным решением задачи повышения надёжности имплантируемых медицинских устройств является переход к парадигме «цифровых двойников». В рамках данной парадигмы конкретному физическому объекту ставится в соответствие его цифровая копия, так называемый «цифровой двойник». Цифровой двойник является математической моделью, часть входных параметров которой определяется выходными данными сенсоров, подключенных к физическому объекту. В отдельных случаях, на основе данных, полученных при помощи цифрового двойника, оказывается управляющее воздействие на физической объект. Таким образом, формируется замкнутая система «физический объект – цифровой двойник».

Основной предпосылкой для развития технологии цифровых двойников является совершенствование методов и программ для моделирования процессов и систем, а также развитие вычислительной техники. Так, Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА) США использует цифровые двойники для оценки и прогнозирования состояния космических летательных аппаратов [1]. До перехода к парадигме цифровых двойников для этой задачи использовались дублёры аппаратов, к которым прикладывались воздействия аналогичные тем, которым подвергался аппарат, находящийся в космосе.

Помимо космической отрасли, цифровые двойники применяются в промышленности, машиностроении, авиастроении. Цифровые двойники также находят применение в медицине. Известны работы, направленные на создание цифровых двойников органов, а также, например, цифровых двойников популяции, позволяющие оценить распространение вирусных заболеваний [2, 3]. В свою очередь, исследования, направленные на создание цифровых двойников имплантируемых медицинских приборов, можно считать малочисленными.

Проектирование прототипа цифрового двойника

В данной работе было выполнено проектирование прототипа цифрового двойника системы индуктивной передачи энергии. Основным отличием прототипа от полноценного цифрового двойника является то, что данные с сенсоров, которые поступают на вход цифрового двойника, являются синтетическими.

Основой цифрового двойника является математическая модель, при помощи которой выполняется расчёт электрических характеристик системы индуктивной передачи энергии. К таким характеристикам относятся, например, выходное напряжение, выходной ток, напряжение на отдельных элементах системы, а также фазовые характеристики электрической цепи. Рабочая частота моделируемой системы индуктивной передачи энергии – 300 кГц; выходная мощность системы может достигать 500 мВт, номинальное расстояние между передающей и принимающей катушками индуктивности составляет 15 мм.

Эквивалентные электрические характеристики ключевых реактивных компонент рассчитываются при помощи конечно-элементного моделирования. Модель является мультифизической и позволяет учитывать влияние нагрева компонент на их электрические характеристики. Данные о нагреве оцениваются на основе показаний сенсоров. Дополнительно реализован модуль для расчёта временной деградации параметров электронных компонент.

Выводы

В работе выполнено проектирование прототипа цифрового двойника системы индуктивной передачи энергии. Определён функционал цифрового двойника. При помощи цифрового двойника возможна оценка электрических характеристик системы. Модель учитывает влияние нагрева и временной деградации ключевых электронных компонентов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00649.

Список использованных источников

1. Tuegel E.J., Ingraffea A.R., Eason T.G., Spottswood S.M. Reengineering Aircraft Structural Life Prediction Using a Digital Twin // International Journal of Aerospace Engineering. 2011. Vol. 2011. Art. ID 154798.
2. 7. Viola F., Del Corso G., De Paulis R. GPU accelerated digital twins of the human heart open new routes for cardiovascular research // Scientific Reports. 2023. Vol.13.
3. 8. Khan S., Ullah S., Khan H. U., Rehman I. U. Digital-Twins-Based Internet of Robotic Things for Remote Health Monitoring of COVID-19 Patients // IEEE Internet of Things Journal. 2023. Vol. 10. № 18.

APPLICATION OF DIGITAL TWINS TO THE IMPLANTABLE MICROELECTRONIC SYSTEMS RELIABILITY ISSUE

E.A.Mindubaev

Abstract: The paper describes the results of designing a prototype of a digital twin of an inductive energy transfer system for an implantable medical device. The digital twin is based on a mathematical model for calculating the electrical characteristics of the system, as well as finite element models for assessing the heating and electrical characteristics of the inductance coils.

Key words: digital twin, implantable medical devices, inductive power transfer.