

УДК 612.087.1

## КОНТРОЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ С ПОВЕРХНОСТЬЮ БИООБЪЕКТОВ

А.Н. ОСИПОВ, В.А. РОКАЧ, В.А. МАЛИЦКИЙ, Т. МА

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
(Минск, Беларусь)*

**Аннотация.** В работе рассматриваются вопросы разработки метода и средств контроля взаимодействия низкотемпературной атмосферной плазмы с поверхностью биообъектов на основе измерения и анализа динамики изменений электрического импеданса плазменного разряда. Проведены исследования изменения параметров нагрузки генератора при взаимодействии плазмы с биообъектом. Для вычисления электрического импеданса производилось прецизионное измерение значений мгновенных напряжений и токов на электродах разрядного блока генератора плазмы в реальном масштабе времени. В результате опытной апробации устройства получены данные, которые могут быть использованы для описания процесса взаимодействия объекта с плазмой.

**Ключевые слова:** низкотемпературная плазма, атмосферное давление, биообъект, электрический импеданс, мощность, контроль взаимодействия.

## INTERACTION CONTROL OF LOW-TEMPERATURE ATMOSPHERIC PRESSURE PLASMA WITH THE BIOOBJECT SURFACE

ANATOLY N. OSIPOV, VALERIY A. ROGACH, VSEVOLOD A. MALITSKY, TIANBAO MA

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)*

**Abstract.** The paper discusses the development of a method and means of controlling the interaction of low-temperature atmospheric plasma with the surface of biological objects based on the measurement and analysis of the dynamics of changes in the electrical impedance of a plasma discharge. Studies of changes in the load parameters of the generator during the interaction of plasma with a biological object have been carried out. To calculate the electrical impedance, the values of instantaneous voltages and currents on the electrodes of the discharge unit of the plasma generator were accurately measured in real time. As a result of experimental testing of the device, data were obtained that can be used to describe the process of interaction of an object with plasma.

**Keywords:** low-temperature plasma, atmospheric pressure, biological object, electrical impedance, power, interaction control.

### Введение

В последнее время использование низкотемпературной атмосферной плазмы (НАП) диэлектрического барьерного разряда показало значительный потенциал для различных биомедицинских применений. Соответствующее оборудование используется для стерилизации и дезинфекции медицинских инструментов, изменения свойств поверхностей материалов, в том числе и низкотемпературных [1,2]. На основе НАП разрабатываются методики стерилизации инфицированных тканей, инактивация микроорганизмов, заживление ран, регенерация кожи, свертывание крови, стоматологии, получены положительные результаты для лечения онкологических заболеваний [3,4]. Следует отметить, что не полностью изучены механизмы воздействия плазмы на биологические объекты. Широкое применение плазменных технологий сдерживается отсутствием простых методов диагностики состояния самой плазмы и, соответственно, контроля ее взаимодействия с объектами. В связи с этим, в данном докладе рассматриваются вопросы разработки метода и средств контроля взаимодействия НАП с поверхностью биообъектов на основе измерения и анализа динамики изменений электрического импеданса плазменного разряда.

### Методика исследования и результаты

Низкотемпературная плазма атмосферного давления является комплексной нагрузкой для источника высокого переменного напряжения в цепи с периодическим источником сигнала [5]. При её взаимодействии с биообъектом изменяются параметры нагрузки генератора. Для анализа (диагностики) состояния плазмы, а также контроля взаимодействия с биообъектом может быть применим метод на основе определения изменения мощности, выделяемой на нагрузке [6]. При этом нагрузка плазма-биообъект, будет характеризоваться полной мощностью, а также и активной и реактивной составляющей.

Для вычисления электрического импеданса производится прецизионное измерение значений мгновенных напряжений и токов на электродах разрядного блока генератора плазмы в реальном масштабе времени. Поскольку обрабатываемые объекты имеют различные омические и диэлектрические характеристиками, то эти изменения будут отражаться на электрических параметрах высокочастотного плазменного процесса. Определение значений напряжений и токов осуществляется посредством разработанного авторами фотометрического способа, обеспечивающего гальваническую развязку высоковольтной схемы генератора плазмы от измерительной части при необходимой точности измерений. Регистрируемые параметры электрического сигнала, вызывающего генерирование плазмы, через внешний модуль АЦП поступают в вычислительное устройство для дальнейшей обработки и визуализации результатов. Поступившие в вычислительное устройство электрические зависимости содержат информации о процессе взаимодействия плазмы с объектом. Для их обработки применен частотно-временной анализ (ЧВА). В качестве количественных оценок использованы следующие параметры ЧВА зависимостей изменения от времени тока, напряжения и импеданса: нижней граничной частоты, медианной частоты, верхней граничной частоты, эффективной ширины спектра.

На рисунке 1 представлены осциллограммы сигналов напряжения, подаваемого в первичную обмотку повышающего трансформатора (желтый цвет) и тока (синий цвет), генерирующего плазму. Как следует из рисунка 1, тестовые сигналы (без взаимодействия с объектом) существенно отличаются по форме и временным параметрам от сигналов при взаимодействии с биообъектом. В качестве биообъекта использовалась плазма крови человека. На рисунке 2 приведена зависимость изменения измеренной активной мощности, выделяемой в нагрузку. Из графика следует, что при внесении биообъекта в плазму (периоды времени с 25 секунды по 75 секунду) происходит существенное увеличение активной мощности (от значения 1.5 Вт до 2.1 Вт). Таким образом, в результате опытной апробации устройства получены данные, которые могут быть использованы для описания процесса взаимодействия объекта с плазмой.

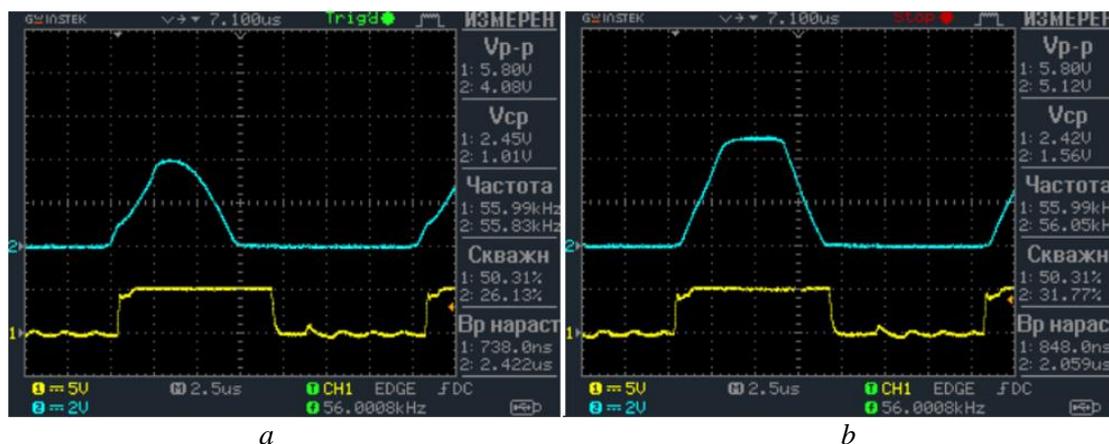


Рис.1. Осциллограммы сигналов, генерирующих плазму:  
a – без взаимодействия с объектом; b – при взаимодействии с объектом

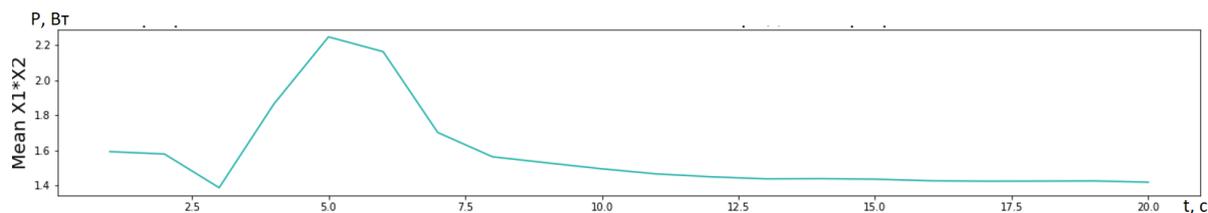


Рис. 2 - Изменение активной мощности плазмы до взаимодействия с биообъектом

### Заключение

Предложен метод и технические средства контроля взаимодействия холодной атмосферной плазмы с поверхностью биообъектов на основе измерения и анализа динамики изменений электрического импеданса плазменного разряда. Проведены исследования изменения параметров нагрузки генератора при взаимодействии плазмы с биообъектом. Для вычисления электрического импеданса производилось прецизионное измерение значений мгновенных напряжений и токов на электродах разрядного блока генератора плазмы в реальном масштабе времени. В результате опытной апробации устройства получены данные, которые могут быть использованы для описания процесса взаимодействия биообъектов с плазмой.

### Список литературы

1. Asma BEGUM, Mounir LAROUSSE, M. R. PERVEZ, A Brief Study on the Ignition of the Non-Thermal Atmospheric Pressure Plasma Jet from a Double Dielectric Barrier Configured Plasma Pencl, Plasma Science and Technology, Vol.15, No.7, Jul. 2013.
2. Das, S.C.; Majumdar, A.; Mukherjee, S.; Katiyal, S.; Shripathi, T. Development of power supply for atmospheric pressure plasma jet at room temperature for bio-medical applications. In Proceedings of the 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), New Delhi, India, 16–18 March 2016; pp. 1207–1209. [Google Scholar]
3. Bernhardt, T.; Semmler, M.L.; Schäfer, M.; Bekeschus, S.; Emmert, S.; Boeckmann, L. Plasma Medicine: Applications of Cold Atmospheric Pressure Plasma in Dermatology. Oxidative Med. Cell. Longev. 2019, 4, 1–10. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed][Green Version]
4. Judée, F.; Vaquero, J.; Guégan, S.; Fouassier, L.; Dufour, T. Atmospheric pressure plasma jets applied to cancerology: Correlating electrical configurations with in vivo toxicity and therapeutic efficiency. J. Phys. D Appl. Phys. 2019, 52, 1–16. [Google Scholar] [CrossRef][Green Version]
5. Su, C.-F.; Liu, C.-T.; Wu, J.-S.; Ho, M.-T. Development of a High-Power-Factor Power Supply for an Atmospheric-Pressure Plasma Jet. Electronics 2021, 10, 2119
6. A.N. Osipov, E.N. Kalenkovich, V.A. Rokach, V.P. Zhdanovich, T. Ma, Interaction control of low-temperature atmospheric pressure plasma with the surface of processed objects, Сборник тезисов II международной научно-технической конференции «ОПТО-, МИКРО- И СВЧ-ЭЛЕКТРОНИКА–2022», Минск, 2022, стр.72.