



УДК 62-523

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ИМПЕДАНСА БИООБЪЕКТА

А.Н. Бакланов, П.Г. Попов, А.В. Чуйкова, В.Ю. Рябченко, О.О. Перегудова

Южно-Российский государственный технический университет (НПИ)
имени М.И. Платова

Электроимпедансометрия относится к неинвазивным методам и занимает значительное место в исследовании живых объектов. Основанная на взаимодействии биологических тканей с внешним электрическим током, импедансометрия является важным звеном в изучении их структурных особенностях, связанных с различным функциональным состоянием. Метод электроимпедансометрии позволяет произвести анализ тела посредством измерения активного и реактивного сопротивлений. Активная компонента обусловлена наличием жидкостей и указывает, на активное сопротивление, которое оказывает клетка прохождению электрического тока. Емкостная (реактивная) компонента, обусловлена клеточными мембранами, и показывает, в какой степени клетка может накапливать электрический заряд.

Ключевые слова: импеданс, биообъект, метод диагностики, анализ данных.

BIO OBJECT IMPEDANCE MEASUREMENT METHOD

A.N. Baklanov, PG Popov, A.V. Chuikova, V.Yu. Ryabchenko, O.O. Peregudova

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)

Electrical impedancemetry refers to non-invasive methods and occupies a significant place in the study of living objects. Based on the interaction of biological tissues with an external electric current, impedancemetry is an important link in the study of their structural features associated with various functional states. The method of electrical impedancemetry allows you to analyze the body by measuring the active and reactive resistances. The active component is due to the presence of liquids and indicates the active resistance that the cell exerts to the passage of electric current. The capacitive (reactive) component is caused by cell membranes and shows to what extent the cell can accumulate an electric charge.

Keywords: impedance, bioobject, diagnostic method, data analysis.

Ткани организма состоят из структурных элементов - клеток, тканевая жидкость которых хорошо проводит электрический ток. Цитоплазма, находящаяся внутри клетки, также является хорошим проводником. Они разделены между собой плохо проводящим слоем клеточной мембраны. Такая система обладает электрической емкостью, наличие которой обусловлено особенностями строения ее мембраны. Липиды в мембране располагаются в виде бимолекулярного слоя и обуславливают высокое электрическое удельное сопротивление биологических мембран, которое составляет примерно 10^7 Ом·м, и большую удельную электроемкость ($5 \cdot 10^3$ Ф/м²). Таким образом, биологическую мембрану можно рассматривать как электрический конденсатор, проводниковые пластины которого образуют электролиты наружного и внутреннего растворов (внеклеточного и цитоплазмы). Проводники разделены липидным бислоем, который играет роль диэлектрика с диэлектрической проницаемостью, равной 2. Кроме того в биологических тканях встречаются и макроскопические образования, состоящие из различных соединительнотканых оболочек и перегородок, являющиеся плохими проводниками, по обе стороны которых находятся ткани, обильно снабженные тканевой жидкостью. Особенности такого строения биологических тканей так же придают организму емкостные свойства. Стоит отметить, что живые ткани, по современным представлениям, не обладают индуктивностью.

Полное сопротивление живой ткани (импеданс биоткани Z) можно рассматривать как совокупность омического сопротивления R , не зависящего от частоты



протекающего переменного тока, и емкостного сопротивления $X_c = 1/\omega C$, зависящего от частоты переменного тока [1-3].

Импеданс для тканей организма можно представить следующей формулой:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2}$$

Из данной формулы следует, что чем больше частота переменного тока ω , тем меньше емкостное сопротивление X_c . Уменьшение емкостного сопротивления при увеличении частоты переменного тока приводит к уменьшению импеданса биологических тканей. На рис. 1 представлена зависимость импеданса от частоты для живой биологической ткани (а) и мертвой (б).

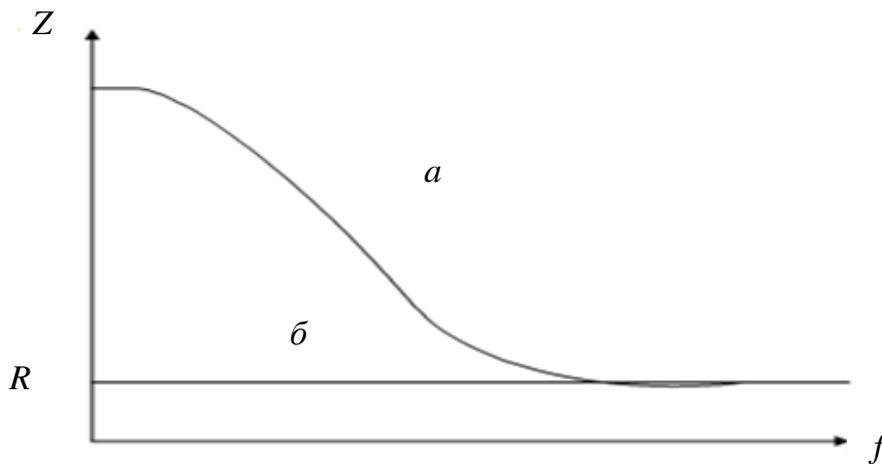


Рис.1- Зависимости импеданса от частоты для живой и мертвой биологической ткани

Частотная зависимость импеданса позволяет оценить жизнеспособность тканей, что используется для определения границ некроза, пригодности биосубстанций для трансплантации. Физиологический разброс отражает многообразие состояний биообъекта в процессе жизнедеятельности. Данный факт важен в связи с развитием трансплантационной хирургии и поисками методов определения качества консервированных тканей, электропроводность используется как один из тестов жизнеспособности консервированной кожи, кости, роговицы и т.д.

Поскольку параметры, характеризующие электрические свойства (электропроводность, емкость, диэлектрическая проницаемость, импеданс и др.) органов и тканей, зависят от их физиологического состояния, они могут служить его показателями, что и используется при диагностики БО.

Проанализировав рис. 1, можно утверждать, что зависимость импеданса от частоты для биологического объекта (БО) имеет сложный нелинейный характер и не может быть выражена в виде простой функции. Для описания такой функции различными авторами предлагаются эквивалентные схемы, позволяющие моделировать изменения импеданса БО в зависимости от частоты [4,5].

Предлагается метод резонансной последовательно-параллельной импедансометрии (РППИ). Он объединяет измерения на физическом объекте в трех режимах (штатном и резонансов напряжения и тока) и решение системы



уравнений модели БО, что позволяет определить параметры схемы замещения, недоступные прямым измерениям.

Алгоритм метода РППИ содержит следующие этапы: измерения на физическом объекте в трех режимах: штатном, резонанса напряжения и резонанса тока; составление схемы замещения исследуемого БО; составление и решение системы уравнений модели относительно искомых параметров БО.

Обобщенная схема исследований приведена на рис. 2.

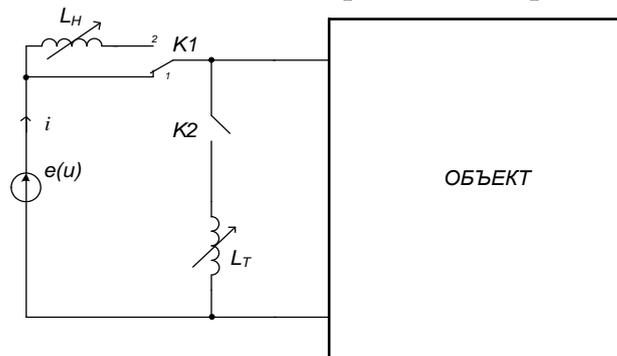


Рис.2- Обобщенная схема эксперимента

К измеряемому БО подключен генератор синусоидального напряжения $e(u)$. В штатном режиме (ключ $K1$ находится в положении 1, ключ $K2$ разомкнут) производятся измерения амплитудных значений тока I , напряжения U и сдвига фаз φ между ними. Во втором режиме измерительного эксперимента (резонанс напряжений) ключ $K1$ переключен в положение 2, ключ $K2$ разомкнут. Изменяя индуктивность L_H добиваемся, чтобы сдвиг фаз φ между током i и напряжением u равнялся нулю. В этом режиме измеряются ток $I=I_H$ и напряжение U . В третьем режиме измерительного эксперимента (режим резонанса токов) ключ $K1$ переключен в положение 1, а ключ $K2$ замкнут. Изменяя индуктивность L_T добиваемся, чтобы сдвиг фаз φ между током i и напряжением u равнялся нулю. В этом режиме измеряются ток $I=I_T$ и напряжение U .

Список цитируемой литературы:

1. Ланкина М.Ю., Бакланов А.Н., Акулов М.С. ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СЛОЖНЫХ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ // Электронный научный журнал «Вестник молодёжной науки России» – 2019 – №1. – Режим доступа: https://07992ba4-dcc8-4e97-a627-2ff245129607.filesusr.com/ugd/96814c_2efcdbcfee6084753a95a58bb419b1e3e.pdf (дата обращения: 1.06.2019)
2. Зайтов С.И., Полухин А.Ю., Блажко И.О. ПРОГРАММНАЯ ПЛАТФОРМА УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ // Электронный научный журнал «Вестник молодёжной науки России» – 2019 – №1. – Режим доступа: https://07992ba4-dcc8-4e97-a627-2ff245129607.filesusr.com/ugd/96814c_15262eb5360e4b57a2c4adef89db0126.pdf (дата обращения: 1.06.2019)
3. В.И. Леухин, С.Г. Январёв РАЗРАБОТКА В СРЕДЕ LABVIEW ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ// Электронный научный журнал «Вестник молодёжной науки России» – 2019 – №2. – Режим доступа: https://07992ba4-dcc8-4e97-a627-2ff245129607.filesusr.com/ugd/96814c_a0924c3a2acd40fa89c636dc36b91f37.pdf (дата обращения: 1.06.2019)



4. Леонов А.Г., Наракидзе Н.Д., Стеценко И.А., Шпакова Ю.С. Разработка УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ИМПЕДАНСА// Электронный научный журнал «Вестник молодёжной науки России» – 2019 – №2. – Режим доступа: https://07992ba4-dcc8-4e97-a627-2ff245129607.filesusr.com/ugd/96814c_3c728b8bd14e4a2ea8a19d2a80a55c84.pdf (дата обращения: 1.06.2019)

5. С.А. Гладких, А.Н. Бакланов, А.В. Чуйкова ПОРТАТИВНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ НЕИНВАЗИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ ЧЕЛОВЕКА// Электронный научный журнал «Вестник молодёжной науки России» – 2019 – №2. – Режим доступа: https://07992ba4-dcc8-4e97-a627-2ff245129607.filesusr.com/ugd/96814c_74fa1c6267fc412489d29784dcd0f960.pdf (дата обращения: 1.06.2019)

© А.Н. Бакланов, П.Г. Попов, А.В. Чуйкова, В.Ю. Рябченко, О.О.Перегудова, 2019