

РАДИОЕЛЕКТРОНИКА БІОМЕДИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

УДК 621.317.332

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТРЕХЧАСТОТНОЙ ИМПЕДАНСОМЕТРИИ НЕОДНОРОДНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Тимошенко Г. В., аспирант

*Национальный технический университет Украины
"Киевский политехнический институт", Киев, Украина*

USING THE THREE-FREQUENCY BIOIMPEDANCE MEASUREMENT FOR INHOMOGENEOUS BIOLOGICAL OBJECTS.

Timoshenko G. V., Postgraduate Student

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

Введение

Электроимпедансная диагностика как метод определения состава, свойств и состояния объектов на основе измерения их электрического импеданса широко используется для исследования разнообразных объектов, обладающих электропроводностью, в том числе и биологических [1]. Биологические объекты в своем составе в большей части состоят из водных растворов солей (электролитов), в связи с чем они являются хорошими проводниками. Функциональные изменения в каком-либо биологическом органе влекут за собой перераспределение содержащейся в нём жидкости, что, в свою очередь, ведёт к изменению их электрического импеданса. Это является основанием для проведения диагностики функционального состояния органов и систем организма путем измерения параметров полного электрического сопротивления (импеданса).

Возможность диагностики на основе биоимпедансометрии обусловлена тем, что разные структуры биобъектов имеют отличающиеся удельные проводимости. Кроме того, сами биоткани в нормальном и патологическом состоянии проявляют различную проводимость. В большинстве случаев это различие является достаточным для диагностических измерений. Поэтому методы импедансометрии широко используются для дифференциальной диагностики неоднородностей биотканей, какими являются опухоли, отеки, гематомы, жировые включения и т.п., а также для оценки степени гидратности тканей, оценки их функционального состояния [1, 2 и др.].

Диагностические свойства электрических характеристик биологических объектов проявляются прежде всего в частотных зависимостях. Поэтому представляет интерес измерение параметров частотных характеристик биоимпеданса в широком диапазоне частот, от низких (единицы и десятки Гц) до высоких (до единиц и десятков МГц). При этом в последние десятилетия обращается внимание на разработку измерительной аппаратуры, способной работать в расширенной полосе частот с возможностью измерения не только модуля (или активной составляющей) импеданса, а и реактивной составляющей [3, 4, 5]. Поскольку создание такой сверширокополосной измерительной аппаратуры связано со значительными трудностями, рассматриваются варианты методики измерений, основанной на оценке неравномерностей частотных характеристик биоимпеданса в широкой полосе частот путем измерения их параметров на нескольких частотах. В частности интерес представляет трехчастотный метод измерения (метод Кола-Кола [2, 5]), который, по мнению его разработчиков, позволяет воспроизвести частотную характеристику биоимпеданса во всем диапазоне частот, основываясь на результатах измерения параметров импеданса только на трех частотах диапазона.

В [6] были проведены исследования диагностических возможностей этого метода, в результате чего было установлено, что применение метода ограничивается исследованием частотных зависимостей однородных тканей, например, проб однородных тканей (фактически это уже не живая ткань и измерения являются инвазивными) или же неинвазивным исследованием тех областей биотканей, которые гарантировано являются однородными (жировых вкраплений, опухолей и отдельных участков отеков, определения степени гидратации этих областей). Метод можно применять для выявления наличия неоднородности на основе оценки отклонений параметров реального частотного распределения импеданса от ожидаемых. Для этого необходимо провести оценки таких отклонений для разных условий неоднородности.

Целью статьи является рассмотрение характера зависимостей частотных характеристик импеданса на примере частного случая, когда биологический объект имеет в своем составе такие неоднородности как отмирающую ткань и отечность.

Результаты моделирования и расчета

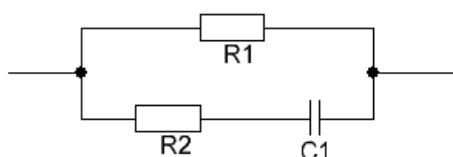


Рис. 1. Электроимпедансная модель биологического объекта

Для исследования используем модель Фрике-Морзе биологического объекта [7], рис. 1. Сопротивление R_1 имитирует сопротивление внеклеточной жидкости, R_2 — сопротивление внутриклеточной жидкости, емкость

$C1$ визначає реактивну складову імпеданса, обумовлену наявністю клітинної мембрани як діелектрика з високою діелектричною проникністю.

В разі застосування трьохчастотного методу вимірювання для визначення зосереджених параметрів $R1$, $R2$ і $C1$ розв'язують систему з трьох рівнянь, для чого імпеданс об'єкта вимірюється на трьох частотах [1].

В реальних умовах (при умові неінвазивності вимірювань) досліджуєму об'єкту, як правило, має не одну, а декілька неоднородностей в своєму складі – кісткову тканину, кровоносні вени і артерії, жирову тканину і т.д. В цьому разі достовірною оцінкою стану досліджуваного біологічного об'єкта на основі аналізу частотних характеристик, отриманих з використанням трьохчастотного методу вимірювання, можлива тільки в разі близькості форми (кількості екстремумів, їх взаємного розташування, мінімальної різниці між значеннями) виміряних і реальних частотних характеристик.

На прикладі біологічного об'єкта, що містить в своєму складі отмиряючу тканину і отічність, досліджуємо можливість застосування трьохчастотного методу для проведення біоімпедансометрії складного об'єкта. Для цього проведемо моделювання амплітудно-частотної і фазо-частотної характеристики еквівалентної схеми такого об'єкта, представлену на рис. 2.

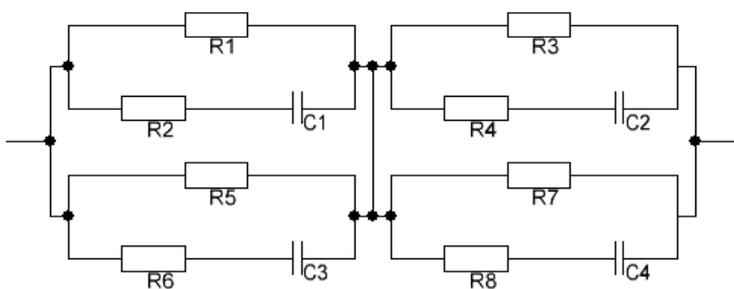


Рис. 2. Еквівалентна схема біологічного об'єкта з двома неоднородностями

Неоднородності в досліджуваному об'єкті представлені клітками $R1R2C1$ і $R7R8C4$. При отмиранні тканини відбувається значительне зменшення ємкості клітинної мембрани внаслідок її руйнування [2].

Це моделюється зменшеним значенням ємкості $C1$ порівняно з іншими ємкостями. Отічність супроводжується підвищеним вмістом води, як у внеклітинній, так і у внутріклітинній рідині. А оскільки вода є хорошим провідником, то при цьому активний опір тканини зменшується, що в моделі представлено меншим значенням як опорів $R7$, так і $R8$.

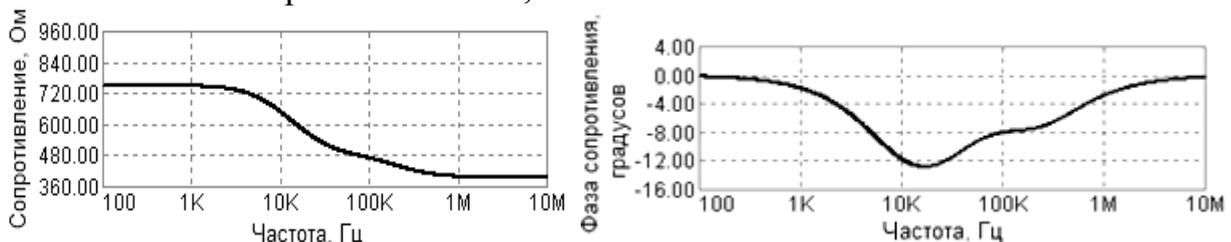


Рис. 3. ЧХ біологічного об'єкта з неоднородностями

Моделювання і розрахунки проводились, в середі Micro-Cap 10 [8]. В результаті розрахунку були отримані графіки амплітудно-частотної ($A(\omega)$) і фазочастотної ($\varphi(\omega)$) характеристик; вони приведені на рис. 3.

На графіках спостерігається нелінійна змінюваність частотних характеристик. Більше чітко вона прослідковується на графіках їх похідних ($\frac{\partial A(\omega)}{\partial \omega}$ і $\frac{\partial \varphi(\omega)}{\partial \omega}$), рис. 4.

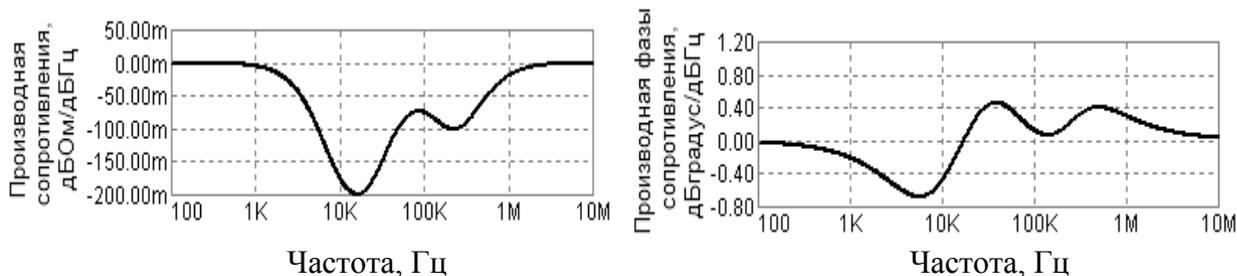


Рис 4. Похідні модуля і фази опору біологічного об'єкта

Видно, що графік похідної по частоті опору об'єкта має два мінімуми і один максимум, а графік похідної фази опору об'єкта має два мінімуми і два максимуми.

Виконаємо апроксимацію цих кривих, використовуючи в якості входних даних результати моделювання АЧХ і ФЧХ на трьох частотах. В якості частот виберемо три часто застосовувані частоти: 3 кГц, 30 кГц і 300 кГц [9]. Апроксимацію виконаємо, використовуючи В-сплайни 3-го порядку [10].

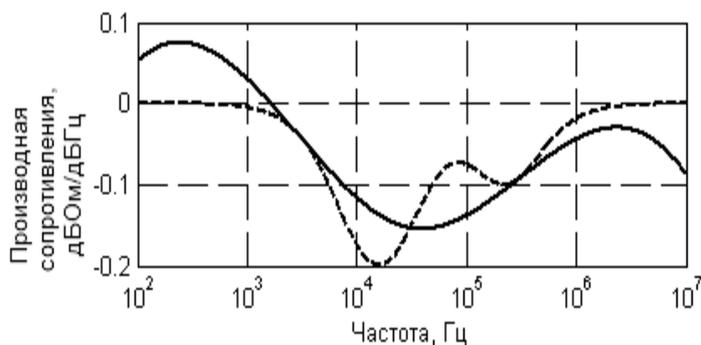


Рис. 5 Похідна опору біологічного об'єкта

На рис. 5 приведено вихідний і апроксимований графік залежності похідної опору об'єкта від частоти.

Видно, що в даному випадку апроксимована крива не збігається з вихідною. Такі ж результати отримуються при апроксимації похідної фази

об'єкта. З цього можна зробити висновок, що трьохчастотний метод не дозволяє однозначно визначати частотні характеристики неоднорідних біооб'єктів.

Висновки

Трьохчастотний метод біоімпедансометрії дозволяє грубо визначити параметри об'єкта. Однак для детального точного визначення частотних характеристик, що відображають неоднорідності в об'єкті, трьох ча-

стот явно не достаточно, даже в случае с простым объектом, содержащем только две неоднородности. Это дает основания для проведения исследований с целью определения необходимого количества частот, позволяющих оценивать состояние объектов, содержащих несколько неоднородностей в своем составе.

Литература

1. Grimnes, Sverre, and Orjan G. Martinsen. Bioimpedance and bioelectricity basics. London: Academic, 2008. Print.

2. Патологічна фізіологія. / За ред. М. С. Регеди, А. І. Березнякової. Підручник для студентів вищого фармацевтичного навчального закладу і фармацевтичних факультетів вищих медичних навчальних закладів. — Видання друге доп. та перероб. Львів, «Магнолія», 2011. — 490 с.

3. Дворский В. Я. Измеритель параметров электрического импеданса биологических тканей и органов / В. Я. Дворский, В. Э. Синанов, О. Б. Шарпан, В. Т. Ярошенко // Радиоэлектроника (Изв. высш. учеб. заведений) — 1998. — № 7. — С. 75–77.

4. Шарпан О. Мікропроцесорний монітор комплексного електричного біоімпедансу / О. Шарпан, О. Зудов, Н. Магльована, О. Павлов, В. Синанов // Труды 5-ї Міжнар. НТК „Досвід розробки і застосування САПР в мікроелектроніці”. — Львів — 1999. — С. 192-193.

5. Николаев Д. В. Биоимпедансный анализ состава тела человека / Д. В. Николаев, А. В. Смирнов, И. Г. Бобринская, С. Г. Руднев. — М. : Наука, 2009. — 392 с. — ISBN 978-5-02-036696-1 (в пер.).

6. Шарпан О. Б., Оцінка впливу неоднорідності біотканини на чутливість частотного розподілу комплексного електричного імпедансу / О. Б. Шарпан, Д. В. Безякіна // Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 2005. — №6. — С. 14–18.

7. Polk, C. Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields. [Текст] / С. Polk, E. Postow. — Boca Raton, FL: CRC Press, 1995. — 690 p.

8. Амелина М. А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10 / М. А. Амелина, С. А. Амелин — Смоленск, Смоленский филиал НИУ МЭИ, 2012. — 617 с., ил.

9. Плонси Р. Биоэлектричество: количественный подход / Р. Плонси, Р. Барр — Пер. с англ. — М. : Мир. — 1991. — 366 с.

10. Бердышев В. И. Аппроксимация функций. Сжатие численной информации. Приложения / В. И. Бердышев, Л. В. Петрак — Екатеринбург: Институт математики и механики УрО РАН, 1999. — 296 с. Библ.: 120. — русский. — ISBN 5-7691-0927-0 — Российская Федерация. Место хран.: ЦНИО.

References

1. Grimnes, Sverre, and Ørjan G. Martinsen. Bioimpedance and bioelectricity basics. London: Academic, 2008. Print.

2. Patologichna fiziologiya. /Za red. M. S. Regedi, A. I. Bereznyakovoï. Pidruchnik dlya studentiv vishchogo farmatsevtichnogo navchalnogo zakladu i farmatsevtichnikh fakultetiv vishchikh medichnikh navchalnikh zakladiv. – Vidannya druge dop. ta pererob. Lviv, «Magnoliya», 2011. – S. 490.

3. Dvorskij V.Ja, Sinanov V. Je., Sharpan O.B., Jaroshenko V.T. Izmeritel' parametrov elektricheskogo impedansa biologicheskikh tkanej i organov // Radiojelektronika (Izv. vyssh. ucheb. zavedenij). – 1998. – № 7. –S. 75-77.

4. Sharpan O., Zudov O., Magl'ovana N., Pavlov O., Sinanov V. Mikroprocesornij monitor kompleksnogo elektrichnogo bioimpedansu // Trudi 5-ї Mizhnar. NTK „Dosvid rozrobki i zastosuvannja SAPR v mikroelektronici”. – L'viv: – 1999. – S. 192-193.
5. Bioimpedansny analiz sostava tela cheloveka / D.V. Niko-layev, A.V. Smirnov, I.G. Bobrinskaya, S.G. Rudnev. — M. : Nauka, 2009. — 392 c. — ISBN 978-5-02-036696-1 (v per.).
6. Sharpan O.B., Bezyakina D.V. Otsinka vplivu neodnorodnosti biotkanini na chutlivist chastotnogo rozpodilu kompleksnogo elektrichnogo impedansu // Naukovi visti NTUU «KPI». – 2005. – №6. – S.14–18.
7. Polk, S. Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields. [Tekst] / C. Polk, E. Postow. Boca Raton, FL: CRC Press, 1995. – 690 p.
8. Amelina M.A., Amelin S.A. Programma skhemotekhnicheskogo modelirovaniya Micro-Cap. Versii 9, 10. – Smolensk, Smolensky filial NIU MEI, 2012. – 617 s., il.
9. Plonsi R., Barr R. Bioelektrichestvo: kolichestvenny podkhod: Per. s angl. – M.: Mir. – 1991. – 366 s.
10. Berdyshev V. I., Petrak L. V. Approksimatsiya funktsy. Szhatiye chislennoy informatsii. Prilozheniya. – Yekaterinburg: Institut matematiki i mekhaniki UrO RAN, 1999. – 296 s. Bibl.: 120. – russky. – ISBN 5-7691-0927-0 – Rossyskaya Federatsiya. Mesto khran.: TsNIO.

Тимошенко Г. В. Про можливість використання тричастотної імпедансометрії неоднорідних біологічних об'єктів. Розглядається можливість використання методу тричастотної біоімпедансометрії для визначення структури біологічного об'єкта з двома неоднорідностями. Об'єкт представляється у вигляді моделі Фріке-Морзе, в неї вводяться неоднорідності і виконується багаточастотне моделювання характеристик її імпедансу. Імітується тричастотне вимірювання імпедансу цього об'єкту, отримані результати порівнюються з результатами багаточастотного моделювання. Робиться висновок щодо придатності тричастотного методу тільки для грубого визначення параметрів об'єкту і пропонується дослідити необхідну кількість частот для оцінювання стану об'єктів, що містять декілька неоднорідностей в своєму складі.

Ключові слова: імпедансометрія біологічних об'єктів, тричастотний метод імпедансометрії, частотні характеристики, модель Фріка-Морзе, сплайнова апроксимація.

Тимошенко Г. В. О возможности применения трехчастотной импедансометрии неоднородных биологических объектов.

Рассматривается возможность применения метода трехчастотной биоимпедансометрии для определения структуры биологического объекта с двумя неоднородностями. Объект представляется в виде модели Фрика-Морзе, в неё вводятся неоднородности и выполняется многочастотное моделирование характеристик её импеданса. Имитируется трехчастотное измерение импеданса этого объекта, полученные результаты сравниваются с результатами многочастотного моделирования. Делается вывод о пригодности трехчастотного метода только для грубого определения параметров объекта и предлагается исследовать необходимое количество частот для оценки состояния объектов, содержащих несколько неоднородностей в своем составе.

Ключевые слова: импедансометрия биологических объектов, трехчастотный метод импедансометрии, частотные характеристики, модель Фрика-Морзе, сплайновая аппроксимация.

Timoshenko G. V. Using the three-frequency bioimpedance measurement for inhomogeneous biological objects.

Introduction. The possibility of using three-frequency bioimpedance to determine the structure of a biological object with two inhomogeneities is investigated.

Formulation of the problem. The veracity of the determination the internal structure of inhomogeneous biological objects using three-frequency bioimpedance measuring method is studied insufficiently.

Research methods and the results analysis. The method of determining the possibility of using the three-frequency bioimpedance measuring method for determination the internal structure of inhomogeneous biological objects is described.

Conclusions. The usefulness of three-frequency bioimpedance measuring method just for a rough determination of the parameters of the biological object is shown.

Keywords: *impedancemetry of biological objects, triple-frequency method for impedance measuring, frequency response, the Fricke-Morse model, spline approximation.*