

УДК 57.089:519.85

В.О. Яруга¹, В.Д. Ліпанов², Т.Г. Білова¹¹Харківська державна академія культури, Харків²Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ІМІТАЦІЯ ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЖИВИХ ТКАНИН

Наведено опис програми, що імітує вимірювання пасивних електричних параметрів живих тканин. Вона дозволяє: формувати імпульсну перехідну характеристику з напруги, зняту з живих тканин з боку вимірювальних електродів в умовах дії завад або без них; для заданих умов експерименту отримувати значення опору та ємності шкіри, опору внутрішніх тканин, а також ємності електроду; та визначати точність обчислення шуканих величин.

Ключові слова: програма, живі тканини, вимірювання, двокритерійна апроксимація.

Вступ

Відомо [1], що людина вимушена постійно адаптуватися до безперервних змін зовнішнього середовища. Особливістю такої адаптації [1], яка відрізняє людину від інших біологічних об'єктів, є її властивість не змінюватися під впливом цього середовища, а за допомогою різних технічних засобів створювати умови, що забезпечують збереження гомеостазу на всіх системно-структурних рівнях її організму. Таким чином, людина створює різноманітні біотехнічні системи (БТС), які складаються з її організму та технічних засобів життєзабезпечення. Серед різних типів БТС важливе місце посідають БТС медичного призначення, оскільки їх цільовою функцією є підтримка стану здоров'я людини. Новим напрямком розвитку БТС медичного призначення є створення БТС нормалізації функціонального стану людини, які будуються як замкнені автоматизовані системи адаптивного управління функціональним станом людини в природних умовах її життєдіяльності. При побудові такої БТС [2], що реалізує методи електрокардіології разом з методами математичного аналізу ритму серця та методи рефлексодіагностики й рефлексотерапії, треба вирішити задачу отримання інформації про функціональний стан людини за пасивними електричними параметрами шкіри. Традиційно, вимірювання активної та реактивної складових імпедансу живих тканин широко застосовується у медичній [3], у тому числі в електропунктурній [4] діагностиці. Але диференційовано характеризувати функціональні та структурні зміни живих тканин вдається лише при безпосередньому вимірюванні їх ємності та опору, базуючись на модельному представленні живих тканин у вигляді еквівалентної схеми [5]. Застосування такого підходу в електропунктурній діагностиці шляхом модифікації електропунктурних методів способом двокритерійної апроксимації експериментальних даних [6] є новим та перспективним.

Постановка задачі. В БТС нормалізації функціонального стану людини оцінювання пасивних електричних параметрів живих тканин здійснюється за допомогою апаратури каналу вимірювання (АКВ). Вона подає крізь електроди (Е) до біологічно активної точки (БАТ) людини (Л) імпульс стабільного струму заданої величини (I) та тривалості й реєструє дискретні значення напруги ($U[nT]$, де $n = \overline{0, N}$, N – номер останнього відліку, T – період дискретизації) перехідного процесу, що виникає у вимірювальному колі (рис. 1). За цими даними АКВ БТС із використанням метода двокритерійної апроксимації експериментальних даних визначає опір ($R_{шк}$) та ємність ($C_{шк}$) шкіри й опір внутрішніх тканин ($R_{тк}$).

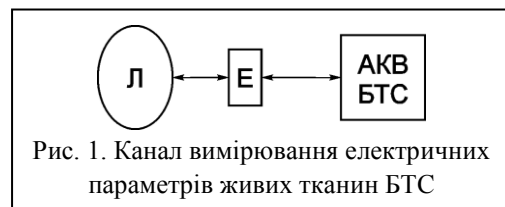


Рис. 1. Канал вимірювання електричних параметрів живих тканин БТС

Дієздатність вимірювання електричних параметрів живих тканин АКВ БТС може бути доведена теоретично, шляхом отримання відповідних математичних виразів, або проведенням натурних експериментів, чи через дослідження імітаційної моделі вимірювання на комп'ютері. Останнє є найпривабливішим оскільки не потребує виконання значних математичних перетворень, що не завжди можливо, та дозволяє швидко провести значну кількість експериментів, які важко, а то й неможливо, виконати в натурних умовах, й реалізувати принцип етапності [7] при побудові БТС.

Мета даної роботи полягає в створенні програмного засобу для імітації вимірювання пасивних електричних параметрів живих тканин за допомогою АКВ БТС.

Програмна імітація вимірювання

Програма імітації, перш за все, повинна:

1) за даними, що вводить користувач або які отримані програмою, забезпечувати емуляцію вихідної послідовності дискретних даних, що описують перехідний процес за напругою з боку вимірювальних електродів в умовах дії завад та без них;

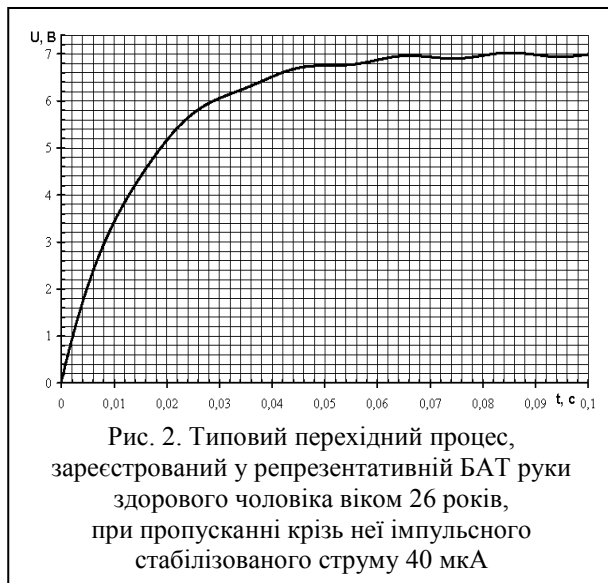
2) реалізовувати спосіб вимірювання електричних параметрів живих тканин, що базується на методі двокритерійної апроксимації експериментальних даних, для вимірювальних електродів різних типів;

3) зберігати у пам'яті комп'ютера та виводити на екран вихідну послідовність дискретних даних;

4) робити попередню обробку необхідної кількості результуючих даних для заданих умов експерименту.

Звичайно, програма імітації вимірювання повинна базуватися на моделі цього процесу. Оскільки при вимірюванні електричних параметрів живих тканин застосовуються струм, напруга та алгоритм їх дискретної обробки, то модель вимірювання має містити еквівалентні електричні схеми тіла людини й електродів та мати математичний опис струму та падіння напруги в дискретній формі.

Експериментальні дослідження свідчать [2], що при пропусканні крізь живі тканини людини імпульсного стабілізованого струму перехідний процес з напруги має експоненційну форму (рис. 2). Таке добре погоджується з відомою моделлю Ліккена [3], яка складається з послідовно поєднаних активного опору внутрішніх тканин та кола паралельно поєднаних активного опору шкіри з її ємністю.



Різні електроди мають свої переваги та недоліки, тому модель електрода має передбачати застосування будь-якого з них і має вигляд активного опору (R_e) для резистивного або металевго (активний

опір дорівнює нулю), ємності (C_e) для ємнісного й ланки з паралельним поєднанням опору (R_e) та ємності (C_e) для резистивно-ємнісного електрода.

Визначення параметрів еквівалентної схеми живих тканин ($R_{шк}$, $C_{шк}$ та $R_{тк}$) за дискретними даними $U[nT]$ здійснюється АКВ БТС за методом двокритерійної апроксимації експериментальних даних, викладеним у [6].

Для імітації вимірювання електричних параметрів живих тканин АКВ БТС було розроблено програму «Двокритерійна апроксимація» (рис. 3), яка містить форми для генерування $U[nT]$, їх відтворення в табличному виді, обчислення $R_{шк}$, $C_{шк}$, $R_{тк}$, C_e та оцінювання похибки їх знаходження.

Генерування дискретних даних здійснюється за співвідношенням:

$$U[nT] = U_e[nT] + U_{бо}[nT] + U_{ш}[nT],$$

де $U_e[nT]$, $U_{бо}[nT]$ – падіння напруги на електроді та живих тканинах відповідно, $U_{ш}[nT]$ – падіння напруги, що моделює можливі періодичні та випадкові завади при вимірюванні. $U_{бо}[nT]$, $U_{ш}[nT]$, $U_e[nT]$ обчислюються за формулами:

$$U_{бо}[nT] = I \cdot R_{шк} \left(1 - e^{-\frac{nT}{\tau_{шк}}} \right) + I \cdot R_{тк};$$

$$U_{ш}[nT] = \begin{cases} 0, \\ A_{ш1} \cdot \sin(2\pi f \cdot nT + \alpha), \\ A_{ш2} \cdot (2 \cdot Rnd - 1); \end{cases}$$

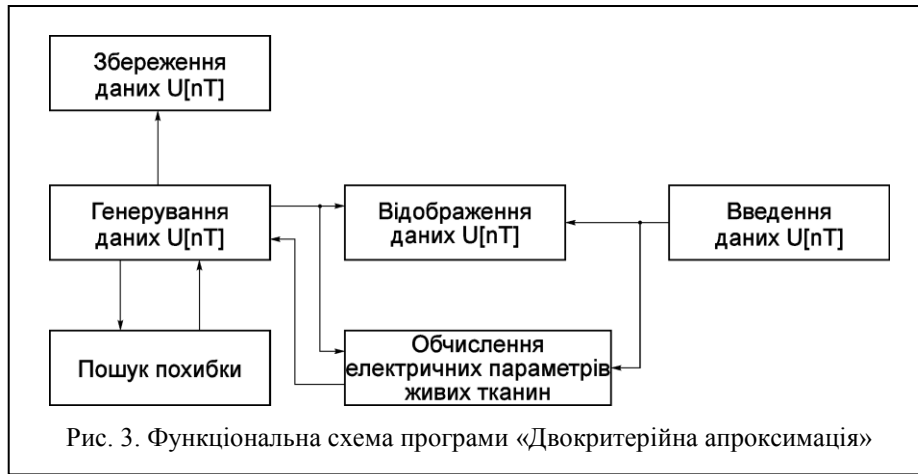
$$U_e[nT] = \begin{cases} I \cdot R_e, & \text{у разі застосування резистивного або металевго електрода,} \\ \frac{I}{C_e} \cdot nT, & \text{у разі застосування ємнісного електрода,} \\ I \cdot R_e (1 - e^{-nT/\tau_e}), & \text{у разі застосування резистивно-ємнісного електрода,} \end{cases}$$

тут τ_e – стала часу перехідного процесу за напругою на резистивно-ємнісному електроді; $\tau_{шк} = R_{шк} C_{шк}$; $A_{ш1}$, f , α – амплітуда, частота та фазовий зсув синусоїдальної завади; $A_{ш2}$ – амплітуда випадкового шуму; Rnd – функція, яка видає випадкове число від 0 до 1.

Обчислення $R_{шк}$, $C_{шк}$, $R_{тк}$ та C_e здійснюється у головній формі програми за методом двокритерійної апроксимації експериментальних даних, який надано у [6]. Точність обчислення шуканих величин можна оцінити шляхом порівняння знайдених програмою значень, які виводяться у головній

формі «Двокритерійна апроксимація» зі значеннями, які було задано при формуванні часової послідовності дискретних даних $U[nT]$, що описують перехідний процес за напругою у живих тканинах. Але

більш зручним способом є застосування форми «Пошук похибки» (рис. 4), яка дозволяє робити первинний аналіз необхідної кількості шуканих величин для заданих умов експерименту.



Исходные данные

Время наблюдения: 78,75 мс Количество циклов: 300

Амплитудное значение измерительного тока: 40 мкА

Ожидаемое значение постоянной времени: 15 мс

Точность вычисления постоянной времени: 0,000 000 01 мс

Тип измерительного электрода:
 Резистивный электрод Сопротивление электрода: 0 кОм
 Емкостной электрод Ёмкость электрода: 0,1 мкФ

Интервалы аппроксимации

1-й интервал
 Начальное значение: 0 мс
 Конечное значение: 31,5 мс

2-й интервал
 Начальное значение: 47,25 мс
 Конечное значение: 78,75 мс

Результаты поиска

Критичные значения исследуемых параметров:	Макс. значение:	Среднее:
$R_k = 178,88$ кОм	0,02 215 6	0,00 853 9
$C_k = 0,088 877$ мкФ	0,01 248 2	0,00 249 9
$R_{tk} = -42,22$ Ом	1,04 222 3	0,25 813 5
$R_k C_k = 16,21$ мс	0,02 920 5	0,00 843 5
$R_z =$ ***** кОм	*****	*****
$C_z =$ ***** мкФ	*****	*****

Начать поиск Число ошибок переполнения: 0

Время вычисления одного цикла, с:
 максимальное: 0,0703125 среднее: 0,01887112

Синусоидальная помеха, фазовый сдвиг

Начальное значение: 0 ° Шаг: 5 °
 Конечное значение: 360 °

Рис. 4. Форма «Пошук похибки»

Тут, пошук похибки здійснюється так. Спочатку генеруються дискретні дані $U[nT]$, потім, обчислюються шукані величини, які запам'ятовуються. Цей процес повторюється стільки, скільки встановлено циклів генерування дискретних даних. При цьому, якщо застосовується періодична завада, то для кожного її зсуву за фазою обчислюється встановлена кількість циклів генерування $U[nT]$. Результатом роботи програми форми є середні абсолютні відносні похибки обчислення опору шкіри та внутрішніх тканин, ємності шкіри, сталої часу перехідного процесу за напругою та ємності електрода, максимальні значення абсолютних відносних похибок та відповідні їм значення досліджуваних величин, а також середній та максимальний час витрачений комп'ютером на їх обчислення. Особливо підраху-

ється кількість помилок переповнення пам'яті, які виникли при обчисленні.

Експериментальні дослідження свідчать, що при генеруванні даних $U[nT]$ без завад з резистивним або ємнісним електродом програма «Двокритерійна апроксимація» завжди дає точні значення $R_{шк}$, $C_{шк}$, $R_{тк}$ та C_e .

Якщо використовується резистивно-ємнісний електрод – програма видає завищені значення $R_{шк}$, $R_{тк}$ та занижене значення $C_{шк}$.

Якщо ж генерування $U[nT]$ здійснюється з урахуванням завад, то обчислення завжди виконуються з похибкою. На рис. 5 зображено вихідний та відтворений за знайденими програмою значеннями перехідні процеси.

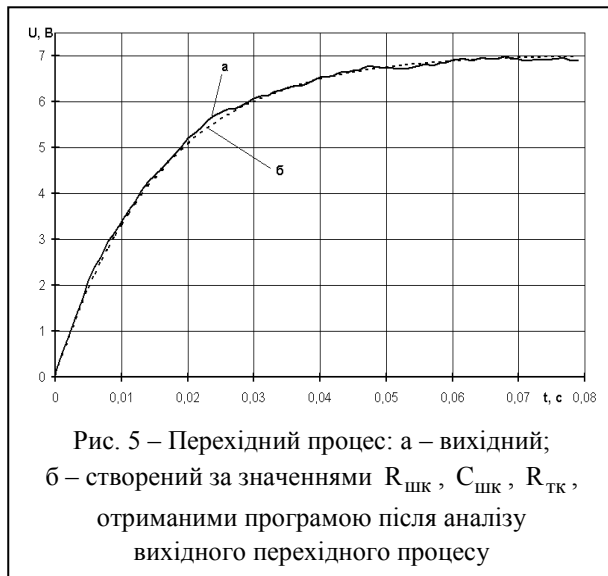


Рис. 5 – Перехідний процес: а – вихідний; б – створений за значеннями $R_{шк}$, $C_{шк}$, $R_{тк}$, отриманими програмою після аналізу вихідного перехідного процесу

Вихідні дані процесу, зображеного на рис. 5, такі:

$$I = 40 \text{ мкА};$$

$$U_{ш} [\text{нТ}] = 0,05(2 \cdot \text{Rnd} - 1 + \sin(100\pi \cdot \text{нТ}));$$

$$R_{шк} = 175 \text{ кОм}; C_{шк} = 0,09 \text{ мкФ}; R_{тк} = 1000 \text{ Ом};$$

$$R_e = 0 \text{ Ом}.$$

Параметри, знайдені програмою:

$$R_{шк} = 174,83 \text{ кОм}; C_{шк} = 0,089672 \text{ мкФ};$$

$$R_{тк} = 1142,91 \text{ Ом}.$$

Висновки

Запропонована програма «Двокритерійна апроксимація» дозволяє імітувати вимірювання електричних параметрів живих тканин генеруванням за заданими параметрами еквівалентної схеми живих тканин та електроду перехідного процесу з напруги і подальшим знаходженням за ним опору, ємності шкіри та опору внутрішніх тканин.

ИМИТАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЖИВЫХ ТКАНЕЙ

В.А. Ярута, В.Д. Липанов, Т.Г. Белова

Приведено описание программы «Двухкритериальная аппроксимация», которая имитирует измерение пассивных электрических параметров живых тканей. Она позволяет: формировать импульсную переходную характеристику из напряжения, снятую из живых тканей со стороны измерительных электродов в условиях действия помех или без них; для заданных условий эксперимента получать значение сопротивления и емкости кожи, сопротивления внутренних тканей, а также емкости электрода; но определять точность вычисления искоемых величин.

Ключевые слова: программа, живые ткани, измерение, двухкритериальная аппроксимация.

EMULATION OF A MEASUREMENT OF ELECTRICAL PARAMETERS OF ALIVE TISSUES

V.O. Yaruta, V.D. Lipanov, T.G. Bilova

Description of the program «Two-criteria approximation» which imitates measuring of passive electric parameters of living fabrics is resulted. She allows: to form impulsive transitional description from tension, taken off from living fabrics from the side of measurements electrodes in the conditions of action of hindrances or without them; for the set terms of experiment to get the value of resistance and capacity of skin, resistance of internal fabrics, and also capacity of electrode; but to determine exactness of calculation of the sought after sizes.

Keywords: program, alive tissues, measuring, two-criterion approximation

Але при аналізі даних, отриманих з використанням резистивно-ємнісних електродів програма робить методичну похибку. Отже, перспективним є подальше удосконалення алгоритму пошуку електричних параметрів живих тканин з метою отримання вірних результатів при застосуванні таких електродів.

Список літератури

1. Методы математической биологии: В 8 кн. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1980. – Кн. 1: Общие методы анализа биологических систем: учеб. пособие для вузов. – 240 с.
2. Ярута В.О. Біотехнічна система нормалізації функціонального стану людини: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.11.17 / Ярута Віктор Олександрович. – Х.: Харк. нац. ун-т радіоелектроніки. – Х., 2006. – 20 с.
3. Электрический импеданс биологических тканей: монография / Ю.В. Торнуев, Р.Г. Хачатрян, А.П. Хачатрян и др. – М.: ВЗПИ, 1990. – 155 с.
4. Чеглоков А.В. Рефлексодиагностика психофизиологического состояния (ПФС) человека: науч.-метод. пособие / А.В. Чеглоков, В.Г. Иванов. – Х.: Основа, 2000. – 62 с.
5. А.с. 824994 СССР, МКИ А 61 В5/05. Способ исследования регенератора костной ткани / Ю.К. Вилкс, Х.А. Янсон (СССР); Риж. науч.-исследоват. ин-т травматологии и ортопедии (СССР). – № 2794127/28-13; Заявл. 15.06.1979; Опубл. 30.04.1981, Бюл. № 16.
6. № UA 65068 C2 Україна, МПК (2006) А 61 В5/05. Спосіб вимірювання електричних параметрів живих тканин / В.О. Ярута (Україна). – № 2003054717; Заявлено 26.05.2003; Опубл. 15.03.2007, Бюл. № 3.
7. Мустецов Н.П. Биотехнические электронные системы: учеб. пособие / Н.П. Мустецов. – Х.: ХТУРЭ, 2001. – 168 с.

Надійшла до редколегії 4.12.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. М. Левикін, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.