

**УДК 57.087.1**

**Ю.Б. Паляниця канд. техн. наук, І.О. Гринюк, Б.Р. Савка**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

**ДОСЛІДЖЕННЯ ОПОРУ ТКАНИН ТІЛА ЛЮДИНИ ЯК ЛІНІЙНОЇ  
ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ ТА СИНТЕЗ ЇЇ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ЗАДАЧ  
ПРОЕКТУВАННЯ БІОМЕДИЧНОЇ ТЕХНІКИ В ГАЛУЗІ  
БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

**Y. Palaniza, I. Hryniuk, B. Savka**

**HUMAN BODY TISSUES RESISTANCE AS A LINEAR DYNAMIC SYSTEM  
STUDIES AND THE SYNTHESIS OF ITS PARAMETERS FOR THE TASKS OF  
BIOMEDICAL EQUIPMENT DESIGNING IN THE FIELD OF  
BIOMEDICAL ENGINEERING**

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), щорічно від серцево-судинних захворювань (ССЗ), включно з інфарктами та інсультами, гине близько 17,9 мільйонів осіб, що складає 31 % відсоток серед інших причин смертності. А ще значна частка людей одержують інвалідність або змушені проходити тривалу реабілітацію задля мінімізації негативних наслідків, як фізіологічних, так і когнітивних, що створює проблеми в соціальній адаптації і знижує якість життя, що, в свою чергу, тягне за собою економічні наслідки. Тому важливим завданням сучасної медичної науки є створення засобів профілактики та лікування ССЗ [1]. Такі засоби, окрім технічного, мають і науковий аспект, що відкриває нові відомості про досліджуваний об'єкт для подальших академічних та прикладних цілей [2].

Одним із найбільш інформативних та відносно простих засобів [3] одержання відомостей про стан серцево-судинної системи (ССС) є реєстрація електричних сигналів (активно, пасивно, евентуально), серед іншого: є електрокардіографія (ЕКГ), реографія, електроімпедансна томографія. Водночас опір тканин тіла людини чинить прямий вплив на інформативні параметри відповідних сигналів, зокрема електрокардіосигнал (ЕКС) [4].

Різні тканини тіла по-різному проводять струм. Зовнішній опір тіла складається з двох паралельно включених опорів: активного і ємнісного, який обумовлений тим, що у місці торкання струмопровідних частин (електродів) до тіла людини утворюється конденсатор з певною ємністю. Обкладками кожного з цих конденсаторів є струмопровідна частина і тканини тіла людини, що добре проводять електричний струм і лежать під зовнішнім шаром шкіри, та діелектриком, який розділяє обкладки, - цей шар (епідерміс). Внутрішній опір тіла вважається чисто активним. Його величина залежить від довжини і поперечного перерізу ділянки тіла, по якій проходить струм, і складає приблизно 500-700 Ом. На практиці зазвичай нехтують ємністю внутрішніх тканин і вважають опір тіла людини чисто активним. У дійсних умовах опір тіла людини не є постійною величиною; він залежить від багатьох факторів, у тому числі від стану шкіри, параметрів електричного ланцюга, фізіологічних факторів, стану навколишнього середовища та інше. Стан шкіри також сильно впливає на величину опору тіла людини, не тільки постійному струму, що має значні інтервали релаксації.

Таку систему можна розглядати як лінійну динамічну. Розрахунки виконано в середовищі Matlab. Імпеданс тканин описується виразом:  
 $Z_h = \sqrt{((4 * R_{ext} * (R_{ext} + R_{int})) / (1 + \omega^2 * R_{ext}^2 * C_{ext}^2)) + R_{int}^2}$ , де  
 $R_{ext} = R_{ext1} + R_{ext2}$  – сума зовнішніх опорів за рахунок контакту шкіра/електрод (2\*10000, Ом);  $C_{ext} = C_{ext1} + C_{ext2}$  – сума зовнішніх ємностей за рахунок контакту шкіра/електрод (2\*0.001 \* 10<sup>(-6)</sup>, Ф);  $R_{int}$  – внутрішній опір тканин прийнято чисто

активним (600 Ом). При цьому вона поводить як КІХ-фільтр високих частот з характеристикою комплексної провідності оберненої до імпедансу:  $1/Z$ .

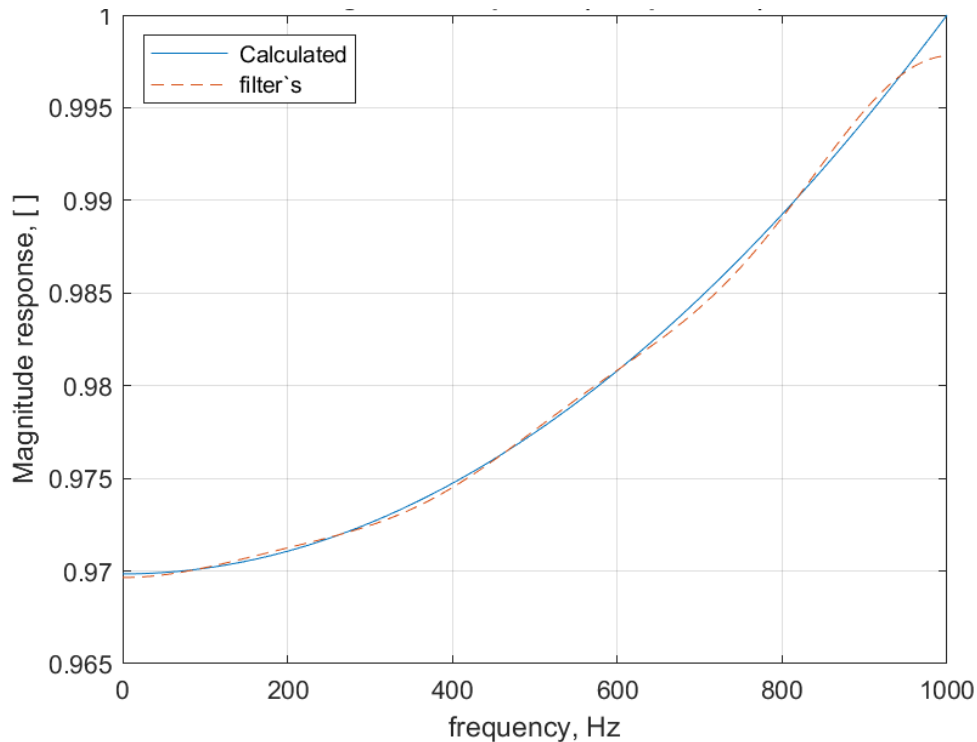


Рис. 1. Амплітудно-частотна характеристика синтезованого КІХ-фільтра, що репрезентує комплексну провідність тканин тіла людини. Вісь абсцис: частота, Герц. Вісь ординат: нормована амплітуда

Обидві характеристики практично співпадають. Відносна похибка складає:  $\text{mean}(\text{err\_rel}): 0.026$ ;  $\text{max}(\text{err\_rel}): 0.219$ ;  $\text{min}(\text{err\_rel}): 0.000$ .

Отже синтезований фільтр 10-го порядку і наведені коефіцієнти відповідають теоретично розрахованому імпедансу тканин тіла людини, враховуючи такі аспекти, як контакт електродів з поверхнею шкіри, і може використовуватися для математичного моделювання процесів у живих організмах, а також синтезу нового та вдосконалення існуючого медичного обладнання.

### Література

1. Драган Я.П. Системний аналіз статистичного оцінювання станів стохастичної вібраційної системи і принципу шунтування / Я.П. Драган, Ю.І. Грицюк, Ю.Б. Паляниця // НАУКОВИЙ ВІСНИК НЛТУ України: Збірник науково-технічних праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2016. – Вип. 25.10. – С. 255–259.
2. Palaniza Y.B. Main theoretical basis of biosignals modeling / Y.B. Palaniza, H.M. Shadrina, M.O. Khvostivskiy, L.Ye. Dediv, O.F. Dozorska // Znanstvena misel in Slovenia: journal. – Ljubljana. – 2018. – #16. – Vol. 1. – Pp. 39–44.
3. Bronzino J. D. Biomedical engineering handbook. – CRC press, 1999. – Т. 2.
4. Merrill D. R., Bikson M., Jefferys J. G. R. Electrical stimulation of excitable tissue: design of efficacious and safe protocols // Journal of neuroscience methods. – 2005. – Т. 141. – №. 2. – С. 171–198.
5. Beard D. A. Biosimulation: simulation of living systems. – Cambridge University Press, 2012.