

ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ДИСТАНЦІЙНІЙ ПІДГОТОВЦІ ЗДОБУВАЧІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «БІОМЕДИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ»

О. В. Найденко, Ю. А. Гросул, А. Ю. Ніколаєва, Ю. А. Роговик, Р. Г. Плахова
Державний університет «Одеська політехніка»

Анотація. Показана користь і доцільність використання комп'ютерного моделювання для отримання практичних навичок розробки, вивчення і аналізу електричних схем діагностичної та фізіотерапевтичної апаратури, блоків обробки біомедичної інформації, мікропроцесорного управління засобами медичної електроніки та електротехнічних систем здобувачами спеціальності «Біомедична інженерія». Наводяться приклади демонстраційних схем для лабораторного практикуму курсу і для комплексних лабораторних робіт при вивченні суміжних дисциплін.

Ключові слова: дистанційне навчання, моделювання, схемотехніка, аналогові та цифрові ланцюги, мікропроцесори, редактор схем, біомедична апаратура.

Вступ

Сучасне електронне обладнання, що використовується в медичній діагностиці, фізіотерапії та медико-біологічних дослідженнях, досить складне в розробці та дослідженні. Ефективність підготовки та професійної орієнтації здобувачів спеціальності «Біомедична інженерія» істотно зростає, коли поряд з теоретичними знаннями існує можливість отримання практичних навичок розробки, вивчення та аналізу електричних схем діагностичної та фізіотерапевтичної апаратури, блоків обробки біомедичної інформації, програм, що реалізують функції управління засобами медичної електроніки та електротехнічних систем на основі мікропроцесорів [1].

Комп'ютерне моделювання при дистанційному навчанні дозволяє розглядати і аналізувати значно більшу кількість прикладів, а також застосовується як альтернатива використанню дорогого устаткування.

З точки зору економічної політики та оптимізації навчального процесу в університеті, одночасне застосування великого числа програм досить не вигідно, призводить до збільшення програмного забезпечення, а також до труднощів ув'язки його в єдиний безперервний навчальний процес підготовки здобувачів. Необхідно знайти таке універсальне програмне забезпечення, яке б мало всі якісні характеристики спеціальних програм [2,3].

Застосування програмного забезпечення NI Multisim дозволяє моделювати реальні аналогові та цифрові ланцюги, електричні схеми та розгалужені вузли електронної медичної апаратури, а також схеми управління електродвигунами пос-

тійного струму в діагностичних і фізіотерапевтичних приладах. Можливості пакета Multisim дозволяють створювати комплексні лабораторні роботи при наскрізному інформаційному навчанні з суміжних дисциплін одночасно, істотно підвищуючи ефективність засвоєння матеріалу, що викладається.

Мета роботи розглянути можливість і доцільність застосування середовища схемотехнічного моделювання Multisim в різних навчальних дисциплінах при змішаному і дистанційному навчанні здобувачів спеціальності «Біомедична інженерія».

Задача – розробка комп'ютерних моделей медичного обладнання для використання в лабораторному практикумі при дистанційній підготовці здобувачів спеціальності «Біомедична інженерія».

1. Моделювання імпедансної діагностики

Імпедансна діагностика (біоімпедансометрія) — це дослідження станів, властивостей, складу об'єктів за допомогою виміру їх електричного імпедансу (повного опору), широко використовується для дослідження різноманітних біооб'єктів, які мають електропровідність [4]. Методи вимірювання імпедансу масово використовуються для диференціального обстеження неоднорідностей органічних тканин [5], дозволяють приблизно дослідити такі показники, як індивідуальне значення ідеальної ваги, кількість жирової тканини, крові, лімфи, внутрішньоклітинної рідини, рідини в набряках, активної клітинної маси (м'язи, органи, мозок і нервові клітини), індекс маси тіла, обмін речовин, натрій-калійовий баланс, відхилення цих показників від норми, дають можливість простежити динаміку змін [6,7,8].

Найбільше значення імпеданс органічної тканини має при постійному струмі (R_1), з підвищенням частоти змінного струму ω імпеданс знижується до Z_2 , і далі стає постійним (рис. 1).

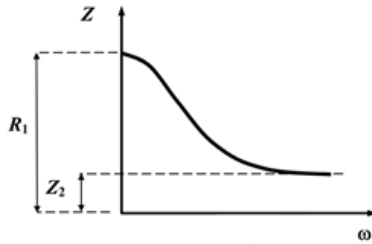


Рис. 1. Характерний взаємозв'язок повної опірності органічної тканини й частоти.

Електрична схема може давати частотну залежність імпедансу органічної тканини на будь-якій частоті (рис. 2), отже, імпеданс органічної тканини описується виразом:

$$Z = \frac{R_1 \sqrt{R_2^2 + X_C^2}}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + X_C^2}}$$

де X_C - ємнісна опірність тканини, яка визначена її компонентами, які є діелектриками (мембранами клітин, епідермою). Опори R_1 і R_2 (за умовою $R_1 \gg R_2$) описуються омичними компонентами провідних формувань тканин.

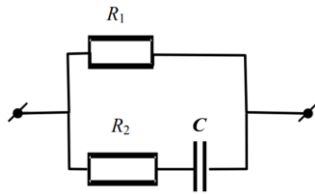


Рис. 2. Електрична схема з частотною залежністю як у органічної тканини

Будь-яка тканина має свої величини показників R_1 , R_2 і C відповідної схеми. Для шкіри високий активний опір на постійному струмі — $R_1 \sim 10^4 - 10^6$ Ом, однак на високій частоті зменшується в 10–20 разів. Для м'яких кровонаповнених тканин R_1 низьке ($R_1 \sim 10^2$ Ом) і менше їх ємнісного опору на низькій частоті, тому часто відповідні схеми таких тканин виражені тільки R_1 .

Фізіологічний стан та морфологічні властивості тканини визначають взаємозв'язок імпедансу тканини й частоти змінного струму, що дає застосовувати вимірювання їх електропровідності в біологічних і медичних експериментах [9,10].

Методи вимірювань електропровідності тканин проводять при досить низькій напрузі (менше 50 мВ) і слабкому струмі, які не пошкоджують тканини й не змінюють протікання їх

фізичних і хімічних процесів. При впливі високої температури, ультразвуку великої інтенсивності, іонізуючого випромінювання, відбувається відмирання тканини та підвищення проникності мембран, їх неповний або повний розпад. Такі процеси знижують роль ємнісного опору тканини, взаємозв'язок її імпедансу й частоти стає слабким. Опір мертвої тканини не залежить від частоти (рис. 3).

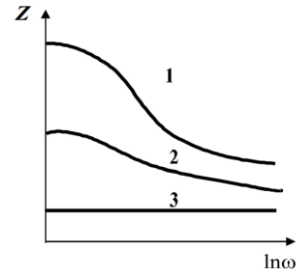


Рис. 3. Частотна залежність імпедансу для проб тканини: 1 — на пробу не діяв зовнішній вплив; 2 — тканина короткочасно нагрівалася, клітинні мембрани частково зруйновані; 3 — проба довго кип'ятилась, мембрани повністю зруйновані (мертва тканина).

Можливість комп'ютерного моделювання й аналізу імпедансу дає змогу швидше та точніше провести всі необхідні дослідження, причому схеми, еквівалентні хімічним та фізичним процесам, досить прості.

Залежність імпедансу органічної тканини досліджується на моделі, яка за допомогою еквівалентної електричної схеми описує наявність активних і реактивних властивостей органічних тканин (рис. 4), де R_M — опір міжклітинної рідини, $R_{цп}$ — опір цитоплазми, поляризаційний опір, $C_{п}$ — поляризаційна ємність.

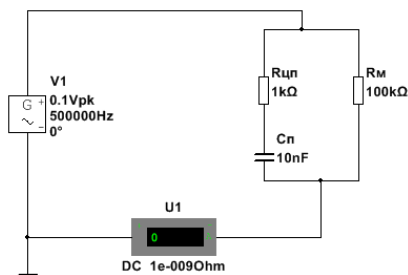


Рис. 4. Еквівалентна електрична схема для моделювання.

Дисперсію імпедансу, тобто залежність імпедансу еквівалентної електричної схеми органічної тканини від частоти, можна досліджувати, змінюючи частоту на генераторі, а також параметри органічної тканини.

Результати моделювання вимірювання імпедансу для трьох проб органічної тканини приведені на рис.5.

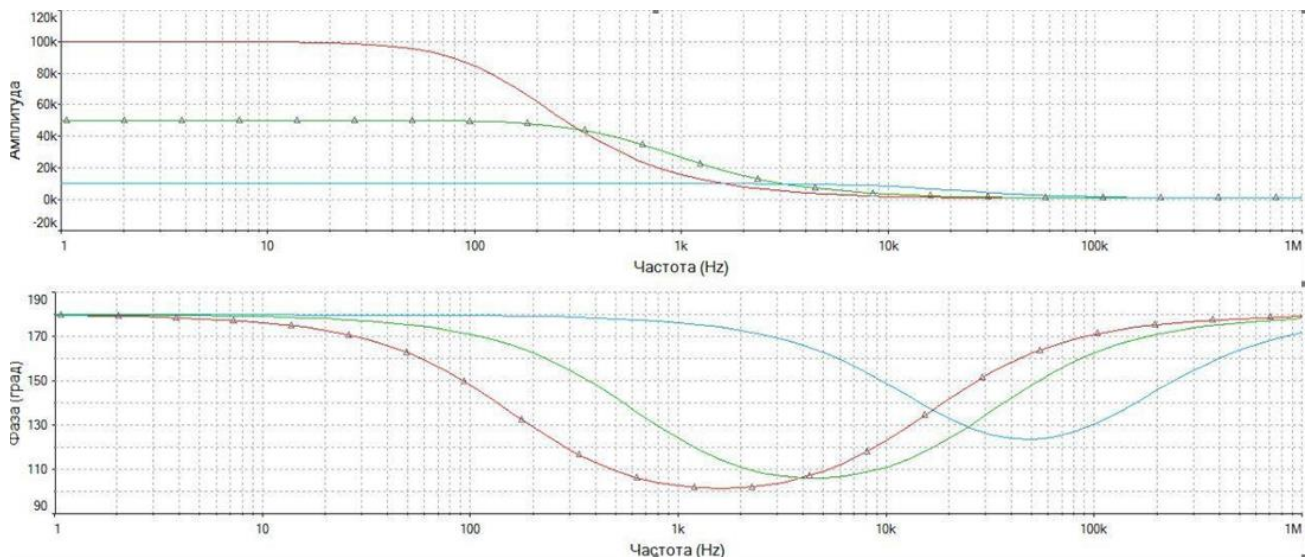


Рис. 5. Результати моделювання вимірювання імпедансу для трьох проб органічної тканини

Чим сильніше струм, тим сильніше пошкоджуються тканини і змінюються їх фізичні та хімічні процеси. Чим більше пошкоджена тканина, тим більш проникною стає клітинна мембрана та зменшується опір. Опір мертвої тканини не залежить від частоти.

Комп'ютерне моделювання вимірювання імпедансу дозволяє швидше та точніше провести необхідні дослідження, не використовуючи дослідні зразки, що важливо в медичній практиці та при дистанційному вивченні. А також зробити необхідні висновки, наприклад, щодо якості тканин і органів для трансплантації.

2. Моделювання апарата для гальванізації

Гальванізація – це метод фізіотерапії, дія якого забезпечується впливом на тканини організму постійного електричного струму величиною до 50 мА за напруги (30...80) В, подача якого відбувається через електроди на тіло пацієнта.

Процедура вимагає врахування щільності струму, що досягається підбором електродів різної площі. Використовують щільність у межах (0,01...0,1) мА/см², залежно від віку пацієнта і типу процедури.

Струм протікає по каналам судин, м'язовим та нервовим тканинам. Унаслідок руху іонів настає поляризація тканин, зазнає змін кислотно-лужний, водний баланс, концентрація самих іонів у клітинах та міжклітинних рідинах, посилюється крово- та лімфообмін тощо [11,12].

Кількість переміщених іонів залежить від величини струму, отже бажаний фізіотерапевтичний ефект досягається його дозуванням.

Для вивчення будови і принципу роботи апарата для гальванізації може бути використана загальна модель, приведена на рисунку 6. Основні технічні параметри апарату: максимальний струм величиною 50 мА, живлення від мережі змінного струму напругою 220 В, орієнтовна споживана потужність – 15 ВА. У зв'язку з тим, що пульсації викликають фізіо-

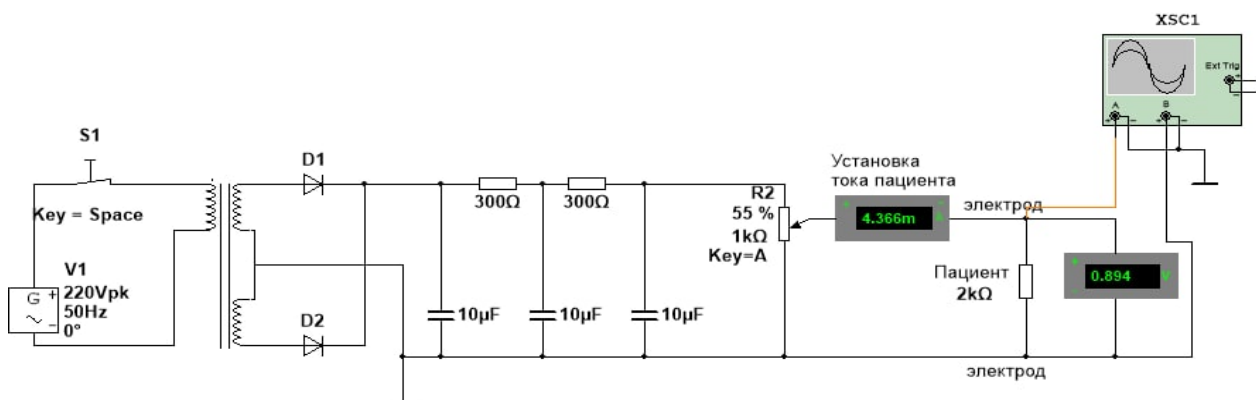


Рис. 6. Загальна модель апарату для гальванізації

логічний ефект, відмінний від дії постійного струму, вони не повинна перевищувати 0,5%.

Живлення апарату відбувається через трансформатор, необхідний для пониження напруги, а також для відмежування пацієнта від електричної мережі. Після проходження другої обмотки, струм проходить на випрямляч, який є діодним мостом. Далі відбувається фільтрація резисторно-ємнісим фільтром, який в реальності передбачає, навіть при значному зменшенні з часом ємностей конденсаторів, забезпечення пульсацій на рівні, що не перевищує 0,5%. Дія фільтра базується на тому, що постійна складова струму не пропускається через ємність, але проходить крізь активний опір. Із виходу фільтра напруга подається далі на потенціометр, за допомогою якого відбувається регулювання струму у вихідному ланцюзі. Величина струму визначається міліамперметром. При моделюванні роботи апарату в середовищі Multisim за допомогою потенціометра змінювали значення струму пацієнта від 3 мА до 5 мА (табл. 1), спостерігаючи за змінами пульсацій випрямленого струму на виході з екрану осцилографа (рис. 7).

Таблиця 1

Величини струму в залежності від значення вхідного опору у колі пацієнта

Опір потенціометра, Ом	Показання амперметра, мА
650	2,915
500	4,100
350	5,072

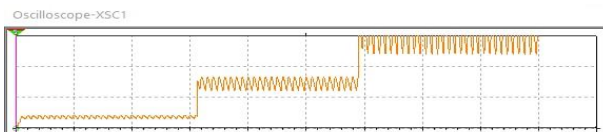


Рис. 7. Результати моделювання роботи апарату для гальванізації при різних положеннях потенціометра.

У схемі наявний резистор опором 2 кОм, що є еквівалентом пацієнта у колі. Опір тіла людини складають опори шкіри та внутрішніх органів. Найбільший опір має епідерміс, який складається із мертвих клітин, саме його ввели у схему. Опір внутрішніх органів коливається в діапазоні (0,5...60) Ом, отже, не відіграє значної ролі і ним можна знехтувати.

Використання комп'ютерної моделі апарату для гальванізації ілюструє широкі можливості в умовах дистанційного навчання шля-

хом розширення бази доступних пристроїв для студентів.

3. Моделювання апарату УФ-випромінювання

Ультрафіолетове (УФ) випромінювання застосовується в багатьох напрямках в рамках медичної галузі для стерилізації повітря в операційних, а також для ефективної стерилізації хірургічного обладнання.

Встановлення ультрафіолетових систем очищення повітря в апаратах HVAC є економічно ефективним та надійним методом знезараження повітря без використання шкідливих хімічних речовин. Системи широко використовуються в лікарнях, кабінетах лікарів, будинках престарілих, реабілітаційних центрах та інших медичних установах та успішно усувають бактерії, грибки, віруси, спори, пилові кліщі та паразити [13,14].

Слід також відзначити, що навіть найпростіша медична техніка не обходиться без контролерів. Мікропроцесори застосовуються всюди - від стерилізаційних до реанімаційних пристроїв, тому їх вивчення постає важливою частиною в підготовці фахівців біомедичної інженерії.

В середовищі Multisim у тому числі представлені мікроконтролери PIC від Microchip Tech - 8-розрядні PIC16F84 і PIC16F84a [15].

Джерелами УФ випромінювання можуть бути або досить небезпечні ртутні лампи, або їх більш сучасний та безпечний аналог - світлодіоди (LED). Конструкція з LED являє собою збір з напівпровідникових приладів з р-п-переходом, завдяки чому вони й здатні до створення оптичного випромінювання при пропусненні через них електричного струму в прямому напрямку.

Модель УФ-світильника приведена на рис.8 і включає вимикачі кнопкові, мікроконтролер, світлодіоди, польовий транзистор з ізолюваним затвором й індукованим каналом п-типу, біполярний транзистор прп-типу, резистори; конденсатори; дисплей, заземлювач. Керування роботою УФ-світильника здійснюється мікроконтролером, який запрограмований на різні режими роботи і вивід відповідної інформації на дисплей.

Слід зазначити, що розглянута схема лежить в основі операційних ламп з системою open theatre light (OPL). Ці прилади є складнішою, модернізованою версією розглянутого УФ-світильника.

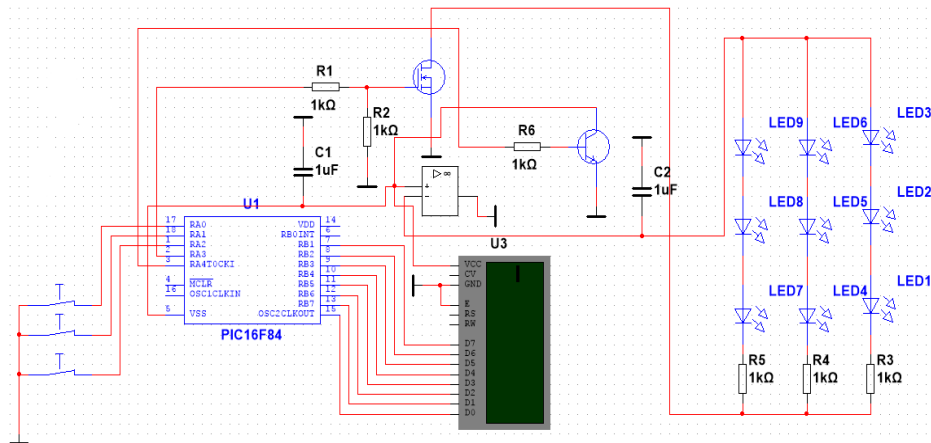


Рис. 8. Схема УФ-світильника в програмі Multisim

Для здобувачів проведення такого роду досліджень є цікавим досвідом, корисним для втілення в реальність майбутніх власних розробок, пов'язаних з конструювання медичних приладів, та при вивченні спеціальності дистанційно.

Висновки

Методи комп'ютерного моделювання, які використовуються для вивчення та аналізу схемотехнічних можливостей біомедичної апаратури в лабораторному практикумі і лекційних презентаціях при засвоєнні дисциплін спеціальності «Біомедична інженерія», істотно полегшують процес навчання завдяки простоті, доступності та демонстраційним можливостям. Запропонований спосіб в якості дистанційного навчання дозволяє здобувачам замість реальних фізичних експериментів, досліджувати моделі схем медичної діагностичної та терапевтичної апаратури, завдяки чому навчання спеціальності виходить на принципово новий рівень.

Здатність до створення будь-яких а складністю пристроїв або, якщо це потрібно для дослідів, навіть ділянок біологічної тканини вигідно виділяє Multisim серед інших подібних програм, внаслідок чого його можна рекомендувати для використання в лабораторному практикумі, при дистанційному і самостійному навчанні.

Список використаної літератури

1. Дудзінський Ю. М. Застосування програмного NI Multisim забезпечення для дослідження та аналізу біомедичної апаратури [Текст] / Ю. М. Дудзінський, Н. М. Манічева, О. В. Найдено // Прикладні системи та технології в інформаційному суспільстві: зб. тез доповідей і наук. повідомл. учасників IV

Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 30 вересня 2020 р.). – Київ : Київський нац.ун-т імені Тараса Шевченка, 2020. – С. 74–75.

2. Найдено Е. В. Использование программной среды Ni Multisim при подготовке студентов направлений «Электромеханика» и «Электротехника» [Текст] / Е. В. Найдено, Е. Ю. Маевская // Электротехнические и компьютерные системы. – 2017. – № 24. – С. 164–168.

3. Найдено Е. В. Применение программной среды Ni Multisim при изучении дисциплины «Микропроцессорная техника» [Текст] / Е. В. Найдено // Электротехнические и компьютерные системы. – 2017. – № 25. – С. 465–469.

4. Тихомиров А. М. Импеданс биологических тканей и его применение в медицине. Москва : Российский государственный медицинский университет, 2006 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://rsmu.ru/fileadmin/templates/DOC/Faculties/PF/Phys-mat/impedans.pdf>

5. Кириличева Л. А. Изучение дисперсии импеданса биологических тканей. [Текст] / Л. А. Кириличева. Петрозаводск : Издательство Петрозаводского государственного университета, 1996. – 17 с.

6. Grimnes, S. Bioelectricity and bioimpedance basics [Text] / S. Grimnes, O. G. Martinsen. – London : Academic Press, 2014. – 584 p.

7. Bioelectrical Impedance Analysis in Body Composition Measurement [Text]. Proceedings of a National Institute of Health Technology Assessment Conference. Bethesda, Maryland, December 12-14, 1994. (1996) // The American journal of clinical nutrition. – 1996. – № 64 (3 Suppl). – P. 387–532.

8. Kekonen, A. Bioimpedance method for monitoring venous ulcers: Clinical proof-of-concept study [Text] / A. Kekonen, M. Bergelin, J. E. Eriksson, A. Vaalasti, H. Ylänen, S. Kielosto, J. Viik // *Biosensors and Bioelectronics*. – 2021. – № 178. – P. 112974.

9. Rahman, A. R. A. A detailed model for high-frequency impedance characterization of ovarian cancer epithelial cell layer using ECIS electrodes [Text] / A. R. A. Rahman, C. M. Lo, S. Bhansali // *IEEE transactions on biomedical engineering*. – 2008. – № 56 (2). – P. 485–492.

10. Мосійчук В. С. Широкопasmовий вимірювач біоімпедансу з адаптивним вибором сіт-ки частот [Текст] / В. С. Мосійчук, Г. В. Тимошенко, О. Б. Шарпан // Вісник НТУУ «КПІ». Радіотехніка, радіоапаратобудування : збірник наукових праць. – 2014. – № 57. – С. 143–148.

11. Fish, R. M. Conduction of electrical current to and through the human body: a review [Text] / R. M. Fish, L. A. Geddes // *Eplasty*. – 2009. – № 9. – P. e44.

12. Быковская Т. Ю. Основы реабилитации: ПМ 02. Участие в лечебно-диагностическом и реабилитационном процессе [Текст] / Т. Ю. Быковская, Л. А. Семенов, Л. Козлова, С. Козлов; под ред. Б. В. Кабарухина. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2015. – 430 с.

13. McMullen, K. Impact of no-touch ultraviolet light room disinfection systems on *Clostridioides difficile* infections [Text] / K. McMullen, R. M. Guth, H. Wood, C. Mueller // *American Journal of Infection Control*. – 2020 [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196655320308130>

14. Наслідки ультрафіолетового (УФ) випромінювання для здоров'я [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.who.int/uv/health/ru/>

15. Great microprocessors of the past and present [Electronic resource]. – Access mode : <http://web.archive.org/web/20090227055237/http://jbayko.sasktelwebsite.net/cpu1.html#Section1Part9>

References

1. Dudzinsky, Y. M., Manicheva, N. M. and Naidenko, E. V. (2020) Application of NI Multisim software for research and analysis of biomedical equipment [Zastosuvannya programnoho NI Multisim zabezpechennya dlya doslidzhennya ta analizu biomedychnoyi aparatury]. *Applied systems and technologies in the information society: collection. abstracts of*

reports and sciences. message Participants of the IV International Scientific and Practical Conference (pp. 74–75). Kyiv: Taras Shevchenko National University of Kyiv.

2. Naidenko, E. V., Mayevskaya, E. Yu. (2017) The use of Ni MultISIM software environment in the preparation of students in the fields of "Electromechanics" and "Electrical Engineering" [Ispol'zovaniye programmnoy sredy Ni Multisim pri podgotovke studentov napravleniy «Elektromekhanika» i «Elektrotekhnika»]. *Elektrotekhnicheskiye i komp'yuternyye sistemy*, Vol. 24, no. 100, pp. 164–168.

3. Naidenko, E. V. (2017) Application of the Ni Multisim software environment in the study of the discipline "Microprocessor technology" [Primeneniye programmnoy sredy Ni Multisim pri izuchenii distsipliny «Mikroprotsessornaya tekhnika»]. *Elektrotekhnicheskiye i komp'yuternyye sistemy*, Vol. 25, no. 100, pp. 465–462.

4. Tikhomirov, A. M. (2006) *Impedance of biological tissues and its application in medicine* [Impedans biologicheskikh tkaney i ego primeneniye v meditsine]. Moscow : Russian State Medical University. Available at: <https://rsmu.ru/fileadmin/templates/DOC/Faculties/PF/Phys-mat/impedans.pdf> (Accessed: 10 April 2021).

5. Kirilicheva, L. A. (1996) *Study of the dispersion of the impedance of biological tissues* [Izucheniye dispersii impedansa biologicheskikh tkaney]. Petrozavodsk: Petrozavodsk State University.

6. Grimnes, S. and Martinsen, O. G. (2014) *Bioimpedance and bioelectricity basics*. London: Academic press.

7. Bioelectrical Impedance Analysis in Body Composition Measurement. (1996) *Proceedings of a National Institute of Health Technology Assessment Conference*. Bethesda, Maryland, December 12-14, 1994. (1996). *The American journal of clinical nutrition*. Vol. 64 (3 Suppl), pp. 387–532. <https://doi.org/10.1093/ajcn/64.3.387s>

8. Kekonen, A., Bergelin, M., Eriksson, J. E., Vaalasti, A., Ylänen, H., Kielosto, S. and Viik, J. (2021) Bioimpedance method for monitoring venous ulcers: Clinical proof-of-concept study. *Biosensors and Bioelectronics*, Vol. 178, pp. 112974. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2021.112974>

9. Rahman, A. R. A., Lo, C. M. and Bhansali, S. (2008) A detailed model for high-frequency impedance characterization of ovarian cancer epithelial cell layer using ECIS electrodes.

IEEE transactions on biomedical engineering, vol. 56, no. 2, pp. 485–492. <https://doi.org/10.1109/TBME.2008.2008488>

10. Mosiychuk, V. S. (2014) Broadband bioimpedance meter with adaptive frequency grid selection [Shyrokosmuhovyy vymiryuvach bioimpedansu z adaptivnym vyborom sitky chastot]. *Radio engineering, radio engineering: a collection of scientific works*, Vol. 57, pp. 143–148.

11. Fish, R. M., Geddes, L. A. (2009) Conduction of electrical current to and through the human body: a review. *Eplasty*, Vol. 9, pp. e44.

12. Bykovskaya, T. Yu., Semenenko, L. A., Kozlova, L., Kozlov, S. (2015) *Fundamentals of rehabilitation: PM 02. Participation in the treatment-diagnostic and rehabilitation process* [Uchastiye v lechebnodiagnosticheskom i reabili-

tatsionnom protsesse]. Ed. by B. V. Kabarukhina. Rostov-on-Don: Phoenix.

13. McMullen, K., Guth, R. M., Wood, H., Mueller, C., Dunn, G., Wade, R., ... and Warren, D. K. (2020). Impact of no-touch ultraviolet light room disinfection systems on *Clostridioides difficile* infections. *American Journal of Infection Control*. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2020.08.030>

14. Consequences of ultraviolet (UV) radiation for health [Naslidky ultrafioletovoho (UF) vyprominiuvannia dlia zdorovia]. Available at: <https://www.who.int/uv/health/ru/> (Accessed: 10 April 2021).

15. Great microprocessors of the past and present. Available at: <http://web.archive.org/web/20090227055237/http://jbayko.sasktelwebsite.net/cpu1.html#Sec1Part9>

APPLICATION OF COMPUTER MODELING IN DISTANCE TRAINING OF CANDIDATES IN THE SPECIALTY “BIOMEDICAL ENGINEERING”

E. V. Naidenko, Yu. A. Hrosul, A. Yu. Nikolaieva, Yu. A. Rogovik, R. G. Plakhova
Odessa Polytechnic State University

Abstract. This paper shows the benefits and feasibility of using computer modeling to gain practical skills in the development, study and analysis of electrical circuits of diagnostic and physiotherapy equipment, blocks for processing biomedical information, microprocessor control of medical electronics and electrical systems. The paper will present the options for using the NI Multisim software. Applicable for applicants in the specialty 163-Biomedical Engineering for the disciplines "Analog and Digital Circuit Engineering", "Electrical Engineering, Electronics, Microprocessor Engineering", "Electronic, Microprocessor and Computing Devices", but you can also use them for any other specialties with a similar field of study. The main goal is to show the feasibility of using computer modeling in a distance learning environment. The specified program allows you to consider and analyze a much larger number of examples from the training course than in the standard form of training. It can also be successfully used as an alternative to the use of expensive equipment. Working with NI Multisim will be discussed in two possible directions: research and direct design. The first category includes impedance diagnostics and the study of the structure and principle of operation of the apparatus for galvanization. The design is considered on the example of a simple wiring diagram for an ultraviolet lantern. Summing up, it should be noted that the use of a virtual platform is more logical from the point of view of the safety of students without experience working with electrical circuit elements, and also carries more creative potential for future specialists.

Keywords: distance learning, modeling, circuit design, analog and digital lances, microprocessors, circuit editor, biomedical equipment.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ДИСТАНЦИОННОЙ ПОДГОТОВКЕ СОИСКАТЕЛЕЙ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ «БИОМЕДИЦИНСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ»

Е. В. Найденко, Ю. А. Гросул, А. Ю. Николаева, Ю. А. Роговик, Р. Г. Плахова
Государственный университет «Одесская политехника»

Аннотация. Показана польза и целесообразность использования компьютерного моделирования для получения практических навыков разработки, изучения и анализа электрических схем диагностической и физиотерапевтической аппаратуры, блоков обработки биомедицинской информации, микропроцессорного управления средствами медицинской электроники и электротехнических систем соискателями специальности «Биомедицинская инженерия». Приводятся примеры demonstra-

ционных схем для лабораторного практикума курса и для комплексных лабораторных работ при изучении смежных дисциплин.

Ключевые слова: дистанционное обучение, моделирование, схемотехника, аналоговые и цифровые цепи, микропроцессоры, редактор схем, биомедицинская аппаратура.

Отримано 12.04.2021



Найденко Олена Валеріївна, Державний університет «Одеська політехніка», кандидат технічних наук, доцент кафедри біомедичної інженерії. Просп. Шевченко, 1, Одеса, Україна. E-mail: alena2808@ukr.net, тел. +38-048-705-84-67

Elena Naidenko, Odessa Polytechnic State University, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Biomedical Engineering. Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine. E-mail: alena2808@ukr.net, ph. +38-048-705-84-67

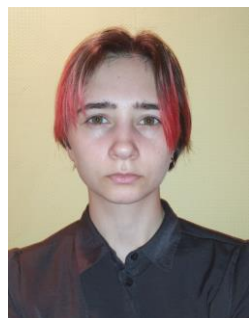
ORCID ID: 0000-0001-5684-5617



Гросул Юлія Анатоліївна, Державний університет «Одеська політехніка», студентка кафедри біомедичної інженерії. Просп. Шевченко, 1, Одеса, Україна. E-mail: hrosull@ukr.net, тел. +38-097-925-34-42

Yuliia Hrosul, Odessa Polytechnic State University, student, Department of Biomedical Engineering. Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine. E-mail: hrosull@ukr.net, ph. +38-097-925-34-42

ORCID ID: 0000-0003-3002-6554



Ніколасва Аделіна Юріївна, Державний університет «Одеська політехніка», студентка кафедри біомедичної інженерії. Просп. Шевченко, 1, Одеса, Україна. E-mail: sherlocklllover@gmail.com, тел. +38-050-872-35-47

Adelina Nikolaieva, Odessa Polytechnic State University, student, Department of Biomedical Engineering. Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine. E-mail: sherlocklllover@gmail.com, ph. +38-050-872-35-47

ORCID ID: 0000-0002-3418-3875



Роговик Юлія Андріївна, Державний університет «Одеська політехніка», студентка кафедри біомедичної інженерії. Просп. Шевченко, 1, Одеса, Україна. E-mail: rogovik16@ukr.net, тел. +38-095-112-52-89

Yuliia Rohovyk, Odessa Polytechnic State University, student, Department of Biomedical Engineering. Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine. E-mail: rogovik16@ukr.net, ph. +38-095-112-52-89

ORCID ID: 0000-0002-3955-8365



Плахова Римма Григорівна, Державний університет «Одеська політехніка», студентка кафедри біомедичної інженерії. Просп. Шевченко, 1, Одеса, Україна. E-mail: rimmaplahova0507@gmail.com, тел. +38-096-063-37-93

Rymma Plakhova, Odessa Polytechnic State University, student, Department of Biomedical Engineering. Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine. E-mail: rimmaplahova0507@gmail.com, ph. +38-096-063-37-93

ORCID ID: 0000-0002-8158-7215