

РОЗРОБКА ВІРТУАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ФЕРОМАГНІТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Андрій Перекрест

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20,
Кременчук, Україна, 39600, pkg13@gmail.com

ORCID: 0000-0002-7728-9020

Олексій Юрко

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20,
Кременчук, Україна, 39600, yurkoalexe@gmail.com

ORCID: 0000-0002-8244-2376

Денис Моспан

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20,
Кременчук, Україна, 39600, denis.mospan@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5473-7874

Дмитро Кухаренко

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20,
Кременчук, Україна, 39600, krutoy276@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2845-6881

Кирило Вадурін

аспірант, асистент кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20,
Кременчук, Україна, 39600, kir3337@gmail.com

ORCID: 0000-0001-7781-5783

Створення віртуальних лабораторних стендів і навчальних комплексів із технічних дисциплін останнім часом набуло поширення. Моделювання фізичних процесів і віртуальні прилади дозволяють обійти обмеження, що пов'язані з реальним лабораторним обладнанням, і дослідити процеси, які неможливо відтворити в лабораторних умовах. Це дозволяє значно розширити можливості вимірювальної апаратури та демонструвати студентам «чистий експеримент», зосередити увагу на вивченні конкретного фізичного явища. Окрім того, вихід за допустимі межі будь-яких фізичних параметрів у процесі віртуального експерименту (струм, тиск, температура тощо) є цілком безпечним, тобто не створює загрози для життя, не може пошкодити лабораторне обладнання високої вартості. У роботі детально описаний віртуальний стенд із вивчення магнітних властивостей речовини, а саме вивчення явища гістерезису феромагнітних матеріалів у програмному середовищі Labview. Віртуальний стенд має два режими роботи. У режимі лабораторної роботи користувач може задавати межове значення амплітуди напруженості магнітного поля за допомогою ручки-регулятора, змінювати масштабування відповідної шкали та спостерігати петлю гістерезису на екрані осцилографа. За допомогою курсора можна знімати значення напруженості й індукції із кривої. У режимі демонстрації користувач може переглянути анімовану послідовність дій під час виконання вимірювань і здійснення обробки результатів лабораторної роботи. Водночас відбувається почергова побудова часткових петель гістерезису, визначення точок для кривої намагнічування, побудова даної кривої, побудова кривої магнітної проникності. Під час моделювання є можливість задавати параметри різноманітних феромагнітних матеріалів, що досить складно реалізувати в реальному фізичному експерименті, це дозволяє формувати індивідуальні завдання. Можливість створення анімації для демонстрації послідовності дій під час виконання вимірювань і здійснення обробки результатів роботи суттєво поліпшує сприйняття та розуміння суті явищ, що вивчаються.

Ключові слова: моделювання, фізичні процеси, петля гістерезису, віртуальний прилад.

Актуальність роботи. Створення віртуальних лабораторних стендів і навчальних комплексів із технічних дисциплін останнім часом набуло великого поширення [1–5]. Моделювання фізичних процесів і віртуальні прилади дозволяють обійти обмеження, що пов’язані з реальним лабораторним обладнанням, і дослідити процеси, які неможливо відтворити в лабораторних умовах. Це дозволяє значно розширити можливості виміральної апаратури та демонструвати студентам «чистий експеримент», зосередити увагу на вивченні конкретного фізичного явища. Окрім того, вихід за допустимі межі будь-яких фізичних параметрів у процесі віртуального експерименту (струм, тиск, температура тощо) є цілковито безпечним, тобто не створює загрози для життя, не може пошкодити лабораторне обладнання високої вартості.

Програмне середовище Labview широко використовується для моделювання фізичних процесів і створення віртуальних приладів [6; 7], оскільки містить зручний інструментарій, що дозволяє залучати безпосередньо студентів до розроблення віртуальних лабораторних стендів. У статті [8] було зазначено необхідність створення в сучасних реаліях якісних комп’ютеризованих практикумів, що дозволяють наблизити віртуальні роботи до реальних фізичних експериментів. Наведені приклади реалізації віртуальних робіт із навчальної дисципліни «Загальна фізика» за різними розділами, як-от: кінематика, електростатика, будова речовини. Зупинимось більш детально на описі віртуального стенда з вивчення магнітних властивостей речовини, а саме вивченні явища гістерезису феромагнітних матеріалів.

Мета роботи – розробка віртуального стенда у програмному середовищі Labview для вивчення властивостей феромагнітних матеріалів.

Матеріал і результати досліджень. Для моделювання петлі гістерезису скористаємося математичною моделлю процесу намагнічування, викладеною в [9; 10]. Точки верхньої гілки петлі гістерезису апроксимуються рівнянням:

$$B_+(H) = B_S \frac{(H + H_C)}{|H + H_C| + H_C \left(\frac{B_S}{B_R} - 1 \right)},$$

де H_C – коерцитивна сила, B_S – індукція насичення, B_R – залишкова намагніченість. Рівняння апроксимації нижньої гілки з використанням згаданих позначень має вигляд:

$$B_-(H) = B_S \frac{(H - H_C)}{|H - H_C| + H_C \left(\frac{B_S}{B_R} - 1 \right)}.$$

Крива намагнічення є усередненими значеннями верхньої та нижньої гілок:

$$B_0(H) = \frac{B_-(H) + B_+(H)}{2}.$$

Для розробки лабораторного практикуму скористаємось програмним середовищем Labview [11].

Для розрахунку за наведеними вище формулами точок симетричної петлі гістерезису та кривої намагнічення створено окремий віртуальний прилад, наведений на рис. 1.

Віртуальний стенд має два режими роботи. У режимі лабораторної роботи користувач може задавати межове значення H_m амплітуди напру-

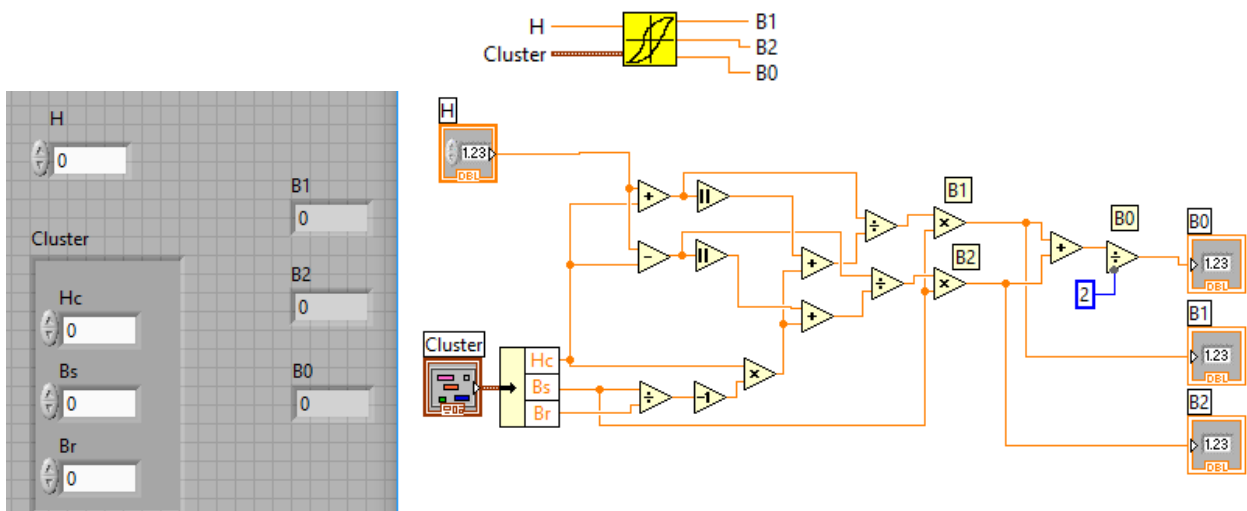


Рис. 1. Віртуальний прилад для розрахунку симетричної петлі гістерезису та кривої намагнічення

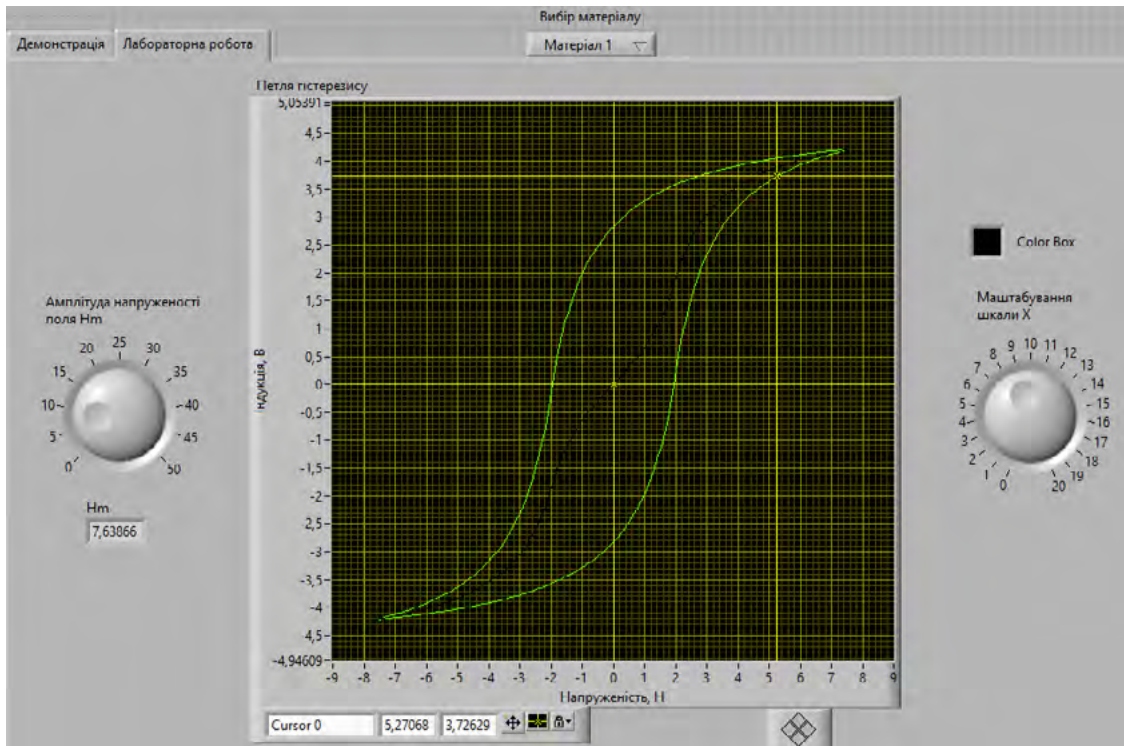


Рис. 2. Лицьова панель користувача в режимі «Лабораторна робота»

женості магнітного поля за допомогою ручки-регулятора “Кноп” (рис. 2), змінювати масштабування відповідної шкали та спостерігати петлю гістерезису на екрані осцилографа. За допомогою курсора можна знімати значення напруженості й індукції із кривої. Для побудови часткової петлі гістерезису, що відповідає значенню H_m , використовується верхня ділянка граничної петлі в межах розмаху амплітуди $-H_m - H_m$, яка опускається вниз на величину $V_+(H_m) - V_0(H_m)$. Нижня ділянка граничної петлі відповідно піднімається вгору на аналогічну величину.

Реалізація описаних операцій наведена у внутрішньому циклі блок-діаграми (рис. 3). Кількість ітерацій циклу відповідає кількості точок розрахунку кривої; у даному разі обрано 100 значень на розмах амплітуди напруженості магнітного поля.

У режимі «Демонстрація» (рис. 4) користувач може переглянути анімовану послідовність дій під час виконання вимірювань і обробки результатів лабораторної роботи. Відбувається по чергову побудова часткових петель гістерезису, визначення точок для кривої намагнічування,

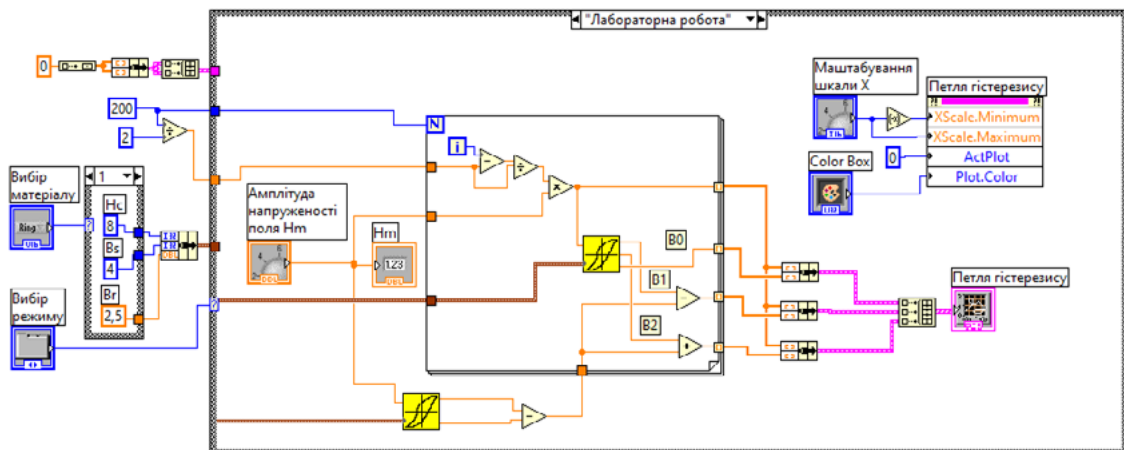


Рис. 3. Блок-діаграма реалізації режиму «Лабораторна робота»

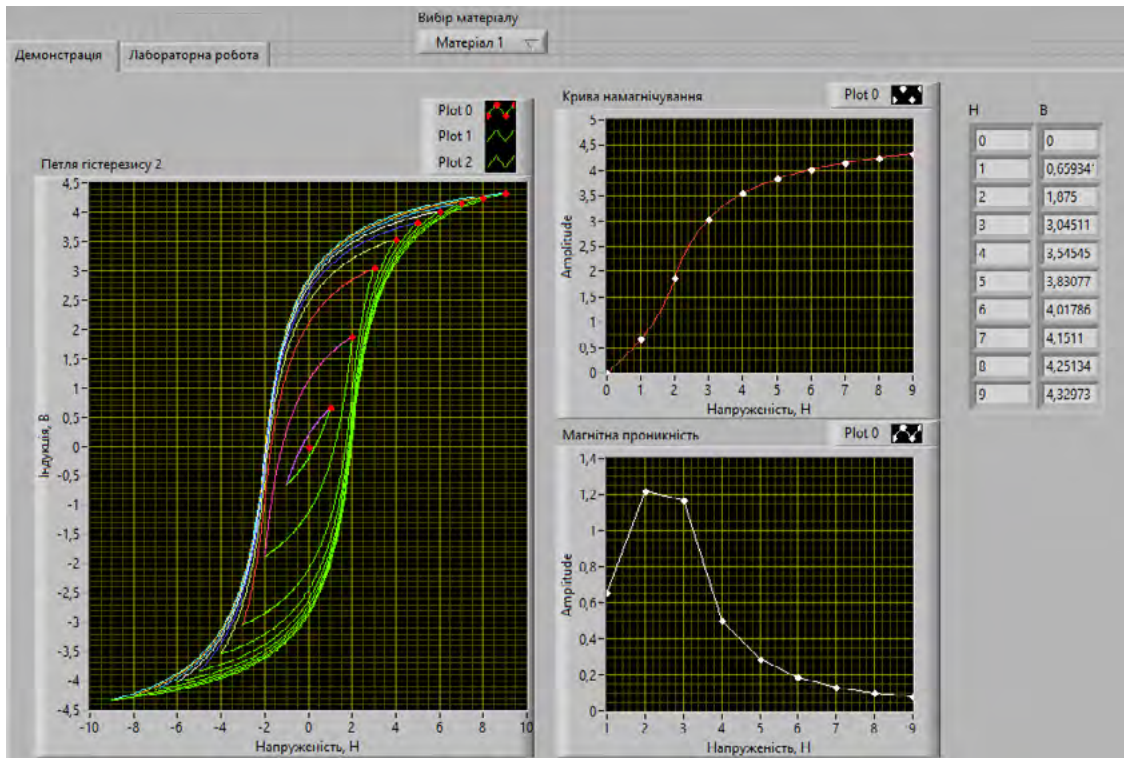


Рис. 4. Лицьова панель користувача в режимі «Демонстрація»

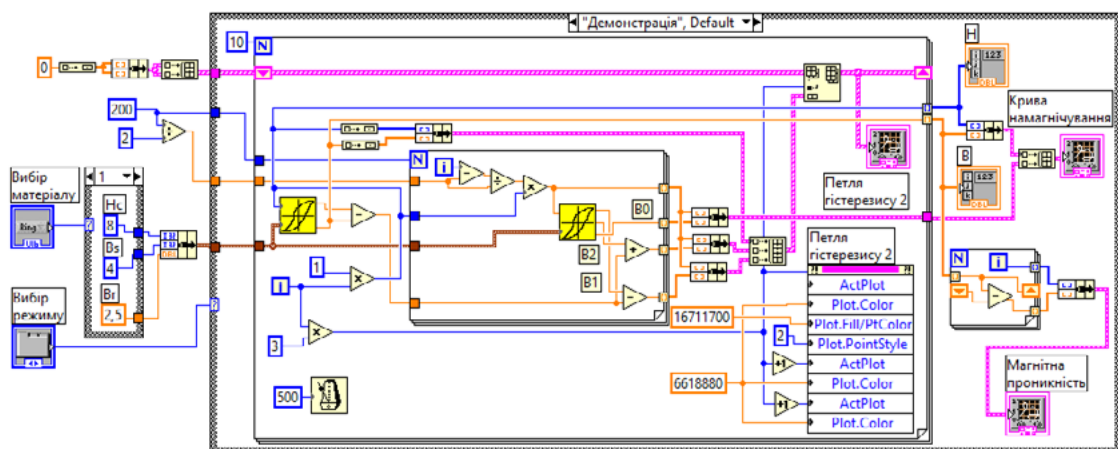


Рис. 5. Блок діаграма реалізації режиму «Демонстрація»

побудова даної кривої, побудова кривої магнітної проникності.

Реалізація даної послідовності дій наведена на блок-діаграмі (рис. 5).

Висновки. У результаті виконання роботи:

1. Показано приклад реалізації віртуального стенда з вивчення властивостей феромагнітних матеріалів у програмному середовищі Labview.

2. Під час моделювання є можливість задавати параметри різноманітних матеріалів, що досить складно реалізувати в реальному фізичному експерименті. Можливість створення анімації для демонстрації послідовності дій під час виконання вимірювань і здійснення обробки результатів роботи суттєво поліпшує сприйняття та розуміння суті явищ, що вивчаються.

ЛІТЕРАТУРА

1. Віртуальні лабораторні комплекси для навчального процесу і наукових досліджень / О.П. Чорний. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2021. Вип. 3 (50). С. 28–42.
2. Благовещенский В.В. Компьютерные лабораторные работы по физике в пакете MathCAD : учебное пособие. Санкт-Петербург : Лань, 2013. 96 с.
3. Маликов Р.Ф. Практикум по компьютерному моделированию физических явлений и объектов : учебное пособие. Уфа : Издательство БашГУ, 2005. 291 с.
4. Методичні вказівки до комп'ютерних лабораторних робіт з фізики для студентів усіх спеціальностей і форм навчання / О.М. Коваленко та ін. Харків : ХНУРЕ, 2006. 123 с.
5. Компьютерный лабораторный практикум по физике / А.Ф. Сук и др. Харьков : Точка, 2011. 247 с.
6. Аналіз вольтамперограм окислювально-відновлювальних процесів засобами Labview / Д.В. Моспан та ін. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2021. Вип. 6/2021 (131). С. 122–127.
7. Approximation of ECG Signals by Labview Software / D. Mospan et al. *International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine*, September 21–24, 2021. P. 532–536.
8. Комп'ютеризований практикум з моделювання фізичних процесів / А.Л. Перекрест та ін. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2022. Вип. 6 (137). С. 33–38.
9. Nonlinear transformer model for circuit simulation / J.H. Chan et al. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*. April 1991. Volume 10. Issue 4. P. 476–482.
10. Моделирование частных петель гистерезиса магнитомягких материалов. *Научный форум dxdy*. URL: <https://dxdy.ru/topic33095.html> (дата звернення: 15.01.2023).
11. Магда Ю.С. LabVIEW: Практический курс для инженеров и разработчиков. ДМК Пресс, 2012. 208 с.
12. Цивіліцин В.Ю. Магнітні матеріали. *Енциклопедія сучасної України*. Київ : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2001–2022.

DEVELOPMENT OF A VIRTUAL STAND FOR STUDYING THE PROPERTIES OF FERROMAGNETIC MATERIALS

Andrii Perekrst

Dc. S., Prof., Head of the Department of Computer Engineering and Electronics, Engineering and Electronics

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Ukraine, 39600, pks13@gmail.com

ORCID: 0000-0002-7728-9020

Denis Mospan

Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., Assoc. Prof. of the Department of Computer Engineering and Electronics

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Ukraine, 39600, denis.mospan@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5473-7874

Alexey Yurko

Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., Assoc. Prof. of the Department of Computer Engineering and Electronics

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Ukraine, 39600, yurkoalexe@gmail.com

ORCID: 0000-0002-8244-2376

Dmitro Kuharenko

Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., Assoc. Prof. of the Department of Computer Engineering and Electronics

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Ukraine, 39600, krutoy276@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2845-6881

Kyrylo Vadurin

Postgraduate Student, Assistant of the Department of Computer Engineering and Electronics

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20 Pershotravneva str., Kremenchuk, Ukraine, 39600, kir3337@gmail.com

ORCID: 0000-0001-7781-5783

The creation of virtual laboratory stands and educational complexes in technical disciplines has recently become widespread. Simulation of physical processes and virtual instruments allow you to bypass the limitations associated with real laboratory equipment and explore processes that cannot be reproduced in the laboratory. This allows you to significantly expand the capabilities of measuring equipment and demonstrate to students a pure experiment and focus on the study of a particular physical phenomenon. In addition, going beyond the allowable limits of any physical parameters during a virtual experiment (current, pressure, temperature, etc.) is completely safe, that is, it does not pose a threat to life, and cannot damage high-value laboratory equipment. The paper describes in detail a virtual bench for studying the magnetic properties of a substance, namely, the study of the phenomenon of hysteresis of ferromagnetic materials in the Labview software environment. The virtual stand has two modes of operation. In the laboratory work mode, the user can set the limit value of the magnetic field strength amplitude using the control knob, change the scaling of the corresponding scale and observe the hysteresis loop on the oscilloscope screen. Using the cursor, you can read the value of tension and induction from the curve. In demo mode, the user can view an animated sequence of actions when performing measurements and processing lab results. In this case, the construction of partial hysteresis loops takes place, the points for the magnetization curve are determined, this curve is plotted, and the magnetic permeability curve is plotted. When modeling, it is possible to set the parameters of various ferromagnetic materials, which is quite difficult to implement in a real physical experiment and allows you to create individual tasks. The ability to create animation to demonstrate the sequence of actions when performing measurements and processing the results of work significantly improves the perception and understanding of the essence of the phenomena being studied.

Key words: modeling, physical processes, hysteresis loop, virtual instrument.

REFERENCES

1. Chornyy, O.P., Rod'kin, D.Y., Yevstifyeyev, V.O., Perekrest, A.L. (2008). Virtualni laboratorni kompleksy dlya navchalnoho protsesu i naukovykh doslidzhen Visnyk [Virtual laboratory complexes for the educational process and scientific research]. *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhayla Ostrohradskoho*. Kremenchuk: KrNU. 3 (50). 28–42 [in Ukrainian].
2. Blagoveshchenskiy, V.V. (2013). Kompyuternyye laboratornyye raboty po fizike v pakete MathCAD [Computer laboratory work in physics in the MathCAD package]. Sanktpeterburg: Lan [in Russian].
3. Malikov, R.F. (2005). Praktikum po kompyuternomu modelirovaniyu fizicheskikh yavleniy i obyektov [Workshop on computer modeling of physical phenomena and objects]. Ufa: BashGPU [in Russian].
4. Kovalenko, O.M., Lazorenko, O.V., Orel, R.P., Myeshkov, S.M. (2006). Metodychni vkazivky do kompyuternykh laboratornykh robit z fizyky dlya studentiv usikh spetsial'nostey i form navchannya [Methodical instructions for computer laboratory work in physics for students of all specialties and forms of education]. Kharkiv: KHNURE [in Ukrainian].
5. Suk, A.F., Sinelnik, I.V., Sinelnik, A.V. (2011). Kompyuternyy laboratornyy praktikum po fizike [Computer laboratory practical work in physics]. Kharkov: Tochka [in Russian].
6. Mospan, D.V., Kukharenko, D.V., Hladkyy, V.V., Sankov, S.V. (2021). Analiz voltamperogram oksylyuvalno-vidnovlyuvalnykh protsesiv zasobamy Labview [Analysis of voltammograms of oxidation-reduction processes by means of Labview]. *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhayla Ostrohradskoho*. Kremenchuk: KrNU. 6 (131). 122–127 [in Ukrainian].
7. Mospan, D., Mospan, V., Fomovskaya, O., Fomovskii, F., Yurko, A., Nevliudova, V. (2021). Approximation of ECG Signals by Labview Software. *International Conference on Modern Electrical And Energy Systems, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, Ukraine, September 21–24*. 532–536 [in Ukrainian].
8. Perekrest, A.L., Mos'pan, D.V., Kukharenko, D.V., Vadurin, K.O. (2023). Komp'yuteryzovanyy praktykum z modelyuvannya fizychnykh protsesiv [Computerized workshop on simulation of physical processes]. *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhayla Ostrohradskoho*. Kremenchuk: KrNU. 6 (137). 33–45 [in Ukrainian].
9. Chan, J.H., Vladimirescu, A., Gao, X.-C., Liebmann, P., Valainis, J. (1991). Nonlinear transformer model for circuit simulation. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, 10 (4). 476–482 [in English].
10. Modelirovaniye chastnykh petel' gisterezisa magnitomyagkikh materialov [Modeling partial hysteresis loops of soft magnetic materials]. *Nauchnyy forum dxdy*. Retrieved from: <https://dxdy.ru/topic33095.html> [in Russian].
11. Magda, Y.S. (2012). LabVIEW: Prakticheskiy kurs dlya inzhenerov i predpriyatiy [LabVIEW: Practical course for engineers and developers]. DMK Press [in Russian].
12. Tsyvilityn, V.Yu. (2022). Mahnitni materialy. Entsyklopediya suchasnoyi Ukrayiny [Magnetic materials. Encyclopedia of modern Ukraine]. Kyiv: Instytut entsyklopedychnykh doslidzhen' NAN Ukrayiny, 2001–2022 [in Ukrainian].

Стаття надійшла 13.04.2023