

А. І. Атамась,
І. А. Сліпухіна,
І. С. Чернецький,
Ю. С. Шиховцев

ВІРТУАЛЬНІ СЕРЕДОВИЩА ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ЯК ЗАСІБ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ ЦИФРОВОЇ ДИДАКТИКИ

Анотація. Інструментальна цифрова дидактика відображає використання у навчальному процесі різноманітних цифрових засобів здобування, опрацювання та інтерпретації даних натурного експерименту відповідно до логіки наукового методу й інженерного дизайну. Важливою складовою сучасного STEM-орієнтованого освітнього середовища є інноваційні програмні продукти для моделювання і симуляції роботи електронних схем. У навчальних дослідженнях на їх основі параметри компонентів електричних кіл, створених у віртуальних середовищах, порівнюють з технічними характеристиками аналогічних пристроїв, наявних на ринку відповідної продукції. Така методика дає змогу не тільки продемонструвати подібність і розбіжності властивостей ідеалізованих і реальних артефактів, виявити джерела і величину можливих похибок, а й отримати електричні характеристики, достатні для побудови еквівалентних схем заміщення пристроїв без проведення попередніх експериментальних досліджень. Запропонований підхід продемонстровано на прикладі вивчення параметрів актуального пристрою — фотоелектричного перетворювача (визначення точки його максимальної потужності, а також коефіцієнта заповнення). Навчання з використанням еквівалентних схем заміщення демонструє студентам один з варіантів процесу інженерного дизайну. Окрім того, запропонована методика, завдяки можливості розвитку від алгоритмізованої навчальної процедури до інженерного дослідження, дає змогу здійснити індивідуальний підхід у навчанні електротехніки і електроніки. Дослідження дидактичних особливостей вивчення електрики і основ електроніки, зокрема із застосуванням NI «Multisim 11.0», є одним з напрямів діяльності STEM-лабораторії «МАНЛаб» Національного центру «Мала академія наук України». Частина апробованих методик оформлено у вигляді робочого зошита і розміщено у вільному доступі у вигляді інструкцій на онлайн-ресурсі stemua.science.

Ключові слова: еквівалентні схеми заміщення, «Multisim», інструментальна цифрова дидактика, STEM, фотоелектричний перетворювач.

Постановка проблеми. Інструментальна цифрова дидактика є педагогічною субдисципліною, в якій досліджуються навчальні методики на основі активного використання ІКТ і техніко-технологічних засобів проведення натурного експерименту з природничих і техніч-

них дисциплін. Вона доповнює науковий метод дослідження і процес інженерного дизайну такими можливостями, як створення інтерактивних комп'ютерних моделей, візуалізація експериментальних даних та їх порівняння з теорією, а також прогнозування перебігу процесу.

Важливою складовою сучасного STEM-орієнтованого освітнього середовища є сучасні

віртуальні середовища моделювання і симуляції роботи електронних схем. У цьому контексті особливо популярним є програмний продукт «Multisim» від National Instruments Corporation¹, який замінив загальновідомий «Electronics Workbench» і застосовується для проектування схем аналогової і цифрової електроніки в інженерній діяльності, технічних дослідженнях і навчанні, у формальній і неформальній освіті. NI «Multisim» містить розширений симулятор на основі SPICE, інтегрований з інтерактивним схемотехнічним середовищем для миттєвої візуалізації і аналізу поведінки електричних і електронних схем, бібліотеку пристроїв, яка містить більше 30 тисяч схем, доступних у спільноті. Його інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та розширена опція допомоги створюють комфортні дидактичні умови для закріплення студентами знань з теорії схем, покращення засвоєння певних елементів усієї навчальної програми, а також допомагають навчитися досліджувати перебіг процесу через зміну чинників впливу. З позицій підготовки майбутніх інженерів NI «Multisim» допомагає дослідникам і проектувальникам скоротити кількість ітерацій у прототипуванні друкованих плат, що суттєво зменшує витрати на розроблення пристрою, а також створює можливості для вивчення електроніки за допомогою інтерактивного, оптимізованого для сенсорних панелей онлайн-середовища, яке працює на будь-якому персональному комп'ютерному пристрої.

Програмні продукти, призначені для електричного моделювання, містять віртуальні електронні компоненти, характеристики яких можна змінювати, віртуальні вимірювальні прилади, засоби розроблення друкованих плат, а також бібліотеки багатьох базових моделей реальних елементів. Їх використовують для проектування різноманітних електронних пристроїв, віртуальних випробувань і налагодження принципів схем. Основні можливості моделюючих програм, типу NI «Multisim», можуть бути застосовані у навчанні з використанням STEM-підходу, методик, які інтегрують реальні і віртуальні лабораторні роботи, а також навчальні дослідження на основі створення еквівалентних схем заміщення реальних елементів.

¹ <https://www.ni.com/ru-ru/shop/electronic-test-instrumentation/application-software-for-electronic-test-and-instrumentation-category/what-is-multisim.html>

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наявні дані мережних ресурсів, наприклад наукового порталу www.researchgate.net та пошукової наукової системи Google Scholar, свідчать про те, що NI «Multisim» уже близько десяти років є популярним інженерним і навчальним програмним засобом, який поступово замінює «Electronics Workbench». Так, значний дидактичний досвід у використанні різних поколінь NI «Multisim» як платформи лабораторії імітаційного моделювання, призначеної для комп'ютерно-орієнтованого навчання інженерів, отримано на факультеті електричної інженерії Gdynia Maritime University. До того ж багаторічне дослідження, проведене К. Noga і В. Palczynska, засвідчило, що методики навчання з використанням віртуальних платформ створюють міст між теоретичними лекціями і практичним застосуванням при проектуванні, прототипуванні та тестуванні електричних та електронних схем у лабораторіях [1]. Педагогічний досвід Р. Ptak (2018) з використання NI «Multisim» та лабораторної робочої станції NI «ELVIS» доводить, що навчання інженерних дисциплін з використанням програм для симуляції роботи електронних (електричних кіл) мають значний ефект у дидактиці технічних дисциплін [2]. Крім того, компетентність з точки зору розуміння різниці між властивостями реальних і віртуальних елементів кола буде глибшою, якщо лабораторні роботи включають в одному дослідженні фактичні вимірювання в реальному електричному колі і в імітаційній моделі [3]. Навчальні симуляції електричних кіл та їх елементів на основі продуктів NI («Multisim», «LabVIEW», «myRIO») підвищують рівень сприйняття студентами теоретико-математичних моделей і є ефективними для організації проектно-орієнтованого навчання [4].

Варто зауважити, що безумовно важливим у навчально-дослідницькій діяльності учнів/студентів є застосування програм симуляції для моделювання і вивчення характеристик електронних кіл, які ще перебувають на експериментальній стадії. Таким технологічно і дидактично привабливим нелінійним пасивним елементом, який може зберігати попереднє значення опору, є мемристор. Цікавим є досвід R. Bodduna (2019) щодо розроблення емулятора моделі цього пристрою та вивчення його характеристик за допомогою багатосмугового моделювання [5].

Було також з'ясовано, що можливі застосування NI «Multisim» виходять за межі симуляції електричних кіл. Так, W. Chin і X. Zhuang (2020) демонструють один з прикладів використання цієї платформи для опису та моделювання процесів у суцільних матеріалах або біологічних системах, в яких струм фактично не тече у визначених контурах, наприклад для інтерактивного прогностичного симулювання складних потоків у резервуарах, зокрема в шаруватих, гетерогенних, анізотропних середовищах [6].

Дослідження дидактичних особливостей вивчення електрики і основ електроніки, зокрема із застосуванням програм симуляції, наприклад NI «Multisim 11.0», є одним з напрямів діяльності STEM-лабораторії «МАНЛаб» Національного центру «Мала академія наук України». Частину апробованих методик оформлено у вигляді робочого зошита¹ і розміщено у вільному доступі у вигляді інструкцій на онлайн-ресурсі stemua.science² [7]. Серед дидактичних розробок, перелік яких постійно оновлюється, нині на цій платформі розміщено навчальні методики моделювання та дослідження підсилювача (визначення його характеристик у межах звукових частот), генератора синусоїдального сигналу (визначення його частоти та порівняння з розрахунковою), мостового випрямляча змінного струму, помножувача напруги (порівняння розрахункового амплітудного значення змінної напруги і значення вихідної постійної напруги помножувача з вимірними під час моделювання). Зауважимо, що виконання кожної роботи супроводжується технологічними картами, які містять, з-поміж іншого, покрокові процедури застосування «Multisim 11.0», а також шаблони таблиць даних для опрацювання результатів експерименту.

Вочевидь, моделювання електронних приладів з подальшим дослідженням їх характеристик у цьому програмному середовищі потребує залучення до аналізу експериментальних даних та їх похибок (табличних і графічних) відповід-

ного програмного забезпечення, наприклад Microsoft Excel. Так, одним із завдань лабораторної роботи «Дослідження коливального контуру» є порівняння розрахункового значення резонансної частоти і добротності коливального контуру з результатами, отриманими в процесі моделювання за допомогою програми «Multisim 11.0», а важливим результатом лабораторного дослідження підсилювальних властивостей транзистора є визначення залежності коефіцієнта підсилення транзистора від струмів у модельованій схемі [8].

Однак, незважаючи на активне використання віртуальних середовищ як засобів формування фізико-технічних знань та інженерних навичок, дидактичні засади їх використання для навчання молоді шкільного віку досліджено дуже мало. Значні переваги в цьому контексті мають навчальні методики на основі STEM-підходу, які ґрунтуються на проблемно-орієнтованих завданнях і поєднують експериментування з реальними електричними схемами та дослідження параметрів їх віртуальних прототипів. Загальновідомо, що особливу пізнавальну зацікавленість серед учнів викликають завдання, пов'язані з дослідженням фізичних принципів функціонування, електричних параметрів і технічних характеристик популярних і перспективних пристроїв. Зазначене окреслило **мету проведеного дослідження**: на основі аналізу фізико-технічних характеристик фотоелектричного перетворювача (ФЕП) продемонструвати динамічну методику навчання електроніки й електротехніки, в основу якої покладено проектування електричних схем заміщення (ЕСЗ).

Методологічні засади. У проведеному педагогічному дослідженні було використано теоретичні й емпіричні методи. Основний теоретичний метод — порівняльний аналіз для зіставлення підходів до вивчення фізико-технічних дисциплін, зокрема з використанням STEM-підходу, джерел даних із проблеми дослідження, сучасного педагогічного досвіду навчання з використанням процесу інженерного дизайну і моделювання (для створення методики навчання на основі використання еквівалентних схем заміщення у віртуальних середовищах симуляції). Серед емпіричних методів основними були: обсерваційні (пряме, опосередковане, включене спостереження), психодіагностичні (бесіди з учителями, викладачами

¹ Електрика і основи електроніки. Лабораторний практикум: робочий зошит/упорядники: А. І. Атамась, І. С. Чернецький, В. Б. Шаповалов. Київ: 2017. 32 с.

² За аналітичними даними Cloudflare середня кількість онлайн-запитів ресурсу stemua.science у 2020 р. становить більше 600 тис. осіб/місяць, а середня кількість унікальних відвідувачів — більше 20 тис. осіб/місяць переважно з України, США, Німеччини, Естонії та ін.

і студентами) і праксіметричні (хронометрія, аналіз виконаних навчально-дослідних робіт). Окрім цього, в дослідженні було використано фізико-технічний експеримент, зокрема комп'ютерне моделювання та аналіз здобутих даних, наприклад характеристик досліджуваних пристроїв.

На попередньому етапі автори провели технічну і методичну апробацію методики. Для моделювання і дослідження ЕСЗ для ФЕП у середовищі «Multisim 11.0» її конфігурація та параметри були взяті з літературних джерел. Отримані дані переносилися до Excel, і за ними будувалася вольт-амперна характеристика (ВАХ), залежність потужності від напруги, за якими надалі визначалися основні параметри ФЕП: напруга холостого ходу $U_{хх}$, В, струм короткого замикання $I_{кз}$, А, напруга і струм у точці максимальної потужності U_m та I_m , коефіцієнт заповнення (Fill Factor (FF)),%. З метою з'ясування придатності, отриманої ЕСЗ для застосування у віртуальних навчальних дослідженнях, отримані експериментальні параметри порівнювалися зі значеннями їх комерційних аналогів.

Дидактична апробація навчально-дослідницької роботи «Дослідження питання узгодження електричного навантаження з фотоелементом» здійснювалася за участі учнів 8–11 класів — слухачів літніх фізико-технічних шкіл 2016–2019 рр. Під час апробації учні проводили експериментальні дослідження з реальною сонячною батареєю, за результатами яких будували її ВАХ і розраховували оптимальний опір навантаження, максимальні ККД і потужність. Процедура захисту результатів дослідницьких робіт передбачала, окрім презентації, відповіді на запитання за темою дослідження. За їх грамотністю і повнотою оцінювався рівень засвоєння опрацьованого матеріалу.

Основні результати дослідження. Словники визначають ЕСЗ реального елемента як простий RLC-ланцюг, потужність якого відтворює (дублює) потужність більш складної схеми або мережі. Однак ЕСЗ можуть бути і доволі складними, наприклад відтворювати нелінійність параметрів вихідної схеми, застосовуватися до різноманітних симуляцій функціонування кіл як постійного, так і змінного струму¹. У підручниках з основ елект-

роніки і електротехніки ЕСЗ описуються як електричне коло, що складається з певної сукупності ідеалізованих елементів, яке повністю відтворює властивості реального елемента і забезпечує задані функціональні властивості конструкції [9]. Основною перевагою застосування ЕСЗ є можливість виявити і дослідити зміну властивостей елемента електричного кола залежно від тих його власних параметрів, які неможливо змінити в реального артефакту, наприклад від внутрішнього опору. Так, вони є незамінними у процесі конструювання приладів, зокрема для опису параметрів біполярних транзисторів. У випадку простих застосувань, наприклад, коли транзистор використовується як ключ, це не є обов'язковим: створення відповідного потенціалу на його базі ефективно детермінує замикання іншої частини схеми. Однак у випадку застосування транзистора як підсилювача потрібно враховувати багато нюансів, що можна зробити на основі ЕСЗ. Наприклад, у ЕСЗ *Hybrid-pi*² враховуються послідовні опори і ємності переходів «база-емітер» і «база-колектор», які впливають на частотні характеристики цих приладів, зокрема на їх вхідний і вихідний імпеданс і на спосіб їх поляризації у схемах. Іншим прикладом, який демонструє ефективність застосування ЕСЗ, є наявність у конденсаторів внутрішнього послідовного опору. Так, у процесі створення електричних схем, орієнтування на ідеальні характеристики конденсатора і врахування тільки його ємності, без врахування наявного в ньому власного опору, може призвести до небажаних ефектів в електричних колах з реальними елементами.

Прикладом моделювання на основі ЕСЗ є створення у середовищі NI «Multisim» моделі ФЕП (рис. 1), яка дає змогу провести віртуальні експерименти з дослідження характеристик, зокрема зняти його ВАХ, а також визначити положення точки максимальної потужності. Методичні особливості реалізації цього завдання відображено у створеній нами актуальній для сучасної відновлюваної енергетики дослідницькій роботі «Дослідження питання узгодження електричного навантаження з фотоелементом», викладеній на stemua.science.

Еквівалентна схема ФЕП містить джерело фотоструму I_1 , діод D_1 і опори R_1 та R_2 (рис. 1). Густина фотоструму I_1 для сучасних комерцій-

¹ Equivalent Circuits and Simulation Models — Circuit Types. Passive Components Blog. URL: <https://passive-components.eu/>

² https://en.wikipedia.org/wiki/Hybrid-pi_model

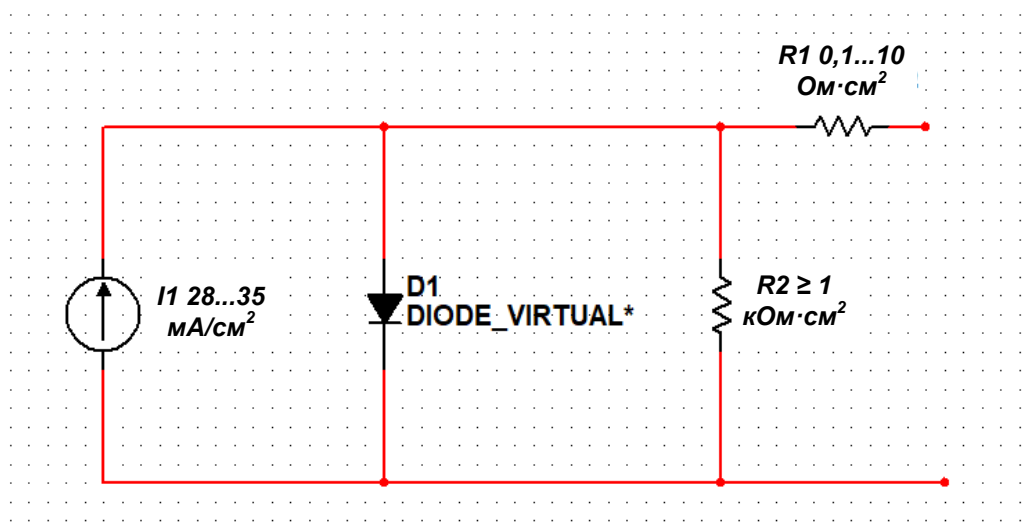


Рис. 1. Конфігурація еквівалентної схеми ФЕП в середовищі NI «Multisim» (параметри взято з розрахунку на 1 см²)

них фотоелектричних перетворювачів¹ перебуває в межах 28...35 мА/см² і практично дорівнює густині струму короткого замикання. Діод D1 моделює р-п перехід ФЕП. Для цього в середовищі NI «Multisim» обирають віртуальний діод і задають два його параметри: струм насичення і коефіцієнт ідеальності р-п переходу. При цьому беруть до уваги, що густина струму насичення р-п переходів сучасних ФЕП у середньому становить 10–10 А/см², а коефіцієнт ідеальності р-п переходу сучасних кремнієвих моно- та полікристалічних ФЕП зазвичай перебуває в межах 1,2...1,3 [10]. Питоме значення послідовного опору R1 залежно від конструкції та призначення ФЕП може бути

в межах від 0,1 до декількох Ом·см² (Meyer, 2017; Elkholya & El-Elab, 2019; Sabadus, Mihailetschi & Paulescu, 2017) [10, 11, 12]. У сучасних якісних ФЕП значення паралельного (шунтуючого) опору R2 зазвичай становить понад 1 кОм·см² [11, 12].

На підставі вищезазначеного, параметри еквівалентної схеми зі стандартними розмірами 125×125 мм і площею приблизно 150 см² (з урахуванням форми «псевдоквадрат») можуть бути такими: фотострум — 5,3 А, струм насичення — 15 нА, послідовний опір — 6 мОм, паралельний опір — 60 Ом.

Еквівалентну схему ФЕП зі стандартними розмірами було змодельовано в середовищі «Multisim 11.0» з визначеними параметрами (рис. 2). Така ЕСЗ загалом містить також

¹ <https://www.pveducation.org/>

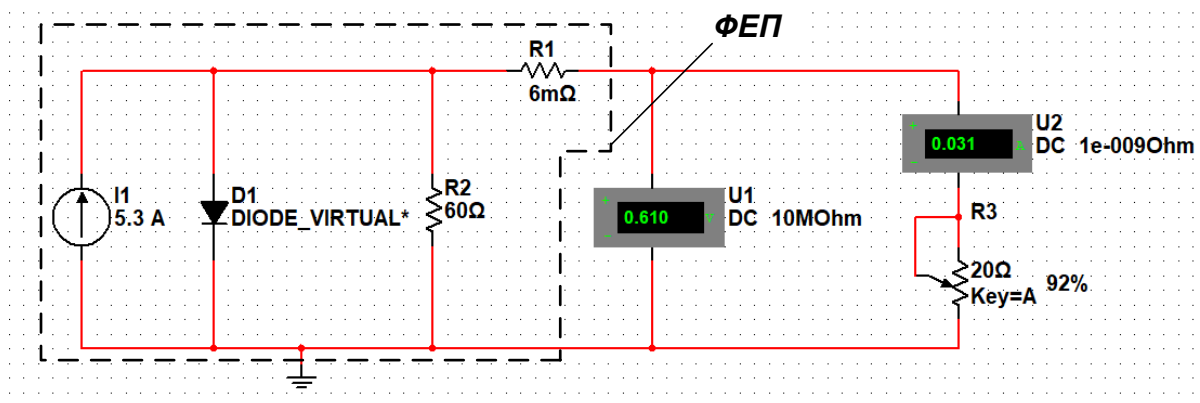


Рис. 2. Еквівалентна схема ФЕП площею 125 × 125 мм у середовищі NI «Multisim 11.0»

змінний опір навантаження R3 і віртуальні вимірювальні прилади — вольтметр і амперметр.

Після моделювання еквівалентної схеми в середовищі NI «Multisim 11.0» знімають ВАХ даного ФЕП (рис. 3), за допомогою якої визначають його основні параметри: напругу холостого ходу, силу струму короткого замикання, напругу і силу струму в точці максимальної потужності.

Для визначення оптимального навантаження фотоелемента необхідно визначити положення точки максимальної потужності. Для цього за допомогою середовища Excel необхідно розрахувати потужність ФЕП, помноживши напругу на струм у кожній точці ВАХ, і побудувати графік залежності потужності від напруги (рис. 4). За цим графіком з достатньою для навчальних цілей точністю можна визначити максимальну потужність ФЕП ($\approx 2,35$ Вт) і напругу ($\approx 0,5$ В), що відповідає максимальній потужності, а потім за цими значеннями розрахувати силу струму, яка становитиме 4,7 А для цієї точки. За законом Ома для ділянки кола можна визначити оптимальний опір навантаження (в цьому прикладі він становить 0,106 Ом).

Важливим параметром генераторних фотоперетворювачів, який завжди зазначається в технічній документації цього пристрою, є коефіцієнт заповнення ВАХ (FF), який визначається за формулою:

$$FF = \frac{U_m \cdot I_m}{U_{voc} \cdot I_{csc}} = \frac{P_m}{U_{voc} \cdot I_{csc}} \quad (1),$$

де U_m та I_m — відповідно напруга і струм у точці максимальної потужності; P_m — максимальна потужність ФЕП; U_{voc} — напруга розімкненого кола (напруга при відсутності навантаження, яка відповідає точці на ВАХ, у якій струм дорівнює 0 А); $I_{cз}$ — струм короткого замикання, (струм при опорі навантаження 0 Ом і напрузі 0 В). Так, у наведеному нами прикладі визначено максимальну потужність (2,35 Вт), напругу і струм за максимальної потужності (0,5 В; 4,7 А), напругу розімкненого кола (0,61 В), струм короткого замикання (5,3 А), а також коефіцієнт заповнення ВАХ (72,8%).

Порівняння основних параметрів, отриманих шляхом моделювання та дослідження еквівалентної схеми ФЕП, з показниками їх реальних аналогів¹ розмірами 125 × 125 мм, створює підстави для висновку про відповідність створеної еквівалентної схеми певному середньостатистичному комерційному ФЕП, який може застосовуватися для навчальних досліджень, наприклад для виконання дослідницької роботи «Дослідження процесу узгодження електричного навантаження з фотоелементом». Запропонована методика може бути використана

¹ <http://www.wxsunpower.com/fa/ecpsj.php>

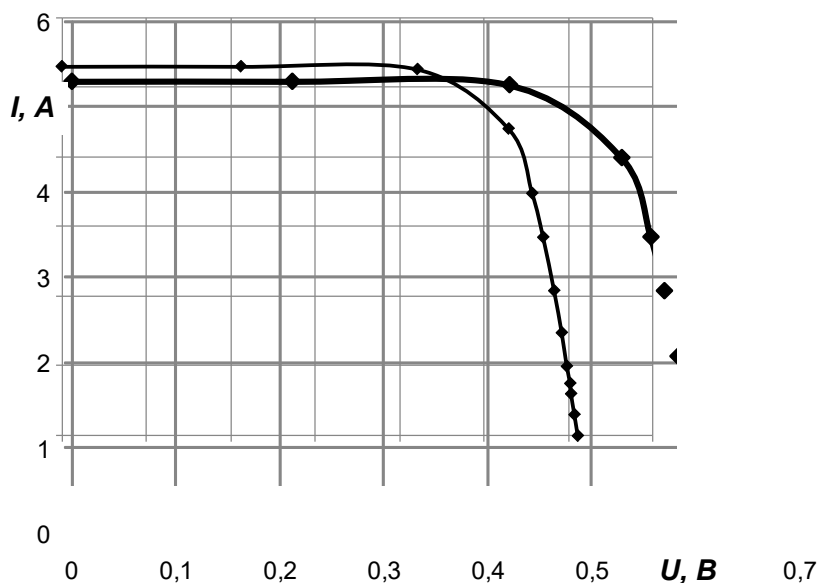


Рис. 3. ВАХ для ФЕП за результатами моделювання у «Multisim 11.0» і побудована за допомогою Microsoft Excel

для навчальних досліджень широкого спектра даних, наприклад залежності максимальної потужності і положення точки максимальної потужності залежно від величини послідовного та паралельного опорів. Також на основі наявної еквівалентної схеми одиничного ФЕП можна змодельовувати і дослідити сонячну батарею з декількох таких пристроїв, а також інші електронні вироби й елементи.

Висновки. Моделювання ЕСЗ у віртуальних програмних середовищах є важливим і зручним інженерним та дидактичним інструментом у навчанні STEM-дисциплін, оскільки дає змогу виявити, дослідити, математично точно описати властивості і врахувати процеси, що відбуваються у реальному елементі електричного кола. Важливою особливістю методик з використанням ЕСЗ є можливість проведення навчальних дослідницьких робіт, які не завжди можуть бути здійснені із застосуванням реальних електронних та електротехнічних пристроїв з реальними вимірювальними комплексами й обладнанням. Практика засвідчила також доцільність їх застосування в умовах дистанційного навчання, наприклад у вимушеній самоізоляції. Такі схеми для електронних компонентів можуть бути отримані як за допомогою

попередніх експериментальних досліджень, так і за паспортними даними виробу з відкритих джерел. Тому моделювання ЕСЗ, як це показано нами на прикладі ФЕП, може бути як доповненням до експериментальних досліджень, так і самостійним дослідженням, а планова лабораторна робота з використанням віртуальних симуляцій може бути розширена до навчального дослідження.

Можливості ФЕП як об'єкта навчальних досліджень (дидактичного засобу) можуть бути представлені за допомогою логічної схеми (рис. 5). ФЕП, як дидактичний засіб, може розглядатися в таких аспектах: виготовлення та дослідження зразків фотоперетворювачів, експериментальні дослідження серійних ФЕП або сонячних батарей, або дослідження ФЕП за еквівалентною схемою. Найбільш доступними для самостійного виготовлення учнями варіантами ФЕП є фотоелектрохімічні комірки Гретцеля¹ та мідно-закисні ФЕП². Серійні ФЕП і сонячні батареї входять до складу комплектів навчального обладнання як закордонних, так і вітчизняних виробників.

¹ https://en.wikipedia.org/wiki/Photoelectrochemical_cell

² https://www.photonics.com/EDU/copper_oxide_photo-cell/d3224

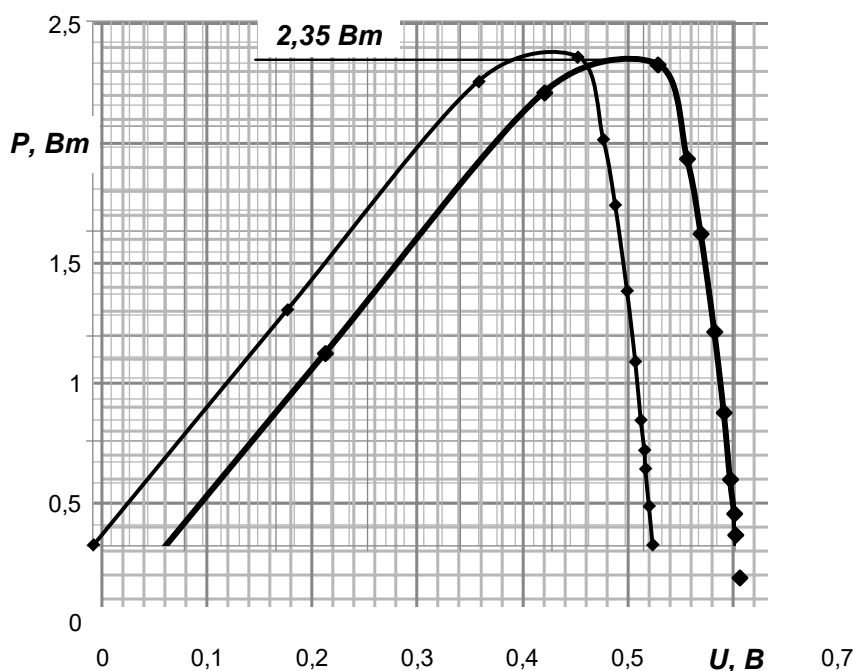


Рис. 4. Залежність потужності від напруги для ФЕП

У статті надано лише декілька прикладів дидактичного застосування ЕСЗ на основі використання пакета NI «Multisim». Зауважимо, що запропоновані навчально-дослідницькі роботи можуть бути виконані дистанційно, що виявилось дуже корисним для організації навчання в умовах вимушеної самоізоляції. Програмне середовище NI «Multisim» може використовуватися дистанційно, наприклад через одну з версій, встановлених у STEM-лабораторії «МАНЛаб». Віддалений доступ здійснюється за допомогою програми «Team Viewer» відповідно до графіка лабораторних робіт з використанням зазначеного інструментарію (stemua.science, 2018) [7]. Студенти або учні можуть створювати схеми на одній макетній платі, перебуваючи у віддаленому доступі, що оптимізує використання часу

в лабораторії. Окрім NI «Multisim» у дидактиці моделювання і дослідження простих ЕСЗ можуть бути застосовані також інші моделюючі програми, наприклад «EveryCircuit», яка є безплатною і адаптованою для роботи зі смартфонів та інших гаджетів. Надалі автори планують створити методичку дослідницької роботи із застосуванням моделювання та дослідження еквівалентної схеми ФЕП. Передбачається розвиток методики лабораторної роботи «Дослідження питання узгодження електричного навантаження з фотоелементом» у напрямі моделювання і дослідження, окрім ЕСЗ одиничного ФЕП, еквівалентної схеми сонячної батареї, зокрема визначення оптимального опору навантаження і порівняння результатів реального та віртуального експериментів.

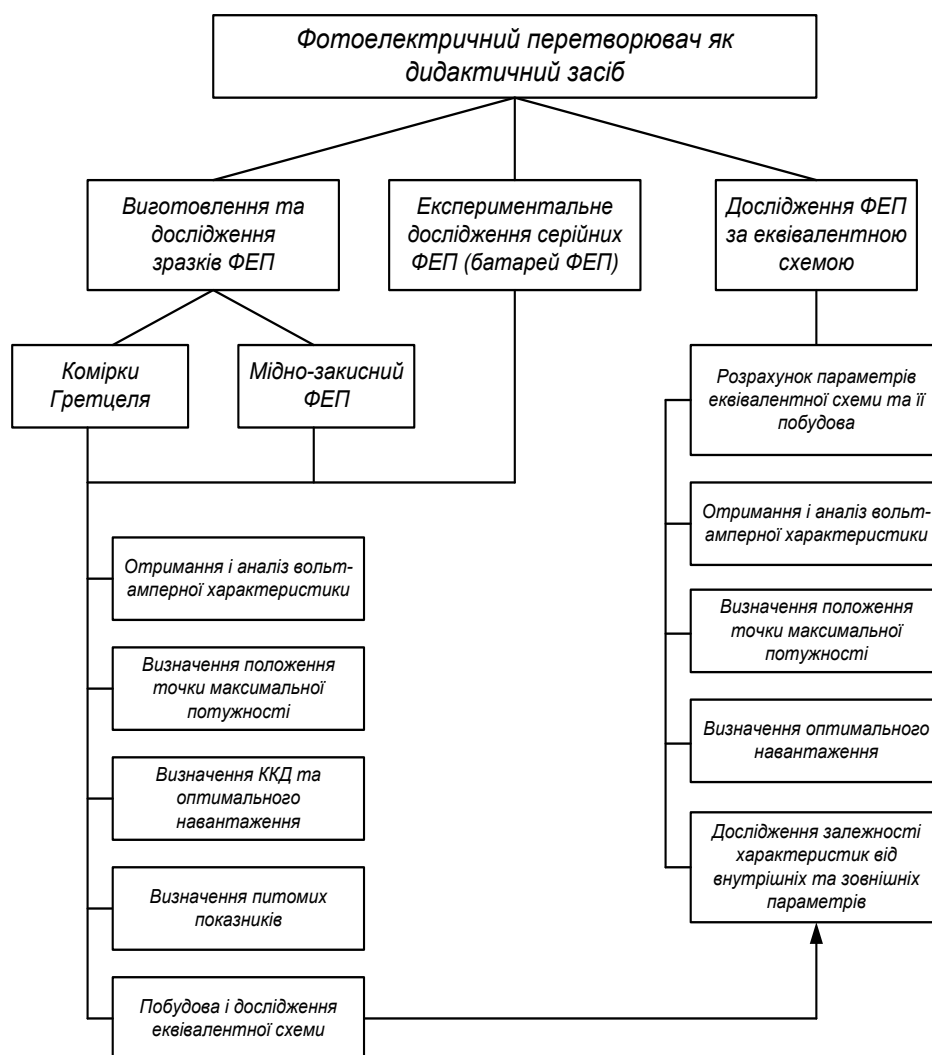


Рис. 5. ФЕП як дидактичний засіб

Список використаних джерел / References

- Noga, K. M., & Palczynska, B. (2018). The Simulation Laboratory Platform Based on Multisim for Electronic Engineering Education. 2018 International Conference on Signals and Electronic Systems (ICSSES), 269–274.
DOI: <https://doi.org/10.1109/icses.2018.8507313>
- Ptak, P. (2018). Application Of Multisim And LTspice Software Packages To Simulate The Operation Of Electronic Components As An Alternative To Measurements Of Real Elements. Society. Integration. Education. Proceedings of the International Scientific Conference, 5, 409.
DOI: <https://doi.org/10.17770/sie2018vol1.3120>
- Lyubomirov, S., Shehova, D., Asenov, S., & Raydovska, V. (2019). Engineering Education And Examination Of Electronic Circuits Using Multisim. ICERI2019 Proceedings.
DOI: <https://doi.org/10.21125/iceri.2019.1680>
- Srikanth, M., Kumar, S., Gireesh, N., Manideep, T., Harichandana, B., & Sangeetha, K. (2019). A Different way of Level measurement for PBL in Education of Students using NI–LabVIEW, Multisim and MyRIO. 2019 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT).
DOI: <https://doi.org/10.1109/i-pact44901.2019.8960023>
- Bodduna, Rajesh. (2019). A Study on Non-Linear Behavior of Memristor Emulator Using Multisim. 10.11591/ijeecs.v16.i3.pp.1213–1220.
DOI: <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v16.i3.pp.1213–1220>
- Chin, W. C., & Zhuang, X. (2020). Reservoir Simulation and Well Interference. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119283553.ch10>
- ManLab (n. d.). URL: <https://stemua.science> Date of application: April 29, 2020.
- Djalal, M. R., & Hr, H. (2019). Characteristic Test Of Transistor Based Multisim Software. PROtek : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, 6 (2), 63–68.
DOI: <https://doi.org/10.33387/protk.v6i2.1214>
- Johnson, D. (2014). Fundamentals of Electrical Engineering 1. URL: <http://legacy.cnx.org/content/col10040/1.9/>
- Meyer, E. L. (2017). Extraction of Saturation Current and Ideality Factor from Measuring Voc and Isc of Photovoltaic Modules. *International Journal of Photoenergy*, 2017, 1–9.
DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/8479487>
- Elkholy, A., & El-Ela, A. A. (2019). Optimal parameters estimation and modelling of photovoltaic modules using analytical method. *Heliyon*, 5 (7).
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02137>
- Sabadus, A., Mihailetchi, V., & Paulescu, M. (2017). Parameters extraction for the one-diode model of a solar cell. *AIP Conference Proceedings*, 1916, 040005–1–040005–2.
DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5017444>
- Yadav, E. S., Rajesh, B., Srinivasan, C. R., & Kalyan, P. S. (2019). A Study on Non-Linear Behavior of Memristor Emulator Using Multisim. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 16 No. 3, 1213–1220.
DOI: <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v16.i3.pp.1213–1220>

A. I. Atamas,
I. A. Slipukhina,
I. S. Chernetchkyi,
Yu. S. Shykhovtsev

VIRTUAL ENVIRONMENTS FOR THE DESIGN OF ELECTRONIC DEVICES AS A MEANS OF INSTRUMENTAL DIGITAL DIDACTICS

Abstract. Instrumental digital didactics reflects the application to education of various digital means of obtaining, processing and interpreting experimental data in accordance with the logic of the scientific method and engineering design. An important component of a modern STEM-oriented educational environment is innovative software products for modelling and simulation of electronic circuits. In educational research projects on their basis, the parameters of the components of electrical circuits created in virtual environments are compared with the technical characteristics of similar devices available for sale. This technique allows not only to demonstrate the similarities and differences of idealized and real artifacts, to identify sources and magnitude of possible errors, but also to obtain electrical characteristics sufficient to build equivalent schemes for substituting devices without prior experimental research. The proposed approach is demonstrated on the example of studying the parameters of a device of current interest — a photoelectric converter (determining the point of its maximum power and the fill factor). Learning by means of using equivalent substitution schemes demonstrates one of the variants of the engineering design process to students. In addition, the proposed method, due to the possibility of development from an algorithmic training procedure to engineering research, allows for an individual approach to the teaching of electrical engineering and electronics. Research of didactic features of the study of electricity and the basics

of electronics, in particular with the use of NI “Multisim 11.0”, is one of the activities of the STEM-laboratory of “MANLab” of National centre “Junior academy of sciences of Ukraine”. Some of the tested methods are designed as a workbook and placed in free access in the form of instructions on the online resource stemua.science.

Keywords: equivalent circuit, “Multisim”, instrumental digital didactics, STEM, photovoltaic converter.

А. И. Атамась,
И. А. Слипихина,
И. С. Чернецкий,
Ю. С. Шиховцев

ВИРТУАЛЬНЫЕ СРЕДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ КАК СРЕДСТВО ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ЦИФРОВОЙ ДИДАКТИКИ

Аннотация. Инструментальная цифровая дидактика отражает использование в учебном процессе различных цифровых средств получения, сопровождающееся обработкой и интерпретацией данных натурного эксперимента в соответствии с логикой научного метода и инженерного дизайна. Важной составляющей современной STEM-ориентированной образовательной среды являются инновационные программные продукты для моделирования и симуляции работы электронных схем. В учебных исследованиях на их основе параметры компонентов электрических цепей, созданных в виртуальных средах, сравнивают с техническими характеристиками аналогичных устройств, имеющихся на рынке соответствующей продукции. Такая методика позволяет не только продемонстрировать сходство и отличия свойств идеализированных и реальных артефактов, выявить источники и величину возможных погрешностей, но и получить электрические характеристики, достаточные для построения эквивалентных схем замещения девайсов без проведения предварительных экспериментальных исследований. Предложенный подход продемонстрирован на примере изучения параметров актуального девайса — фотозлектрического преобразователя (определение точки его максимальной мощности, а также коэффициента заполнения). Обучение с использованием эквивалентных схем замещения демонстрирует студентам один из вариантов процесса инженерного дизайна. Кроме того, предлагаемая методика, благодаря возможности развития от алгоритмизированной учебной процедуры до инженерного исследования, позволяет осуществить индивидуальный подход в обучении электротехники и электроники. Исследование дидактических особенностей изучения электричества и основ электроники, в частности с применением «NI Multisim 11.0», является одним из направлений в деятельности STEM-лаборатории «МАНЛаб» Национального центра «Малая академия наук Украины». Часть апробированных методик оформлена в виде рабочей тетради и размещена в свободном доступе в виде инструкций на онлайн-ресурсе stemua.science.

Ключевые слова: эквивалентные схемы замещения, «Multisim», инструментальная цифровая дидактика, STEM, фотозлектрический преобразователь.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Атамась Артем Іванович — канд. техн. наук, науковий співробітник лабораторії створення навчально-тематичних систем знань, НЦ «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, art.atamas@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8709-3208>

Сліпихіна Ірина Андріївна — д-рка пед. наук, професорка, провідна наукова співробітниця відділу створення навчально-тематичних систем знань, НЦ «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, slipukhina2015@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9253-8021>

Чернецкий Ігор Станіславович — канд. пед. наук, завідувач відділу створення навчально-тематичних систем знань НЦ «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, manlabkiev@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9771-7830>

Шиховцев Юрій Сергійович — провідний інженер відділу створення навчально-тематичних систем знань, НЦ «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, yushykh@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7000-7003>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Atamas A. I. — PhD in Engineering, Research Scientist of the Department for Creating Educational and Thematic Knowledge Systems, NC “Junior academy of sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine, art.atamas@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8709-3208>

Slipukhina I. A. — D. Sc. in Pedagogy, Professor, Leading Research Scientist of the Department for Creating Educational and Thematic Knowledge Systems, NC “Junior academy of sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine, slipukhina2015@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9253-8021>

Chernetckyi I. S. — PhD in Pedagogy, Head of the Department for Creating Educational and Thematic Knowledge Systems, NC “Junior academy of sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine, manlabkiiev@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9771-7830>

Shykhovtsev Yu. S. — Leading Engineer of the Department for Creating Educational and Thematic Knowledge Systems, NC “Junior academy of sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine, yushykh@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7000-7003>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Атамась А. И. — канд. техн. наук, научный сотрудник лаборатории создания учебно-тематических систем знаний, НЦ «Малая академия наук Украины», г. Киев, Украина, art.atamas@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8709-3208>

Слипухина И. А. — д-р пед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела создания учебно-тематических систем знаний, НЦ «Малая академия наук Украины», г. Киев, Украина, slipukhina2015@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9253-8021>

Чернецкий И. С. — канд. пед. наук, заведующий отделом создания учебно-тематических систем знаний, НЦ «Малая академия наук Украины», г. Киев, Украина, manlabkiiev@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9771-7830>

Шиховцев Ю. С. — ведущий инженер отдела создания учебно-тематических систем знаний, НЦ «Малая академия наук Украины», г. Киев, Украина, yushykh@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-7000-7003>

Стаття надійшла до редакції / Received 16.06.2020