

УДК 537.3+004+37.016:53

Воронкін О. С.

ВІРТУАЛЬНИЙ ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ «ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ»

Статтю присвячено методичній розробці лабораторних робіт фізичного практикуму в середовищі імітаційного моделювання та аналізу електронних схем NI Multisim, з метою напрацювання практичних ідей по реалізації STEM-орієнтованої освіти в загальноосвітніх навчальних закладах України. Запропоновано комплекс із дев'яти робіт з розділу фізики «Електричний струм», який націлено на оновлення змісту освіти в світлі декларованих інноваційних принципів Нової української школи. Методична розробка може використовуватися вдома в процесі підготовки учнів до очного заняття, в класі під час виконання лабораторних і (або) практичних робіт. Особливу увагу акцентовано на необхідності поєднання віртуального і натурального практикумів, завдяки чому учні зможуть досліджувати теоретичні дані моделювання з реальними процесами та отримувати інтегровані знання.

***Ключові слова:** Нова українська школа, STEM-освіта, середовище імітаційного моделювання, електричний ланцюг.*

Постановка проблеми. Інтерес підростаючого покоління до розробки різноманітних електронних пристроїв (Arduino) і програмованих робототехнічних конструкторів (Lego) вказує на педагогічну доцільність застосування STEM-підходів у навчанні, зокрема при вивченні розділу фізики «Електричний струм». Враховуючи те, що лабораторне обладнання у багатьох школах України є застарілим, традиційний лабораторний практикум доцільно доповнити віртуальним. Такий підхід дозволяє на новому рівні досліджувати

електричні кола постійного і змінного струму, резонансні явища, вивчати вольт-амперні характеристики діодів і транзисторів, тобто моделювати ті процеси, які з будь-яких причин складно відтворити наживо [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Над проблемами методичного забезпечення змісту фізики міжпредметним спрямуванням працювало багато дослідників і педагогів-новаторів, серед яких М. Блудов, А. Глазунов, Ю. Дік, В. Ільченко, І. Кікоїн, К. Корсак, М. Купрін, Л. Ландау, Я. Перельман, О. Сергєєв, В. Шарко, М. Тульчинський. Практичні аспекти використання програмних засобів для комп'ютерного моделювання у навчанні фізики досліджували І. Богданов [2], Ю. Єфименко [3], А. Касперський [4], О. Мартинюк [5] та інші.

Проблема створення лабораторного практикуму із застосуванням середовищ імітаційного моделювання, на наш погляд, залишається недостатньо розробленою під кутом зору STEM-освіти.

Метою дослідження є вирішення вказаної проблеми шляхом розробки віртуального практикуму з розділу фізики «Електричний струм» на основі середовища моделювання NI Multisim (ver. 14.0).

Мета практикуму: 1) отримати навички роботи у середовищі проектування та імітаційного моделювання електронних схем (на прикладі NI Multisim); 2) сформувані достатнє уявлення про закони постійного струму, електричні ланцюги, основні методи аналізу і розрахунку цих ланцюгів.

Виклад основного матеріалу. Multisim – це середовище автоматизованого проектування та імітаційного моделювання електронних схем з базою даних біля 2000 SPICE-моделей елементів (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) від провідних виробників (Analog Devices, Linear Technology, Phillips, Texas Instruments та ін.).

У Multisim передбачено режим взаємодії з середовищем LabVIEW, що дозволяє в перспективі створювати віртуально-натурні практикуми. Все це вказує на значні переваги використання Multisim у STEM-практикумах. У даній

публікації розглянемо методичні особливості організації віртуального практикуму «Електричний струм», призначеного для учнів середньої школи, що складається із дев'яти робіт, побудованих у середовищі Multisim:

- ✓ Дослідження закону Ома для ділянки кола;
- ✓ Вимірювання внутрішнього опору джерела струму;
- ✓ Дослідження електричних кіл постійного струму;
- ✓ Визначення роботи та потужності електричного струму;
- ✓ Вимірювання вольт-амперної характеристики напівпровідникового діода;
- ✓ Дослідження електричного кола з напівпровідниковим діодом;
- ✓ Дослідження мостової схеми напівпровідникового випрямляча;
- ✓ Біполярний транзистор у ключовому режимі;
- ✓ Вимірювання вольт-амперної характеристики біполярного транзистора.

Хочемо зазначити, що більшість з цих робіт з певною модернізацією можна реалізувати і в інших системах імітаційного моделювання, зокрема онлайн-середовищах і веб-лабораторіях (табл. 1).

Таблиця 1

Перелік найбільш популярних безкоштовних онлайн- середовищ та веб-лабораторій для створення і моделювання електронних схем

Програмний застосунок	Стислий опис	Веб-адреса
<i>123D Circuits</i>	<i>симулятор</i>	<i>https://circuits.io</i>
<i>Multisim Live</i>	<i>симулятор</i>	<i>https://www.multisim.com</i>
<i>EasyEDA</i>	<i>симулятор</i>	<i>https://easyeda.com</i>
<i>DcAcLab</i>	<i>Симулятор (безкоштовний режим обмежено окремими функціями моделювання)</i>	<i>https://dcaclab.com</i>
<i>simulator.io</i>	<i>симулятор цифрової логіки</i>	<i>https://simulator.io</i>
<i>Scheme-It</i>	<i>інструмент для створення електричних схем</i>	<i>https://www.digikey.com/schemeit</i>

Робота № 1. Дослідження закону Ома для ділянки кола

Мета роботи: дослідити залежність сили струму від прикладеної напруги, підтвердити дослідним шляхом справедливність закону Ома для ділянки кола.

Учні запускають програму NI Multisim, знаходять на панелі компонентів віртуальні елементи – джерело напруги постійного струму, ключ, резистор, вольтметр, амперметр і розміщують їх на робочому полі програми.

За допомогою миші елементи з'єднуються провідниками (рис. 9).

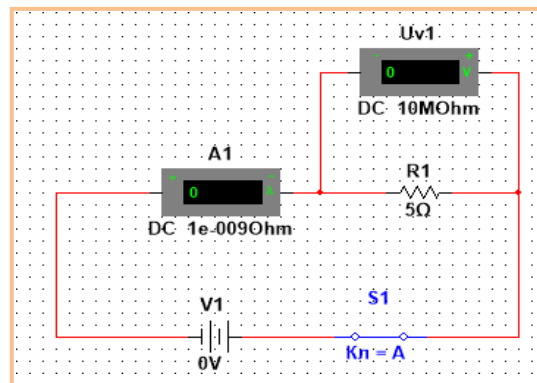


Рис. 9. Дослідження закону Ома для ділянки кола

Напруга джерела живлення V1 встановлюється на рівні 0 В. При замкненому ключі S1, учні включають режим моделювання (симуляції) та здійснюють вимірювання сили струму і напруги. Результати вимірювань заносять до табл. 2. Напругу джерела живлення слід збільшувати на 1 В і записувати відповідні значення сили струму.

Таблиця 2

Дані для побудови залежності сили струму від прикладеної напруги

Напруга U, В	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сила струму I, А	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0

За результатами таблиці учні будують графік залежності сили струму від прикладеної напруги і роблять висновки.

Робота № 2. Вимірювання внутрішнього опору джерела струму

Мета роботи: Виміряти внутрішній опір джерела струму.

Учні отримують файл із зібраною схемою електричного кола (рис. 10).

Далі запускають режим моделювання (симуляції).

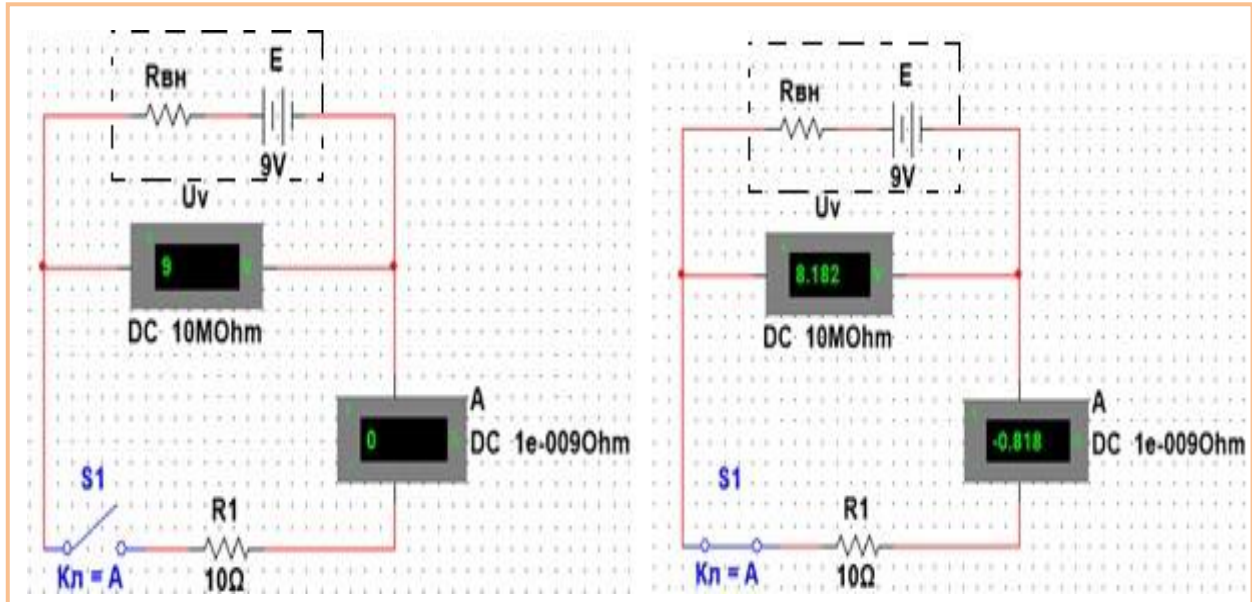


Рис. 10. Вимірювання внутрішнього опору джерела струму

Поки ключ S1 розімкнений, джерело струму замкнуте на вольтметр U_V , опір якого є в багато разів більшим за внутрішній опір джерела струму ($R_{UV} \gg R_{BH}$), отже похибка вимірюваної ЕРС (E) не проявляється, тому $U_V = E = 9,000 \text{ В}$.

Внутрішній опір джерела струму учні вимірюють посереднім способом, знявши покази з амперметра і вольтметра при замкнутому ключі. Із закону Ома для замкненого кола маємо: $I = \frac{E}{R_1 + R_{BH}} \Rightarrow R_{BH} = \frac{E - I \cdot R_1}{I}$, де $I \cdot R_1$ – напруга в зовнішньому колі, отже $R_{BH} = \frac{E - U_V}{I} = \frac{9,000 - 8,182}{0,818} = 1 \text{ Ом}$.

Роботу доцільно доповнити аналогічним натурним практикумом – в якості джерела струму ми використовуємо батарейку типу “Крона”, що вже була у використанні, два цифрових мультиметра, резистор 10 Ом , провідники. З рис.

11 бачимо, що $R_{BH} = \frac{E - U_V}{I} = \frac{8,53 - 3,34}{0,33} = 15,72 \text{ Ом}$.



Рис. 11. Вимірювання внутрішнього опору батарейки – доповнення віртуального практикуму натурним

Робота № 3. Дослідження електричних кіл постійного струму

Мета роботи: закріплення теоретичних знань, одержання практичних навичок розрахунку і експериментального дослідження електричних кіл постійного струму для послідовного, паралельного та змішаного з'єднання резисторів.

3.1. Коло з паралельним з'єднанням резисторів. Для кола з паралельним з'єднанням резисторів $R_1=100$ Ом і $R_2= 10$ Ом (рис. 12) при напрузі $U=20$ В слід визначити струм джерела I і струми I_1 і I_2 у гілках.

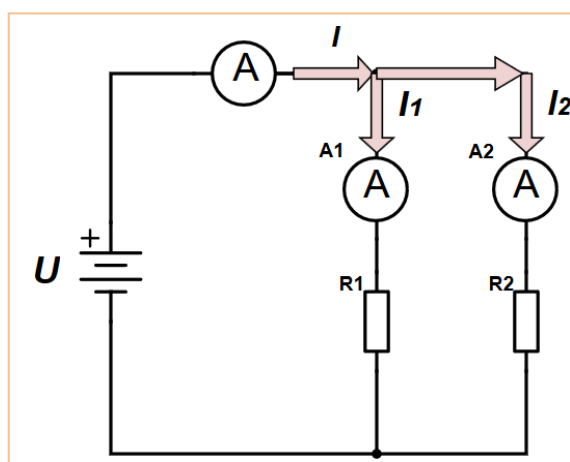


Рис. 12. Коло з паралельним з'єднанням резисторів

У результаті розрахунків отримаємо:

$$R_{\text{екв}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{100 \cdot 10}{100 + 10} = 9,09 \text{ Ом};$$

$$I = \frac{U}{R_{\text{вх}}} = \frac{20}{9,09} = 2,2 \text{ А}; \quad I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{20}{100} = 0,2 \text{ А}; \quad I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{20}{10} = 2 \text{ А}.$$

Після проведення розрахунків учні збирають схему в середовищі Multisim, включають режим моделювання, порівнюють результати розрахунків з результатами вимірювань (рис. 13) і роблять висновки.

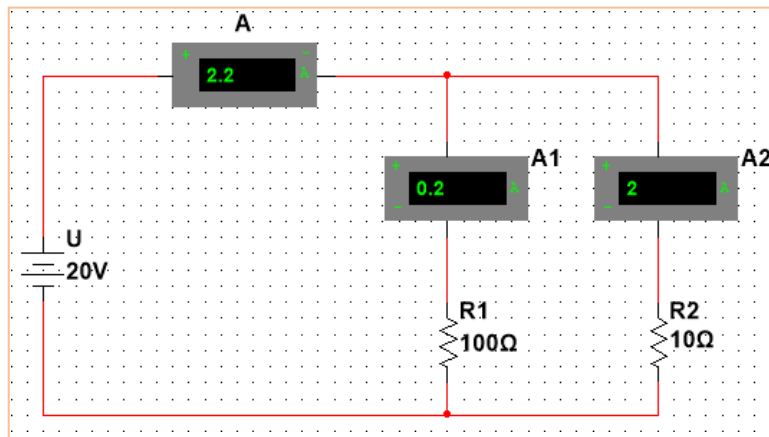


Рис. 13. Моделювання електронної схеми в Multisim

3.2. Коло зі змішаним (послідовно-паралельним) з'єднанням резисторів. Для заданого кола на рис. 14 учні мають по варіантах визначити покази амперметрів $A1$, $A2$, $A3$ і падіння напруги на резисторах $R1$, $R2$, $R3$. Розглянемо приклад для напруги джерела напруги постійного струму $U=20 \text{ В}$:

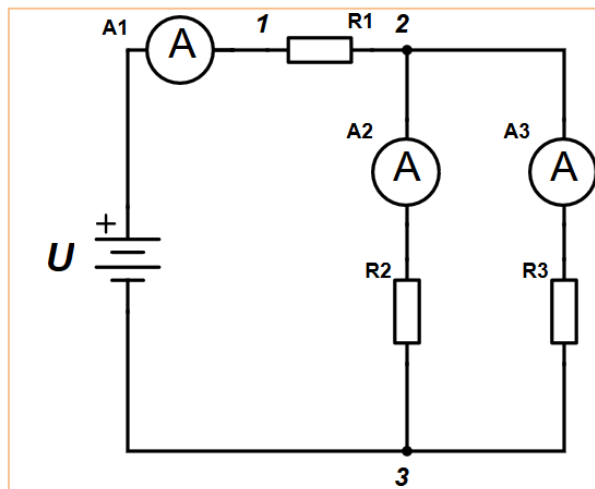


Рис. 14. Коло зі змішаним з'єднанням резисторів

У результаті розрахунків отримаємо таке:

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{60 \cdot 20}{60 + 20} = 15 \text{ Ом}; R_{\text{екв}} = R_1 + R_{23} = 10 + 15 = 25 \text{ Ом}.$$

$$I_1 = \frac{U}{R_{\text{екв}}} = \frac{20}{25} = 0,8 \text{ А};$$

$$U_{12} = I_1 \cdot R_1 = 0,8 \cdot 10 = 8 \text{ В};$$

$$U_{23} = I_1 \cdot R_{23} = 0,8 \cdot 15 = 12 \text{ В (також напругу можемо знайти як } U_{23} = U -$$

$$U_1 = 20 - 8 = 12 \text{ В});$$

$$I = \frac{U_{23}}{R_2} = \frac{12}{60} = 0,2 \text{ А};$$

$$I = \frac{U_{23}}{R_3} = \frac{12}{20} = 0,6 \text{ А}$$

Тепер учні збирають схему в середовищі Multisim, проводять моделювання схеми та порівнюють отримані результати з результатами розрахунків (рис. 15).

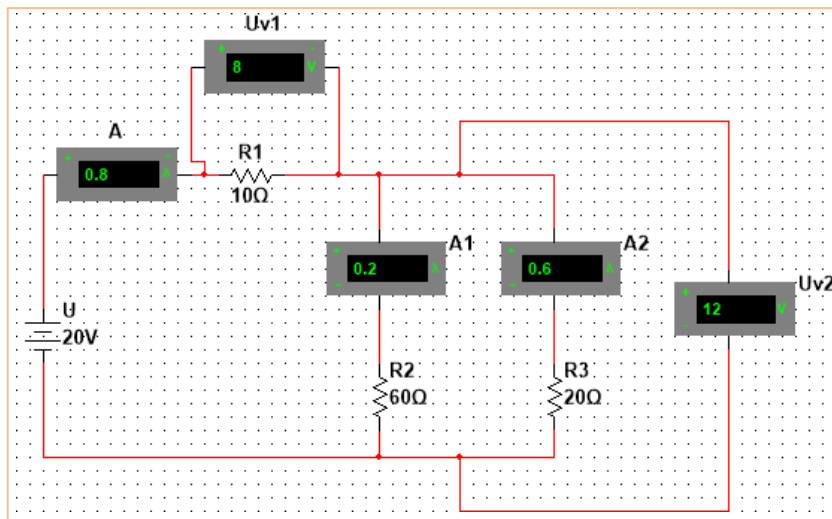


Рис. 15. Моделювання електронної схеми в Multisim

3.3. Комп'ютерне моделювання як засіб розв'язання фізичної задачі.

Вважаємо за доцільне використовувати на уроках Multisim як доповнення до теоретичного розв'язку окремих задач. На нашу думку, це підвищуватиме активізацію і зацікавленість учнів. Розглянемо приклад. Для кола зі змішаним з'єднанням резисторів (рис. 16) потрібно експериментально визначити силу

струму в кожному з резисторів. Напруга між точками *A* і *B* дорівнює 12 В , а номінали резисторів $R_1=R_2=8\text{ Ом}$, $R_3=10\text{ Ом}$, $R_4=6\text{ Ом}$, $R_5=3\text{ Ом}$, $R_6=6\text{ Ом}$ [6, с. 38] Учні збирають схему в Multisim, вмикають режим симуляції та отримують відповіді (рис. 17).

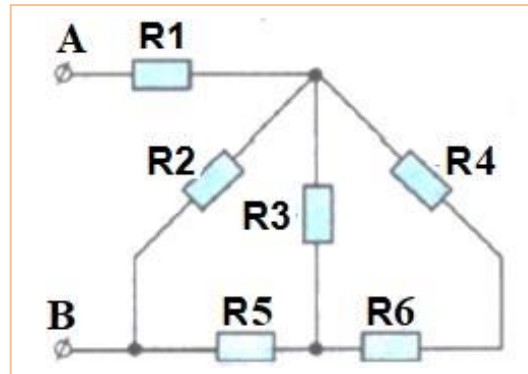


Рис. 16. Коло зі змішаним з'єднанням резисторів

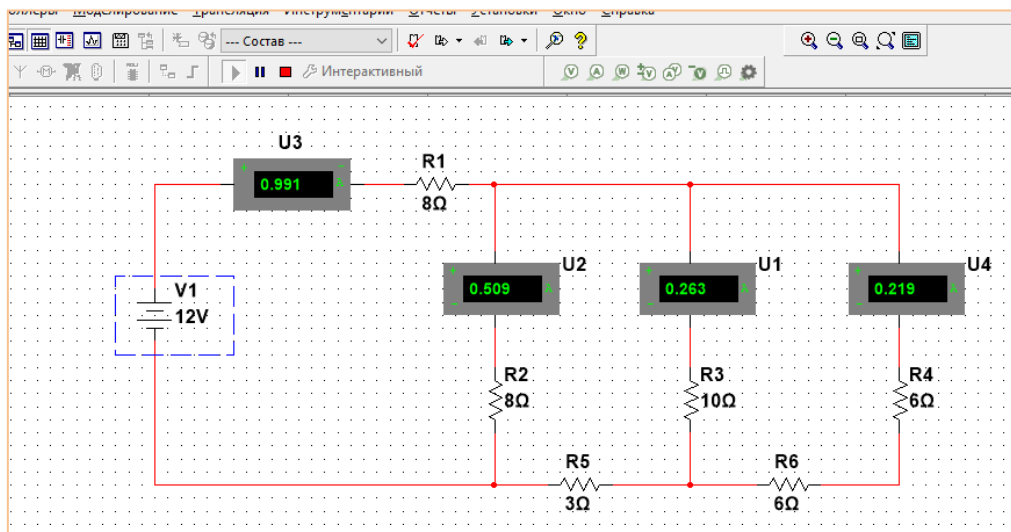


Рис. 17. Комп'ютерна модель електронної схеми в Multisim

Робота № 4. Визначення роботи та потужності електричного струму

Мета роботи: визначити роботу і потужність струму на ділянці кола.

Учні отримують файл з електронною схемою, зображеною на рис. 18 та включають режим симуляції.

Учні обчислюють роботу електричного струму за 30 хв.

$$A = UIt = 12,000 \cdot 2,083 \cdot 1800 = 44,993 \text{ кДж},$$

$$\text{де } t = 30 \text{ хв} = 1800 \text{ с}.$$

Далі визначають потужність лампи.

$$P = UI = 12,000 \cdot 2,083 = 24,996 \text{ Вт}$$

Результат записують в табл. 3.

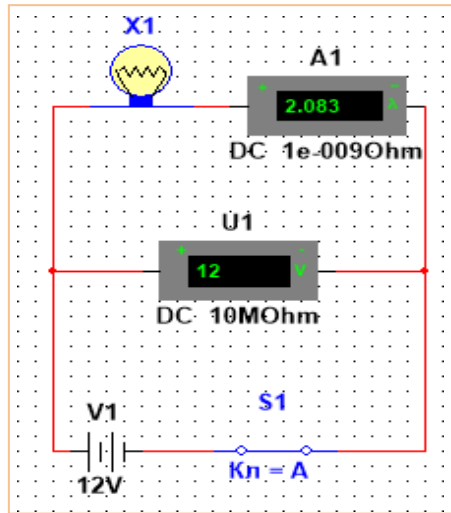


Рис. 18. Визначення роботи та потужності електричного струму

Таблиця 3

Результати вимірювань

Напруга U, В	Сила струму I, А	Робота струму А, кДж	Потужність лампи P, Вт
12,000	2,083	44,993	24,996

Робота № 5. Вимірювання вольт-амперної характеристики (ВАХ) напівпровідникового діода

Мета роботи: зняти ВАХ напівпровідникового діода.

Для вимірювання прямої гілки ВАХ кремнієвого діода 1N914 учні збирають схему, що наведена на рис. 19, а. Послідовно збільшуючи значення прямого струму I_{np} діода, що задається джерелом струму I (0-10 мА), учні заносять значення напруги U_{np} і струму I_{np} діода в табл. 4.

Далі слід зняти зворотну характеристику діода 1N914, для чого учні збирають схему, зображену на рис. 19, б. Послідовно встановлюючи ЕРС джерела напруги від 0 В до 50 В, вони заносять значення струму $I_{зв}$ і напруги $U_{зв}$ до табл. 5.

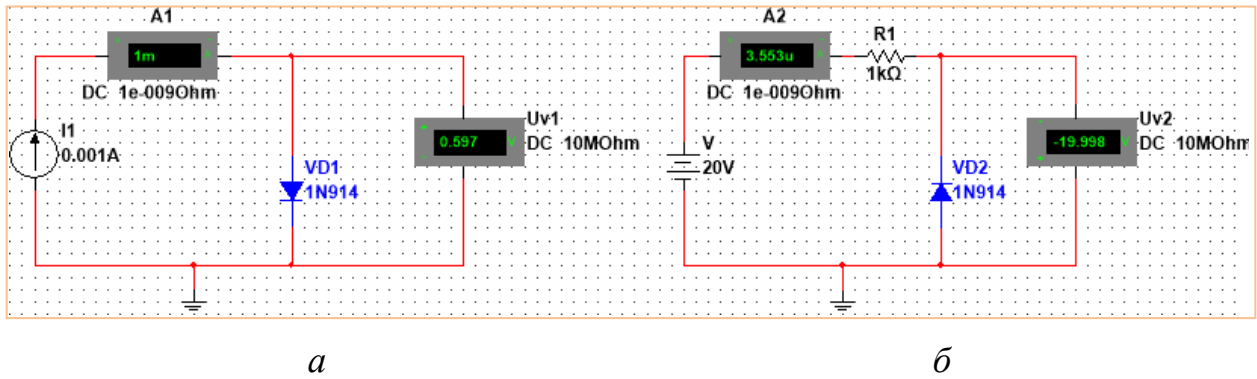


Рис. 19. Схеми для зняття VAX діода $1N914$: a – пряме включення, $б$ – зворотнє включення

Таблиця 4

Результати вимірювань при прямому включенні діода (на анод подається «плюс»)

I_{np} (мА)	0	0,1	0,50	1,00	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	14,00	16,00	18,00
U_{np} (В)	0	0,54	0,57	0,59	0,62	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69	0,70

Таблиця 5

Результати вимірювань при зворотньому включенні діода (на анод подається «мінус»)

EPC V (В)	0	2,00	5,00	10,00	20,00	35,00	40,00	50,00
U_{zv} (В)	0	-2,00	-4,99	-9,99	-19,99	-34,99	-39,99	-49,99
I_{zv} (мкА)	0	0,22	0,89	1,78	3,55	7,10	7,11	7,11

За отриманими точками (табл. 4 і табл. 5) будуємо пряму $I_{np}(U_{np})$ і зворотню $I_{zv}(U_{zv})$ гілку VAX (рис. 20). Робимо висновки.

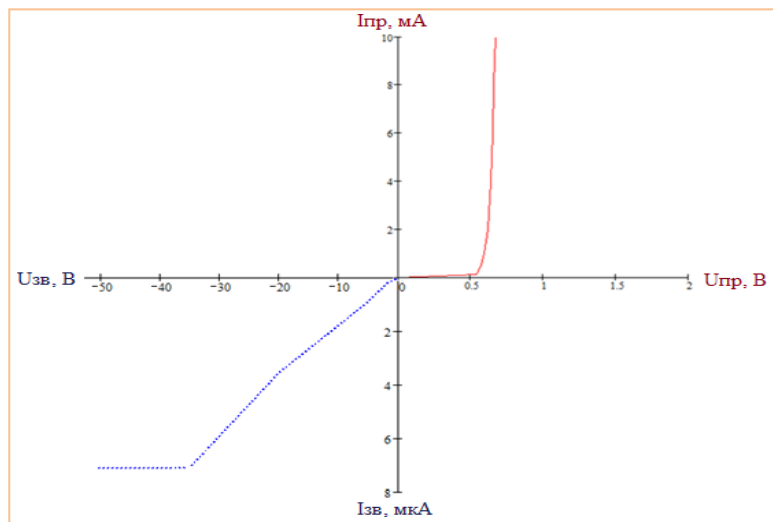


Рис. 20. VAX діода $1N914$, яку побудовано за допомогою системи Mathcad

Робота № 6. Дослідження електричного кола з напівпровідниковим діодом

Мета роботи: дослідити особливості роботи напівпровідникового діода в колі *постійного та змінного струму*.

6.1. Принцип дії напівпровідникового діода в колі постійного струму.

Учні складають електричне коло за схемою, яку зображено на рис. 21 та звертають увагу на світіння лампочки під час першого та другого положення перемикача. Роблять висновок як пов'язані між собою світіння лампочки і полярність підключення джерела напруги постійного струму до *p-n* переходу.

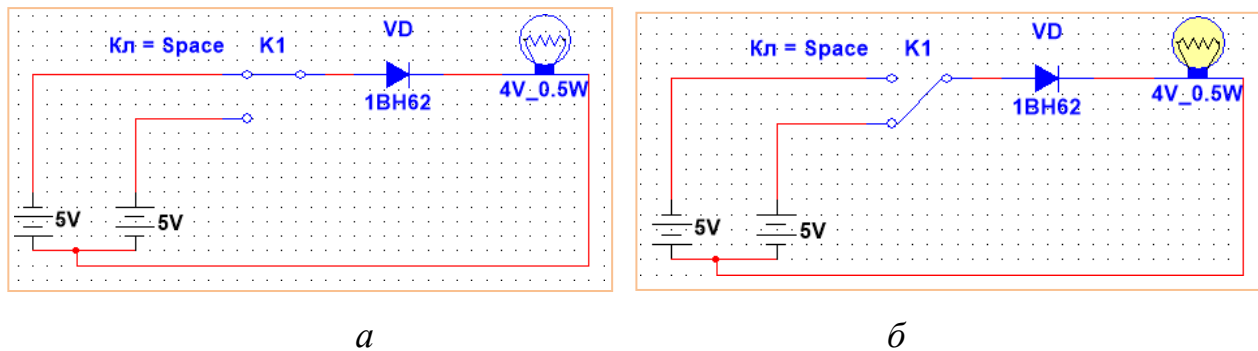


Рис. 21. Дослідження принципу дії напівпровідникового діода в колі *постійного струму*: а – лампочка не світиться, б – лампочка світиться

6.2. Принцип дії напівпровідникового діода в колі змінного струму.

Учні складають електричне коло за схемою, зображеною на рис. 22. Генератор *V* виробляє синусоїдальну напругу частотою 5 Гц. Протягом позитивних напівперіодів змінної напруги діод *VD1* виявляється включеним в прямому напрямку, опір його стає дуже невеликим і через лампочку протікає струм. Протягом негативних напівперіодів діод *VD1* виявляється під'єднаним у зворотному напрямку, його опір стає великим, в результаті чого струм, що протікає через діод і лампочку, виявляється досить малим, отже, вона не світиться. Таким чином, через лампочку протікає пульсуючий струм. Тепер учні змінюють полярність увімкнення діода, включають режим симуляції, отримують нову осцилограму і роблять відповідні висновки.

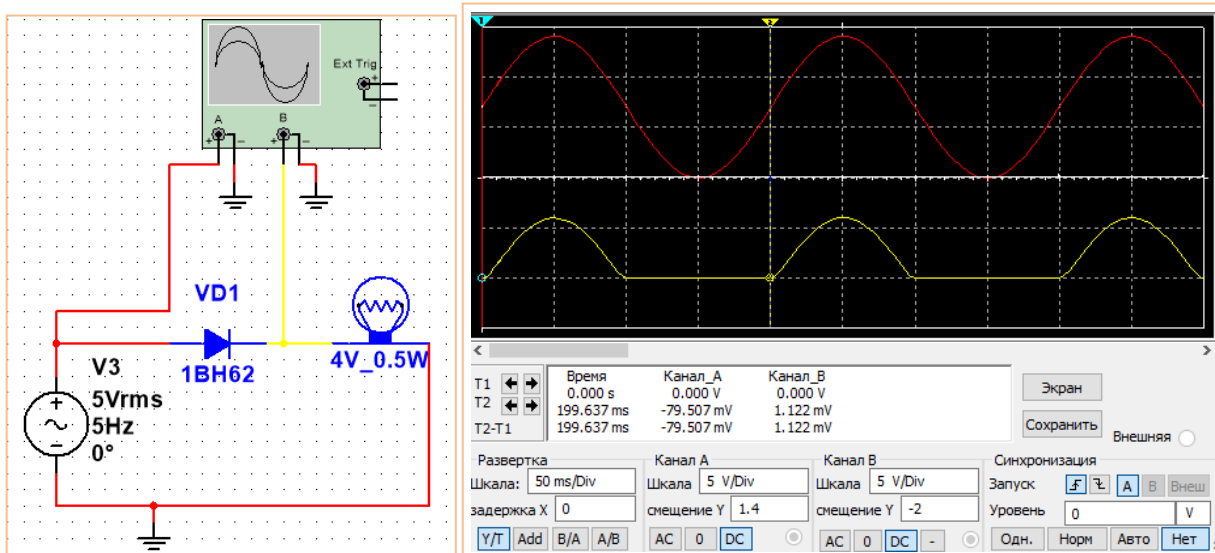


Рис. 22. Дослідження принципу дії напівпровідникового діода в колі змінного струму

Робота № 7. Дослідження мостової схеми напівпровідникового випрямляча

Мета роботи: практичне вивчення принципу дії мостового двопівперіодного випрямляча.

Спочатку учні мають зрозуміти, що змінний струм використовується в електричних мережах більшості промислових і побутових споживачів. Однак побутова техніка та інші електричні пристрої, основою яких служать мікропроцесори і мікросхеми, для живлення електроніки потребують постійний струм. Випрямлячі й виконують роль перетворювача змінного вхідного електричного струму в постійний вихідний електричний струм.

Схемотехно виокремлюють такі типи випрямлячів: 1) напівперіодний (див. роботу 6.2); 2) з нульовим виводом трансформатора; 3) мостова схема (складається з чотирьох діодів). Більш детально зупинимося на принципі дії мостової схеми, поданої на рис. 23.

Протягом першого напівперіоду напруга мережі є такою, що потенціал точки *a* вище потенціалу точки *b*. Тоді від точки *a* струм буде проходити через діод *VD1* до точки *z*, далі через навантаження *R_n* до точки *б* і через діод *VD3* до точки *в*. У цей час діоди *VD2* і *VD4* є «закритими».

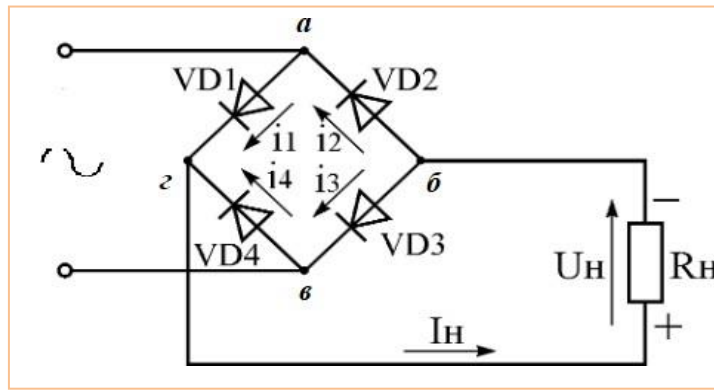


Рис. 23. Схема двопівперіодного мостового випрямляча

Протягом наступного півперіоду, коли потенціал точки **в** вище потенціалу точки **а**, струм від точки **в** буде проходити через діод **VD4**, навантаження R_n і діод **VD2** до точки **а**. У цей час діоди **VD1** і **VD3** є «закритими».

У будь-який півперіод струм через навантажувальний резистор R_n проходить в одному напрямку.

Тепер в Multisim збираємо схему (рис. 24), що складається з джерела змінного струму (амплітуда 220 В, частота 50 Гц), понижуючого трансформатора з коефіцієнтом трансформації 10, мостової схеми з чотирьох напівпровідникових діодів **VD1-VD4** (1ВН62), навантажувального резистора R_n (1 кОм) та осцилографа.

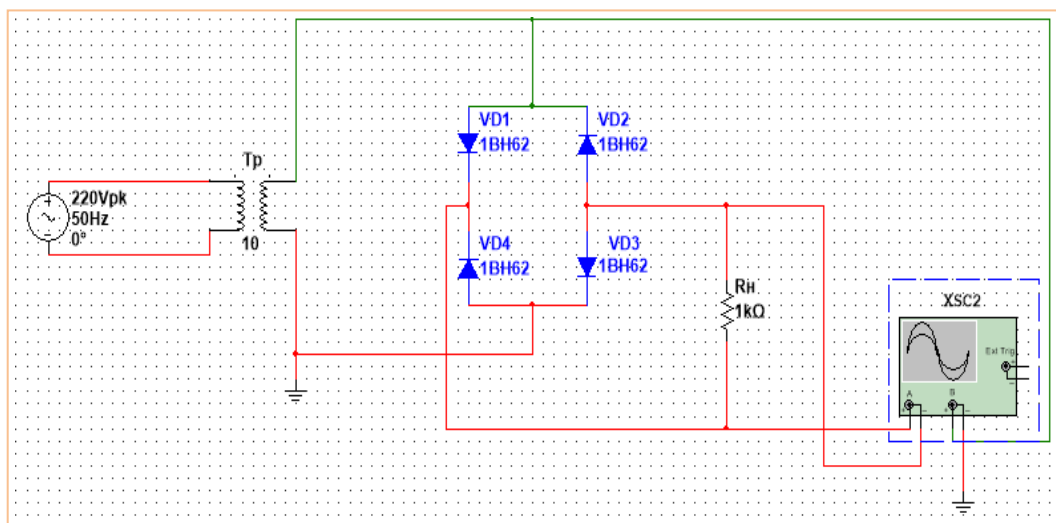


Рис. 24. Однофазна мостова схема випрямляча

Режим моделювання дозволяє отримати часові діаграми напруг двопівперіодного випрямляча (рис. 25).

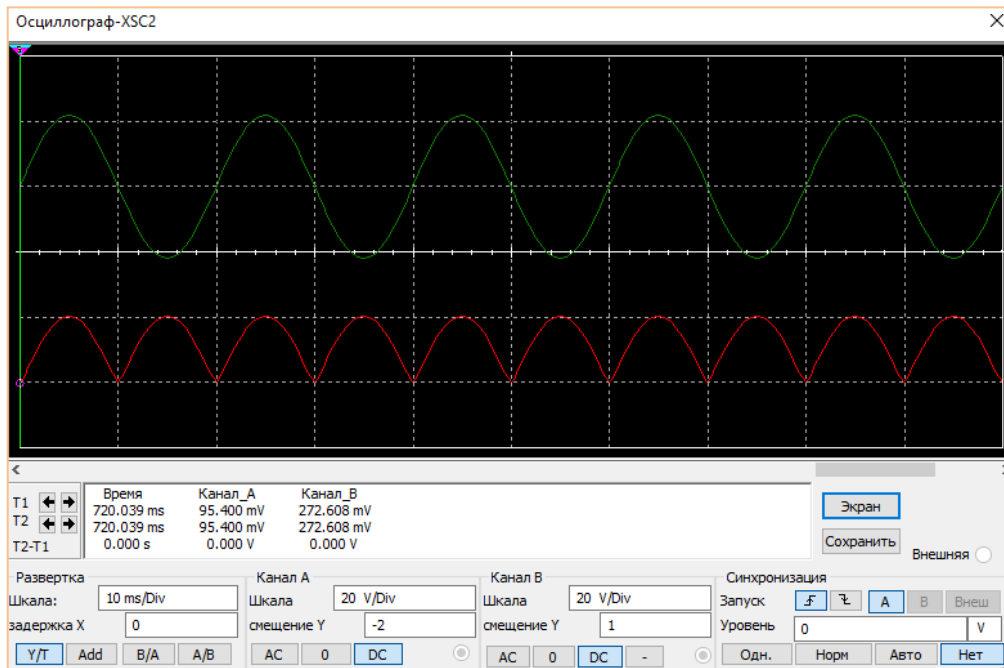


Рис. 25. Часові діаграми напруги на вході (зелений колір) і виході (червоний колір) двопівперіодного випрямляча у режимі моделювання електронної схеми

Тепер паралельно навантажувальному резистору R_n під'єднаємо конденсатор $C1$ (рис. 26), номінал якого будемо змінювати від 20 мкф до 100 мкФ, спостерігаючи за тим, як змінюється форма напруги на виході випрямляча. Як приклад на рис. 27 наведено осцилограму вихідної напруги при $C1=20$ мкФ.

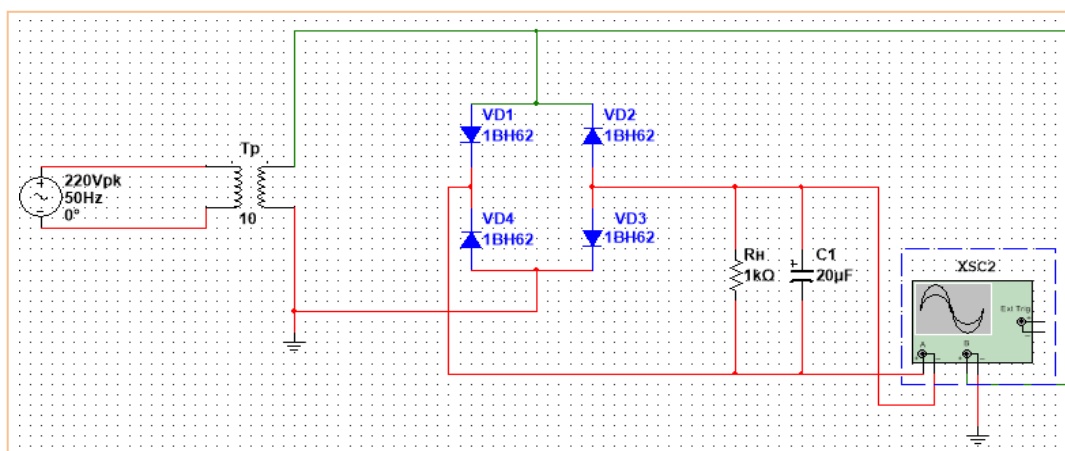


Рис. 26. Модернізована мостова схема випрямляча (з найпростішим ємнісним фільтром)

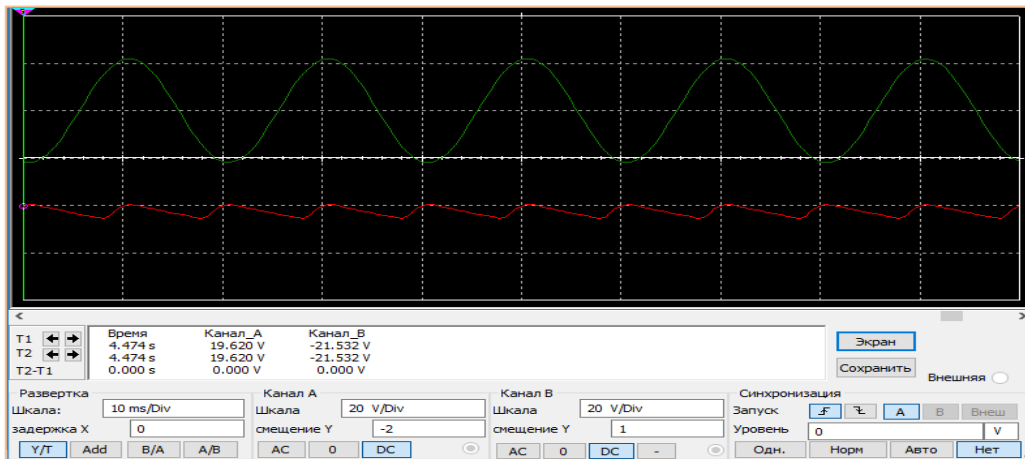


Рис. 27. Часові діаграми напруги на вході та виході випрямляча (ємнісний фільтр зменшує пульсації випрямленої напруги)

Робота № 8. Біполярний транзистор у ключовому режимі

Мета роботи: дослідити особливості роботи біполярного транзистора у ключовому режимі.

У цифровій техніці використовується ключовий режим роботи транзистора, що характеризується двома станами: «відкритий» (опір колектор-емітер малий) і «закритий» (опір колектор-емітер великий). Для дослідження роботи біполярного транзистора у цьому режимі учні збирають схему, наведену на рис. 28. При з'єднанні бази з емітером транзистора ($I_b=0$) струм через колекторний перехід практично не протікає, відповідно лампочка не світить (рис. 28, а). При проходженні невеличкого струму між базою і емітером транзистор «відкривається», і колекторний струм стає значним ($I_b=0,5 \text{ мА}$, $I_c=121 \text{ мА}$), тепер лампочка світить (рис. 28,б).

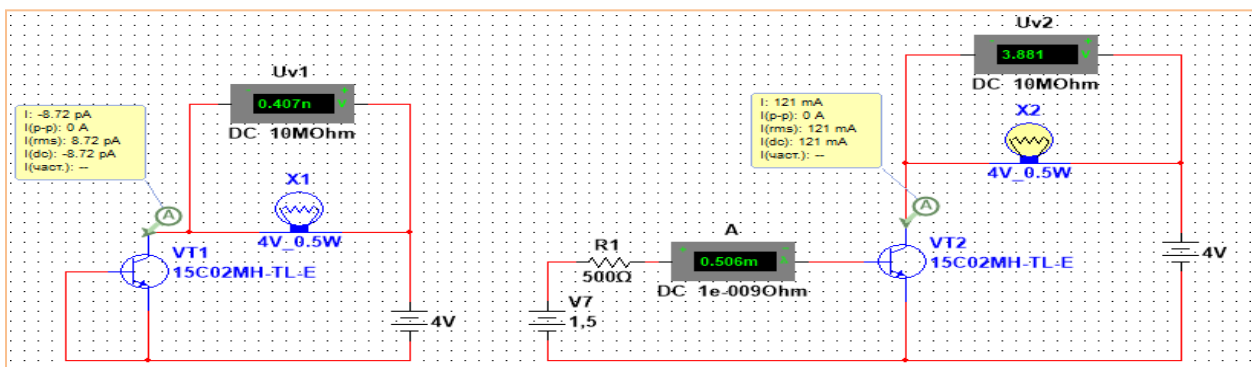


Рис. 28. Дослідження роботи біполярного транзистора: а – транзистор «закритий» (лампочка не світить), б – транзистор «відкритий» (лампочка світить)

Ця робота дуже важлива, оскільки допомагає учням зрозуміти принцип дії біполярного транзистора. Вони бачать, що за допомогою невеличкого базового струму можна управляти досить великим струмом, що протікає через колекторний перехід. Цю особливість добре ілюстровано на рис. 29, запозиченому з роботи [7, с. 119], в якій автор влучно проводить аналогію між транзистором і водно-механічним пристроєм. Дійсно, тонкий струмінь води в трубці *B* управляє товстим струменем води за допомогою труб *K* і *E*. При цьому струмінь *E* дорівнює сумі струменів *B* і *K*.

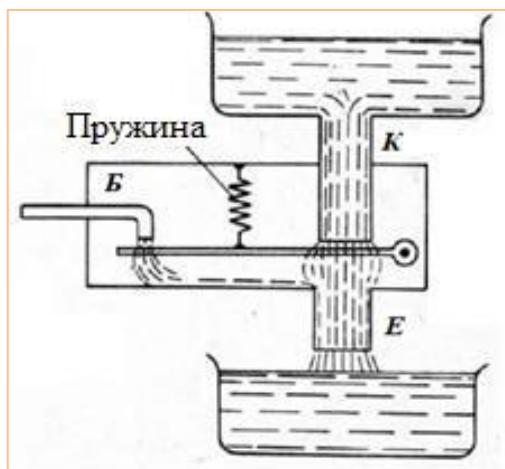


Рис. 29. Водно-механічна модель біполярного транзистора [7]

Робота № 9. Вимірювання вольт-амперної характеристики біполярного транзистора

Мета роботи: Зняти *ВАХ* біполярного транзистора *MPS3707*, включеного за схемою із загальним емітером.

1. Збираємо схему, зображену на рис. 30.
2. Встановлюємо $U_{KE}=U_I=0$ В. Змінюючи значення джерела струму I_I від I до 500 мкА, учні записують відповідні значення напруги U_{BE} (вольтметр U_{VI}) в табл. 6.
3. Повторюємо вимірювання при вихідній напрузі $U_{KE}=U_I=15$ В. Заносимо результати вимірювань до табл. 6.

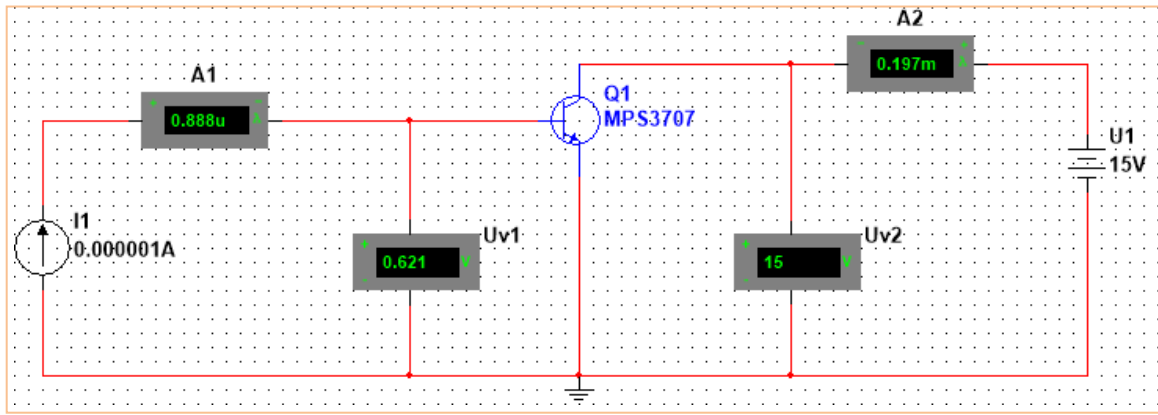


Рис. 30. Схема для зняття V_{AX} біполярного транзистора в Multisim

Таблиця 6

Дані для побудови вхідних характеристик транзистора

Вхідний струм I_B (мкА)	1	5	10	20	50	100	200	300	400	500
Вхідна напруга U_{BE} (мВ) при $U_{KE}=0$ В	0,49	0,54	0,55	0,57	0,60	0,62	0,64	0,65	0,66	0,66
Вхідна напруга U_{BE} (мВ) при $U_{KE}=15$ В	0,62	0,67	0,69	0,71	0,74	0,76	0,78	0,79	0,80	0,81

4. Встановлюємо базовий струм $I_B=100$ мкА.

5. Змінюючи значення джерела напруги U_{KE} ($U1$) від 0,1 до 35 В, учні записують відповідні значення струму I_K (амперметр $A2$) до табл. 7.

6. Повторюємо вимірювання при вхідних токах $I_B=300$ мкА і $I_B=500$ мкА.

Таблиця 7

Дані для побудови вихідних характеристик транзистора

Вихідна напруга, U_{KE} , В	0,1	1,0	2,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0
Вихідний струм I_K (мА) при вхідному струмі $I_B=100$ мкА	3,2	16,0	16,0	17,0	19,0	20,0	21,0	22,0	24,0	25,0
Вихідний струм I_K (мА) при вхідному струмі $I_B=300$ мкА	6,6	33,0	34,0	36,0	38,0	41,0	44,0	46,0	49,0	52,0
Вихідний струм I_K (мА) при вхідному струмі $I_B=500$ мкА	8,7	46,0	46,0	49,0	52,0	56,0	59,0	63,0	67,0	70,0

7. За результатами вимірювань слід побудувати вхідні $I_B(U_{BE})$ та вихідні $I_K(U_{KE})$ характеристики транзистора для схеми зі спільним емітером (рис. 31).

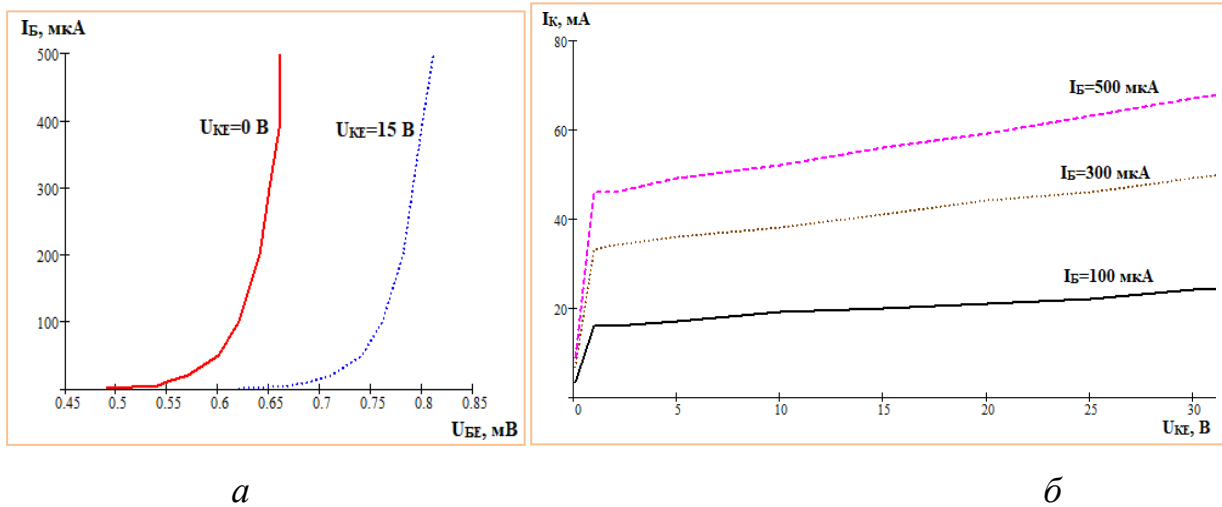


Рис. 31. Вольт-амперні характеристики біполярного транзистора, побудовані в Mathcad: *а* – вхідні, *б* – вихідні

Аналізуючи графіки вхідних і вихідних характеристик, учні мають дійти таких висновків: 1) сімейство вхідних V_{AX} встановлює залежність вхідного струму бази I_B від вхідної напруги U_{BE} при $U_K = \text{const}$; 2) вхідні V_{AX} транзистора аналогічні V_{AX} діода у прямому включенні; 3) сімейство вихідних V_{AX} встановлює залежність струму колектора I_K від напруги на ньому U_{KE} при певному струмі бази.

Висновки та перспективи подальших розвідок. У статті запропоновано методичну розробку лабораторного практикуму «Електричний струм», що складається з дев'яти робіт, орієнтованих на використання середовища імітаційного моделювання електронних схем NI Multisim та системи комп'ютерної алгебри Mathcad. Практикум доступний для завантаження архівом з файлами у форматі MS14 (Multisim 14 Design File) за адресою <https://drive.google.com/open?id=1ICEY3KbdkSNjGpLrfLH53YzWgwfl1yAoZ>. Застосування подібних середовищ і систем має на меті не тільки доповнити традиційний фізичний лабораторний практикум сучасними дидактичними та програмними засобами, а сприяти вдосконаленню самостійної роботи учнів, підвищенню рівня їх зацікавленості, розвитку дослідницьких навичок.

Перспективи подальших досліджень у цьому напрямі ми вбачаємо в подальшій розробці віртуальних лабораторних робіт (як-от: електричне коло змінного струму із активним та реактивним навантаженням, резонанс у колі змінного струму, дослідження генератора коливань, амплітудної модуляції), створенні відповідних навчальних посібників, зошитів для лабораторного практикуму. На нашу думку, вагомі позиції матимуть інтегровані віртуально-натурні практикуми, в яких учні зможуть порівнювати теоретичні дані, отримані в режимі моделювання, з реальними процесами, що відбуваються в електричних ланцюгах.

Список використаних джерел

1. Єфименко Ю. О. Комп'ютерний лабораторний практикум з цифрової техніки / Ю. О. Єфименко // Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. – 2014. – Вип. 3. – С. 85–90. – Режим доступу : <http://bdpu.org/pedagogy/ua/files/2014/3/17.pdf>.

2. Богданов І. Т. Моделювання перехідних процесів у електричних колах при навчанні електротехніки майбутніми вчителями фізики / І. Т. Богданов, Ю. О. Єфименко // Актуальні проблеми викладання та навчання фізики у вищих освітніх закладах : матер. III міжнар. наук.-метод. конф. (Львів, 8–9 жовтня 2009 р.). – Л., 2009. – С. 38–43.

3. Єфименко Ю. О. Методичні засади використання інформаційних технологій у процесі вивчення фізичних основ електротехніки майбутніми вчителями фізики : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. пед. наук : спец. 13.00.02 “Теорія та методика навчання (фізика)” / Ю. О. Єфименко. – Бердянськ, 2012. – 20 с.

4. Касперський А. В. Система формування знань з радіоелектроніки у середній та вищій педагогічній школах : монографія / А. В. Касперський. – К. : НПУ імені М. П. Драгоманова, 2002. – 325 с.

5. Мартинюк О.С. Засоби графічного програмування у формуванні інформаційної компетентності майбутніх учителів фізики / О. С. Мартинюк // Збірник наукових праць Бердянського державного педагогічного університету : педагогічні науки. – 2009. – №3. – С. 177–181.

6. Сиротюк В. Д. Фізика : підруч. для 11 кл. загальноосвіт. навч. закл.: (рівень стандарту) / В. Д. Сиротюк, В. І. Баштовий. – Х. : Сичія, 2011. – 304 с.

7. Шишков А. И. Первые шаги в радиоэлектронике / А. И. Шишков ; пер с болгарского Л. И. Коновой. – София : Техника, 1986. – 177 с.

Воронкин Алексей. ВИРТУАЛЬНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК»

Статья посвящена методической разработке лабораторных работ физического практикума в среде имитационного моделирования и анализа электронных схем NI Multisim, с целью наработки практических идей по реализации STEM-ориентированного образования в общеобразовательных учебных заведениях Украины. Предложенный комплекс из девяти работ по разделу физики «Электрический ток», нацелен на обновление содержания образования в свете декларируемых инновационных принципов Новой украинской школы. Методическая разработка может использоваться дома в процессе подготовки учащихся к очному занятию, в классе при выполнении лабораторных и (или) практических работ. Особое внимание акцентировано на необходимости объединения виртуального и натурального практикумов, в которых учащиеся смогут исследовать теоретические данные моделирования с реальными процессами и получать интегрированные знания.

Ключевые слова: *Новая украинская школа, STEM-образование, среда имитационного моделирования, электрическая цепь*

Voronkin Alexey. VIRTUAL LABORATORY WORKSHOP «ELECTRICAL CURRENT»

The article is devoted to the methodical development of laboratory works of physical laboratory session in the environment of simulation and analysis of electronic circuits NI Multisim, with the aim of developing practical ideas for the implementation of STEM-oriented education in comprehensive educational institutions of Ukraine. The set of nine works of Physics «Electric current» is proposed, aimed at updating the content of education according to the declared innovative principles of New Ukrainian School. Methodical development can be used at home in the process of preparing students for the lessons, in the classroom at performing the laboratory and (or) practical works. Particular attention is focused on the need to combine virtual and full-scale workshops in which students will be able to explore theoretical modeling data with real processes and gain integrated knowledge.

Keywords: *New Ukrainian school, STEM-education, simulation program, electrical circuit*

УДК 37.09

Дячок С.О.

**УПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ STEM- (STEAM- чи STREAM-
ОСВІТИ НА УРОКАХ ЗАРУБІЖНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ЧЕРЕЗ
ПРОЕКТНО-ДОСЛІДНИЦЬКУ ДІЯЛЬНІСТЬ**

У статті розкрито важливі аспекти щодо впровадження елементів STEM-освіти на уроках літератури. Презентовано різні форми проектно-дослідницької діяльності щодо реалізації STEAM- та STREAT- на уроці зарубіжної літератури. Розширено інформаційне поле щодо кращого досягнення методики впровадження STEM-освіти через інноваційні методи, засоби та форми організації навчального процесу: хакатон, марафон, онлайн-