



Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Факультет електроніки  
та інформаційних технологій

**5978 Методичні вказівки**  
до лабораторних робіт  
із дисципліни **«Комп'ютерні системи 3D-друкування»**  
для здобувачів спеціальності *171 «Електроніка»*  
всіх форм здобуття вищої освіти

Суми  
Сумський державний університет  
2024

Методичні вказівки до лабораторних робіт із дисципліни  
«Комп'ютерні системи 3D-друкування» / укладачі:  
В. Р. Васильєв, О. В. Д'яченко, А. С. Опанасюк. – Суми :  
Сумський державний університет, 2024. – 40 с.

Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки  
факультету ЕлІТ

## ЗМІСТ

С.

### **Лабораторна робота 1**

Ознайомлення з принтером Voltera V-One, основами друку та програмним середовищем EasyEDA.....4

### **Лабораторна робота 2**

Розроблення електричної схеми в середовищі EasyEDA .....17

### **Лабораторна робота 3**

Трасування та 3d-моделювання в середовищі EasyEDA .....26

Список літератури.....33

Додаток А.....34

Додаток Б.....35

## **Лабораторна робота 1**

# **ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ПРИНТЕРОМ VOLTERA V-ONE, ОСНОВАМИ ДРУКУ ТА ПРОГРАМНИМ СЕРЕДОВИЩЕМ EASYEDA**

## **1. МЕТА РОБОТИ**

Ознайомлення з основними елементами програмного середовища EasyEDA для створення електронних схем і принтером Voltera V-One з можливостями їх друку. Навчання роботі з програмним забезпеченням програмного середовища EasyEDA для проєктування електронних схем.

## **2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ**

### **2.1. Voltera V-One**

Voltera V-One – комерційний принтер від канадського стартапу Voltera. Компанія утворилася в 2013 році завдяки чотирьом студентам із університету University of Waterloo, розміщеному в місті Уотерлу, Онтаріо. Розробникам знадобилося всього два роки, щоб їх перший апарат побачив світ.

Після випуску в 2015 році компанія стала одним із переможців міжнародної премії у сфері інженерного проєктування та промислового дизайну James Dyson Award. Це найпрестижніша нагорода, створена для стимулювання роботи молодих перспективних інженерів і вчених.

Розроблений пристрій призначений для оперативного друку електронних схем. Зазвичай замовникам доводиться чекати кілька тижнів, перш ніж будь-який виробник здійснить замовлення та доставить його до адресата. Модель Voltera V-One дозволяє створити просту електронну схему протягом 60 хвилин.

Спосіб друку пристрою схожий на систему роботи стандартного струминного принтера. Замінником звичайних чорнил у V-One є спеціальний струмопровідний гель на основі наночастинок срібла, який наноситься принтером на плату (підкладку) в рідкому вигляді, шляхом вичавлювання з екструдера, а потім висушується на підкладці. Якщо створюється багатшарова схема, тоді прилад використовує ізолювальний матеріал, що відокремлює один провідний шар від іншого. Для нанесення ізолювального матеріалу необхідно використати екструдер іншого типу. Це не викликає труднощів, оскільки принтер передбачає їх швидку заміну.

Розробники продумали не лише функціонал свого пристрою, а й зробили його зручним для користувача. Перед початком роботи кожен може ознайомитися з докладним відеоуроком, який є інструкцією до дії. За його допомогою процес калібрування та навчання спрощено до максимуму.

Фірма надає користувачам принтера чорнила, що проводять електричний струм, власної розробки. Тому немає додаткових труднощів із пошуком необхідних витратних матеріалів.

Сам Voltera V-One являє собою невеликий настільний принтер із габаритами – 390×257×207 мм. Водночас розміри меж друку схем становлять 128×105 мм. Параметри робочої зони слід враховувати заздалегідь, оскільки через це майбутні друковані плати мають обмеження за максимально можливими розмірами.

Для керування пристроєм потрібна участь оператора. Сам процес створення кінцевого виробу розбитий на кілька етапів. Загальний час роботи від початку до кінця створення продукту становить приблизно 60–120 хвилин (залежно від складності виробу). З функціями оператора впорається навіть інженер-початківець, оскільки в цьому йому допоможе зрозуміле програмне забезпечення.

Перша версія пристрою передбачала лише друк електропровідної розводки електронної схеми. Поточна версія дозволяє просвердлити технологічні отвори для монтажу

радіодеталей на платі. Апарат для свердлення легко закріплюється на консолі принтера магнітним замком. Для взаємодії з моделлю можна використовувати комп'ютери із програмним забезпеченням Windows 7, 8, 10 (64bit) або OSX 10.11+.

Функціонал більш досконалої моделі також має дозатор паяльної пасти. Вона наноситься в необхідних місцях схеми за кілька секунд. У потрібний момент підкладка нагрівається до температури плавлення пасти. Далі в ці місця встановлюються необхідні радіодеталі або інтегральні схеми.

Для роботи принтера рекомендують використовувати лише оригінальні матеріали для друку. Використання сторонніх чорнил не дає жодних гарантій якості створених схем. Виробник запевняє, що в одному оригінальному картриджі зберігається запас чорнила, якого вистачає для створення 85 простих плат.

Необхідно зазначити, що пристрій забезпечує високу точність нанесення провідних чорнил для свердління, оскільки від правильності нанесення друкованого матеріалу безпосередньо залежать характеристики електронної схеми. Водночас V-One надійно забезпечує постійну висоту друкованого провідного шару, залежно від рівня, заданого налаштуваннями. Мінімальна ширина провідної доріжки становить 0,2 мм, її максимальна висота становить – 3 мм. У вигляді діелектричної основи плати можна використовувати різні гнучкі та жорсткі матеріали, наприклад, скло, кераміку, поліімід, склотекстоліт FR4 тощо.

Постачається прилад у готовому вигляді. Користувачу необхідно зробити лише кілька простих маніпуляцій перед друком. Модуль для свердління продається окремо, в базову комплектацію він не входить.

## **Недоліки та переваги пристрою**

Принтер Voltera V-One має як позитивні, так і негативні сторони, про які необхідно знати користувачу заздалегідь. Серед позитивних моментів:

- Економія часу. Електронна схема друкується за 1–2 години, а не очікується протягом кількох тижнів.
- Виробляти схеми можна в будь-який час і в будь-якому місці. Кожна лабораторія зможе застосовувати обладнання в своїх потребах.
- Якість роботи. Усі схеми виходять саме такими, якими вони потрібні користувачу.
- Точність друку. Принтер забезпечує високі параметри друку, мінімальна ширина доріжки становить 0,2 мм.
- Зручно користуватися системою спікання припою. Процес не займає багато часу і не вимагає складних маніпуляцій.
- Для виробництва електронних схем як плати можна використовувати різні матеріали, що зручно.
- Інтерфейс взаємодії з попередньою моделлю інтуїтивно зрозумілий.

### **Тепер розглянемо недоліки V-One**

- Принтер має сенс використовувати саме для створення штучних продуктів. Серійне виготовлення електронних схем обійдеться дешевше, якщо їх створювати стандартними способами, тобто замовляти у виробника, а не друкувати самостійно.
- Розмір електронних схем має свою межу друку.
- Радіоелектронні компоненти розкладаються на платі вручну.
- Для друку можна використовувати лише чорнило від виробника Voltera. Отже, виробник контролює ціну на товар, як результат, відсутня можливість знайти більш доступну та зручну альтернативу.

## **Матеріали, що використовуються під час друку**

На цей час є можливість використовувати для друку лише той матеріал, який пропонує виробник, тобто провідне чорнило Voltera Flexible. Воно сумісне з PET (пластична смола), полікарбонатом та Kapton (поліімідом). Проте ці чорнила не можна поєднувати з легкими металами та сильними окислювачами.

Недоліком принтера є те, що картридж із чорнилом потрібно постійно зберігати в холодильнику. Його не можна використовувати в приміщенні, яке погано провітрюється, оскільки відчувається запах спирту. Температура твердіння чорнил і відповідно провідних доріжок становить 30 хв за температури відпалу 120 °С або 10 хв за температури 140 °С. Чорнило замерзає за температури 100 °С.

Пайка радіодеталей також можлива лише з використанням припайного дроту або оригінальної паяльної пасти Tin Bismuth Silver. Об'єм одного картриджа становить 2 мл. Ціна за одиницю товару становить приблизно 18 000–20 000 грн.

## **Для створення електронних схем необхідні**

- Комп'ютер із операційною системою Windows/OSx/Linux.
- Принтер друкованих плат із витратними матеріалами.
- Програмне забезпечення для проектування друкованих плат і роботи з принтером Voltera V-One.

Все це обладнання легко розміщується на одному робочому місці користувача.



### **Додаткове обладнання принтера**

- Ультразвукова ванна для очищення плати (підкладки).
- Ручний мініпилосос (для прибирання стружки під час свердління отворів для радіодеталей).
- Мініхолодильник для зберігання чорнила та паяльної пасти.
- Витяжка.

### **3. ПРИСТРІЙ І КОМПЛЕКТУВАЛЬНІ**

Зовнішній вигляд і комплектувальні 3D-принтера Voltera V-One подані на рисунках 1.1 та 1.2 відповідно.



Рисунок 1.1 – Вигляд 3D-принтера Voltera V-One



Рисунок 1.2 – Комплектувальні 3D-принтера  
Voltera V-One

### **Комплектувальні пристрою**

- Принтер Voltera V-ONE;
- Електронний щуп;
- Екструдер чорнила;
- Підкладка для друку 2x3 (комплект 10 шт.);
- Стенд для друку та свердління 3x4 (набір 6 шт.);
- Флюс для пайки Voltera (Flux);
- Чорнила Voltera Flexible (Conductive Ink Cartridge);
- Паста паяльна Voltera Sn42/Bi57.6/Ag0.4;
- Котушка припою;
- Вити кріплення скобок (комплект 4 шт.);
- Скобки, що утримують (комплект 2 шт.);
- Сопла змінні (комплект 4 шт.);
- Кришка екструдера (набір 2 шт.);
- Блок живлення;
- Кабель USB;
- Інструкція англійською мовою;

- Набір витратних матеріалів.

## 2.2. Програмне середовище EasyEDA

Програмне середовище EasyEDA (<https://uialinux.com/uk/ubuntu-apps-electro/easyeda>) – це потужний інструмент для проектування та візуалізації електронних схем. Воно дозволяє створювати схеми будь-якої складності, а також виконувати їх електричні розрахунки.

Це середовище автоматизації проектування електроніки містить:

- редактор принципів електричних схем;
- редактор топології друкованих плат;
- редактор електронних компонентів;
- генератор / перегляд файлів формату GERBER;
- систему управління проектами;
- SPICE-симулятор, який проводить різні аналізи (Transient, DC Transfer, DC sweep, AC Analysis, DC on pnt) аналогових, цифрових і змішаних електричних кіл;
- моделювання цифро-аналогових кіл;
- хмарне сховище даних;
- систему управління проектами.

EasyEDA має простий і зручний інтерфейс, який дозволяє швидко освоїти його можливості. Для початку роботи з цим програмним продуктом необхідно створити новий проєкт. Проєкт – це сукупність схем, компонентів та інших елементів.

### 2.2.1. Реєстрація в середовищі EasyEDA

EasyEDA — вебсередовище для автоматизованого проектування електронних пристроїв, призначене як для студентів-ентузіастів, так і професіоналів.

Перед створенням проєкту необхідно зареєструватися в центрі користувача. Для цього за посиланням: <https://easyeda.com/> у правому верхньому куті тиснемо **Зареєструватися**.

У вікні проходимо стандартну процедуру реєстрації, вводимо ім'я користувача, електронну пошту, пароль. Вхід також можна здійснити через акаунт Google.

Після підтвердження електронної пошти і входу в акаунт, перейдемо до створення проєкту (рис. 1.3), виконавши прості дії: клікаємо **Документ**→**Новий**→**Проєкт**, як показано на рисунку 1.3 нижче.

Вводимо назву проєкту (вона повинна мати розмір не менше ніж 8 символів і бути записана латиницею), опис (необов'язково), вибираємо параметр видимості проєкту і зберігаємо все. Інші користувачі сервісу можуть бачити ваш публічний проєкт. Ви можете скопіювати та модифікувати проєкт без внесення змін у робочу копію.

Після збереження нового проєкту, відкривається робоче поле з рамкою для креслення схеми (вікно редактора). Разом із вікном редактора з'являються 2 меню, перше з випадаючим списком — **Інструменти рисування і З'єднання**, друге – бічне меню для завдання параметрів цього вікна.

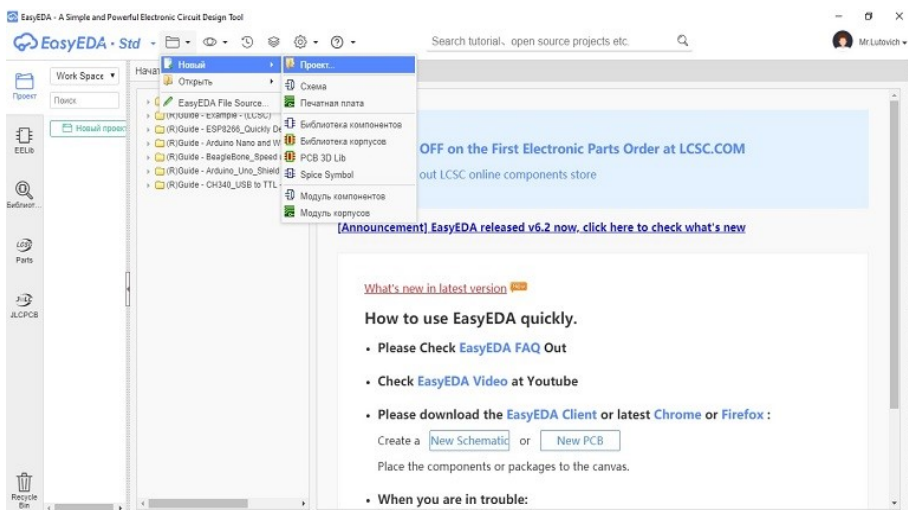


Рисунок 1.3 – Створення проєкту

### **2.2.2. Робота з редактором схем**

Для розміщення компонентів електричної схеми використовуються вкладки лівого бічного меню. Вкладка **EELib** в основному використовується для швидкого розміщення найпростіших компонентів, наприклад, резисторів, транзисторів, конденсаторів, діодів тощо.

Достатньо клацнути курсором на потрібний елемент і перетягнути його на робоче поле. Проте все ж цю вкладку використовують рідко, оскільки навіть звичайний резистор має різні виконання (корпус, розміри тощо).

У вкладці **Пошук бібліотек** зберігається понад мільйон свіжих бібліотек з електронними компонентами. Всі вони доступні абсолютно будь-якому користувачу сервісу. Також для зручності ви можете створити свою бібліотеку з уже існуючих, часто необхідних компонентів і редагувати їх на свій розсуд.

Якщо проєкт не містить помилок, користувачі можуть експортувати його в формат, який можна завантажити в 3D-принтер Voltera V-One.

### **Як змінити розмір аркуша та інформацію про дизайн**

На рисунку 1.4 зображено, як змінити розмір аркуша, для цього потрібно навести курсор миші на праву нижню межу або рамку рисунка, поки вся межа не стане червоною, та клацнути правою кнопкою миші. Потім розмір та орієнтацію паперу можна змінити в «Атрибутах аркуша» на панелі з правого боку (рис. 1.5).

Перед маршрутизацією друкованої плати компоненти потрібно розмістити в потрібних місцях на платі. У редакторі плат іноді буває досить складно вибрати компоненти, клацнувши контур друку або контактні площадки. Щоб їх було легше вибирати та переміщувати, використовуйте режим перетягування (гаряча клавіша D) або клацніть на значок «Пересуватися» на панелі інструментів PCB Tools:

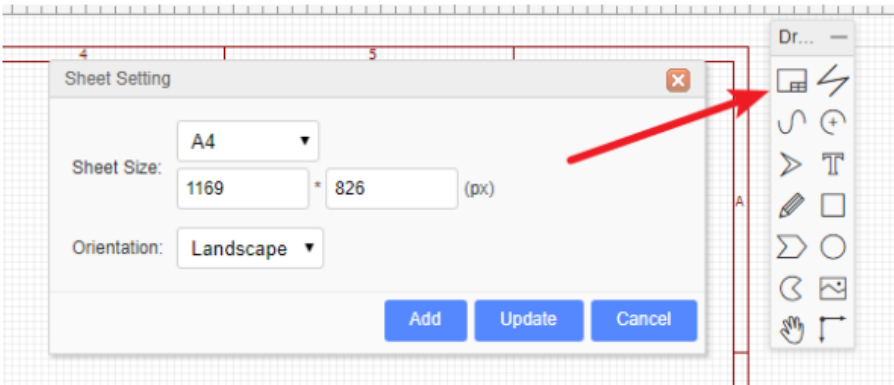


Рисунок 1.4 – Налаштування аркуша

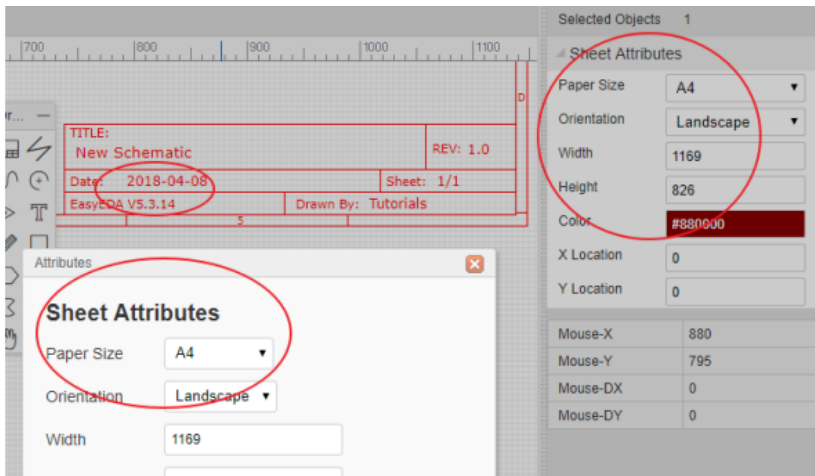


Рисунок 1.5 – Атрибутика аркуша

**Як додати контрольну точку в схему або друковану плату?**

Схема: ви можете розмістити однополюсний роз'єм з EELib, а потім оновити його місце встановлення. Друкована плата: ви можете розмістити контактну площадку верхнього / нижнього шару, а потім маршрутизувати її за допомогою доріжки.

## Як знайти компоненти / деталі / бібліотеки?

Функція пошуку компонентів була значно покращена розробниками, щоб спростити і прискорити пошук позначень деталей і монтажних місць. Натисніть SHIFT + F або клацніть на значок «Бібліотеки» на лівій панелі навігації (рис. 1.6).

У діалоговому вікні нових компонентів легко вибрати потрібні компоненти за допомогою тегів, і тоді ви можете встановити теги для ваших власних компонентів.

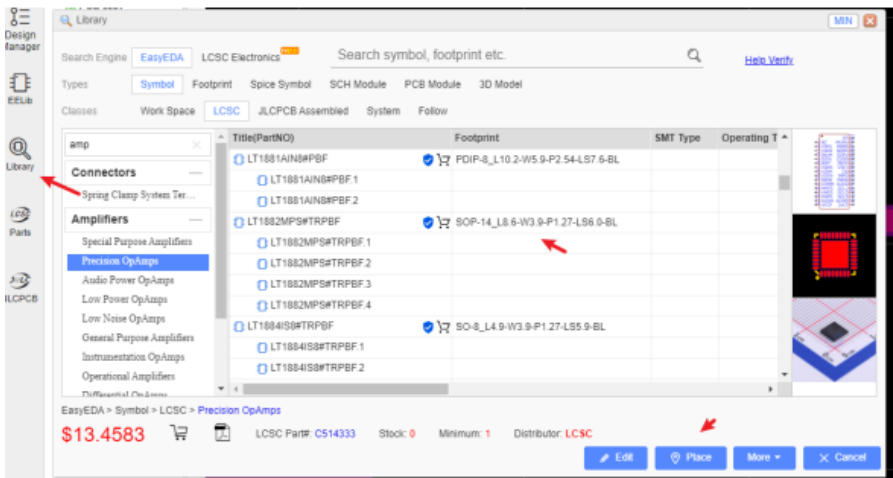


Рисунок 1.6 – Бібліотека

## 4. ХІД РОБОТИ

### Завдання для виконання

1. Відкрийте EasyEDA та авторизуйтеся або зареєструйтеся в своєму обліковому записі.
2. Створіть новий проєкт (Назва Прізвище Ім'я та група англійською мовою) та виберіть "Schematic" (схема) для створення нової схеми.
3. Додайте до схеми два входи (А та В) і один вихід (OUT).

4. Виберіть елементи з панелі бібліотеки згідно наданих варіантів (наприклад, введіть "AND" у пошуковому вікні «символ Spise»), та під'єднайте їх до ваших входів і виходу.

5. З'єднайте входи та вихід елементів за допомогою дротів.

6. Збережіть свою розроблену схему.

7. Оформіть звіт і надішліть його на перевірку викладачу.

## **5. ЗМІСТ ЗВІТУ**

1. Титульний аркуш.

2. Вступ. Необхідно зазначити мету лабораторної роботи, а також навести теоретичні відомості, необхідні для виконання роботи.

3. Основна частина. Необхідно описати порядок виконання роботи та надати результати.

4. Висновок. Необхідно зробити загальні висновки щодо проведеної роботи.

Звіт роботи повинен бути оформлений відповідно до встановлених вимог.

## **6. ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ**

1. Які переваги та недоліки має принтер Voltera V-One?

2. Які матеріали використовуються для друку електронних схем цим принтером?

3. Які основні етапи створення друкованих плат на Voltera V-One?

4. Який алгоритм створення схеми в середовищі автоматизації проектування електроніки EasyEDA?

5. Які переваги має використання EasyEDA для створення електронних схем?

6. Які недоліки має використання EasyEDA для створення електронних схем?



## Лабораторна робота 2

### РОЗРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ В СЕРЕДОВИЩІ EASYEDA

#### 1. МЕТА РОБОТИ

Ознайомлення з основними та додатковими елементами програмного середовища EasyEDA для створення електронних схем і друкованих плат.

Вивчення основних можливостей для автоматизованого проектування електронних схем.

#### 2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

EasyEDA – вебсередовище для автоматизованого проектування електронних пристроїв, призначене як для студентів, так і для інженерів-електронників.

В основі EasyEDA лежить хмарний сервіс, який здійснює всі обчислювальні операції за рахунок потужних комп'ютерів, розміщених у Китаї. Отже, швидкість виконання завдань залежить не від характеристик вашого комп'ютера, а від швидкості інтернет-з'єднання. Також сервіс має десктопний клієнт, який спрощує та прискорює роботу, але всі операції так само виконуються через хмару. Найціннішою рисою хмарних або веборієнтованих засобів розробки є те, що вони запускаються на віддаленому сервері (не потрібно дбати про встановлення на локальних машинах), завжди підтримуються в актуальному стані та доступні з будь-якого місця, де є Інтернет. EasyEDA – не вимагає інсталяції хмарного додатку для автоматизації проектування електронних пристроїв. Все що вам потрібно, щоб почати креслити схеми, конструювати плати, запустити SPICE-моделювання і навіть розмістити замовлення на виробництво – це веббраузер і під'єднання до Інтернету.

EasyEDA надає широкий спектр можливостей. Він містить, наприклад, редактор принципів електричних схем, редактор друкованих плат, режим автотрасування друкованих плат, переглядач друкованої плати в 3D, режим створення файлів для виробництва (Gerber) друкованої плати, можливість моделювання принципів електричних схем, експорт до BOM (така своєрідна специфікація) і багато іншого (рис. 2.1).

### Робота з редактором схем



Рисунок 2.1 – EasyEDA дозволяє безкоштовно креслити принципіві схеми, виконувати SPICE-моделювання та проектувати друковані плати

EasyEDA (рис. 2.2–2.3) – це потужний онлайнінструмент для електронного конструювання, який дозволяє перетворити ваші ідеї в реальні прототипи. Від створення принципів схем до розроблення друкованих плат – все це доступно в одному зручному інтерфейсі.

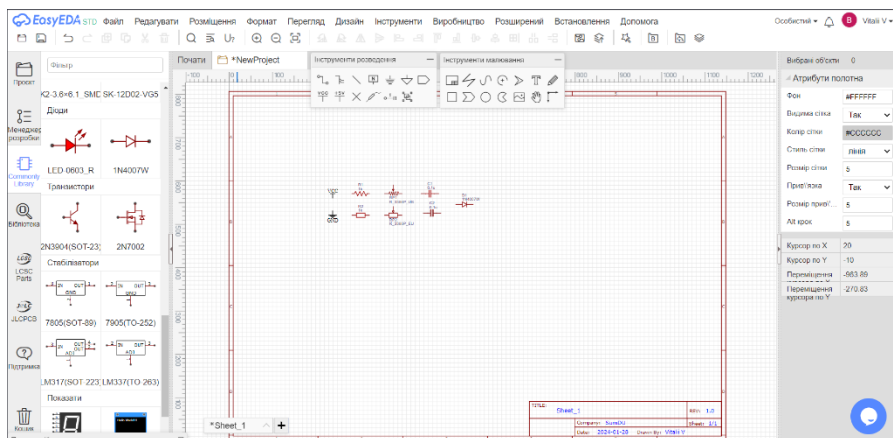


Рисунок 2.2 – Середовище EasyEDA

Бібліотека EasyEDA — це величезна база електронних компонентів. Тут ви знайдете все необхідне для ваших проєктів: від пасивних елементів (резистори, конденсатори) до складних мікросхем і модулів. Крім стандартних компонентів, бібліотека постійно поповнюється новими моделями, що дозволяє використовувати в своїх проєктах найсучасніші технології.

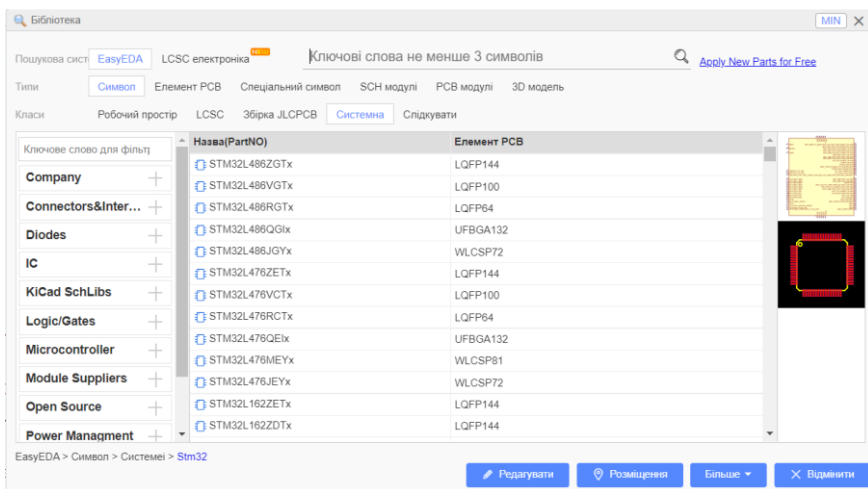


Рисунок 2.3 – Бібліотека середовища EasyEDA

Щоб додати необхідний компонент, знайдіть його в бібліотеці і натисніть кнопку «Вставити» (рис. 2.4).

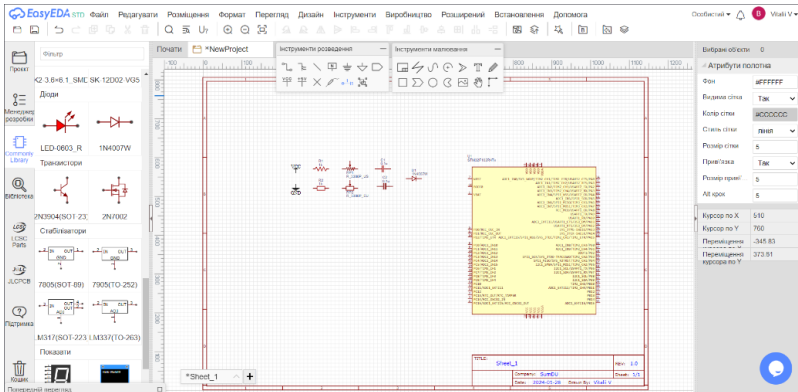


Рисунок 2.4 – Додавання компонента з бібліотеки

Для переміщення по робочому полю використовуйте затиснуте коліщатко миші, а для масштабування – його обертання. Для створення електричних з'єднань між компонентами скористайтеся меню «Інструменти рисування». Зазвичай елементи схеми з'єднуються за допомогою дротів; як приклад, можна розглянути під'єднання елементів на рисунку 2.5.

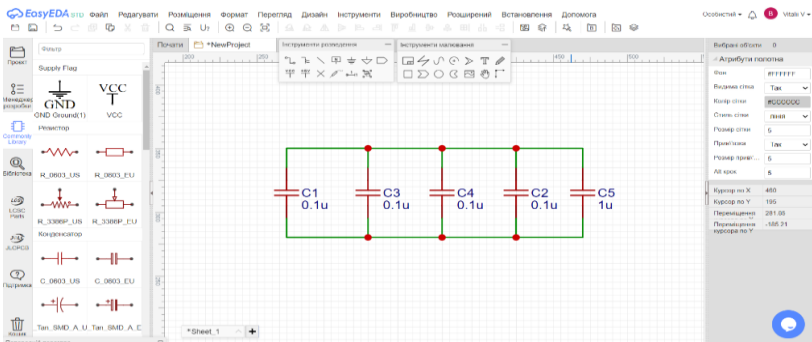


Рисунок 2.5 – Створення електричних зв'язків між компонентами

На рисунку 2.6 пунктиром виділено: порт 3,3 V та ім'я шини Vcc, які також перебувають у меню «З'єднання». Наприклад, порти та присвоєння імені шині використовуються для того, щоб не тягнути дріт через все робоче поле і не захаращувати схему.

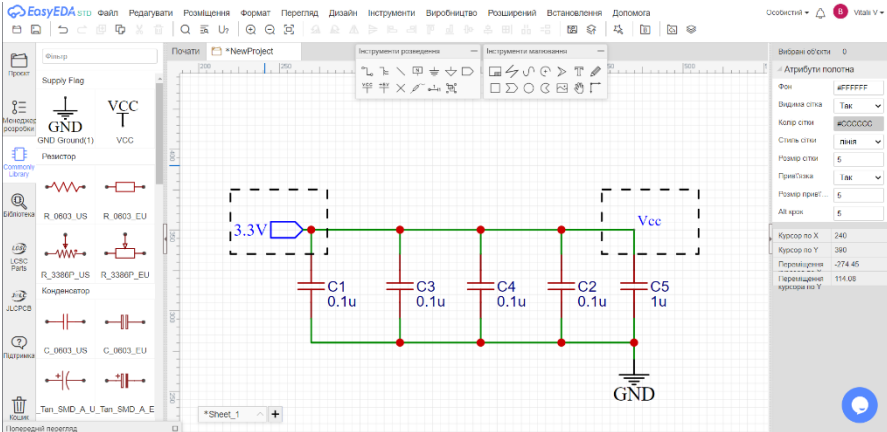


Рисунок 2.6 – Робота з портами та шинами

Далі під'єднуємо живлення мікроконтролера до обв'язування. Для цього будемо використовувати шину та гілку шини для з'єднання контактів живлення (гілкам шини також потрібно присвоїти імена), які зображено на рисунку 2.7.

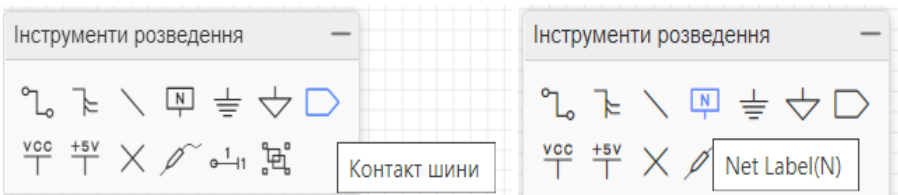


Рисунок 2.7. – Інструменти розведення

Шина зазвичай використовується в тих місцях, де зосереджена велика кількість дровів, наприклад, у випадку з під'єднанням живлення до мікроконтролера. Забігаючи наперед, під час створення Gerber-файлів сервіс запропонує виконати перевірку правил проєктування (DRC), що є тестом на цілісність електричних з'єднань на схемі.

Під час проєктування схем на основі мікроконтролерів (рис. 2.8) часто відбувається так, що не всі роз'єми використовуються. Під час проходження DRC-тесту сервіс повідомить, що ми маємо непід'єднані роз'єми та заборонить створення Gerber. Непід'єднані контакти чи порушення зв'язків можна побачити у менеджері проєктування в лівому бічному меню програми (рис. 2.9).

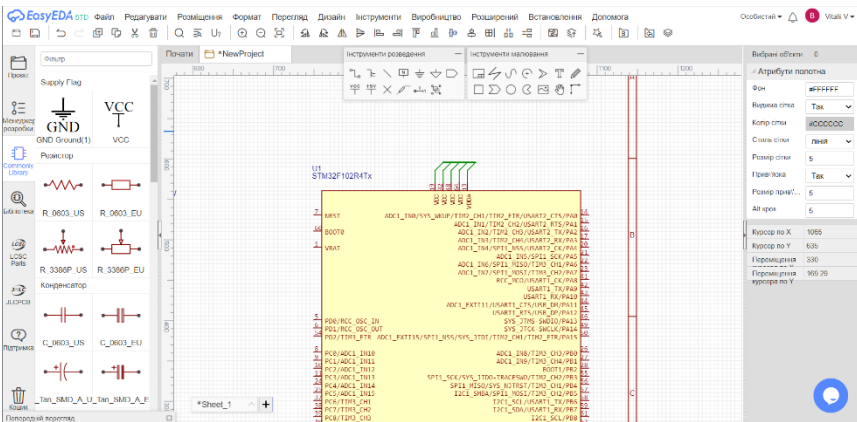


Рисунок 2.8 – Робота з мікроконтролером

Щоб уникнути неприємностей, невикористані відводи відзначимо прапорцем «не під'єднано».

На рисунку 2.10 нижче наведено приклад позначки відводів прапорцем «не під'єднано» (помилки менеджера проєктування відсутні).

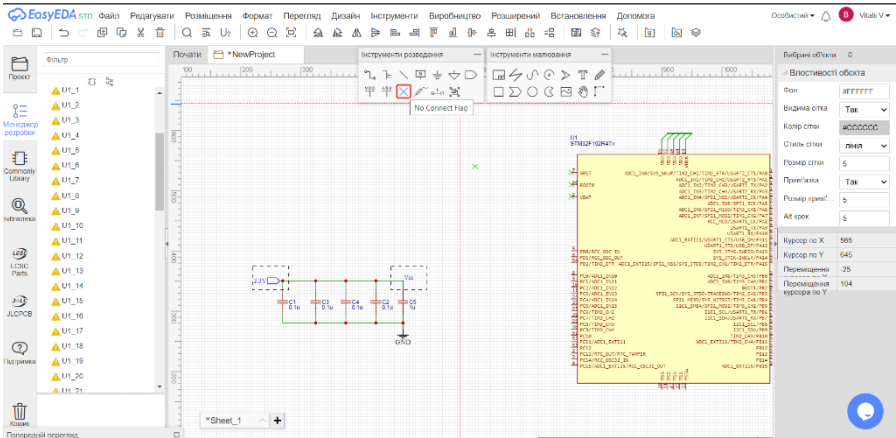


Рисунок 2.9 – Проходження DRC-тесту та помилки в «Менеджері проектування»

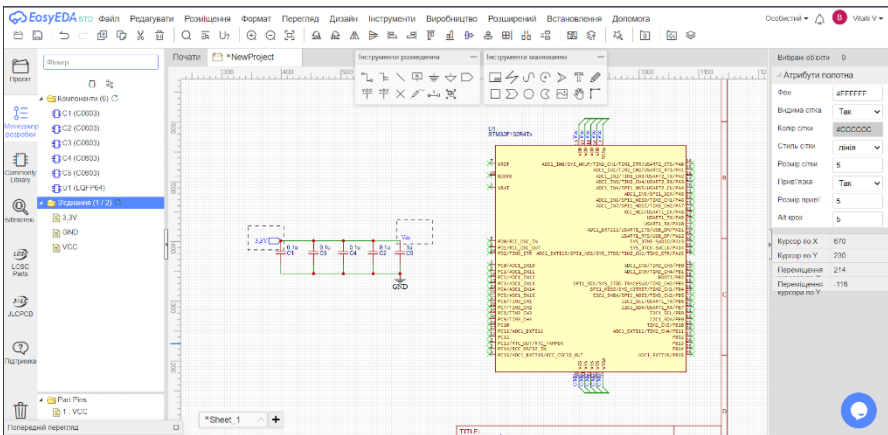


Рисунок 2.10 – Виправлені помилки в «Менеджері проектування»

Хотілося б відзначити, що кожен із інструментів меню «Інструментів розведення» активується гарячою клавішею. Наприклад, натиснувши W, ви зможете провести дріт, а за

допомогою клавіші В – шину. Комбінаціями клавіш Ctrl+Q та Ctrl+G викликаються прапорець Vcc та прапорець GND відповідно.

### **3. ХІД РОБОТИ**

У середовищі EasyEDA створити макет друкованої плати згідно з варіантом, наведеним у додатку 2.

### **4. ЗМІСТ ЗВІТУ**

1. Титульний аркуш.
  2. Вступ. Необхідно зазначити мету лабораторної роботи, а також навести теоретичні відомості, необхідні для виконання роботи.
  3. Основна частина. Необхідно описати порядок виконання роботи та надати одержані результати, схеми.
  4. Висновок. Необхідно зробити загальні висновки щодо роботи.
- Звіт роботи повинен бути оформлений відповідно до встановлених вимог.

### **5. ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ**

1. Що таке EasyEDA?
2. Які основні елементи цього середовища?
3. Як розмістити компоненти на схемі в середовищі EasyEDA?
4. Як з'єднати компоненти на схемі в цьому середовищі?
5. Як провести трасування на схемі в середовищі EasyEDA?
6. Як перевірити проєкт на наявність помилок?
7. Як експортувати проєкт у формат Gerber у середовищі EasyEDA?



8. Які основні типи компонентів, що використовуються в електричних схемах?

9. Які основні типи з'єднань, що використовуються в схемах?

## Лабораторна робота 3

# ТРАСУВАННЯ ТА 3D-МОДЕЛЮВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ EASYEDA

## 1. МЕТА РОБОТИ

Ознайомлення з процесом проектування друкованих плат у середовищі EasyEDA, використання інструментів для трасування, розміщення компонентів та створення 3D-моделі плати.

Основні цілі роботи містять:

- Оволодіння редактором друкованих плат EasyEDA та його основними інструментами.
- Вивчення процесу трасування друкованої плати вручну та автоматично.
- Реалізація електричного з'єднання елементів схеми шляхом створення суцільних мідних зон (полігонів), зокрема для забезпечення низького опору поширення сигналів заземлення.
- Освоєння можливостей перегляду плати в 3D-проекції та створення відповідної моделі.

## 2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

### Робота з редактором друкування плат

**Проектування друкованої плати.** Щоб перейти до редактора друкованих плат і підготувати схему для друку, у верхньому меню виберіть опцію «Конвертувати в друковану плату» (рис. 3.1). Після цього система автоматично перенаправить вас до редактора друкованої плати.

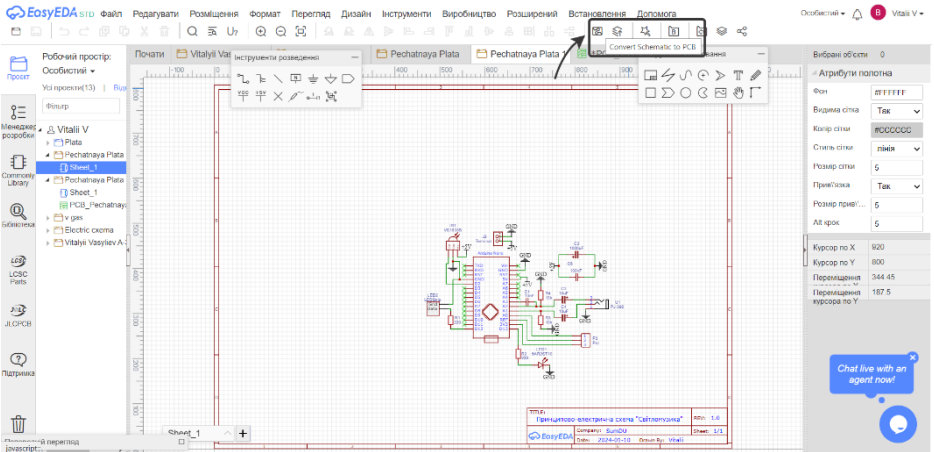


Рисунок 3.1 – Конвертування друкованої плати

### Меню «Інструменти друкованої плати» (рис. 3.2.)

У цьому меню зібрані всі необхідні інструменти для створення топології друкованої плати, зокрема:

- а) доріжки;
- б) полігони (монтажні отвори);
- в) перехідні отвори.

Також є меню Layers and Objects, яке використовується для роботи з шарами друкованої плати та її об'єктами. Board Outline визначає рамку, що обмежує розмір друкованої плати. Праве бічне меню призначене для налаштування параметрів вікна редактора.

Не скомпоновані посадкові місця елементів друкованої плати мають бути розміщені вручну, оскільки сервіс EasyEDA не підтримує функцію автоматичного компонування елементів на друкованій платі.

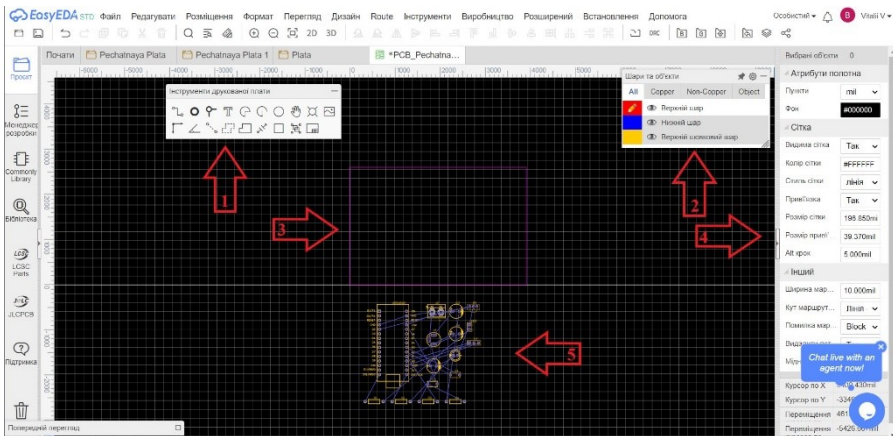


Рисунок 3.2 – Меню «Інструменти друкованої плати»

Трасування друкованої плати можна виконувати як у автоматичному, так і в ручному режимі (рис. 3.3).

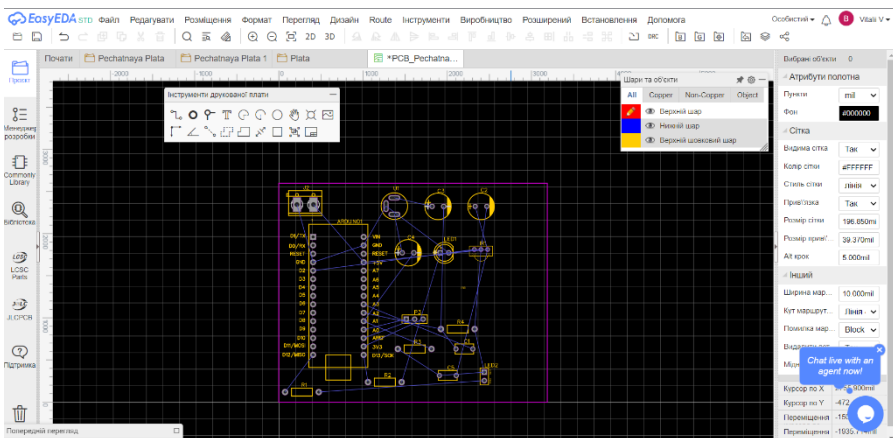


Рисунок 3.3 – Розміщення компонентів на платі

Для автотрасування у верхньому меню редактора на вкладці «Route» потрібно обрати «Автоматична розводка», попередньо змінивши одиниці вимірювання на мм (у правилах маршрутизації).

У модальному вікні (рис. 3.4) встановлюємо необхідні параметри трасування і натискаємо «Встановлення – Виконати», приклад показано нижче:

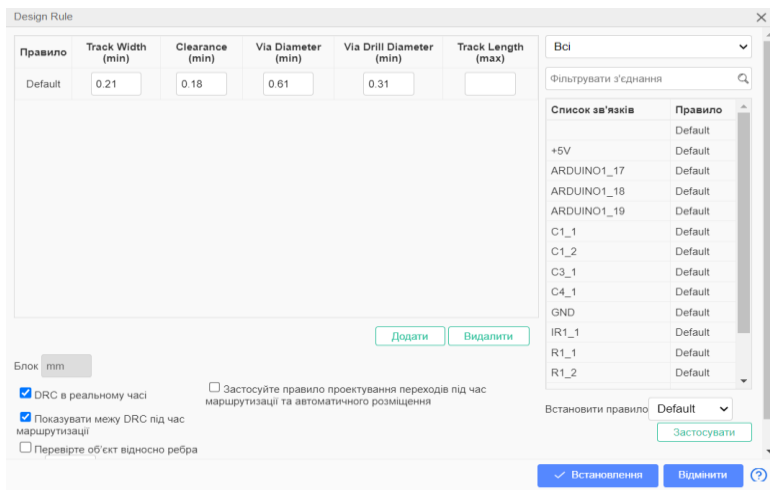


Рисунок 3.4 – Вікно «Design Rule»

Результат роботи автотрасувальника можна побачити на рисунку 3.5.

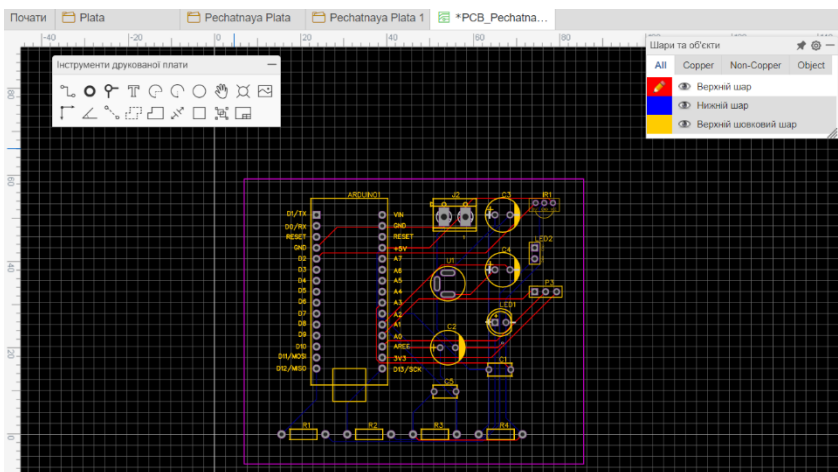


Рисунок 3.5 – Виконання автоматичної розводки

Під час встановлення параметрів автотрасувальника можна скасувати трасування шини землі (GND), щоб виконати його у вигляді мідного полігона по всьому периметру друкованої плати. Для цього в меню «Інструменти друкованої плати» на рисунку 3.6 можна обрати «Мідний полігон».

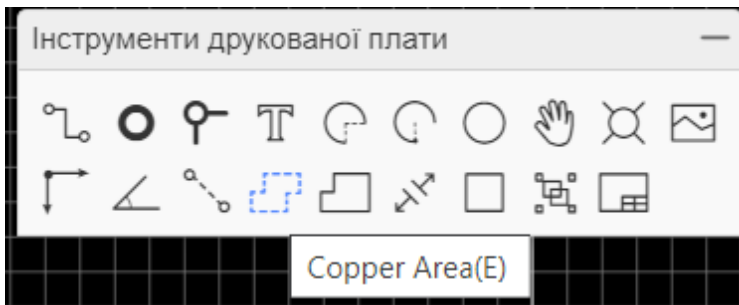


Рисунок 3.6 – Інструменти друкованої плати

Далі зазначаємо межі мідного полігона (рис. 3.7):

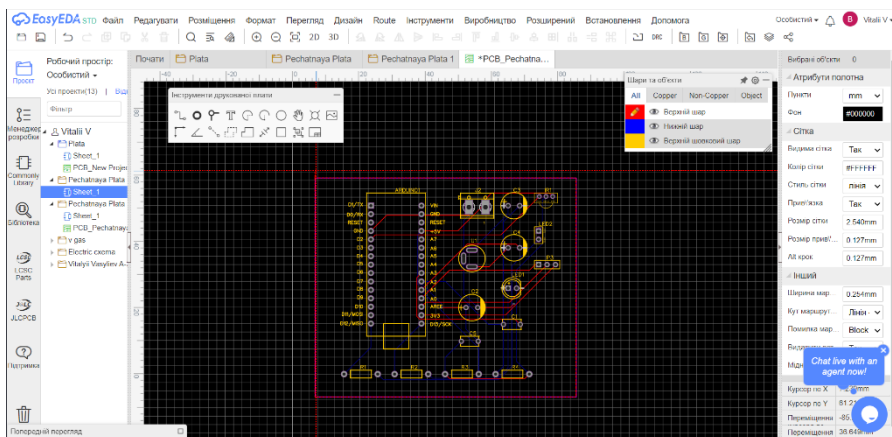


Рисунок 3.7 – Створення меж мідного полігона

Натискаючи праву кнопку миші повторюємо створення полігона для нижнього металізованого шару. В результаті маємо готовий проєкт друкованої плати (рис. 3.8).

Додатково, використовуючи редактор, ми можемо переглянути, як виглядатиме плата в 3D-моделі (рис. 3.9). Для цього у верхньому меню редактора, на вкладці «Перегляд», натискаємо прапорць «3D View».

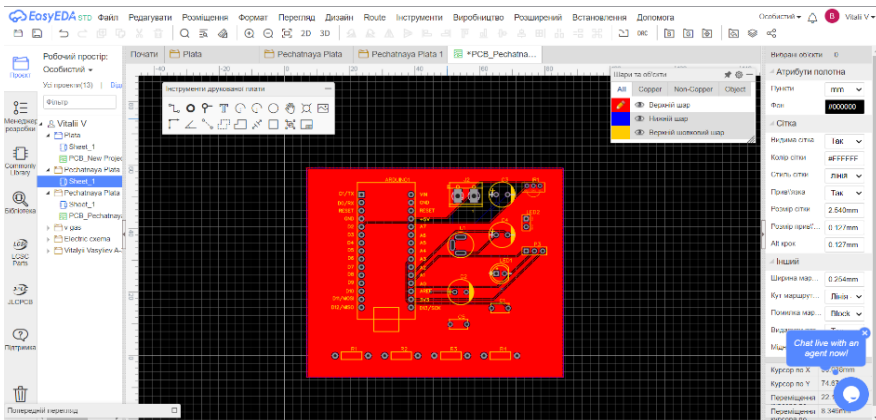


Рисунок 3.8 – Вигляд плати з мідним полігоном

Після завантаження рисунка ми отримаємо 3D-модель друкованої плати (рис. 3.9).

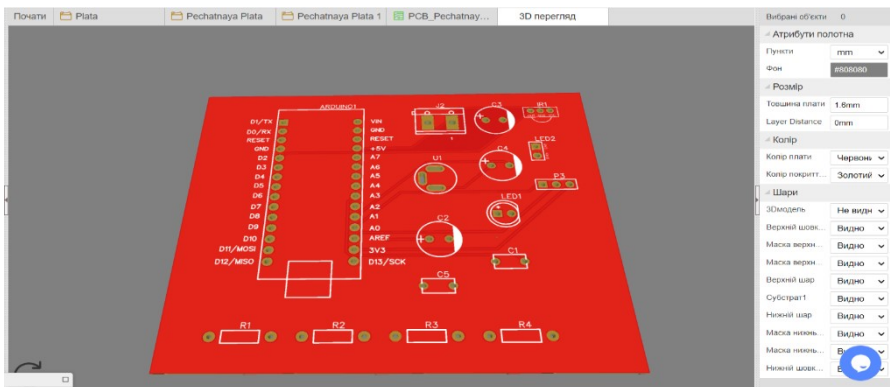


Рисунок 3.9 – Вигляд плати в 3D

### **3. ХІД РОБОТИ**

У середовищі EasyEDA виконати трасування друкованої плати та створити її 3D-модель згідно з варіантом, наведеним у додатку Б.

### **4. ЗМІСТ ЗВІТУ**

1. Титульний аркуш.
2. Вступ. Необхідно зазначити мету лабораторної роботи, а також навести теоретичні відомості, необхідні для виконання роботи.
3. Основна частина. Необхідно описати порядок виконання роботи та надати одержані результати, схеми.
4. Висновок. Необхідно зробити загальні висновки щодо виконаної роботи.

Звіт роботи повинен бути оформлений відповідно до встановлених вимог.

### **5. ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ**

1. Чи можна використовувати автотрасування для всіх типів схем?
2. Які параметри автотрасування найважливіші?
3. Як можна покращити результат автотрасування?
4. Які можливості 3D-моделювання в EasyEDA?
5. Які є гарячі клавіші для роботи з редактором друкованих плат?
6. Як можна експортувати проєкт друкованої плати для виробництва?



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Навчальний посібник EasyEDA з ЗПСШ: вебсайт. URL: <https://docs.easyeda.com/en/> (дата звернення: 02.02.2024).
2. EasyEDA Tutorial: вебсайт. URL: [https://image.easyeda.com/files/EasyEDA-Tutorial\\_v6.4.32.pdf](https://image.easyeda.com/files/EasyEDA-Tutorial_v6.4.32.pdf) (дата звернення: 02.02.2024).
3. Дизайн друкованої плати EasyEDA: вебсайт. URL: <https://blog.desdelinux.net/uk/легкий-дизайн-eda-лише-хвилини/> (дата звернення: 02.02.2024).
4. EasyEDA PCB Design: вебсайт. URL: <https://hillmancurtis.com/easy-eda-pcb-design/> (дата звернення: 02.02.2024).

## ДОДАТОК А

Варіант	Елемент	Варіант	Елемент
1	NAND2EE_CN	11	XNOR2EE_US
2	AND2EE_CN	12	NOR2EE
3	AND3EE_US	13	NAND2EE_US
4	AND3EE_CN	14	AND2EE_CN
5	AND2EE_CN	15	XNOR2EE_US
6	NAND2EE_US	16	NOR2EE
7	NAND3EE_CN	17	NAND2EE_CN
8	OR	18	AND3EE_US
9	NOR	19	AND3EE_CN
10	XNOR2EE	20	XNOR2EE_US

## ДОДАТОК Б

### Варіант 1

1, 2, 3, 4 -  $\varnothing 1,0$

$\perp$  -  $\varnothing 2,0$

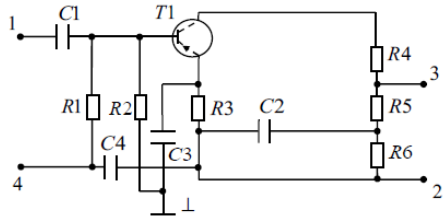
R1, R2, R3, R4 – МЛТ – 0,125

R5, R6 – МЛТ 0,5

T1 – КТ 315 А

C1, C2, C3 – К 50 – 3 А

C4 – К 50-3 Б



### Варіант 2

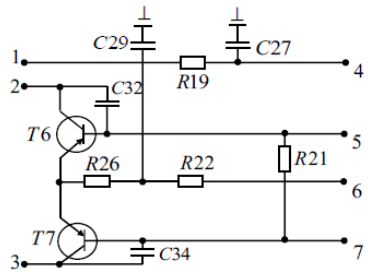
$\perp$ , 1...7 -  $\varnothing 1,0$

R21, R19, R22, R26 – МЛТ – 0,125

T6, T7 – КТ 315 В

C32, C34 – К50-12-12В

C29, C27 – К10-7В-Н90



### Варіант 3

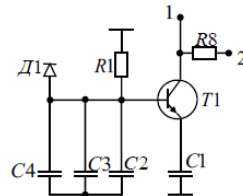
R1, R8 – МЛТ – 0,125

C1, C2, C3, C4 – К 50-3

T1 – КТ 363 АМ

1,  $\perp$  -  $\varnothing 1,2$

Д1 – Д7



### Варіант 4

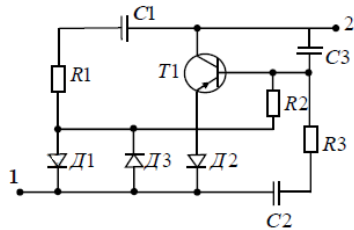
1, 2 -  $\varnothing 1,0$

Д1, Д2, Д3 – Д226

R1, R2, R3 – МЛТ – 0,125

C1, C2, C3 – К 50-3

T1 – КТ 315 Б



## Продовження додатка Б

### Варіант 5

1 -  $\varnothing 1,5$

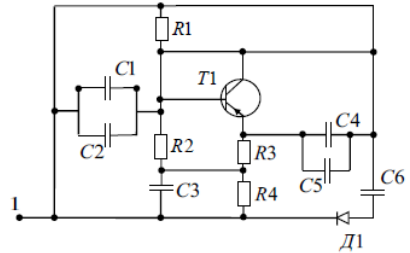
R1, R2, R3 – МЛТ – 0,25

R4 – МЛТ – 0,5

T1 – КТ 315 А

C1, C2, C3, C4, C5, C6 – К 50-3

D1 – Д226А



### Варіант 6

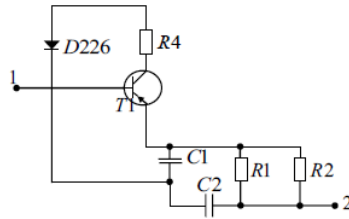
1, 2 -  $\varnothing 2$  мм

T1 – КТ363 АН

R1, R2, R4 – МЛТ – 0,25

D1 – Д226 Б

C1, C2, C3 – К 50-6



### Варіант 7

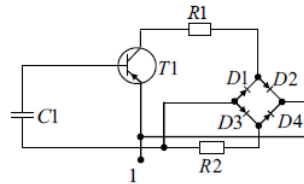
1 -  $\varnothing 2$  мм

R1, R2 – МЛТ – 0,125

C1 – К 50-3

D1, D2, D3, D4 – Д7

T1 – КТ 315 Б



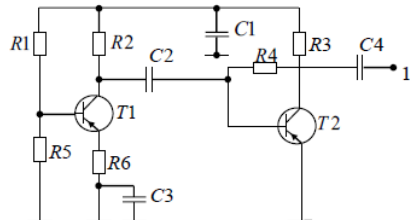
### Варіант 8

T1, T2 – КТ 316 В

⊥, 1 -  $\varnothing 1,1$

C1, C2, C3 – КМ 3 А-Н30

R1...R6 – МЛТ – 0,5

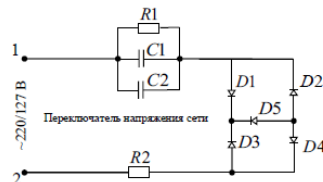


### Варіант 9

R2, R1 – МЛТ – 0,125

D1 – Д7Ж

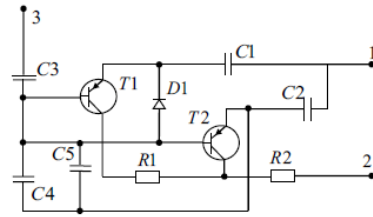
C1, C2 – К50-3В



## Продовження додатка Б

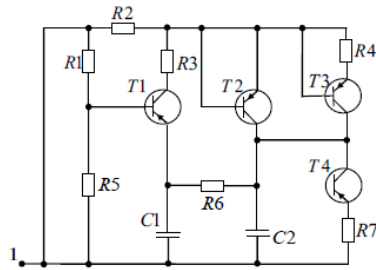
### Варіант 10

1, 2, 3 -  $\varnothing 1$  мм  
 T1, T2 – КТ315 Б  
 C1, C2 – К50-3  
 C3, C4 – КС0-3  
 МЛТ – 0,125  
 C5 – К50-1  
 Д1 – Д7Ж



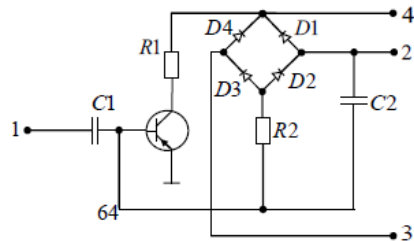
### Варіант 11

1 -  $\varnothing 1,0$   
 T1, T2, T3, T4 – МП 41  
 R1, R2, R3 – МЛТ- 0,125  
 R4, R6, R6, R7 – МЛТ – 0,25  
 C1, C2 – К 50-3



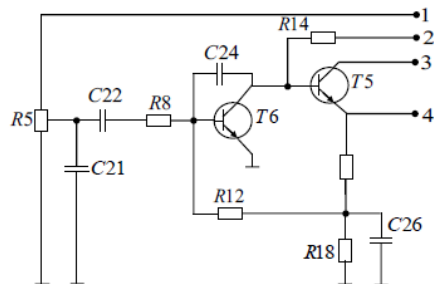
### Варіант 12

1, 2, 3, 4 -  $\varnothing 2$  мм  
 $\perp$  -  $\varnothing 2,5$  мм  
 R1, R2 – МЛТ – 0,125  
 C1, C2 – К50-3  
 Д1, Д2, Д3, Д4 – Д7Ж  
 T1 – КТ315Б



### Варіант 13

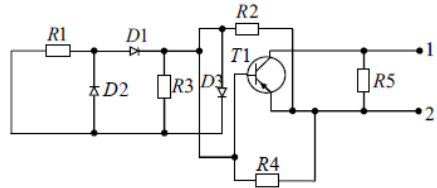
T5 – КТ 816  
 T6 – КТ 615  
 R14, R17, R18, R12, R5,  
 R8 – МЛТ-0,125  
 C21, C22, C24 – К50-3  
 C26 – К10-7В-Н90  
 1, 2, 3, 4 -  $\varnothing 1,0$  мм



Продовження додатка Б

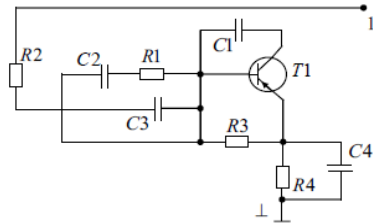
Варіант 14

1, 2 -  $\varnothing 1,0$  мм  
 R1...R4 – МЛТ-0,125  
 R5 – МЛТ-0,25  
 Д1...Д3 – Д7Ж  
 Т1 – КТ 315А



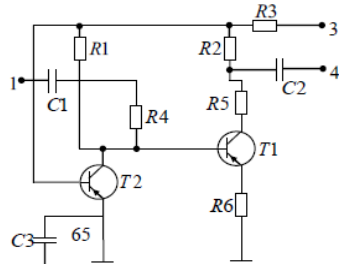
Варіант 15

Т1 – КТ 615  
 C1, C2, C3 – К 50-3  
 C4 – К10-НВ-Н90  
 R1...R4 – МЛТ – 0,125  
 1,  $\perp$  -  $\varnothing 1,0$  мм



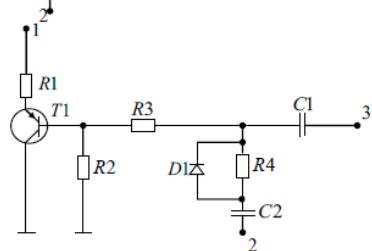
Варіант 16

Т1, Т2 – КТ 316 В  
 R1...R6 – МЛТ – 0,25  
 C1, C2, C3 – КМ 3 А  
 $\perp$ , 1, 2, 3 -  $\varnothing 1,0$  мм



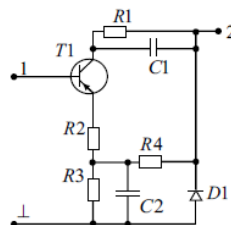
Варіант 17

Д1 – Д226А  
 C2, C1 – К 10-7 В  
 $\perp$ , 1, 2, 3 -  $\varnothing 1,0$  мм  
 Т1 – КТ 315 В  
 R1, R2, R3, R4 – МЛТ 0,125



Варіант 18

$\perp$ , 1, 2 -  $\varnothing 1,0$  мм  
 R1, R2, R3 – МЛТ-0,5  
 C1, C2 – КМ-3а-Н30  
 Т1 – П 203 А



Продовження додатка Б

R4 – МЛТ-0,125

Д1 – Д7Ж

Варіант 19

1, 2 - Ø1,0 мм

⊥ - Ø2,0 мм

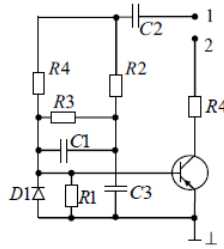
R1 – МЛТ -0,25

R2, R3, R4 – МЛТ-0,125

C1, C2, C3 – К 50-1

T1 – ГТ809

Д1 – Д7Ж



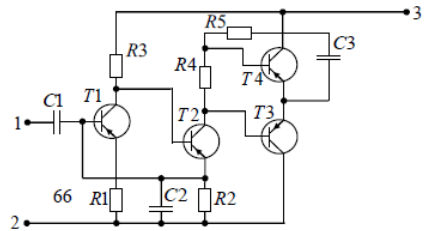
Варіант 20

1, 2, 3 - Ø1,5 мм

R1, R2, R3, R4, R5 – МЛТ - 0,125

T1, T2, T3, T4 – МП 41 А

C1, C2, C3 – К 50-3



Електронне навчальне видання

**Методичні вказівки**  
до лабораторних робіт  
із дисципліни **«Комп'ютерні системи 3D-друкування»**  
для здобувачів спеціальності 171 *«Електроніка»*  
всіх форм здобуття вищої освіти

Відповідальний за випуск А. С. Опанасюк  
Редакторка Н. М. Мажуга  
Комп'ютерне верстання В. Р. Васильєва

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 2,25. Обл.-вид. арк. 2,12.

Видавець і виготовлювач  
Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.