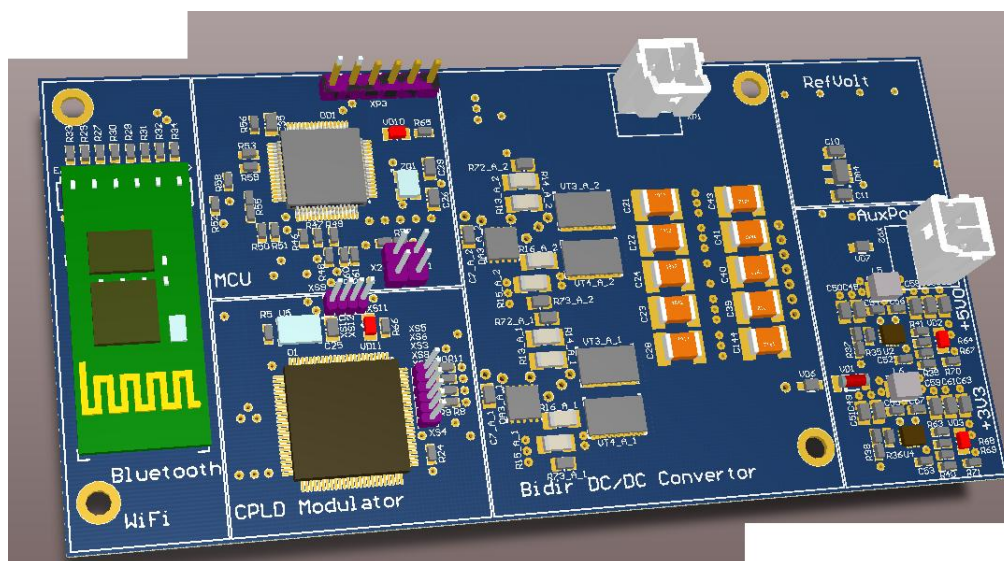


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ КОНСТРУЮВАННЯ РЕА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 172 «ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА» УСІХ ФОРМ НАВЧАННЯ



Затверджено
на засіданні кафедри
БРАС

*Протокол № 3
від 26.09.2019*

ЧЕРНІГІВ ЧНТУ 2019

Сучасні технології конструювання РЕА. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» усіх форм навчання. – Чернігів: ЧНТУ, 2019. – 67 с.

Укладачі: ВЕЛГОРСЬКИЙ ОЛЕКСАНДР АНАТОЛІЙОВИЧ, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри біомедичних радіоелектронних апаратів та систем;
ГУСЕВ ОЛЕКСАНДР АНАТОЛІЙОВИЧ, кандидат технічних наук, доцент кафедри біомедичних радіоелектронних апаратів та систем;
ІВАНЕЦЬ СЕРГІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ, кандидат технічних наук, доцент, директор навчально-наукового інституту електронних та інформаційних технологій

Відповідальний за випуск: ІВАНЕЦЬ СЕРГІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ, директор навчально-наукового інституту електронних та інформаційних технологій, кандидат технічних наук, доцент

Рецензент: ПРИСТУПА АНАТОЛІЙ ЛЕОНІДОВИЧ, кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційно-вимірюваних технологій, метрології та фізики

Зміст

Вступ	5
1 Лабораторна робота №1. Створення ескізів в SolidWorks	8
1.1 Теоретичні відомості.....	8
1.2 Підготовка до виконання лабораторної роботи	10
1.3 Хід роботи	11
1.4 Вимоги до оформлення звіту	11
1.5 Завдання для захисту лабораторної роботи.....	12
1.6 Контрольні питання.....	17
2 Лабораторна робота №2. Створення деталей в SolidWorks.....	18
2.1 Теоретичні відомості.....	18
2.2 Підготовка до виконання лабораторної роботи	19
2.3 Хід роботи.	19
2.4 Вимоги до оформлення звіту	20
2.5 Завдання для захисту лабораторної роботи.....	20
2.6 Контрольні питання.....	31
3 Лабораторна робота №3. Створення складань в SolidWorks	32
3.1 Теоретичні відомості.....	32
3.2 Підготовка до виконання лабораторної роботи	33
3.3 Хід роботи	33
3.4 Вимоги до оформлення звіту	33
3.5 Завдання для захисту лабораторної роботи.....	34
3.6 Контрольні питання.....	37
4 Лабораторна робота №4. Інтеграція SolidWorks та програм розробки друкованих плат	38
4.1 Теоретичні відомості.....	38
4.2 Підготовка до виконання лабораторної роботи	46
4.3 Хід роботи	46
4.4 Вимоги до оформлення звіту	47
4.5 Завдання для захисту лабораторної роботи.....	47
4.6 Контрольні питання.....	51
5 Лабораторна робота №5. Оформлення креслень в SolidWorks	53
5.1 Теоретичні відомості.....	53
5.2 Підготовка до виконання лабораторної роботи	53
5.3 Хід роботи	53
5.4 Вимоги до оформлення звіту	54
5.5 Завдання для виконання лабораторної роботи.....	54
5.6 Контрольні питання.....	54

6	Лабораторна робота №6. Виконання ієрархічних проектів електричних схем пристроїв в програмі Altium Designer.....	55
6.1	Теоретичні відомості.....	55
6.2	Підготовка до виконання лабораторної роботи	57
6.3	Хід роботи	57
6.4	Вимоги до оформлення звіту.....	57
6.5	Завдання для виконання лабораторної роботи.....	57
6.6	Контрольні питання.....	59
7	Лабораторна робота №7. Розробка друкованих плат ієрархічних проектів в програмі Altium Designer	61
7.1	Теоретичні відомості.....	61
7.2	Підготовка до виконання лабораторної роботи	63
7.3	Хід роботи	63
7.4	Вимоги до оформлення звіту.....	64
7.5	Завдання для виконання лабораторної роботи.....	64
7.6	Контрольні питання.....	65
	Додаток А	66
	Рекомендована література.....	67

Вступ

«Сучасні технології конструювання РЕА» (СТК РЕА) входить до нормативної частини навчального плану підготовки магістрів за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» і належить до циклу дисциплін професійної підготовки. Предметом курсу є технології конструювання радіоелектронного обладнання різноманітного призначення та використання сучасних системи автоматизованого проектування для їх розробки. Одним з важливих етапів вивчення даної дисципліни є цикл лабораторних робіт, під час виконання якого студенти набувають практичних навичок роботи з конструювання РЕА з використанням сучасних пакетів САПР на прикладі SolidWorks та Altium Designer, які забезпечують повний цикл розробки конструкції радіоелектронного виробу, включаючи електронну та механічну частини.

SolidWorks є однією з найбільш поширених механічних САПР. Для полегшення проектування радіоелектронних пристроїв використовуються декілька допоміжних програм – CircuitWorks, SWR-Електрика, ЖГУТ-Електро, які забезпечують інтеграцію електронних та механічних САПР, створення збирання друкованої плати в SolidWorks, розрахунок та автоматизацію прокладки джгутових з'єднань в приладі. Для вирішення теплових задач використовується модулі COSMOSWorks (побудова теплових ізоклін, розрахунок власних частот та деформацію плати) та COSMOSFloWorks (розрахунок задач переносу рідин та газів з можливістю паралельного вирішення задач теплопровідності та теплопередачі). Враховуючи базовий функціонал, додаткові модулі та допоміжні програми, SolidWorks є потужною САПР, яка дозволяє виконати комплексне проектування радіоелектронної апаратури різної складності.

Altium Designer є однією з найбільш потужних та найбільш розповсюджених САПР розробки друкованих плат, яка містить інструменти для комплексного проектування та аналізу електромагнітної сумісності радіоелектронного виробу, якості розробки внутрішніх екранних шарів, використання 3D моделей компонентів та створення 3D вигляду друкованої плати з дотриманням зазорів між компонентами як в 2D так і в 3D. Altium Designer має Open Source аналог Circuit Maker та спрощену версію Circuit Studio, створюючи таким чином потужний набір інструментів починаючи від радіолюбителів і закінчуючи потужними компаніями з найскладнішими проектами.

Методичні вказівки призначені для самостійної підготовки студентів до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Сучасні технології конструювання РЕА», й містять докладний опис циклу лабораторних робіт, який виконується в пакетах SolidWorks та Altium Designer.

Процес підготовки до виконання лабораторної роботи потребує обов'язкового ознайомлення з рекомендованою літературою [1-3], методичними вказівками з самостійної роботи [5] та лекційним

матеріалом. Не зайвим буде також переглянути курси відеолекцій [10-11], в якому розглянуті практичні аспекти використання SolidWorks для розробки реального пристрою.

До складу кожного розділу методичних вказівок входять стислі теоретичні відомості, контрольні питання, за допомогою яких можна перевірити ступінь готовності студента до виконання лабораторної роботи, приклади завдань до захисту лабораторної роботи та рекомендації щодо оформлення звіту. Найбільш детально розглянутий довідковий матеріал по 4-й лабораторній роботі, в якій виконується інтеграція САПР друкованих плат і механічних САПР, до яких відноситься SolidWorks. Це обумовлено тим, що робота з базовим функціоналом SolidWorks досить детально розглянута в багатьох джерелах (Інтернет, відеоуроки, книжки), в той час як матеріалів щодо особливостей використання конвертору CircuitWorks майже немає.

Для виконання лабораторної роботи студент отримує номер варіанту завдання від викладача. Приклади завдань до всіх лабораторних робіт наведені у відповідних розділах методичних вказівок, але, викладачем можуть бути підготовлені й інші завдання подібної складності, не наведені в даних методичних вказівках. Отримавши завдання, студент виконує його протягом лабораторної роботи, після чого здає викладачу на перевірку. Результат виконання завдання і його захист оцінюється певною кількістю балів (розподіл балів оприлюднюється викладачем на початку семестру). У випадку, якщо студент не встиг виконати поставлене завдання за час лабораторного заняття, він показує викладачеві фактично виконану роботу, і в залежності від відсотку виконання, на наступне лабораторне заняття він може доробити його зі зниженням підсумкового балу за виконання, або ж отримати нове завдання.

Результати виконання лабораторних робіт оформлюються у вигляді звітів на аркушах формату *A4*, кожен з яких містить:

- 1) титульний аркуш встановленого зразку з повною назвою лабораторної роботи, номером групи, прізвищем студента та його підписом;
- 2) завдання на лабораторну роботу з номером варіанту;
- 3) результат виконання (більш докладна інформація наведена у відомостях до кожної роботи);
- 4) висновки щодо отриманих результатів.

Оформлення результатів виконання кожної лабораторної роботи має свої особливості, які вказані у розділах «Вимоги до оформлення звіту» даних методичних вказівок. Після оформлення звіту він здається викладачу на перевірку, й у випадку відсутності грубих помилок викладач виставляє оцінку за оформлення роботи. Якщо звіт оформлено не за встановленими правилами, то він повертається на переробку.

Кожна лабораторна робота оцінюється також з точки зору своєчасності виконання окремою оцінкою. Відповідно, кожна лабораторна

робота оцінюється певною кількістю балів, які долучаються до балів, набраних за інші види робіт протягом поточної атестації. Докладний розподіл балів також наведений в робочій програмі дисципліни, яка готується перед початком семестру, де відбуватиметься викладання дисципліни.

1 Лабораторна робота №1. Створення ескізів в SolidWorks

Мета роботи: ознайомитися з інтерфейсом програми SolidWorks, навчитися створювати ескізи деталей, що містять довідкові розміри і взаємозв'язки.

1.1 Теоретичні відомості

Основа будь-якої твердотілої деталі (моделі радіоеlementу, корпусу, монтажних елементів, тощо), яка створюється користувачем, будується на основі ескізу. Накресливши ескіз, його можна легко перетворити в основу деталі (за допомогою команд видавлювання, обертання, лофінгу), а потім додати до неї похідні об'єкти (які теж створюються на основі ескізів).

Під час створення ескізів використовуються команди з панелі інструментів «Ескіз» (див. рисунок 1.1), які дозволяють провести лінію, дугу, сплайн, розмітити прямокутник, коло, допоміжні елементи (площину, осьову лінію, точку). Крім того, в цій же панелі розміщуються команди модифікації елементів ескізу – заокруглення, дзеркального відображення, зміщення, обрізки та продовження об'єктів. Остання група команд панелі дозволяє додати взаємозв'язки, які допомагають певним чином фіксувати елементи ескізу.

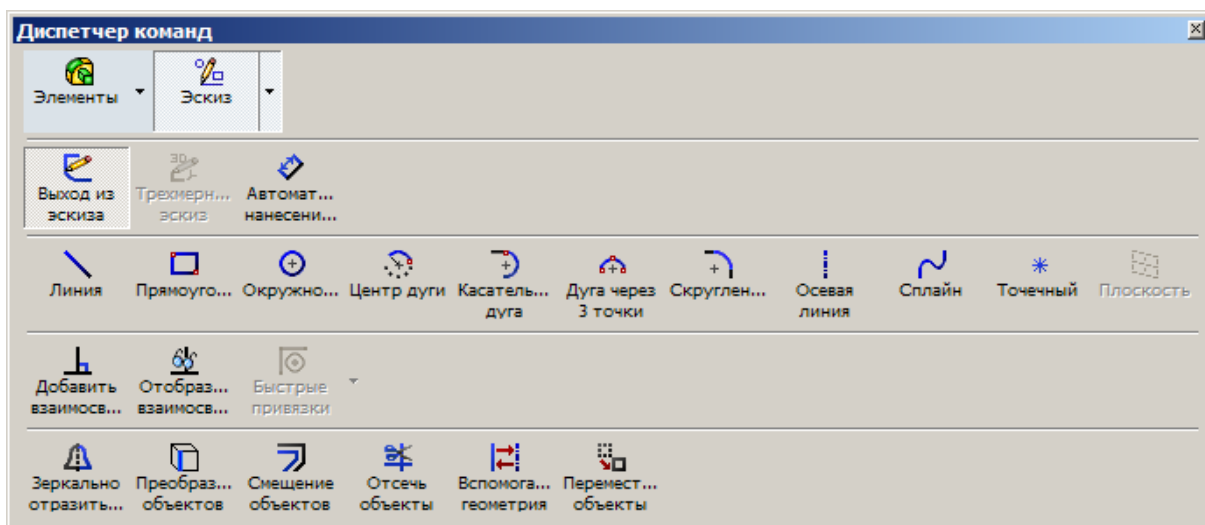


Рисунок 1.1 – Команди панелі інструментів «Ескіз»

Перш ніж приступити до створення ескізу, користувач повинен продумати послідовність виконання всієї деталі. Визначення алгоритму побудови деталі є першим і дуже важливим етапом при створенні моделей SolidWorks. Алгоритм побудови визначає спосіб поведінки моделі при зміні її розмірів. Наприклад – спосіб створення і нанесення розмірів на отвір в блоці. Отвір може знаходитись на певній відстані від кута чи кромки, або ж, наприклад, посередині грані. При зміні розмірів блоку чи отвору деталь повинна перебудовуватись коректно. На рисунку 1.2 показана коректна поведінка моделі при зміні розмірів.

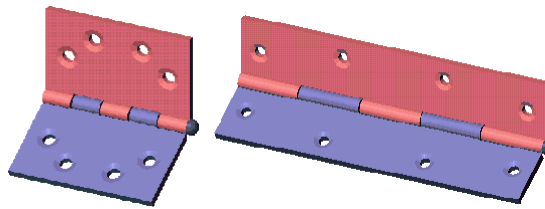


Рисунок 1.2 – Приклад зміни розмірів в деталі

Обов'язково продумайте послідовність створення моделі і всі зв'язки, які є між елементами моделі. Пам'ятайте, що правильно створена модель веде себе передбачено при зміні розмірів. Це дозволяє створити набори (конфігурації) однотипних елементів – болтів, шайб, конденсаторів (електролітичні різних розмірів), SMD резисторів та конденсаторів (1206, 0805, 0604, 0402, 0201), мікросхем (наприклад, DIP8, DIP14, DIP16 та ін.).

Для коректної перебудови моделі при зміні розмірів ескізу використовуються взаємозв'язки, які задають взаємне розташування елементів ескізу. Приклади основних взаємозв'язків і їх зображення в програмі показані на рисунку 1.3.

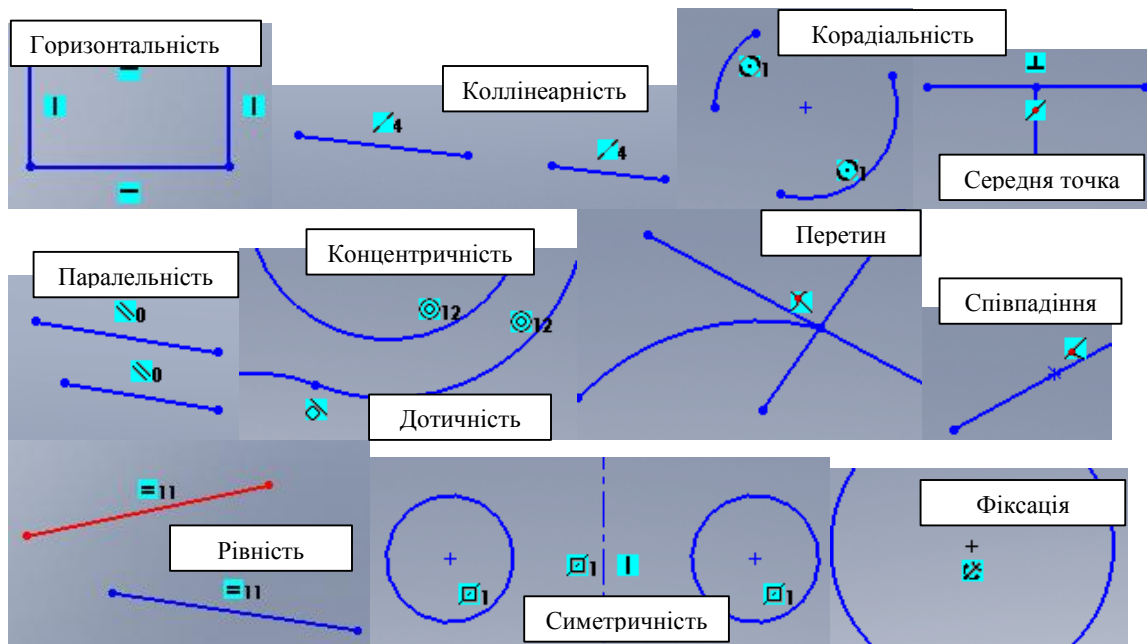


Рисунок 1.3 – Види і позначення взаємозв'язків

В загальному випадку, краще використовувати нескладні ескізи при великій кількості елементів, а не навпаки. Прості ескізи простіше створювати, обслуговувати, змінювати, крім того, в них простіше вказати розміри й вони більш зрозумілі. Наведений на рисунку 1.4 перший варіант ескізу є невдалим, так як заокруглення входять до самого ескізу, і щоб змінити радіус заокруглення, треба заходити в ескіз і змінювати кожен радіус заокруглення (чи використовувати зв'язки значень розмірів). Другий варіант більш простий, а створення заокруглення в ньому виконується окремою командою.

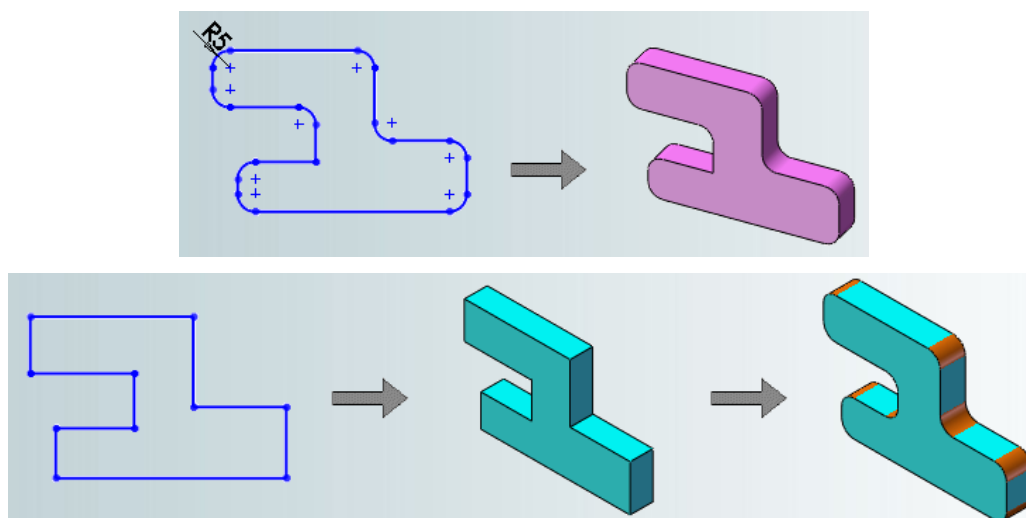
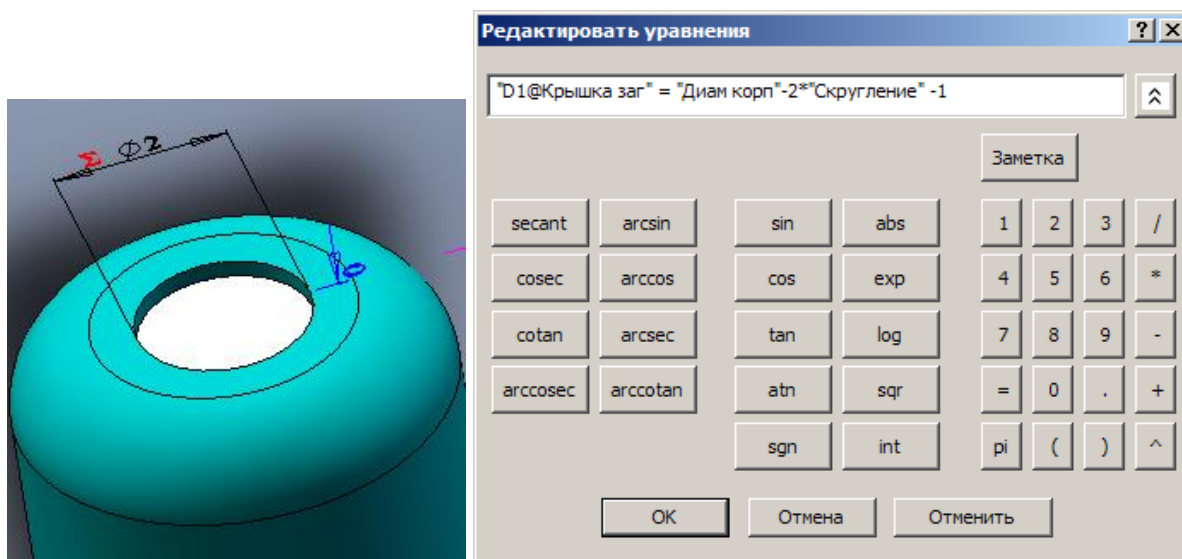


Рисунок 1.4 – Приклад невдалого і вдалого ескізів

Однак, в даній лабораторній роботі, для ознайомлення з усім набором інструментів для створення та редагування ескізів, завдання повинні бути виконані саме у тому вигляді, як показано.

Для полегшення перебудови при зміні розмірів також можна використовувати рівняння, які пов'язують між собою окремі розміри ескізу. Наприклад, діаметр отвору в кришці електролітичного конденсатора залежить від діаметру корпусу і величини заокруглення бокових граней (рисунок 1.5 а) за формулою, показаною на рисунку 1.5 б. Особливо ефективним є використання рівнянь при розробці деталей з декількома конфігураціями.



а) позначення на деталі

б) запис рівняння

Рисунок 1.5 – Використання рівнянь

1.2 Підготовка до виконання лабораторної роботи

Перед виконанням лабораторної роботи рекомендується ознайомитись з прикладами створення ескізів, встановлення розмірів і взаємозв'язків, що розглянуті в методичних вказівках до самостійної

роботи [5], курсі лекцій, а також допоміжній літературі [1-3]. Особливу увагу потрібно звернути на створення взаємозв'язків між різними елементами ескізу, так як вони значно полегшують його подальшу модифікацію, наприклад, при зміні встановлених спочатку розмірів.

1.3 Хід роботи

1. Отримати варіант завдання у викладача.
2. Продумати послідовність виконання ескізу деталі, вказаної у варіанті.
3. Виконати побудову елементів ескізу на площині «спереду», яка повинна обов'язково включати графічні елементи ескізу (напр., лінії, кола, дуги, прямокутники та ін.), розміри і взаємозв'язки таким чином, щоб ескіз став повністю визначеним. Під час виконання *не допускається* використання команди «Полностью определенный эскиз».
4. Зберегти файл деталі на диск D ПК.
5. Показати результат виконання викладачу, відповісти на питання, які ставитиме викладач під час захисту роботи.
6. Внести зміни, якщо це буде потрібно, у виконаний ескіз, зберегти файл деталі на флеш-накопичувач для подальшого оформлення звіту з лабораторної роботи.

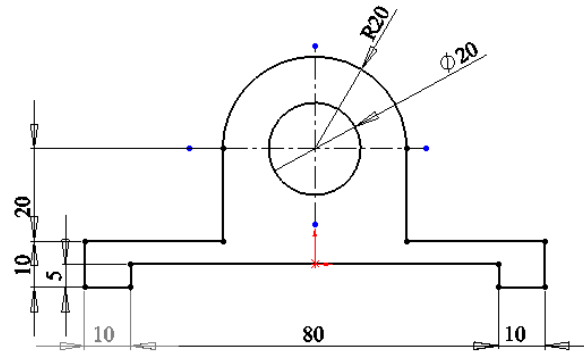
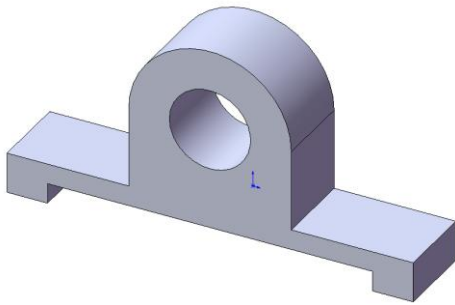
1.4 Вимоги до оформлення звіту

Звіт з лабораторної роботи обов'язково повинен містити наступну інформацію:

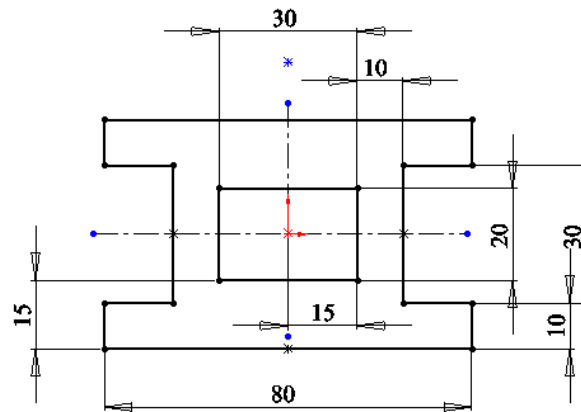
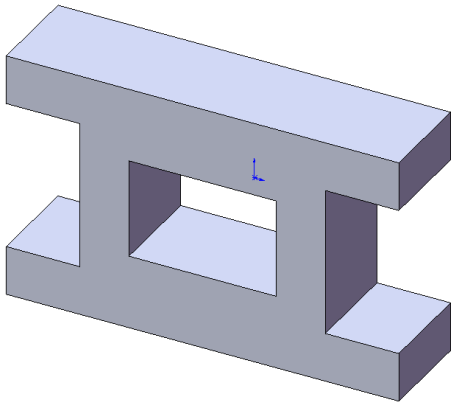
- послідовність створення ескізу;
- аналіз особливостей створення ескізу (наявність спеціалізованих команд, наприклад, динамічного віддзеркалення, масивів і т. ін.);
- альтернативні способи побудови елементів ескізу (наприклад, використання спеціалізованої команди slot замість набору дуг, тощо);
- перелік типів взаємозв'язків, які використовувались під час створення ескізу;
- графічні копії екрану SolidWorks з накресленим ескізом у відповідності до завдання;
- перелік рівнянь (якщо вони використовувались).

1.5 Завдання для захисту лабораторної роботи

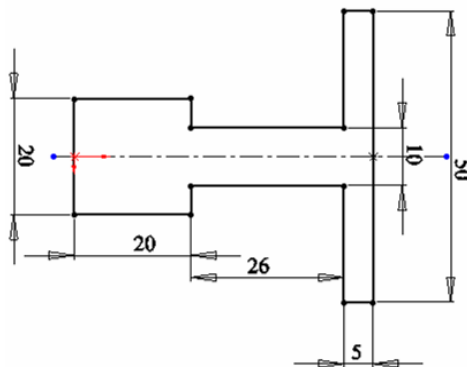
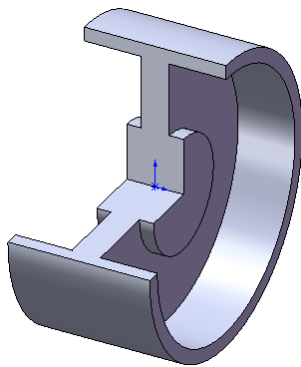
1 варіант



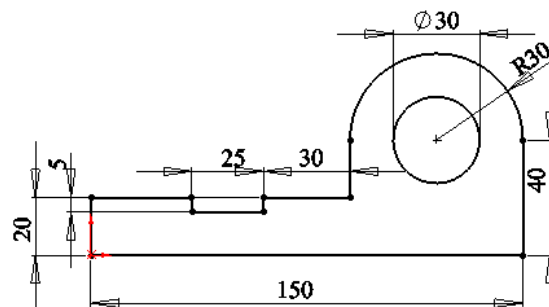
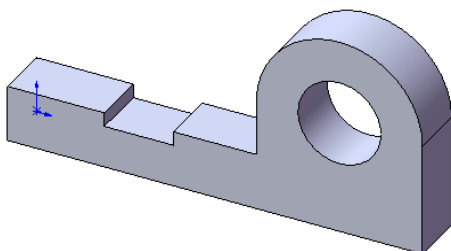
2 варіант



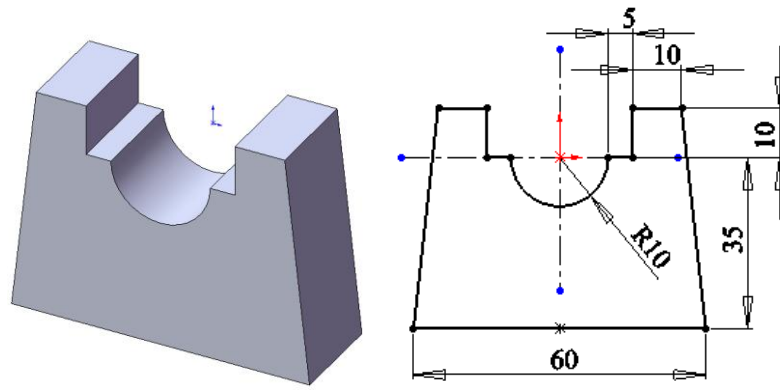
3 варіант



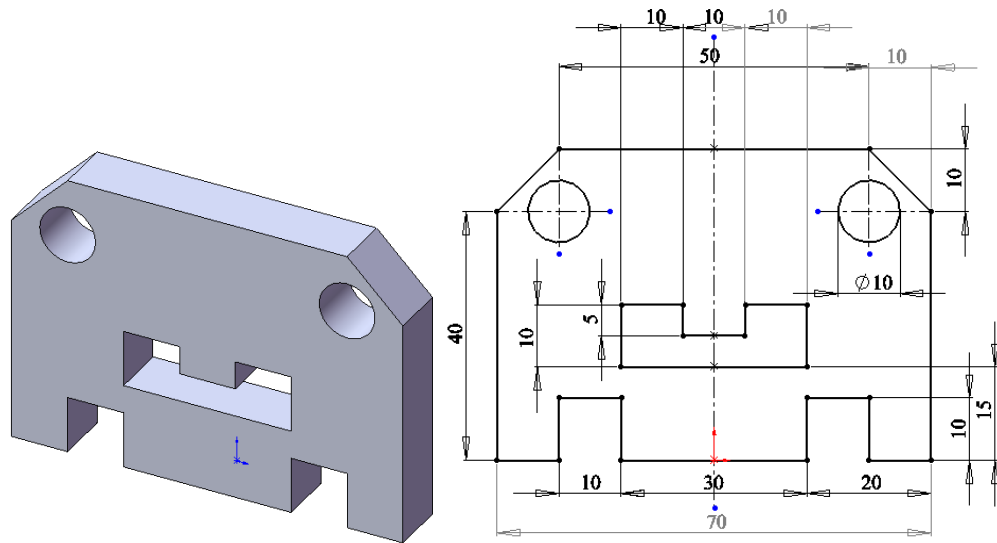
4 варіант



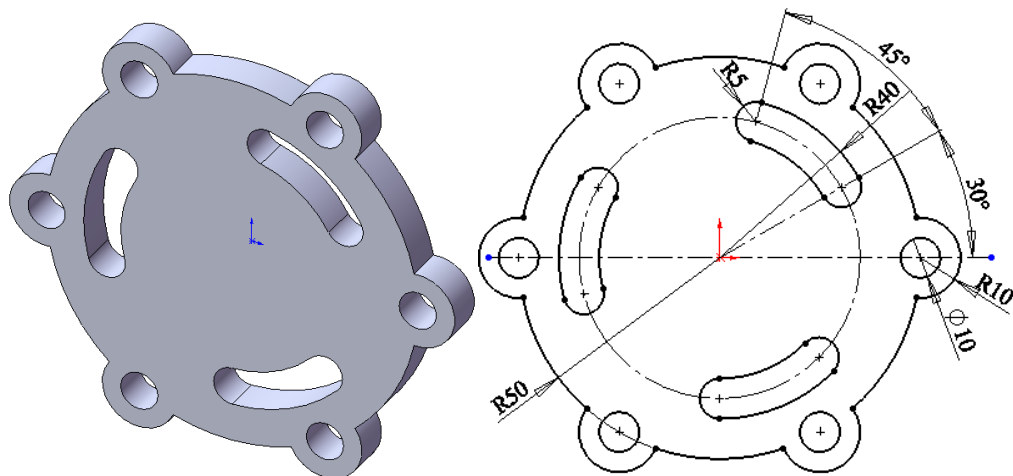
5 варіант

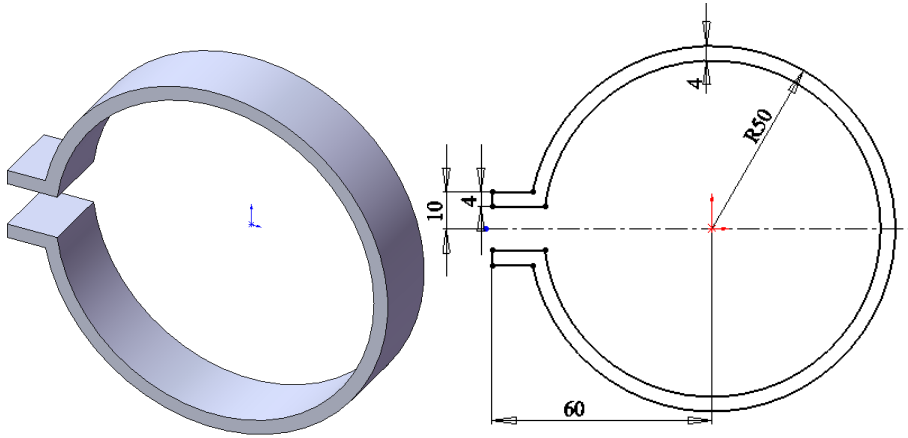
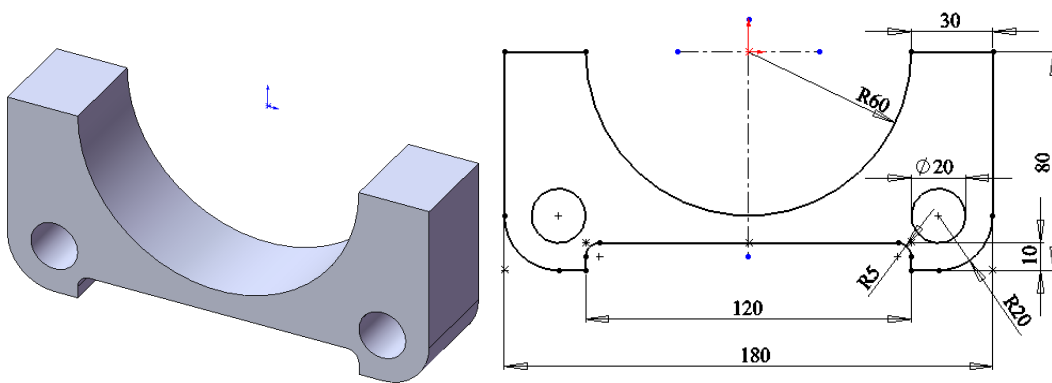
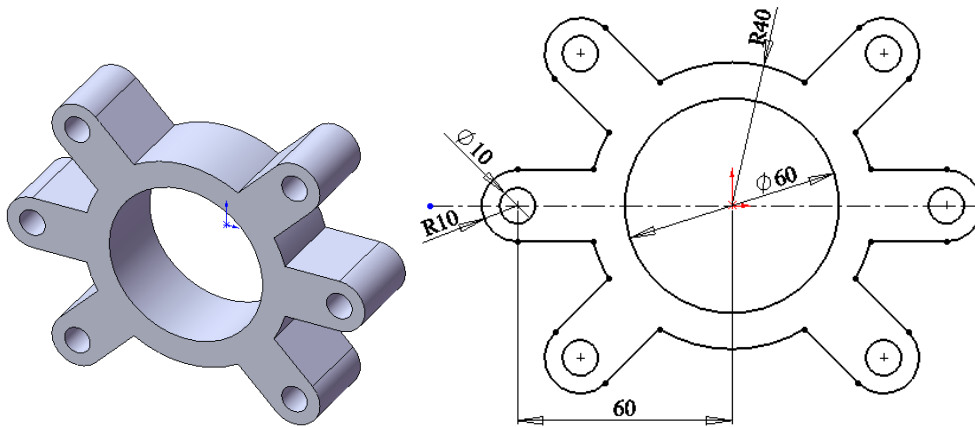


6 варіант

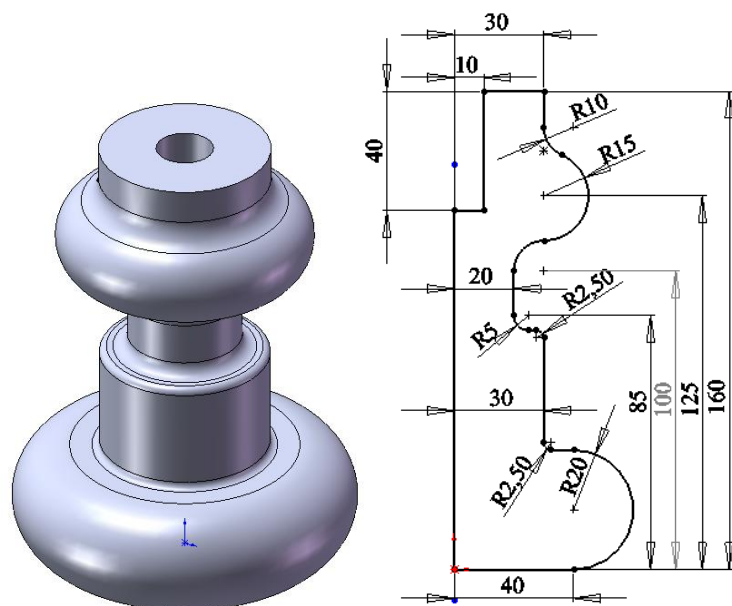


7 варіант

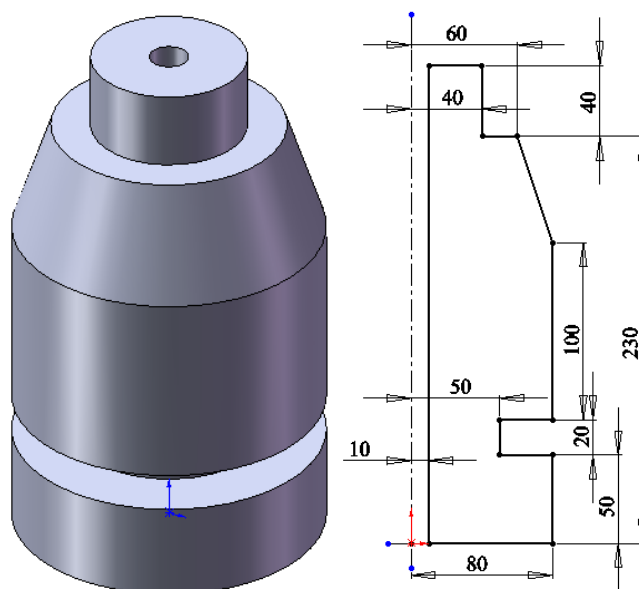


8 варіант**9 варіант****10 варіант**

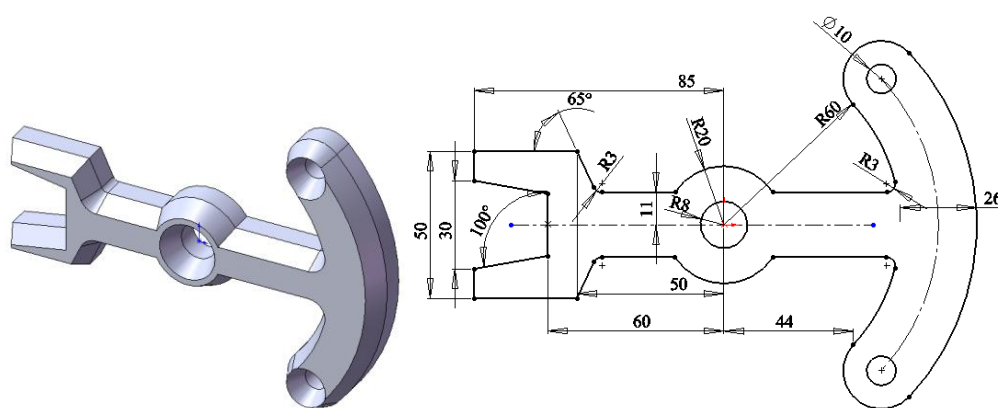
11 варіант



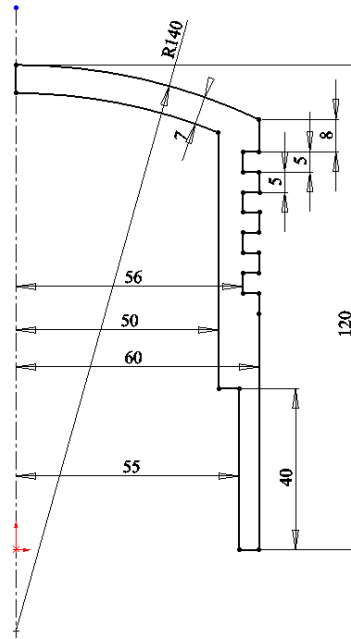
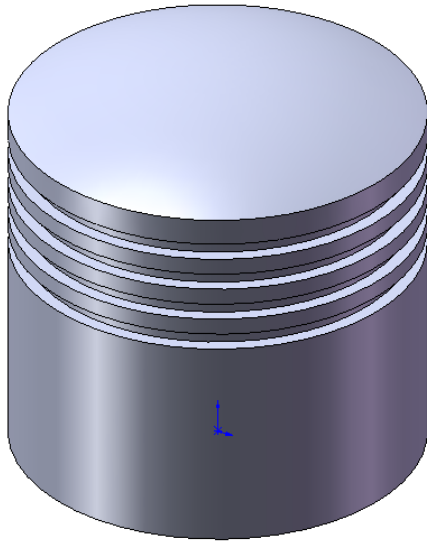
12 варіант



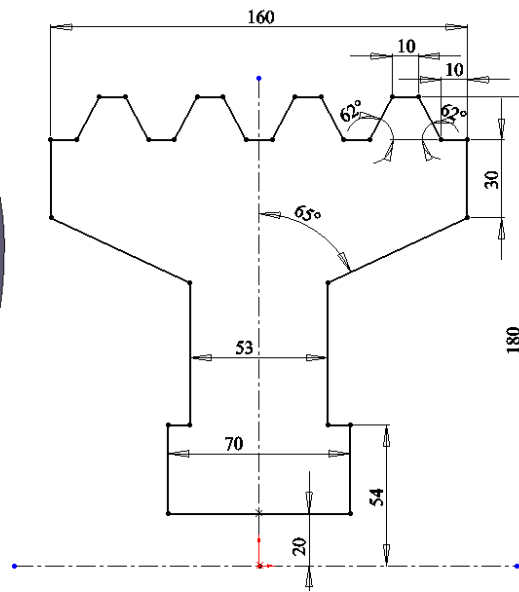
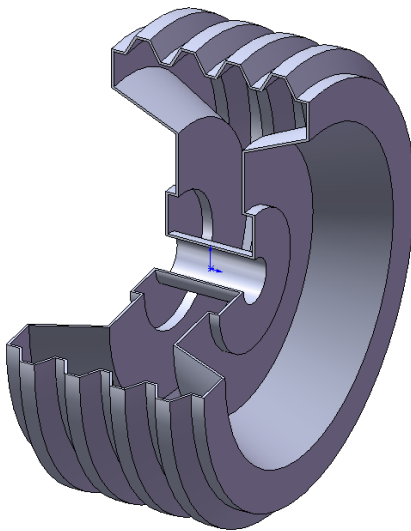
13 варіант



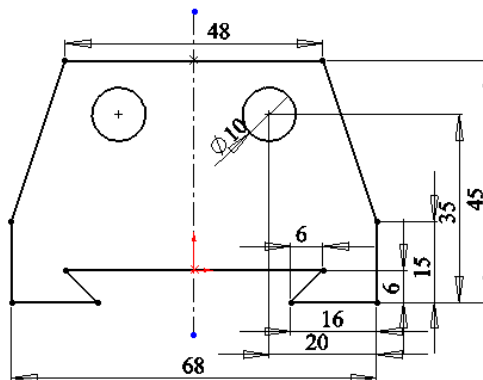
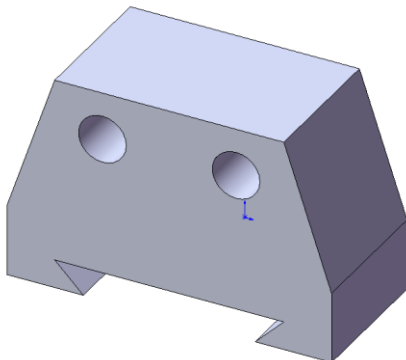
14 варіант



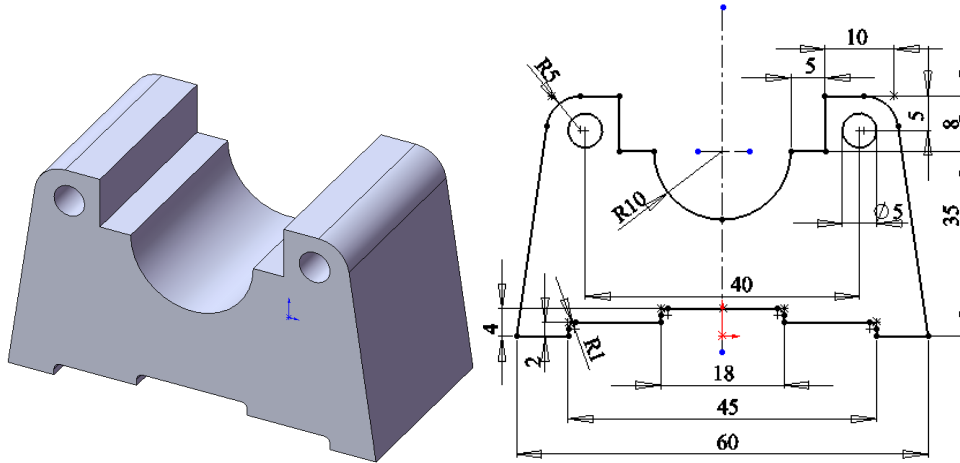
15 варіант



16 варіант



17 варіант



1.6 Контрольні питання

1. З чого починається створення ескізу?
2. Які типи ескізів можуть бути створені в SolidWorks?
3. Як змінити вже існуючий ескіз?
4. Перелічіть об'єкти, які можуть входити до складу ескізу?
5. Як створити допоміжні елементи ескізу (такі, що не будуть використовуватись для створення твердотілих елементів)?
6. Які елементи допоміжної геометрії можуть входити до складу ескізу?
7. Які команди використовуються для створення об'єктів ескізу? Наведіть приклади.
8. Які команди використовуються для редагування елементів ескізу? Наведіть приклади.
9. Які типи масивів можуть використовуватись в ескізі?
10. В чому відмінність команди «динамическое зеркальное отображение» від «зеркальное отражение»? Продемонструйте в програмі.
11. Які варіанти команди «отсечь» використовуються для редагування ескізів?
12. Де може розташовуватись ескіз?
13. Чи можна перемістити елементи ескізу на певну відстань?
14. Обґрунтуйте, що краще – декілька складних ескізів, чи один складний?
15. Продемонструйте проставлення розмірів в ескізі.
16. Між якими елементами ескізу можна проставити розміри?
17. Які взаємозв'язки використовуються для фіксації складових ескізу?
18. Для чого можуть використовуватись рівняння в ескізах?
19. Продемонструйте використання рівнянь в ескізах.
20. Чи можна змінити розташування початкової точки ескізу?

2 Лабораторна робота №2. Створення деталей в SolidWorks

Мета роботи: навчитися створювати і використовувати довідкову геометрію; створювати деталі радіоелементів та корпусів РЕА за допомогою команд витягування, обертання, створення вирізів, заокруглень і фасок, а також за допомогою методу виділення контурів; навчитися використовувати команди комбінації і розділення тіл.

2.1 Теоретичні відомості

Створення елементів деталі на основі ескізу – один з основних етапів роботи в SolidWorks, і саме йому в довідниковій літературі приділяється найбільша увага. Кінцевим результатом розробки деталі є твердотіла модель певного виробу, наприклад, радіоелементу, корпусу, метизу для кріпезу, тощо. Інформація з моделі може бути використана як для створення візуальної 3D моделі радіоелектронного виробу, так і в якості технологічної основи для виготовлення окремих складових (наприклад, модель корпусу виробу може бути виготовлена за допомогою відливки металу, або ж інжекційної плавки пластику, тощо). В такому випадку, розроблена в SolidWorks деталь буде використовуватись (або конвертуватись в інший формат) в додаткових програмах, які будуть генерувати технологічні файли для роботи обладнання (наприклад, створення відливок – *mold*-ів на фрезерних CNC-машинах, або виготовлення прототипу з пластику за допомогою 3D-принтеру).

Існує значна кількість команд, які дозволяють перейти від дво- (або три-) вимірного ескізу до твердотілого елемента. Взагалі, існує два основних шляхи створення твердотілих елементів у SolidWorks:

1) Шляхом витягування/обертання ескізів, вирізів на основі ескізів (подібний підхід розглядається у більшості книжок, що описують роботу з зазначеною програмою).

2) Шляхом перетворення набору створених поверхонь у твердотілий елемент (команди «*На расстояние*», «*Заполнить поверхность*», «*Вытянуть до поверхности*» та ін.). Така методика дозволяє створити корпуси електронних пристроїв дуже складної форми. Однак, цей підхід майже не розглядається в доступній літературі. На сервері кафедри розміщені твердотілі деталі, створені автором [8], які ілюструють методику створення моделі на основі моделювання поверхонь, а також курс відеозанять [10], в другій частині якого є розділ «*Surface Design*».

Ескізи, на основі яких створюються елементи деталі, можуть мати як внутрішні взаємозв'язки, так і взаємозв'язки із зовнішніми по відношенню до ескізу елементами.

Також слід відзначити, що створена деталь може мати одне тверде тіло, для якого задано один матеріал, а також декілька окремих твердих тіл. Створити таку деталь можна за допомогою стандартних режимів витягування ескізу без опції «*Результат слияния*». Відповідно, таким

чином ми можемо задати різні матеріали (пластмаса, метал, скло) в одній деталі. Такий підхід широко використовується при проектуванні моделей електронних компонентів (роз'ємів і з'єднувачів, кнопок, мікросхем) для створення більш точних масових характеристик та фотореалістичного зображення.

Під час створення однотипних деталей, які відрізняються лише певними розмірами, доцільно використовувати *конфігурації* деталей. Приклад деталі з декількома конфігураціями – SMD резистор або конденсатор (різні розміри), мікросхема SO (різні розміри і різна кількість виводів). Конфігурація – набір розмірів, записаних у вигляді *таблиці параметрів*.

2.2 Підготовка до виконання лабораторної роботи

Перед виконанням лабораторної роботи рекомендується ознайомитись з методикою створення твердотілих деталей на основі ескізів, розглянутою в методичних вказівках до самостійної роботи [5] та допоміжній літературі [1-3]. Особливу увагу потрібно звернути на:

- складні інструменти та режими витягування «*До поверхності*», «*На расстоянии от поверхности*» (розділи «*Профессиональные инструменты моделирования*», [3]);
- режими створення деталей з декількома твердими тілами (прапорець «*Результат слияния*»);
- створення елементів на основі вже створених ескізів і елементів (команда «*Смещение*»);
- використання взаємозв'язків в ескізах при побудові елементів деталі;
- створення конфігурацій деталей;
- створення взаємозв'язків між різними елементами ескизу, так як вони значно полегшують його подальшу модифікацію, наприклад, при зміні встановлених спочатку розмірів.

2.3 Хід роботи.

1. Отримати варіант завдання у викладача.
2. Продумати послідовність виконання деталі, вказаної у варіанті.
3. Виконати побудову ескізів і елементів деталі у відповідності до варіанту. Всі ескізи деталі повинні бути повністю визначеними, під час виконання не допускається використання команди «*Полностью определенный эскиз*».
4. Зберегти файл деталі на диск D ПК.
5. Показати результат виконання викладачу, відповісти на питання, які ставитиме викладач під час захисту роботи.
6. Внести зміни, якщо це буде потрібно, у створену деталь, зберегти файл деталі на флеш-накопичувач для подальшого оформлення звіту з лабораторної роботи.

2.4 Вимоги до оформлення звіту

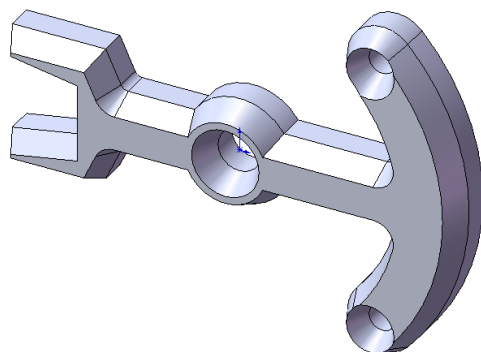
Звіт з лабораторної роботи обов'язково повинен містити наступну інформацію:

- послідовність створення деталі з переліком команд, що використовувались для побудови;
- альтернативні команди, які можуть бути використані для побудови деталі
- графічні копії екрану SolidWorks, які ілюструють послідовність створення деталі (декілька основних кроків);
- перелік рівнянь і конфігурацій (якщо вони використовувались);
- статистика деталі (кількість ескізів, елементів, конфігурацій і т.п.).

2.5 Завдання для захисту лабораторної роботи

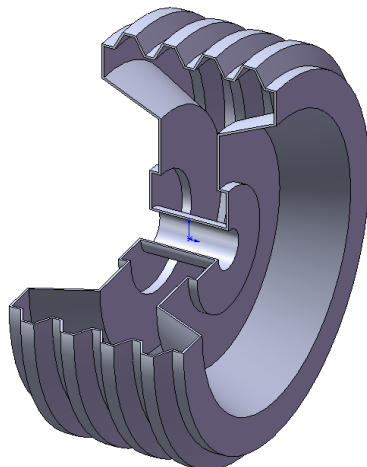
1 варіант

На основі створеного раніше ескізу створіть деталь. Напрямок видавлювання 1: глибина = 10 мм, кут нахилу = 35° . Напрямок видавлювання 2: глибина = 15 мм, кут нахилу = 0° . Час, відведений на виконання – 5 хвилин.



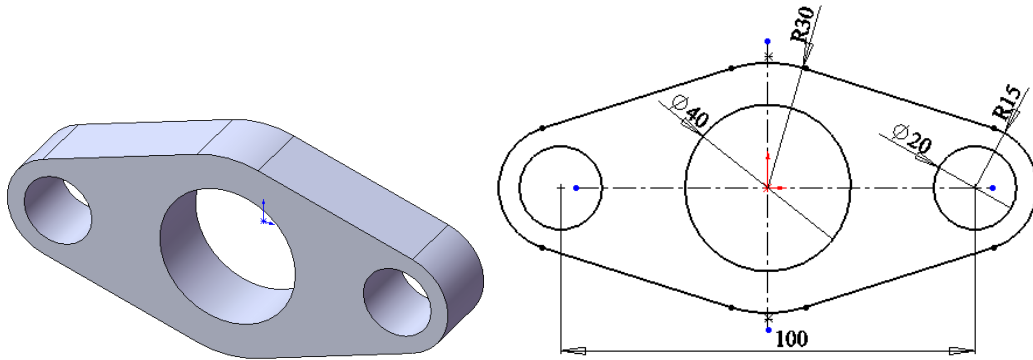
2 варіант

На основі створеного раніше ескізу створіть деталь. Кут обертання – 270° , товщина стінок – 1 мм. Матеріал – мідь. Час, відведений на виконання – 10 хвилин.



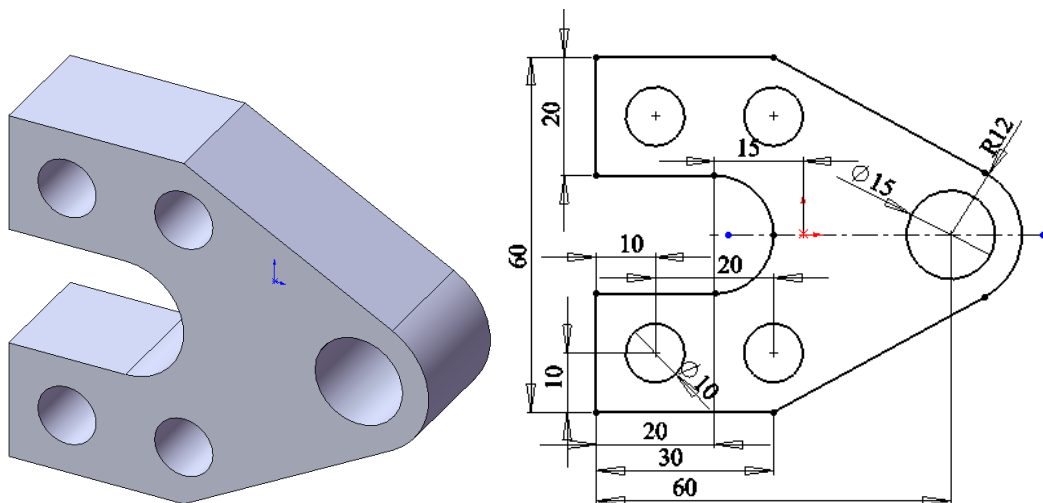
3 варіант

Створіть деталь. Побудуйте ескіз і проставте на ньому розміри за допомогою функції автоматичного нанесення розмірів. Глибина витягування = 25 мм. Змініть стандартні види так, щоб при виборі виду зверху відображався поточний вид спереду. Час, відведений на виконання – 20 хвилин.



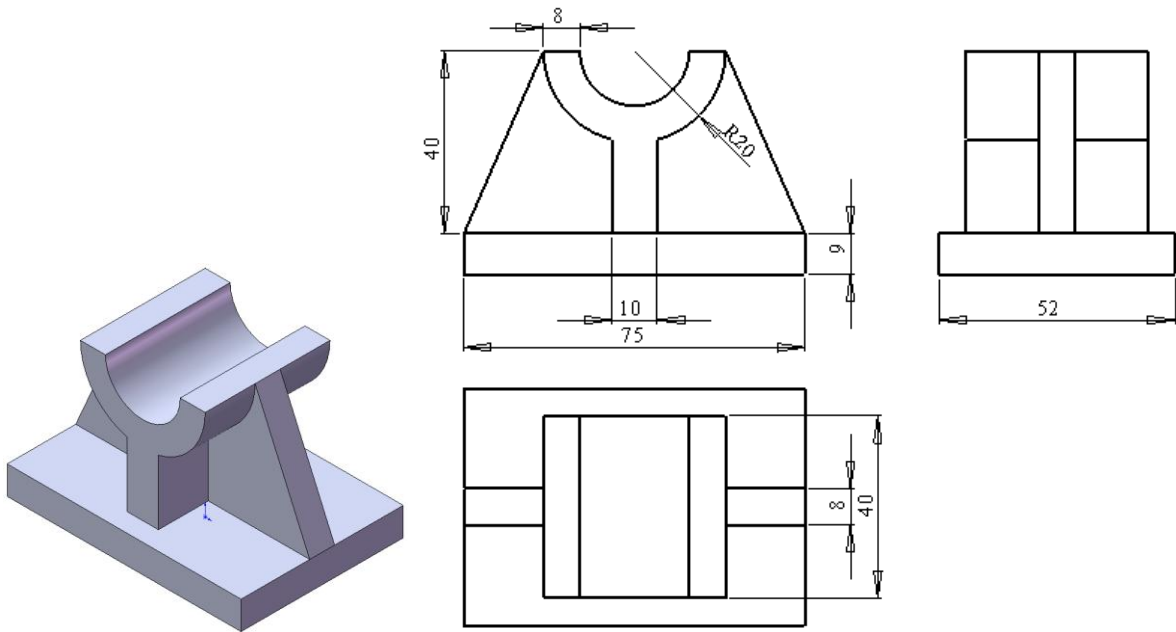
4 варіант

Створіть деталь. Побудуйте ескіз і проставте на ньому розміри за допомогою функції автоматичного нанесення розмірів. Глибина витягування = 15 мм. Час, відведений на виконання – 25 хвилин.

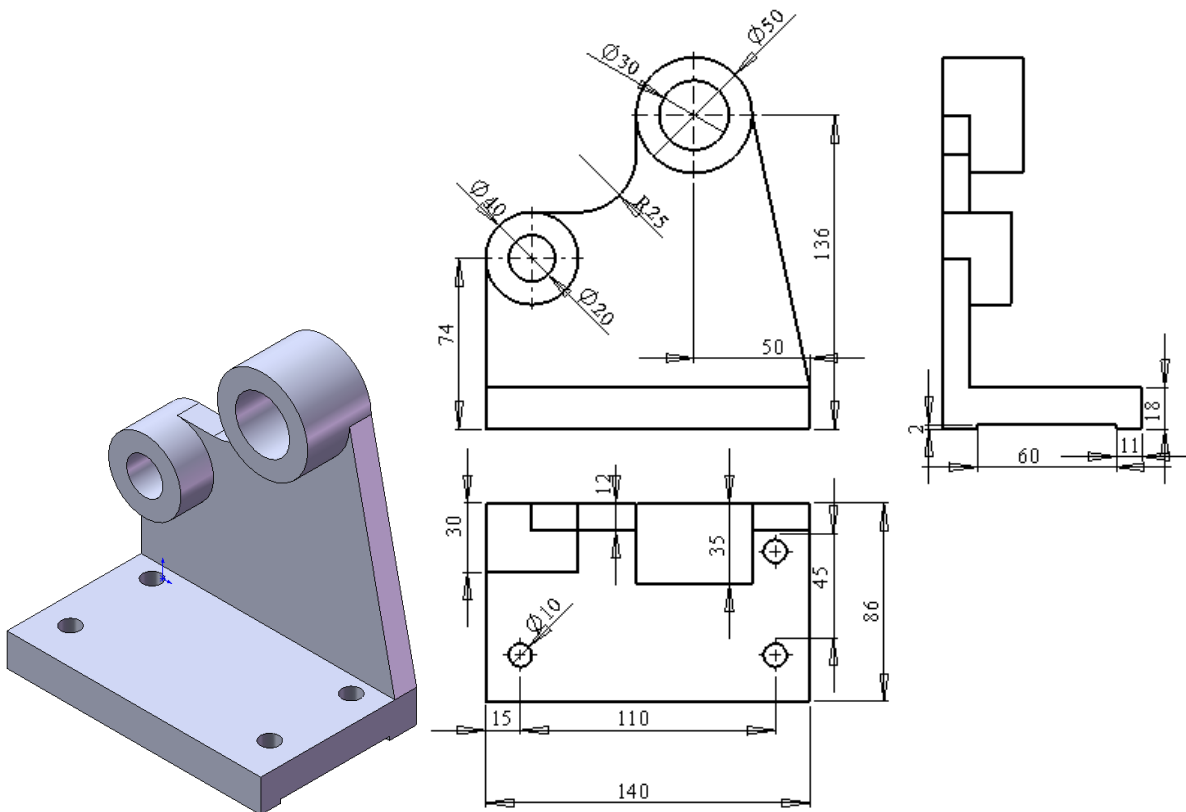


5 варіант

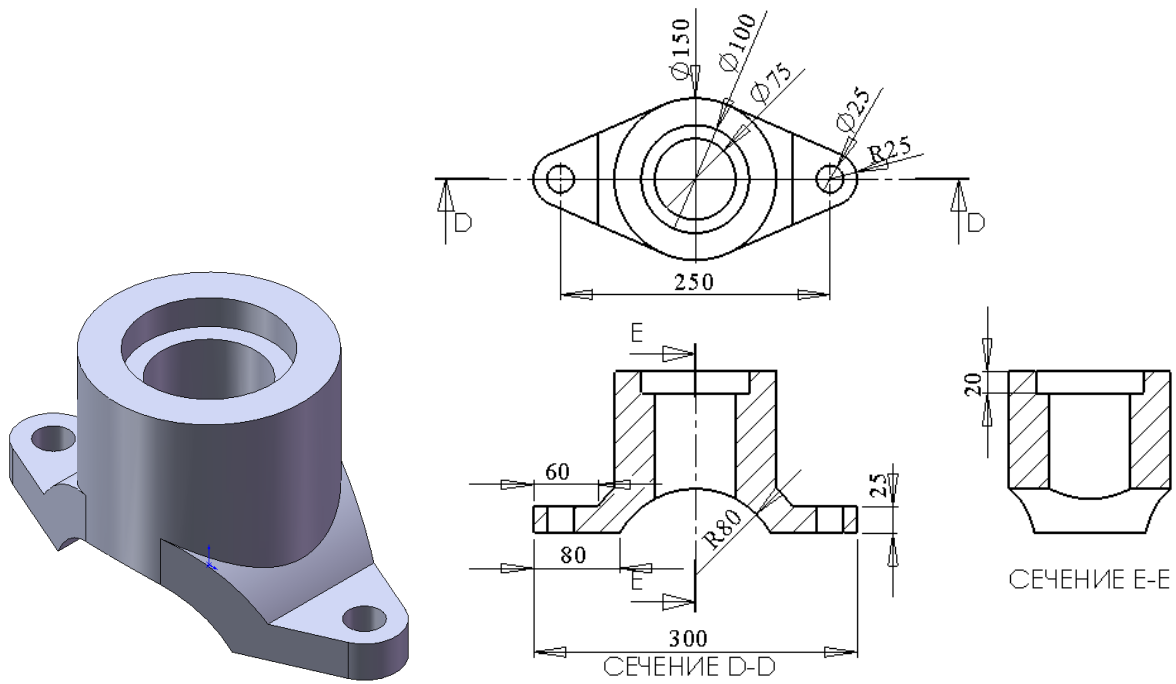
Створіть деталь. Побудуйте ескіз і проставте на ньому розміри. Час, відведений на виконання – 30 хвилин.

**6 варіант**

Створіть деталь. Побудуйте ескіз і проставте на ньому розміри. Час, відведений на виконання – 40 хвилин.

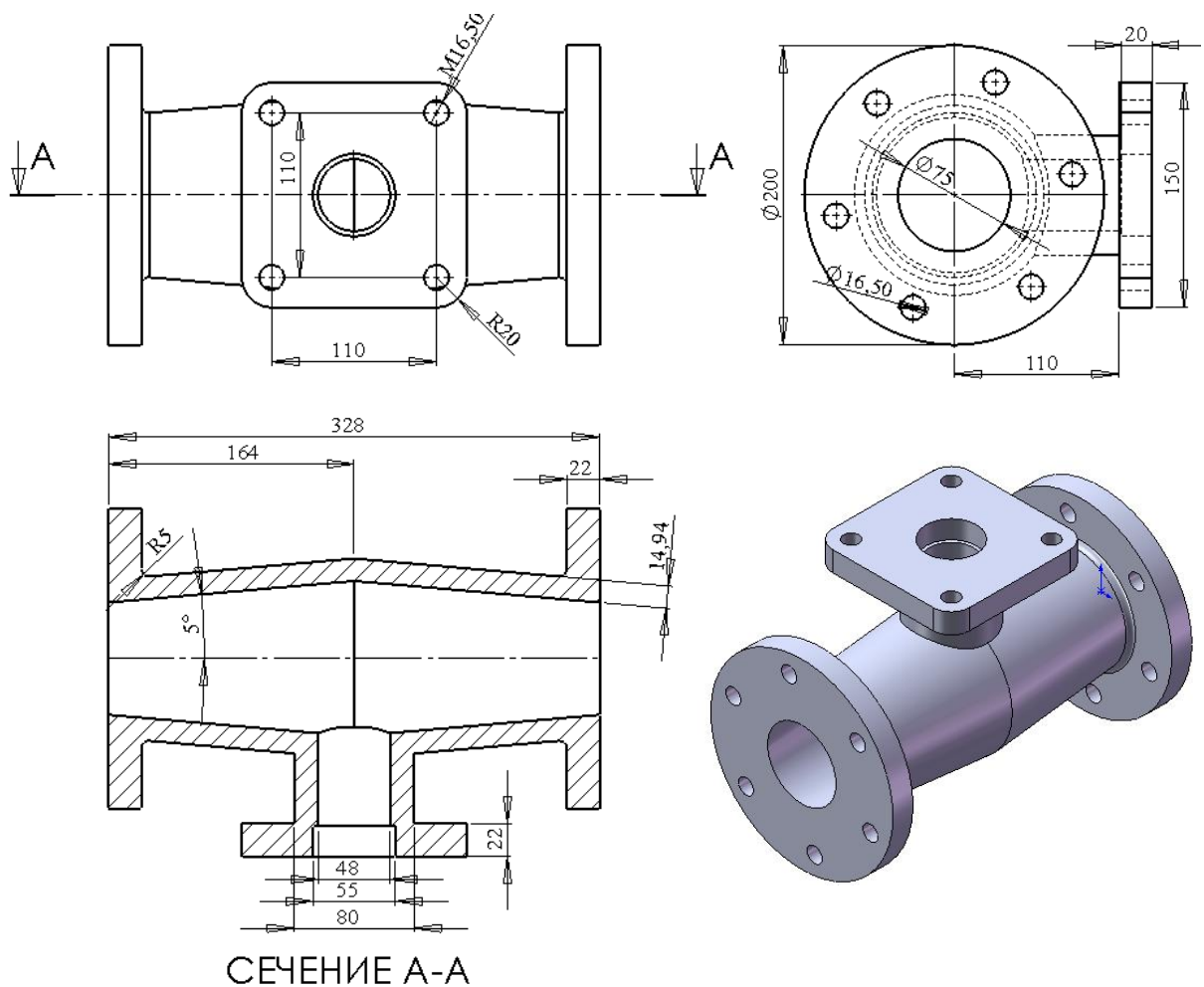
**7 варіант**

Створіть деталь. Побудуйте ескіз і проставте на ньому розміри. Час, відведений на виконання – 40 хвилин.



8 варіант

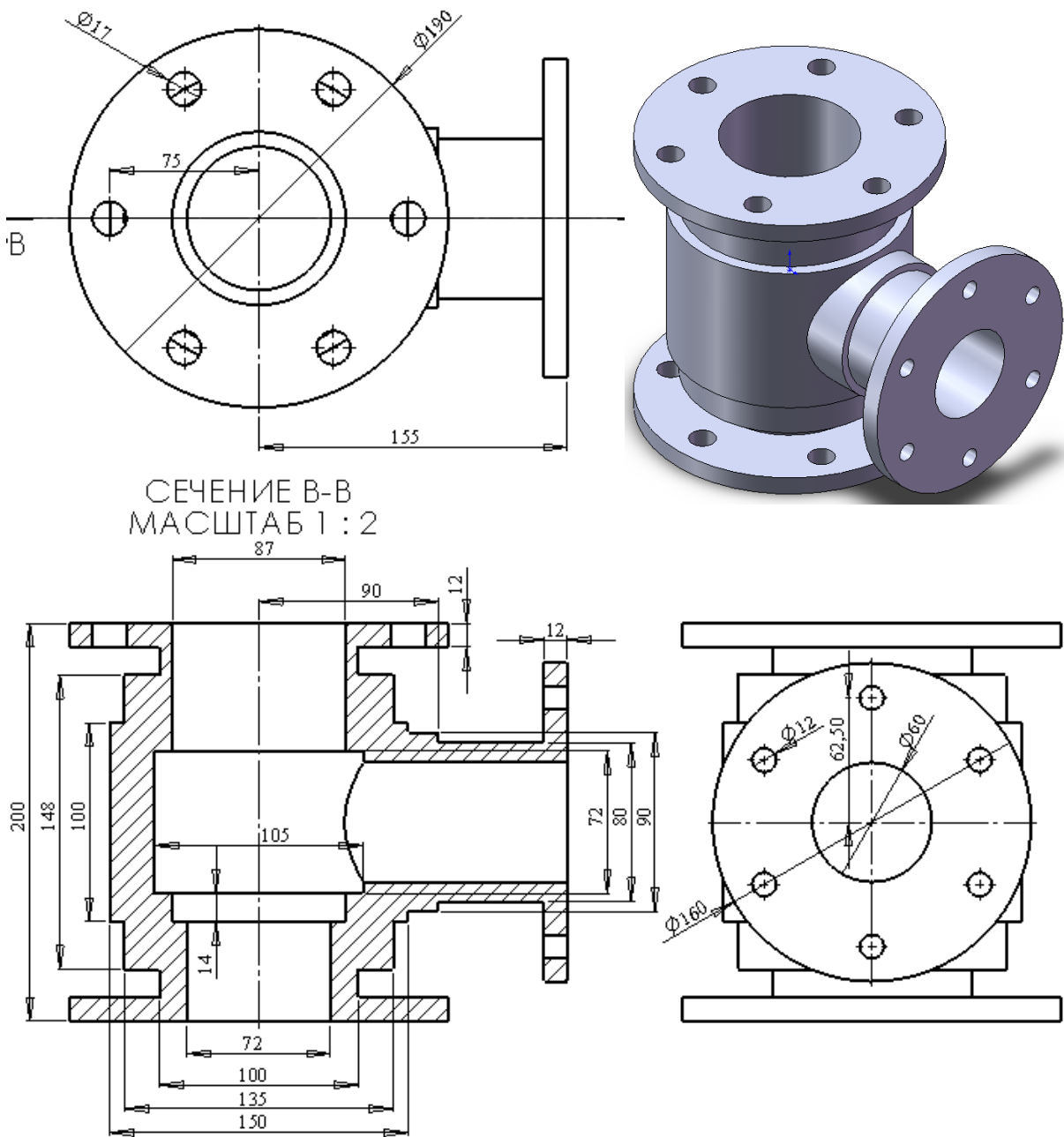
Створіть деталь. Побудуйте ескізи і проставте на них розміри. Час, відведений на виконання – 60 хвилин.



9 варіант

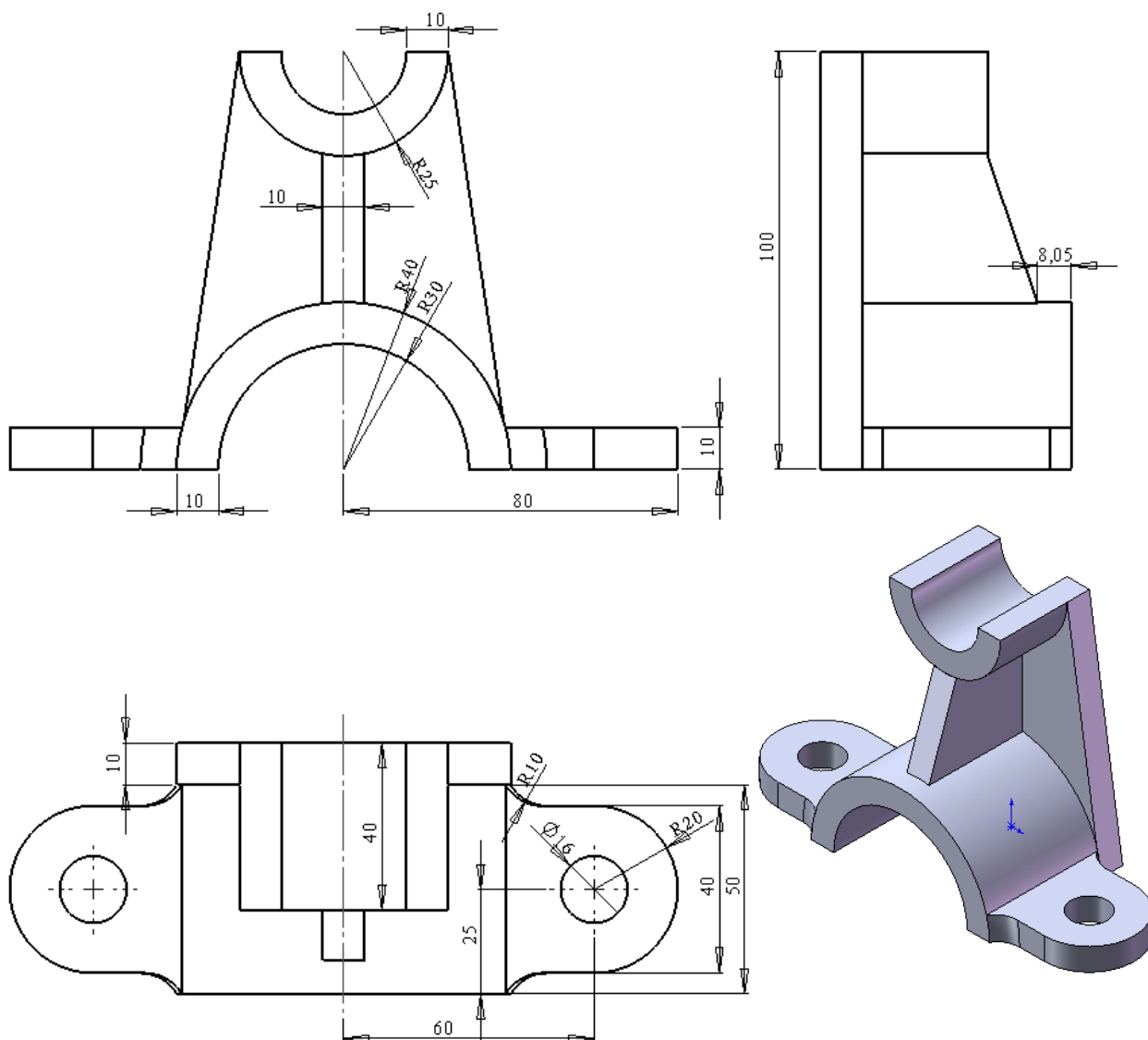
Створіть деталь. Побудуйте ескізи і проставте на них розміри. Час, відведений на виконання – 60 хвилин.

відведений на виконання – 60 хвилин.



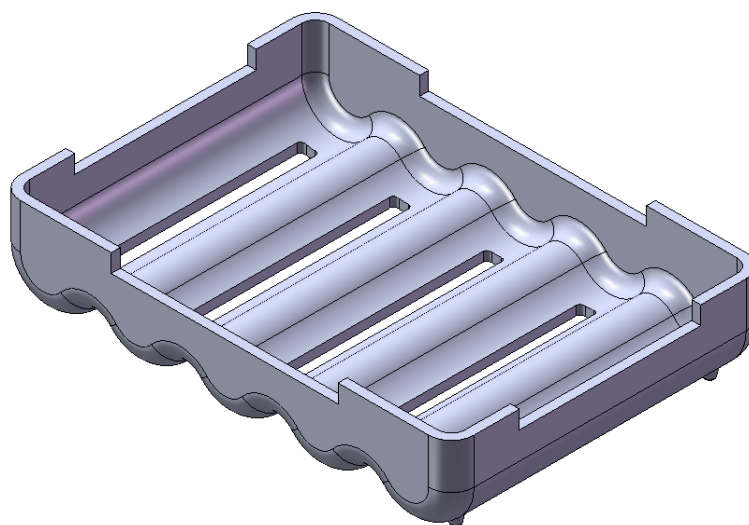
10 варіант

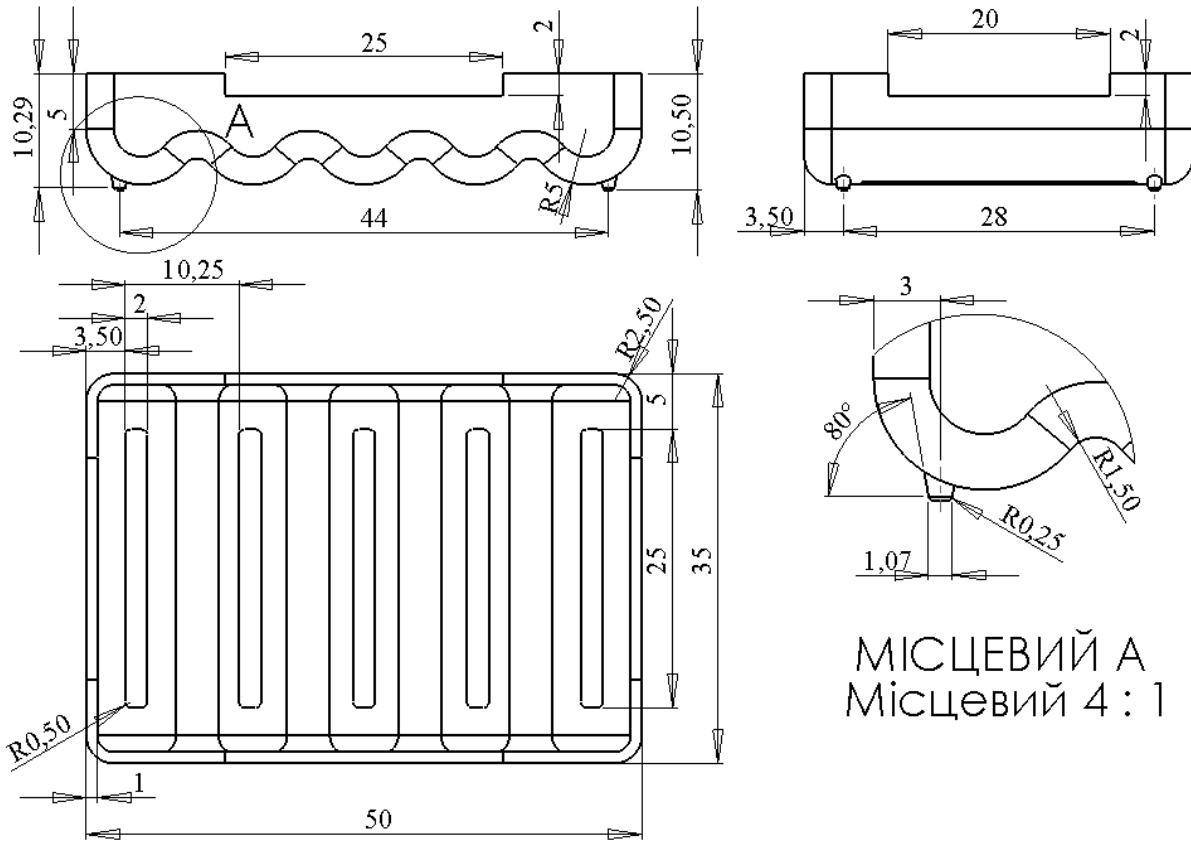
Створіть деталь. Побудуйте ескізи і проставте на них розміри. Час, відведений на виконання – 60 хвилин.



11 варіант

Створіть деталь. Побудуйте ескізи і проставте на них розміри. Час, відведений на виконання – 60 хвилин.

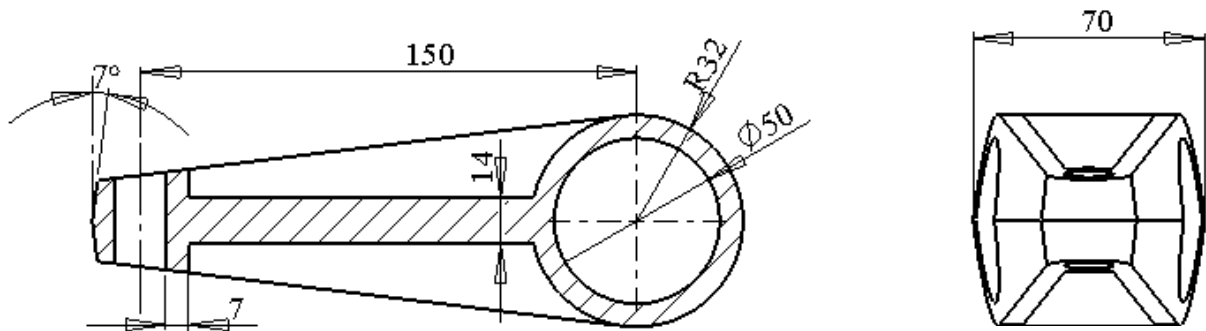




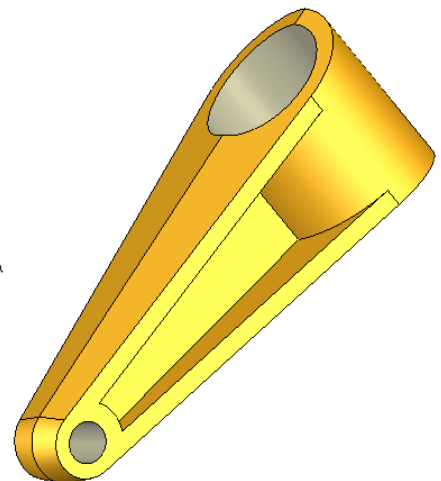
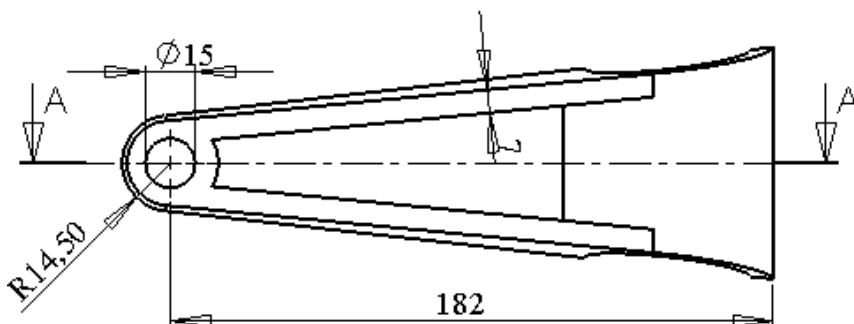
МІСЦЕВИЙ А
Місцевий 4 : 1

12 варіант

Створіть деталь. Побудуйте ескізи і проставте на них розміри. Час, відведений на виконання – 60 хвилин.

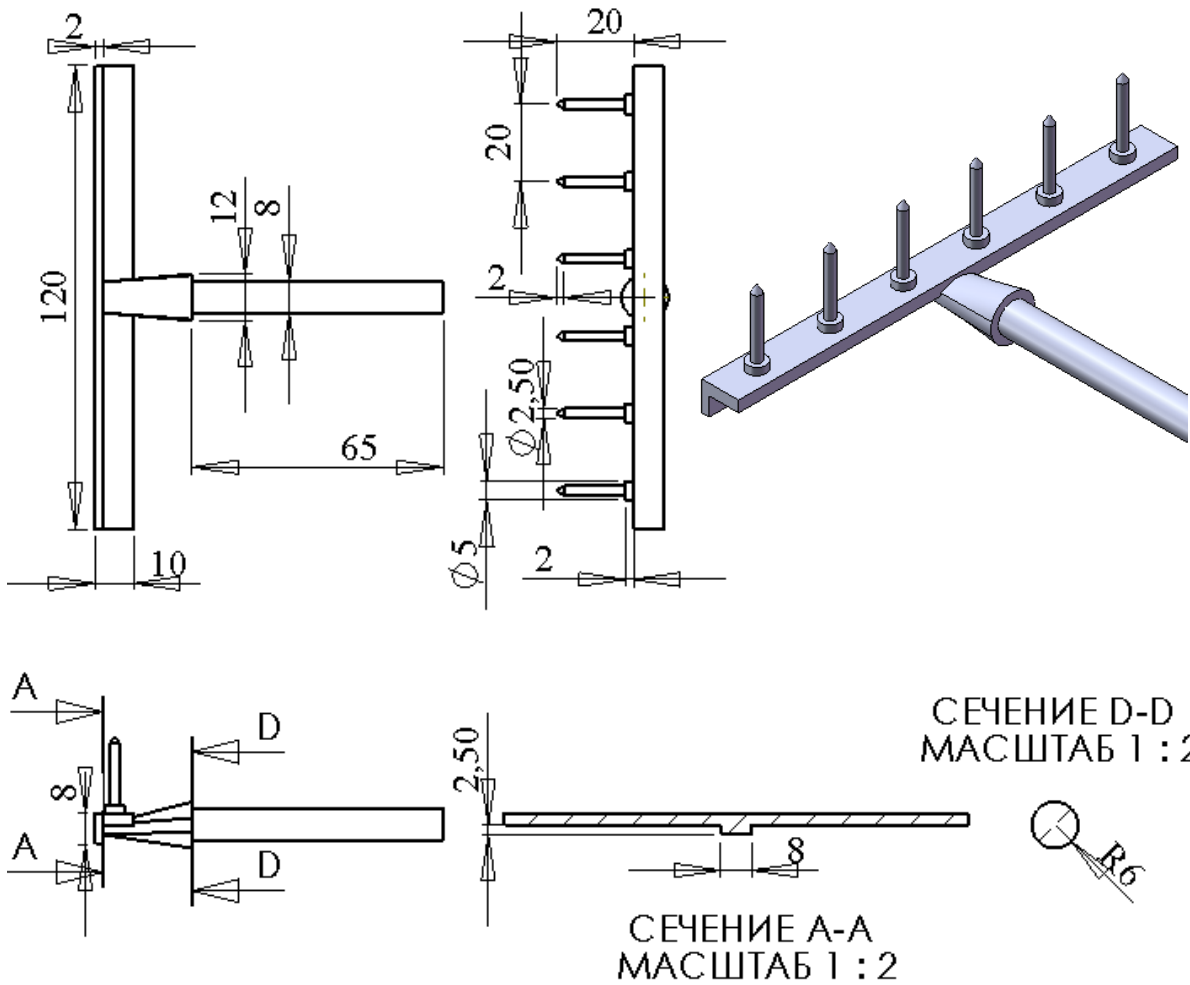


СЕЧЕНИЕ А-А
МАСШТАБ 1 : 2



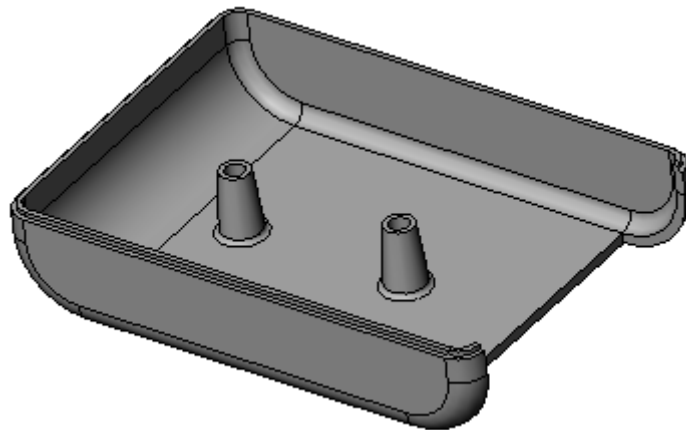
13 варіант

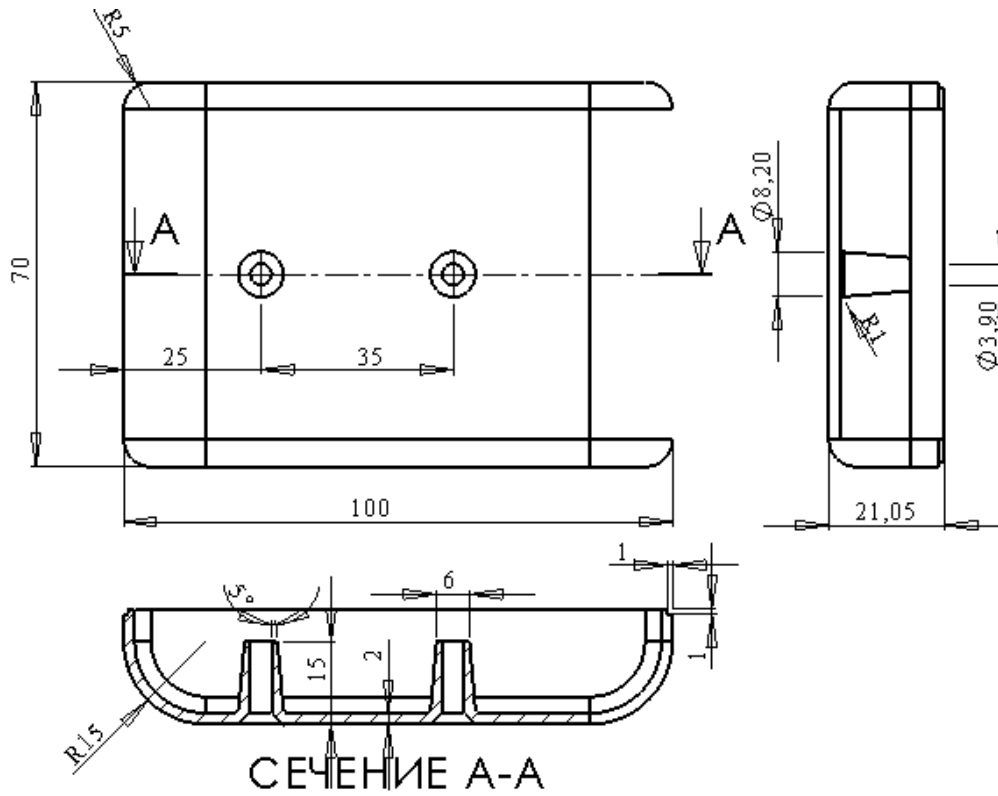
Створіть деталь. Побудуйте ескізи і проставте на них розміри. Час, відведений на виконання – 45 хвилин.



14 варіант

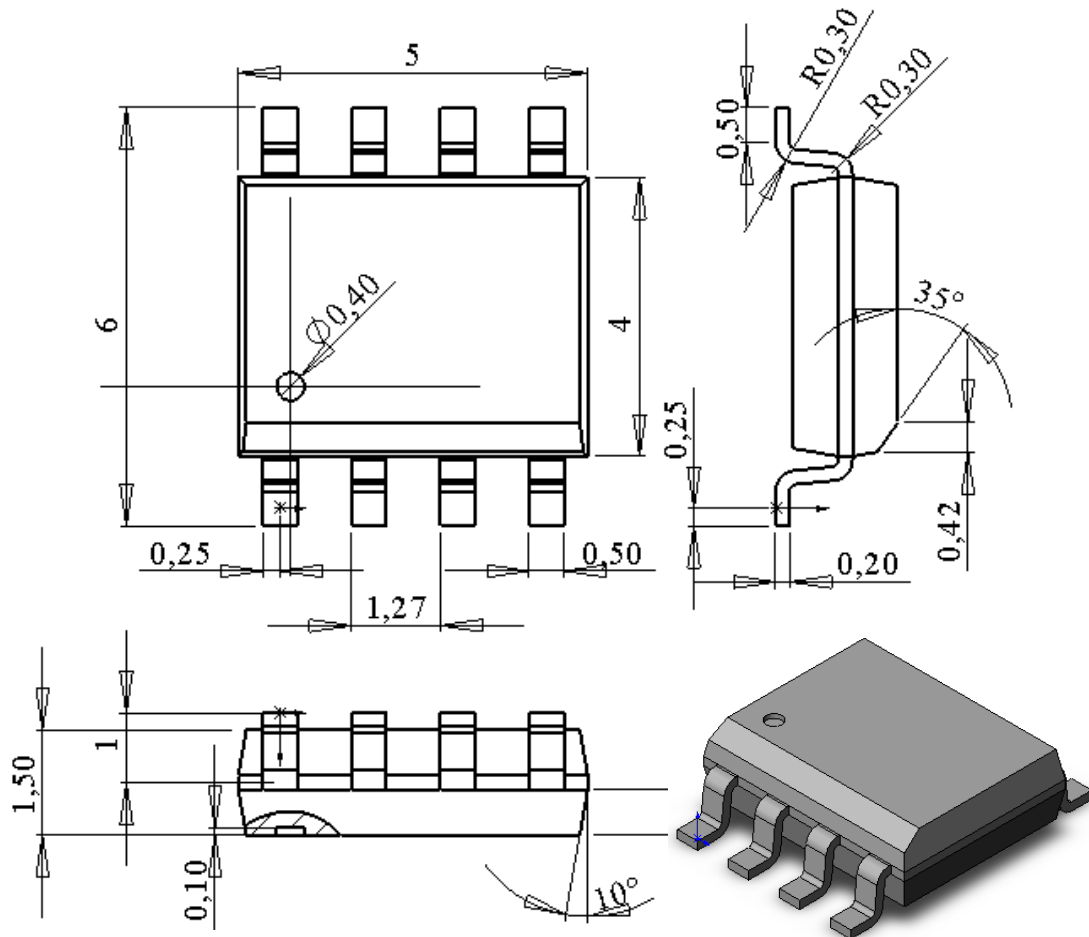
Створіть деталь. Побудуйте ескізи і проставте на них розміри. Час, відведений на виконання – 40 хвилин.





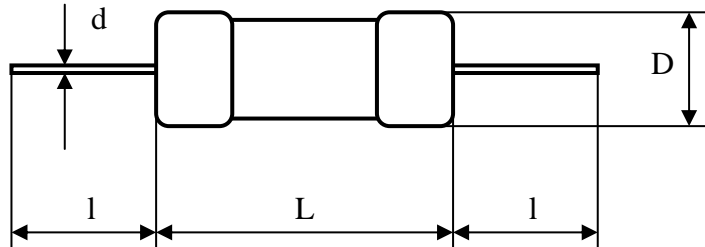
15 варіант

Створіть деталь. Побудуйте ескізи і проставте на них розміри. Час, відведений на виконання – 50 хвилин.



16 варіант

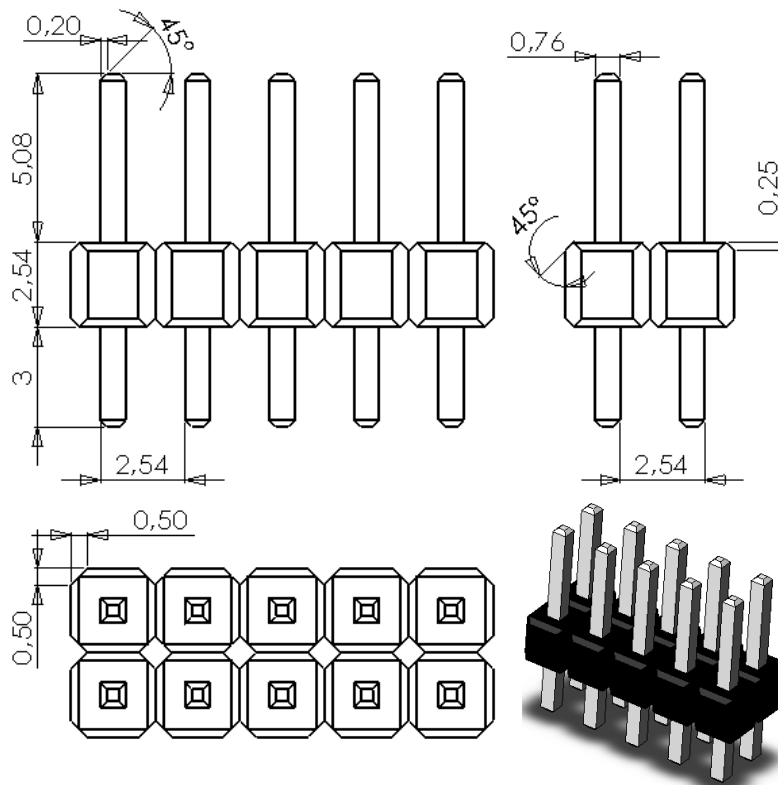
Створіть деталь в робочому положенні (горизонтальне, виводи загнуті під кутом 90° , вивід виступає за друковану плату на 3 мм). Побудуйте ескізи і проставте на них розміри. Додайте конфігурації у відповідності до таблиці, показаній на рис. Час, відведений на виконання – 35 хвилин.



Потужність розсіювання, Вт	Габаритні розміри, мм				Маса, не більше, г
	L	D	l	d	
0,125	6,0	2,2	18,0	0,6	0,125
0,25	7,0	3,0			0,25
0,5	10,2	4,2	25,0	0,8	1,0
1,0	13,0	6,7			2,5
2,0	28,0	8,8			5,0

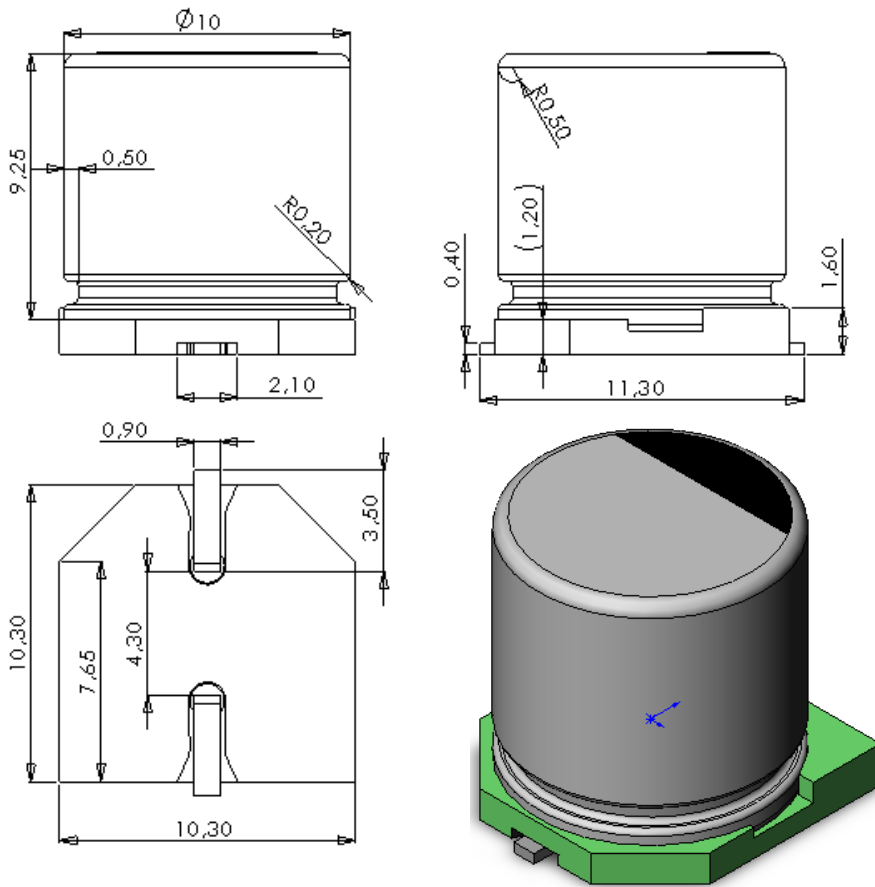
17 варіант

Створіть деталь. Побудуйте ескізи і проставте на них розміри. Час, відведений на виконання – 35 хвилин.

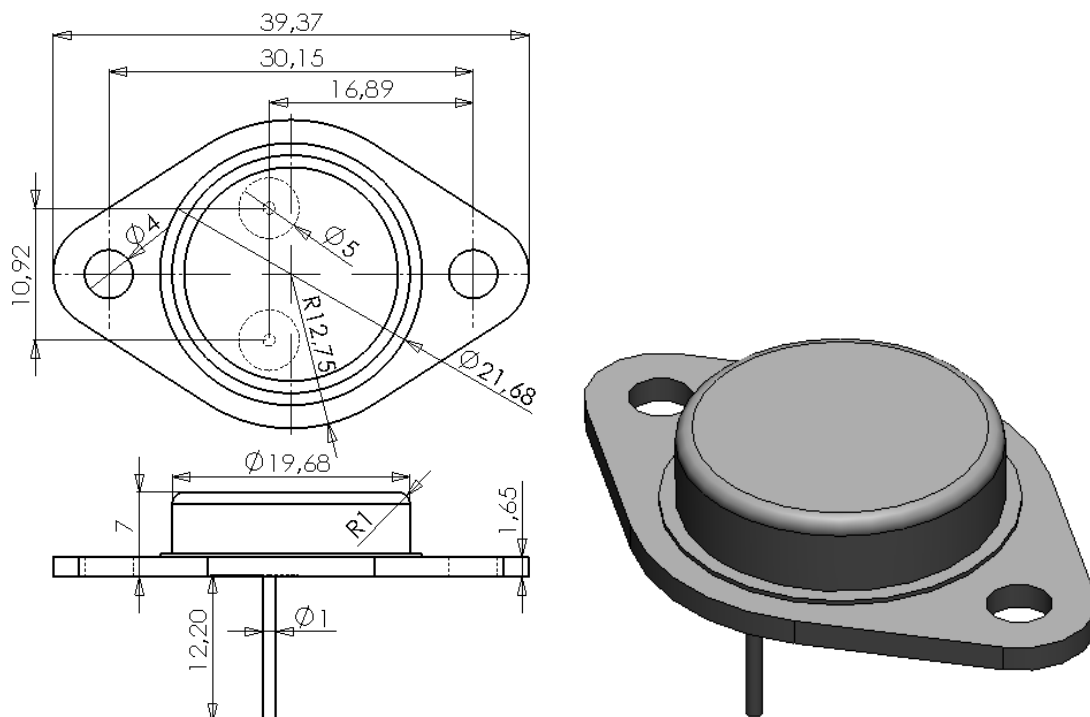


18 варіант

Створіть деталь. Побудуйте ескізи і проставте на них розміри. Час, відведений на виконання – 35 хвилин.

**19 варіант**

Створіть деталь. Побудуйте ескізи і проставте на них розміри. Час, відведений на виконання – 25 хвилин.



2.6 Контрольні питання

1. Перелічіть основні команди для створення бобишки.
2. Де можуть розташовуватись ескізи, крім стандартних площин?
3. В чому полягає різниця між граничними умовами команди «*Вытянуть бобышку*»? Продемонструйте в програмі.
4. Яким чином створити витягнуту бобишку, з різними параметрами в двох напрямках?
5. Продемонструйте витягування бобишки з контуру, який є частиною ескізу.
6. Перелічіть варіанти створення симетричних деталей.
7. В чому різниця між граничними умовами «До тела» і «До поверхности»?
8. Чи можна витягнути бобишку з незамкнутого контуру?
9. Які команди використовуються для створення тонкостінних елементів?
10. Які об'єкти можуть виступати у якості осі для створення тіла обертання?
11. Чи можна витягнути ескіз не з площини ескізу, а з довільної точки?
12. Порівняйте команди заокруглення в ескізі і в деталі.
13. Продемонструйте створення деталі шляхом витягування по перетинам.
14. В чому різниця між командами витягування по траєкторії і створення деталі по перетинам?
15. Як змінити закручування деталі під час створення деталі по перетинам?
16. Які команди можна використовувати для створення отворів в деталях?
17. Продемонструйте дію команди створення ребер жорсткості.
18. Продемонструйте дію команди створення вентиляційних отворів.
19. Яким чином можна перенести певні контури на криволінійну грань твердого тіла?
20. Які типи масивів можна використовувати під час створення деталей?
21. В чому полягає різниця між режимами «*Копировать элементы*», «*Копировать грани*», «*Копировать тела*» під час створення масивів?
22. В чому полягає різниця між звичайним і геометричним масивом?
23. Як можна редагувати вже створений масив?
24. Для чого під час створення деталі можуть використовуватись довідникові площини?
25. Як можна створити таблицю параметрів для деталі?
26. Для чого використовуються конфігурації деталей?

3 Лабораторна робота №3. Створення складань в SolidWorks

Мета роботи: навчитися створювати складання деталей в SolidWorks, показувати рознесені вигляди складань, додавати сполучення деталей.

3.1 Теоретичні відомості

Складання в SolidWorks – сполучення двох і більше деталей, розміщених певним чином у відповідності до їх робочого стану. В більшості випадків, кінцевою задачею розробки електронного виробу є створення його 3D моделі, яка складатиметься з окремих деталей, моделей радіоелементів, та сполучень між ними. Взаємне розміщення деталей у збірці регулюється так званими *сполученнями (mates)*. В чомусь сполучення подібні до взаємозв'язків у ескізі. За допомогою сполучень деталь може бути як повністю зафіксована відносно іншої (наприклад, розміщення виводів радіоелементів в отворах друкованої плати, розміщення плати на монтажних бобишках та закріплення її шурупами), так і мати декілька ступенів вільності (наприклад, переміщення відносно осі, або ж обертання відносно зафіксованого валу).

Існує два методи створення складань – «знизу вгору» і «зверху вниз» [3]. Метод проектування «знизу вгору» полягає в наступному: спочатку в окремих файлах створюються всі необхідні деталі, після чого створюється файл сполучення, розміщуються деталі і накладаються сполучення. Даний метод вважається традиційним, і саме йому в друкованих виданнях приділяється більше уваги. Вважається, що він має наступні переваги:

- деталі проектуються окремо, їм приділяється більше уваги;
- простіше накладати взаємозв'язки у складанні.

При використанні методу проектування «зверху вниз» спочатку створюється файл складання, а потім в ньому проектуються деталі, які після виконання зберігаються в окремі файли. Перевагою даного методу є те, що під час проектування ми можемо використовувати геометрію вже побудованих деталей як базову при побудові інших. Це дуже часто використовується під час проектування пристроїв електронної техніки, так, наприклад, форма контуру кришки мобільного телефону повторює контур основи, а кнопки мають однакову висоту відносно основи, яка може мати досить складну форму.

Слід додати, що на практиці може використовуватись і комбінований метод – наприклад, якщо ми проектуємо мобільний телефон «зверху вниз», і також використовуємо певні стандартні вироби, такі як болти для кріплення.

Широкого розповсюдження знайшла методика на основі деталі-прототипу, яка полягає в наступному:

1) Створюється деталь-прототип, який повторює за формою корпус пристрою, що проектується.

2) Деталь-прототип розрізається поверхнями чи ескізами на декілька окремих вторинних деталей (наприклад, основа, верхня кришка, кришка акумуляторного відсіку), які зберігаються в окремі файли.

3) З вторинних деталей виконується складання.

4) Виконується завершальна доробка вторинних деталей (створення бокових стінок корпусу – команда *«Оболочка»*, елементів кріплення – команди *«Монтажная бобышка»*, *«Карабин с фиксатором»*, *«Выемка карабина с фиксатором»* та ін.).

Методика створення корпусу пристрою на основі деталі-прототипу детально розглянута в курсі відеозанять [10].

3.2 Підготовка до виконання лабораторної роботи

Перед виконанням лабораторної роботи рекомендується за курсом лекцій, довідниковою літературою [3] ознайомитись з методами створення складань, командами розміщення деталей, накладання сполучень, а також допоміжній літературі [1-3]. Також рекомендується переглянути курс відеозанять [10, частина 2], в якому показана практична методика створення складання реального пристрою – моделі відеогри.

3.3 Хід роботи

1. Отримати варіант завдання у викладача.
2. Обрати метод створення складання, обґрунтувати його.
3. Переглянути, які з деталей складання вже створені і можуть бути використані [6,7].
4. Виконати побудову деталей, які необхідні для створення складання (за необхідністю).
5. Створити складання, розмістити або створити необхідні деталі.
6. Встановити сполучення, які будуть забезпечувати необхідну фіксацію деталей, або ж задану кількість ступенів вільності. Перевірити взаємодію деталей.
7. Зберегти файли складання і деталей на диск D ПК.
8. Показати результат виконання викладачу, відповісти на питання, які ставитиме викладач під час захисту роботи.
9. Внести зміни, якщо це буде потрібно, у виконані деталі та складання, зберегти файли на флеш-накопичувач для подальшого оформлення звіту з лабораторної роботи.

3.4 Вимоги до оформлення звіту

Звіт з лабораторної роботи обов'язково повинен містити наступну інформацію:

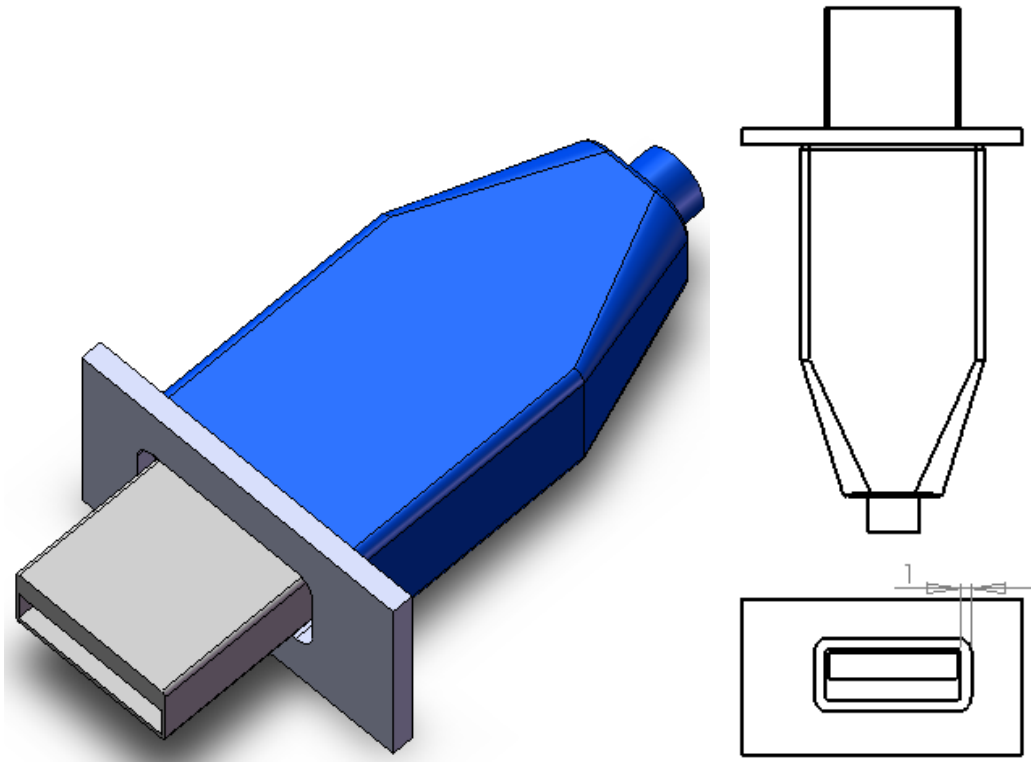
- метод створення складання з його обґрунтуванням;
- послідовність створення деталей, яких не вистачає для створення складання (див. лабораторну роботу №2), декілька основних кроків;
- перелік сполучень і функції, що вони виконують;

- перелік ступенів вільності для кожної деталі;
- графічні копії екрану SolidWorks з створеним складанням у відповідності до завдання.

3.5 Завдання для захисту лабораторної роботи

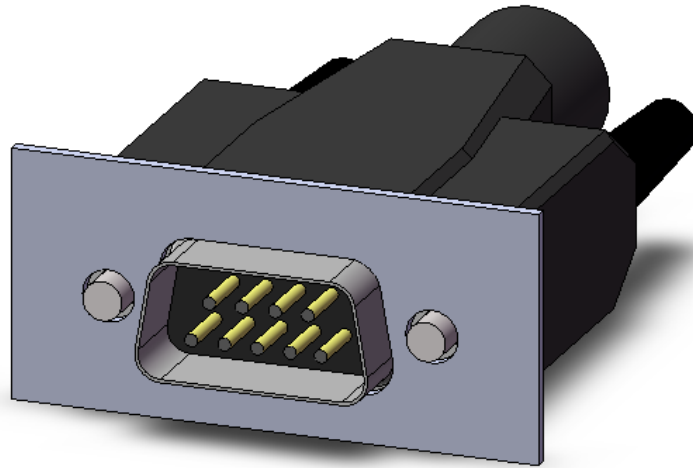
1 варіант

Створіть деталь стінки корпусу з отвором, який більше на 1 мм ніж вказаний нижче з'єднувач. Розмістити з'єднувач і стінку в складанні, зафіксувати стінку й розмістити необхідні сполучення. Час, відведений на виконання – 20 хвилин. Ім'я з'єднувача – plug001.sldprt.



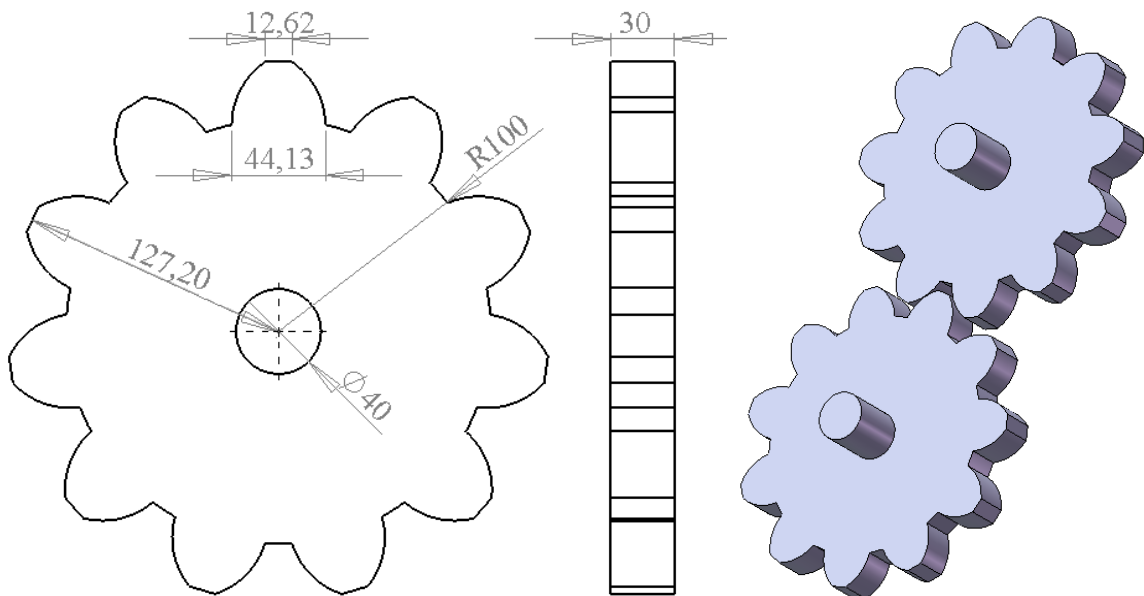
2 варіант

Створіть деталь стінки корпусу з отвором, який більше на 1 мм ніж вказаний нижче з'єднувач. Розмістити з'єднувач і стінку в складанні, зафіксувати стінку й розмістити необхідні сполучення. Час, відведений на виконання – 20 хвилин. Ім'я з'єднувача – plug002.sldprt.



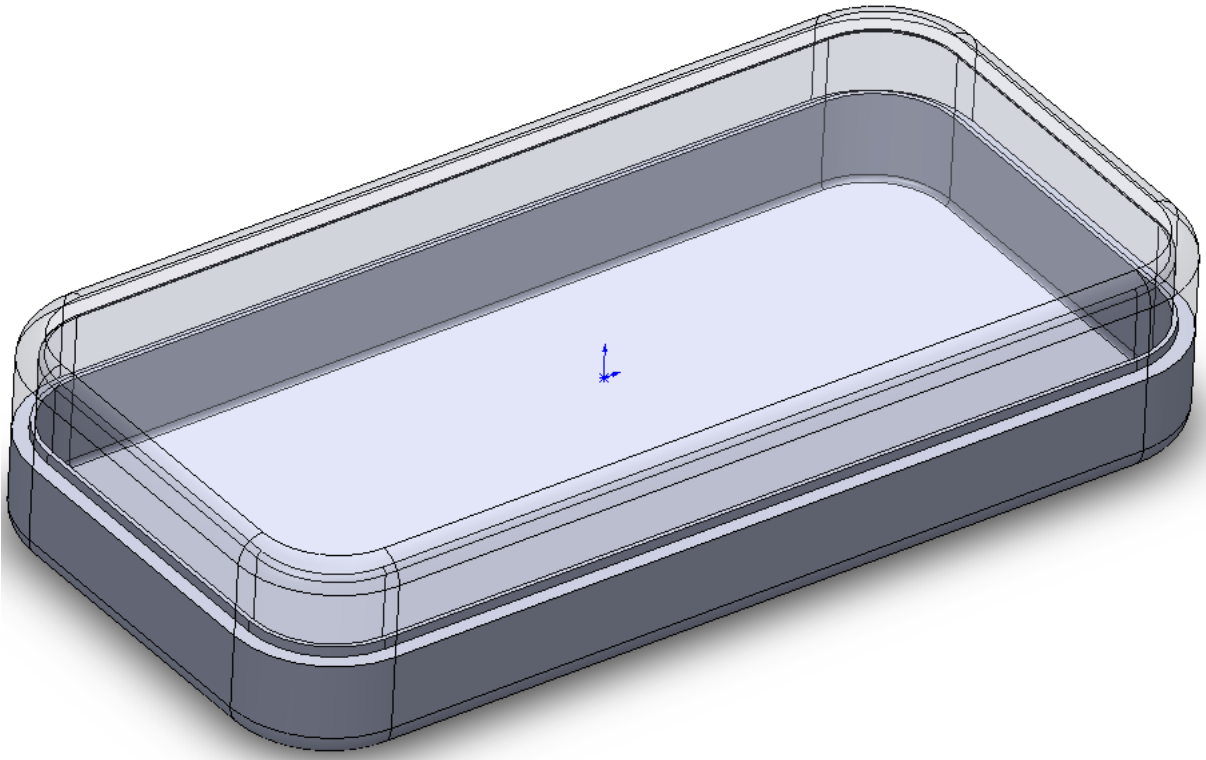
3 варіант

Створіть деталі «шестерня», «вал» з розмірами, вказаними на рисунку. Створіть складання й розмістіть необхідні сполучення таким чином, щоб шестерні могли обертатись навколо валів.

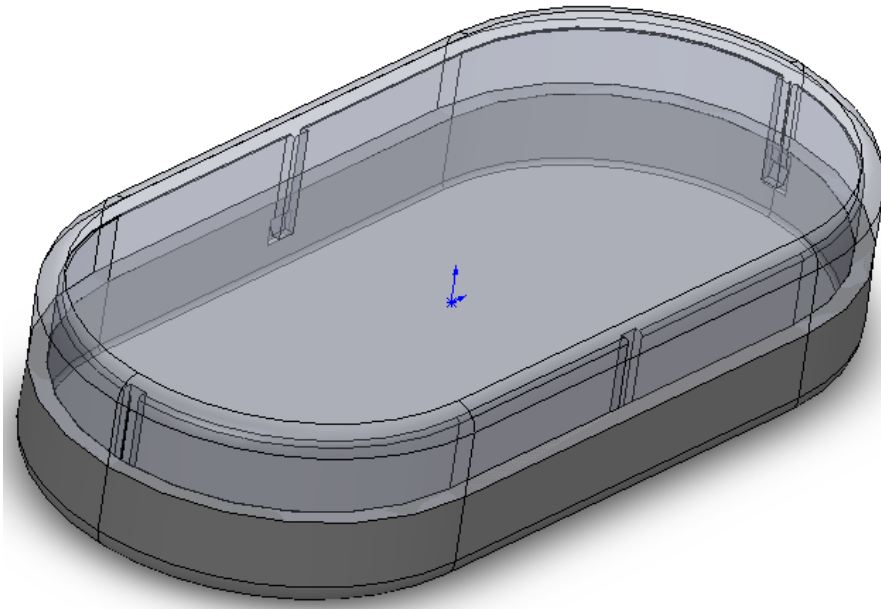


4 варіант

Створіть складання корпусу радіоелектронного пристрою з габаритними розмірами $200 \times 100 \times 50$ мм. Радіус заокруглення бокових ребер – 20 мм. Радіус заокруглення верхньої і нижньої граней – 5 мм. Товщина стінки – 4 мм. Кріплення половинок корпусу – за допомогою виступа й канавки (2 мм шириною і 5 мм висотою).

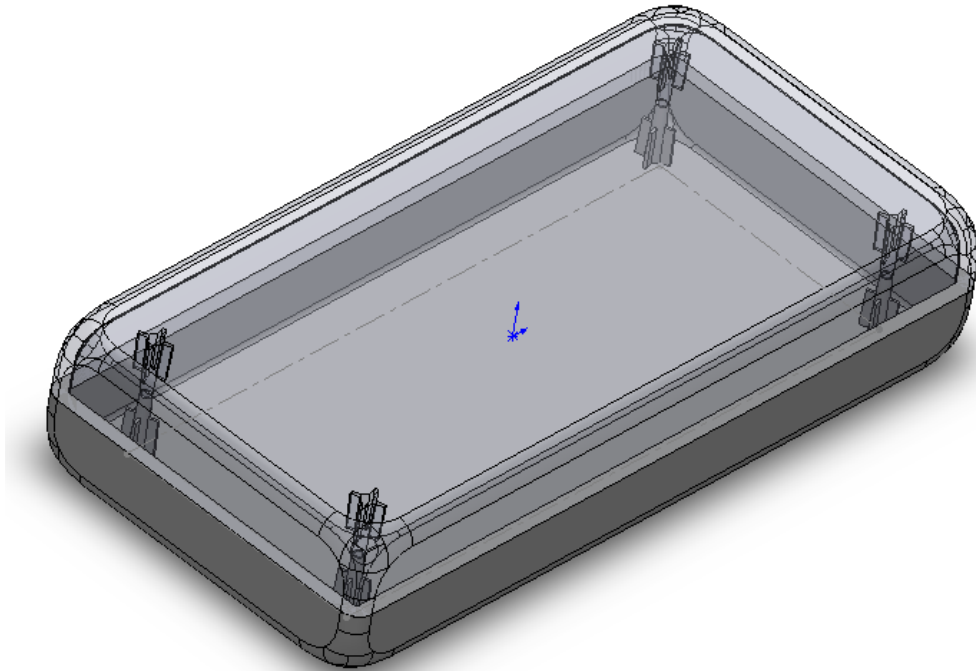
**5 варіант**

Створіть складання корпусу радіоелектронного пристрою з габаритними розмірами 200x100x50 мм. Радіус заокруглення бокових ребер – 50 мм, верхньої і нижньої граней – 5 мм. Товщина стінки – 4 мм. Кріплення половинок корпусу – за допомогою крюків з фіксатором (на кришці) і зворотних канавок (на основі). Розмір карабінів – довільний.

**6 варіант**

Створіть складання корпусу радіоелектронного пристрою з габаритними розмірами 200x100x50 мм. Радіус заокруглення верхньої і нижньої граней – 5 мм, використовувати зменшене заокруглення з відстанню 10 мм. Товщина стінки – 4 мм. Кріплення половинок корпусу –

за допомогою кріюків з фіксатором (на кришці) і зворотних канавок (на основі). Розмір карабінів – довільний.



3.6 Контрольні питання

1. Які методи використовуються для створення складань деталей?
2. Які команди використовуються для створення складань деталей в SolidWorks?
3. Як можна перемістити деталь у збиранні?
4. Що означають символи «+», «-», «ф» для деталей складання у дереві побудови?
5. Як можна зафіксувати чи зняти фіксацію для окремої деталі складання?
6. Які команди використовуються для обертання деталей у складанні?
7. Як можна перевірити складання на конфлікти (наприклад, перетин окремих деталей)?
8. Як продемонструвати фізичну динаміку під час переміщення чи обертання деталей складання?
9. Які режими переміщення деталей є в SolidWorks?
10. Продемонструйте переміщення деталей складання в режимі «Динамический зазор».
11. Продемонструйте переміщення та обертання деталей складання за допомогою «магічного кола-тріади».
12. Як можна дозволити переміщення деталей, які входять до складу підпорядкованого складання?
13. Для чого використовуються сполучення у складанні?
14. Яким чином можна додати сполучення до деталей складання?
15. Яким чином можна змінити вже існуючі сполучення?
16. Як створити анімацію збирання?

4 Лабораторна робота №4. Інтеграція SolidWorks та програм розробки друкованих плат

Мета роботи: навчитися імпортувати в SolidWorks дані про друковану плату з електронних САПР, створювати збирання друкованих плат в SolidWorks з використанням програми CircuitWorks.

4.1 Теоретичні відомості

Розробка електронного пристрою може виконуватись двома шляхами. За першим спочатку розробляється дизайн корпусу пристрою та його розміри, а потім на основі цих даних обираються місця розміщення, форма друкованих плат, виконується розміщення елементів схеми електричної принципової та трасування з'єднань. Можливий варіант, коли корпус обирається з ряду типових, які вже випускаються. Тобто, це проектування «Зверху-вниз». Другий шлях полягає в першочерговій розробці друкованої плати (як правило – прямокутної форми), після чого по вже відомим розмірам проектується корпус пристрою. Говорячи термінологією SolidWorks, цей шлях можна назвати шляхом «Знизу-вверх». Звичайно, і перший і другий варіант розробки можуть містити декілька ітерацій, пов'язаних з тим, що в попередньо розроблений корпус «не влазить» друкована плата, або ж, під розроблену плату не вдається знайти готовий корпус. Але, головне, що треба відзначити – на цьому етапі перетинаються два типи програм: САПР друкованих плат (так звані Electronic CAD, ECAD), та механічні САПР (Mechanic CAD, MCAD).

Задача сполучення цих видів програмних засобів спочатку не знаходила свого розв'язання, що призводило до збільшення строків проектування та збільшення імовірності помилок за рахунок подвійного виконання роботи (створення друкованої плати в ECAD та MCAD окремо). Починаючи з 2000 року для SolidWorks з'явилась додаткова програма-конвертор CircuitWorks, яка через формат IDF (Intermediate Data Format) передавала з електронних САПР інформацію про габарити друкованої плати, розташування і габаритні розміри радіоелементів, розташування і діаметр отворів. Результатом роботи конвертора є збирання, яке складається з окремих деталей. В подальшому, на основі цього збирання можна розробити корпус пристрою з врахуванням висоти і габаритів компонентів. У випадку, якщо розташування компонентів, виконане в Altium не підходить, його можна скоректувати в SolidWorks і виконати зворотну конвертацію плати в програму Altium. Це може бути, наприклад, коли корпус пристрою вже обраний, і один з елементів, розташованих на платі перетинається з відсіком для акумуляторів.

У випадку наявності заздалегідь створених 3D-моделей радіоелементів, на збірці друкованої плати в SolidWorks конвертор розташовуватиме саме їх замість спрощеного габаритного зображення.

Деякі виробники електронних компонентів (наприклад, Molex)

розташовують на своїх електронних сторінках в Інтернет вже готові 3D-моделі, які можна використовувати для власних потреб. Крім того, найбільш поширені 3D-моделі корпусів мікросхем, конденсаторів, резисторів, роз'ємів розташовані для вільного скачування на сайті www.3dcontentcentral.com. Все це значно спрощує розробку тривимірної моделі електронного пристрою.

Слід додати, що подібні до CircuitWorks програми-конвертори вже розроблені і для інших САПР: eCAD-КОМПАС для КОМПАС використовується починаючи з 2002 року, конвертер IDF для T-FLEX CAD – з 2005 року, PCBto3D для SolidEdge – з 1997 року.

В найбільш сучасних САПР друкованих плат також є режими 3D-перегляду друкованої плати. Так, австралійська САПР Altium Designer підтримує 3D-моделі корпусів радіоелементів у форматі STEP, які з легкістю імпортуються з файлів SolidWorks і додаються до інтегрованої бібліотеки компонентів. Крім того, особливістю Altium Designer є можливість додавати до друкованої плати 3D-модель корпусу пристрою, що дозволяє не виходячи з програми перевіряти порушення зазорів чи перетинання радіоелементів друкованої плати та механічних деталей і корпусу пристрою. Існує також можливість імпортувати профіль друкованої плати і монтажні отвори з SolidWorks, що безумовно суттєво спростить розробку пристрою з складною формою плати.

Крім Altium Designer 3D-режим перегляду друкованої плати мають також програми Proteus та KiCad (останній є вільним GPL-програмним продуктом), однак за функціональністю в 3D вони програють австралійській розробці.

Передача даних про друковану плату в SolidWorks.

Перше, що треба зробити – це створити проект друкованої плати в електронній САПР в форматі IDF. Для прикладу розглянемо цю дію в програмі P-CAD.

Вигляд друкованої плати в P-CAD до процедури імпорту показано на рис. 4.1. Для створення простої 3D-моделі друкованої плати нам потрібна наступна інформація:

- контур плати,
- координати монтажних отворів та отворів контактних площинок елементів,
- габарити (ширина, довжина і висота) і координати радіоелементів.

Вся зазначена інформація крім висоти вже є у файлі друкованої плати. Що стосується висоти – то її можна встановити, за допомогою атрибуту компоненту *Height* (див. рис.).

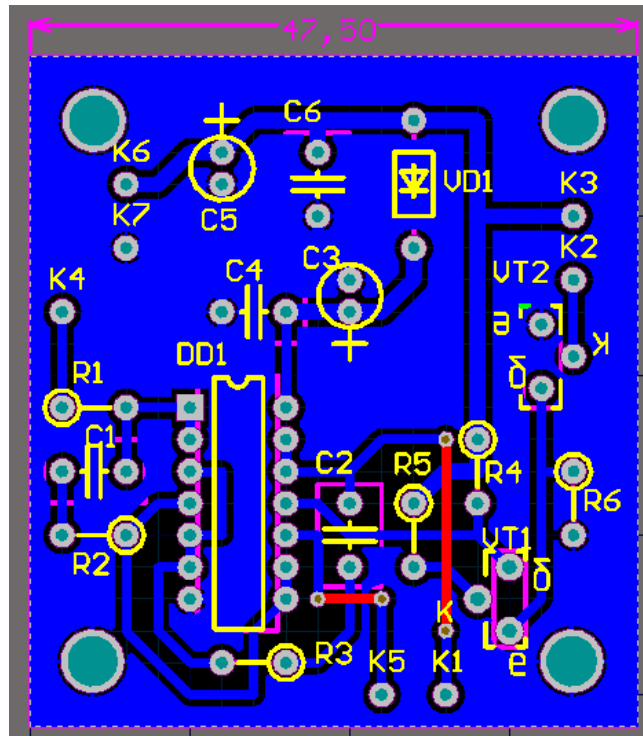


Рисунок 4.1 – Вигляд друкованої плати в програмі Altium Designer

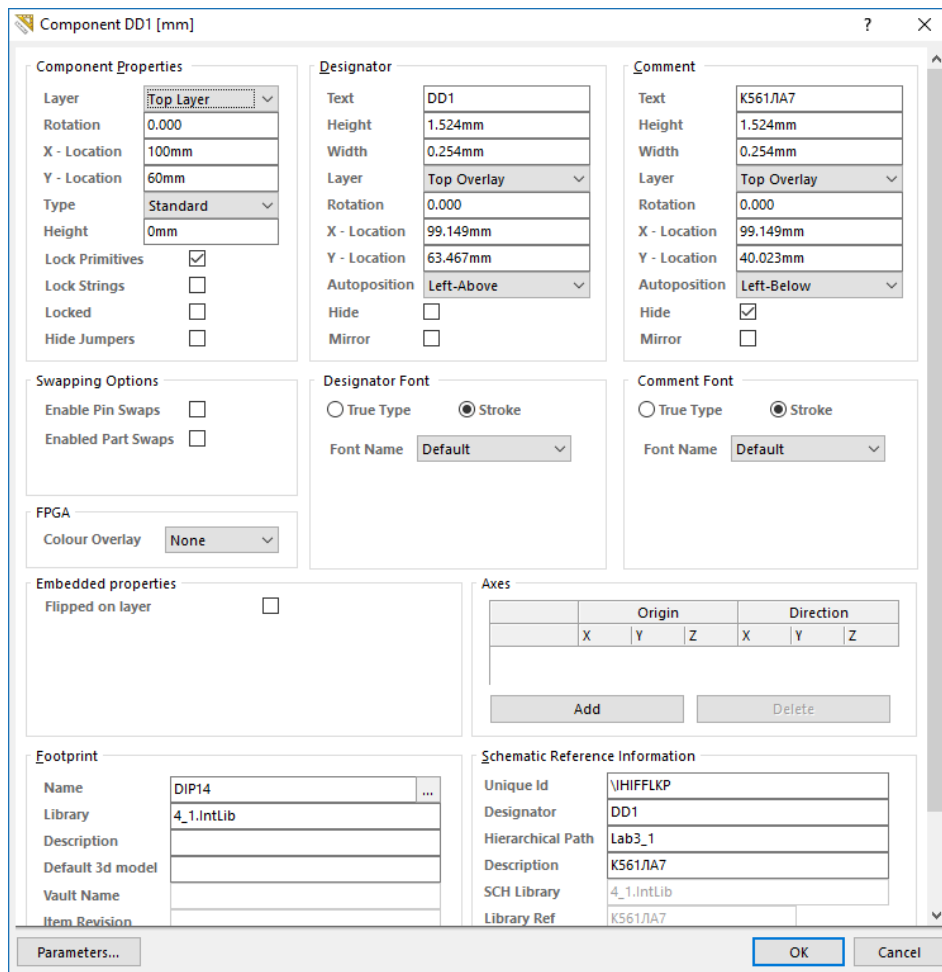


Рисунок 4.2 – Встановлення висоти компонентів в Altium Designer

Після встановлення висоти всіх компонентів друкованої плати,

Altium Designer за допомогою команди *File* → *Export* → *IDF Board* виконаємо конвертацію файлу в зазначений формат.

Вікно налаштування експорту показано на рисунку 4.3, як видно, в ньому ми можемо виставити передачу певних частин проекту – контуру плати, просвердлених отворів, місць розташування компонентів, встановити товщину плати та задати інші параметри.

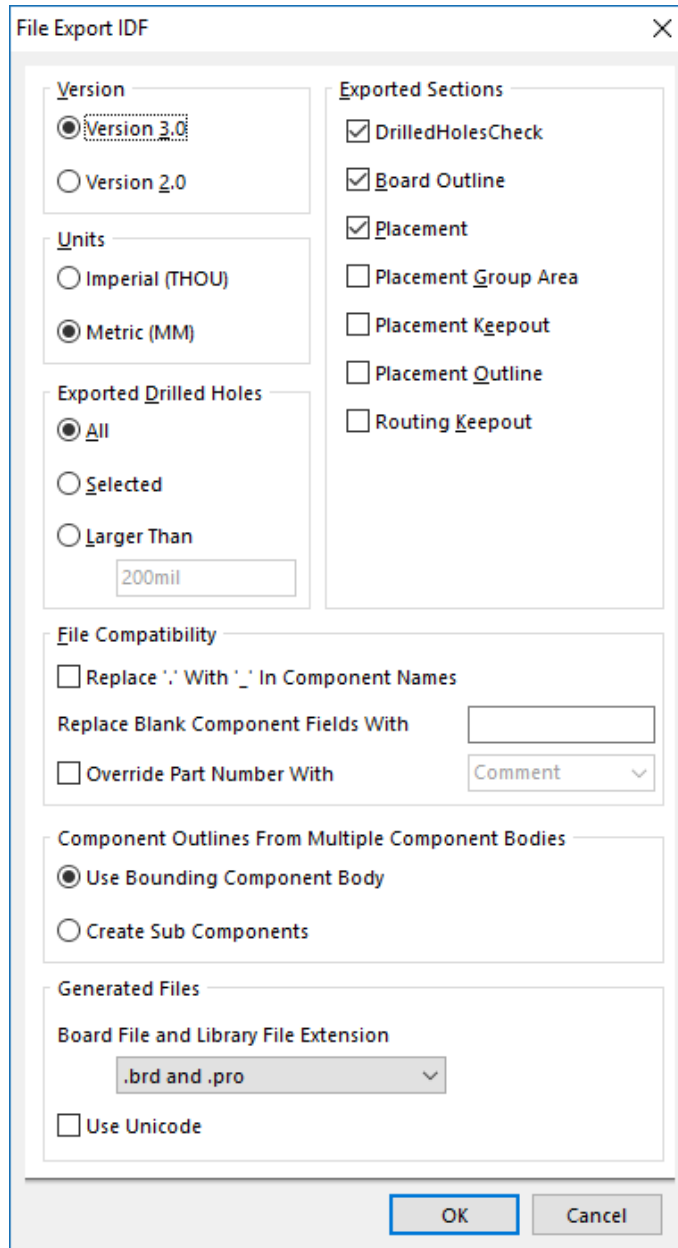


Рисунок 4.3 – Вікно експорту в формат IDF

На цьому роботу з Altium Designer можна вважати завершеною. Запускаємо SolidWorks, і обираємо імпорт IDF-файлу за допомогою кнопки на відповідній панелі інструментів, або ж команди меню (рисунок 4.4).

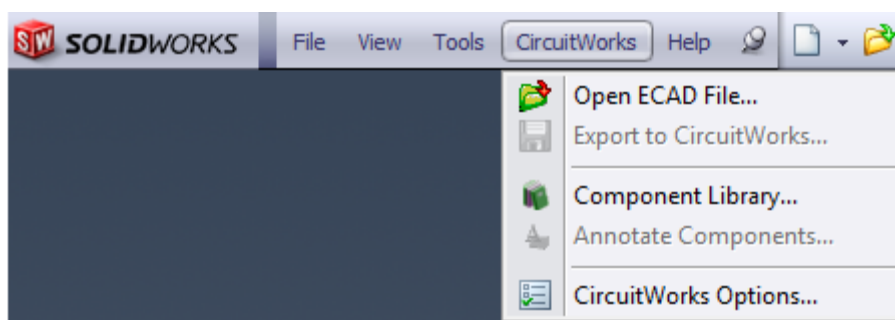


Рисунок 4.4 – Способи відкриття файлу IDF в SolidWorks

Тут слід додати, що фактично під час генерації IDF-файлу створюється не один, а два файли: *.brd – файл з інформацією про друковану плату (містить габарити плати, координати й діаметр отворів, координати компонентів), і *.pro – бібліотечний файл з інформацією про геометрію компонентів. Тому, якщо ви створюєте просту 3D-модель друкованої плати («витягнуті» на певну висоту прямокутники компонентів) й копіюєте експортовані файли, наприклад додому, то не забудьте про файл *.pro.

При імпорті файлу в форматі IDF в CircuitWorks відкривається вікно, показане на рис. 4.5. Робочий простір конвертору розбитий на дві частини: зліва – дерево перегляду складових друкованої плати справа – основний робочий простір, в якому показана вся плата. Найбільш важливою є інформація про компоненти в дереві перегляду. Для перегляду інформації про компонент за допомогою ПК миші можна обрати команду *Properties*, яка відкриває в правій частині робочого простору властивості компоненту. Для прикладу, компонент C_25_EL має нульову висоту, і в цьому ж вікні можна її змінити на реальне значення. Слід додати, що краще за все перевіряти й своєчасно виправляти висоту всіх компонентів під час імпорту. Також у вікні вказується звідки завантажується 3D модель компоненту – з бібліотеки (в CircuitWorks є власна бібліотека, куди можна додавати моделі радіоелементів вручну, або ж створювати їх «з нуля», не перевіряючи їх наявність в бібліотеці. Якщо встановлено «from library», то в цьому випадку спочатку компонент перевіряється з бібліотеки, і якщо він там відсутній (перевірка йде по назві) – то створюється новий і завантажується в бібліотеку. Переглянути бібліотечні елементи можна викликавши відповідне вікно (рисунок 4.6). Для прикладу, в бібліотеці вже відкритий елемент C_25_EL, який буде завантажений при імпорті плати.

У випадку, якщо певні компоненти вже були розроблені в SolidWorks, їх потрібно додати до бібліотеки CircuitWorks, для цього можна скористатись командою *File* → *Add Component*, або ж *File* → *Add Multiple Components* (при цьому можна завантажити всі моделі компонентів з папки). Для кожного компоненту потрібно задати ім'я, номер, ім'я та шлях до файлу (встановлюється автоматично при виборі файлів), ім'я конфігурації (якщо модель має кілька варіантів), префікс позиційного позначення, та висоту компоненту (даний параметр можна не

задавати, якщо є 3D модель.

Генерація 3D-збірки друкованої плати відбувається по команді *Buid Model* з групи команд *SolidWorks*. У випадку, якщо певні компоненти мають нульову висоту, *CircuitWorks* попередить про це й запропонує повернутись та встановити реальну висоту.

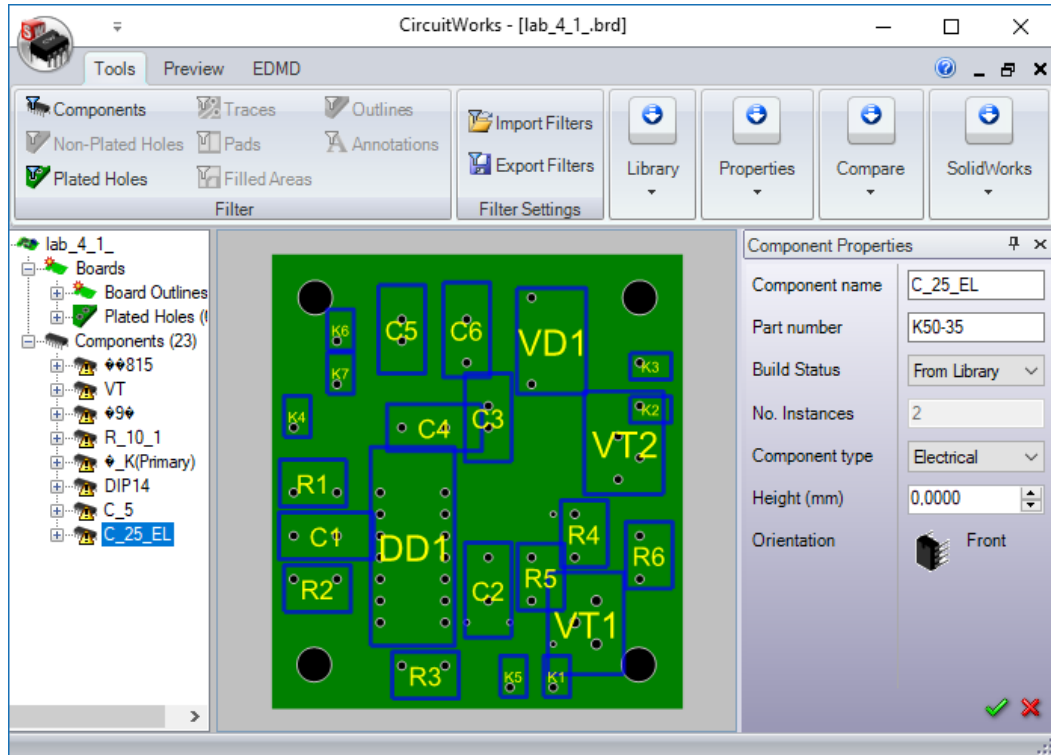


Рисунок 4.5 – Вікно конвертора CircuitWorks

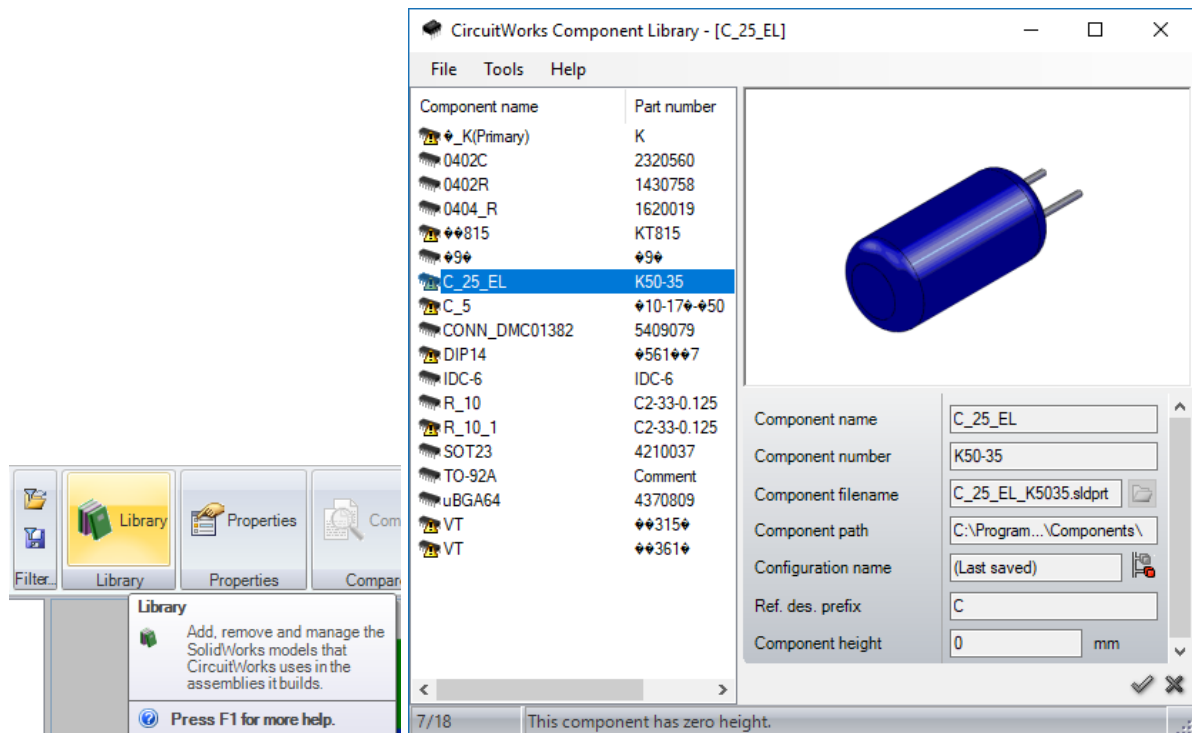


Рисунок 4.6 – Перший крок роботи CircuitWorks

Результат роботи по створенню «простої» 3D-моделі друкованої плати показаний на рисунку 4.7.

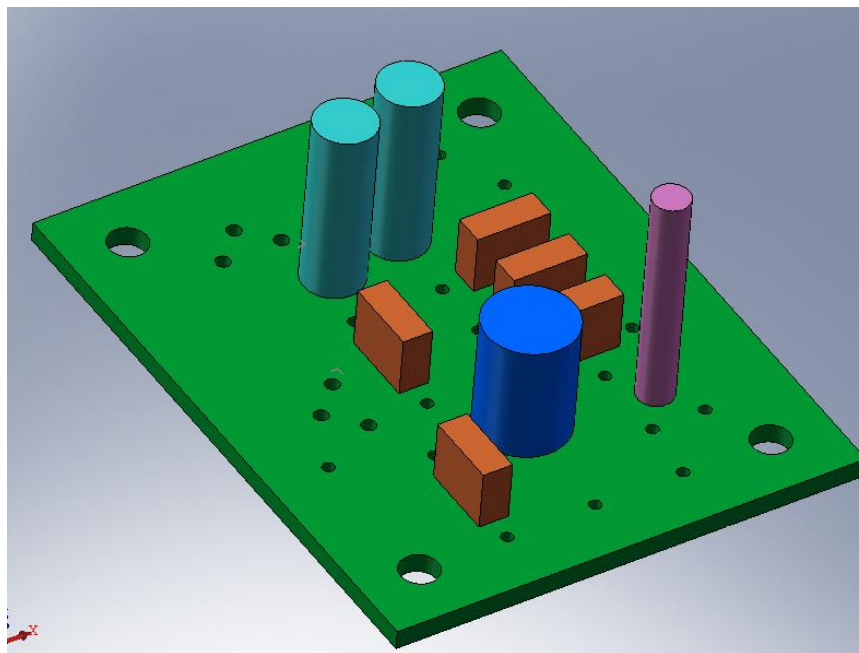


Рисунок 4.7 – «Проста» модель плати, створена за допомогою CircuitWorks

Як видно, така модель є дуже спрощеною, і може бути використана лише для попередньої компоновки пристрою.

Більш точну модель плати можна створити, якщо заздалегідь створити 3D-деталі всіх радіоелементів, і розташувати їх в папці "C:\ProgramData\SolidWorks\CircuitWorks\Components\".

Найбільш поширеними проблемами при цьому можуть бути:

- неправильна орієнтація 3D-деталі порівнюючи з посадковим місцем в Altium (приклад правильної орієнтації показаний на рисунку 4.8),
- неспівпадіння координати точки прив'язки посадкового місця і початкової точки 3D-моделі (для простоти рекомендується розташовувати їх в середині першого виводу),
- різні назви посадкового місця і 3D-моделі.

Назва деталі повинна співпадати з назвою посадкового місця (Footprint) компоненту бібліотеки Altium Designer. Наприклад, компонент мікросхеми K555ЛА3 має посадкове місце, яке в бібліотеці Altium Designer має назву DIP14, саме так рекомендується назвати і деталь в SolidWorks.

Слід додати, що CircuitWorks підтримує деталі з декількома конфігураціями. Вибрати потрібну конфігурацію для радіоелементу можна за допомогою команди *CircuitWorks* → *Tools* → *Library*. У списку (рисунок 4.9) необхідно вказати потрібну деталь, і в контекстному меню обрати команду *Edit Component*. Наприклад, в SolidWorks можна створити одну деталь Res_SMD з конфігураціями 0201, 0402, 0603, 0805, 1206 і співставити її з відповідними посадковими місцями компонентів з

бібліотеки P-CAD.

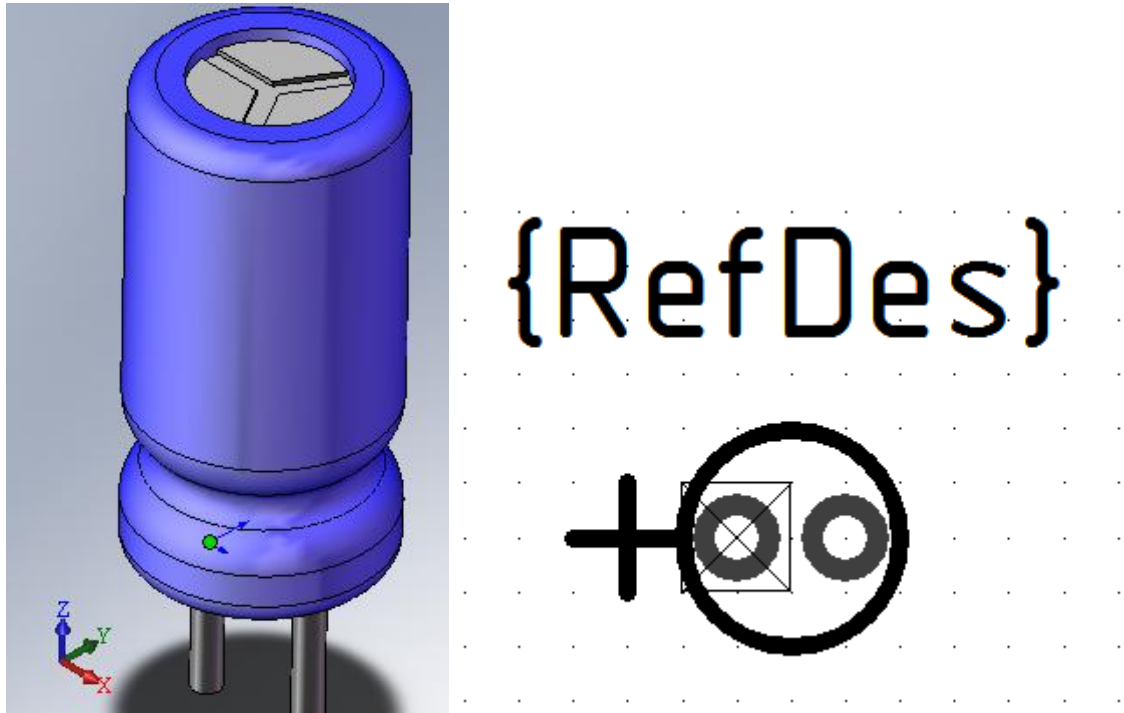


Рисунок 4.8 – Орієнтація 3D-деталі SolidWorks і посадкового місця

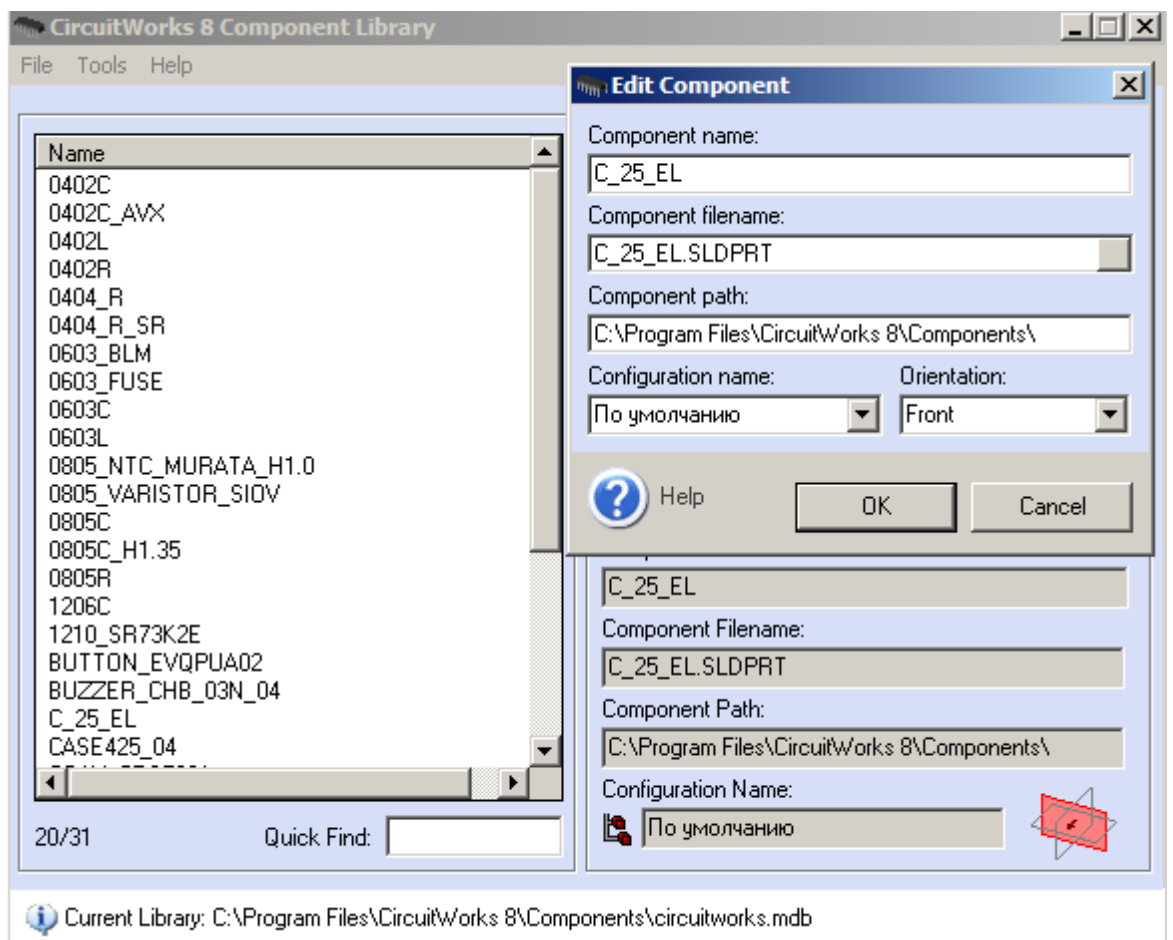


Рисунок 4.9 – Співставлення деталей SolidWorks і компонентів P-CAD

Вся інформація про 3D-моделі радіоелементів та їх параметри зберегається в файлі бази даних (*.mdb), за необхідністю його можна

відкрити у MS Access і відредагувати не запускаючи SolidWorks.

Вигляд 3D-моделі друкованої плати з використанням попередньо створених деталей радіоелементів показаний на рисунку 4.10.

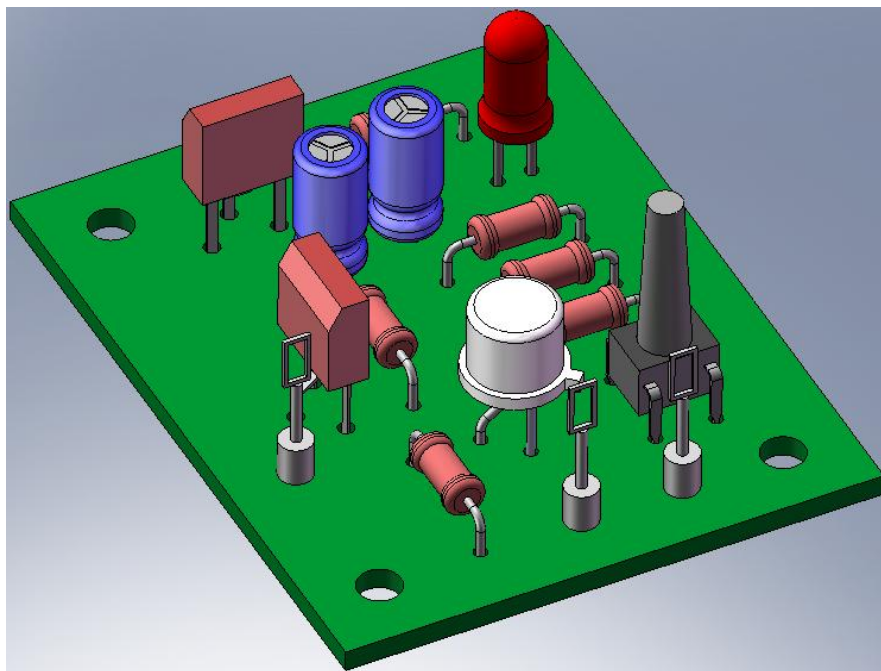


Рисунок 4.10 – Модель плати, створена з використанням 3D-моделей компонентів

4.2 Підготовка до виконання лабораторної роботи

Перед виконанням лабораторної роботи рекомендується ознайомитись з можливостями програми CircuitWorks, а також переглянути 3D-моделі радіоелементів, розташовані на сервері кафедри [6]. Їх можна використовувати під час виконання і захисту лабораторної роботи. Також рекомендується виконати імпорт будь-якої власноруч розробленої в P-CAD друкованої плати для перевірки роботи конвертора CircuitWorks.

4.3 Хід роботи

1. Отримати варіант завдання у викладача.
2. Переглянути у відповідній електронній САПР схему та друковану плату, які розміщені на сервері кафедри .
3. Виписати всі типи радіоелементів, які розміщені на платі.
4. Виконати пошук 3D-моделей радіоелементів на сервері. За результатами пошуку відмітити ті елементи, які потрібно створити самостійно.
5. Знайти документацію на розміри корпусів тих радіоелементів, які потрібно створити самостійно.
6. Створити необхідні деталі радіоелементів, зберегти їх на диск D ПК.
7. З використанням конвертору CircuitWorks створити 3D-збирання

друкованої плати, перевірити наявність та правильну орієнтацію всіх деталей у відповідності до завдання. У випадку неправильної орієнтації – змінити необхідну деталь або створити нову.

8. Показати результат виконання викладачу, відповісти на питання, які ставитиме викладач під час захисту роботи.
9. Внести зміни, якщо це буде потрібно, у створене збирання, зберегти файли на флеш-накопичувач для подальшого оформлення звіту з лабораторної роботи.

4.4 Вимоги до оформлення звіту

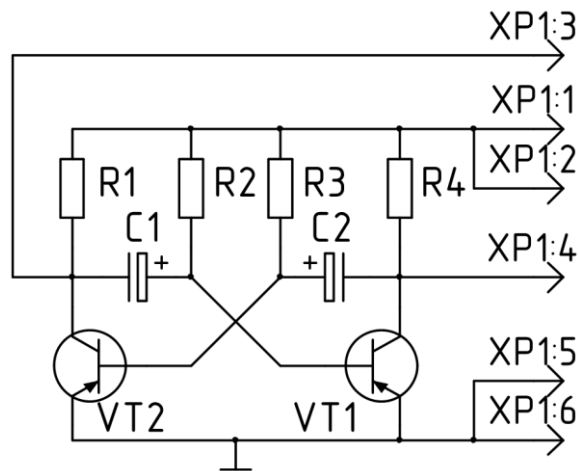
Звіт з лабораторної роботи обов'язково повинен містити наступну інформацію:

- послідовність самостійно створених деталей радіоелементів (див. вимоги до оформлення лабораторної роботи №2);
- графічні копії екрану SolidWorks, які ілюструють роботу конвертору CircuitWorks;
- графічні копії екрану SolidWorks зі створеним збиранням друкованої плати.

4.5 Завдання для захисту лабораторної роботи

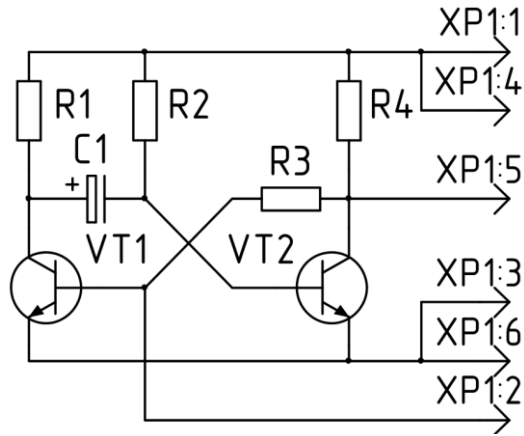
Варіант 1

Компоненти: C1,C2 – К50-35; R1-R4 – С2-33-0,125; VT1,VT2 – КТ361Б; XP1 – IDC-6.

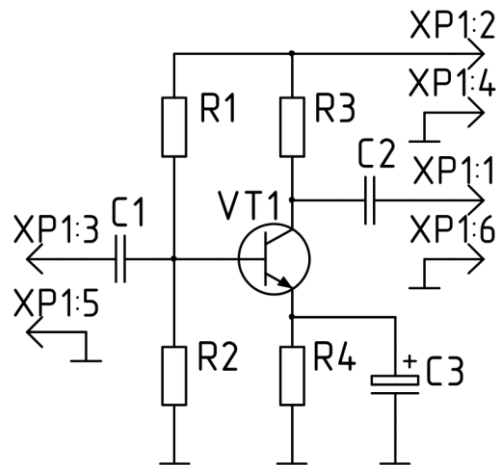


Варіант 2

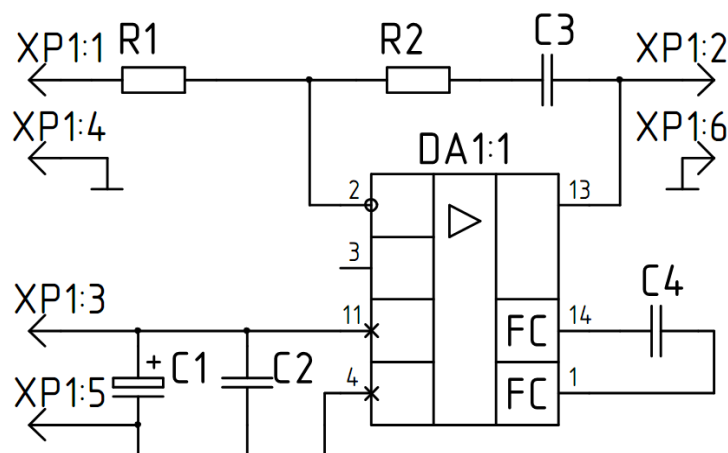
Компоненти: C1 – К50-35; R1-R4 – С2-33-0,125; VT1,VT2 – КТ315Б; XP1 – IDC-6.

**Варіант 3**

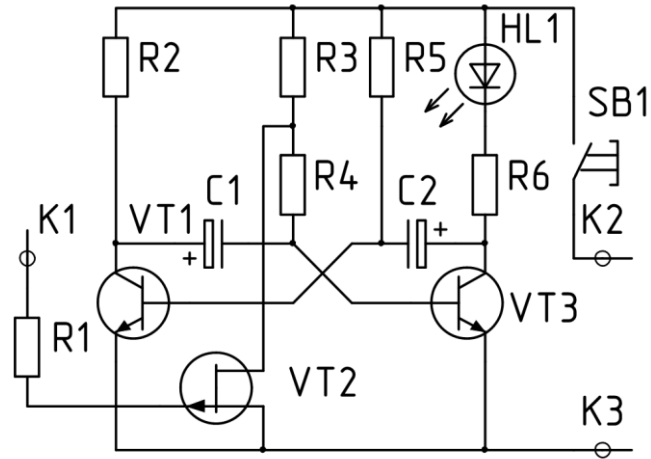
Компоненти: C1,C2 – К10-17Б-Н50; C3 – К50-35; R1-R4 – С2-33-0,125; VT1 – КТ315Б; XP1 – IDC-6.

**Варіант 4**

Компоненти: C1 – К50-35; C2-C4 – К10-17Б-Н50; DA1 – К157УД2 (DIP14); R1,R2 – С2-33-0,125; XP1 – IDC-6.

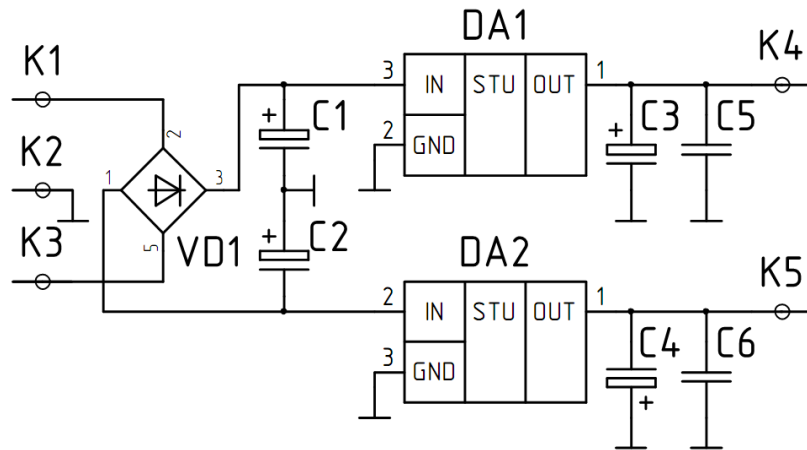
**Варіант 5**

Компоненти: C1,C2 – К50-35; HL1 – АЛ307БМ, К1-К3 – пелюстки, R1-R6 – С2-33-0,125; SB1 – SDTX-600; VT1,VT3 – КТ315Б, VT2 – КП103.



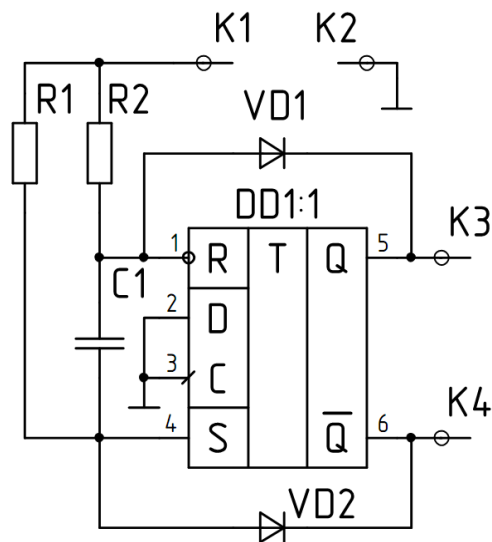
Варіант 6

Компоненти: C1, C2 – К50-35 (крок вив. 5 мм); C3, C4 – К50-35 (крок вив. 2,5 мм); DA1 – 78L15; DA2 – 79L15; K1-K5 – пелюстки, VD1 – КЦ407А.



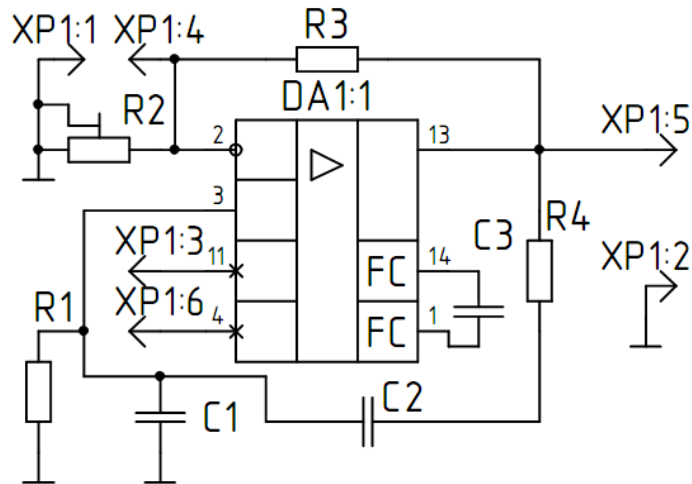
Варіант 7

Компоненти: C1 – К10-17; DD1 – К555ТМ2; K1-K4 – пелюстки, R1- R2 – С2-33-0,125; VD1, VD2 – КД522Б.



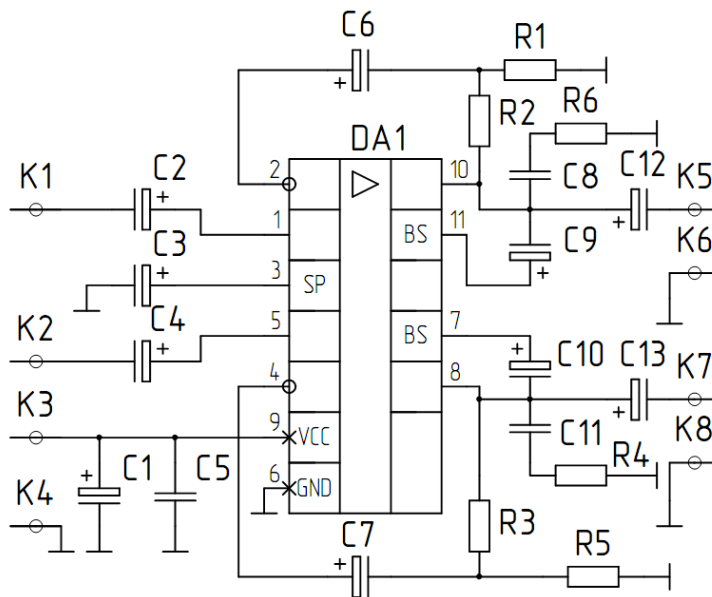
Варіант 8

Компоненти: C1-C3 – К10-17А; DA1 – К157УД2; R1,R3,R4 – С2-33-0,125; R2 – СП3-38Б; XP1 – IDC-6.



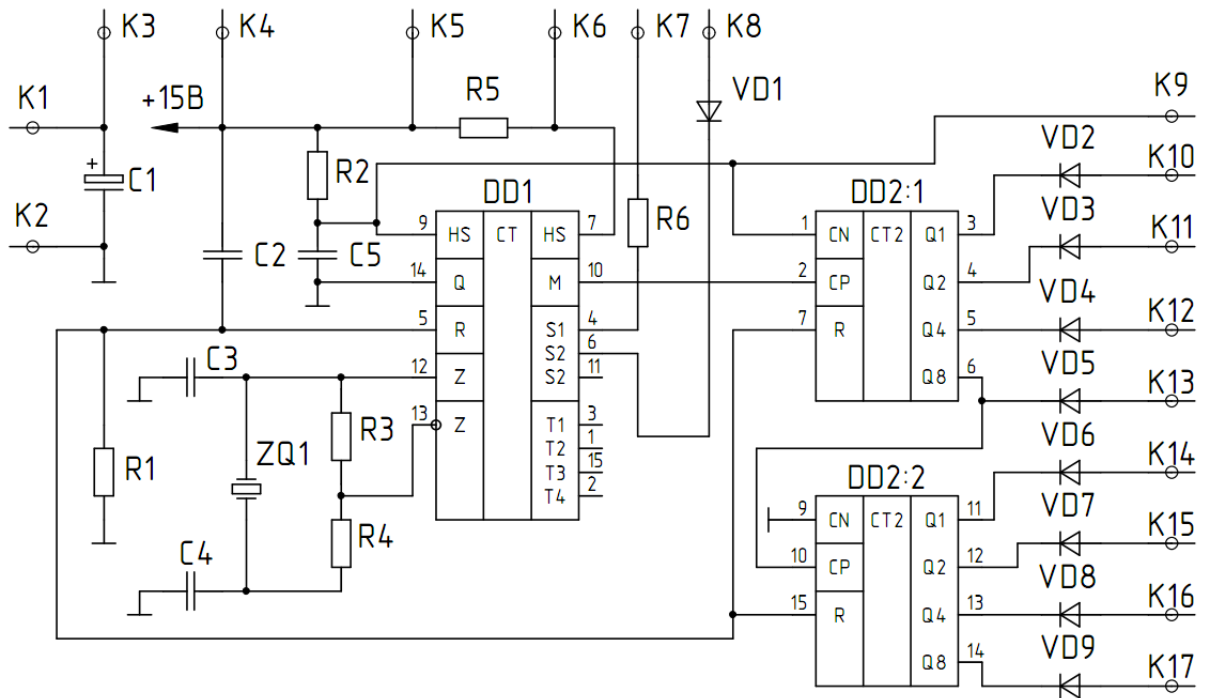
Варіант 9

Компоненти: C1-C4, C6,C7, C9, C10, C12, C13 – К50-35; C5, C8, C11 – К10-17Б; DA1 – TDA2005; K1-K8 – пелюстки, R1-R6 – С2-33-0,5.



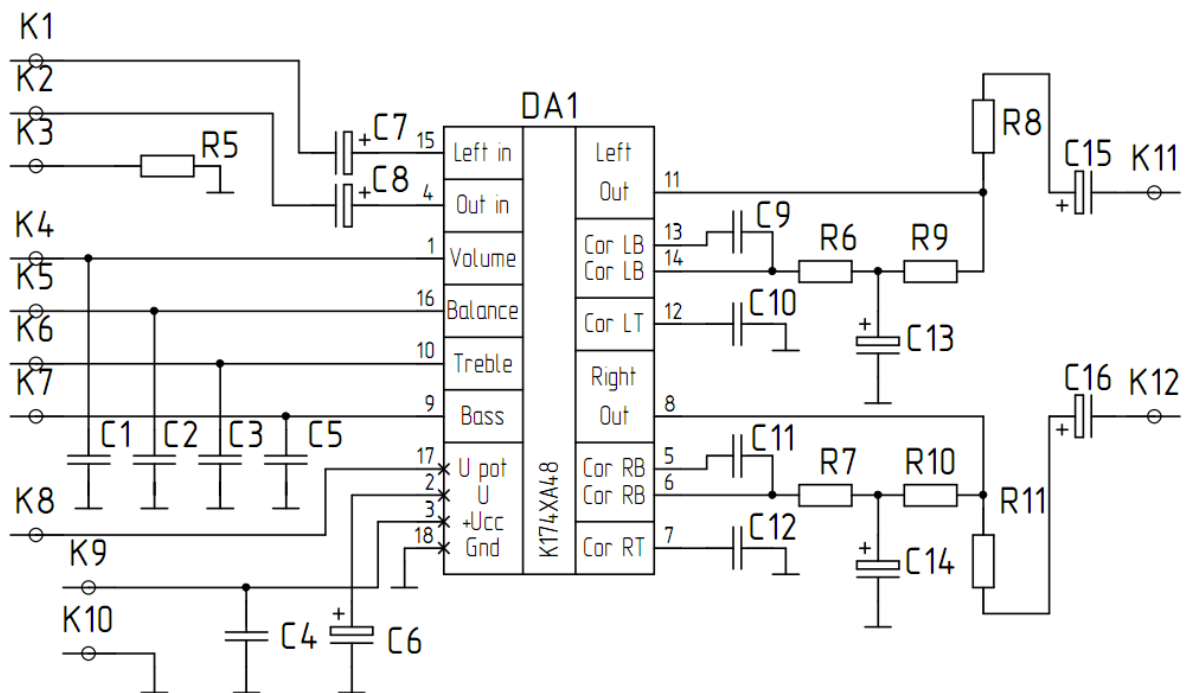
Варіант 10

C1 – К50-35-10мкФ; C2-C5 – К10-17Б-М47; DD1 – К176ИЕ18; DD2 – К561ИЕ10; K1-K17 – пелюстки; R1-R6 – С2-33-0,125; VD1-VD9 – КД522Б; ZQ1 – НС49У.



Варіант 11

C1-C3, C5 – К10-17-1Б-Н50 (розм.6x4x5 мм); C4, C9-C12 - К10-17-1Б-Н90 (розм. 9x7x5 мм); C6-C8, C13-C16 – К50-35; DA1 – К174ХА48; К1-К12 – пелюстки; R1-R11 –С2-33-0.125.



4.6 Контрольні питання

1. Які програми-конвертори використовуються для передачі даних з електронних до механічних САПР?
2. Яка інформація про друковану плату знаходиться в форматі IDF?

3. Який атрибут компонентів відповідає за їх висоту? Як його встановити в електронних САПР?
4. Чи можна встановити висоту компонентів під час роботи конвертору CircuitWorks?
5. Якими повинні бути імена компонентів і посадкових місць в електронній і в механічній САПР для спрощення конвертації за допомогою CircuitWorks?
6. Чи можна під час конвертації використовувати компоненти, які мають різні імена в електронній і механічній САПР?
7. Чи можна задіяти під час імпорту деталі, які мають декілька різних конфігурацій (наприклад, 0201, 0402, 0603, 0805)?
8. Якою повинна бути орієнтація деталей в SolidWorks, якщо орієнтація компоненту в P-CAD відома?
9. Які основні проблеми можуть бути під час імпорту проекту друкованої плати в SolidWorks?
10. Яким чином у складанні будуть відображатись компоненти друкованої плати, які не мають виготовлених деталей у SolidWorks?
11. Чи можна змінити орієнтацію деталей на друкованій платі під час імпорту?
12. Наведіть приклади офіційних електронних сторінок виробників з моделями електронних компонентів.

5 Лабораторна робота №5. Оформлення креслень в SolidWorks

Мета роботи: навчитися оформлювати креслення деталей та збирань в SolidWorks у відповідності до вимог діючих стандартів, які містять розрізи, місцеві види, розриви; виконувати специфікацію до збирання.

5.1 Теоретичні відомості

Завершальним етапом розробки електронного пристрою є оформлення конструкторської документації, яка містить текстову інформацію і креслення. В якості останніх можуть бути: габаритне креслення, складальне креслення з специфікацією, креслення деталі. Пакет SolidWorks має потужні засоби для інтерактивного формування зазначених документів. Додатковою перевагою даної програми є те, що всі креслення є двонаправлено асоціативними з тими деталями чи збираннями, для яких вони створювались. Це означає, що змінивши деталь, автоматично зміниться і креслення, і навпаки – змінивши один з розмірів креслення автоматично перебудується деталь чи збирання. Також до переваг можна віднести те, що при побудові креслень збирання чи деталі маса розраховується автоматично на основі уведених даних про матеріал деталі, і вводиться у відповідне поле формати. Оформленню креслень в SolidWorks відводиться достатня кількість матеріалу в книжках, наприклад, [3,5].

5.2 Підготовка до виконання лабораторної роботи

Перед виконанням лабораторної роботи рекомендується ознайомитись з матеріалом, що відноситься до оформлення креслень в довідниковій літературі [3,5] та курсі лекцій. Також необхідно скачати з серверу кафедри набір форматок, оформлених за ЄСКД ([inel/archive/Kources/5_Курс/Системи автоматизованого проектування пристроїв ПЕ/_До лабораторних роб/](http://inel/archive/Kources/5_Курс/Системи_автоматизованого_проектуння_пристроїв_ПЕ/_До_лабораторних_роб/)) та підключити їх до SolidWorks.

5.3 Хід роботи

1. Варіантами для виконання лабораторної роботи є ті, які видавались студенту для виконання 2-ї та 4-ї лабораторних робіт.
2. Виконати креслення деталі з другої лабораторної роботи. Креслення обов'язково повинно містити стандартні види з необхідними розмірами та один розріз. Місцеві види та розриви – за необхідністю.
3. Виконати складальне креслення та специфікацію збирання друкованої плати з четвертої лабораторної роботи. Креслення обов'язково повинно містити позиції деталей та види спереду і зліва (зверху). Специфікація може бути оформлена на основі

- даних з SolidWorks у MS Word чи Excel.
4. Зберегти файли на диск D ПК.
 5. Показати результат виконання викладачу, відповісти на питання, які ставитиме викладач під час захисту роботи.
 6. Внести зміни, якщо це буде потрібно, у виконані креслення, зберегти файли на флеш-накопичувач для подальшого оформлення звіту з лабораторної роботи.

5.4 Вимоги до оформлення звіту

Звіт з лабораторної роботи обов'язково повинен містити наступну інформацію:

- перелік команд, які використовувались для створення креслень
- роздруковані креслення деталі та складальне креслення у необхідному форматі (без зменшення масштабу при роздруківці);
- роздруковану специфікацію збирання друкованої плати.

5.5 Завдання для виконання лабораторної роботи

В даній лабораторній роботі використовуються варіанти завдання, які були видані студенту для виконання у лабораторних роботах №2 та №4.

5.6 Контрольні питання

1. Що означає термін «асоціативність» в SolidWorks?
2. Яким чином можна створити креслення для створеної тривимірної деталі в SolidWorks?
3. Яке розширення файлу мають формати креслень SolidWorks, як їх підключити встановити в програмі?
4. Як можна змінити масштаб, в якому формується креслення на листі SolidWorks?
5. Як додати до файлу креслення SolidWorks додаткові листи?
6. Чи можна обертати креслярський вид на листі креслення SolidWorks?
7. Продемонструйте, як для креслярського виду виконати звичайний або вирівняний розріз.
8. Продемонструйте, як у креслярському виді можна зробити вирив.
9. Продемонструйте, як у SolidWorks можна зробити місцевий вигляд.
10. Яким чином можна проставляти розміри на листі креслення SolidWorks?
11. Яким чином в SolidWorks можна створити специфікацію збірки?
12. Як в SolidWorks проставляються позиції складових збірки?

6 Лабораторна робота №6. Виконання ієрархічних проектів електричних схем пристроїв в програмі Altium Designer

Мета роботи: навчитися створювати складні ієрархічні багатолистові та багатоканальні електронні схеми для проекту друкованої плати в програмі Altium Designer.

6.1 Теоретичні відомості

Багатоканальні схеми в САПР Altium Designer дозволяють суттєво спростити розробку друкованих плат та схем, в яких певні частини повторюються декілька разів, наприклад: підсилювач потужності, який має ідентичні лівий та правий канали, багатоканальні пристрої збору інформації з однотипних датчиків, тощо. На схемному рівні організація багатоканального проекту відбувається аналогічно до ієрархічного проекту. Схема електрична принципова каналу розташовується на окремому листі, і з'єднується з листом схеми верхнього рівня за допомогою елементів типу *Port (Place → Port)*, які необхідні для передачі інформації в канал, та з нього.

На верхньому рівні, для того щоб з'єднати даний канал з зовнішнім листом, ставиться елемент типу *Sheet Symbol (Place → Sheet Symbol)*. Після вибору команди, необхідно нарисувати прямокутник з бажаними розмірами. Стандартний колір фону для нього – зелений. Двічі клацнувши ЛК миші, переходимо у вікно налаштувань, де обираємо в полі *Filename* ім'я листа схеми каналу (схема каналу та схема верхнього рівня повинні бути розміщені в одному проекті). Для того, щоб встановити кілька однотипних каналів, можна записати у цьому ж вікні налаштувань ім'я *Designator* для даного каналу у вигляді *Repeat(Name,1,3)*, де *Name* – ім'я позиційного позначення каналу (ЕСКД для функційних блоків рекомендує використовувати позиційні позначення А), 1 – початковий номер блоку, 3 – кінцевий номер блоку. Ключове слово *Repeat* після компіляції проекту розміщує вказаний лист стільки разів, скільки вказано у позиційному позначенні (в даному вигляді – 3 рази). Візуально, це буде видно по кільком контурам прямокутника *Sheet Symbol* на головному листі, а також по кільком вкладкам каналів при перегляді схеми каналу (*Editor, Name1, Name2, Name3*).

Для з'єднання електричних провідників на листі верхнього рівня з провідниками на схемі каналу, як було сказано вище, використовуються елементи *Place → Port* всередині листа каналу. В той же час, на листі верхнього рівня для цього використовуються елементи *Sheet Entry (Place → Sheet Entry)*. Встановивши цей елемент, необхідно двічі клацнувши ЛК зайти у властивості, та в полі *Name* обрати відповідне ім'я провідника на внутрішній схемі каналу. В той же час, в багатьох випадках на внутрішній схемі каналу провідники повинні мати унікальні імена. Наприклад, схема має 6 ідентичних каналів датчиків вимірювання температури, і кожен

канал повинен мати унікальний вихідний сигнал – *TempOut1, TempOut2, ... TempOut6*). В такому випадку, в полі імені провідника необхідно спочатку обрати відповідне ім'я, а потім дописати ключове слово *Repeat*. В результаті, властивість «ім'я» матиме вигляд *Repeat(TempOut)*, що після компіляції дасть 6 окремих провідників на виході каналів. До елементів *Sheet Entry* необхідно підключати провідники (*Place → Wire*), причому, на листі верхнього рівня також необхідно задати ім'я провідника на виході блоку за допомогою вставки *Place → Net Label*. Слід зауважити, що у випадку використання ключового слова *Repeat* (наприклад, *Repeat(TempOut)* для 6 каналного проекту), до виводу *Sheet Entry* підключається провідник (*Wire*), для нього задається ім'я (наприклад, *TempOut*), і потім провідник заводиться в шину (*Place → Bus*), якій теж задається ім'я, в нашому випадку – *TempOut[1..6]*. У випадку, коли ключове слово *Repeat* для елемента *Sheet Entry* не використовується, то всередину кожного блоку передається лише один провідник (таким чином, можна передати, наприклад, сигнали цифрових інтерфейсів SPI, які будуть однакові в кожному блоці).

У випадку, якщо в - або з – багатоканального блоку передається шина, то в імені елемента *Sheet Entry* використовуються квадратні дужки, в яких вказується кількість елементів у шині (наприклад, *D[0..8]*). В такому випадку, до елемента *Sheet Entry* на листі верхнього рівня підводиться шина (*Place → Bus*).

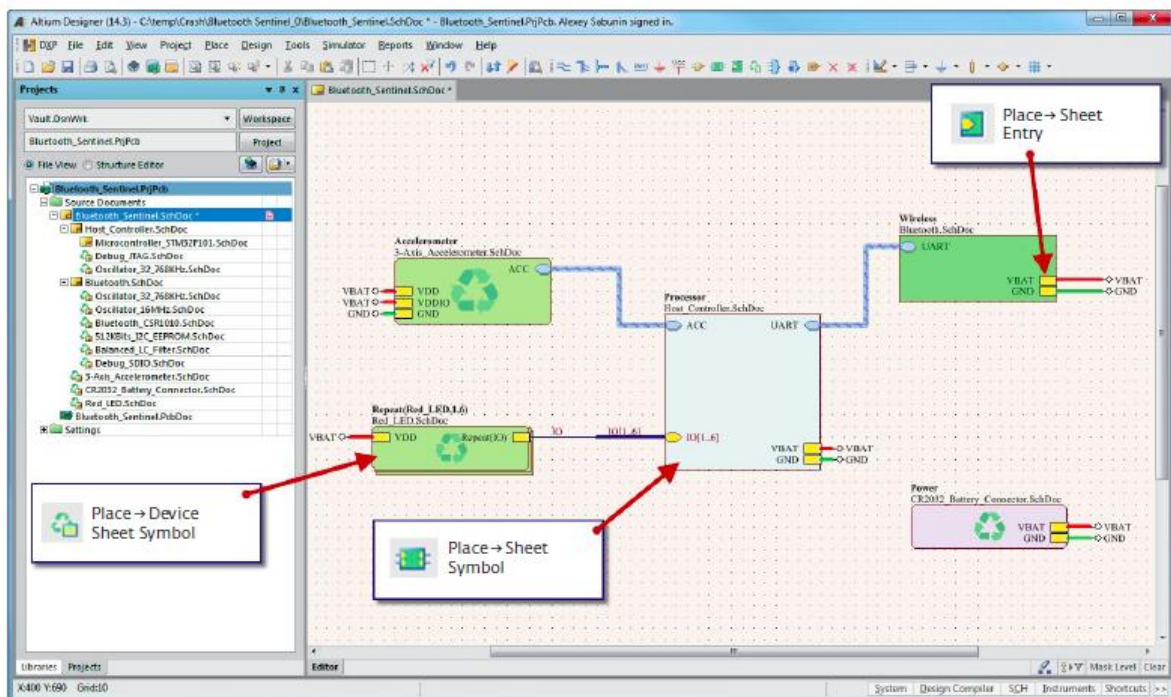


Рисунок 6.1 – Вікно Altium Designer з багатолістовим ієрархічним проектом

Зазначені елементи (*Sheet Symbol, Sheet Entry, Repeat*) використовуються виключно в ієрархічних та багатоканальних схемах.

Після розробки схеми каналів та розставлення символів та

з'єднувачів на листі верхнього рівня, можна компілювати схему та передавати зміни в файл друкованої плати проекту. При цьому, в файлі плати будуть автоматично формуватись кімнати, в середині яких будуть розміщуватись всі елементи каналу.

6.2 Підготовка до виконання лабораторної роботи

Перед виконанням лабораторної роботи рекомендується ознайомитись з матеріалом, що відноситься до роботи з ієрархічними проектами в довідниковій літературі [11, 12] та курсі лекцій.

6.3 Хід роботи

1. Отримати варіант до виконання лабораторної роботи у викладача, ознайомитись зі схемою, знайти та інсталювати бібліотеку елементів до проекту.
2. Створити проект друкованої плати та файл головного листа схеми електричної принципової.
3. В цьому ж проекті створити файл листа схеми нижнього рівня, розмістити на ньому компоненти, електричні зв'язки та з'єднувачі листів у відповідності до завдання.
4. Створити з листа схеми нижнього рівня символ листа за допомогою команди *Design* → *Create Sheet Symbol from Sheet or HDL*, розмістити його на головному листі проекту.
5. Скопіювати проект, пересвідчитись що проект перетворено на ієрархічний.
6. При необхідності – перетворити лист нижнього рівня на багатоканальний лист.
7. Переіменувати важливі електричні зв'язки, проставити директиви класів електричних зв'язків та параметри трасування для них.

6.4 Вимоги до оформлення звіту

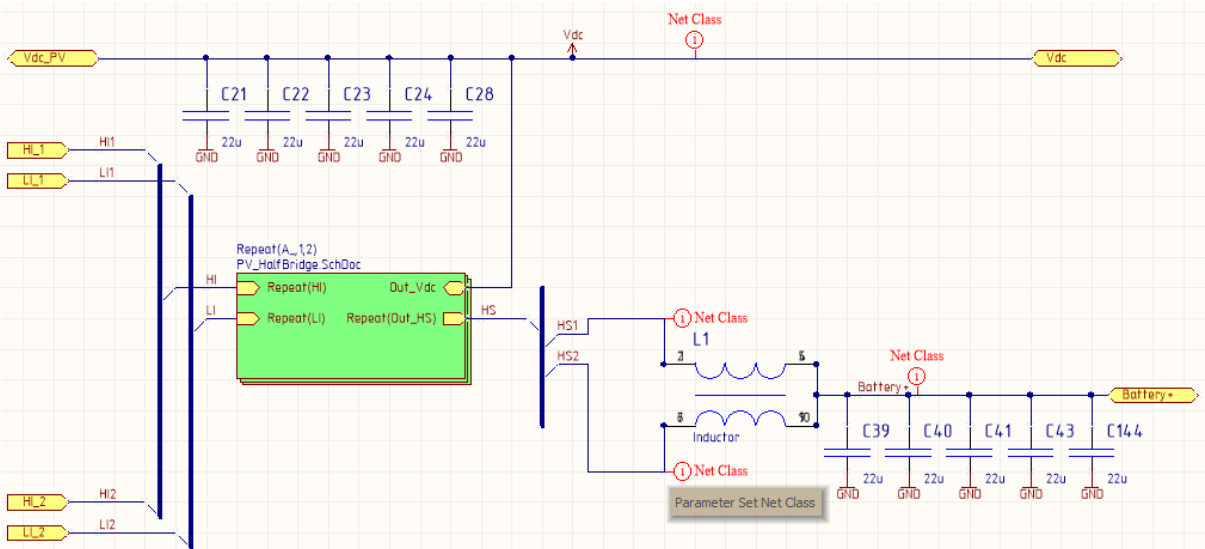
Звіт з лабораторної роботи обов'язково повинен містити наступну інформацію:

- графічні копії дерева розробленого проекту та окремих листів схем електричних принципів;
- перелік електричних зв'язків;
- перелік класів електричних зв'язків та імена зв'язків, що входять до них;
- перелік директив та їх параметри (ширина провідника, зазор між провідними ділянками, тощо).

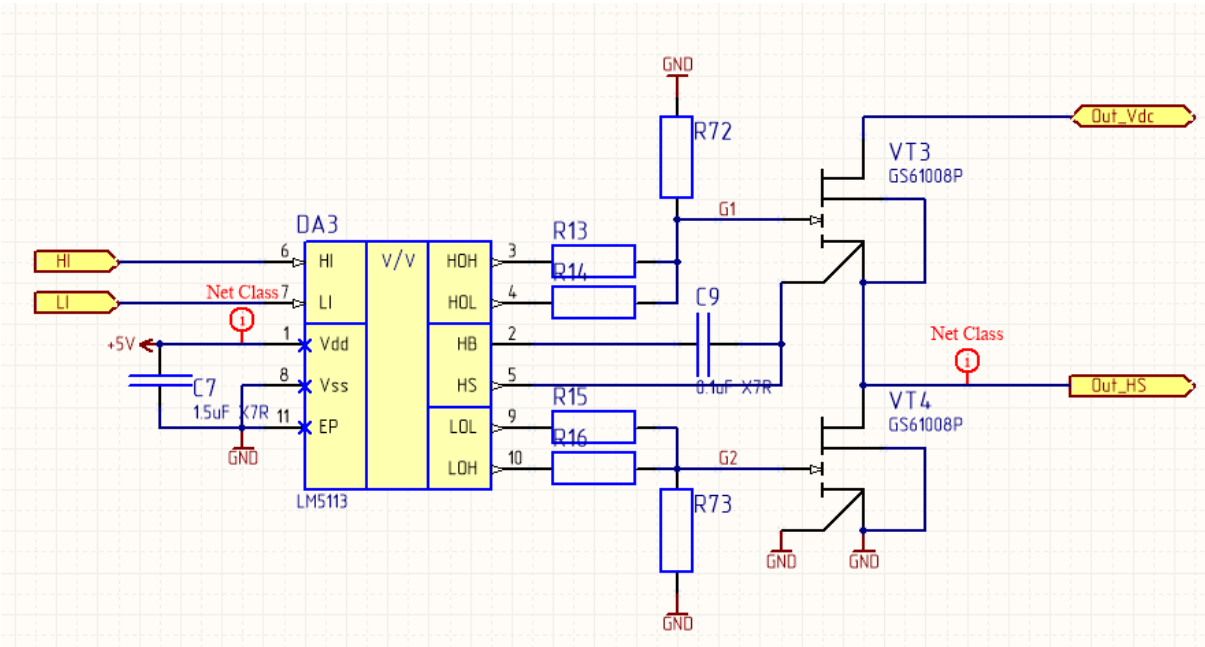
6.5 Завдання для виконання лабораторної роботи

Варіант 1

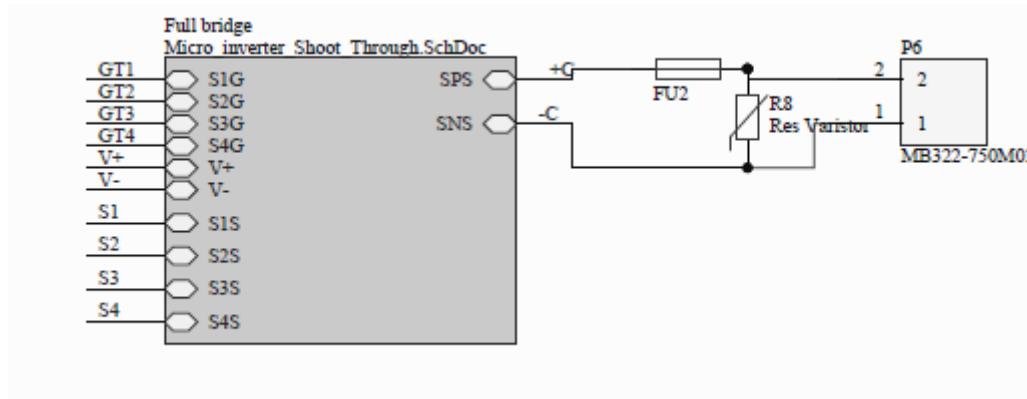
Головний лист *Main*:

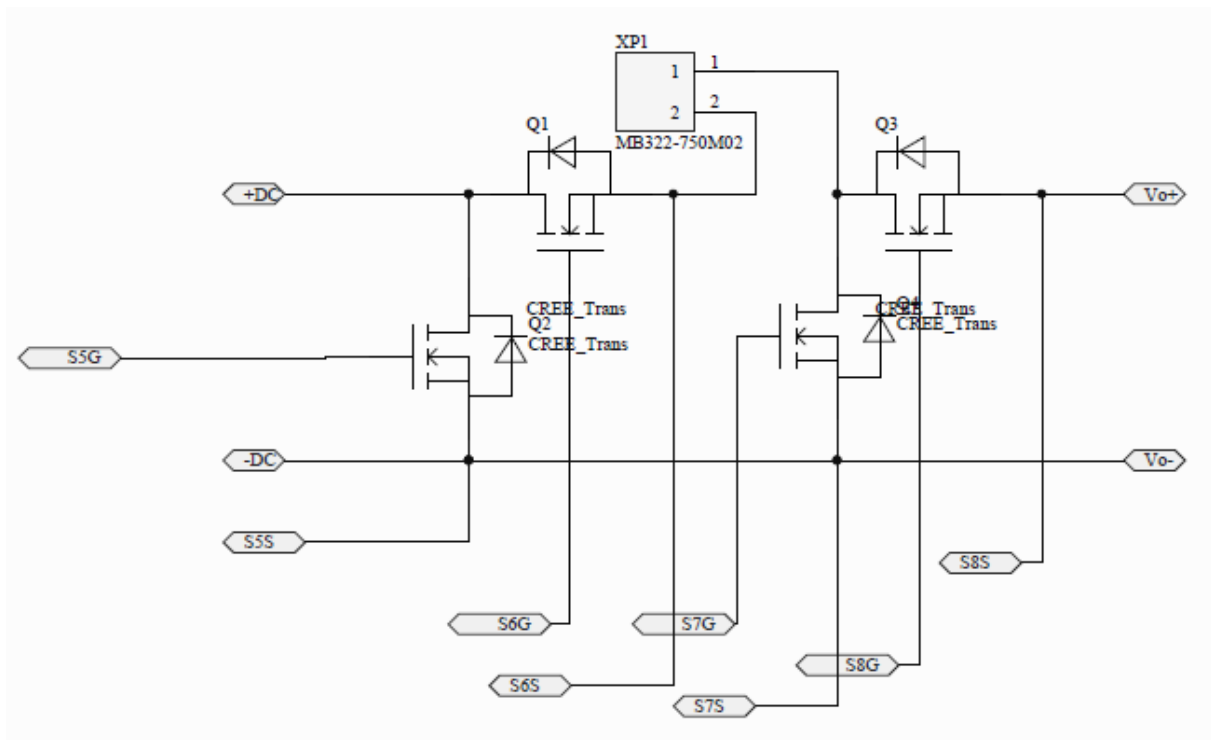


Лист PV_HalfBridge:

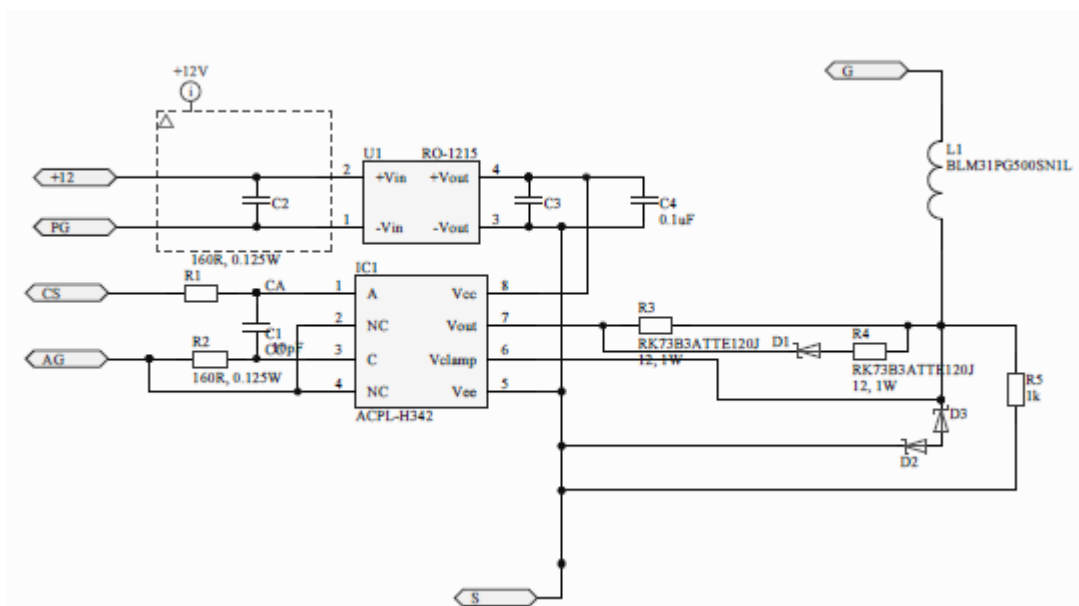
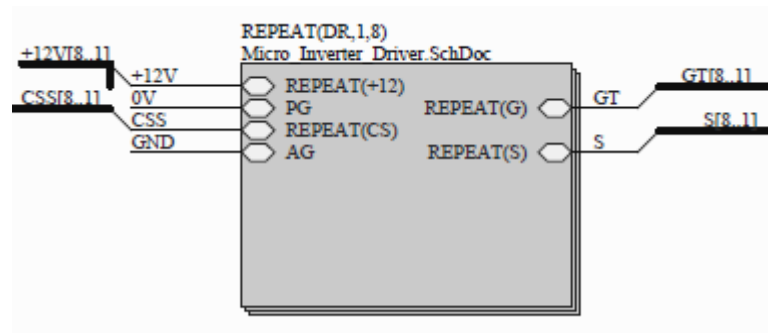


Варіант 2





Варіант 3



6.6 Контрольні питання

1. Як додати з'єднувачі листів в схему електричну принципову?

2. Як налаштувати відображення з'єднувачів листів та символів листів у відповідності до стандартів ЕСКД до оформлення конструкторської документації?
3. Яким чином вручну можна створити символ листа та розмістити на ньому з'єднувачі листів?
4. Як перетворити одноканальний ієрархічний проект в багатоканальний? Який синтаксис команди *Repeat Channel* для ієрархічного проекту?
5. В чому особливості використання шин для багатоканальних схем та ключового слова *Repeat*?
6. Як задати імена індивідуальним і повторюваним електричним зв'язкам, що передаються на листи нижніх рівнів проекту?
7. Як задати правила нумерації компонентів (префікс позиційного позначення *Designator*) в багатоканальному ієрархічному проекті на листах нижніх рівнів?

7 Лабораторна робота №7. Розробка друкованих плат ієрархічних проектів в програмі Altium Designer

Мета роботи: навчитися використовувати кімнати з ідентичними каналами та полігони для трасування силових електричних зв'язків на складних друкованих платах в програмі Altium Designer.

7.1 Теоретичні відомості

Використання багатоканального проекту дозволяє спростити розміщення компонентів та трасування провідників для ідентичних каналів за рахунок інструменту копіювання топології *Design* → *Rooms* → *Copy Rooms Format*. Для початку, користувач повинен виконати розміщення компонентів та трасування електричних зв'язків у одній з кімнат, та змінити розмір самої кімнати у відповідності до площі, зайнятою компонентами та провідниками. Після чого, необхідно виконати копіювання топології на інші кімнати, для чого використовується команда *Copy Room Format*.

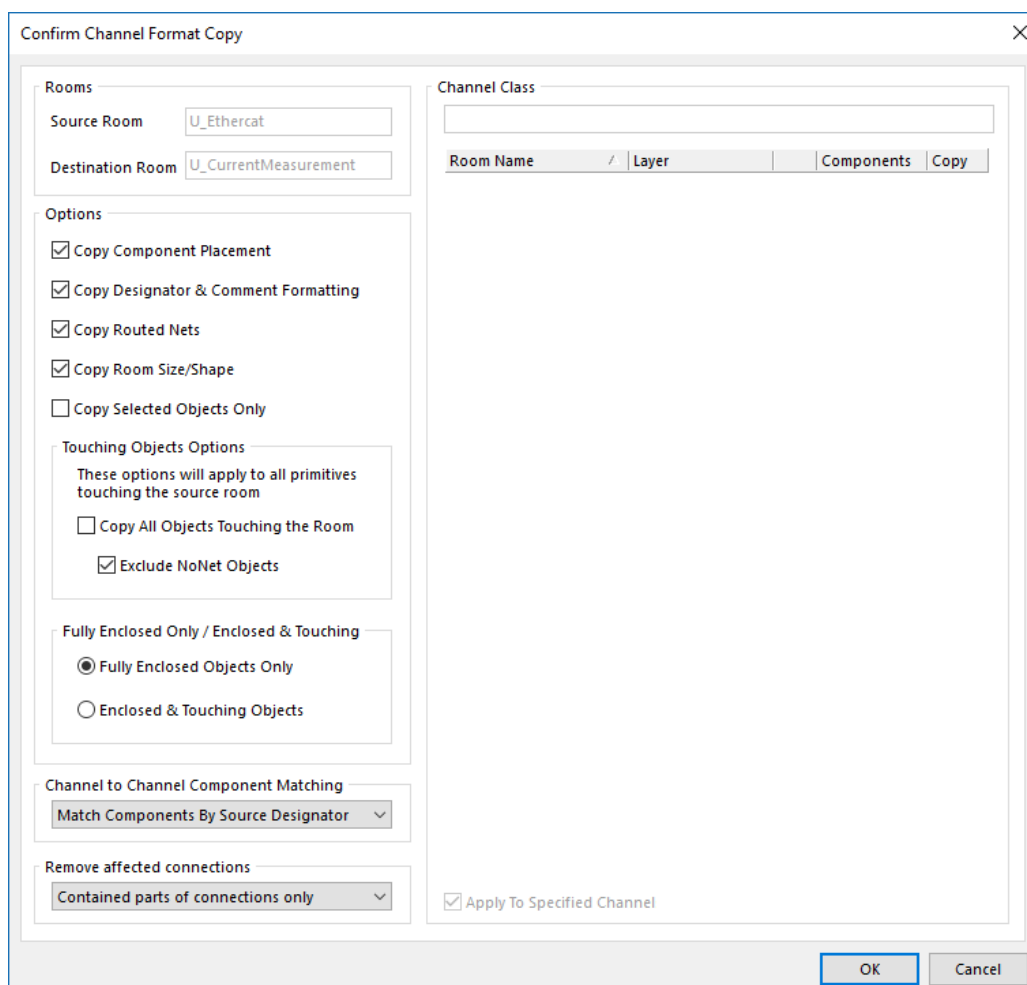


Рисунок 7.1 – Вікно Copy Room Format

Після вибору цієї команди Altium Designer запропонує обрати кімнату, яка буде джерелом для топології (*Source Room*). За режимом

команди потрібно слідкувати у рядку повідомлень Altium Designer знизу вікна команди. Після вибору кімнати-джерела потрібно вибрати кімнати, на які буде розповсюджуватись дизайн (*Destination Room*). У вікні налаштувань обирається, що саме буде копіюватись (провідники, компоненти, все разом), які об'єкти будуть вважатись такими, що відносяться до кімнати (що повністю розміщуються всередині кімнати, або як мінімум частково потрапляють в неї), які кімнати будуть копіюватись, тощо.

В більшості випадків при трасуванні друкованих плат використовуються друковані провідники, які створюються командою *Place* → *Track*, та мають фіксовану ширину. Однак, в багатьох випадках електричні схеми пристроїв мають електричні зв'язки, по яких проходять значні струми. Це має місце у випадку, наприклад, джерел живлення, перетворювачів напруги, іншого силового обладнання. В таких випадках, використання інструменту *Track* недоцільно, так як для зменшення омичних втрат ширину провідника бажано робити більшою. Це можна досягнути, використовуючи замість провідників з фіксованою шириною полігони, які матимуть суттєво більшу площу, і крім зменшення омичного опору також суттєво краще розсіюватимуть тепло.

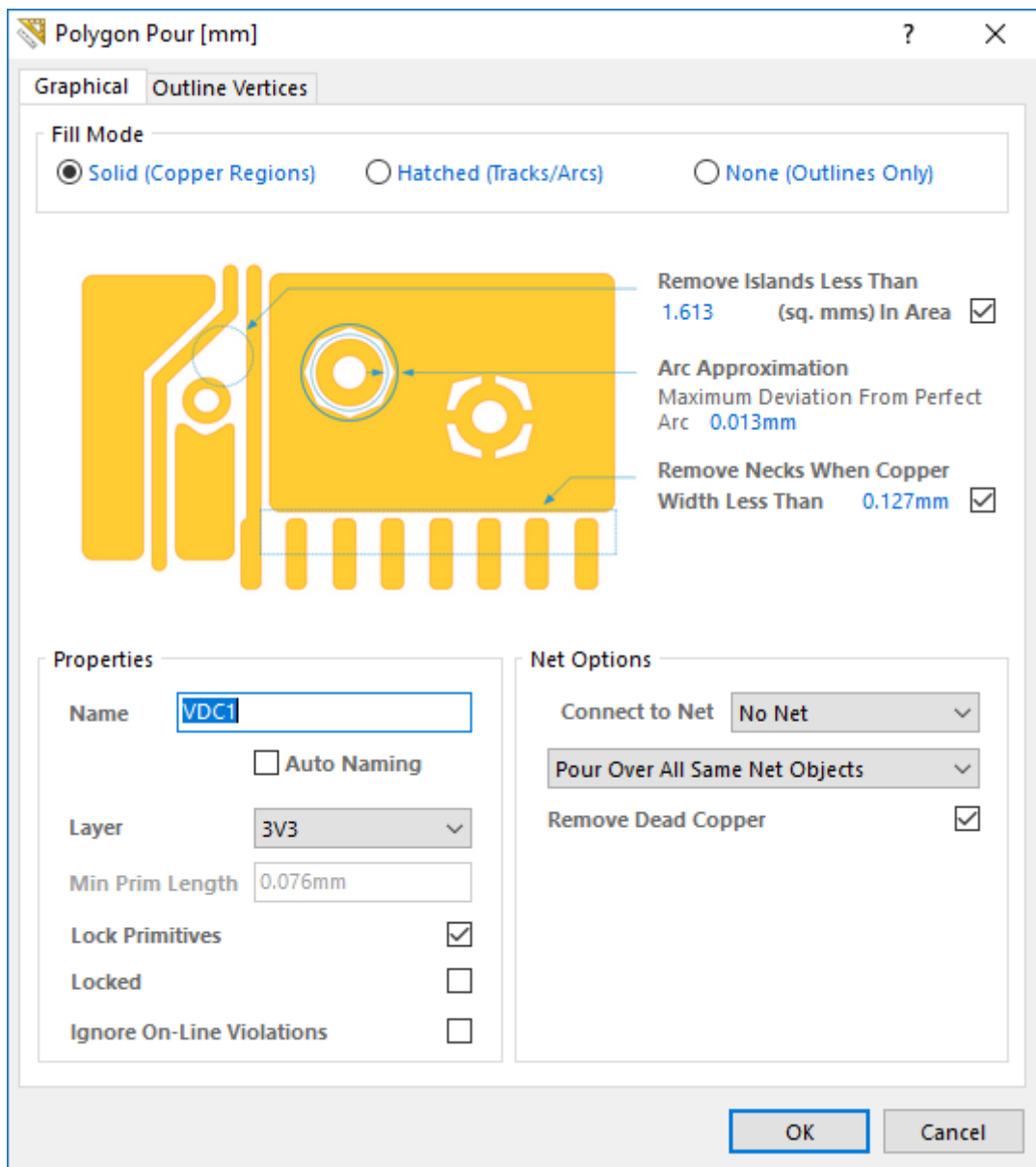


Рисунок 7.2 – Вікно Copy Room Format

7.2 Підготовка до виконання лабораторної роботи

Перед виконанням лабораторної роботи рекомендується ознайомитись з матеріалом, що відноситься до роботи з ієрархічними проектами в довідниковій літературі [11, 12] та курсі лекцій.

7.3 Хід роботи

1. Проаналізувати схему з лабораторної роботи №6 на предмет наявності важливих електричних кіл, зокрема, кіл, по яким протікають великі струми, передаються імпульси зі значною енергією, тощо. За допомогою команди *Place* → *Directives* → *Net Class* об'єднати всі однотипні електричні зв'язки у відповідні класи.
2. За допомогою команди *Project* → *Project Options* → *Class*

- Generations* перевірити генерацію кімнат для окремих листів схеми.
3. Передати інформацію зі схеми до файлу друкованої плати.
 4. Створити правила (мінімальна ширина провідників, зазор) для класів електричних кіл, враховуючи рівні напруг та струмів.
 5. Додати додаткові сигнальні (за умови використання кількох електричних кіл на внутрішніх шарах) або екранні шари, перетворивши заготовку друкованої плати з двох- в чотиришарову.
 6. Виконати розміщення компонентів та трасування основних кіл в одному з ідентичних каналів, враховуючи правила електромагнітної сумісності (мінімізація контурів високочастотних кіл, рекомендації виробників), та використовуючи мідні полігони (*Place* → *Polygon Pour*) для силових електричних кіл.
 7. Змінити розмір кімнати таким чином (*Design* → *Rooms* → *Edit Polygonal Room Vertices*), щоб вона охоплювала всі елементи відповідного каналу та була мінімально можливого розміру.
 8. За допомогою команди *Design* → *Rooms* → *Copy Rooms Format* виконати копіювання розміщення елементів та трасування з'єднань з першого на другий (а при необхідності й на інші) канали.
 9. Проаналізуйте, які саме елементи топології можуть бути скопійовані таким чином. При необхідності – розмістіть елементи топології, які не були скопійовані.
 10. Шляхом перетягування взаємно узгодьте розміщення кімнат ідентичних каналів та здійсніть розміщення компонентів та трасування з'єднань з головного листа схеми.
 11. Змініть розмір плати у відповідності до результатів розміщення компонентів та трасування, а також розмістіть монтажні отвори.

7.4 Вимоги до оформлення звіту

Звіт з лабораторної роботи обов'язково повинен містити наступну інформацію:

- копії розроблених правил проекту (можна у вигляді графічних копій екрану) та їх обґрунтування;
- топологію всіх сигнальних та екранних шарів друкованої плати;
- аналіз найбільш критичних електричних кіл та заходи, виконані Вами для електромагнітної сумісності плати.

7.5 Завдання для виконання лабораторної роботи

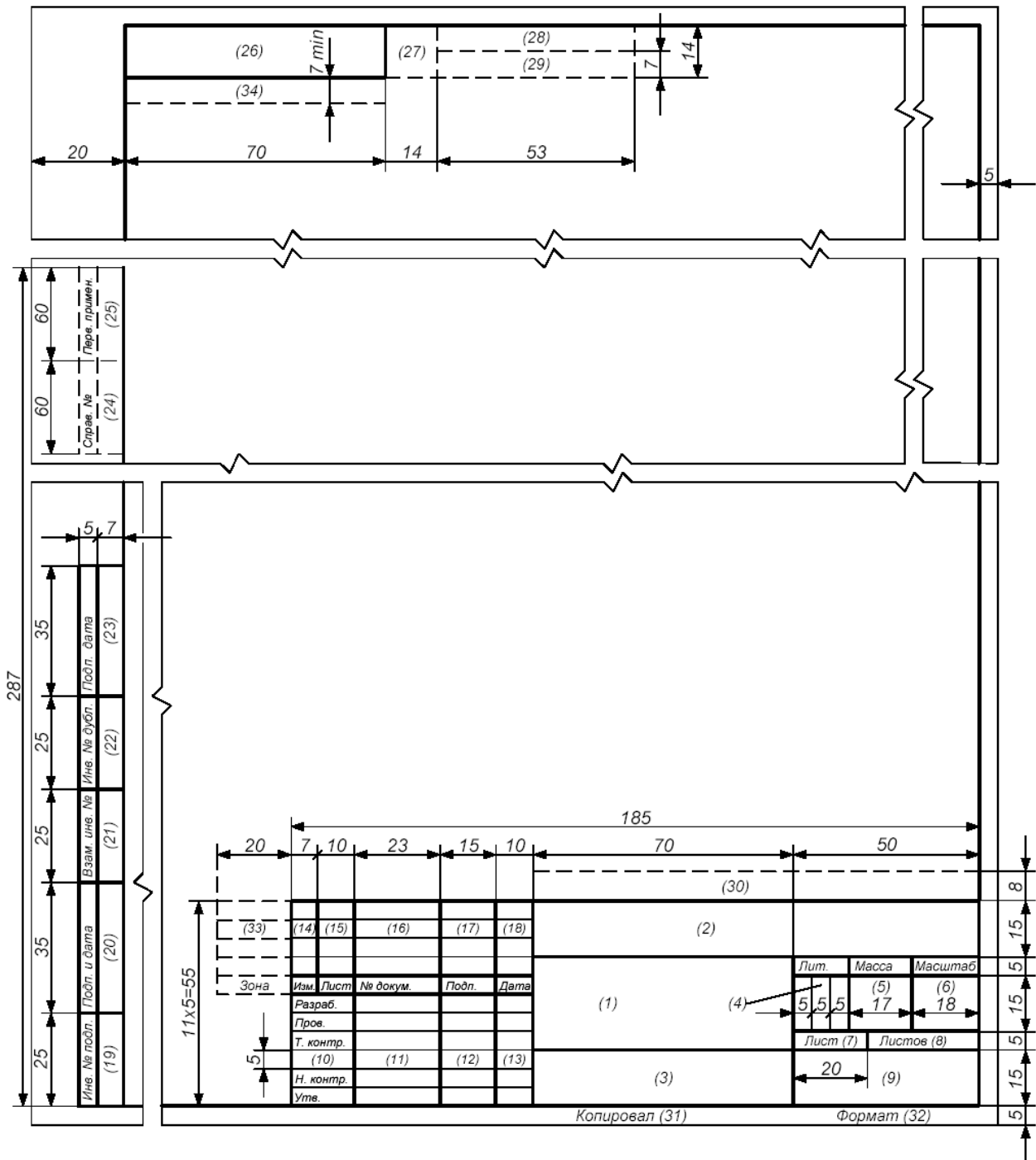
В даній лабораторній роботі використовується той же варіант завдання, що видавався студенту для виконання у лабораторній роботі №6.

7.6 Контрольні питання

1. Як виконати копіювання топології для декількох кімнат? Які умови висуваються до кімнат в цьому випадку?
2. Які складові топології копіюються для ідентичних кімнат при використанні команди *Copy Rooms Format*?
3. Як можна змінити розмір та форму кімнати вручну та автоматично?
4. Як можна змінити форму та розмір полігону на друкованій платі?
5. Яким чином додаються електричні кола до класів електричних кіл?
6. Яким чином задаються правила трасування для окремих кімнат?

Додаток А

Рисунок А.1 – Основний напис для креслень та схем



Рекомендована література

1. Дударева Н.Ю, Загайко С.А. Самоучитель SolidWorks 2006. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 336 с.
2. Перрис А.М. Solidworks 2005/2006. Учебный курс. – СПб.: Питер, 2006. – 528 с.
3. Прохоренко В.П. SolidWorks. Практическое руководство. – М.: Бинном-Пресс, 2004. – 448 с.
4. Тику Ш. Эффективная работа: SolidWorks 2004. – СПб.: Питер, 2005. – 768 с.
5. Сучасні технології конструювання РЕА. Методичні вказівки до самостійної роботи для студентів спеціальності 7.090803 та 8.090803. – Чернігів: ЧНТУ, 2008. – 35 с. – Електронний документ: /archive/Kources/5_Курс/Сучасні технології конструювання РЕА ПЕ/_Методички/Мет ук сам роб САПР ПЕ 2009.pdf
6. <http://www.3dcontentcentral.com/>
7. [inel/archive/Kources/5_kurs/САПР/Сучасні технології конструювання РЕА ПЕ](http://inel.archive/Kources/5_kurs/САПР/Сучасні технології конструювання РЕА ПЕ)
8. Matt Lombard. SolidWorks Surfacing and Complex Shape Modeling Bible. – John Wiley & Sons, 2008. – 460 p.
9. SolidWorks. Оформление чертежей по ЕСКД. Учебное пособие. – М.: SolidWorks Russia, 2005. – 190 с.
10. SolidWorks Video Course DVD (25:02hrs) by Video-Tutorials.Net (Електронний документ: [inel/archive/Kources/5_kurs/САПР/Сучасні технології конструювання РЕА ПЕ](http://inel.archive/Kources/5_kurs/САПР/Сучасні технології конструювання РЕА ПЕ))
11. Работа в Altium Designer Организация иерархических и многоканальных схем (Електронний документ http://wiki.altium.com/download/attachments/44108732/Sabunin18_Multi.pdf)
12. Сабунин А.Е. Altium Designer. Новые решения в проектировании электронных устройств. – М.: Солон-Пресс, 2009. – 432с
- 13.