

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«КОМП'ЮТЕРНА ГРАФІКА В ЕЛЕКТРОНИЦІ»

(для здобувачів вищої освіти спеціальностей 172 «Телекомунікації та радіотехніка», 171 «Електроніка», 153 «Мікро- та наносистемна техніка»)

(електронне видання)

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні кафедри

електронних апаратів

Протокол № 6 від 14.02.2023

Київ, 2023р.

УДК 681.3

Конспект лекцій з дисципліни «Комп'ютерна графіка в електроніці» (для здобувачів вищої освіти спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка», 171 «Електроніка», 153 «Мікро- та наносистемна техніка») (електронне видання) /Уклад. Ж.Г. Самойлова.-Київ: вид-во- СНУ ім.В. Даля, 2023. – 192 с.

В курсі лекцій з дисципліни «Комп'ютерна графіка в електроніці» розглянуто проектування схем, друкованих плат, бібліотеки корпусів и компонентів, а також розглянута можливість вивчити різноманітні додаткові можливості пакета програм по проектуванню друкованих плат DipTrace. Велика увага приділена розгляду і аналізу побудови електричних схем та проектуванню друкованих плат. Конспект лекцій може бути використаний студентами при підготовці к заняттям.

Укладач: . Ж.Г. Самойлова, к.т.н., доц.

Рецензент: . М.Г. Лорія, д.т.н., проф.

Зміст

№п/п	Назва розділів	Стор.
	Вступ	8
1	Загальні положення і поняття	9
1.1.	Системи автоматизованого проектування (САПР) в області радіоелектроніки	13
1.2.	Загальні відомості про об'єкти та завдання схемотехнічного проектування (моделювання)	19
1.3.	Основні завдання схемотехнічного проектування	19
	Способи проектування	23
1.4.	Математичне моделювання на ЕОМ	23
1.5.	Типи об'єктів схемотехнічного проектування	26
1.6.	Основні етапи АСхП радіоелектронних пристроїв	26
1.7.	Математичні моделі компонентів і електронної схеми в цілому	31
	Поняття математичної моделі компонента та схеми	31
1.8.	Питання класифікації математичних моделей реальних електронних компонентів та їх параметрів	34
1.9.	Сучасні програмні пакети, що використовуються у системах автоматизованого схемотехнічного проектування	37
1.10.	Коротка історична довідка	39
1.11.	Способи введення опису електричної схеми РЕУ, що проектується	43
1.12.	Математичні моделі компонентів електронних пристроїв для пакетів прикладних програм типу SPICE	47
	Моделі пасивних компонентів електронних пристроїв	47
2	Основи роботи з програмою DipTrace	53
2.1.	Створення простої схеми та друкованої плати	53
2.2.	Інтерфейс Схемотехніки	55

2.2.1.	Вікно програми	55
2.3.	Встановлення розміру сторінки та розміщення рамки	57
2.4.	Проектування схемотехніки	60
	Встановлення компонентів	60
	Копіювання Компонентів	63
	Налаштування маркування компоненту	65
	Створення зв'язків	68
2.5.	Перетворення на плату	76
2.6.	Розробка друкованої плати	77
2.6.1.	Інтерфейс Редактора Плат	77
2.6.2.	Підготовка до трасування	79
	Написи компонентів (маркування)	80
	Ручне позиціонування корпусів	81
	Як змінювати структуру мереж проекту	82
	Межі плати	81
	Початок координат	86
	Виріз у платі	87
	Бар'єр трасування	89
2.6.3.	Автоматичне трасування	89
	Автоматична перевірка DRC	92
2.6.4.	Робота із шарами	92
	Сигнальні шари	94
	Порядок шарів	95
2.6.5.	Міжшарові переходи	96
	Динамічні міжшарові переходи	98
	Статичний міжшаровий перехід	99
2.6.6.	Класи мереж	100
	Автотрасування з класами мереж	102
	Ручне трасування з класами мереж	103

2.6.7.	Ручне трасування	104
	Режими редагування	105
	Вузли доріжок	106
	Перевірка реального часу Real-time DRC	107
	Трасування у різних шарах	108
	Панель ручного трасування	109
2.6.8.	Вимірювання довжини трас	111
2.6.9.	Вибір об'єктів за типом/шаром	112
2.6.10.	Розміщення тексту та графічних елементів	115
2.6.11.	Створення заливки	117
	Підключення мідних заливок	120
	Пріоритет заливок	121
	Тип термобар'єру	123
2.6.12.	Блокування об'єктів	125
2.6.13.	Перевірка проекту	127
	Перевірка помилок трасування (DRC)	127
	Перевірка цілісності мереж	130
	Порівняння зі схемою	131
2.6.14.	Інформація про плату	131
2.6.15.	Панелізація	132
	Панелізація проекту	132
	Панелізація різних плат	134
2.6.16.	Друк	135
2.7.	Експорт файлів для виробництва	137
2.7.1.	DXF	137
	Файли для фрезерування (DXF та G-Code)	138
2.7.2.	Gerber RS-274X	139
	Шари в Gerber	141
	Інші налаштування	143

	Розмітка отворів	143
2.7.3.	Gerber X2	145
2.7.4.	Excellon N/C Drill	146
2.7.5.	ODB++	147
3	Створення бібліотек	148
3.1.	Розробка бібліотеки корпусів	149
3.1.1.	Налаштування редактора корпусів	149
3.1.2.	Створити/зберегти бібліотеку	150
3.1.3.	Створення корпусу резистора	152
	Встановлення контактних майданчиків	153
	Шари	154
	Параметри виводів	155
	Полігональні виводи (багатокутники)	157
3.1.4.	Підключення 3D моделі	159
	Коригування положення 3D моделі корпусу	160
3.1.5.	Створення корпусу BGA-144/13x13	161
3.1.6.	Створення реального компонента. Корпус SOIC-28	165
3.2.	Створення бібліотеки компонентів	168
3.2.1.	Налаштування редактора компонентів	168
	Типи секцій	169
3.2.2.	Створення компонента резистора	170
	Створення бібліотеки компонентів	170
3.2.3.	Створення конденсатора (компонент)	175
3.2.4.	Створення символів VCC та GND	180
	VCC	180
	GND	182
3.2.5.	Створення мультисекційного компонента	182
	Створення символу	183
	Створення секцій	183

Менеджер виводів	187
3.2.6. Використання полів користувача	189
Література	191

Вступ

Метою курсу є вивчення проектування електричних схем, друкованих плат, бібліотеки корпусів и компонентів, а також різноманітні додаткові можливості пакета програм по проектуванню друкованих плат DipTrace. Велика увага приділена розгляду і аналізу побудови електричних схем та проектуванню друкованих плат.

У конспекті лекцій на прикладі простого проекту ми спробуємо пройти через усі основні етапи створення електронної друкованої плати, навчимося створювати принципову схему, потім друковану плату та експортувати файли для виробника. Крім того, познайомимося з багатьма корисними функціями DipTrace і розберемо базові приклади їх реалізації на практиці. Коли у студентів буде сформовано уявлення про можливості програми, тоді вони зможуть самі вибирати найбільш підходящий шлях у кожному конкретному випадку, а поки що необхідно чітко дотримуватися викладених покрокових інструкцій для того, щоб зрозуміти, як працює та чи інша функція.

Науково-технічний прогрес в області радіоелектротехніки насамперед пов'язаний з розробкою і проектуванням електричних схем, друкованих плат, бібліотеки корпусів и компонентів. Надійність РЕА, швидкодія, економічність, робочі температури, стійкість до ударів, випромінюванням визначаються не стільки схемою і конструкцією РЕА, скільки спроектованими електричними схемами, друкованими платами, бібліотеками корпусів и компонентів.

1. Загальні положення і поняття

Спочатку розберемося, що є предметом вивчення нашого лекційного курсу, якщо з його назви: “Комп’ютерна графіка в електроніці”.

У курсі можна виділити такі ключові слова:

- радіоелектронні пристрої (РЕП);
- комп’ютерна графіка в електроніці.

По-перше, що ми розумітимемо під РЕП? Загалом існує досить загальне поняття – радіоелектронний засіб (РЕЗ).

За ознакою функціональної складності розрізняють кілька рівнів радіоелектронного засобу РЕЗ:

- радіоелектронний вузол;
- радіоелектронний пристрій;
- радіоелектронний комплекс;
- радіоелектронна система.

Найменшою складністю вирізняються функціональні радіоелектронні вузли. Приклади: генератори, модулятори, підсилювачі, детектори, тригери, логічні елементи І-НЕ, АБО-НЕ та ін. напівпровідникові структури тощо.

Більш складними є радіоелектронні пристрої, які являють собою функціонально закінчену збірну одиницю, виконану на конструкції, що несе, і реалізує функції передачі, прийому і перетворення інформації. Приклади: тракт НВЧ або ВЧ приймача, тракт НЧ, реєстри, лічильники, дешифратори, АЦП, ЦАП, суматори, мікропроцесори, мікроконтролери та ін.

І, нарешті, найскладніші за функціями, що виконуються – це радіоелектронні комплекси та системи. Приклади: радіовимірювальні комплекси, радіокеровані системи, системи наведення, системи стеження та ін.

По-друге, у чому полягає сутність процесу проектування РЕП (поки що не автоматизованого)? Вона полягає у розробці конструкцій та технологічних

процесів виробництва нових РЕП, які мають з мінімальними витратами та максимальною ефективністю виконувати запропоновані ним функції у необхідних умовах.

Слід наголосити, що в результаті проектування створюються нові, більш досконалі РЕП, які відрізняються від своїх аналогів та прототипів використанням нових фізичних явищ та принципів функціонування, більш досконалої елементної (компонентної) бази, покращених конструкцій, прогресивних технологій тощо. Для цього недостатньо створити більш досконалу апаратуру, її ще необхідно оптимізувати за широким спектром показників: функціональних, конструкторсько-технологічних, експлуатаційних та економічних. Очевидно, що при вирішенні цього завдання розробники стикаються з необхідністю проаналізувати велику кількість варіантів, причому в міру зростання складності апаратури, що розробляється, кількість таких варіантів катастрофічно зростає. Ця ситуація отримала назву «тиранії альтернатив» та призводила до затягування створення нових РЕЗ на довгі роки.

Все це дало потужний поштовх для інтенсивного розвитку нової технології проектування РЕЗ із застосуванням математичних методів та засобів обчислювальної техніки, комплексної автоматизації проектних робіт, що дозволило замінити макетування та натурне моделювання математичним моделюванням з використанням методів багатоваріантного проектування та оптимізації. Основним засобом автоматизації проектування є персональні ЕОМ (комп'ютери) і керовані ними технічні засоби.

Тепер дамо визначення терміну «автоматизоване проектування» у сенсі цього слова:

це науково-технічний напрям, який полягає у застосуванні поєднання досягнень обчислювальної математики, теорії проектування та засобів обчислювальної техніки до завдань проектування реальних об'єктів тієї чи іншої фізичної природи.

Підкреслимо, що в нашому курсі йдеться про автоматизоване проектування, тобто комп'ютерне проектування за участю людини. Автоматичне проектування (без участі людини) у повному обсязі від формулювання технічного завдання (ТЗ) до отримання проектної технічної документації на сучасному рівні розвитку у загальному випадку неможливе, хіба що у випадку дуже простих проектів, оскільки це творчий процес, доступний лише людині.

Тому зараз прийнято говорити про проектування як системну креативну (тобто творчу) людську діяльність. Ця діяльність, результат якої завжди залежить від особистості, яка виконує цей проект, від її інтелекту, професіоналізму, досвіду та, нарешті, удачі!

Ось кілька прикладів реальних об'єктів проектування в галузі енергетики, радіотехніки та електроніки:

- проектування високовольтних електричних мереж, теплових та атомних електростанцій;
- проектування радіотехнічних систем та пристроїв, у тому числі систем дистанційного екологічного та енергетичного моніторингу, складних електронних схем;
- трасування друкованих плат та ін.

Особливо інтенсивний розвиток автоматизоване проектування отримало в радіоелектроніці. Це обумовлене наступними основними причинами:

По-перше, необхідністю розробки складних ІМС із високим ступенем інтеграції – ВІС (великих інтегральних схем) та НВІС (надвеликих ІМС), коли кількість елементів (компонентів) досягає кількох мільйонів на одному кристалі. Наприклад, на початку 2008 року компанія INTEL анонсувала надмініатюрний процесор "Atom". Ядро цієї НВІС площею 25 мм² вміщує 47 мільйонів транзисторів, при цьому тактова частота становить приблизно 2 ГГц.

По-друге, високою економічною ефективністю методів автоматизованого проектування ІМС, оскільки їх вартість проектування становить значну частку загальних витрат за виробництво.

В даний час в теорії АП стосовно радіоелектроніки оформилося п'ять функціональних рівнів проектування, що утворюють наступну ієрархію:

- Перший рівень – рівень автоматизованого структурного проектування (АСтП);
- другий рівень – рівень автоматизованого функціонально-логічного проектування (АФОП);
- третій рівень – рівень автоматизованого схемотехнічного проектування (АСхП);
- четвертий рівень – рівень автоматизованого компонентного проектування (АКП);
- п'ятий рівень – рівень автоматизованого конструкторсько-технологічного проектування (АКТП).

Ці рівні розрізняються насамперед сутністю розв'язуваних завдань і різницею математичних апаратів, що впливають звідси. Так лише на рівні АСтП займаються переважно системотехнічним проектуванням; наприклад, розробкою принципів побудови радіовимірювальних та радіокерованих систем, а також систем та мереж телекомунікацій, при цьому широко застосовуються теорія ігор, теорія масового обслуговування, математичний апарат чисельних методів, статистичне моделювання.

В АФЛП займаються, наприклад, розробкою на функціонально-логічному рівні радіопередаючих та радіоприймальних пристроїв, а також цифрових автоматів різної функціональної складності, при цьому широко використовуються спектральний аналіз, теорія цифрових автоматів, логічна математика та чисельні методи моделювання та перетворення сигналів.

У АСхП розробляють складні електронні пристрої та вузли, навіщо широко використовують теорію електричних кіл із зосередженими

параметрами поруч із чисельними методами розв'язання звичайних диференціальних рівнянь.

В АКП розробляються нові пасивні та активні компоненти, у тому числі пристрої на розподілених структурах та з використанням нових фізичних принципів, наприклад, пристрої на ПАР, на приладах із зарядовим зв'язком та ін. Для цього широко застосовуються методи математичної фізики та фізики твердого тіла, а також чисельні методи розв'язання рівнянь у приватних похідних.

Зрештою, в АКТП займаються конструкторсько-технологічним проектуванням; тут використовуються математичні апарати теорії прийняття рішень, спрямованих на графи, а також багатокритеріальні підходи до конструювання.

Надалі в нашому курсі будуть викладатися в основному питання, пов'язані з третім функціональним рівнем, тобто АСхП, і головним чином з комп'ютерним моделюванням електричних схем.

1.1. Системи автоматизованого проектування (САПР) в області радіоелектроніки

Слід наголосити, що процес автоматизації проектування пройшов кілька етапів, перш ніж від вирішення приватних завдань проектування розробники РЕМ отримали можливість перейти до такого досконалого інструменту для виконання системного проектування як системи автоматизованого проектування (САПР).

Основні принципові відмінності САПР від методів автоматизації, що вирішують лише приватні завдання:

- 1) Можливість комплексного розв'язання загального завдання проектування, наприклад, комп'ютерне моделювання складної електронної схеми і далі - вирішення задачі розміщення компонентів та трасування друкованої монтажної плати;

2) Реалізація інтерактивного режиму проектування, у якому здійснюється безперервний процес діалогу “людина – машина (комп'ютер)”;

3) Можливість імітаційного моделювання радіоелектронних систем та комплексів в умовах роботи, близьких до реальних;

4) Значне ускладнення програмного та інформаційного забезпечення проектування, а також значне ускладнення технічних засобів систем автоматизованого проектування (САПР).

Сучасні САПР є складним комплексом математичних, програмних, технічних та інших засобів. Тому у складі САПР прийнято виділяти такі основні види забезпечення їх функціонування (всього 7): математичне, лінгвістичне (мовні засоби), програмне, інформаційне, технічне, організаційне та методичне.

Дамо коротку характеристику кожного з перерахованих видів забезпечення, маючи на увазі радіотехнічні програми.

Математичне забезпечення включає в себе теорію, методи та алгоритми для організації обчислень у САПР. Наприклад, можна виділити такі два типи алгоритмів:

1) алгоритми вирішення загальних завдань обчислювальної математики, а саме: розв'язання систем лінійних рівнянь алгебри, рішення звичайних диференціальних рівнянь і рівнянь у приватних похідних і т.п.

2) алгоритми вирішення статистичних завдань: обчислення статистичних характеристик випадкового процесу, побудова гістограм, апроксимація гістограм теоретичним законом тощо.

Лінгвістичне забезпечення включає мовні засоби. Мови, що використовуються в САПР, можна розбити на дві групи: мови програмування та мови проектування (див. рис.1).

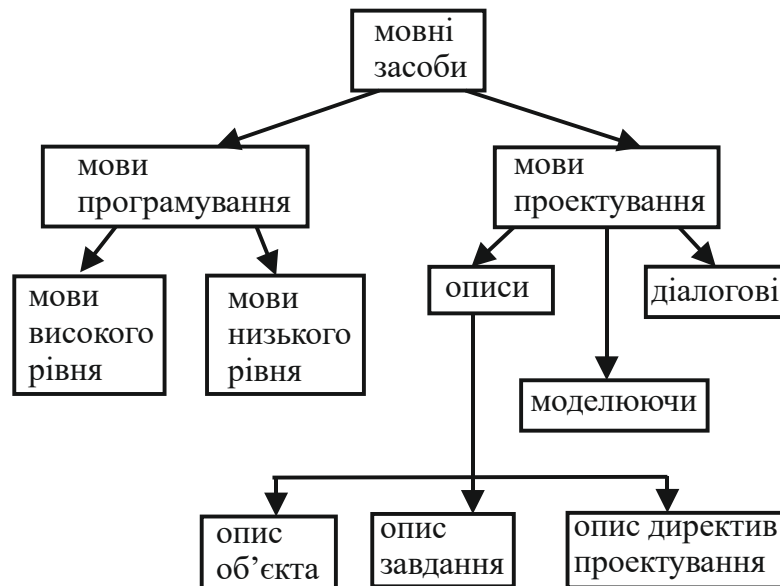


Рис. 1. Мови, що використовуються в САПР

Спочатку щодо мов програмування. Вони призначені для написання текстів програм. До них належать мови високого рівня (Фортран, Паскаль, С++ та ін.) та машинно-орієнтовані мови – асемблери (або мови низького рівня). Останні дозволяють створювати найефективніші програми з погляду обчислювальних витрат (необхідних обсягів пам'яті та часу рахунку). Їх суттєвий недолік: програміст повинен дійти рівня машинних кодів. З мовами типу асемблер вас познайомили щодо мікропроцесорів, мікроконтролерів і сигнальних процесорів.

Мови проектування (або вхідні мови) можна розділити на три групи: мови опису, моделюючі та діалогові.

Мова опису, своєю чергою, складається зазвичай із трьох частин: опис об'єкта, опис завдання й опис директив проектування. Наприклад, опис об'єкта типу транзистора включає тип транзистора, тип його моделі у програмі (тобто як той самий транзистор можна моделювати різними схемами заміщення), параметри цієї моделі, і навіть топологічні зв'язки транзистора, тобто номери вузлів його підключення, записані у певній

послідовності (наприклад, спочатку номер вузла бази, потім вузла колектора, потім – емітера).

У мову опису завдання входять опис розрахункових вихідних параметрів, опис умов аналізу параметрів (наприклад, тип внутрішніх параметрів, що варіюються, крок і діапазон варіювання тощо), опис алгоритмів розрахунку, аналізу та оптимізації, опис завдання на виведення результатів проектування (наприклад, що і у якому вигляді виводити: таблиця, графік, креслення, параметри вихідного документа: крок друку, масштаб, діапазон та інших.).

Мова опису директив проектування. У найпростішому випадку вона складається з переліку режимів, у яких має послідовно працювати САПР. Наприклад, перелік таких директив під час схемотехнічного проектування: «Статика», «Частотний аналіз», «Тимчасовий аналіз» тощо.

Мови моделювання описують як структуру і параметри об'єкта проектування, а й алгоритм його функціонування, тобто зв'язки між сусідніми об'єктами у складній системі. Наприклад, процес передачі та перетворення сигналу від одного блоку до іншого (в радіоприймачі: від змішувача (ЗМ) до підсилювача проміжної частоти (ППЧ)). Як правило, мови моделювання застосовуються лише на першому та другому функціональних рівнях проектування: структурному та функціонально-логічному. Нагадаю, що ми з вами детальніше обговорюватимемо питання, пов'язані з третім функціональним рівнем проектування – рівнем автоматизованого схемотехнічного проектування (АСхП).

Зрештою, мови діалогу призначені для організації ефективної взаємодії користувача та САПР у процесі проектування. Наведемо типовий фрагмент такого діалогу:

ПЕОМ: Введіть інформацію про схему.

Користувач: (за допомогою клавіатури та дисплея вводить опис схеми).

ПЕОМ: Неправильно введено інформацію про транзистор Т5.

Користувач: (коригування інформації про транзистор Т5).

ПЕОМ: Інформація про схему введена.

Вибрати режим: Статика

Динаміка

Частотний аналіз

Оптимізація

печатка

Користувач: (вибирає, наприклад, режим "Статика").

ПЕОМ: Вкажіть параметри режиму:

алгоритм...

точність...

максимальна кількість ітерацій

початкові умови...

Користувач: (вказує параметри, після чого дає директиву на виконання розрахунку: "Дані введені, виконати режим") і так далі.

Інформаційне забезпечення САПР складається з двох частин, які включають:

- відомості про типові елементи РЕА та їх параметри, типові матеріали, типові фрагменти електронних схем;
- способи, алгоритми та програми, які призначені для впорядкованого запису, зберігання, переміщення даних та їх вилучення.

Перша частина зрозуміла та особливого обговорення не вимагає.

З другою частиною інформаційного забезпечення пов'язані три важливі поняття: база даних (БД), система управління базою даних (СУБД) та банк даних.

База даних – це сукупність масивів даних, організованих таким чином, щоб забезпечити швидкий та зручний пошук будь-яких даних на запит або їх переміщення та кодування. Наприклад, телефонний довідник з адресами абонентів у м. Москва.

Система управління базою даних (СУБД) – це сукупність мовних засобів і програм, призначених для пошуку потрібних даних, їх переміщення незалежно від прикладних програм різних користувачів.

У сукупності БД та СУБД утворюють банк даних.

Програмне забезпечення. В програмне забезпечення входять тексти програм і документи, необхідні для їх експлуатації: інструкції користувача, текстові програми для діагностики помилок і збоїв та інших. Сюди входять операційні системи, і навіть предметні програми. Приклади предметних програм САПР для схемотехнічного проектування: програми складання математичних моделей радіотехнічних пристроїв (РТП), програми розрахунку перехідних процесів та частотних характеристик, моделювання логічних та цифрових схем тощо.

Оскільки програмне забезпечення займає одне з центральних місць, часто систему автоматизованого проектування (САПР) називають ще пакетом прикладних програм.

Нарешті, дамо коротку характеристику останнім трьом видам забезпечення: технічному, організаційному та методичному, які мають очевидний зміст.

Технічне забезпечення. До складу технічного забезпечення САПР входять комп'ютери (у тому числі спеціалізовані – робочі станції та сервери) та периферійне допоміжне обладнання, яке забезпечує зручність взаємодії проектувальника та САПР. До периферійних засобів відносяться: пристрої графічного введення, сканери, принтери, плотери (графобудівники).

Організаційне забезпечення САПР - це сукупність правил, інструкцій та документів, що регламентують склад груп обслуговування САПР, їх обов'язки та взаємини.

Методичне забезпечення САПР – це описи програм, баз даних, мов проектування та різні інструкції щодо використання всіх видів забезпечення САПР.

Підкреслимо, що при подальшому викладі матеріалу ми обмежимося розглядом питань, пов'язаних із застосуванням систем автоматизованого схемотехнічного проектування, причому головним чином для моделювання аналогових, аналого-дискретних та аналого-цифрових пристроїв.

1.2. Загальні відомості про об'єкти та завдання схемотехнічного проектування (моделювання)

Спочатку визначимо деякі загальні поняття, які стосуються проектування будь-яких пристроїв незалежно від своєї фізичної природи.

Введемо поняття параметрів елементів (або компонентів), параметрів пристрою та параметрів навколишнього середовища.

Параметри елементів (або компонентів), з яких складається проєктований пристрій, називатимемо внутрішніми; параметри пристрою, якими оцінюється його якість – вихідними; параметри діючого пристрою зовнішніх інформаційних сигналів – вхідними; параметри довкілля – зовнішніми.

Приклад (стосовно проектування транзисторного підсилювача): параметри самих транзисторів та пасивних елементів, що входять до складу цього підсилювача – внутрішні параметри; споживана потужність, коефіцієнт гармонійних спотворень – чисельні вихідні параметри; АЧХ та ФЧХ – функціональні вихідні параметри (вихідні характеристики); частота та амплітуда вхідного сигналу – чисельні вхідні параметри; спектральна характеристика вхідного сигналу – функціональний вхідний параметр; температура довкілля – зовнішній параметр.

1.3. Основні завдання схемотехнічного проектування

Кожен із п'яти функціональних рівнів проектування: АСтП, АФЛП, АСхП, АКП та АКТП – включає вирішення наступних завдань: розрахунку, аналізу, оптимізації, синтезу та випуску технічної документації. Ці завдання

називають проектними процедурами. Розглянемо ці завдання з прикладу схемотехнічного проектування, які мають тут такий зміст.

Розрахунок – визначення вихідних властивостей і параметрів пристроїв при постійних значеннях його внутрішніх властивостей і незмінної структури. Приклад: розрахунок широкосмугового підсилювача, включаючи розрахунок режиму постійного струму, смугу пропускання, площа посилення і т.п.

Аналіз – визначення зміни вихідних параметрів та характеристик пристрою залежно від зміни його внутрішніх та вхідних параметрів. У разі застосування ПЕОМ завдання розрахунку часто називається одноваріантним аналізом, а завдання аналізу – багатоваріантним аналізом. Наприклад, варіація (stepping) номіналів пасивних компонентів оцінює їх вплив на функціональні вихідні характеристики (АЧХ та ФЧХ) підсилювача.

Оптимізація – визначення найкращих у тому чи іншому сенсі значень вихідних параметрів та характеристик шляхом цілеспрямованої зміни внутрішніх параметрів пристрою (при параметричній оптимізації) або структури пристрою (при структурній оптимізації). Внутрішні параметри, за рахунок зміни яких виконується параметрична оптимізація, називаються змінними. Спосіб зміни параметрів, що варіюються, визначається конкретним алгоритмом оптимізації. Для варіювання слід вибрати внутрішні параметри, значення яких легко змінювати і контролювати в процесі виробництва. У цьому велике значення має досвід розробника чи використовується спеціальний математичний апарат теорії чутливості.

Підкреслимо, що найскладнішими процедурами є завдання параметричного та структурного синтезу. У загальному випадку синтезом називається генерація вихідного варіанту пристрою, включаючи його структуру (структурний синтез) і значення внутрішніх параметрів (параметричний синтез).

Зазначена генерація може виконуватися різними способами: вибором з вже відомих пристроїв, побудовою на основі певних теоретичних співвідношень, шляхом винахідництва, евристичного рішення та ін.

Отриманий в результаті синтезу пристрій необов'язково має бути найкращим, але обов'язково працездатним, тобто мати практичний зміст. Якщо ж отриманий пристрій – найкращий у якому-ні будь сенсі, такий синтез називається оптимальним. Однак процедури оптимального синтезу розроблені лише для вузького класу пристроїв, переважно лінійного типу, наприклад, лінійних схем із заданою структурою або лінійних систем автоматичного управління. У більшості випадків пристрій, отриманий в результаті синтезу, навіть оптимального, вимагає доопрацювання, щоб задовольнити багато чисельних вимог, врахувати які на стадії синтезу неможливо через їх різноманіття та складність.

Підкреслимо, що завдання синтезу - це дуже складне завдання і в більшості випадків не може бути вирішено автоматично без участі та допомоги спеціаліста-розробника. Зрештою, будь-який складний алгоритм і відповідна йому програма розробляються людиною..

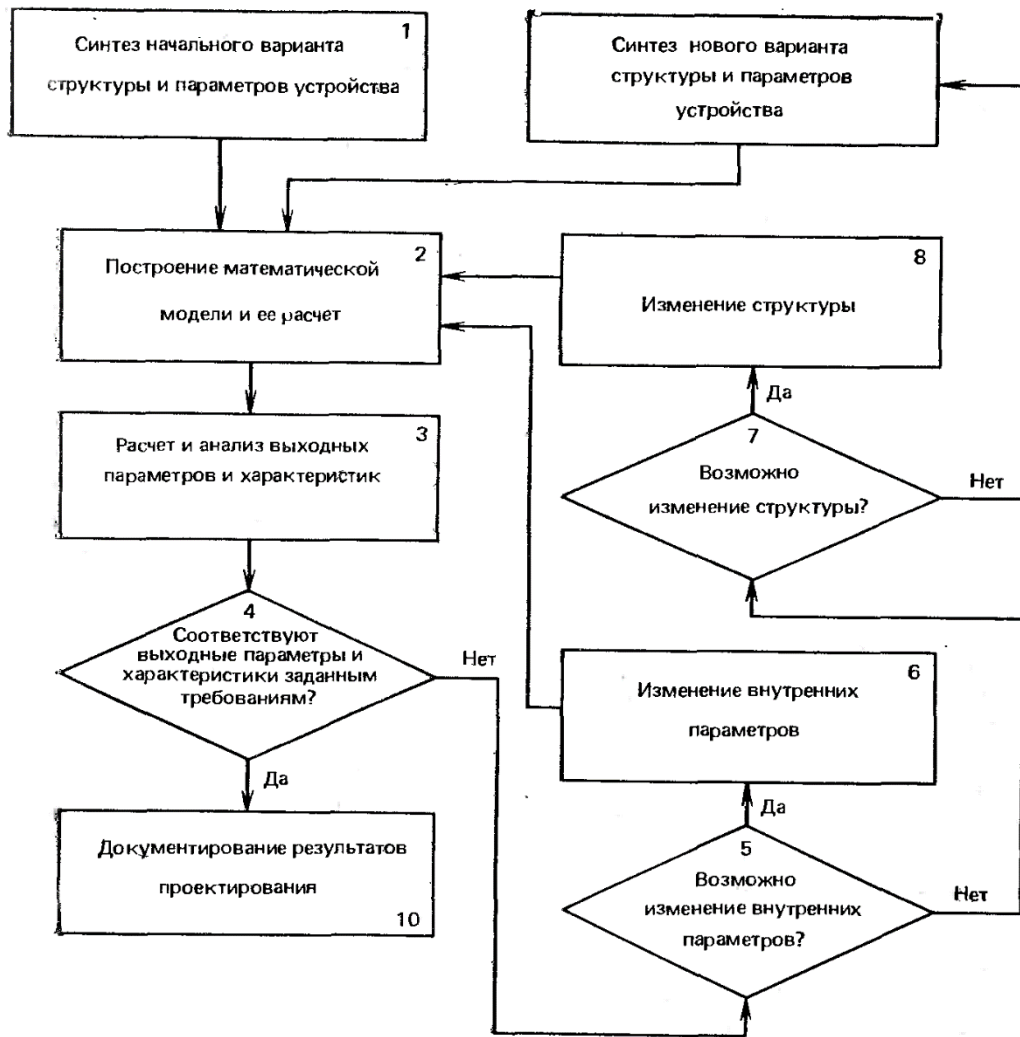


Рис. 2. Типова схема окремого етапу проектування.

Синтез начального варианта структуры и параметров устройств, Синтез нового варианта структуры и параметров устройств, построение математической модели и ее расчет, изменение структуры, расчет и анализ выходных параметров и характеристик, возможно изменение структуры, соответствуют выходные параметры и характеристики заданным требованиям, изменение внутренних параметров, возможно изменение внутренних параметров, документирование результатов проектирования

Синтез початкового варианту структури та параметрів пристроїв, Синтез нового варіанта структури та параметрів пристроїв, побудова математичної моделі та її розрахунок, зміна структури, розрахунок та аналіз вихідних параметрів та характеристик, можлива зміна структури, відповідають вихідні

параметри та характеристики заданим вимогам, зміна внутрішніх параметрів, можлива зміна внутрішніх параметрів, документування результатів проектування

Ланцюжок блоків 2-3-4-5-6-2 відповідає циклу параметричної оптимізації, а ланцюжок блоків 2-3-4-5-7-8 циклу структурної оптимізації, наприклад введенням додаткових позитивних або негативних зворотних зв'язків.

Приклад 2. При проектуванні низькочастотного підсилювача визначення його робочої точки по постійному струму, коефіцієнта нелінійних спотворень, амплітудно-частотної характеристики споживаної потужності входять в завдання розрахунку; визначення температурної стабільності робочої точки на постійному струмі, вплив розкиду внутрішніх параметрів на вихідні параметри - завдання аналізу; визначення числа каскадів та способів їх включення (із загальним емітером, із загальним колектором) – завдання структурного синтезу; вибір параметрів елементів кожного каскаду (резисторів, транзисторів) - завдання параметричного синтезу; розширення смуги пропускання шляхом зниження коефіцієнтів посилення каскадів-в задачу параметричної оптимізації, а шляхом введення додаткових негативних зворотних зв'язків-в задачу структурної оптимізації.

Вирішення завдання розробки та випуску технічної документації необхідне виготовлення та подальшої експлуатації конкретного радіоелектронного пристрою. На цьому етапі виконується компоновання та розміщення елементів та вузлів, розведення друкованих та провідних з'єднань, а також вирішуються завдання тепловідведення, електричної міцності, захисту від зовнішніх впливів тощо. Потім проводиться технологічна підготовка виробництва, що передбачає розробку технологічних процесів виготовлення окремих блоків та всієї системи загалом.

Способи проектування

Під час проектування РЕА використовують різні методи. Основними з них є:

Неавтоматизований розрахунок за заздалегідь отриманими формулами;
Фізичне моделювання, тобто. дослідження об'єктів однієї фізичної природи за допомогою об'єктів, що мають іншу фізичну природу, але однакове з першим математичним описом; основу фізичного моделювання лежить зазвичай принцип електрофізичних аналогій;

Натурне макетування;

1.4. Математичне моделювання на ЕОМ.

Недоліки неавтоматизованого розрахунку - низька точність, обмежені функціональні можливості і так далі – загальновідомі та не потребують обговорення.

Фізичне моделювання як спосіб проектування РЕА використовується досить рідко, частіше його застосовують вивчення супутніх роботі схем теплових та інших процесів, математичне моделювання яких дуже складно і трудомістко.

Натурне макетування – один із найстаріших і найпоширеніших способів проектування РЕА. Його головна перевага - максимальна достовірність результатів, обумовлена роботою з реальними схемами, а не їх наближеними моделями. Крім того, макетування приваблює наочністю одержуваних результатів. У той же час макетування має низку великих недоліків. Основна з них – висока вартість створення макета, обмежені можливості макетування.

Під математичним моделюванням на ЕОМ зазвичай розуміється весь комплекс питань, пов'язаних із складанням математичної моделі пристрою та її використанням на ЕОМ у процедурах розрахунку, аналізу, оптимізації та

синтезу. Порівняно з макетуванням математичне моделювання на ЕОМ має такі переваги.

У задачах розрахунку за допомогою моделі можна знайти вихідні параметри схем або їх характеристики, які не можна безпосередньо виміряти на макеті через відсутність точок вимірювання, що особливо характерно для інтегральних схем.

У задачах аналізу моделювання дозволяє проаналізувати вихідні параметри та характеристики схеми у граничних та пограничних режимах, фізична реалізація яких небезпечна для макета. Крім того, моделювання дозволяє виконати, наприклад, розрахунок серійнопридатності та аналіз різних статистичних характеристик схеми без її запуску в серію, аналіз нереалізованих на макеті залежностей вихідних параметрів схеми від внутрішніх, наприклад залежностей вихідних параметрів схеми від внутрішніх параметрів транзистора.

У задачах оптимізації можливості макета обмежені невеликою кількістю регульовальних елементів, тоді як у моделі можна варіювати будь-які керовані параметри, домагаючись максимального поліпшення вихідних параметрів.

Роль моделювання в задачах синтезу полягає в перевірці правильності функціонування синтезованих схем шляхом розрахунку їх математичних моделей. Очевидно, це можна зробити набагато швидше, ніж макетування кожної синтезованої схеми.

Разом про те слід зазначити, що не можна повністю замінити макетування моделюванням. Перелічені переваги моделювання мають місце лише в тому випадку, якщо проектувальник має в своєму розпорядженні добре відпрацьований комплекс програм, що містить перевірені, досить точні моделі елементів РЕА, що гарантують достовірність результатів проектування. Якщо ж необхідно спроектувати нову оригінальну схему, для розрахунку якої наявний комплекс програм з якихось причин непридатний,

то макетування цієї схеми може виявитися прийнятнішим, ніж розробка нової програми.

Крім того, навіть проектуючи схему шляхом її моделювання, розробники схем часто перевіряють остаточні результати проектування на дослідному макеті, однак, зрозуміло, такий спосіб проектування не можна назвати макетуванням, хоча врешті-решт доводиться мати справу з макетом.

Зазначимо на закінчення, що, як і макетування, певну роль у проектуванні РЕА продовжують грати і традиційні неавтоматизовані методи. Адже моделювати можна лише те, що попередньо синтезовано (див. блок 1.1. рисунок 1.1.). Досить часто неавтоматизований синтез початкового варіанта РЕА виявляється швидшим та простішим ніж автоматизований.

Таким чином, реальний процес автоматизованого проектування РЕА зазвичай складається із двох етапів:

Неавтоматизованого синтезу структури та ескізного, зазвичай теж неавтоматизованого, за спрощеними формулами розрахунку її параметрів з метою отримання працездатного варіанта РЕА, що відіграє роль початкового наближення; нині ведуться роботи з автоматизації цього етапу проектування;

Доведення отриманого варіанта до кондицій, що відповідають технічному завданню (ТЗ), за допомогою програм автоматизованого проектування.

1.5. Типи об'єктів схемотехнічного проектування

Як правило, всі РЕП, що проектуються на ПЕОМ, поділяють на три типи: аналогові, дискретні та цифрові.

До аналогових відносяться пристрої, в яких використовуються аналогові сигнали, або сигнали аналогічні, повністю подібні до його

фізичного процесу, що породжує. Ці сигнали є безперервними у часі. Приклади: сигнал гармонійної форми, пилкоподібної, трикутної та ін.

У дискретних пристроях використовують дискретні сигнали, які утворюються з аналогових шляхом дискретизації за часом.

До цифрових відносять пристрої, робочі сигнали яких закодовані у вигляді чисел, які зазвичай подаються в двійковому коді цифрами 0 і 1 (тригери, лічильники, регістри, мікропроцесори, мікроконтролери і тому подібне). Ці сигнали отримують з аналогових шляхом використання двох операцій: дискретизації (отримання вибірок, відліків) та квантування.

Нарешті, існують проміжні класи пристроїв: аналого-дискретні та аналого-цифрові.

В аналого-дискретних пристроях використовують дискретний спосіб зміни параметрів аналогових пристроїв без дискретизатора. Наприклад, електронні схеми на МОП - конденсаторах, що перемикаються.

До аналого-цифрових пристроїв відносяться різного типу перетворювачі: аналого-цифрові (аналог – код, АЦП), цифро-аналогові (код – аналог, ЦАП), спецобчислювачі, процесори з аналоговими пристроями введення та виведення та ін.

1.6. Основні етапи АСхП радіоелектронних пристроїв

Розглянемо у дещо спрощеному вигляді процес автоматизованого схемотехнічного проектування радіоелектронних пристроїв. Він складається з кількох етапів (див. рис.2).

На першому етапі (1) складний проєктований пристрій розбивається на функціонально закінчені блоки та виробляються приватні технічні завдання (ТЗ) на кожен окремий блок. ТЗ передбачає опис зовнішніх та внутрішніх параметрів: вхідних та вихідних сигналів, діапазону частот, споживаної потужності, умов експлуатації, граничних допусків на основні

характеристики тощо. На цьому етапі дуже багато залежить від особистості розробника-конструктора: від його знань, інтуїції, інтелекту та кругозору.

На другому етапі (2) після формулювання ТЗ на блок, що розробляється складається його принципова електрична схема початкового (нульового) наближення. Це зазвичай робиться розробником також на підставі власного досвіду та досвіду попередніх розробок. Тут же вибираються компоненти схем, як-то: транзистори, діоди, ІМС, резистори, конденсатори, котушки індуктивності та ін, а також номінальні значення та допуски на параметри компонентів.

Далі на третьому етапі (3) вибирається система автоматизованого схемотехнічного проектування (моделювання), а в ній програма, яка найкраще підійде для аналізу даної електронної схеми та дозволить судити про відповідність ТЗ обраної схеми. Іноді у вибраному пакеті потрібна не одна, а група програм для всіх необхідних обчислень. Наприклад, аналіз по постійному струму, аналіз у часовій та частотній областях.

Потім принципова схема проектованого блоку готується щодо комп'ютерного аналізу та вводиться на згадку ПЕОМ текстовим чи графічним способом (етап 4).

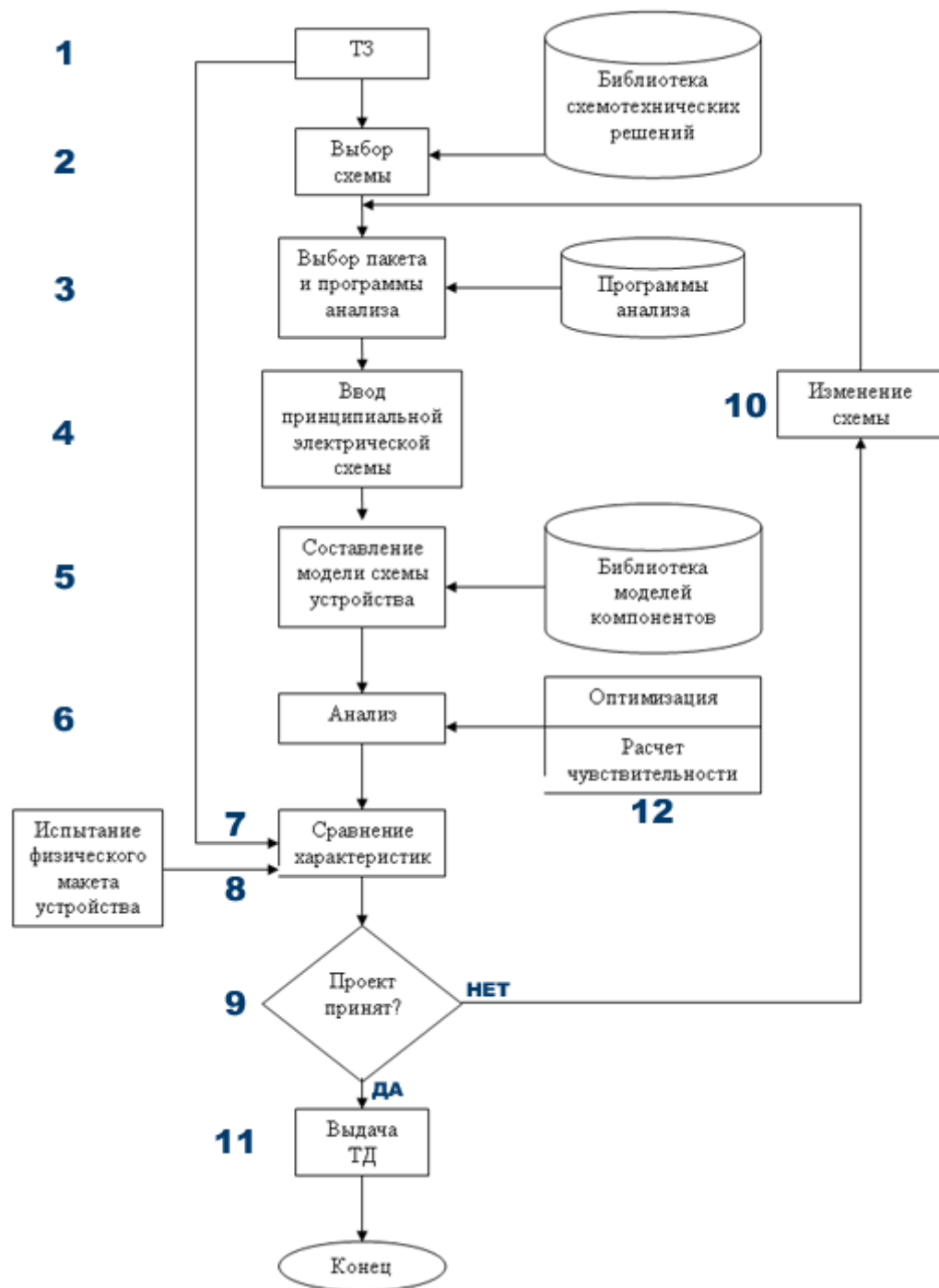


Рис. 3. Основні етапи автоматизованого проектування електронних схем

Вибір схеми, бібліотека схмотехнічних рішень, вибір пакета та програми аналізу, введення принципової електричної схеми, складання моделі схеми пристрою, бібліотека моделей компонентів, аналіз, оптимізація, розрахунок чутливості, порівняння характеристик,

випробування фізичного макета пристрою, порівняння характеристик, проект прийнятий, видача технічних даних

Далі виходячи з вбудованої бібліотеки моделей компонентів автоматично складається математична модель аналізованого устрою за введеною принциповою схемою (етап 5).

На етапі 6 проводиться аналіз математичної моделі електронної схеми в діалоговому режимі. Наприклад, у разі аналізу схеми аналогового пристрою передбачається виконання таких видів розрахунків:

- Розрахунок схеми по постійному струму;
- Розрахунок схеми в частотній області; наприклад, обчислення АЧХ та ФЧХ, спектральної щільності шуму;
- Розрахунок у тимчасовій області; наприклад, визначення перехідних та імпульсних характеристик, проведення спектрального аналізу.

Отримані в результаті аналізу характеристики схеми порівнюються з даними ТЗ та (або) з результатами випробувань макета (етапи 7 та 8).

На підставі цього порівняння приймається рішення про прийняття чи відхилення розглянутого варіанта проекту (етап 9). Таке рішення проводиться неформально, тому що в деяких випадках інженерне розуміння суті справи дозволяє знехтувати деякою розбіжністю результатів комп'ютерного аналізу з ТЗ. Після ухвалення проекту розробляється технічна документація для подальшого виготовлення розробленого пристрою та проведення випробувань (етап 11).

Якщо характеристики незадовільні, то принципова схема та (або) моделі компонентів мають бути змінені (етап 10).

Цикл аналізу потім повторюється знову. Саме тут, під час проведення багатоваріантних розрахунків, комп'ютерні програми аналізу електронних схем особливо корисні: вони дозволяють автоматично протягом короткого часу провести аналіз багатьох варіантів. Модифікація схеми може здійснюватися також з допомогою спеціальних програм оптимізації на ПЕОМ (етап 12), у яких широко застосовуються методи оптимізації

проектних рішень, заснованих на розв'язанні задач математичного (лінійного та нелінійного) програмування. У цих завданнях проводиться пошук мінімуму чи максимуму певної цільової функції, яка залежить від багатьох змінних за наявності обмежень на ці змінні. При проектуванні РЕУ ця цільова функція відображає якість роботи, вартість апаратури та інші характеристики, що залежать від параметрів компонентів, оптимальні значення яких потрібно знайти в результаті виконання завдання. Обмеження формулюються у вигляді системи співвідношень, що звужують допустиму область зміни параметрів компонентів при вирішенні задачі оптимізації РЕУ.

Після закінчення оптимізації можна розрахувати чутливість схеми, оцінити вплив розкиду параметрів компонентів та отримати інші важливі характеристики. Таким чином, за такого процесу проектування вирішуються завдання, пов'язані з розрахунком, аналізом та оптимізацією схемних рішень.

Що ж до завдання синтезу, це дуже складне завдання, його можна жорстко алгоритмізувати лише для деяких окремих випадків, наприклад, існує методика класичного синтезу пасивних і активних аналогових і цифрових частотних фільтрів, класичного синтезу широкосмугових узгоджувальних пристроїв, синтезу цифрових автоматів. В інших випадках зазвичай завдання синтезу вирішується евристичним шляхом, ґрунтуючись на попередньому досвіді шляхом винахідництва.

Підкреслимо, що в процесі конструювання та розробки технології також може знадобитися корекція важливих схем, структури системи і навіть вихідних даних. Тому процес проектування не тільки багатоетапний, а й багаторазово коригований у його виконання, тобто процес має ітераційний характер.

Зазначимо, що автоматизоване проектування електронних схем за допомогою ПЕОМ має ряд переваг перед традиційним способом проектування "вручну" з подальшим доведенням на фізичному макеті. Розробник може використовувати можливості ПЕОМ у кількох областях. По-перше, за допомогою прикладних програм набагато легше спостерігати ефект

варіювання параметрів схеми, ніж за допомогою суто експериментальних досліджень. По-друге, можна аналізувати критичні режими роботи пристрою без фізичного руйнування його компонентів. По-третє, програми аналізу дозволяють оцінити роботу схеми за найгіршого поєднання параметрів, що важко і не завжди можливо здійснити експериментально. По-четверте, програми дозволяють провести такі вимірювання на моделі електронної схеми, які важко виконати експериментально в лабораторії. Особливо це твердження справедливе для ВІС та НВІС.

1.7. Математичні моделі компонентів і електронної схеми в цілому

Електронна схема складається з пасивних та активних компонентів, з'єднаних відповідно до її функціонального призначення. Спосіб з'єднання компонентів у схемі (або її структура) називається топологією.

Поняття математичної моделі компонента та схеми

У випадку, коли під математичною моделлю реального об'єкта розуміється будь-який математичний опис, що відбиває з необхідною точністю поведінку цього об'єкта в заданих (реальних) умовах.

Якщо об'єктом є компонент електронної схеми або ціла схема, то математичною моделлю називатимемо математичний опис зв'язків між струмами та напругами, що виникають у компоненті або схемі в статичному та динамічному (перехідному) режимах роботи.

Математична модель компонента (ММК) зазвичай визначає функціонування цього компонента на макрорівні, тобто, відбиваються ті властивості і закономірності компонента, які характеризують його взаємодію з іншими компонентами пристрою. Такі моделі оперують із зосередженими

параметрами і встановлюють зв'язок між напругами на компонентах $u(t)$ і струмами $i(t)$, що протікають через них.

ММК називають ще компонентними рівняннями [7]. Розрізняють математичні моделі ідеальних та реальних компонентів. Так, наприклад, для ідеальних пасивних компонентів такі рівняння мають вигляд:

для ідеального резистора

$$u(t) = R \cdot i(t) = \frac{i(t)}{G}, \quad (1)$$

для ідеального конденсатора

$$i(t) = C \frac{du(t)}{dt}, \quad (2),$$

для ідеальної котушки індуктивності

$$u(t) = L \frac{di(t)}{dt}, \quad (3)$$

де R і G – опір та провідність резистора відповідно,

C – ємність конденсатора, L – індуктивність котушки.

Математична модель ідеального активного електронного компонента - підсилювального приладу є схемою заміщення з джерелом струму, керованим напругою.

Математичні моделі реальних компонентів повинні враховувати їх нелінійні, частотні та шумові властивості, залежність параметрів від температури та інших факторів. Таким чином, математичними моделями реальних компонентів можуть бути рівняння ВАХ чи диференціальні рівняння перехідних процесів у компоненті. Наприклад, ММК реального транзистора відповідає схема заміщення, що складається з лінійних та нелінійних опорів, нелінійних ємностей та нелінійних керованих джерел.

Програми моделювання, що реалізуються в системах автоматизованого схемотехнічного проектування, містять вбудовані бібліотеки ММК різних рівнів складності для реальних типових компонентів.

Математична модель схеми (ММС) – це зазвичай системи рівнянь, що описують статичний чи динамічний режим, які формуються з урахуванням

компонентних рівнянь і характеризують спільне функціонування компонентів, залежить від конкретного способу їхнього з'єднання – топології схеми.

Об'єднання компонентних рівнянь у ММС здійснюється за допомогою так званих топологічних рівнянь, що складаються на основі законів Кірхгофа:

для будь-якого вузла схеми

$$\sum_{k=1}^n i_k(t) = 0 \quad (\text{перший закон Кірхгофа}); \quad (4)$$

для будь-якого контуру

$$\sum_{i=1}^m u_i(t) = 0 \quad (\text{Другий закон Кірхгофа}). \quad (5)$$

Рівняння законів Кірхгофа інваріантні для сигналів, які представлені функціями часу, зображеннями Лапласа або комплексними амплітудами.

Для формування ММС аналогового радіоелектронного пристрою використовується кілька методів, що відрізняються складом незалежних змінних та видом вихідних топологічних рівнянь. До них належать: табличний метод, метод вузлових потенціалів та метод змінних стану. Однак найбільш широке поширення в САПР набув метод вузлових потенціалів та його модифікації. Метод вузлових потенціалів дозволяє формувати ММС у вигляді системи рівнянь, що складаються на основі першого закону Кірхгофа для внутрішніх вузлів схеми.

Для формування ММС цифрових радіоелектронних пристроїв використовуються алгоритми фізичного та логічного моделювання. При фізичному моделюванні окремі елементи, з яких складається цифровий пристрій (ЦП), представляються їх електричними макромоделями, що складаються з базових елементів теорії кіл (плівкових резисторів і конденсаторів, резисторів дифузійних і конденсаторів, біполярного або МОП-транзистора, напівпровідникового діода і т.д.). З системи цих макромоделей формується повна електрична модель ЦП. Фізичні моделі ЦП дозволяють найповніше уявити роботу пристрою у часі з урахуванням

реальних затримок спрацьовування елементів. Ці моделі доцільно використовувати на заключному етапі проектування РЕП через великі витрати часу на моделювання, коли необхідно мати дані про пристрій, які не можна отримати за допомогою більш простих моделей.

При логічному моделюванні кожен елемент ЦП представляється спрощеною формальною моделлю у вигляді логічного співвідношення, отриманого за допомогою булевої алгебри та описує логіку його функціонування. При меншій деталізації роботи в порівнянні з фізичними логічні моделі мають у багато разів більшу швидкість і дозволяють вирішувати ряд важливих практичних завдань, зокрема, перевірити правильність логічного функціонування ЦП і порівнювати характеристики різних варіантів схемних рішень.

Зазначимо, що надалі основна увага буде приділена схемотехнічному моделюванню аналогових та аналого-цифрових пристроїв.

А тепер повернемося до обговорення питань, пов'язаних із математичними моделями реальних електронних компонентів, причому домовимося позначати їх також аббревіатурою ММК.

1.8. Питання класифікації математичних моделей реальних електронних компонентів та їх параметрів

Усі параметри цих моделей діляться на два класи: зовнішні та внутрішні.

Кожен із цих класів поділяється на два підкласи: первинні та вторинні параметри.

Первинні зовнішні параметри моделей – струми та напруги.

Вторинні зовнішні (їх іноді називають вихідними, або схемними) – параметри, що обчислюються на основі струмів і напруги, як-от: тривалість фронтів, імпульсів і затримок, потужності, що розсіюються і споживаються,

нерівномірності частотних характеристик, характерні значення струмів і напруг в окремих вузлах схеми .

Первинні внутрішні параметри – це електрофізичні та конструктивно-технологічні параметри; наприклад, розміри окремих областей компонентів, контактна різниця потенціалів, рухливість носіїв заряду, характеристики напівпровідникових матеріалів (ширина забороненої зони, температурні коефіцієнти та ін.)

Вторинні внутрішні (або електричні) – параметри, які можуть бути визначені на основі лише електричних вимірів на виводах компонента: вхідні та вихідні опори, коефіцієнти посилення тощо.

Слід підкреслити, що, виходячи із завдань конкретного етапу проектування, математична модель реального компонента повинна відповідати різним вимогам. Ці вимоги здебільшого суперечливі, і вдале компромісне задоволення цих вимог в одних завданнях може виявитися далеким від оптимальності в інших. Тому для одного і того ж компонента або пристрою часто доводиться мати не одну, а кілька моделей. У зв'язку з цим класифікація моделей РЕП повинна виконуватися за багатьма ознаками, щоб охопити всі можливі випадки.

З названих причин розглянемо класифікацію ММК (реальних компонентів) докладніше. Зазвичай їх розрізняють за шістьма ознаками:

- за характером відображуваних процесів,
- за способом представлення моделі,
- за характером залежностей, що використовуються для моделювання,
- по діапазону робочих сигналів,
- по діапазону робочих частот,
- за кількістю параметрів моделі.

За характером процесів, що відображаються, моделі діляться на статичні (на постійному струмі) і динамічні.

За способом представлення розрізняють моделі аналітичні, графічні та табличні.

Аналітичні моделі компонентів представляють зазвичай у вигляді рівнянь вольтамперних характеристик (ВАХ) або у формі диференціальних рівнянь перехідних процесів. Диференціальні рівняння характеризують інерційність компонента.

Графічні моделі можуть бути задано у вигляді графіків ВАХ, а також у вигляді схем заміщення (або еквівалентних схем). Часто виняток реактивних елементів із динамічної схеми заміщення перетворює її на статичну. Такі схеми заміщення називають сепарабельними. Приклад: еквівалентна схема Еберса-Молла для біполярних транзисторів.

Табличні моделі задаються як цифрові таблиці; їм зазвичай відповідають графіки експериментальних ВАХ, котрим важко знайти аналітичний вираз.

Практично будь-яку модель (аналітичну, графічну та табличну) можна оформити у вигляді комп'ютерної підпрограми, яка називається цифровою моделлю.

За характером залежностей, що використовуються для моделювання, моделі поділяються на два великі класи: лінійні та нелінійні.

За діапазоном робочих сигналів розрізняють моделі для малого (малосигнальні) та великого сигналів. Зазвичай малосигнальні моделі – це лінійні, оскільки вони виходять при розгляді малих відхилень струмів та напруги від стаціонарної робочої точки. Моделі для сигналу, як правило, є нелінійними.

За діапазоном робочих частот розрізняють низькочастотні та високочастотні моделі. В низькочастотних моделях інерційність компонентів на високих частотах не враховується. В високочастотних моделях інерційність врахована або диференціальним рівнянням, що описує перехідний процес всередині компонента, або запровадженням додаткових зовнішніх ємностей.

За кількістю параметрів моделі компонента виділяють:

- прості, що характеризуються малою кількістю параметрів, частина з яких можна безпосередньо вказати на схемі; наприклад, R4 10k, C10 5nF, хоча повна модель резистора або конденсатора може містити більший перелік параметрів (9...10);

- Складні, які характеризуються великою кількістю параметрів. Вони заносяться до бібліотеки моделей (наприклад, модель біполярного транзистора має 52 параметри).

Наголосимо, що основна вимога до моделі – адекватність (повна відповідність) реальному об'єкту. Воно визначає точність розрахунків, що проводяться.

Однак, вимога до точності моделі залежить від типу схеми. Наприклад, одні й ті самі активні компоненти працюють у схемах диференціального підсилювача і схемах логічних транзисторних ключів. Але їхні моделі мають бути різними. Наприклад, різними мають бути моделі біполярного транзистора, оскільки у диференціальному підсилювачі режим насичення принципово не використовується, а логічний транзисторний ключ використовує саме цей режим.

Тому доцільно для того самого компонента мати набір вбудованих моделей різної складності і точності. Наприклад, для біполярного транзистора відомі зарядова модель Гуммеля – Пуна, нелінійна високочастотна модель Еберса – Молла, лінійні моделі – Т-подібна та гібридна П-подібна.

Такий набір потрібен як окремих компонентів, але й типових функціональних вузлів. Наприклад, для операційного підсилювача, компаратора, АЦП, ЦАП, тригера, ЗП та ін. Спрощені моделі таких типових ФП отримали назву «макромоделей».

1.9. Сучасні програмні пакети, що використовуються у системах автоматизованого схемотехнічного проектування

Спочатку про вимоги щодо структури таких пакетів. Сучасний пакет прикладних програм має забезпечити проведення різноманітних розрахунків РЕП широкого призначення.

Аналіз нелінійних схем (необов'язково суто аналогових) включає рішення наступних завдань:

- розрахунок режиму постійного струму при відключених джерелах змінного сигналу,
- розрахунок перехідних процесів під дією джерел змінного періодичного сигналу,
- знаходження періодичних рішень при дії періодичного сигналу,
- відшукування періодичних рішень автоколивальних систем без зовнішніх сигналів,
- спектральний аналіз періодичних рішень,
- розрахунок чутливості, облік статистичного розкиду параметрів, аналіз найгіршого випадку,
- параметрична оптимізація.

Аналіз лінійних аналогових схем включає рішення наступних завдань:

- розрахунок комплексного коефіцієнта посилення (або передавальної функції), вхідних та вихідних опорів (провідностей),
- розрахунок рівня внутрішніх шумів,
- вивчення стійкості,
- побудова перехідного процесу при гармонійному та довільному зовнішньому впливі,
- розрахунок чутливості, облік статистичного розкиду параметрів, розгляд найгіршого поєднання параметрів,
- параметрична оптимізація.

Передбачається взаємодія програм аналізу лінійних та нелінійних схем: вихідна схема описується як нелінійна, потім розраховується режим постійного струму і в околиці знайденої робочої точки програмно

проводиться лінеаризація характеристик, після цього проводиться аналіз лінійного режиму.

Аналого-цифрові (АЦП, ЦАП, компаратори, таймери) і цифрові пристрої (включаючи цифрові пристрої на ПЛИС) моделюються як розрахунок перехідних процесів, тобто у часовій області. Однак, інші режими також доступні. Наприклад, у режимі Dynamic DC (аналіз постійного струму) тимчасові затримки сигналів у цифрових пристроях ігноруються і розраховуються лише вихідні логічні рівні (логічна “1” та логічний “0”) у стаціонарному режимі.

Крім того в режимі AC (розрахунок частотних характеристик: АЧХ та ФЧХ) цифрові компоненти не беруть участь в аналізі малосигнальних частотних характеристик. Для аналогових елементів АЦ- і ЦА- інтерфейсів складаються лінеаризовані схеми заміщення їх вхідних і вихідних комплексних опорів.

1.10. Коротка історична довідка

Провідною компанією на ринку наскрізного автоматизованого схемотехнічного проектування аналогової, аналого-цифрової та цифрової радіоелектронної апаратури на платформі персональних комп'ютерів донедавна була корпорація Microsim.

Першу програму схемотехнічного моделювання SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) було розроблено фахівцями цієї компанії на початку 70-х років минулого століття в Каліфорнійському університеті (м. Берклі).

Вона виявилася настільки вдалою, що з того часу інтенсивно розвивається, і де-факто стала еталонною програмою моделювання суто аналогових пристроїв.

Модифікація цієї програми під назвою PSPICE, перша версія якої для IBM PC була створена у 1984 році, стала основою всіх розроблених САПР для схемотехнічного моделювання (проектування).

Далі компанією Microsim у 1990 році на основі загального обчислювального ядра PSPICE було створено програмний пакет Design Center у середовищі Windows. Він дозволяв реалізувати як текстовий, а й графічне введення електричних принципових схем, і навіть проектування як аналогових, а й аналого-цифрових (компаратори, АЦП, ЦАП) і цифрових пристроїв (вентилі, тригери, лічильники, запам'ятовують устрою тощо. п.).

Наступні версії Design Center 6.0, 6.1 та 6.2 (1994 – 96рр.) були доповнені програмами для проектування програмованих логічних матриць (ПЛМ) та розробки топології друкованих плат.

Починаючи з 1996 р, корпорація Microsim почала розробляти нове покоління САПР для схемотехнічного моделювання під назвою Design Lab 8.0 (1997 р), яка вже мала низку додаткових можливостей, у тому числі:

- можливість моделювання програмованих логічних ІВ (ПЛІС) фірми Xilinx,
- синтез аналогових і аналого-дискретних фільтрів на конденсаторах, що перемикаються,
- можливість створення нових моделей компонентів,
- Підвищену надійність алгоритмів розрахунку перехідних процесів.

Нарешті, на початку 1998р. відбулося об'єднання корпорацій Microsim та OrCAD, яке стимулювало розвиток їх провідних проектів Design Lab та OrCAD. Нова фірма отримала назву OrCAD.

У березні 2000р. ця об'єднана фірма випустила чергову версію OrCAD 9.2, яка дозволяє проводити моделювання аналогових, аналого-цифрових та цифрових пристроїв, параметричну оптимізацію, а також ефективну розробку топології та трасування друкованих плат, тобто наскрізне проектування.

Перша версія цієї програми (найпростіша) MS-1 була створена у вересні 1982 року. Вона дозволяла здійснити графічне введення лінійних та

нелінійних схем лише аналогових пристроїв та їх моделювання, а також отримати динамічне відображення графіків характеристик у процесі моделювання.

Використана нами у навчальному процесі версія MC-7 (2001 року) має такі основні характеристики:

1. наявність графічного редактора важливих схем,
2. можливість проведення параметричної оптимізації в режимах розрахунку пристроїв по постійному струму, а також у часовій та частотній областях,
3. засоби синтезу пасивних та активних аналогових фільтрів,
4. велика бібліотека компонентів, що включає найбільш популярні цифрові ІС і аналогові компоненти типу діодів, БТ, ПТ, магнітних сердечників, НВЧ-ліній передач з втратами, датчиків Холла та ін.,
5. забезпечення інтерфейсу з програмами розробки друкованих плат OrCAD, P-CAD та ін.,
6. багатоваріантний аналіз при варіації параметрів, статистичний аналіз методом Монте-Карло та інші характеристики.

Для пакету MC-7 є студентська (демонстраційна) та професійна версії. Наприклад, перша призначена для моделювання найпростіших схем, що містять не більше 50 компонентів або 100 зв'язків (кількість вузлів + число індуктивностей + джерел сигналів). Крім того, можливості демоверсії обмежені: у ній відсутня програма MODEL складання математичних моделей компонентів за експериментальними даними, недоступна команда доставки списку з'єднань схеми для їх передачі в системи розробки друкованих плат, обмежені можливості засобів синтезу аналогових фільтрів, побудови тривимірних графіків та ряду інших.

У професійній версії MC-7 максимальний обсяг схеми збільшено до 10 тисяч вузлів, але її вартість набагато вища. Зазначимо, що моделювання у студентській версії виконується у кілька разів повільніше, ніж у професійній.

Студентську версію можна отримати через Інтернет, звернувшись на сайт www.spectrum-soft.com (дистрибутив демоверсії займає 3,9 Мб). Пакет Micro-Cap7 випускається для платформ IBM, NEC та Macintosh.

В даний час фахівці цієї компанії розробили нові версії сімейства: Micro-Cap 8 та 9.

З інших систем автоматизованого схемотехнічного моделювання слід виділити:

- Electronics Workbench, версія 5.0 (див. сайт www.interactiv.com) – на відміну від інших систем на екрані дисплея зображуються вимірювальні прилади (осцилографи, вольтметри та ін.) з органами керування максимально наближеними до реальності. Користувач звільняється з вивчення досить абстрактних правил складання завдань на моделювання. Достатньо на схему помістити двоканальний осцилограф та генератор сигналів – і програма сама повідомить, що потрібно аналізувати перехідні процеси. Якщо ж на схемі розмістити аналізатор спектру, то спочатку розрахований режим по постійному струму, виконана лінеаризація нелінійних компонентів і потім проведений розрахунок характеристик схеми в частотній області. Діапазон аналізованих частот, коефіцієнт посилення та характер оцифрування даних (у лінійному чи логарифмічному масштабі) встановлюються на лицьовій панелі за допомогою миші. Однак практика показує, що точність розрахунків, яка отримується за допомогою такого пакета, на жаль, невелика.

- Protel DXP (на сайті www.protel.com) – система наскрізного проектування аналогових і цифрових електронних пристроїв, що інтенсивно розвивається і розроблена фірмою Protel International (нова назва Altium).

- Microwave Office 2002 (на сайті www.mwoffice.com) – дозволяє моделювати НВЧ пристрої, задані як у вигляді принципів, так і у вигляді функціональних схем. Тут моделювання стаціонарних режимів нелінійних пристроїв виконується методом гармонійного балансу, а у разі слабо нелінійних пристроїв використовуються функціональні ряди Вольтерри-

Вінера. Можна проводити також аналіз шумів та синтез топології мікросмушкових ліній.

Слід зазначити, що з проектування складних радіоелектронних пристроїв і систем лише на рівні функціонально-логічного проектування використовують такі програмні пакети:

- System VIEW фірми Elanix (www.elanix.com) - призначений для системотехнічного моделювання систем аналогової, цифрової та аналого-цифрової обробки сигналів, систем зв'язку, систем автоматичного регулювання та керування та ін. Він являє собою конструктор, що дозволяє зі стандартних кубиків-чорних ящиків” (якось: підсилювачів, перемножувачів, модуляторів, демодуляторів, генераторів, джерел різних сигналів та ін.) створювати функціональні схеми пристроїв та виконувати моделювання при впливі на них різних сигналів та перешкод.

- ADS (Advanced Design System) фірми Agilent – це пакет, призначений для моделювання з метою аналізу характеристик сучасних радіосистем, що містять блоки аналогової та цифрової обробки сигналів різного функціонального призначення.

Необхідно також згадати про існування сучасних інтегрованих САПР для проектування надвеликих ІМС (СВІС), наприклад, НВІС типу систем на одному кристалі - "system on chip".

1.11. Способи введення опису електричної схеми РЕУ, що проектується

Повернімося до нашої структурної схеми, що відбиває основні етапи автоматизованого проектування електронних схем. Згадаймо зміст перших етапів:

розробка технічного завдання (ТЗ) -> вибір схеми (точніше розробка принципової схеми) -> вибір програмного пакета та програм аналізу -> введення принципової схеми проєктованого пристрою.

Зміст перших трьох етапів ми обговорили. На черзі етап введення принципової схеми. Розглянемо на конкретному прикладі, як ця операція здійснюється в системах АСхП (моделювання) для визначеності типу Місro-Cap 7. Нехай потрібно здійснити введення електричної схеми найпростішого широкопasmового однотранзисторного підсилювача, зображеного на рис.3.

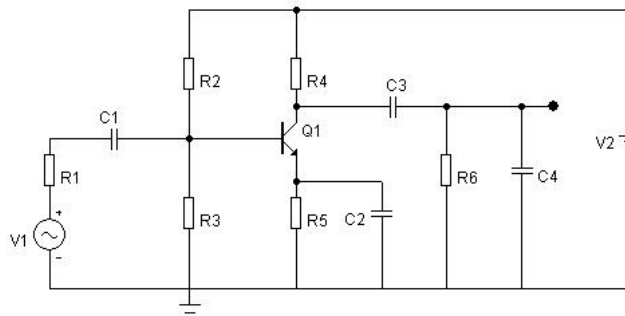


Рис. 4. Електрична схема однотранзисторного широкопasmового підсилювача

Спочатку автоматично вводяться позначення вузлів 1...7, причому вузол, з'єднаний із загальною шиною (нульовий вузол), не позначається.

У пакеті прикладних програм МС-7 використовуються два варіанти опису пристрою, що проєктується:

по-перше, у вигляді текстового опису цього пристрою у форматі SPICE;

по-друге, як креслення його принципової схеми – графічне введення схеми.

Останній варіант найбільш зручний для користувача. І в тому, і в іншому варіанті широко використовується поняття моделі компонента (в даному випадку резистора, конденсатора, БТ, джерела вхідного сигналу V1 джерела живлення – акумулятора V2).

Зазначимо, що з складанні принципової схеми частина параметрів моделей компонентів задаються як їх атрибутів і вказуються безпосередньо на схемі. Такі моделі називатимемо моделями у форматі схем.

Інші параметри моделей, у тому числі моделей всіх напівпровідникових приладів, операційних підсилювачів, ліній передач та компонентів цифрових пристроїв, задаються в текстовому вікні за допомогою певних директив.

Наведемо для конкретності спрощений, але подвійний опис для R, C, біполярного транзистора (БТ), джерела вхідного сигналу та батареї (акумулятора), що використовуються в цій схемі підсилювача. Повний опис моделей таких компонентів буде розглянуто у наступному розділі.

Опис резисторів (спрощений варіант)

Текстове введення (формат SPICE):

$R_{xxx} <+ \text{вузол}> \text{ } <- \text{вузол}> \text{ } [ім'я моделі] \text{ } <значення>$

Наприклад:

$R1_1_2_2500$

$R5_6_0_RTEMP_1k$

Графічне введення (формат схем):

Атрибут *PART*: $< ім'я >$ наприклад, *R5*

Атрибут *VALUE* : $< значення >$ наприклад, *1k*

Атрибут *MODEL*: $[ім'я моделі]$ наприклад, *RTEMP*

Директива для опису моделі резистора:

MODEL_RTEMP_RES (параметри моделі)

Опис конденсаторів (спрощений варіант)

Текстове введення (формат SPICE):

$C_{xxx_}<+ \text{вузол}> _<-\text{вузол}> _ [ім'я моделі] _<значення>$

Наприклад:

$C4_7_0_56 \text{ pF}$

$C2_6_0_CMOD_10U$

Графічне введення (формат схем):

Атрибут *PART*: $< ім'я >$ наприклад, $C2$

Атрибут *VALUE*: $< значення >$ наприклад, $10U$

Атрибут *MODEL*: $[ім'я моделі]$ наприклад, $CMOD$

Директива для опису моделі конденсатора:

$MODEL_CMOD_CAP$ (параметри моделі).

Опис біполярного транзистора (спрощений варіант)

Текстове введення (формат SPICE):

$Q_{xxx_}<вузол колектора> _<вузол бази> _<вузол емітера> _<ім'я моделі>$

Наприклад:

$Q1_5_3_6_KT315B$

Графічне введення (формат схем):

Атрибут *PART*: $< ім'я >$ наприклад, $Q1$

Атрибут *MODEL*: $[ім'я моделі]$ наприклад, $KT315B$

Директива для опису моделі транзистора:

$MODEL_KT315B_NPN$ [(параметри моделі)].

Опис джерела вхідного сигналу:

Графічне введення (формат схем):

Атрибут *PART*: < ім'я > наприклад, V1

Атрибут *MODEL*: [ім'я моделі] наприклад, VSIN

Після цього активізуються вікна, в які вводиться інформація про значення параметрів даного джерела: частоти, амплітуди, постійного усунення, внутрішнього опору, початкової фази і т.п.

Опис батареї:

Графічне введення (формат схем):

Атрибут *PART*: < ім'я > наприклад, V2

Атрибут *VALUE*: < значення > наприклад, 6V

Після введення електричної схеми (текстового чи графічного) складається математична модель пристрою загалом. При цьому використовуються вбудовані моделі або складені для довільних компонентів за спеціальною методикою, а далі проводиться аналіз моделі пристрою. Цей аналіз, як правило, є багатоваріантним.

1.12. Математичні моделі компонентів електронних пристроїв для пакетів прикладних програм типу SPICE

Моделі пасивних компонентів електронних пристроїв

Раніше вже зазначалося, що моделі, вперше використані у пакеті P-SPICE широко застосовувалися і застосовуються в сучасних пакетах схемотехнічного проектування, зокрема Design Center, Design Lab, Or CAD 9.2 і нарешті, сімейства Micro-Cap.

Перелік пасивних компонентів зазвичай включають резистори, конденсатори, котушки індуктивності, лінії передачі, високочастотні трансформатори, взаємні індуктивності, напівпровідникові діоди з p-n переходом, діоди з бар'єром Шоттки, стабілітрони та інші компоненти. Розглянемо моделі деяких із них.

Резистор

Наведемо приклади повного опису резистора у форматі SPICE та форматі схем.

Формат SPICE (текстове введення)

$$R_{xxx_} \langle +\text{вузол} \rangle _ \langle -\text{вузол} \rangle _ [ім'я \quad \text{моделі}] \quad _ \langle \text{значення} \rangle _$$

$$[TC = \langle TC1 \rangle [, \langle TC2 \rangle]],$$

де TC – температурний коефіцієнт.

Тут xxx - довільна алфавітно-цифрова послідовність загальною довжиною не більше 7 символів, яка пишеться разом із символом R і разом з ним утворює ім'я компонента. Наприклад, якщо модель та температурні коефіцієнти TC1 та TC2 не використовуються, то опис такий

$$R14_4_0_2k.$$

Якщо модель не використовується, але наводяться відповідні температурні коефіцієнти: лінійний коефіцієнт $TC1=.001^{\circ}C^{-1}$ і квадратичний $TC2=1E-5^{\circ}C^{-2}$, то опис такий

$$R16_1_2_4.2E4_TC=.001, 1E^{-5}.$$

Зрештою, якщо вказується ім'я моделі, то

$$R9_6_1_RTEMP_5k.$$

Формат схем (при графічному введенні):

Атрибут *PART*: < ім'я компонента > наприклад, *R9*

Атрибут *VALUE*: < значення > наприклад, *5k*

Атрибут *MODEL*: [ім'я моделі] наприклад, *RTEMP*

- *SLIDER_MIN* – мінімальне відносне значення опору, що змінюється в режимі Dynamic DC за допомогою движкового регулятора;
- *SLIDER_MAX* – максимальне відносне значення опору, що змінюється в режимі Dynamic DC за допомогою двигуна.

Зазначимо, що параметр <значення> може бути як позитивним, і негативним, але з рівним 0.

Повна модель резистора у системі схемотехнічного моделювання (проекування) Micro-Cap7 містить 9 параметрів. Перелік цих параметрів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри моделі резистора

Позначення	Параметр	Розмір-ність	Значення за замовчува

			ННЯМ
<i>R</i>	Масштабний множник опору	-	1
<i>TC1</i>	Лінійний температурний коефіцієнт опору	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	0
<i>TC2</i>	Квадратичний температурний коефіцієнт опору	$^{\circ}\text{C}^{-2}$	0
<i>TCE</i>	Експонентний температурний коефіцієнт опору	$\% / ^{\circ}\text{C}$	0
<i>NM</i>	Масштабний коефіцієнт спектральної густини шуму	-	1
<i>T_MEASURED</i>	Температура виміру	$^{\circ}\text{C}$	-
<i>T_ABS</i>	Абсолютна температура		-
<i>T_REL_GLOB-AL</i>	Відносна температура	$^{\circ}\text{C}$	-
<i>T_REL_LOCAL</i>	Різниця між температурами пристрою та моделі-прототипу	$^{\circ}\text{C}$	-

Тоді для прикладу директиву, за допомогою якої вводиться модель RTEMP для резистора R9 можна записати таким чином:

.MODEL_RTEMP_RES (R=3_DEV=5%_TC1=0.01),

де DEV – корельований технологічний розкид номіналу (допуск).

Зауважимо, що кількість параметрів, які потрібно вказати в моделі, визначає розробник, виходячи з поставленого перед ним завдання.

При такому записі моделі результуючий опір резистора визначається виразом

$$\langle \text{значення} \rangle * R * TF * MF,$$

де R – масштабний множник опору резистора (за умовчанням 1), у разі 3;

$$TF = 1 + TC1 * (T - TNOM) + TC2 * (T - TNOM)^2,$$

(якщо у директиві .MODEL немає параметра TCE ($TNOM = 27^\circ\text{C}$), як у нашому випадку)

і $TF = 1.01^{TCE(T - TNOM)}$ (якщо в цій директиві параметр TCE вказано);

$MF = 1 \pm \langle \text{розкид номіналу опору у \% , DEV або LOT} \rangle / 100$.

Тут LOT – некорельований технологічний розкид номіналу (допуск).

Спектральна щільність теплового струму резистора як компонента, що шумить, розраховується за формулою Найквіста:

$$S_i = 4kT / \langle \text{опір} \rangle * NM,$$

де k – постійна Больцмана, T - абсолютна температура, NM – параметр моделі.

Для резисторів із негативним опором у цій формулі береться абсолютне значення опору.

Конденсатор

Наведемо приклади повного опису конденсатора у форматі SPICE та форматі схем.

Формат SPICE (при текстовому введенні)

$C_{xxx_<+вузол>_<-вузол>_ [ім'я моделі] _<значення>_ [IC=< початкове значення напруги >]$

Наприклад, якщо не використовується модель і початкове значення напруги відсутнє, то опис конденсатора такий:

$C5_15_0_56\ pF.$

Якщо модель не використовується, але наводиться відповідне початкове значення напруги:

$C6_3_9_0.5\ n_ IC = 1.5V.$

Якщо вказується модель, але не вказується початкове значення напруги, то:

$C7_4_6_CMOD_10U.$

Формат схем (при графічному введенні):

Атрибут PART: $<ім'я>$ наприклад, C7

Атрибут VALUE: $< значення >$ наприклад, 10U

Атрибут MODEL: $[ім'я моделі]$ наприклад CMOD.

Повна модель конденсатора у системі схемотехнічного моделювання (проекування) Micro-Cap 7 містить також 9 параметрів.

Перелік цих параметрів наведено у таблиці 2.

Таблица 2

Параметри моделі конденсатора

Позначення	Параметр	Розмірність	Значення за замовчуванням
C	Масштабний множник ємності	-	1
VC1	Лінійний коефіцієнт	V^{-1}	0

	напруги		
<i>VC2</i>	Квадратичний коефіцієнт напруги	B^{-2}	0
<i>TC1</i>	Лінійний температурний коефіцієнт ємності	$^{\circ}C^{-1}$	0
<i>TC2</i>	Квадратичний температурний коефіцієнт ємності	$^{\circ}C^{-2}$	0
<i>T_MEASURED</i>	Температура виміру	$^{\circ}C$	-
<i>T_ABS</i>	Абсолютна температура		-
<i>T_REL_GLOBAL</i>	Відносна температура	$^{\circ}C$	-
<i>T_REL_LOCAL</i>	Різниця між температурами пристрою та моделі- прототипу	$^{\circ}C$	-

Тоді для прикладу директиву, за допомогою якої вводиться модель CMOD для конденсатора C7, можна записати таким чином:

.MODEL_CMOD_CAP (C = 2.5 _ TC1 = 0.01 _ VC1 = 0.2),

2. Основи роботи з програмою DipTrace

2.1. Створення простої схеми та друкованої плати

Познайомимося з багатьма корисними функціями DipTrace і розберемо базові приклади реалізації на практиці.

Наведемо схему, як приклад, яку ми будемо створювати. Для цього будемо використовувати Схемотехніку (програмний модуль, що входить до складу пакету DipTrace). Відкрийте програму DipTrace Схемотехніка, натиснувши "Пуск/Всі програми/DipTrace/Schematic" для користувачів ОС Windows або "Програми/ DipTrace Launcher/Schematic" якщо у вас MacOS.

Якщо ви запускаєте програму DipTrace Schematic вперше, то побачите діалогове вікно вибору колірної схеми (налаштування кольорів – кнопка Установка кольорів) та графічного режиму. Частіше використовують біле тло як найбільш зручне для друку, але можна використовувати інший. Також можна змінити колірну схему або задати кольори у будь-який час, вибравши "Вигляд/Колірні установки" з головного меню.

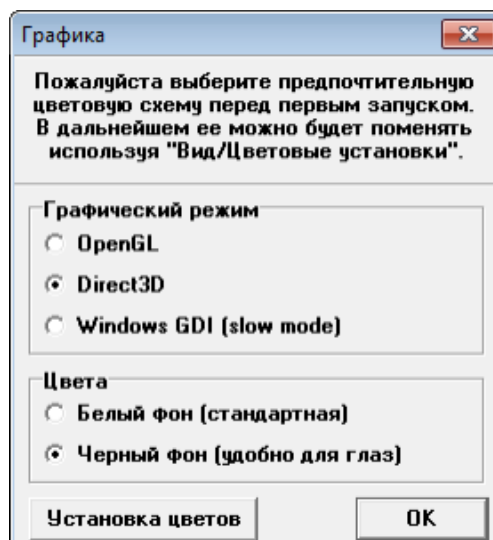


Рис. 5. Діалогове вікно вибору колірної схеми та графічного режиму.

Аналогічне діалогове вікно з'явиться при першому запуску Редактора Плат PCB Layout. Редактор Компонентів та Редактор Корпусів використовують колірні установки, задані в Схемотехніці та Редакторі Плат відповідно.

DipTrace пропонує вибрати графічний режим, який найкраще підходить вашому комп'ютеру:

1. Direct3D—найшвидший режим для звичайного комп'ютера, можна рекомендувати використовувати для роботи саме його, якщо немає графічної карти професійного рівня. Однак цей режим залежить від апаратної сумісності, драйверів та їх версій, тому деякі комп'ютери (в основному з новітніми або, навпаки, застарілими ОС та драйверами) можуть мати проблеми в цьому режимі (артефакти або об'єкти, що зникають на екрані).
2. OpenGL - зазвичай працює трохи повільніше ніж Direct3D, проте цей режим більш універсальний, підходить для різних операційних систем і менш залежний від апаратної сумісності та драйверів. Він найкращий для робочих станцій оснащених професійною графічною картою з апаратним прискоренням OpenGL. У будь-якому випадку можна використовувати обидва режими на складних проектах і вибрати найбільш підходящий.
3. Windows GDI може бути використаний як альтернатива, якщо Direct3D та OpenGL не працюють коректно з вашою графічною картою. Цей режим значно повільніший, але не залежить від операційної системи, драйверів тощо. Проте для невеликих та середніх проектів його цілком достатньо, щоб комфортно працювати.

2.2. Інтерфейс Схемотехніки

2.2.1. Вікно програми

Головне вікно програми Схемотехніка складається з наступного: область побудови, головне меню, панель інструментів, Менеджера проекту, панелі Встановити компонент та панель підказок.

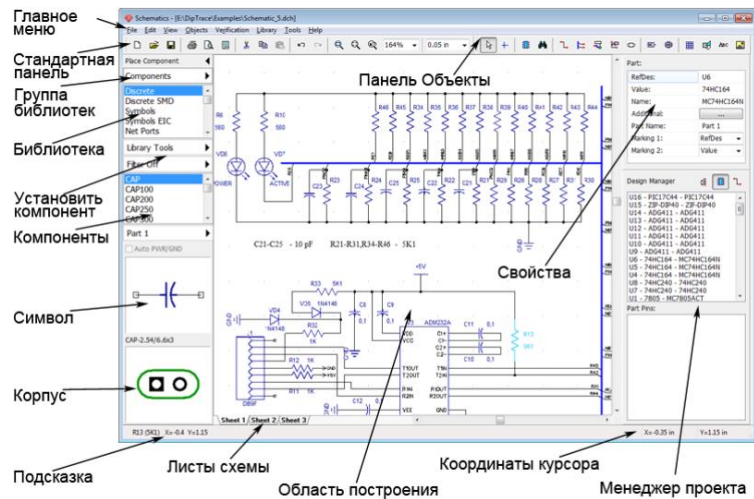


Рис. 6. Головне вікно програми Схемотехніка

Область побудови - область програми де безпосередньо креслється схема і розміщуються всі її компоненти.




Стандартна панель—основні інструменти роботи з файлами, налаштування форматів, масштабу та кроку сітки.

Панель Об'єкти - режим за замовчуванням, знайти і встановити компонент, створення зв'язків, шин, диференціальних пар і багато іншого.

Панель Встановити Компонент — виберіть бібліотеку з групи бібліотек, потім виберіть компонент і встановіть його в області побудови, для пошуку можна використовувати різноманітні сортувальні фільтри. Панель дає доступ до всіх параметрів системи бібліотек програми.

Панель Властивості—Властивості вибраного інструмента або об'єкта.

Менеджер проекту - дозволяє швидко знайти компонент або мережу (включаючи виводи) на схемі.

Натисніть , щоб відобразити список компонентів, або  — щоб відобразити список мереж. Виберіть компонент або мережу зі списку, і всі контактні майданчики вибраного об'єкта з'являться у списку нижче. Клацніть один раз лівою кнопкою миші, щоб підсвітити вибрані об'єкти в області побудови, подвійний клік по об'єкту в списку збільшить і пересуне область побудови так, щоб вибрані об'єкти опинилися в центрі. Натисніть , щоб

сортувати список за алфавітом (корисно після зміни порядку тегів RefDes або додавання нових компонентів).

Панель підказок - у лівій частині спливає підказка, а в правій - поточні координати курсору.

Щоб приховати/відобразити будь-яку з панелей, виберіть "Вигляд/Панелі/<ПАНЕЛЬ>" з головного меню.

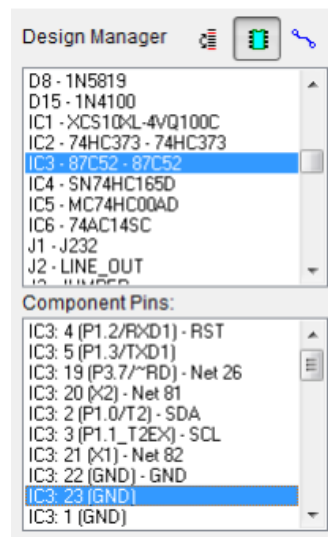


Рис. 7. Список компонентів

2.3. Встановлення розміру сторінки та розміщення рамки

Встановіть розмір сторінки та креслярської рамки: "Файл/Параметри сторінки" з головного меню, виберіть A4 ГОСТ 2.301-6 у шаблонах аркуша, потім у нижній частині вікна встановіть галочки Показувати рамку та штамп та Показувати аркуш, потім натисніть Закрити.

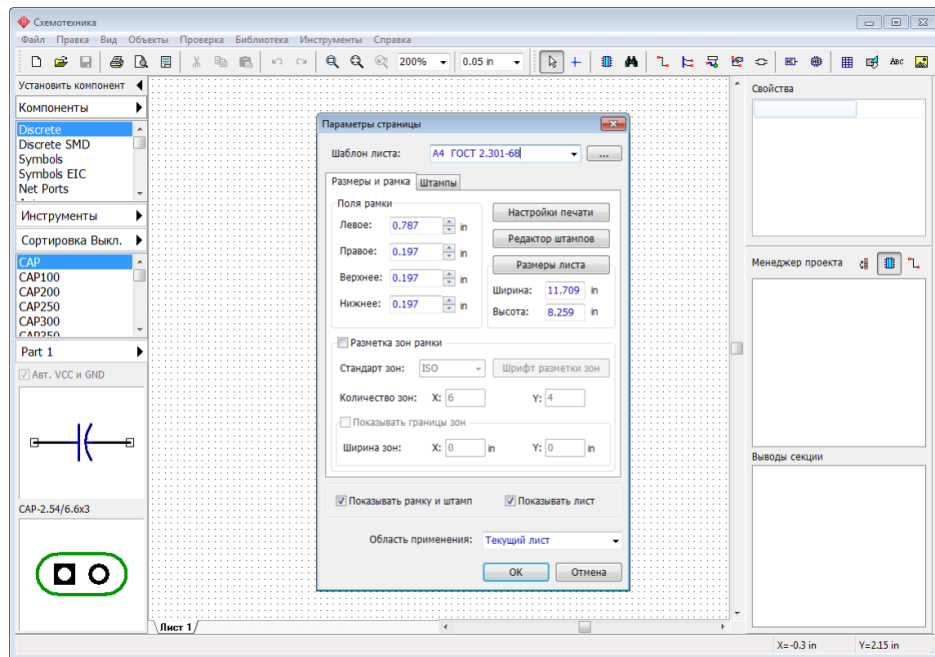


Рис. 8. Вибір розміру аркушу та встановлення рамки

Рамку та аркуш можна приховати або відобразити вибравши "Вигляд/Рамка та штамп" та "Вид/Кордони аркуша" з головного меню.

Кнопки +(плюс) або -(мінус), а також колесо миші змінюють масштаб схеми. Натисніть кнопку - (мінус) кілька разів, поки межі аркуша не стануть видно. Крім того, можна змінити масштаб, вибравши потрібне значення на Стандартній панелі, або просто ввести нове.

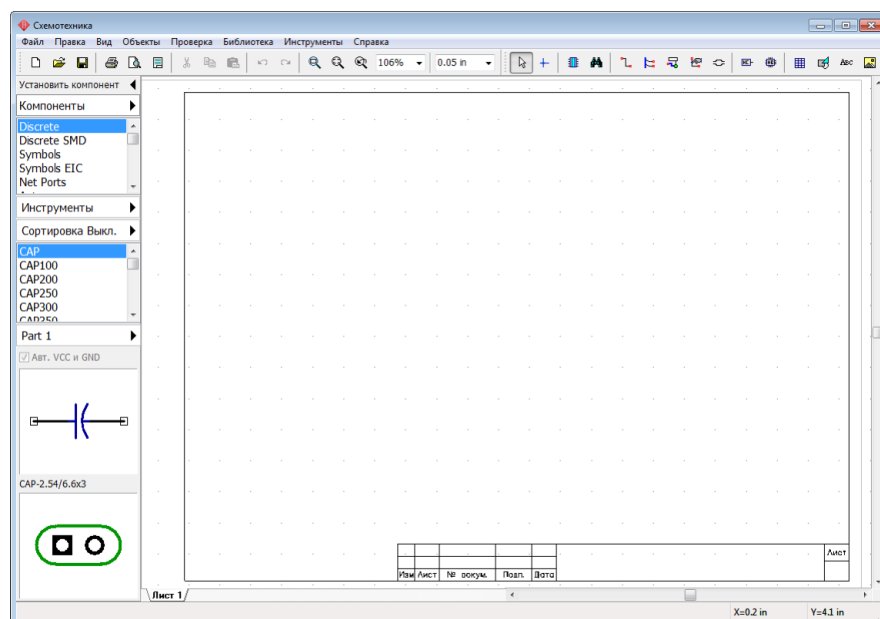


Рис. 9. Приклад аркушу з рамкою

Щоб ввести текст усередині рамки, наведіть курсор на потрібне поле (воно має підсвітитися зеленим), потім натисніть ліву кнопку миші, з'явиться вікно з властивостями поля. У цьому діалоговому вікні можна ввести текст, вибрати його положення та шрифт. Потім натисніть ОК, щоб закрити діалогове вікно шрифту, а потім ще раз ОК, щоб закрити панель властивостей поля та застосувати зміни. Зауважте, що поле дозволяє вводити багаторядковий текст.

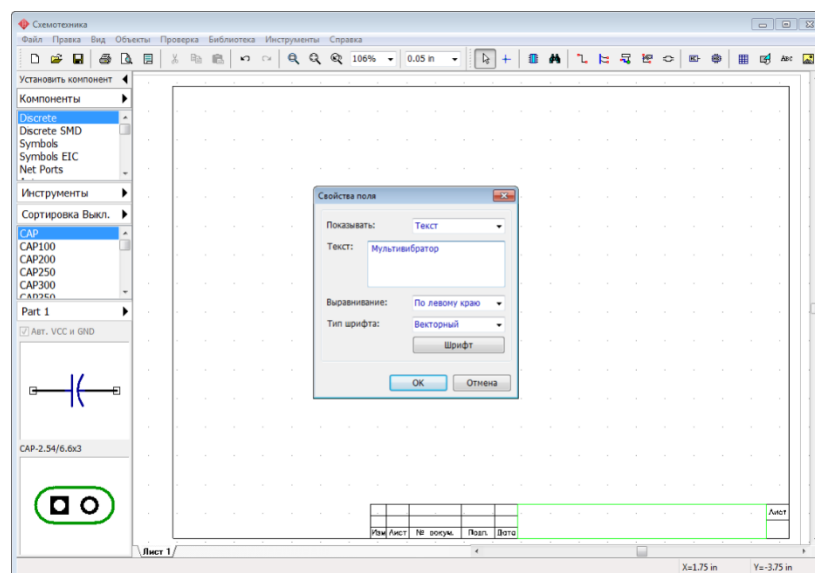




Рис. 10. Ввод текста

Текст у цьому полі зберігається лише для поточного проекту. Для створення власних шаблонів у тому числі з певним текстом, скористайтесь Редактором Штампів (більше дет алей у Довідці DipTrace Схемотехніка в темі Редактор Штампів).

Зображення можна масштабувати, вказавши курсором на потрібне місце та натискаючи клавішу + кілька разів або обертаючи колесо миші. Ви можете використовувати інструмент Масштабувати вікно. Для збільшення масштабу заданого прямокутника на все вікно: клацніть кнопку

Масштабувати вікно  вкажіть курсором лівий верхній кут області, яку потрібно збільшити, натисніть і утримуйте ліву кнопку миші і перемістіть курсор до протилежного куту області, потім відпустіть кнопку. Для повернення до попереднього масштабу та положення використовуйте кнопку .

Виберіть "Файл / Зберегти як" з головного меню, введіть ім'я файлу, в якому ви хочете зберегти схему, і виберіть директорію. Потім натисніть кнопку Зберегти.

2.4. Проектування схемотехніки

У Схемотехніці встановіть розмір сітки 0,1 дюйма. Ви можете вибрати цю сітку зі списку (при першому запуску встановлена сітка 0.05) або збільшити розмір сітки за допомогою комбінації Ctrl + знак плюса(+). Щоб зменшити сітку, використовуйте Ctrl + знак мінуса (-). Якщо потрібного розміру сітки немає, його можна додати, для цього виберіть "Вигляд / Зміна стандартних" з головного меню. Можна використовувати дюйми. У DipTrace можна змінити поточні одиниці виміру на міліметри або мили без втрати точності, для цього виберіть "Вигляд / Одиниці виміру".

Як створити схеми. Виберіть Fairchild бібліотеку з групи Корист. компоненти.

Пошук компонента у бібліотеці

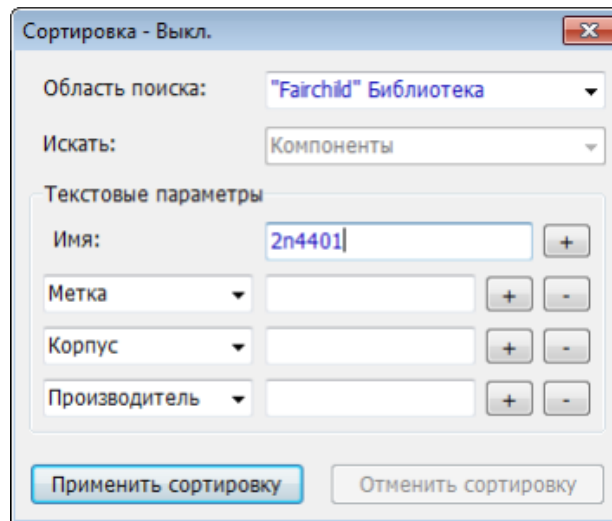


Рис. 11. Пошук компонента в бібліотеці

Коли вибрано бібліотеку, внизу відображається список компонентів цієї бібліотеки, знайдіть у ньому, наприклад, транзистор 2N4401.

Встановлення компонентів

Клацніть лівою кнопкою по потрібному транзистору на панелі Встановити компонент, потім клацніть в області побудови, щоб розмітити там транзистор. Клацніть правою кнопкою миші на порожньому місці області побудови, щоб вийти з режиму встановлення компонентів.

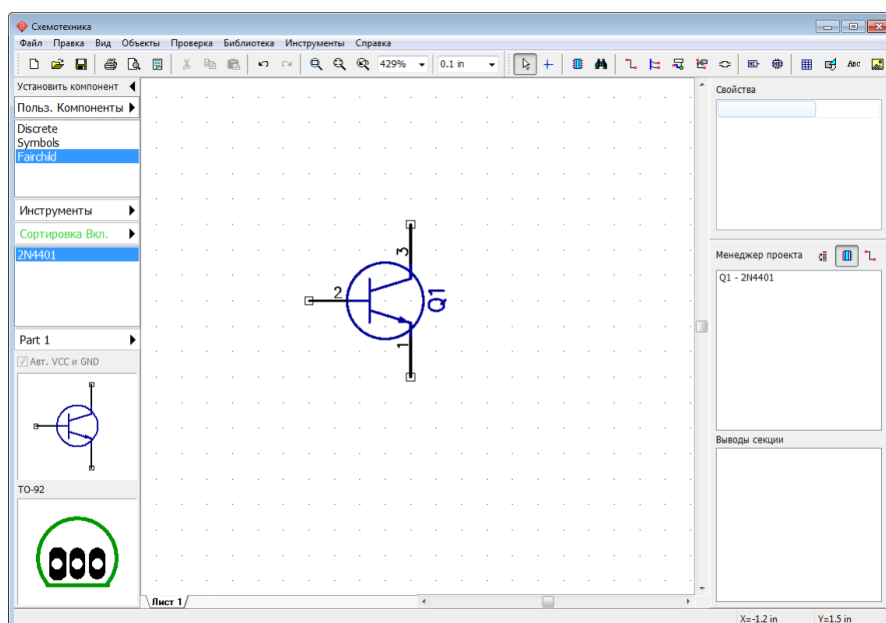


Рис. 12. Встановлення транзистору на робоче поле

Щоб перемістити вже встановлений компонент, наведіть стрілку миші на його символ і натисніть ліву кнопку миші. Ви захопите компонент, потім перемістіть його у потрібне місце, утримуючи ліву кнопку миші. Щоб перемістити кілька компонентів, потрібно спочатку виділити їх, а потім уже перемістити. Щоб вибрати кілька об'єктів, натисніть і утримуйте клавішу Ctrl, при цьому клацніть по кожному символу, який ви хочете виділити. Є й інший спосіб: перемістіть курсор у верхній лівий кут групи символів, клацніть лівою кнопкою і утримуючи її в натиснутому стані, перемістіть курсор у нижній правий кут групи, потім відпустіть кнопку (якщо була натиснута клавіша Ctrl, виділення буде інвертовано).

Зауважте, що мітка компонента (RefDes) транзистора-Q1. Якщо ви хочете змінити її, виділіть курсором символ і натисніть праву кнопку, потім виберіть самий верхній пункт (мітка компонента) в підменю. У діалоговому вікні вкажіть нову позначку та натисніть ОК.

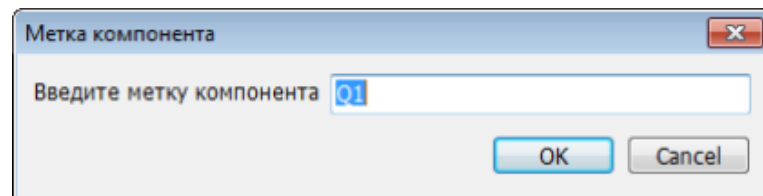


Рис. 13. Нанесення мітки на транзистор

Нам потрібно два транзистори для нашої схеми, тому оберіть транзистор 2N4401 у списку компонентів і розмістіть його в області побудови схеми (сторінка на якій ви працюєте). Зверніть увагу, що для другого транзистора не потрібно змінювати мітку, це відбувається автоматично. Щоб повернути компонент, натисніть Пробіл або R на клавіатурі перед тим, як встановити його в області побудови.

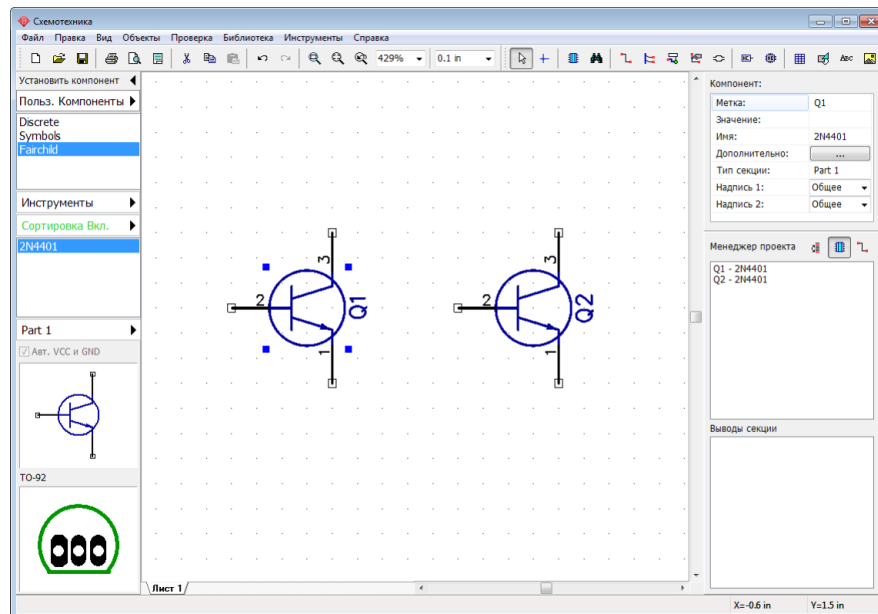


Рис. 14. Копіювання транзистору на робочій області

Коли сортування активне (про що свідчить напис на відповідній кнопці на панелі Установити Компонент), всі компоненти бібліотеки, які не відповідають встановленим сортувальним фільтрам, будуть приховані. Натисніть Сортувати Увімк., а потім натисніть Скасувати Сортування та закрийте діалогове вікно.

Виберіть бібліотеку Discrete і знайдіть у ній компонент RES400 (з імені зрозуміло, що це резистор з відстанню між висновками 400 міліметрів). До речі, якщо ви волієте працювати з метричними одиницями виміру, просто виберіть "Вигляд/ Одиниці виміру / mm".

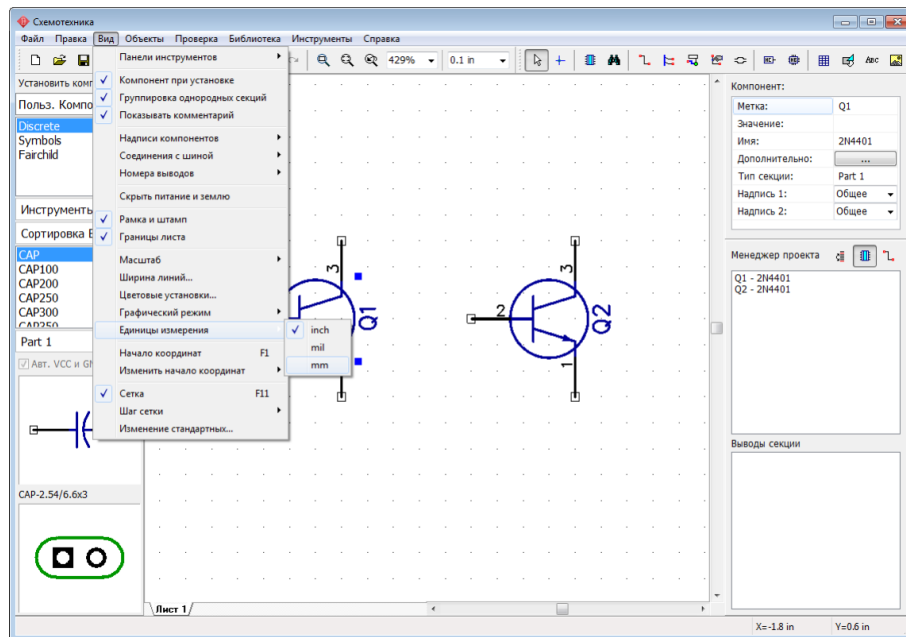


Рис. 15. Пошук конденсатору в бібліотеці

Копіювання Компонентів

Нам потрібні 4 резистори для нашої схеми. Ви можете встановити їх так само, як ми вчинили з транзисторами Q1 і Q2, але ми скористаємося іншим методом.

Виділіть резистор, який ви вже встановили та скопіюйте його три рази. Це можна зробити двома способами:

1. Просто виберіть "Правка / Копіювати" в головному меню, а потім "Правка / Вставити" три рази або клацніть правою кнопкою миші на тому місці, де ви хочете вставити символ і виберіть Вставити в підменю.

2. Другий метод називається Створити матрицю. Виберіть резистор, потім оберіть "Правка / Створити матрицю" у головному меню (або просто натисніть комбінацію Ctrl+M).

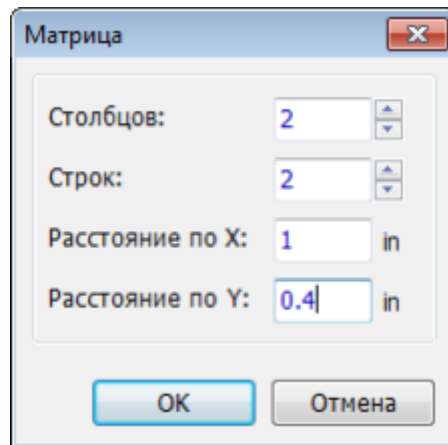


Рис. 16. Приклад створення матриці для копіювання елементів

У діалоговому вікні Матрица вкажіть кількість стовпців і рядків (у нашому випадку 2 стовпці та 2 рядки дадуть 4 резистори) та відстані (у нашому випадку 1 дюйм між стовпцями та 0,4 дюйма між рядками), потім натисніть ОК. Тепер ви можете побачити матрицю резисторів, що вийшла.

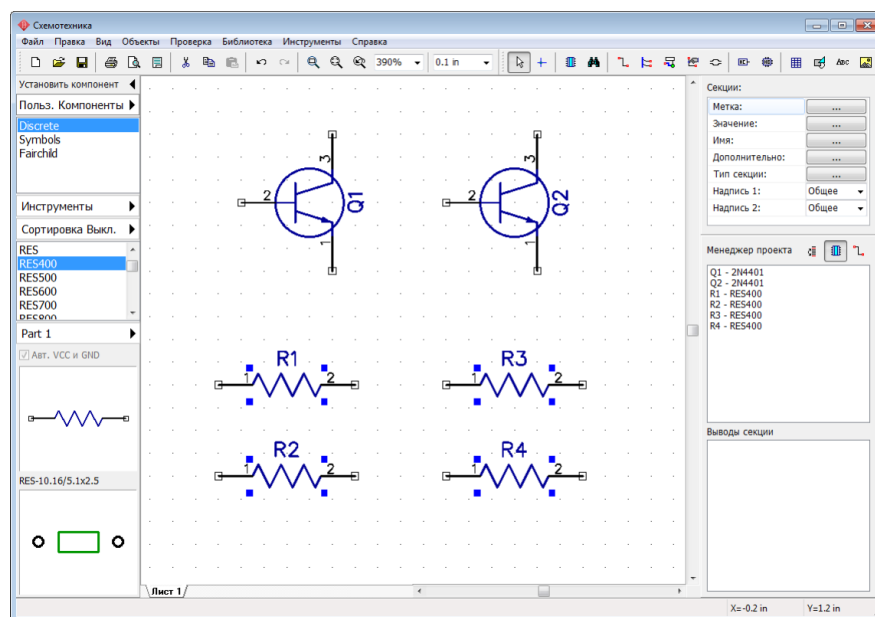


Рис. 17. Приклад копіювання резисторів.

Перемістіть резистори в потрібне положення на схемі та поверніть на 90 градусів, використовуйте Пробіл або клавішу R для обертання символів. Також можна вибрати команду "Правка / Обертання" з головного меню або клацнути правою кнопкою миші на символі і вибрати Обертання з підменю.

Ви можете використовувати клавішу Shift для ортогонального переміщення. Зауважте, що проект можна панорамувати, використовуючи праву кнопку або колесо миші: встановіть курсор в області побудови, потім натисніть та утримуйте праву кнопку або колесо миші та перемістіть проект у нове положення.

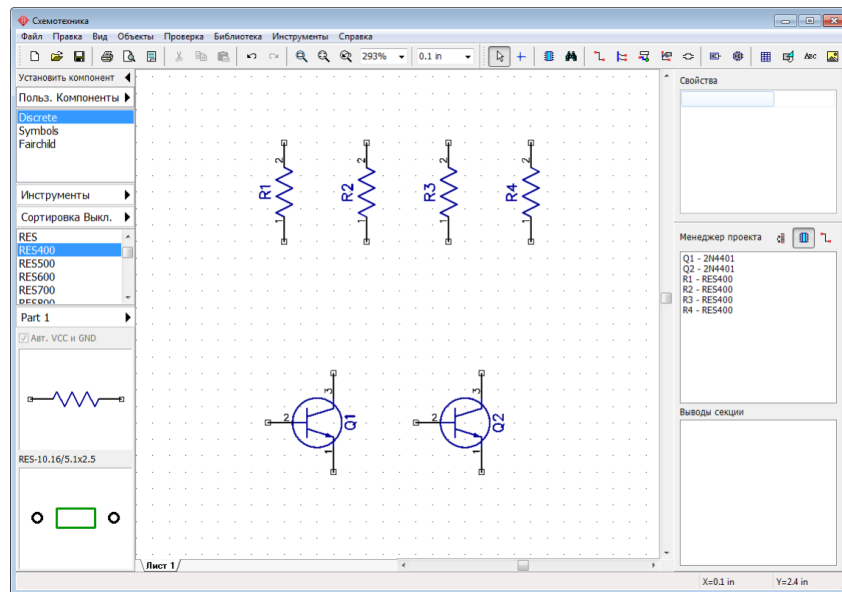


Рис. 18. Приклад преміщення резисторів

Налаштування маркування компоненту

Розміщення міток компонентів Q1 і Q2 нас не влаштовує, ми хочемо, щоб вони були під символами компонентів, а не поряд з ними. Для цього виберіть обидва транзистори, потім клацніть правою кнопкою миші по одному з них і виберіть Властивості з підменю. У діалоговому вікні виберіть закладку Написи і в розділі Основний напис виберіть Вирівнювання: Знизу.

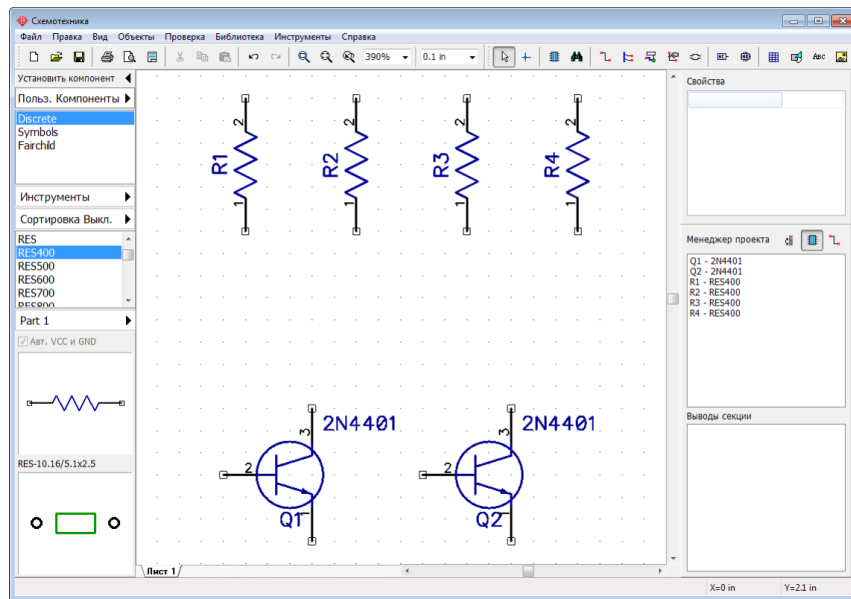


Рис. 20. Приклад підпису компонентів

Якщо ви не хочете бачити номери виводів компонентів по всій схемі, виберіть "Вигляд / Номери виводів / Приховати" в головному меню.

Якщо ви бажаєте приховати номери виводів на схемі тільки для певних компонентів, клацніть по них правою кнопкою миші та виберіть Номери виводів із підменю. Маркування можна обертати під час їх переміщення за допомогою клавіш Пробіл та R на клавіатурі.

Іноді автоматичними засобами не вдається досягти бажаного розташування, тому маркування будь-якого компонента можна рухати прямо на схемі за допомогою миші. Виберіть "Вигляд/Написи компонентів/Позиціонування F10" з головного меню або натисніть F10 на клавіатурі.

Для доступу до різних параметрів відображення маркувань за замовчуванням, зверніться до головного меню "Вигляд / Написи компонентів". Ці установки застосовуються до всіх компонентів на схемі, крім тих у яких вибрані налаштування користувача.

Якщо ви випадково зробили щось не хотіли, завжди можна повернути схему на крок назад або вперед за допомогою кнопок на стандартній панелі

інструментів. DipTrace запам'ятовує до 50 кроків. Не забувайте зберігати вашу схему у файлі. Виберіть "Файл/Зберегти" або натисніть на дискету на стандартній панелі інструментів. Якщо поточна схема ще ніколи не була збережена, з'явиться діалогове вікно Зберегти Як, в ньому можна вибрати директорію і ввести ім'я файлу схеми. Якщо схема вже збережена у файлі, простого натискання Ctrl+S вже достатньо. Діалогове вікно Зберегти як можна викликати окремо за допомогою головного меню (пункт "Файл") і зберегти схему в ще одному файлі, це часто необхідно як запобіжний засіб.

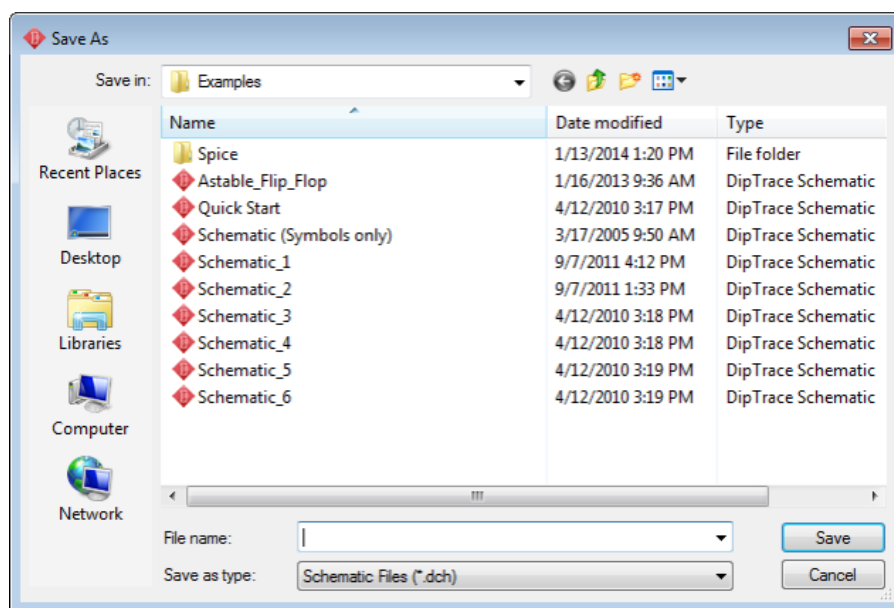




Рис. 21. Приклад збереження файлу

Створення зв'язків

З'єднаємо вивод №1 резистора R1 з базою транзистора Q1 (вивод №2).

Спочатку переконаємося, що ми перебуваємо в режимі за замовчанням (кнопка  знаходиться в натиснутому положенні). Наведіть курсор миші на вивод №1 резистора R1, клацніть по ньому один раз лівою кнопкою, потім наведіть мишу на вивод бази транзистора Q1 і клацніть по ньому, щоб створити зв'язок між компонентами.

Тепер нам потрібно дзеркально відобразити транзистор Q2, то нам буде легше креслити цю схему. Спочатку поверніться в режим За замовчанням (клацніть правою кнопкою на порожньому місці), потім клацніть правою кнопкою по транзистору і виберіть "Відображення / Горизонтально" з підменю. DprTrace створює лінії зв'язків за замовчуванням в автоматичному режимі, якщо ви хочете повністю контролювати те, як малюється лінія зв'язку між виводами, потрібно в режимі встановлення мереж (коли натиснута кнопка ) на панелі Установка зв'язку вибрати Ручний в полі Режим Розведення, або просто натисніть M на клавіатурі

Напевно, вам потрібно трохи спонукати компоненти, щоб вони розташовувалися рівніше і схема була красивішою. Для переміщення резистора наведіть на нього курсор, натисніть ліву кнопку і утримуючи її рухайте компонент. Відпустіть кнопку в потрібному положенні.

Підключіть R4 до бази Q2, R2 до колектора Q1 і R3 до колектора Q2, як показано на рисунку 21.

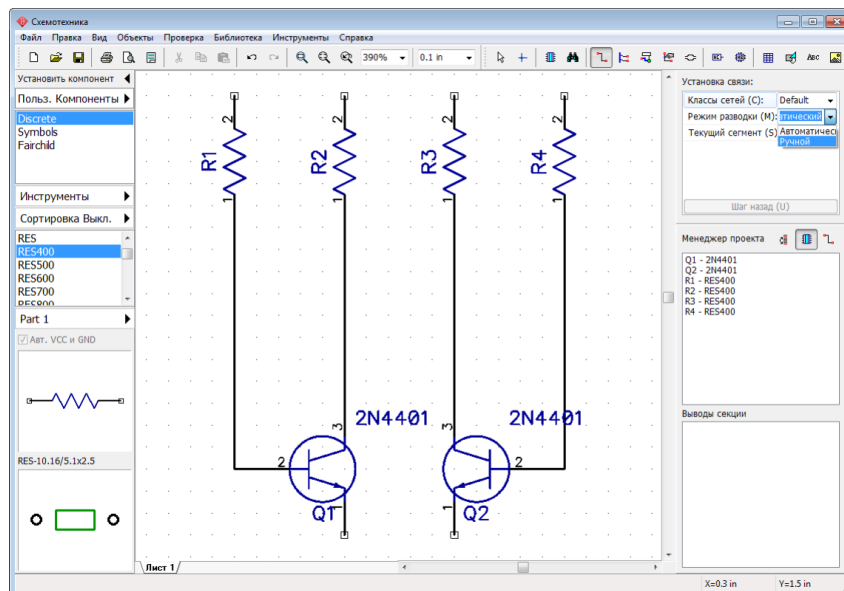


Рис. 22. Розташування ліній зв'язку між транзисторами і резисторами

Тепер оберіть конденсатор CAP100RP з бібліотеки Discrete та розмістіть його двічі. Можете включити опцію відображення імен виводів

для цих компонентів. Оскільки символи конденсаторів невеликі, можливо, доведеться змінити розмір шрифту при відображенні імен.

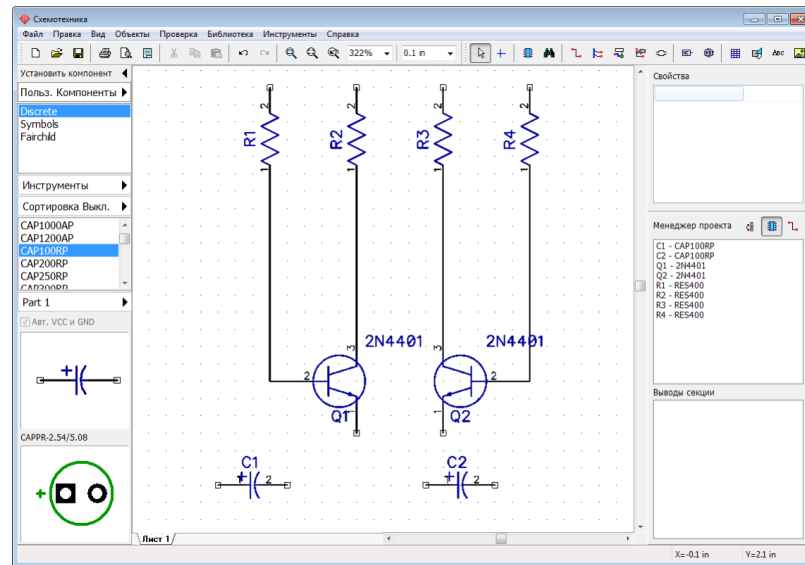


Рис. 23. Розміщення конденсаторів на робочому полі

Розверніть дзеркально C2 щоб позитивний вивод був з правого боку, для цього клацніть правою кнопкою та виберіть "Відображення / Горизонтально" з підменю компонента.

Перемістіть конденсатори C1 та C2 у положення між транзисторами Q1 та Q2 з дотриманням полярності. Якщо відстань між компонентами недостатня, схему потрібно трохи підкоригувати. Виділіть компоненти Q2, R3, R4 та зв'язки між ними (затиснувши ліву кнопку миші, перемістіть курсор так, щоб позначити прямокутну область виділення, всі об'єкти всередині цього прямокутника будуть обрані, коли ви відпустите кнопку миші).

Тепер затиснувши ліву кнопку миші на одному з вибраних компонентів, можна перемістити їх трохи правіше, щоб звільнити більше місця для нормального підключення конденсаторів. Натисніть праву кнопку миші один раз, щоб скасувати виділення, якщо ви в режимі за замовчуванням, і двічі, якщо ви в іншому режимі (перше клацання повертає в режим за замовчуванням).

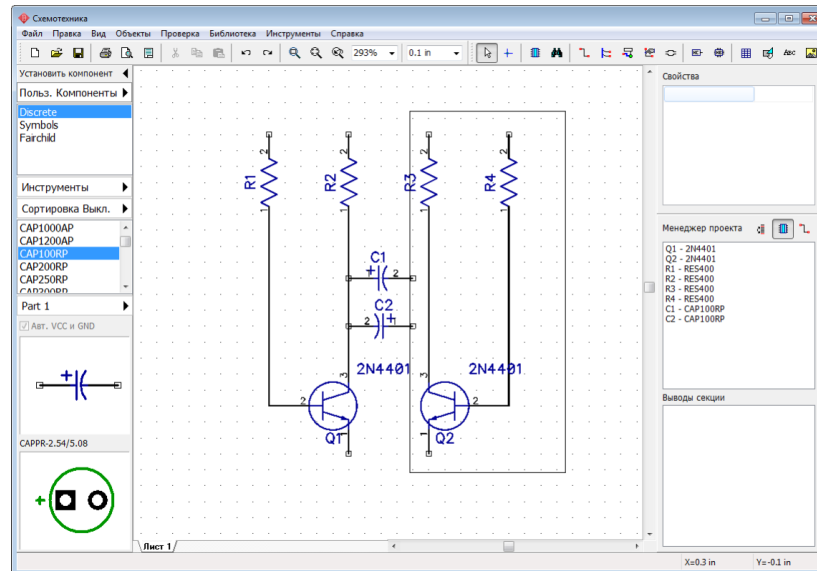


Рис. 24. Коригування розміщення компонентів в робочій області

Тепер з'єднайте C1: 1 (+) з базою Q1: підведіть стрілку миші до виводу C1:1 (+), зробіть клацання лівою кнопкою, а потім клацніть лівою кнопкою по ділянці лінії зв'язку між виводами R1:1 і Q1:2 і зробіть ще одне клацання лівою кнопкою для завершення лінії. З'єднайте конденсатор C2 між колектором Q1 та базою Q2, як показано на рисунку 24.

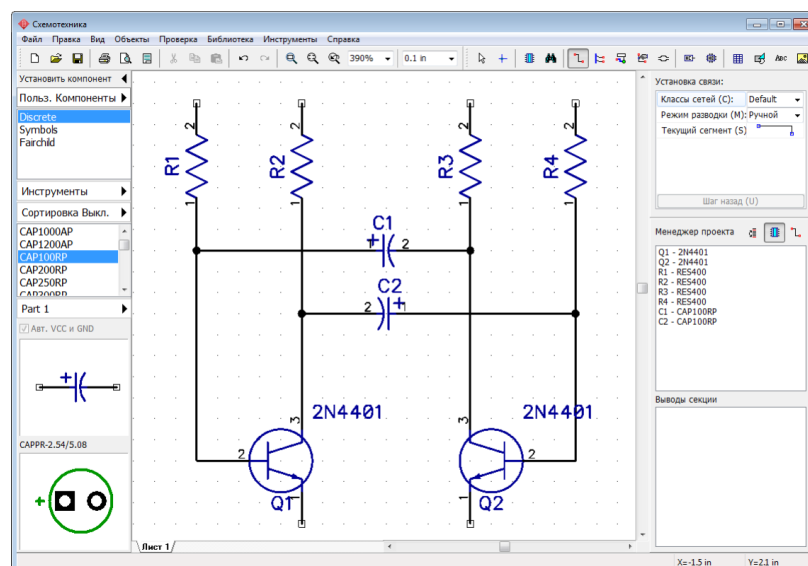



Рис. 25. Додаток конденсаторів до схеми

Тепер перейдіть до списку компонентів бібліотеки Discreet трохи нижче, щоб знайти компонент LED і встановіть два таких на схему. Потім змініть їх позначки на "LED1" і "LED2" (для цього потрібно клацнути правою кнопкою по компоненту і вибрати найвищий пункт з підменю), поверніть ці компоненти як показано на рисунку (натисніть R три рази). Напевно, вам може знадобитися і підкоригувати положення і кут повороту безпосередньо міток світлодіодів, для цього скористайтеся інструментом F10. Тепер підключіть світлодіоди до схеми.

Тепер схемі потрібна батарея, ми встановимо символ батареї SOURCE_BATTERY2 із бібліотеки Symbols. Змініть мітку символу батареї та підключіть її на схемі як на картинці. Зверніть увагу, що у місцях з'єднання двох проводів (ліній зв'язку) ви повинні обов'язково бачити невеликі чорні кола, якщо їх немає, то дроти не з'єднані.

Якщо ви хочете перемістити існуючу лінію зв'язку, наведіть на неї курсор, щоб підсвітити (програма покаже можливі напрямки переміщення), тепер натисніть і утримуйте ліву кнопку миші та перемістіть лінію в нове положення.

Зауважте, якщо в режимі встановлення зв'язку клацнуть існуючий зв'язок, ви почнете створювати нову лінію зв'язку. Режим Встановлення зв'язку автоматично активується, якщо ви натисніть на один із виводів компонента, також ви можете вибрати цей режим з головного меню "Об'єкти/Схема/Установка зв'язку" або натисканням кнопки .

Якщо потрібно видалити зв'язок (ділянка між двома вузлами), наведіть курсор на лінію зв'язку, натисніть праву кнопку миші і виберіть Видалити зв'язок. Щоб видалити ділянку зв'язку, виберіть Видалити лінію в підменю. Зауважте, що ви можете використовувати Крок назад для повернення до попередньої версії схемотехніки.

Додамо значення опору $10k\Omega$ для всіх резисторів на цій схемі. Оскільки символ "омега" це Unicode символ, він не буде нормально працювати у

векторних шрифтах, які за умовчанням встановлені у програмі. Для того, щоб DipTrace зрозуміла символ " Ω ", потрібно використовувати шрифти TrueType. Для цього виберіть пункт "Вигляд/Написи компонентів/Шрифт/TrueType" з головного меню. Оскільки шрифти цього типу виглядають трохи інакше, можливо, потрібно буде трохи змінити його розмір (у нашому випадку брт цілком підходить).

Спеціальні символи можна вводити у різний спосіб. Ми рекомендуємо копіювати їх з Таблиці Символів ("Пуск / Програми / Стандартні / Службові / Таблица символів", якщо ви працюєте на Windows).

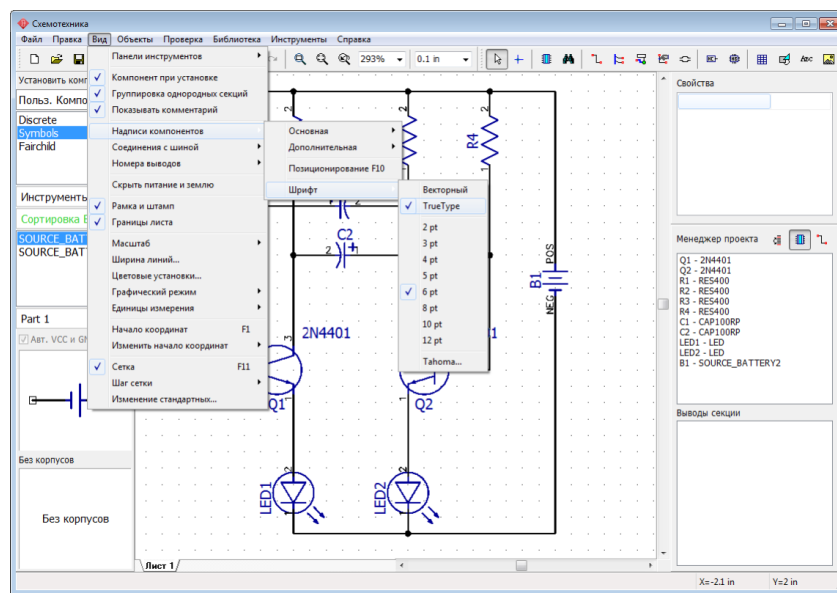


Рис. 26. Додавання світлодіодів на схему

Тепер виберіть чотири резистори (затиснувши ліву кнопку, змалюйте область виділення навколо них), клацніть правою кнопкою на одному з виділених резисторів, виберіть Властивості в підменю, і введіть " $10k\Omega$ " у поле Значення на вкладці Основні. Потім клацніть вкладку Надписи та виберіть Основний напис/Показувати: Значення, потім Додатковий напис/Показувати: Мітка та клацніть ОК.

Компонент батареї живлення можна взяти з бібліотеки Symbols. Усі компоненти у цій бібліотеці мають лише символи та не мають корпусів (про це говорить напис "Без корпусів" на панелі Встановити компонент). Отже

такий компонент на платі не відобразатиметься, а програма видасть попередження про помилку.

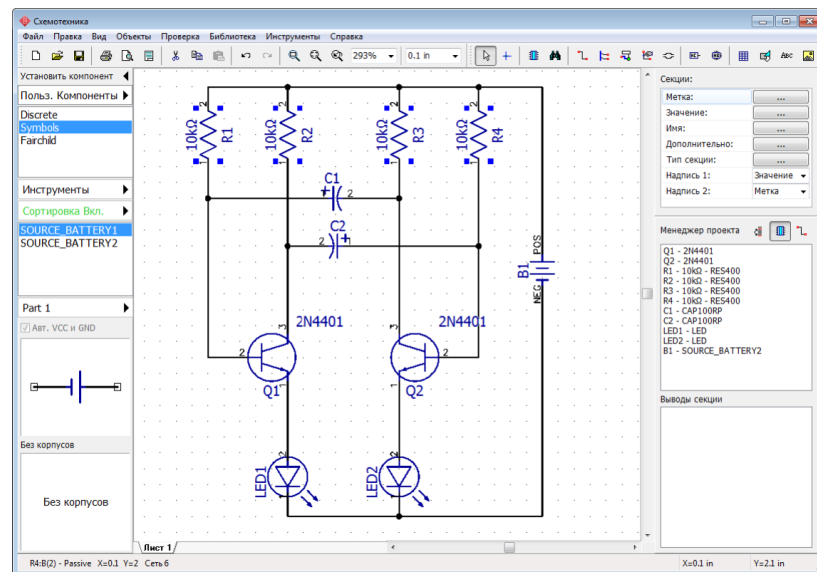


Рис. 27. Приклад введення номіналу резисторів

Необхідно прикріпити корпус до цього символу, щоб отримати повноцінний робочий компонент. Клацніть правою кнопкою миші на компоненті батареї та виберіть Прив'язка до корпусу в підменю. У лівій частині діалогового вікна ви побачите список всіх компонентів поточної схеми, переконайтеся, що вибрано B1 -SOURCE_BATTERY2 і у вікні попереднього перегляду ви бачите символ компонента.

У правій частині діалогового вікна у списку Бібліотеки корпусів виберіть групу бібліотек Корпусу. У цій групі лише стандартні бібліотеки корпусів компонентів окремо від своїх схемотехнічних символів. Виберіть бібліотеку Misc зі списку, і в списку Корпусу (трохи нижче) знайдіть корпус БАТ-2 (можете скористатися сортувальними фільтрами, якщо хочете).

У більшості випадків програма сама знаходить і призначає схемотехнічні виводи відповідним контактним майданчикам корпусу (КМ), але не в нашому випадку.

Позитивний КМ батареї зазвичай має квадратну форму, а негативний круглу. Для встановлення відповідності скористаємось Таблицею прив'язки. Клацніть на відповідному виводу в таблиці і введіть відповідний номер контактної майданчика в колонку Номер КМ. Негативний вивод має бути підключений до КМ №2, а позитивний до КМ №1.

Можна призначити відповідні контактні майданчики за допомогою миші, для цього потрібно клацнути лівою кнопкою по виведенню в полі попереднього перегляду символу, а потім по відповідному КМ в полі попереднього перегляду корпусу.

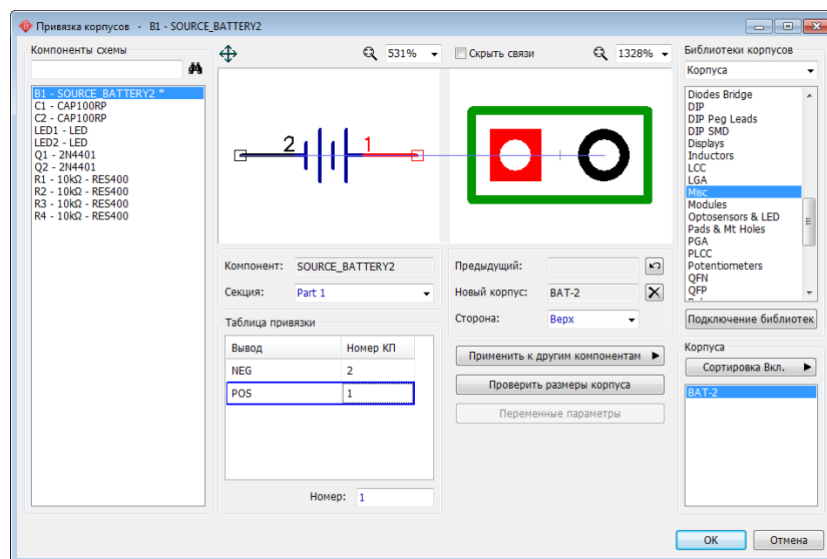


Рис. 28. Вибір корпусу джерела живлення

Натисніть ОК, щоб застосувати зміни.

Зауважте, що деякі символи спеціально не мають корпусів (наприклад, символи мережевих портів VCC, GND та інші в бібліотеці Net Ports). Схема наразі готова стати платою. Зберігаємо схему у файлі, оберіть "Файл / Зберегти" з головного меню або натисніть на дискету на Панелі інструментів.

Схему можна роздрукувати чи зберегти як BMP чи JPG файла. Для збереження у форматі PDF необхідно встановити сторонній PDF-принтер і вибрати його в списку принтерів під час друку (такі програми широко поширені в інтернеті). Виберіть "Файл/Попередній перегляд" із головного меню, щоб повністю підготувати схемотехніку до друку. Натисніть

Друкувати все, щоб надрукувати всі аркуші схеми, або—Друкувати поточний аркуш для друку кожного аркуша окремо.

Натисніть Зберегти, щоб зберегти схему у вигляді файлу BMP/JPG.

2.5. Перетворення на плату

Збережені файли Схемотехніки DipTrace (*.dch) можна відкривати в Редакторі Плат PCB Layout, але куди простіше вибрати "Файл/Перетворити на плату" з головного меню Схемотехніки. У діалоговому вікні можна застосувати поточні правила схеми на платі або використовувати налаштування будь-якої іншої плати. Натисніть ОК і схема відкриється у вигляді плати.

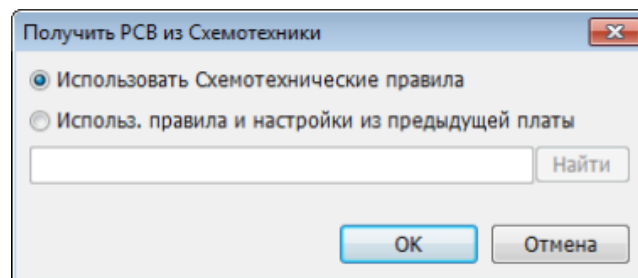


Рис. 29. Діалогове вікно редактору плат PCB Layout

У разі некоректного виходу з програми або якщо ви випадково забули зберегти схему у файлі, можна спробувати відновити схему, вибравши "Файл/Відновити останній" з головного меню Схемотехніки або Редактора Плат.

Щоб приховати або відобразити панель менеджера проекту, скористайтеся "Вигляд / Панелі інструментів / Менеджер проекту" з головного меню.

2.6 Розробка друкованої плати

2.6.1 Інтерфейс Редактора Плат

Вікно DipTrace PCB Layout складається з таких основних елементів: область побудови, панелі інструментів, панель Установити компонент, панель Менеджер проекту з вкладками панелей шарів/об'єктів/ властивостей та панель підказок внизу.

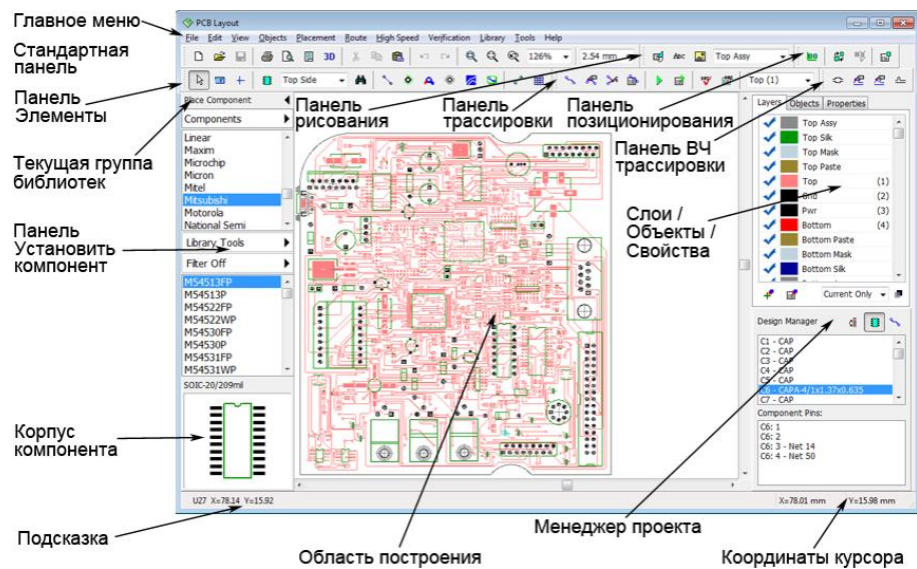


Рис. 30. Вікно DipTrace PCB Layout

Всі компоненти та об'єкти розміщуються в області побудови. Для доступу до основних функцій програми використовується головне меню.

Вікно програми також включає:

Стандартна панель – інструменти для роботи з файлами, друку, налаштування форматів, запуску 3D режиму, зміни сітки та масштабу.

Панель Елементи - перейти в режим за замовчуванням, лінійка, змінити початок координат, встановити компонент, створити таблицю, лінію зв'язку, мідну заливку, монтажний отвір і так далі.

Панель трасування - інструменти для створення та редагування мідних доріжок, автотрасувальник, перевірка правил проекту, вибору активного шару плати.

Панель позиціонування - автоматичне та ручне позиціонування компонентів на платі.

Панель рисування – створюйте різноманітні фігури та полігони, текст, вставляйте графічні файли.

Панель ВЧ трасування – створити диференціальну пару, редагувати доріжки пари окремо, вирівнювання фаз.

Панель Встановити компонент — виберіть бібліотеку та встановіть компонент в області побудови. Групи бібліотек, налаштування системи бібліотек, сортувальні фільтри, перегляд корпусів.

Шари/Об'єкти/Властивості (активна вкладка залежить від вибраного інструмента або об'єкта).

Вкладка Шари служить для роботи з шарами плати (створювати/видаляти/налаштовувати) та вибору режиму відображення шарів.

Вкладка Об'єкти служить для того, щоб приховати/відобразити різноманітні об'єкти в області побудови.

Вкладка Властивості показує властивості вибраного інструменту або об'єкта та дозволяє налаштувати його.

Менеджер проекту – дозволяє швидко знайти об'єкт на платі. Панель така сама як і в Схемотехніці.

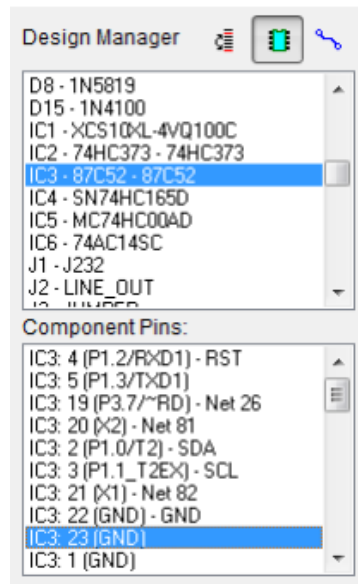





Рис. 31. Список компонентів

Натисніть , щоб відобразити список компонентів, або , щоб відобразити список мереж. Виберіть компонент або мережу зі списку, і всі контактні майданчики вибраного об'єкта з'являться у списку нижче. Клацніть один раз лівою кнопкою миші, щоб підсвітити вибрані об'єкти в області побудови, подвійний клік по об'єкту в списку збільшить і пересуне область побудови так, щоб вибрані об'єкти опинилися в центрі.


Натисніть , щоб сортувати список за алфавітом (корисно після зміни порядку тегів RefDes або додавання нових компонентів).

Панель підказок - у лівій частині спливає підказка, а в правій - поточні координати курсору.

Для того щоб приховати/відобразити якусь із панелей, виберіть "Вигляд/Панелі/<ПАНЕЛЬ>" з головного меню.

2.6.2 Підготовка до трасування

Трасування саме собою є одним із завершальних етапів розробки плати, але її результати безпосередньо залежать від того, наскільки добре проект був підготовлений.

Відразу після того як ви перетворили схему на плату, компоненти розташовані хаотично. Натисніть  на Панелі позиціонування або виберіть "Позиціонування/Упорядкувати компоненти" з головного меню, щоб усі компоненти були акуратно згруповані біля точки початку координат в області побудови (перетин синіх ліній) відповідно до параметрів позиціонування.

Після перетворення на плату також можна використовувати інструменти Авто-позиціонування та Позиціонування за списком, які дозволяють отримати максимум від ручного та автоматичного позиціонування компонентів.

Написи компонентів (маркування)

Перш за все давайте переконаємося, що позначки компонентів відображаються в області побудови, для цього виберіть пункт "Вигляд/Написи корпусів/Основна/Мітки" з головного меню. Ця команда відобразить мітки для всіх корпусів компонентів на платі, крім тих, у яких встановлені параметри користувача. Якщо розташування маркування вам не підходить, виберіть "Вигляд/Написи корпусів/Основна/Вирівнювання/За розмірами" головного меню або вирівняйте написи іншими режимами. Для зміни розміру шрифту міток корпусів, виберіть "Вигляд/Написи корпусів/Шрифт/5 pt" або іншого розміру, але робити мітки занадто великими немає сенсу.

Зазвичай для Редактора Плат краще використовувати векторні шрифти, але для коректного відображення кирилиці або Unicode символів необхідно змінити тип шрифту TrueType, для цього в головному меню виберіть пункт "Вигляд/Написи корпусів/Шрифт/TrueType". TrueType та векторні шрифти відрізняються.

Якщо ви хочете, щоб будь-який компонент на платі мав інші налаштування відображення написів, клацніть правою кнопкою по корпусу компонента і виберіть Властивості з підменю, потім перейдіть на вкладку Написи і змініть необхідні параметри. Зробить це можна за допомогою інструменту ручного переміщення міток корпусів, який викликається "Вигляд/Написи корпусів/Позиціонування F10". У цьому режимі можна переміщати або обертати будь-які текстові об'єкти на платі (тільки з кроком 90 градусів).

Ручне позиціонування корпусів

Позиціонування компонентів треба здійснювати відповідно до переваг і вимог проекту. Найчастіше компоненти живлення групуються в одній частині плати, а функціональні блоки в іншій. Якщо мати справу з високочастотними мережами, треба дотримуватись необхідних вимог розведення та диференціальних сигналів. Зараз ми використовуємо сітку розміром 0,05 дюйма (1,27 мм), ви можете змінити розмір сітки на панелі інструментів. Щоб змінити одиниці вимірювання, виберіть "Вигляд / Одиниці вимірювання" з головного меню.

Якщо розташувати компоненти приблизно як на рисунку нижче: з резисторами вгорі і світлодіодами внизу, треба перетягувати компоненти в області побудови, затискаючи ліву кнопку миші. Для обертання компонентів на 90 градусів під час перетягування використовуйте клавішу Пробіл. Щоб повернути компонент на інший кут, клацніть правою кнопкою миші по ньому і виберіть пункт Задати кут або Режим обертання - повернути компонент на точний кут або візуально прямо в області побудови.

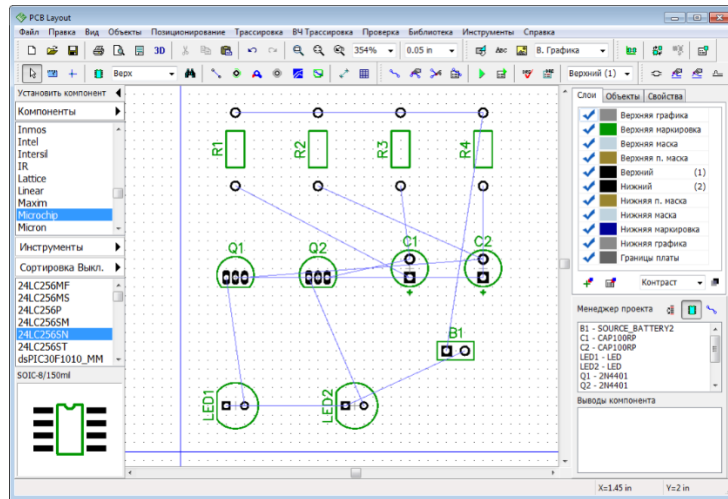


Рис. 32. Ручне позиціонування корпусів

Натисніть F12 щоб оптимізувати лінії зв'язків (тонкі сині лінії в області побудови), це не впливає на структуру мереж, тільки змінює те, як мережі відображаються.

Як змінювати структуру мереж проекту

Давайте трохи попрактикуємося у зміні мереж на платі, додаватимемо та видалятимемо зв'язки. Наведіть курсор на один із виводів (наприклад, R2:1), клацніть правою кнопкою, виберіть Видалити з мережі та вивод буде видалено з мережі.

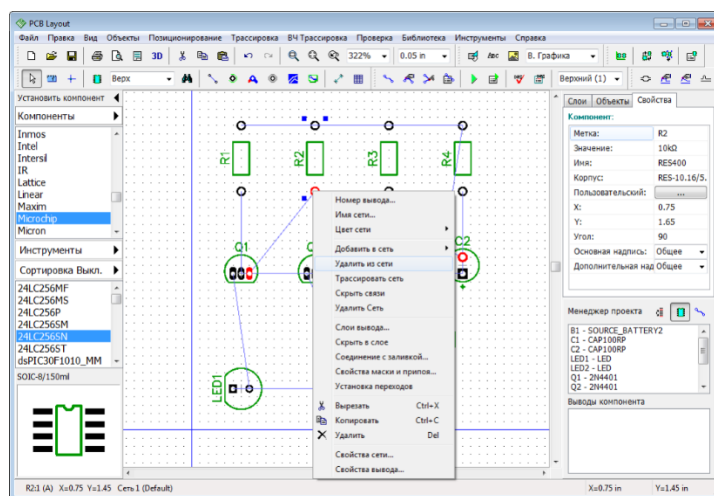





Рис. 33. Приклад видалення виводу з мережі.

Щоб створити зв'язок вручну, натисніть кнопку Створити зв'язок  на Панелі об'єктів, потім перемістіть курсор і клацніть лівою кнопкою миші спочатку на першій а потім на другій КМ. Ви щойно створили зв'язок між виводами (з'явилася синя лінія). Щоб видалити існуючий зв'язок, натисніть правою кнопкою на виводі, а в підменю, що з'явиться, виберіть Видалити зв'язок.

Якщо ви хочете додати кілька виводів до мережі, не створюючи лінії зв'язку вручну, натисніть правою кнопкою на виводі і виберіть "Додати в мережу/Вибрати зі списку".

Також можна змінити структуру мереж за допомогою таблиці зв'язків. Для її відкриття виберіть "Трасування/Таблиця зв'язків" у головному меню. У цьому діалоговому вікні можна легко створити нові зв'язки або додавати/видаляти контактні майданчики корпусів до мережі.

Виберіть мережу зі спадаючого списку Мережа та трохи нижче з'являться всі компоненти та контактні майданчики, підключені до цієї мережі (їх можна легко додавати або видаляти). Для того щоб додати новий КМ до мережі, потрібно вибрати компонент і вивод використовуючи меню, що випадають, Додати в мережу і натиснути кнопку Додати. Тепер якщо ви вносили будь-які зміни в структуру мереж, будь ласка натисніть Крок назад  , щоб повернутися до попереднього стану проекту.

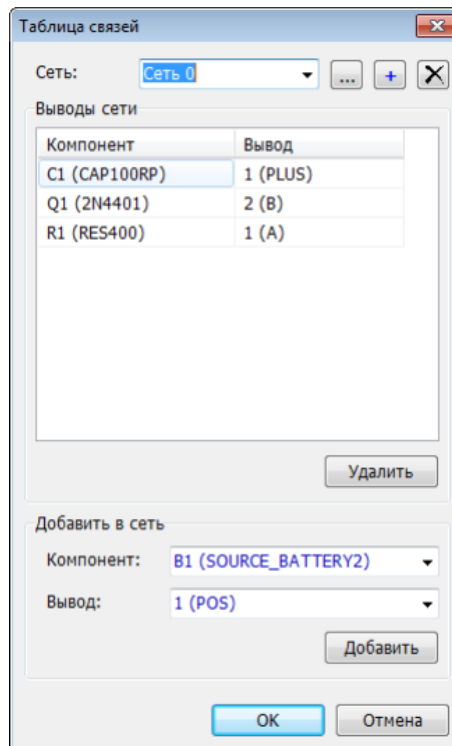



Рис. 34. Видалення або додавання зв'язків з мережи

Закрийте таблицю зв'язків. До речі, якщо ви якимось чином втратите вашу плату або схему через некоректний вихід із програми, скористайтеся функціями "Файл/Відновити останній" у Редакторі Плат або Схемотехніці. Щоб виключити випадкові зміни в структурі мереж проекту, можна вибрати "Трасування/Заблокувати структуру зв'язків".

Межі плати

При використанні автотрасувальника межі плати (багатокутник для складних, чотирикутник для простих плат) створюється автоматично залежно від обмежень введених в налаштуваннях автотрасування. Але в більшості випадків розміри плати строго визначаються перед розміщенням компонентів і трасуванням. Межі простих форм плати можна створювати в DipTrace, якщо форма плати досить складна, то буде проблематично намалювати її в програмі, тому в такому випадку краще скористатися DXF імпортом.

Виберіть "Об'єкти/Межі плати" з головного меню або натисніть  потім клацаючи лівою кнопкою миші, задайте кути плати, клацніть правою кнопкою для завершення полігону і виберіть Введення з підменю.

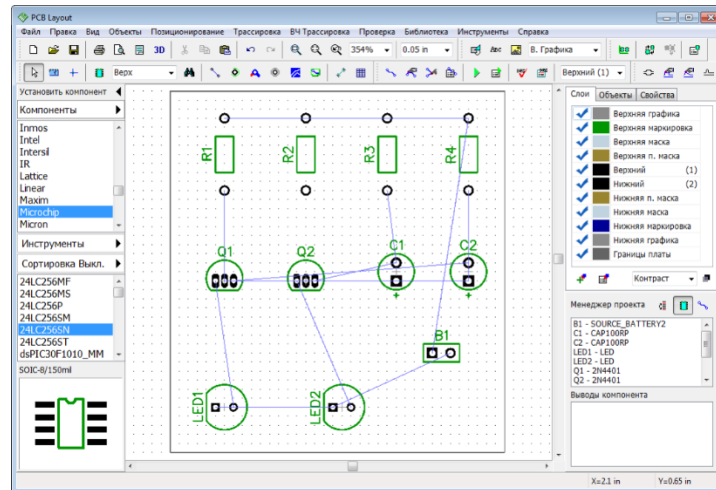


Рис. 35. Попереднє трасування плати

Можна побудувати межі плати або її фрагмент у вигляді дуги, для цього клацніть правою кнопкою і виберіть Режим дуги з підменю.

Щоб вставити крапку у завершений полігон, клацніть правою кнопкою на вибраному місці контуру плати та виберіть Встановити точку з підменю, а потім перетягніть її в інше положення, якщо потрібно. При натисканні правою кнопкою по точці з'явиться підменю, де ви можете замінити ділянку з ліній дугою, а точку з полігону можна буде видалити. Координати точки відображаються у вигляді підказки при наведенні курсору.

Інший спосіб - задати розміри плати в діалоговому вікні Межі плати, "Об'єкти/Координати вершин" з головного меню програми.

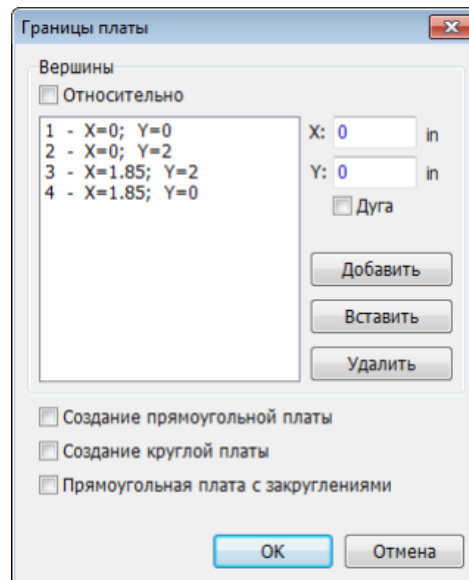



Рис. 36. Завдання межі плати

У цьому діалоговому вікні можна додавати, вставляти та видаляти точки межі плати. Координати можуть відображатися та редагуватися в абсолютних та відносних значеннях. Можна створювати дуги, для цього потрібно просто поставити галочку Дуга та обрана точка стане її вершиною. Для автоматичного створення прямокутної плати встановіть галочку Створення прямокутної плати та просто задайте першу точку, ширину та висоту плати. Крім того, можна автоматично створювати круглі плати та прямокутні плати із закругленнями. Потім клацніть ОК для прийняття змін або Скасувати, щоб закрити діалогове вікно. Також ви можете використовувати "Об'єкти Видалити межі плати" з головного меню для видалення меж плати.

Початок координат

Початок координат проекту дуже важливий і багато в чому визначає те, наскільки зручною буде подальша робота з цим проектом. Ми рекомендуємо завжди розміщувати точку початку координат у лівому нижньому кутку плати (якщо вона має кути). Точка початку координат повинна бути

розташована правильно, вона позначається перетином двох тонких синіх ліній. Якщо ви не бачите цих ліній в області побудови, виберіть "Вигляд/Початок координат" з головного меню. Якщо його положення не підходить для нашої плати, натисніть  і клацніть лівою кнопкою миші в нижньому лівому куті плати, програма допомагає цілитися

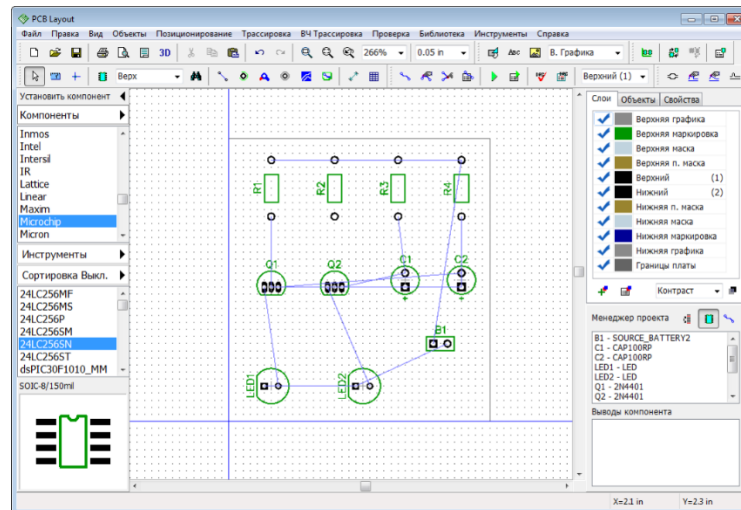


Рис. 37. Початок координат

Усі координати в програмі відобразатимуться та редагуватимуться щодо точки початку координат. Але її становище завжди можна змінити. Всі корпуси мають власні точки початку координат, які задаються в Редакторі Корпусів. Координати корпусів вважаються за становищем їх точок початку координат. Вони відображаються під час встановлення корпусу, якщо знаходяться не в центрі. Для відображення або приховування початків координат для вибраних корпусів зробіть клацання правою кнопкою по одному з них та виберіть "Початок координат корпусу/Приховати" з підменю».

Виріз у платі

У DipTrace можна створювати вирізи у платі будь-якої форми. Ми спробуємо створити простий прямокутний виріз між світлодіодами та транзисторами.

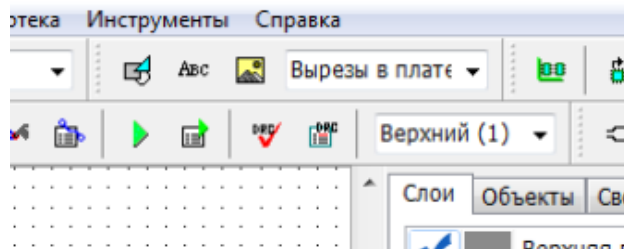


Рис. 38. Створення вирізу в платі

Виберіть шар Виріз в платі, використовуючи меню, що випадає на Панелі малювання, потім виберіть інструмент прямокутник і нарисуйте прямокутник в області розробки, можливо, область побудови потрібно буде наблизити, масштабувати або змінити одиниці вимірювання, щоб досягти максимальної точності.

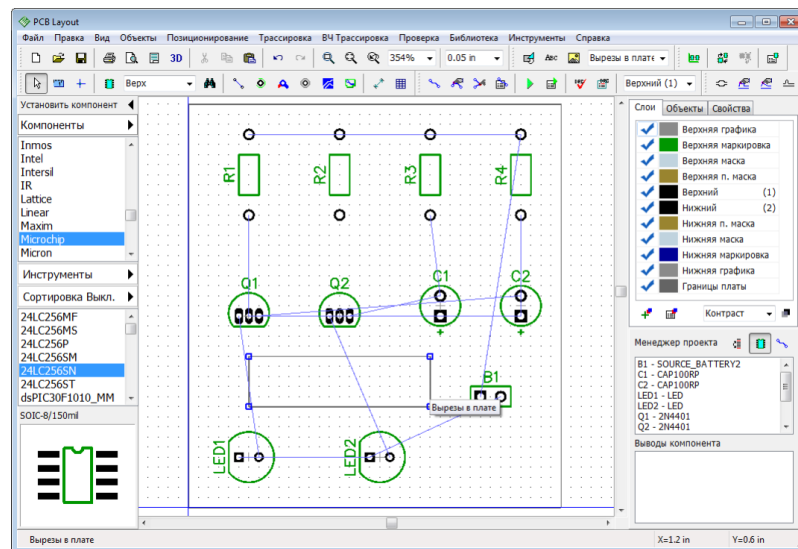


Рис. 39. Створення вирізу.

Зверніть увагу, що чисто візуально шари меж плати і вирізу плати не відрізняються, тому будьте уважні, коли малюєте плату, щоб не переплутати їх розташування.

Бар'єр трасування

Бар'єр трасування це область на платі, де не повинно бути мідних струмопровідних елементів (доріжки, заливки). У цій області автотрасувальник доріжок не створює, а якщо ви намалюєте їх там вручну, то програма повідомлятиме про помилки.

Значення відступу до меж плати не дотримується шару Виріз Плати що може у майбутньому завдати нам незручності, тому ми скористаємося бар'єром трасування щоб забезпечити відступ мідних елементів від вирізу. Оскільки ми плануємо трасувати плату тільки в одному шарі (Нижній) то давайте виберемо його, натиснувши на клавішу 2, а потім встановимо шар Бар'єр у спадному списку на Панелі малювання і намалюємо прямокутник, який буде трохи більше ніж виріз плати в Нижньому шарі. Перед початком малювання рекомендуємо змінити розмір сітки на 0,025 дюйма. Після малювання перейдіть назад у верхній шар за допомогою клавіші 1.

2.6.3. Автоматичне трасування

Настав час трасувати нашу плату. DipTrace пропонує два автотрасувальники: високоякісний сучасний "Shape-based" автотрасувальник на багато перевершує своїх конкурентів з інших САПР-пакетів і простий сітковий трасувальник, що дозволяє трасувати нескладні плати з перемичками.

Прості плати можуть бути трасовані в одному (нижньому) шарі, що дає очевидні переваги - ефективність і швидкість отримання кінцевого прототипу. При односторонньому трасуванні доріжки, ймовірно, будуть

довшими, ніж при двосторонньому, проте для простих проектів це не критично.

Давайте налаштуємо параметри автотрасування. Відкрийте пункт головного меню "Трасування/Вибір автотрасувальника" та виберіть Share Router. Тепер вибраний автотрасувальник потрібно налаштувати, виберіть "Трасування/Параметри автотрасування". Вікно параметрів автотрасування відрізняється залежно від вибраного автотрасувальника.

У діалоговому вікні Налаштування Share-based автотрасувальника, перейдіть на вкладку Налаштування, поставте галочку. Використовуйте пріоритетні напрямки по шарах, виберіть Верхній шар у таблиці і, використовуючи список, що випадає, Напрямок, виберіть Вимк.. Таким чином автотрасувальник вже не буде створювати доріжки.

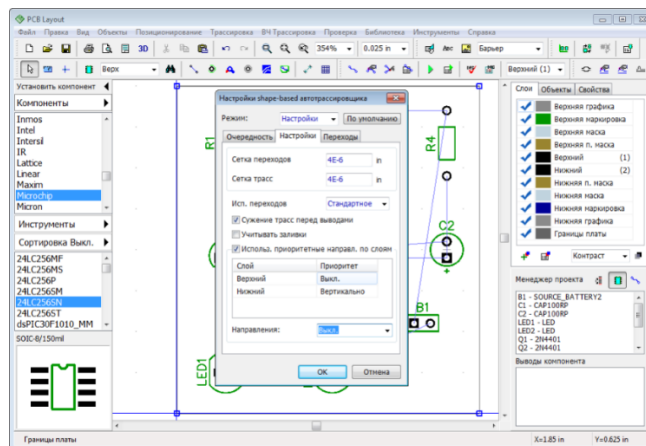


Рис. 40. Список, що випадає при трасуванні

Якщо ви хочете мати плату трасовану з перемичками, потрібно вибрати Grid Router як поточний автотрасувальник і поставити галочку Використовувати перемички у вікні налаштувань автотрасувальника. Натисніть ОК, щоб застосувати зміни та закрити вікно параметрів автотрасувальника. Тепер виберіть "Трасування/Параметри трасування". У цьому вікні можна змінити значення за замовчуванням ширини трас, проміжків між трасами та виводами, а також параметри за замовчуванням для міжшарових переходів.

Зверніть увагу, що змінюючи параметри за замовчуванням, ви насправді змінюєте параметри Default класу мереж та Default стилю міжшарових переходів.

Для простих проектів якщо натиснути Всі Класи, то відкриється діалогове вікно класів мереж, а якщо натиснути Всі Стилі, то відкриється вікно стилів переходів. Також можна встановити деякі інші параметри трасування у вкладці Настройки.

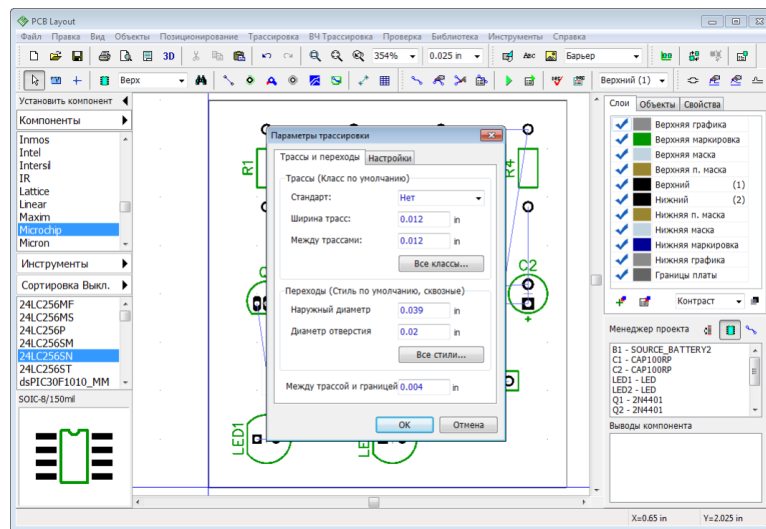


Рис. 41. Параметри трасування у вкладці Настройки

Тепер треба натиснути ОК та повернути розмір сітки до 0.05 дюйма. Запустіть розведення плати, вибравши "Трасування/Запуск", і плата буде трасована. Плата буде трасована через секунду. Зверніть увагу, що колір доріжок та контактних майданчиків залежить від кольору поточного шару плати.

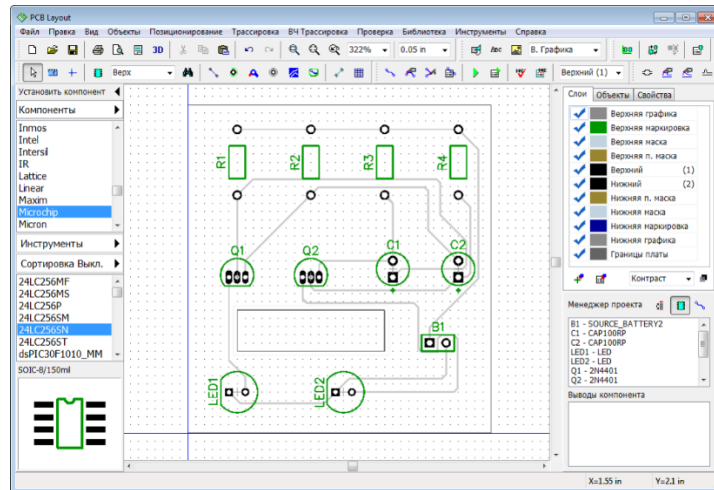



Рис. 42. Трасування плати

Автоматична перевірка DRC

У DipTrace існує кілька процедур перевірки на різних етапах розробки, наприклад Перевірка помилок (DRC). Ця функція запускається автоматично після трасування. Вона перевіряє розміри об'єктів та зазори між ними, а також стежить за дотриманням параметрів довжини та фазами високошвидкісних сигналів відповідно до правил, які визначає користувач. Всі порушення відображаються в списку, а також відзначаються прямо в області побудови кружечками червоного і кольору маджента. Перевірка DRC може працювати у звичайному режимі та у режимі Real-time DRC (в реальному часі). Якщо опцію Real-time DRC ввімкнено, то червоні кружечки з'являються в місцях, де зазори між об'єктами ставали дуже маленькими.

Можна запустити DRC, вибравши "Перевірка/Показати помилки трасування" з головного меню або натиснувши  на Панелі інструментів. Щоб переглянути або редагувати правила перевірки, виберіть "Перевірка/Параметри перевірки помилок". Для того, щоб приховати кольорові кружечки помилок в області побудови, виберіть пункт "Перевірка/Приховати помилки трасування". Також ви можете відключити автозапуск DRC після автотрасування, для цього просто приберіть галочку

"Трасування/Вибір автотрасувальника/Запустити DRC після автотрасування" у головному меню.

Тепер збережіть плату, виберіть "Файл/Зберегти" в головному меню, а в діалоговому вікні виберіть папку і натисніть Зберегти.

2.6.4. Робота із шарами

Ви помітили, що доріжки відображені неконтрастно, оскільки за умовчанням активний верхній шар і включений контрастний режим показу шарів, а у нас доріжки лише на нижньому шарі.

Для того щоб вибрати інший шар, зверніть увагу на панель Менеджера проекту, і в списку шарів клацніть двічі лівою кнопкою по потрібному шару. Крім того активний шар можна вибрати за допомогою спадаючого списку поруч із кнопками DRC, як вам буде зручніше. Давайте заодно поміняємо колір шару на більш яскравий, клацніть лівою кнопкою на кольоровому прямокутнику поряд з нижнім шаром і виберіть, наприклад, червоний колір у діалоговому вікні, потім натисніть ОК.

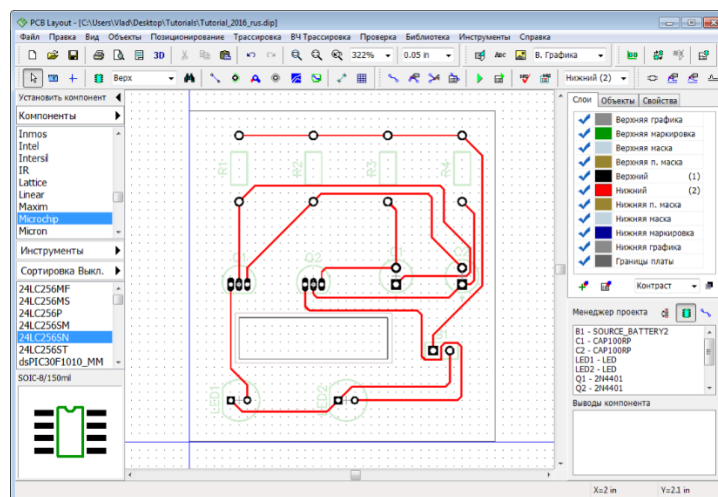


Рис. 43. Робота з шарами плати

Усі шари у програмі можна розділити на два основних типи: Сигнальні та Несигнальні. Користувач може додавати та видаляти їх. Наш проект має

всього два сигнальні шари: Верхній та Нижній, але в списку на панелі Менеджера проекту їх значно більше. Графіка, Маркування, Маска, Паста-стандартні несигнальні шари. DipTrace створює їх автоматично на обох сторонах плати та надає їм відповідні імена. Кожен із шарів несе певний тип інформації.

Верхній/Нижній. Маркування – це шари шовкографії, куди автоматично додаються маркування компонентів та інша графічна інформація. Шари Верх./Нижній. Паста та маски це шари, що вказують виробнику, де потрібно друкувати маску і де наносити припій. Деякі несигнальні шари необхідні для виробництва, деякі лише додають функціонал, наприклад, для зручності свердління в домашніх умовах.

Сигнальні шари

Доріжки та заливки можна створювати лише у сигнальних шарах. Їх у свою чергу можна розділити безпосередньо на сигнальні та екранні шари. Перші містять доріжки та іноді мідні заливки, тоді як на екранних шарах (в основному внутрішні шари плати) часто поміщають один або кілька полігонів мідної заливки. Автоматичний трасувальник не створює доріжки на екранних шарах, працюючи виключно із сигнальними шарами.

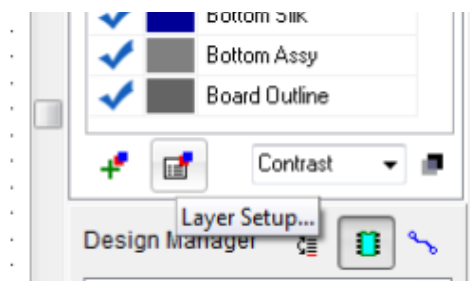



Рис. 44. Додавання нового сигнального/екранного або несигнального шару на закладці Шари

Щоб додати новий сигнальний/екранний або несигнальний шар, виберіть "Трасування/Властивості Шарів" або натисніть  на закладці Шари на панелі Менеджера проектів. Вибравши закладку Сигнальний/Екранний, ви зможете додати, видалити, змінити ім'я, тип або колір кожного сигнального або екранного шару плати. Зверніть увагу, що набір параметрів, які можна змінити, залежить від вибраного шару.

Параметри шарів можна легко редагувати. Екранні шари можна підключати до мереж, зазвичай це мережі землі чи живлення, у разі залишимо його непідключеним. Можна також встановити параметри отворів металізації (за виводами або фіксованою межею), але вони завжди будуть круглі, оскільки це внутрішні шари. Далі треба натиснути кнопку Закрити.

Порядок шарів

Давайте створимо ще один екранний шар, оскільки плати зазвичай мають парну кількість шарів. Клацніть правою кнопкою миші на Учбовому шарі у списку шарів на панелі Менеджера проекту та виберіть Вставити шар із підменю та створіть ще один екранний шар. Коли у вас вже є два екранні шари, клацніть правою кнопкою миші у списку шарів для того, щоб переміщати шари вгору і вниз. Перемістіть Навчальний шар вище, ніж Навчальний шар 2.

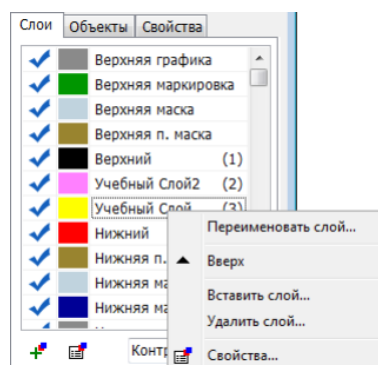


Рис. 45. Додавання навчального шару 2.

Несигнальні шари

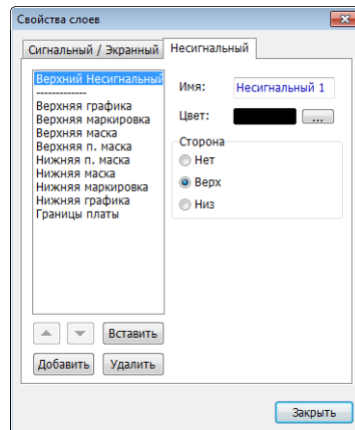


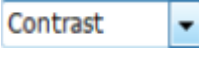



Рис. 46. Несигнальні шари

Користувальницькі несигнальні шари використовуються для безлічі різноманітних цілей та допомагають інженеру зробити розробку максимально комфортною та простою, а також повідомити виробнику плат додаткову інформацію. Щоб створити несигнальний шар, виберіть закладку Несигнальний у діалоговому вікні Властивостей Шарів ("Трасування/Властивості Шарів" з головного меню). Натисніть кнопку Додати, введіть ім'я шару та виберіть колір і бік плати: Ні, Верх. або Низ. Якщо вибрано варіант Ні, то це означає, що шар не буде прикріплений до будь-якої сторони плати.

Ми не будемо створювати користувальницькі несигнальні шари, тому закрийте це вікно і зверніть увагу на інші кнопки на панелі шарів:  – Додати шар,  – Властивості шарів,  – режим відображення шарів, налаштування рівня контрастності . Щоб швидко змінити колір шару, натисніть на кольоровий прямокутник поруч із ним і з'явиться стандартна панель вибору кольору. Якщо хочете вимкнути відображення якогось шару, просто приберіть синю галочку поряд з ним на панелі. Тепер видаліть несигнальний шар, якщо такий створювався, але НЕ видаляйте два екранні шари, які ми створили. Збережіть плату.

2.6.5. Міжшарові переходи

DipTrace підтримує наскрізні і глухі міжшарові переходи (якщо розділяти їх за фізичними властивостями). Крім того переходи також поділяються на два логічні типи незалежно від їх фізичного типу:

Звичайні (динамічні) переходи, які є частиною мережі та з'являються автоматично при переведенні траси до іншого шару;

Статичні переходи, які багато в чому схожі на звичайні контактні майданчики і отже мають значно більше свободи налаштування, ніж звичайні міжшарові переходи.

Всі міжшарові переходи в DipTrace організовані за стилями незалежно від їхнього логічного типу.

Давайте створимо два додаткові стилі переходів: один з глухими переходами такого ж діаметра що стиль Default (0.039 дюйма з отвором 0.02 дюйма), інший стиль повинен мати наскрізні переходи, але більшого ніж Default діаметра. Виберіть "Трасування/Стилі переходів" у головному меню. У діалоговому вікні, що з'явилося, натисніть на кнопку Додати. Новий стиль з'явиться у списку, одразу під стилем Default. У дужках поруч із ім'ям стилю вказується кількість переходів цього стилю на платі. У нашому випадку плата поки що не має переходів.

Тепер натисніть лівою кнопкою за новоствореним стилем і введіть його ім'я. Змініть тип на Ненаскрізний і за допомогою списків, що спадають, виберіть пару шарів (верхній і нижній шар переходів даного стилю). У нашому випадку ненаскрізний перехід з'єднуватиме Верхній та Навчальний шари. Запам'ятайте, на двошаровій платі не може бути ненаскрізних переходів, всі переходи будуть лише наскрізними. Наша плата має чотири шари, які ми створили, щоб продемонструвати робочий процес крок за кроком. Введіть параметри стилю як на ілюстрації нижче.

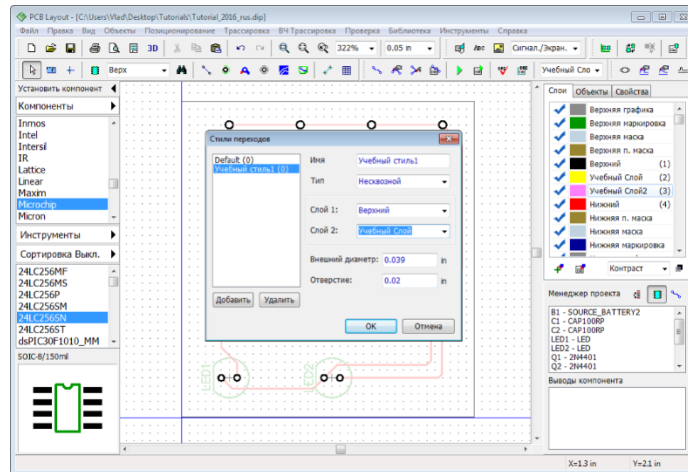


Рис. 47. Створення перехідних шарів

Створіть другий стиль для наскрізних міжшарових переходів та назвіть його, наприклад, "2 Навчальний стиль". Для цього стилю вкажіть зовнішній діаметр 0,065 дюйма та отвір 0,03 дюйма. Натисніть кнопку ОК.

Динамічні міжшарові переходи

Після того як стилі створені давайте детрасуємо якусь мережу для того, щоб потім намалювати її доріжки вручну. Це нам потрібно, щоб показати як працювати з міжшаровими переходами на практиці.

Перейдіть в нижній шар плати (якщо ви ще не в ньому). Клацніть правою кнопкою мережі, яку ви вирішили трасувати вручну (у нашому випадку це мережа, що з'єднує резистори з батареєю) і виберіть Детрасувати мережу з підменю. Доріжка зникла, а мережа тепер знову перетворилася на тонкі сині лінії з'єднання.

Перейдіть в режим ручного трасування, для цього виберіть "Трасування/Ручне Трасування/Додати Трасу" у головному меню або натисніть клавішу ~. Тепер клацніть лівою кнопкою на першому контактному майданчику (R1:2) а потім клацніть по другому КМ (R2:2) щоб створити доріжку між ними. Тепер ще раз клацніть лівою кнопкою (R2:2) щоб почати створювати доріжку в напрямку резистора R3, але не створюйте

цю доріжку до кінця, а нарисуйте її лише до точки між контактами R2 і R3, клацніть лівою кнопкою щоб створити сегмент доріжки між контактними майданчиками, клацніть правою кнопкою та виберіть "Шар сегмента/Верхній". Ви побачите, як доріжка перескочила на верхній шар плати, а динамічний міжшаровий перехід з'явився автоматично. Після цього доведіть доріжку до контактної майданчика R3:2 і клацніть лівою кнопкою. Продовжуйте трасувати мережу на верхньому шарі, але не доходьте до батареї.

Коли ви почали створювати доріжку від R4 до B1, зверніть увагу на панель Ручне Трасування на Менеджері проектів. Виберіть 2 Учбовий стиль у спадному списку Стиль переходу. Значення Auto означає, що програма сама вибере найбільш підходящий стиль переходу автоматично. Ми ж навмисне обрали неоптимальний 2 Учбовий стиль. Тепер створіть міжшаровий перехід та продовжіть трасування мережі до КМ B1:1 батареї у нижньому шарі.

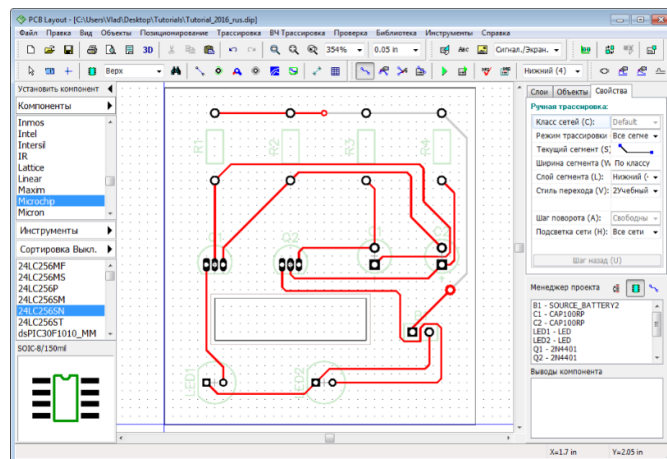


Рис. 48. Міжшаровий перехід та трасування мережі

Статичний міжшаровий перехід

Щоб встановити на платі статичний міжшаровий перехід, натисніть



також можна клацнути правою кнопкою по динамічному переходу і

вибрати Перетворити на статичний перехід, а далі виберіть які саме переходи перетворити: поточний, виділені лінії, виділені траси, або всі переходи. Як ми вже говорили раніше, статичні переходи в DipTrace – це практично контактні майданчики.

Якщо ви змінюєте параметри стилю переходів, то нові параметри застосовуються в тому числі і до міжшарових переходів цього стилю, що існують на платі.

Можна натиснути правою кнопкою миші на будь-якій мережі зі статичними або динамічними переходами і вибрати Міжшарові переходи з підменю - відкриється невелике діалогове вікно властивостей переходів. У ньому можна швидко змінити стиль, тип, розміри та застосувати параметри до поточного переходу, вибраних сегментів, трас або мереж. Якщо стилю переходів з такими параметрами не існує, DipTrace автоматично запропонує створити його.

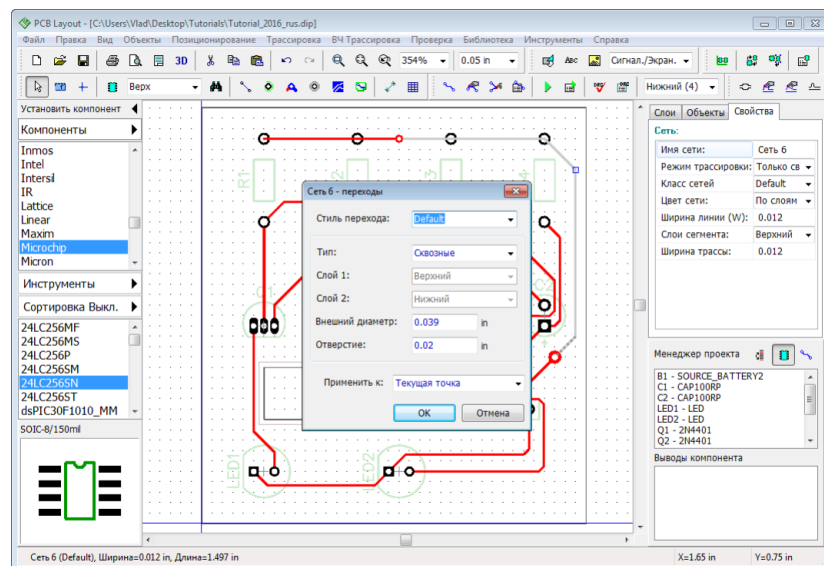


Рис. 49. Властивості міжшарових переходів

Статичний перехід можна перетворити назад на динамічний. Кладніть правою кнопкою на ньому і виберіть Перетворити на динамічний перехід із підменю, а також треба вказати яких саме переходів стосується

перетворення. Якщо ви встановили відразу статичний перехід, то перетворити його на динамічний не можна.

Тепер перетрасуйте плату в одному шарі, але не використовуйте інструмент Крок назад, адже створені в цій темі стилі переходів нам знадобляться в майбутньому.


2.6.6. Класи мереж


Усі мережі у програмі організовані за класами. Класи мереж дозволяють легко та швидко застосовувати численні параметри до мереж. Класи мереж підтримуються як при ручному так і при автоматичному трасуванні. Налаштовувати їх потрібно перед трасуванням плати.

Для того, щоб навчитися працювати з класами мереж, нам доведеться детрасувати всю плату. Зробити це нескладно, оберіть "Трасування/Детрасувати все" з головного меню. Тепер виберіть "Трасування/Класи мереж", щоб відкрити діалогове вікно Класи мереж. Ліворуч у списку всіх класів буде лише один клас Default, до якого належать всі мережі проекту за умовчанням. Ми додамо ще один клас, натиснувши кнопку Додати. Новий клас з'явився у списку. Натисніть на ньому лівою кнопкою миші та введіть його ім'я.

У закладці Властивості класу налаштуйте ширину трас та параметри проміжків. Ми хочемо створити клас, мережі якого будуть легко помітні та відмінні на платі, тому вкажемо ширину 0.03 дюйми з зазором 0.05 дюйми, це значно більше ніж для Default класу. Символ зірочки (*) у полях параметрів класу показує, що це значення є значенням за промовчанням. Якщо прибрати галочку Всі шари, можна встановити різні параметри ширини трас і зазорів мереж класу для різних шарів плати.

Кожному класу мереж можна призначити певні стилі міжшарових переходів.

Заберіть галочку Використовувати всі стилі та за допомогою кнопок << та >> переміщуйте стилі переходів між списком усіх стилів доступних у програмі та списком активних стилів даного класу мереж. Натисніть , щоб переглянути параметри кожного стилю переходів. Ми дозволили новоствореному класу мереж використовувати лише стилі переходів, які ми створили в попередній темі (рисунок 47).

Новий клас вже існує, але його існування не має сенсу, якщо до класу не належить жодна мережа. Давайте додамо мережі до цього класу. У правому нижньому куті діалогового вікна є список всіх мереж проекту, а в дужках вказується клас кожної мережі (Default в нашому випадку). Виберіть одну або кілька мереж, використовуючи клавішу Ctrl, і натисніть кнопку , щоб додати вибрані мережі до списку Мережі класу. У нашому випадку ми додамо до новоствореного Класу навчального лише одну мережу, яка з'єднає світлодіоди з батареєю (Мережа 7).

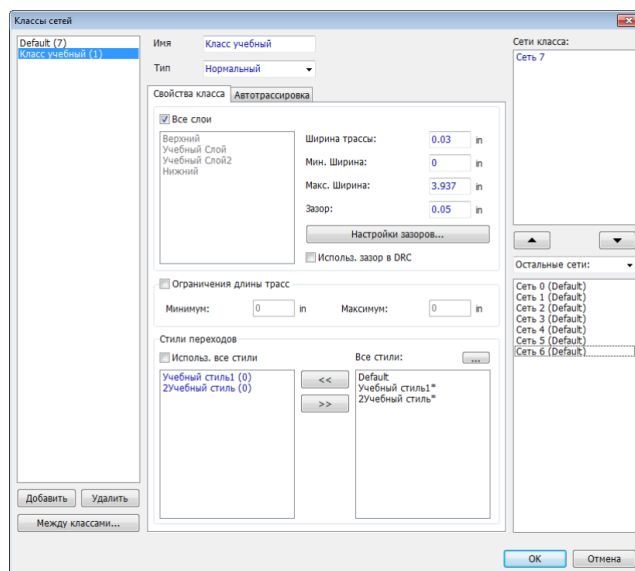


Рис. 50. Дозвіл новоствореному класу мереж використовувати лише стилі переходів, які ми створили в попередній темі

Якщо натиснути кнопку Налаштування зазорів, можна встановити різні значення відстаней між різними об'єктами плати. Натисніть Між класами, щоб вказати мінімальний проміжок між мережами різних класів. Цей параметр застосовується під час перевірки правил трасування і є більш пріоритетним для автоматичної перевірки, ніж зазори встановлені всередині класів. Перевірте, щоб не було галочки Використовувати зазор у DRC і натисніть ОК, щоб закрити діалогове вікно Класи мереж.

Автотрасування з класами мереж

На нашій платі одна мережа належить до класу Клас навчальний, інші – до Default. Виберіть "Трасування/Запуск" з головного меню щоб запустити автотрасувальник. В результаті ви повинні отримати плату схожу на рисунок нижче, з однією мережею яка ширша за інших.

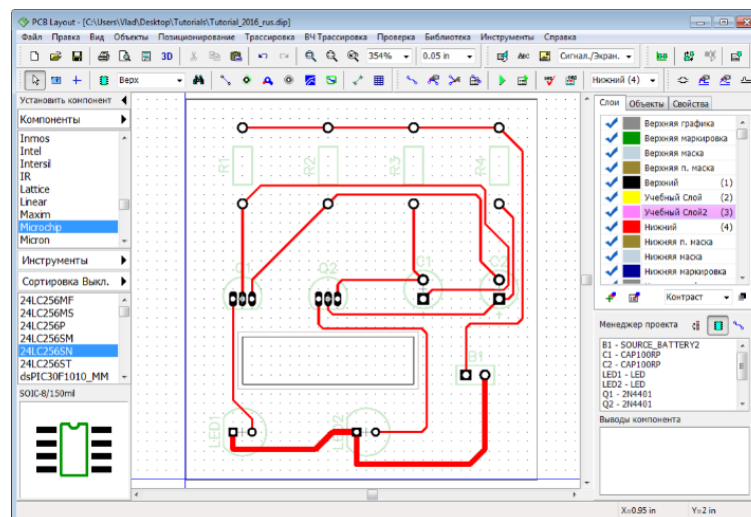



Рис. 51. Запуск автотрасувальника.

Тепер, будь ласка, детрасуйте всю плату ("Трасування / Детрасувати все") і перемістіть мережу з Класу Навчальний назад у Default (використовуйте кнопку ). Натисніть ОК, потім запустіть автотрасувальник. В результаті всі мережі на платі будуть трасовані

доріжками однієї ширини, при цьому клас Навчальний хоч і існує, але ніяк не впливає, адже до нього не призначено жодної мережі.

Ручне трасування з класами мереж

Як ми вже згадували, класи мереж використовуються не тільки при автоматичному, а й при ручному трасуванні. Переконайтеся, що активний нижній шар, у якому розташовуються всі доріжки нашого проекту. Тепер клацніть лівою кнопкою по якійсь мережі (наприклад, Мережа 6, яка з'єднує резистори з батареєю) і зверніть увагу на панель Менеджера проекту, там з'явилася панель Мережа. У спадному списку Клас мереж виберіть Клас навчальний, потім клацніть правою кнопкою по цій же мережі і виберіть Детрасувати мережу з підменю. Тепер натисніть клавішу ~ на клавіатурі, щоб перейти в режим ручного трасування, клацніть лівою кнопкою по першому контактному майданчику (R1:2) і створіть доріжку до наступного КМ (R2:2), клацнувши по ній. Ви відразу ж помітите, що доріжка набагато ширша за інші на платі.

Зверніть увагу, що програма хоч і дозволяє змінити клас для трасованої мережі, але для того, щоб параметри нового класу були застосовані, мережу необхідно детрасувати і трасувати заново.

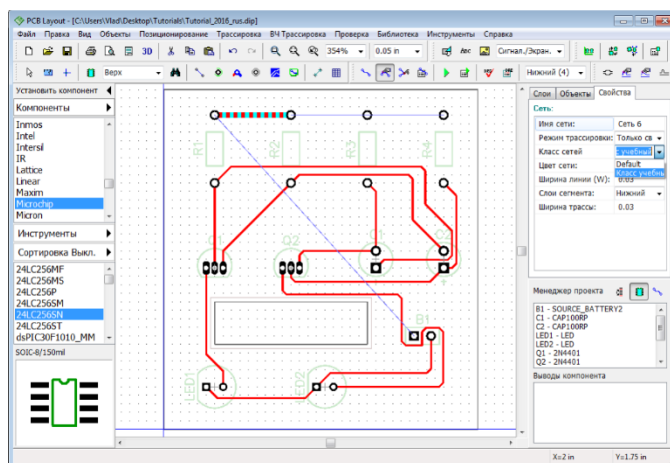


Рис. 52. Режим ручного трасування


Така різноманітність доріжок на цій платі зовсім не потрібна. Тому скористайтеся функцією Крок назад або видаліть всі класи мереж, стилі переходів і шари щоб отримати плату як після Автотрасування. Збережіть плату ("Файл/Зберегти" з головного меню).


2.6.7. Ручне трасування



Прості проекти можна трасувати автоматично, але складніші плати напевно вимагатимуть ручного трасування. У DipTrace можна використовувати ручне трасування разом з автоматичним на одній платі, це найбільш оптимальний варіант для великих складних проектів, адже важливі сигнальні мережі трасуються вручну, а решта — автотрасувальником.

Для нашого простого проекту ми прийняли як остаточний результат версію, створену за допомогою автотрасувальника, але для більш складних проектів результати роботи трасувальника часто доводиться коригувати.

Режими редагування

Ви вже повинні знати як малювати доріжки - "Трасування/Ручне трасування/Додати трасу" з головного меню або натисніть  потім клацніть лівою кнопкою по одному КМ, а потім по наступному КМ щоб створити доріжку. Переконайтеся, що вибрано нижній шар.

Редагування доріжок виглядає трохи інакше. Натисніть  або просто клацніть лівою кнопкою миші по доріжці мережі та перетягніть її, затиснувши ліву кнопку. Режим редагування трас дозволяє переміщати існуючі доріжки в залежності від кута, під яким вони розташовані (90 або 45 градусів). Прямі кути можна легко зрізати на 45 градусів, утворюючи

додаткову лінію траси. Якщо необхідно рухати доріжку без дотримання кутів, то скористайтеся режимом вільного редагування—"Трасування/Ручне Трасування / Вільне редагування" з головного меню або натиснувши . Змінійте розмір сітки, якщо це необхідно (скористайтеся спадним списком  на Стандартній панелі). Якщо потрібного розміру сітки у списку немає, додайте його, вибравши "Вигляд/Зміна стандартних" з головного меню. Сітку можна повністю вимкнути за допомогою "Вигляд/Сітка" у головному меню.

Якщо ви не впевнені в якому режимі зараз, просто кілька разів клацніть правою кнопкою на вільному місці в області побудови щоб вимкнути активний режим, скасувати вибір об'єкта і перейти в режим за замовчуванням.

Вузли доріжок

Будь-яка мережа на платі поділяється на лінії та траси. Траса - це доріжка між двома контактними майданчиками мережі, а лінія - доріжка між двома вузлами траси. Вузол це точка на трасі, яка поділяє трасу на лінії. Вузли відображаються як невеликі квадрати або червоні крапки, які відображаються на виділеній доріжці. Клацніть лівою кнопкою миші по будь-якій доріжці та натисніть N на клавіатурі або клацніть правою кнопкою по трасі і виберіть Розділити лінію з підменю, щоб додати вузол у вибраному місці, потім виберіть цей вузол і перетягніть за межі плати затиснувши ліву кнопку миші (вузол можна переміщувати тільки в режимі вільного редагування).

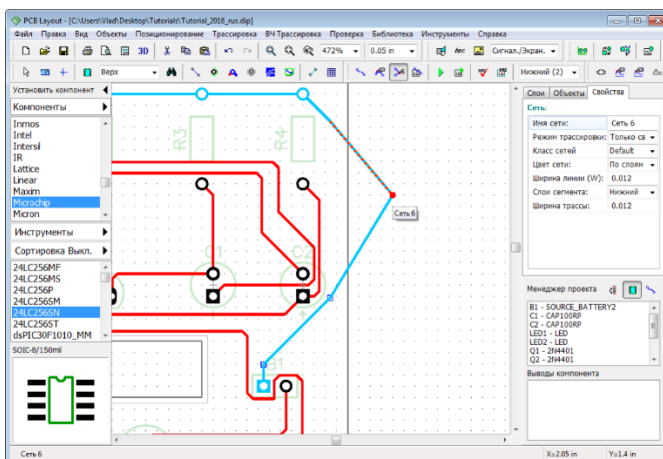


Рис. 53. Зображення вузлів та доріжок на трасі

Щоб видалити вузол, клацніть правою кнопкою на вузлі та виберіть Видалити вузол з підменю. У цьому ж підменю можна змінити ім'я мережі, її колір, ширину та багато іншого.

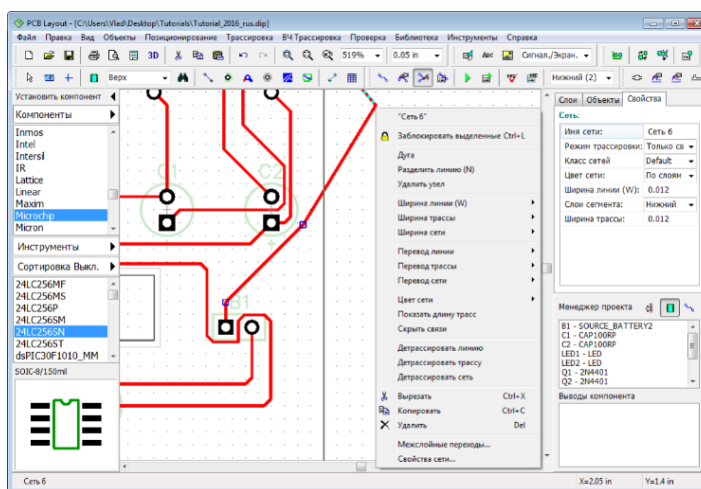


Рис. 54. Підменю для видалення вузла

Тільки ручне трасування може забезпечити необхідну якість проекту, але при цьому жодний інший вид трасування не створює стільки потенційних помилок. На щастя DipTrace має функцію перевірки правил трасування в реальному часі Real-time DRC, яка повідомляє про можливі проблеми ще до того, як ви зробите помилку.

Можна поміняти колір нижнього шару на фіолетовий, щоб плата виглядала трохи приємніше.

Перевірка реального часу Real-time DRC

Зараз просто включимо Real-time DRC не особливо заглиблюючись у деталі її роботи. Для цього виберіть "Перевірка/Параметри перевірки помилок" з головного меню, у діалоговому вікні, що з'явилося, поставте галочку Увімкнути Real-time DRC, потім виберіть вкладку Real-time DRC і поставте галочки навпроти пунктів Ручне трасування і Переміщення об'єктів (якщо ці пункти ще не позначені). Натисніть ОК, щоб закрити діалогове вікно Параметри DRC. Тепер виберіть будь-яку доріжку і почніть переміщати її навмисно близько до доріжки іншої мережі, щоб створити помилку. Червоні кружечки, що з'явилося в області побудови, повідомлять про помилку зазорів ще до того, як ви перемістите доріжку. Аналогічні кружечки повідомлятимуть про помилки, викликані переміщенням або редагуванням об'єктів, якщо відповідні опції включені у вкладці Real-time DRC.

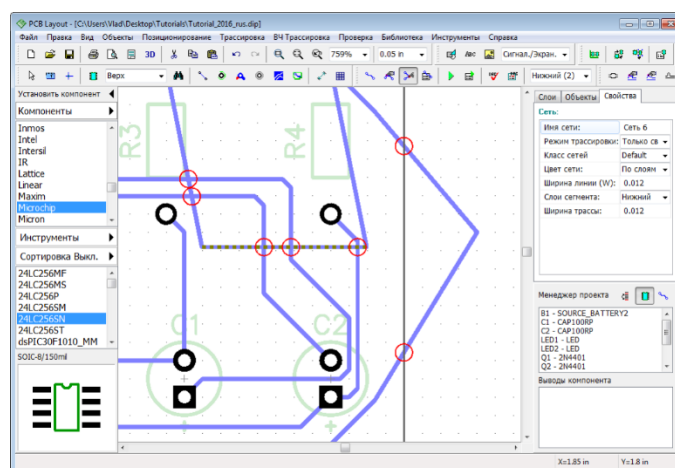


Рис. 55. Включення Real-time DRC

Поверніть запис до початкового місця.

Трасування у різних шарах

Зверніть увагу, що DipTrace міжшарові переходи автоматично створюються між двома сегментами однієї мережі, розташованими в різних шарах. Клацніть правою кнопкою по доріжці та виберіть Переклад лінії/Верхній з підменю, ви побачите, що лінія траси, яку ви вибрали, була переміщена у верхній шар плати, і з'явилися два міжшарові переходи на її кінцях. До речі, за допомогою клавіші Ctrl можна вибрати одразу кілька ліній доріжок та змінити їх параметри за один раз.

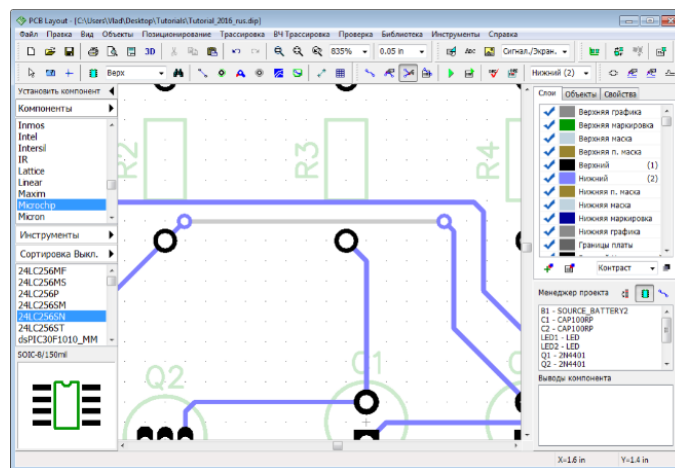



Рис. 56. Зміна параметрів доріжок

Тепер поверніть цю лінію назад на нижній шар (перейдіть на верхній шар і виберіть відповідну опцію з підменю доріжки).

Панель ручного трасування

Спочатку переконайтеся, що ви знаходитесь в нижньому шарі плати, далі клацніть правою кнопкою миші по мережі і виберіть Детрасувати мережу з підменю (у нашому випадку ми детрасували мережу між резисторами та батареєю). Тепер натисніть  на Панелі трасування, праворуч на панелі Менеджера проекту з'явилася панель Ручного трасування

з багатьма налаштуваннями. Не намагайтеся змінити клас існуючої мережі на панелі. Змінити клас у такому разі можна лише до трасування у діалогових вікнах Властивостей мережі та Класів мереж.

Зверніть увагу, що не можна змінити клас трасованої мережі на панелі Ручного трасування. Така зміна програма проігнорує та застосує новий клас лише до нової мережі. Пам'ятайте, що мережа існує незалежно від того, чи трасована вона чи ні.

На панелі Ручного Трасування (праворуч, над менеджером проекту) також можна вибрати один із чотирьох доступних режимів трасування: Усі Сегменти, Лінії/Кути, Дуги/Криві та Вибрати. Останній це режим користувача, де ви можете вибрати які саме сегменти включити, а які відключити. Використання режимів трасування значно прискорює роботу розробника плати.

Виберіть Режим трасування: Дуги/Криві, потім клацніть у полі Поточний сегмент і виберіть Дуга з трьох точок. Тепер клацніть лівою кнопкою миші по першому контактному майданчику мережі, яку ми детрасували (це перша точка дуги), після цього клацніть на будь-якій точці між двома контактними майданчиками, але вище ніж синя лінія зв'язку (це друга точка дуги, її вершина), як на ілюстрації.

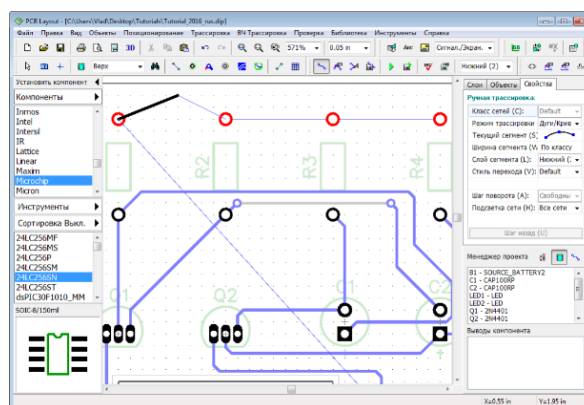


Рис. 57. Рисунок дуги

Тепер клацніть на другому контактному майданчику і з'явиться дуга.

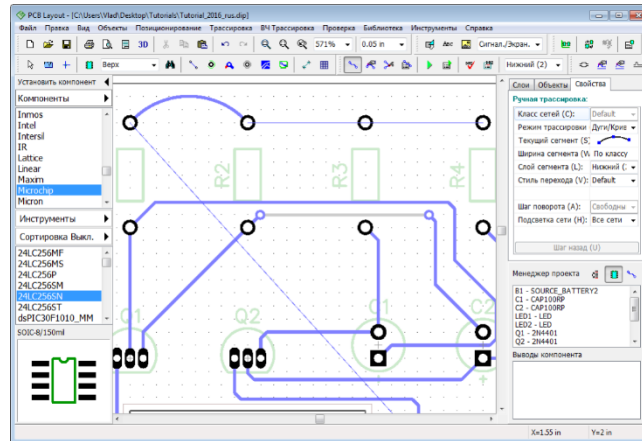


Рис. 58. З'явлення дуги

Під час ручного трасування можна налаштувати опцію підсвічування мережі. Ми виберемо, щоб DipTrace підсвічувала тільки поточну мережу, яку ми трасуємо, а доріжки інших мереж не виділялися взагалі, навіть якщо ми будемо їх торкатися в процесі трасування.

Тепер краще натисніть **Ctrl+Z** кілька разів, щоб повернути проект до стану, отриманого після автотрасування (без стилів переходів, класів мереж тощо).

2.6.8. Вимірювання довжини трас

Поточний проект не вимагає інформації про довжину доріжок, але якщо ви працюєте з високочастотними сигналами, цей параметр стає дуже важливим.

Насамперед інформація про довжину траси з'являється у вигляді підказки при наведенні курсору на трасу, це може бути корисно, але не достатньо для інтерактивного коригування довжини трас.

Тепер виділіть кілька трас (ви можете виділити прямокутну область або використовувати клавішу **Ctrl** для вибору кількох трас). Клацніть правою кнопкою по одній із трас і виберіть Показати довжину трас із підменю.

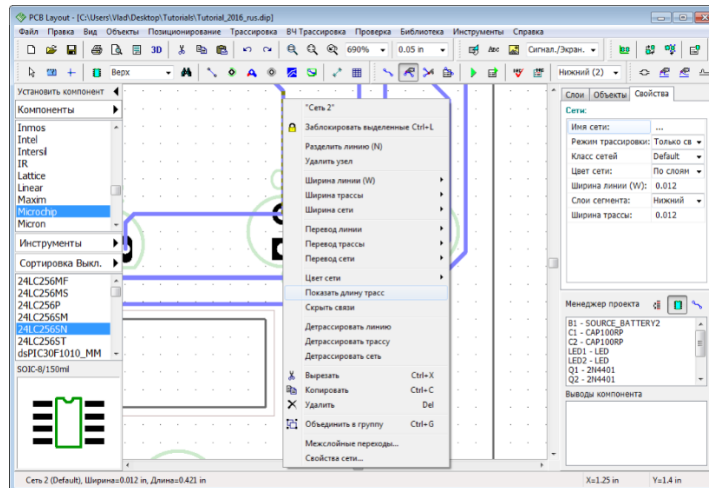


Рис. 59. Підменю довжина трас

Ви побачите невеликі прямокутні поля біля кожного виведення вибраних мереж, у яких вказана довжина трас, вони підсвічуються при наведенні мишею на вибрану трасу. Значення довжини відображається у поточних одиницях вимірювання (дюймах у нашому випадку) та змінюються під час редагування траси.

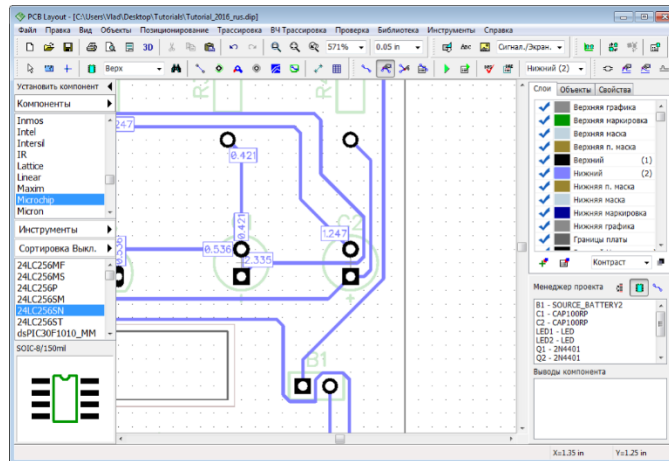


Рис. 60. Значення довжини трас

Тепер сховайте довжину трас, використовуючи підменю мережі (виберіть пункт знову) або натисніть Крок назад на панелі інструментів.

2.6.9. Вибір об'єктів за типом/шаром

Іноді потрібно виділити лише об'єкти одного шару або лише компоненти, лише мережі тощо. На цій платі це легко зробити за допомогою миші, проте на великих платах візуально знайти та виділити необхідне дуже складно. Виберіть "Редагувати/Редагувати виділення" з головного меню.

Для початку виділимо всі компоненти на платі, для цього просто поставте галочку Компоненти та натисніть ОК. Це дуже простий приклад, зазвичай необхідно виділити об'єкти більш вибірково.

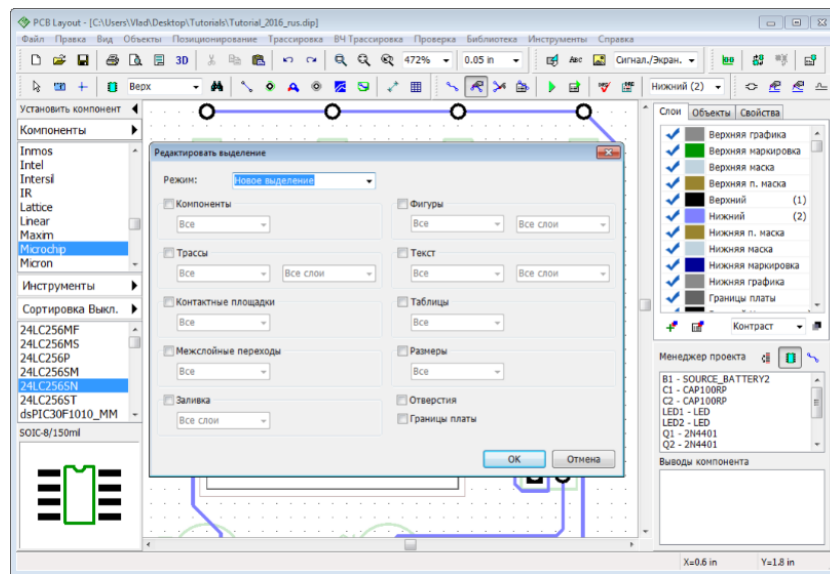




Рис. 61. Редагування мережі.

Спробуємо виділити лише непідключені міжшарові переходи і лише у деякій області плати. Перш за все скасуйте виділення компонентів, клацніть правою кнопкою десь на порожньому місці. Тепер додайте кілька міжшарових переходів у різних місцях плати за допомогою кнопки  і приєднайте лише деякі з них до мереж за допомогою інструмента . Клікайте по міжшаровому переходу, а потім по контактному майданчику, щоб створити мережу між ними. Тепер вкажіть область виділення (так що деякі як підключені так і непідключені переходи залишилися за її межами).

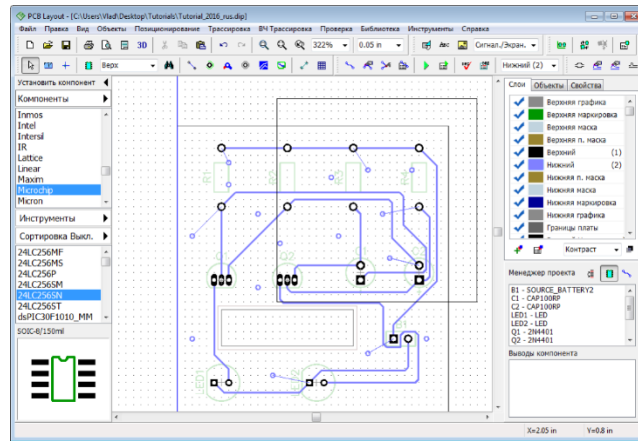


Рис. 62. Мережа міжшарового переходу і контактний майданчик.

Всі об'єкти в заданій області виділені, але хочемо виділити лише непідключені міжшарові переходи. Тому відкрийте "Редагувати / Редагувати виділення" та змініть режим на Залишити виділеним. Виберіть лише Міжшарові переходи (всі інші об'єкти мають бути невибраними), і Неприєднані з спадного меню навпроти Міжшарових переходів.

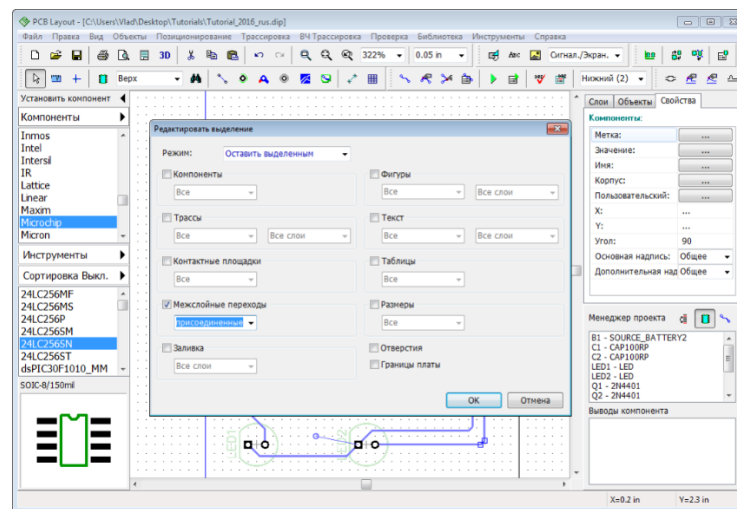


Рис. 63. Спадне меню навпроти Міжшарових переходів.

Натисніть ОК і лише непідключені перехідні отвори виявляться вибраними. Наступним кроком буде підключення переходів до мережі. Клацніть правою кнопкою по одному з вибраних міжшарових переходів,

коли він буде підсвічений і виберіть Додати до мережі/Вибрані переходи. Зазвичай у такий спосіб використовують для підключення мідних заливок мереж землі.

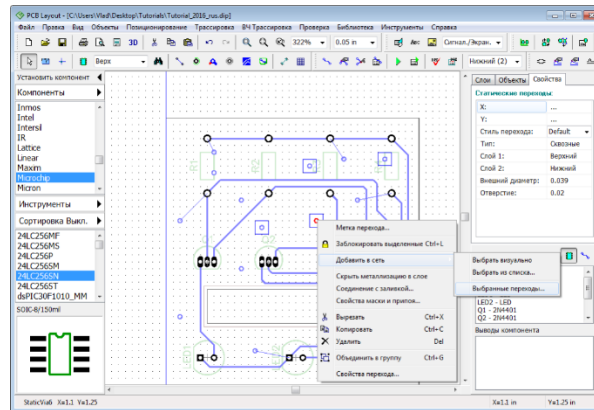


Рис. 64. Підключення міжшарових переходів до мережі

Виберіть будь-яку мережу зі списку та натисніть ОК. Зверніть увагу, що лише непідключені перехідні отвори будуть підключені до вибраної мережі.

Тепер, коли ми розібралися з цією функцією, видаліть усі міжшарові переходи з плати, щоб повернутись до попереднього стану проекту.

2.6.10. Розміщення тексту та графічних елементів

За допомогою DipTrace можна додати на плату логотип, текст або малюнок у форматі bmp або jpeg і експортувати їх у Gerber або DXF.

За допомогою DipTrace на плату можна додавати текст, фігури, а також логотипи у форматах BMP, DXF або JPEG, які експортуються до "Гербер" файлів. Додамо текст на плату. Перш за все виберіть шар, на якому необхідно розмістити текст або малюнок (ми виберемо Верхнє Маркування), вибрати шар можна на панелі Шари або в спадному списку на Панелі малювання.

Якщо на панелі малювання вибрати Сигнал/Екран, то графічні елементи з'являться на поточному сигнальному або екранному шарі, який вибрано за допомогою спадаючого списку на Панелі трасування.

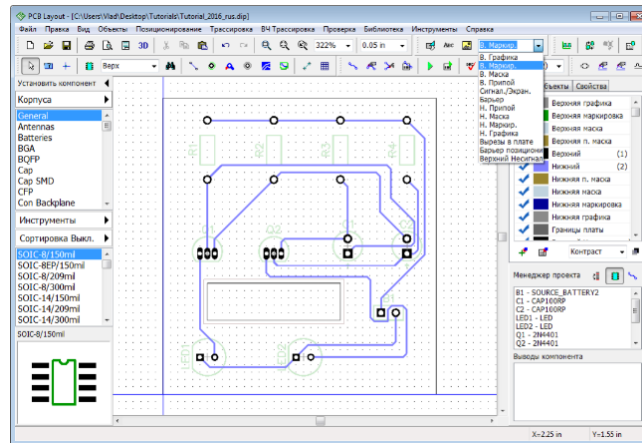


Рис. 65. Поточний сигнальний або екранний шар плати

Потрібно зробити плату трохи більшою, щоб з'явилося місце для великих букв. Перемістіть курсор до верхнього лівого кута плати і перетягніть цю точку вгору. Клікати потрібно не по лінії межі плати, а саме по точці. Пам'ятайте, що вдало вибраний розмір сітки значно спрощує поставлене завдання.

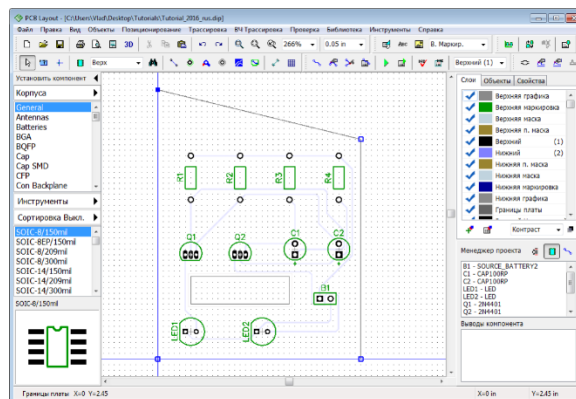



Рис. 66. Спосіб збільшення розміру плати за допомогою перетягування точки верхнього лівого кута вгору

Тепер посуньте правий кут аналогічно лівому. Щоб перемістити межі плати, просто перетягніть їх, затиснувши ліву кнопку миші на лінії, а не на точці.

Пам'ятайте, якщо ви не можете виділити потрібні об'єкти або редагувати їх, можливо, ви не в режимі за промовчанням. Правий клік по порожньому місцю в області побудови поверне вас у цей режим.

Об'єкти, розміщені в неактивних сигнальних/екранних шарах, не можуть бути редаговані. Тому звертайте увагу на те, в якому шарі ви зараз працюєте.

Виберіть кнопку Текст  на панелі малювання, потім клацніть лівою кнопкою там, де бажаєте розмістити текст, введіть текст і натисніть Enter.

Використовуйте мишу для переміщення тексту на платі доки не знайдете оптимальне положення, не забувайте, що можна змінювати розмір сітки. Коли текстовий об'єкт вибрано, на панелі Менеджера проекту у вкладці Властивості можна змінити налаштування шрифту, тип (векторний або TrueType) та шар. Звичайно рекомендують використовувати векторні шрифти, оскільки вони безпосередньо експортуються до "гербер". Але в разі потреби використовувати кирилицю та спецсимволи, без TrueType не обійтися. Шрифти такого типу експортуються до "гербер" у вигляді маленьких ліній (їх генерує спеціальний алгоритм розпізнавання).

Деякі виробники не приймають плати з текстами у TrueType шрифтах.

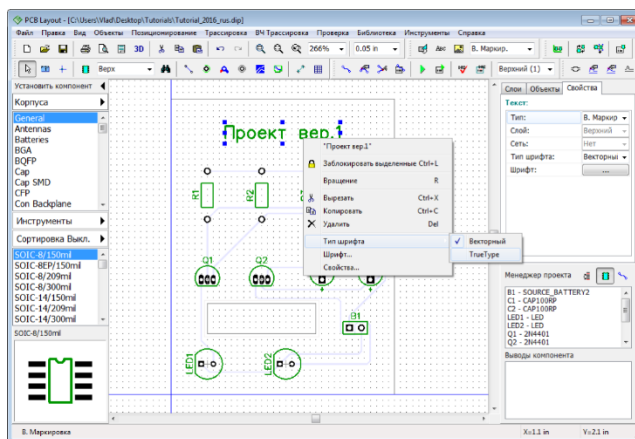


Рис. 67. Зміна налаштування шрифту


Ви можете змінити шар для графічних елементів та текстів у будь-який час. Для цього виберіть об'єкти, клацніть правою кнопкою по одному з них і виберіть Властивості з підменю. У діалоговому вікні Властивості фігури змініть поля Тип і Шар, щоб перемістити вибрані об'єкти в шар маски, припою, бар'єру трасування, вирізів у платі тощо.

Якщо ви хочете змінити ім'я та розмір шрифту за промовчанням, виберіть "Об'єкти/Налаштування малювання/Шрифт" з головного меню. Тип шрифту можна вибрати за допомогою "Об'єкти/Налаштування малювання/Тип шрифту".

2.6.11. Створення заливки

Мідні заливки використовуються на платах як низькоімпедансний провідник для мереж землі та живлення. Найчастіше заливки розташовуються на внутрішніх шарах плати, але можуть бути і верхньому або нижньому шарі.

Як можна створити мідну заливку.

DipTrace дозволяє створювати мідну заливку для плат будь-якого розміру. Спочатку встановіть розмір сітки 0.025 дюйма. Виберіть нижній шар, потім "Об'єкти/Заливання порожніх областей" у головному меню або натисніть кнопку  Панелі об'єктів. Тепер намалуйте полігон заливки на платі, клацнувши лівою кнопкою для створення вузлових точок. Нам потрібно створити заливку, яка покриє всю поверхню плати. Можна намалювати її вручну, але це досить довго, або створити спочатку полігон будь-якої форми (наприклад, як на малюнку нижче) і потім, за допомогою спеціальної функції По кордонах плати, покрити всю поверхню.

Намалуйте полігон довільної форми, клацніть правою кнопкою та виберіть Введення з підменю, або просто натисніть Enter для завершення створення полігону. З'явиться діалогове вікно Створення заливки.

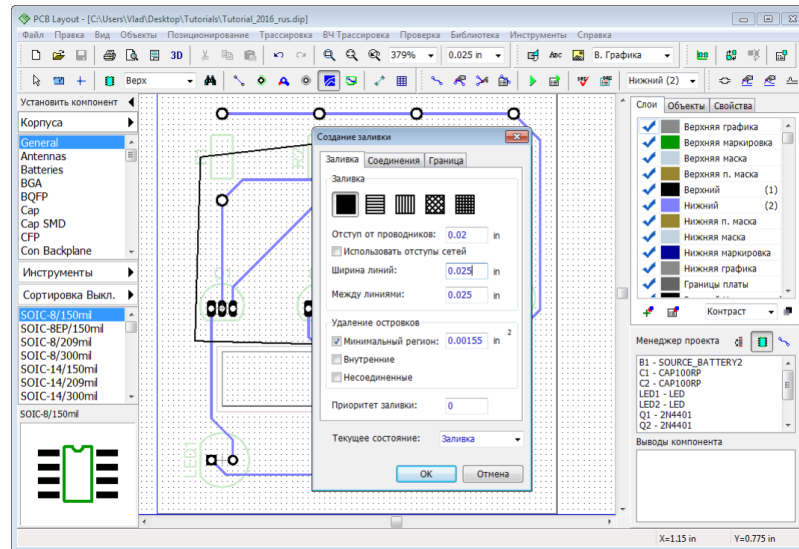


Рис. 68. Діалогове вікно Створення заливки.

У діалоговому вікні створення заливки є три закладки: Заливка, З'єднання та Кордон.

Заливка — Виберіть тип заливки, встановити зазори, ширину ліній, зазори між лініями, опції видалення острівців, параметри пріоритету та стану (заливка або її межі). Параметр зазору класу мереж можна застосувати як зазор заливки за допомогою відповідної галочки. DipTrace має безсіткову систему створення заливки. Область металізації формується з ліній фіксованої ширини.

Параметр Між лініями використовується, якщо вибрано заливку нецільного типу. З'єднання—підключити заливку до будь-якої мережі проекту, встановити типи термобар'єрів для компонентів поверхневого монтажу та монтажу в отвори.

Параметр Приховувати зв'язки може автоматично показувати сині лінії зв'язків, лише якщо немає електричного контакту, або інше.

Кордон - Встановити або змінити точки кордону полігону заливки. Опція По межах плати допомагає економити час, створюючи полігон заливки на всю плату (з огляду на необхідні зазори). Якщо активна опція Зберегти прив'язку, то полігон заливки змінюватиметься при зміні меж плати.

Треба поставити галочку По меж плати, інші параметри вкажіть як на рисунку 68 і натисніть ОК щоб застосувати їх і створити заливку.

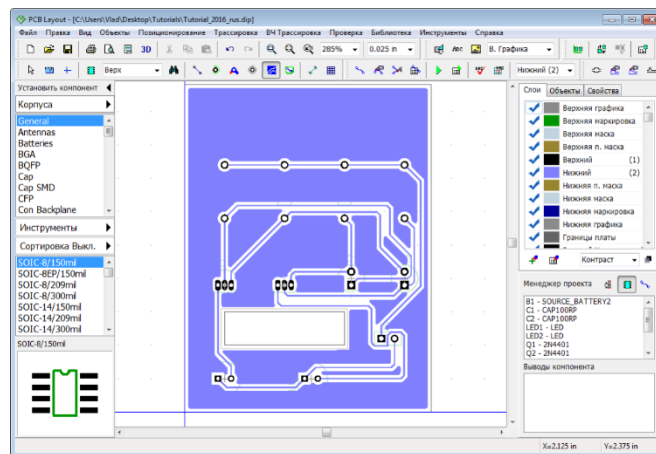


Рис. 69. Створення заливки

Заливка може бути у двох станах: Заливання або Межі. Другий режим дуже зручний для редагування об'єктів у шарі із заливкою, адже тоді відображаються лише межі заливки.

Щоб змінити стан заливки, її оновлення та відкрити діалогове вікно властивостей, клацніть правою кнопкою по межі заливки (а не по її тілу) і виберіть Стан із підменю. Якщо заливка вже вибрана, її параметри можна змінювати на панелі властивостей у правому верхньому кутку екрана, замість списку шарів.

Плата, яку розглядаємо, має заливку, але її не підключено. Зараз можна попрактикуватись і з'єднаємо дві різні мережі за допомогою двох заливок на одному шарі плати.

Підключення мідних заливок

Треба детрасувати одну з мереж на платі (наприклад, Мережа 6, яка з'єднує резистори з батареєю). Для цього клацніть правою кнопкою по трасі та виберіть Детрасувати мережу. Запам'ятайте її ім'я (ми детрасували Мережа

б). Тепер клацніть правою кнопкою межі заливки, виберіть Властивості, перейдіть на вкладку З'єднання, виберіть З'єднати з мережею: Мережа 6. Тепер встановіть тип термобар'єрів (Тип з'єднання: 4 Spoke). SMD-компонентів на платі немає, тому ставити для них інший тип безглуздо. Натисніть ОК, щоб оновити заливку.

Зверніть увагу, для доступу до діалогового вікна властивостей заливки потрібно обов'язково клацати по межі заливки (а не по межі плати або по тілу заливки).

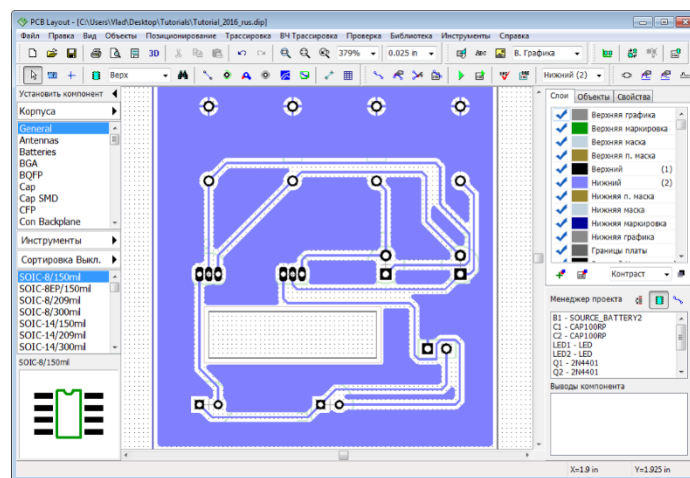


Рис. 70. Діалогове вікно властивостей заливки

Ви побачите, що сині лінії з'єднання вибраної мережі приховані, а контактні майданчики мережі приєднані до заливки за допомогою вибраних термобар'єрів.

DipTrace дозволяє розміщувати на одному шарі кілька заливок та підключати їх до різних мереж проекту. Виберіть другу мережу для підключення через заливку, наприклад, мережа яка з'єднує виводи R3:1, C1:2 і Q2:3, у нашому випадку це Мережа 2. Детрасуйте обрану мережу, потім клацніть правою кнопкою по краю заливки і відкрийте діалогове вікно Властивості заливки. У цьому вікні встановіть Поточний стан: Кордони, але не закривайте його поки що.

Пріоритет заливок

Тепер давайте встановимо рівень пріоритету для заливки. У вкладці Заливка в полі Пріоритет заливки введіть значення 1. Можна ввести будь-яку цифру, все залежить від кількості заливок, що планується на одному шарі. Чим нижче значення, тим більший пріоритет цієї заливки; тобто заливка зі значенням 0 матиме більш високий пріоритет ніж заливка, у якої це значення 1.

Зверніть увагу, що за промовчанням у всіх заливок стоїть значення 0. Якщо заливки з однаковим пріоритетом перетинаються, то Перевірка проекту повідомить про численні помилки.

Натисніть ОК, щоб застосувати нові установки. Тепер намалюйте другу заливку так, щоб контактні майданчики детрасованої мережі (Мережа 2) були з'єднані як на рисунку нижче.

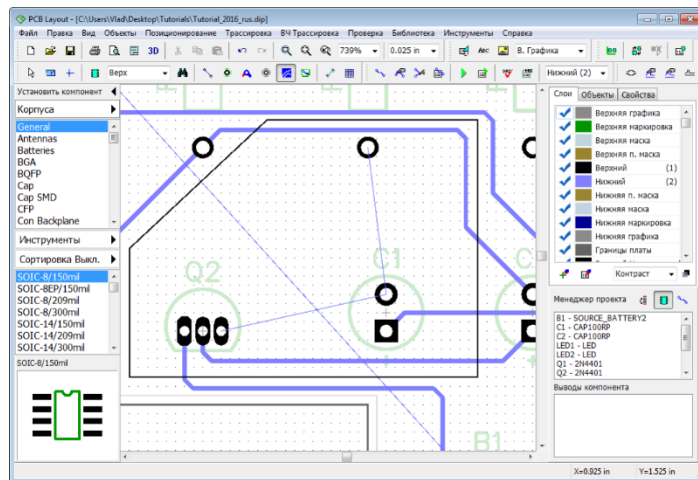


Рис. 71. Друга заливка

Завершіть створення полігону, натиснувши Enter. У діалоговому вікні властивостей заливки, що з'явилося, у вкладці З'єднання, підключіть заливку до детрасованої мережі (Мережа 2), виберіть тип підключення 4 spoke і натисніть ОК щоб нова заливка з'явилася на платі.

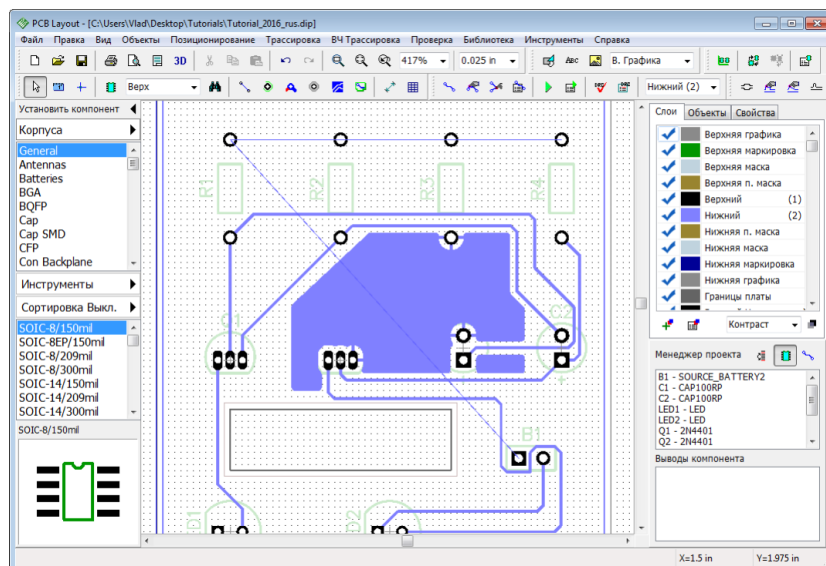


Рис. 72. Нова заливка

Тепер виберіть першу заливку. Клацніть правою кнопкою на її межі та в підменю виберіть Стан, а потім Заливка. Ви побачите, що тепер на даному шарі дві заливки, що з'єднують дві різні мережі. Велика заливка, яка з'єднує Мережу 6, змінила свою форму для другої заливки, оскільки для першої встановлено нижчий рівень пріоритету.

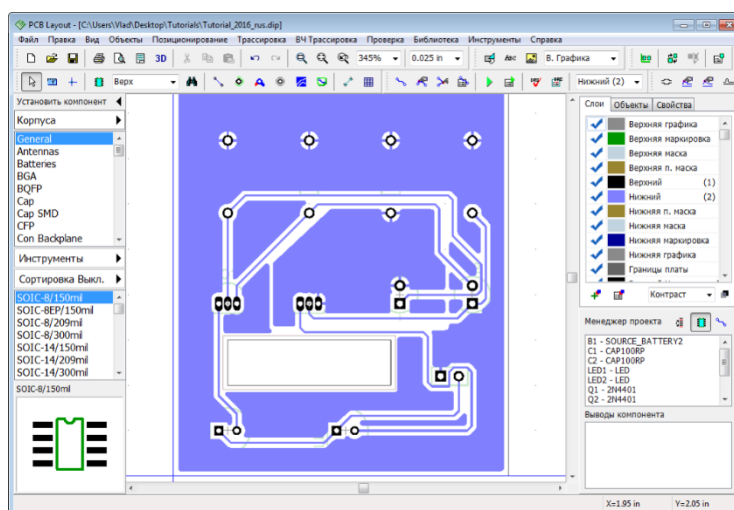


Рис. 73. Велика заливка, яка з'єднує Мережу 6

Тип термобар'єру

Тепер ви знаєте як встановлювати термобар'єри для всіх контактних майданчиків мережі у властивостях заливки, але іноді необхідно, щоб окремі контактні майданчики підключалися до заливки по своєму. Такі ситуації можуть виникати, коли, наприклад, один із виводів мережі фізично не може бути підключений за допомогою стандартного термобар'єра заливки.

DipTrace дозволяє будь-якому виводу мати власний тип підключення. Для прикладу ми з'єднаємо один з виводів резистора R2 із заливкою без термобар'єра, тобто встановимо суцільне з'єднання. Наведіть мишу на вивід (щоб він підсвітився), клацніть правою кнопкою і виберіть З'єднання з заливкою з підменю. У діалоговому вікні клацніть Використовувати приватні налаштування та виберіть тип підключення Суцільне.

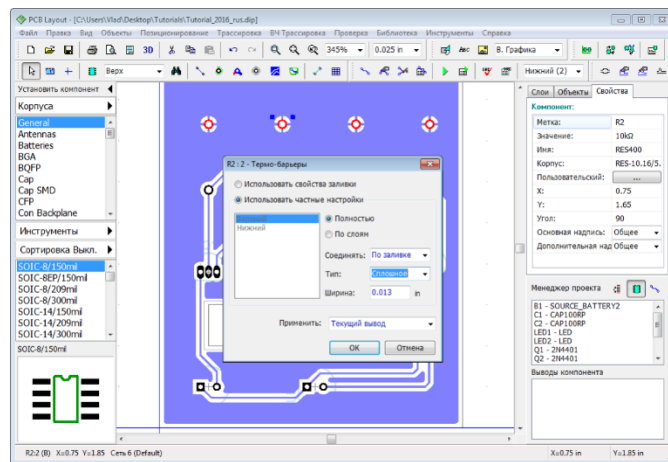


Рис. 74. З'єднання одного з виводів резистора R2 із заливкою без термобар'єра

Після зміни параметрів термального підключення клацніть ОК, щоб зміни набули чинності, а діалогове вікно закрилося. Потім клацніть правою кнопкою контур заливки та виберіть Оновити в підменю. Тепер вивід R2:В підключено до заливки суцільним з'єднанням.

Зверніть увагу, чи можна оновлювати всі заливки плати автоматично, для цього в пункті Об'єкти головного меню виберіть Оновити всі заливки.

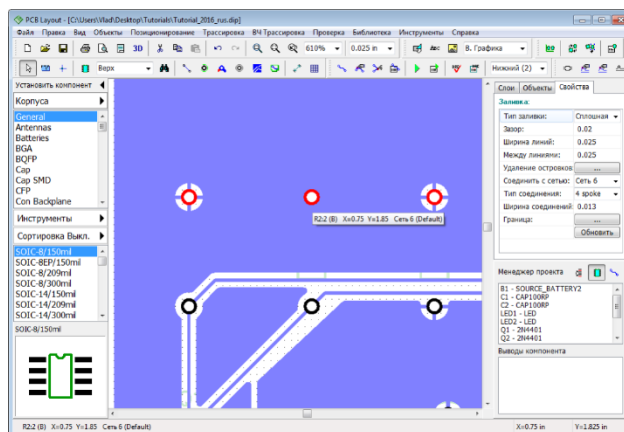


Рис. 75. Оновлення всіх заливок

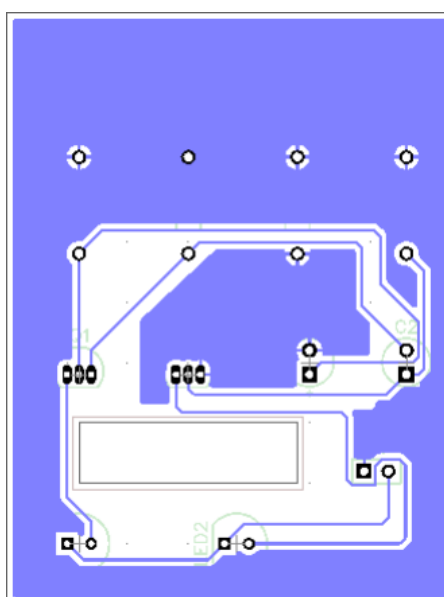


Рис. 76. Вид оновлених заливок

Заливка може бути використана в екранних шарах для мереж живлення та землі. У цьому випадку SMD-виводи повинні бути з'єднані із заливкою за допомогою міжшарових переходів. Переходи можуть бути створені автоматично за допомогою функції створення переходів або автотрасувальником.

На платі утворилося кілька невідключених острівців заливок. Їх можна прибрати автоматично. Для цього необхідно відкрити діалогове вікно Властивості заливки (правий клік по межі заливки, Властивості) та у вкладці Заливка, у розділі Видалення острівців поставити галочку Нез'єднані. Натисніть кнопку ОК. Збережіть плату.

2.6.12. Блокування об'єктів

Іноді необхідно заблокувати деякі об'єкти на платі, щоб запобігти їх випадковому переміщенню або зміні властивостей. Будь ласка, виберіть кілька об'єктів проекту, клацніть правою кнопкою по одному з них та виберіть Заблокувати виділені у підменю, або натисніть Ctrl+L.

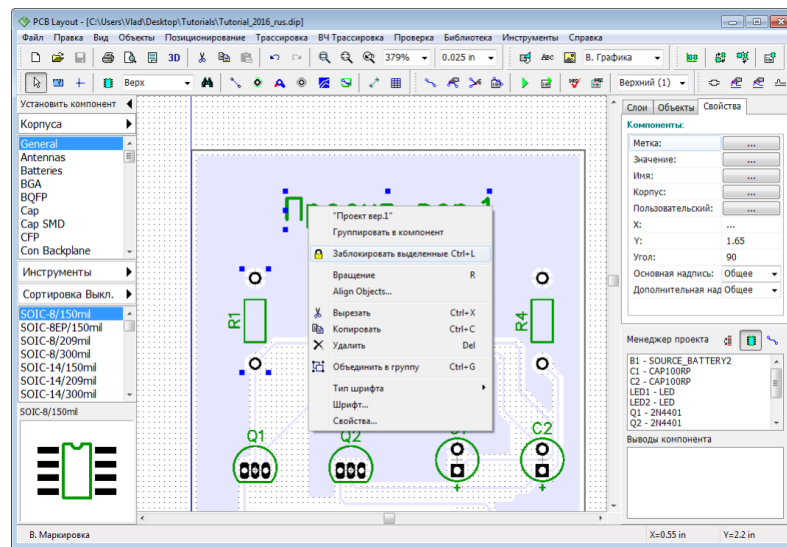


Рис. 77. Приклад блокування об'єктів

Зауважте, що заблоковані об'єкти підсвічуються менш контрастно, ніж незаблоковані. Підказка для таких об'єктів містить текст "Заблоковано".

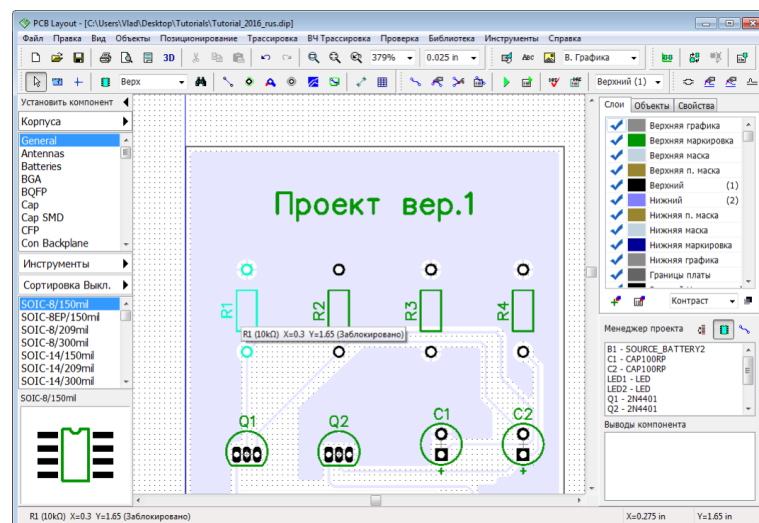


Рис. 78. Підказка для заблокованих об'єктів

Ви не можете переміщувати, змінювати розміри або редагувати заблоковані об'єкти.

Тепер розблокуйте всі об'єкти: виберіть все, натиснувши Ctrl+A та розблокуйте, "Правка/Розблокувати виділені" з головного меню, або Ctrl+Alt+L.

Також можна блокувати компоненти після встановлення їх на верхньому або нижньому шарі. Виберіть "Редагування/Блокування компонентів/Верхні" з головного меню для блокування компонентів на верхньому шарі. Використовуючи блокування, можна трасувати плату і не турбуватися, що деякі важливі об'єкти можуть бути випадково переміщені. Щоб розблокувати компоненти на верхньому шарі, виберіть той самий пункт головного меню ("Правка/Блокування компонентів/Верхні") ще раз.

2.6.13. Перевірка проекту

DipTrace має кілька функцій для перевірки плати проекту. Усі опції об'єднані в пункті головного меню Перевірка: Перевірка помилок трасування (DRC), Перевірка цілісності мереж та Порівняння плати зі схемою.

Перевірка помилок трасування (DRC)

Перевірка помилок DRC є однією з найважливіших. Вона перевіряє відстані між різними об'єктами на платі, дозволені розміри об'єктів та параметри диференціальних пар, щоб вони відповідали правилам трасування. DRC працює у двох режимах "Real-Time" (У реальному часі) та "Звичайний". Real-time DRC здійснює перевірку всіх дій користувача на ходу в реальному часі. Наприклад, коли ви проводите трасу або переміщуєте якийсь компонент надто близько до іншого об'єкта на платі (залиття, трасі, переході, компоненті тощо). Real-time DRC за допомогою червоних кіл відзначає в

області побудови місця, де зазор стає менше дозволеного. Якщо Real-time DRC повністю вимкнена, то жодних повідомлень про помилки ви не побачите доти, доки не запустите DRC перевірку у звичайному режимі, вибравши "Перевірка/Показати помилки трасування" з головного меню або натиснувши F9. В результаті з'явиться список помилок або повідомлення про їх відсутність. Швидше за все, на нашій простій платі помилок немає.

Щоб встановити правила перевірки, тобто вводити еталонні значення для перевірки DRC, з головного меню виберіть Перевірка, а потім Параметри перевірки помилок.

У діалоговому вікні чотири вкладки: Відстань, Розміри, Real-time DRC та Додатково.

Відстань — Встановіть допустимі проміжки між різними типами об'єктів.

Якщо прибрати галочку Всі Шари, з'явиться можливість встановлювати різні параметри зазорів по шарах. Просто вибирайте шар зі списку та вводьте потрібне значення.

Зверніть увагу, що параметри зазорів, що встановлюються в цьому вікні, не застосовуються до мереж, у яких у діалоговому вікні Класів мереж включена властивість Використовувати зазор у DRC або активні зазори Між класами.

Розміри – встановлення максимальних та мінімальних дозволених розмірів для деяких об'єктів на різних шарах.

Real-time DRC – налаштування Real-time DRC. Перевірку в реальному часі можна увімкнути/вимкнути для деяких дій, наприклад, для ручного трасування, створення/редагування або переміщення об'єктів. Якщо усунути галочку Включити Real-time DRC у верхній частині діалогового вікна, то перевірка буде відбуватися тільки якщо ви запустите її вручну.

Додатково - додаткові опції перевірки.

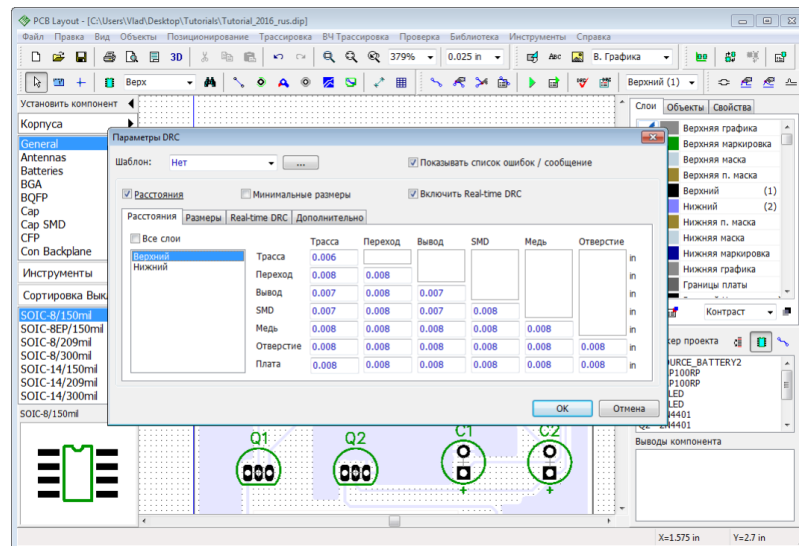



Рис. 79. Вікно перевірки помилок трасування (DRC)

Для нашого проекту ми рекомендуємо забрати галочки Розміри та Включити Real-time DRC. Можете залишити параметри проміжків як на рисунку вище або дізнатися технічні можливості конкретного виробника плат.

Перейдіть на вкладку Додатково та виберіть Опції Перевірити правила між класами, Перевіряти заливку, Перевіряти перемички та Шовкографію поверх майданчиків. Натисніть ОК, щоб закрити діалогове вікно Параметри DRC

Тепер давайте подивимося, як працює перевірка правил проекту, запущена вручну. Ми рекомендуємо завжди запускати DRC вручну перед експортуванням "гербер" файлів, навіть якщо ви розробляли проект із включеною Real-time DRC, так буде менше шансів зробити помилку.

На нашій платі помилок немає, тож їх доведеться створити спеціально. Перейдіть у нижній шар (виберіть Нижній на панелі трасування, або просто натисніть B), вимкніть сітку (гаряча клавіша F11) і перемістіть одну або кілька ліній трас, щоб вони торкалися заливки. Тепер запусіть перевірку

DRC, натиснувши кнопку  на Панелі трасування, або гарячу клавішу F9.

З'явиться вікно зі списком знайдених помилок (у разі помилка одна).

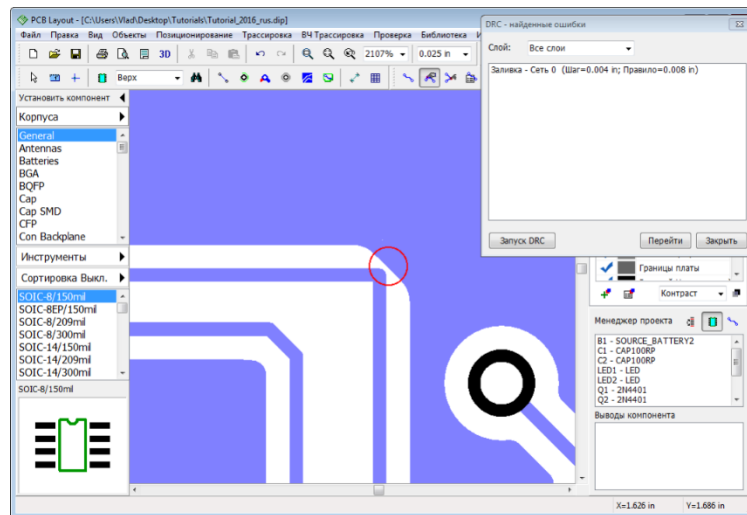


Рис. 80. Помилка трасування

Кожна помилка у списку має пояснення. Клацніть лівою кнопкою миші помилково в списку, а потім натисніть кнопку **Перейти**, або просто подвійний клік на помилці і програма автоматично покаже місце де відбулася помилка. Червоні кільця це помилки проміжків, а маджентові-порушення розмірів. За допомогою спадаючого списку **Шар** можна увімкнути відображення помилок по шарах, що дуже зручно для багатошарових плат. У нашому випадку просто поверніть доріжку на попереднє місце та натисніть кнопку **Запуск DRC**. На цей раз помилок не виявлено.

Перевірка цілісності мереж

Ця функція перевіряє, чи всі мережі проекту правильно з'єднані. Для нашої плати це не дуже актуально, адже подібний огріх легко виявити візуально, але для великих складних плат така перевірка потрібна. Вона виводить список нез'єднаних чи замкнених мереж. Виберіть "Перевірка/Перевірка цілісності мереж" з головного меню, потім виберіть які об'єкти можна вважати провідниками та натисніть **ОК**. Ви, напевно, побачите повідомлення, що помилок не знайдено. Ми розглянемо цю перевірку в одній із наступних тем цього підручника.

Порівняння зі схемою

Ця опція DriTrace перевіряє відповідність проекту плати до вихідного файлу Схемотехніки. Функція показує помилки у структурі мереж та невідомі компоненти. Виберіть "Перевірка/Порівняння зі Схемою" з головного меню, потім виберіть файл із вихідною схемою та натисніть ОК. Якщо структура проекту не змінювалася, то з'явиться повідомлення про те, що помилок не знайдено, якщо змінювалася - список невідповідностей. Усі функції перевірки працюють за схожим, інтуїтивно-зрозумілим принципом. Вибери помилку у списку щоб побачити де на платі вона трапилася та виправи її.

2.6.14. Інформація про плату

Що робити, якщо потрібно порахувати кількість виводів чи площу плати? Виберіть "Файл/Інформація про плату" з головного меню.

Також можна дізнатися кількість отворів різного діаметра та показати їх на платі. Це може бути корисно для оптимізації проекту, щоб використовувати меншу кількість інструментів та зменшити ціну виробництва.

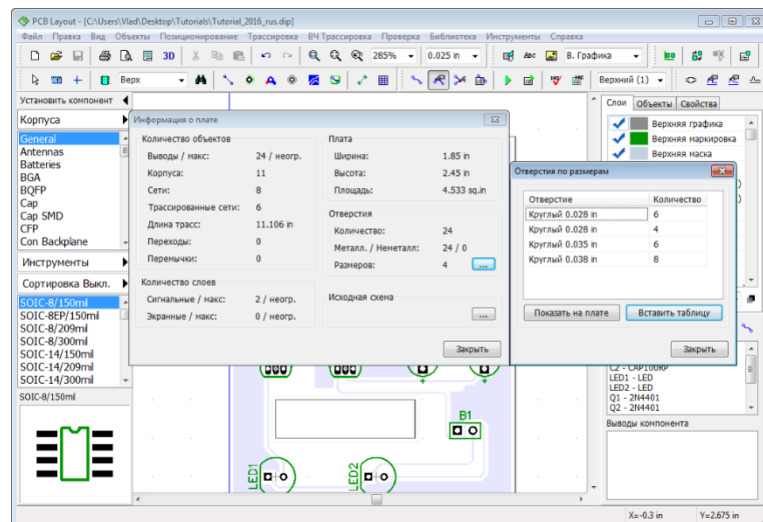



Рис. 81. Інформація щодо кількості отворів різного діаметра на платі

Ви можете побачити кількість різних об'єктів, шари, розміри плати, розміри отворів і так далі. Щоб відкрити таблицю Отвори за розмірами, натисніть кнопку  в розділі Отвори. Щоб показати отвори вибраного розміру на платі, натисніть Показати на платі.

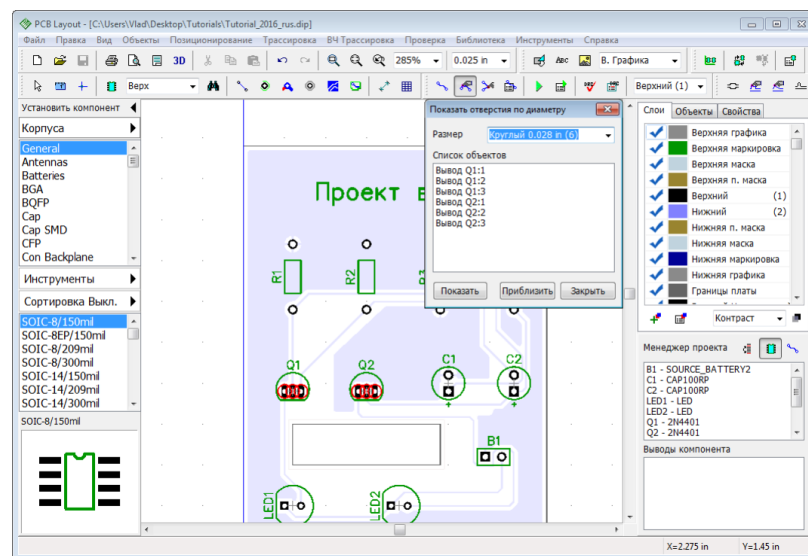


Рис. 82. Діалогове вікно Показати на платі монтажні отвори

Закрийте це діалогове вікно та збережіть плату.

2.6.15. Панелізація

За допомогою DipTrace можна об'єднувати кілька однакових чи різних плат на одній панелі.

Панелізація проекту

Якщо потрібно кілька копій однієї і тієї ж плати, виберіть "Правка/Панелізація" з головного меню.

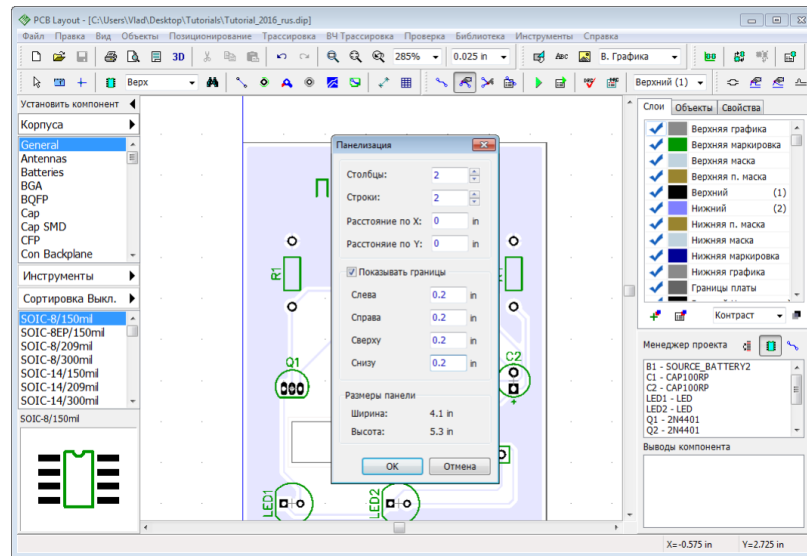


Рис. 83. Вікно "Правка/Панелізація" в головному меню.

Ми зробимо 4 копії плати у вигляді матриці 2 на 2. Відстань між платами дорівнюватиме нулю. Поставте галочку Показувати межі, щоб відобразити межі плати в області побудови. Встановіть зазор між панеллю та межами плати 0,2 дюйми з усіх боків. Тепер натисніть ОК.

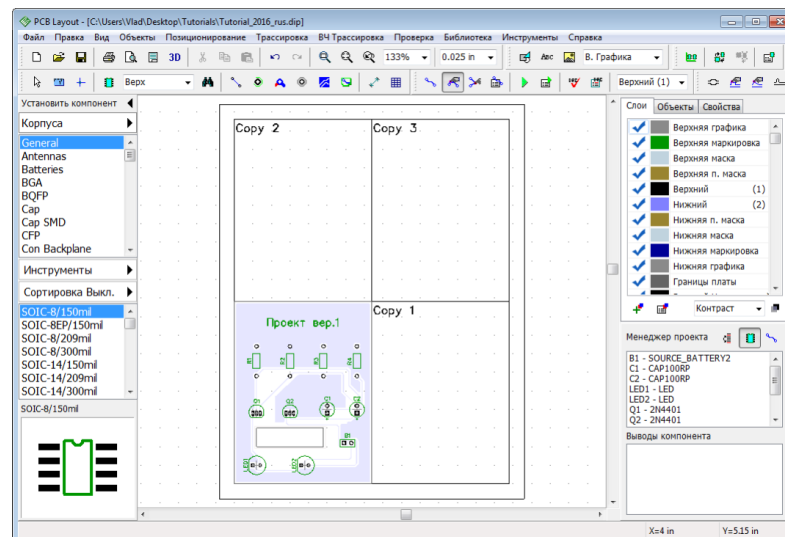


Рис. 84. Вікно копіювання 4 копій плати у вигляді матриці 2 на 2

В області побудови будуть видні лише прямокутні сектори з текстом "Сору №", однак у друк або експорті у виробничі файли будуть передаватися повноцінні зображення.

Деякі об'єкти можна виключити під час панелі (наприклад, отвори або фігури). Щоб виключити будь-який об'єкт, клацніть правою кнопкою на ньому та виберіть опцію Не панелізувати. Ця функція доступна лише тоді, коли увімкнено панелізацію.

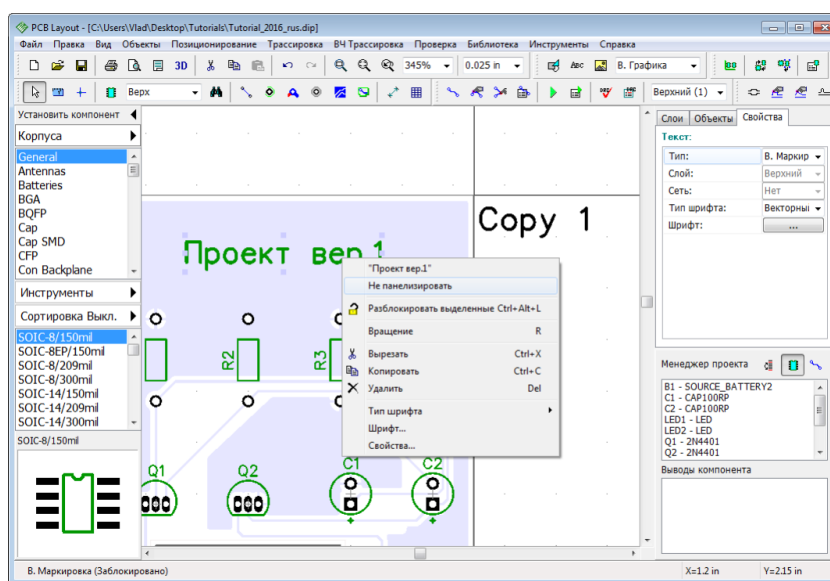


Рис. 85. Вікно панелізації

Панелізація працює лише якщо визначено лінію меж плати.

Тепер відкрийте діалогове вікно панелізації та змініть кількість стовпців і рядків на 1 (це видалити всі копії плати).

Панелізація різних плат

Виберіть опцію "Редагування/Не змінювати мітки під час копіювання" з головного меню. Потім відкрийте іншу плату в іншому вікні DipTrace (ми будемо використовувати цю саму плату), виберіть усі об'єкти другої плати за допомогою Ctrl+A та натисніть Ctrl+C, щоб скопіювати. Тепер перейдіть у

вікно першої плати і клацніть правою кнопкою в порожній області (це буде лівий верхній кут другої плати) і виберіть Вставити.

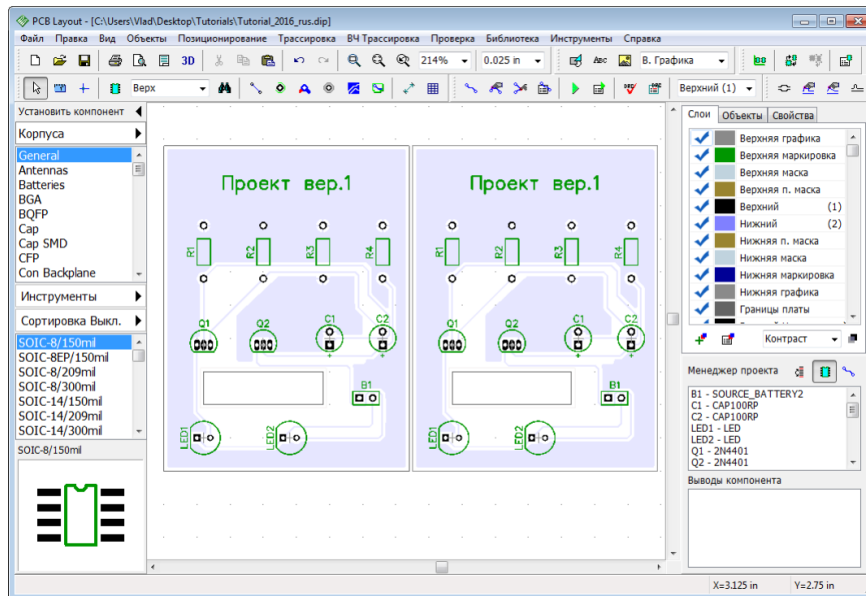



Рис. 86. Панелізація плати

Було отримано другу копію нашої плати (або будь-яку іншу, яку копіювали) без зміни позначок компонентів. Ще треба намалювати загальну лінію меж плати, а також скористатися вирізами у платі, якщо це необхідно.

Зверніть увагу, межі плати, що вставляється, автоматично переносяться на службовий шар Верхня Графіка. Він також може знадобитися для коректного виробництва.

Якщо опція Не змінювати мітки при копіюванні включена, обмеження за кількістю виводів (у Free, Lite, Standard тощо) не працює, тому можна панелізувати кілька плат з 300 виводами навіть у безкоштовній версії.

2.6.16. Друк

Можна рекомендувати використовувати вікно попереднього перегляду для друку плат. Для цього оберіть "Файл/Попередній перегляд" у головному меню або натисніть кнопку  на Стандартній панелі.

Якщо ви бажаєте надрукувати формат, виберіть "Файл/Параметри сторінки" з головного меню і виберіть, наприклад, А4 ГОСТ 2.301-68 у списку Шаблон аркуша. Потім поставте галочки Показувати рамку та Показувати аркуш. Натисніть кнопку ОК.

Зверніть увагу, що більше інформації з управління штампами та розробки нових форматів ви знайдете в Довідці PCB Layout ("Допомога/Довідка з PCB Layout").

У діалоговому вікні Попередній перегляд ви можете налаштувати відображення плати за допомогою увімкнення/вимкнення пунктів у групі Об'єкти. Якщо потрібно змінити масштаб друку, виберіть його в полі Масштаб друку або натисніть кнопку "Збільшити/Зменшити масштаб друку".

Для переміщення плати на аркуші використовуйте кнопку .

У вікні попереднього перегляду ви можете вибрати поточний Сигнальний/Екранний шар та режим відображення шарів. Якщо хочете отримати віддзеркалену плату та/або текст, поставте галочку Дзеркальне відображення та/або Відобразити текст відповідно. Натисніть Друк, щоб надіслати файл на друк.

Щоб зберегти зображення в файлі Vmp або Jpeg, натисніть Зберегти.

Невелика кольорова кнопка праворуч від кнопки зменшення масштабу дозволяє встановити кольори об'єктів під час друку. За замовчуванням використовується біле тло. Щоб вибрати чорно-білий друк, виберіть опцію Тільки чорний.

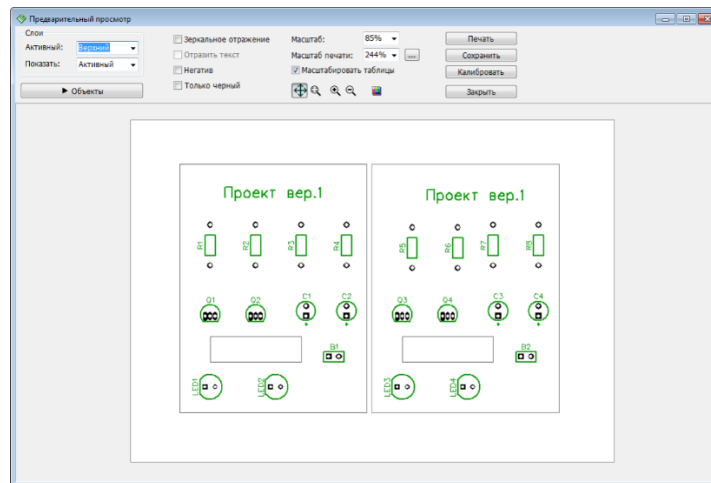


Рис. 87. Встановлення кольору друку

Підсумовуючи все сказане, є два способи виготовлення прототипів друкованих плат у домашніх умовах: використовуючи передачу тонера та УФ-технологію. Для першого способу можливе використання лазерного принтера, для другого-струменевого.

Закрийте діалогове вікно попереднього перегляду та використовуйте функцію Крок Назад кілька разів, щоб видалити копію плати та відновити заливку.

2.7. Экспорт файлів для виробництва

2.7.1. DXF

Ви можете використовувати формат DXF для передачі проекту в інші CAD, CAM програми, наприклад, AutoCad.

DXF экспорт

Виберіть "Файл/Експорт/DXF" у головному меню. Тепер виберіть шар плати зі списку шарів і встановіть відповідні галочки в розділі Об'єкти, щоб визначити, які об'єкти повинні бути включені в DXF файл вибраного шару (траси, таблиці, зображення тощо). Встановіть зміщення точки початку

координат, параметри шарів паяльної маски та припою, якщо це необхідно. Кожен шар плати можна зберегти в окремий файл DXF або зберегти всю плату в один багат шаровий файл DXF, для цього достатньо натиснути Виділити все. Зверніть увагу, що шари Обводка_Верхній і Обводка_Нижній не виділені. Технічно вони і не є шарами плати, а необхідні тільки якщо ви збираєтеся виготовляти плату шляхом фрезерування на верстаті.

Натисніть Експорт, введіть ім'я файлу, виберіть папку та збережіть файл DXF.

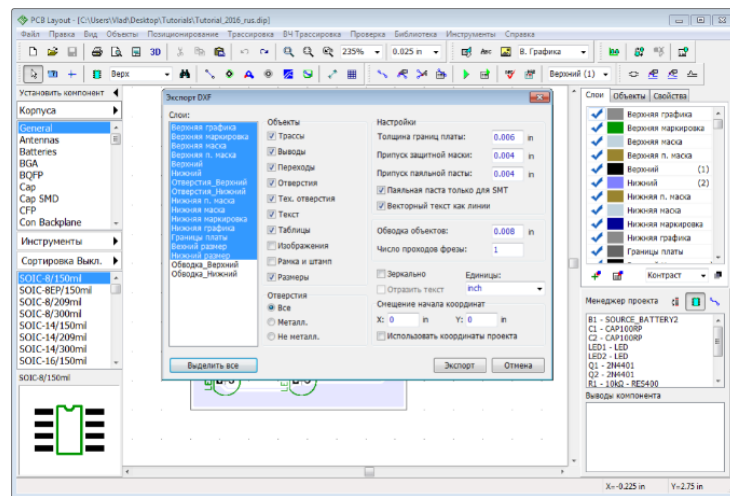


Рис. 88. DXF экспорт

Отриманий таким чином DXF файл можна відкрити у AutoCad або іншій програмі, яка підтримує DXF.

Файли для фрезерування (DXF та G-Code)

Фрезерування це зручний та недорогий спосіб виробництва простих плат. Зверніть увагу, потрібно прибрати всі заливки, адже вони не використовуються, якщо планується фрезерувати плату, а не друкувати. Будь ласка, скасуйте заливку (клацніть правою кнопкою по її кордонах і виберіть Стан, а потім Кордони) і трасуйте мережу. Виберіть "Файл/Експорт/DXF", оберіть шар Обводка_Нижній (адже всі траси нашої плати знаходяться в нижньому шарі) і поставте галочку Дзеркально щоб побачити плату такою як

вона є. Якщо ви не дуже знайомі з іншими налаштуваннями, можна залишити все як є або змінити значення обводки об'єктів. Центральна лінія фрези буде проходити від інших об'єктів на відстані, що дорівнює половині значення Обводки об'єктів. Крім того, глибина фрезерування також залежить від ширини обводки та кута інструменту. Тепер натисніть кнопку Експорт, щоб зберегти файл.

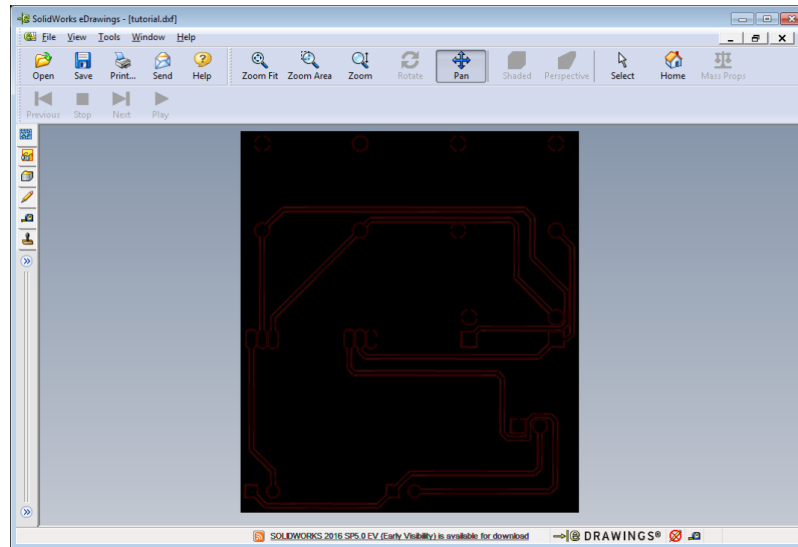


Рис. 89. Збереження файлу за допомогою кнопки Експорт

Обводка експортована з DipTrace складається з поліліній із заданою шириною. Перед експортом краще перевірити проект, використовуючи DRC. Якщо відстань між об'єктами десь менше ширини обводки (0.008 дюйма в нашому випадку), програма видасть попередження та помилки.

Зауважте, САD-програми зазвичай показують полілінії з прямими кутами, а іноді і саме зображення викликає деякі сумніви, але коли ви виготовите плату або змоделюєте процес у САМ-програмах, все виглядатиме інакше завдяки радіусу інструменту.

Фрезерні верстати зазвичай працюють із форматом G-Code. DXF можна легко перевести в G-Code, використовуючи безкоштовні програми ACE Converter або FlatCAM. Якщо ви видаляли заливку, поверніть її, перш ніж перейти до наступної теми лекції.

2.7.2. Gerber RS-274X

"Гербер" файли приймають майже всі виробники плат у світі.

Виберіть "Файл/Експорт/Gerber" з головного меню. У діалоговому вікні виберіть шари плати (використовуйте Ctrl та Shift для вибору кількох шарів) і потім поставте галочки об'єктів, які мають бути включені у вибраний шар під час його експорту до "гербера".

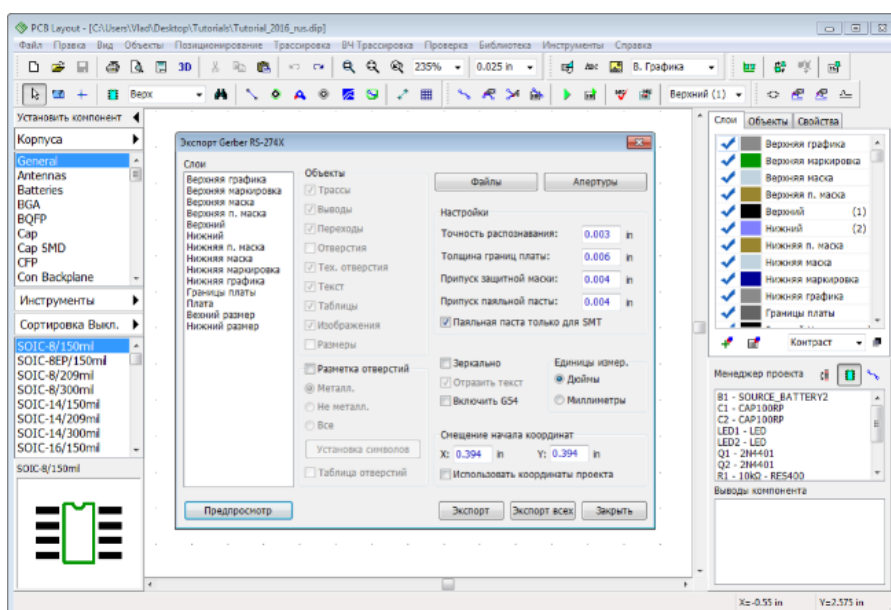


Рис. 90. Постанова галочек об'єктів, які мають бути включені у вибраний шар під час його експорту до "гербера"

Натисніть кнопку Перегляд, щоб побачити шар у тому вигляді, в якому він буде експортований. На відміну від DXF, кожен шар плати потрібно зберігати окремо (один шар-один файл). Нижче показано перегляд нижнього шару плати нашого проекту при експорті в Gerber. У вікні попереднього перегляду можна наближати та масштабувати.

Натисніть Закрити, щоб закрити перегляд.

Натисніть Експортувати всіх і програма автоматично збереже "гербер" файли для всіх шарів плати. Пам'ятайте, що крім Gerber файлів виробник

плат обов'язково вимагатиме і N/C Drill файли свердловки, тому не забудьте експортувати їх перед відправкою замовлення.

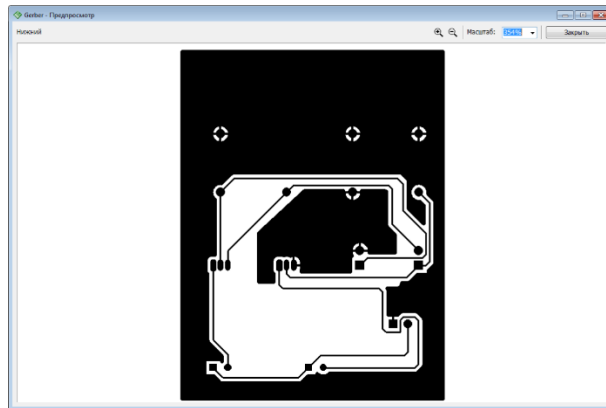


Рис. 91. Перегляд нижнього шару плати нашого проекту при експорті в Gerber

Шари в Gerber

1. Верхня графіка - це шар з додатковою інформацією, він включає всі фігури/тексти розташовані в шарі Верхня графіка, а також об'єкти, зазначені в головному меню "Вигляд/Шар графіки". Якщо запустити попередній перегляд для нашої плати, цей шар буде порожнім (за умови, що налаштування "Вигляд/Шар графіки" за замовчуванням).

2. Верхнє маркування - цей шар включає шовкографію корпусів та інші фігури і текст у шарі Верхнє маркування. Не змінюючи налаштувань, перейдіть до попереднього перегляду.

Якщо ви використовуєте шрифти TrueType і не бачите текст або бачите його зі спотвореннями (залежно від шрифту та його розміру), потрібно трохи зменшити параметр Точність розпізнавання (але не робіть його занадто малим).

3. Верхня маска - це шар захисної маски. Він створюється автоматично на основі розмірів контактних майданчиків, їх налаштувань та параметра Припуск захисної маски у вікні експорту Gerber. Шар також включає фігури,

встановлені в шарі Верхня маска. Якщо ви хочете, щоб перехідні отвори були покриті захисною маскою, заберіть галочку Переходи в розділі Об'єкти. Якщо для деяких контактних майданчиків потрібно, щоб їх захисна маска відрізнялася від стандартної, в області розробки клацніть правою кнопкою виведення і виберіть Властивості маски і припою, щоб встановити приватні налаштування для контактного майданчика.

4. Верхня напівмаска-шар паяльної пасти або припою. Він потрібний для автоматичного паяння елементів на плату. Зазвичай використовується тільки для поверхневих майданчиків, тому виберіть опцію Паяльна маска лише для SMT.

5. Сигнальні шари (Верхній, Нижній і так далі) - це шари мідних провідників. Для цих шарів обов'язково має стояти галочка Переходи у розділі Об'єкти.

Ви можете увімкнути галочку Отвори у розділі Об'єкти, тільки якщо збираєтеся свердлити отвори вручну (а не промислово). Якщо опція Отвори буде активна, то Gerber файл матиме два шари: один міститиме основну частину графіки, а другий – вирізи в місцях розташування отворів.

6. Нижня напівмаска, Нижня маска, Нижне Маркування і Нижня графіка - це аналоги шарів з такою ж назвою на верхній стороні плати. За умовчанням текстові об'єкти на нижній стороні відображаються, дивись опцію "Вигляд/Відобразити текст автоматично" у головному меню, проте якщо ця опція вимкнена, то можна відобразити текст вручну (натиснути Відобразити текст).

7. Межі плати — включають контури плати та вирізи у платі у вигляді ліній обраної ширини.

8. Плата – плата у вигляді залитого полігону.

9. Верхній розмір і Нижній розмір – шари в яких розташовуються всі розміри зазначені в галузі розробки. У нашому випадку розміри відсутні, тому шари пусті.

Не всі шари необхідні для виробництва плати, все залежить від проекту і опцій, що замовляються у виробника.

Інші налаштування

Параметр Зміщення початку координат означає те саме в діалогових вікнах DXF, Gerber, N/C Drill і Pick and Place експортів, це зміщення нижнього лівого кута плати, щодо точки початку координат. Ви можете використовувати точку початку координат або ввести нове значення.

Назви Gerber файлів, а також їх формат можуть бути визначені заздалегідь для кожного шару індивідуально. Натисніть Файли у верхньому правому куті діалогового вікна. Ви побачите таблицю, виберіть необхідний шар зі списку, а потім у полі внизу введіть ім'я та розширення файлу. Будь-який шар можна виключити з функції Експорт усіх (тобто шар не буде експортуватися автоматично при натисканні відповідної кнопки, але його можна буде експортувати вручну). Підтримуються вказані теги.

Ми нічого не змінюватимемо, тому просто натисніть ОК.

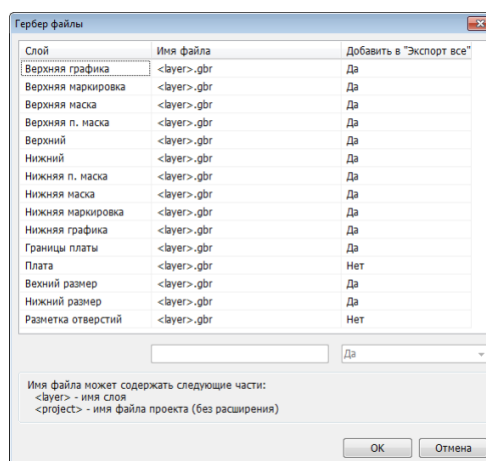


Рис. 92. Таблица функции Экспорт

Розмітка отворів

Деякі виробники можуть вимагати спеціальний файл розмітки отворів (іноді символи свердлівки) у вигляді "гербер" файлу. Для цього поставте галочку Розмітка отворів у діалоговому вікні Експорт Gerber RS-274X, потім натисніть Установка символів. Для кожного типу отворів у правій частині діалогового вікна потрібно вибрати власний спеціальний символ або натиснути Авто для того, щоб символи призначилися автоматично. Тепер зачиніть це вікно.

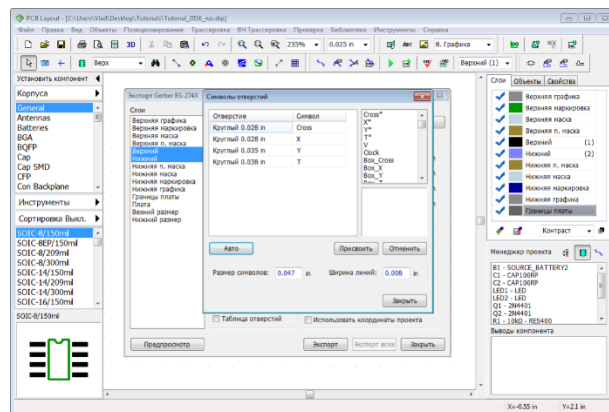


Рис. 93. Спеціальний файл розмітки отворів

Поставте галочку Таблица отворів у вікні Експорт Gerber RS-274X та натисніть Попередній перегляд. Ви побачите розмітку отворів у вигляді призначених символів та таблицю відповідності.

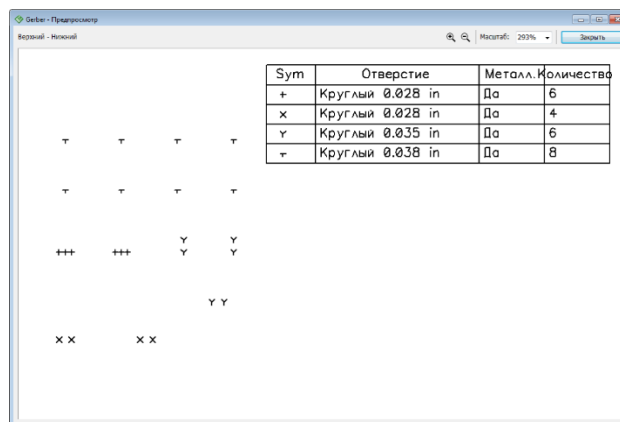


Рис. 94. Розмітка отворів у вигляді призначених символів та таблицю відповідності

Закрийте перегляд і натисніть Експорт, щоб зберегти розмітку отворів у "гербер" файлі. Якщо апертури не призначені, програма запропонує зробити це автоматично. Тепер приберіть галочку Розмітка отворів інакше ви не зможете експортувати шари плати. DprTrace трансліює Unicode символи, а також будь-які растрові чорно-білі зображення в Gerber форматі, але для таких об'єктів важливо визначити Точність розпізнавання. 3 мили встановлено за замовчуванням, але можна використовувати значення до 0.5 мили.

Щоб уникнути помилок, рекомендуємо переглядати Gerber файли за допомогою стороннього переглядача перед відправкою виробникам друкованих плат.

Найкращим вибором під час перегляду буде та програма, якою користується виробник, так як деякі програми можуть по-різному трактувати специфікацію RS-274X.

Ми постаралися врахувати особливості різних САМ продуктів при розробці експорту Gerber, але у будь-якому випадку перевірка файлів не зашкодить. Якщо ви не знаєте, якою програмою користується виробник плат, ми рекомендуємо Pentalogix Viewmate, оскільки він повністю відповідає специфікації RS-274X і має безкоштовну версію.

2.7.3. Gerber X2

Формат Gerber X2 - це остання еволюція формату Gerber. X2 позбавився недоліків Gerber RS-274X і тепер зберігає: порядок шарів плати, функцію кожного шару, загальні атрибути плати та функції контактних майданчиків. Формат порівняно молодий, тому багато виробників його ще не приймають.

Виберіть "Файл/Експорт/Gerber X2" у головному меню. Gerber X2 повністю сумісний з Gerber RS-274X, тому налаштування та керування нічим

не відрізняються – можна впевнено дотримуватися інструкцій описаних у попередній темі лекцій.

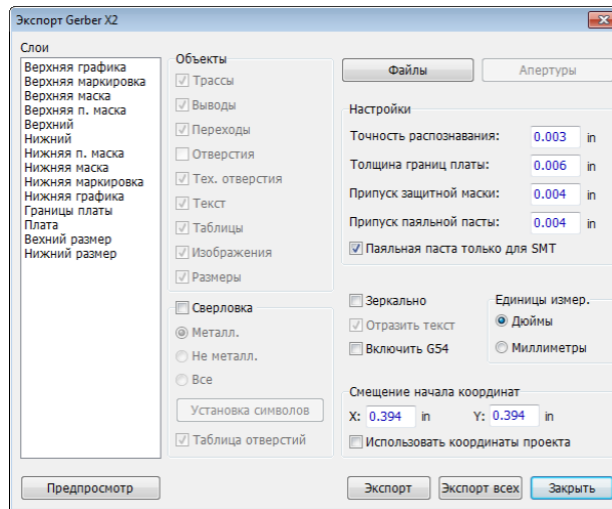


Рис. 95. Налаштування та керування Gerber X2

У той же час Gerber X2 надає можливість зберегти повноцінну свердловку плати у графічному вигляді (а не розмітку отворів як у випадку з Gerber RS-274X). Для того, щоб експортувати свердлівку, поставте галочку Свердлівка, виберіть всі струмопровідні шари плати (це повинно відбутися автоматично) для того, щоб експортувати наскрізні отвори або натисніть Експортувати всіх щоб програма автоматично зберегла всі отвори плати в "гербер" файл. Кожен тип отворів зберігається в окремому файлі свердловки.

Проконсультуйтеся з виробником плат і якщо він не приймає свердлівку у форматі Gerber X2, то екпортуйте свердлівку у форматі N/C Drill .

2.7.4. Excellon N/C Drill

Якщо ви замовляєте друк плат і екпортуєте струмопровідні шари у формат Gerber, то обов'язково потрібно експортувати проект у форматі N/C Drill, щоб передати виробнику інформацію про свердловку. Виберіть "Файл/Експорт/N/C Drill" в головному меню, потім натисніть Авто для автоматичного завдання інструментів і натисніть Експорт Усіх, щоб

програма експортувала всі необхідні файли автоматично. Ви можете натиснути Передпроглядання щоб побачити свердлівку.

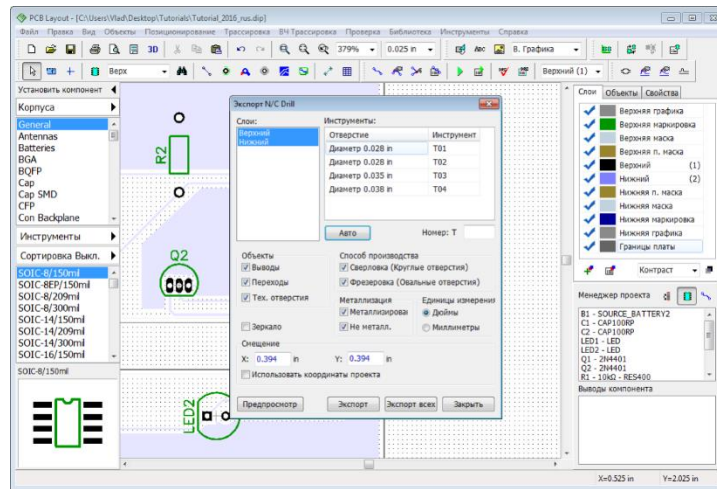


Рис. 96. Експортування проекту у формат N/C Drill

Для збереження лише отворів певного типу потрібно вибрати верхній та нижній шар у якому присутні отвори та натиснути Експорт. Для експорту наскрізних отворів потрібно вибирати верхній та нижній шар плати.

2.7.5. ODB++

Щоб експортувати плату у виробничі файли формату ODB++, виберіть "Файл/Експорт/ODB++" з головного меню. У діалоговому вікні, що з'явилось, ви можете включити або виключити шари плати з експортованих файлів (використовуючи відповідні галочки), налаштувати розміри припусків паяльної маски і припою, використовуючи поля введення та відповідні опції, налаштувати зміщення початку координат і вибрати режим експорту. Стандартні налаштування найбільш універсальні, тому в більшості випадків до них не доведеться торкатися.

Якщо увімкнена опція Стиснутий файл, то DpTraces стисне всі ODB++ файли в один zip-архів, який зручно відправити виробнику. Натисніть Експорт і виберіть папку для експортованих файлів. Для перегляду файлів ODB++ можна використовувати Mentor Graphics ODB++ Viewer.

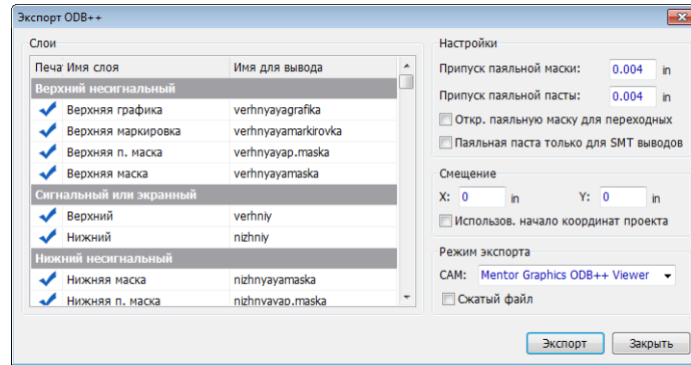


Рис. 97. Экспорт платы у виробничій файл формату ODB++

3. Створення бібліотек

Далі ми навчимося створювати бібліотеки компонентів та корпусів, використовуючи Редактор Компонентів та Редактор Корпусів. У багатьох випадках ви, напевно, знайдете відповідний компонент або корпус у стандартних бібліотеках, але покажемо, як створювати його з нуля.

Важливо:

Звичайний компонент DipTrace складається зі схмотехнічного символу, корпусу і, бажано, 3D моделі. Всі три елементи представляють один і той же компонент але на різних етапах розробки: схмотехніка, плата, 3D предпрогляд та експорт відповідно. Схмотехнічні символи та прив'язані до них корпуси компонентів зберігаються у бібліотеках компонентів у файлах з розширенням .eli. Крім того, корпуси доступні як окремі елементи і зберігаються в бібліотеках корпусів – файли з розширенням .lib. *.wrl, *.3ds, *.iges, і *.step файли містять у собі 3D моделі. Корпус і символ можуть існувати як самостійні елементи, але правильний компонент повинен обов'язково містити обидва.

Цілком різні компоненти можуть мати однакові корпуси, в той же час як однаковий схмотехнічний компонент може бути представлений у різних корпусах.


Для створення схемотехнічних символів компонента та прив'язки корпусу використовується Редактор Компонентів. Але редагувати створювати або редагувати корпус можна лише у Редакторі Корпусів.

3.1. Розробка бібліотеки корпусів

Відкрийте DipTrace редактор Корпусов, тобто: Програми/Всі програми/DipTrace/Pattern Editor. Якщо у вас MacOS, то використовуйте DipTrace Launcher.

3.1.1. Налаштування редактора корпусів

Після запуску Редактора Корпусів відобразить осі та початок координат, для цього виберіть "Вигляд/Початок координат" з головного меню або просто натисніть F1.

Положення точки початку координат можна змінити у будь-який момент за допомогою кнопки . Коли корпус буде на платі PCB Layout, точка початку координат буде центром компонента при обертанні або заданні координат.

На панелі Властивості корпусу доступні найнеобхідніші інструменти та налаштування:

Вибір шаблону типу корпусу, кількість контактних майданчиків, властивості контактних майданчиків за замовчуванням, а також підключення 3D моделі. Натисніть на маленьку стрілку, щоб мінімізувати панель, або виберіть "Вигляд/Панелі інструментів/Властивості корпусу" з головного меню, щоб приховати/відобразити панель.

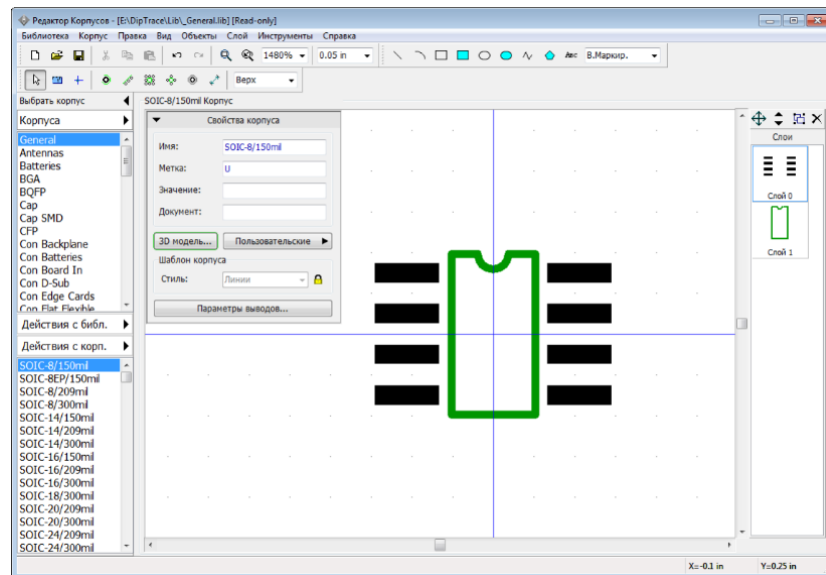


Рис. 98. Панель Властивості корпусу

Щоб збільшити та зменшити масштаб у редакторах компонентів і корпусів, використовуйте клавіші +/-, колесо миші або просто виберіть (введіть) необхідний масштаб на Стандартній моделі.

3.1.2. Створити/зберегти бібліотеку

Створити бібліотеку

Виберіть "Бібліотека / Нова Бібліотека" у головному меню або натисніть Дії з Бібліотеки та Нова Бібліотека на панелі Менеджера бібліотек. У діалоговому вікні введіть ім'я бібліотеки (воно має бути невеликим) та коментар. Також можна вибрати групу бібліотек, у якій потрібно створити нову. За промовчанням програма пропонує зберігати всі користувачі бібліотек корпусів у групі бібліотек Користувальницькі Корпуси (User Patterns).

Тепер натисніть ОК.

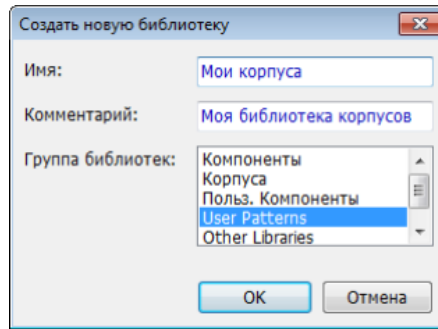


Рис. 99. Збереження всіх користувачів бібліотеками корпусів у групі бібліотек Користувальницькі Корпуси (User Patterns)

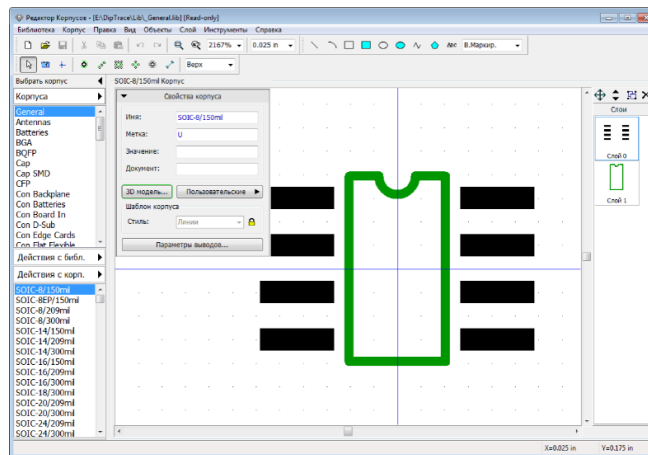


Рис. 100. Збереження бібліотеки

Назва бібліотеки з'явиться на панелі Менеджера бібліотек, програма автоматично змінить поточну групу бібліотек на Користувальницькі Корпуси. Тепер потрібно зберегти створену бібліотеку у файлі.

Зберегти бібліотеку

Виберіть "Бібліотека/Зберегти" в головному меню або натисніть кнопку із зображенням дискети на Стандартній панелі у лівому верхньому кутку. Виберіть папку, де хочете зберегти бібліотеку. Користувачам Windows ми рекомендуємо зберігати бібліотеки в папці "Документи/DipTrace/My Libraries", яка пропонується за замовчуванням. Користувачам MacOS краще зберігати бібліотеки в інших папках, оскільки часті випадки видалення папки My Libraries під час інсталяції програми.

З метою збереження даних, DipTrace не дозволяє зберігати нові бібліотеки користувача в одній папці зі стандартними бібліотеками програми. Введіть ім'я файлу та натисніть Зберегти.

Тепер у нас є нова бібліотека користувача, яка називається "Мої корпуси", збережена у файлі My_pattern_library.lib. Поточний файл та його розташування відображається в заголовку вікна програми.

3.1.3 Створення корпусу резистора

Ми розробимо перший корпус у новій бібліотеці, це буде резистор із відстанню між выводами 400 міліметрів.

Введіть "RES 400" у рядку Ім'я, "R" - у рядку Мітка та "47kΩ" - у рядку Значення на панелі Властивостей корпусу. У редакторі компонентів та редакторі корпусів ви задасте мітки за замовчанням. У реальному проекті індекс з'явиться автоматично, наприклад R1, R2, R3 і так далі. Якщо мітка не задана, програма призначить мітку "U".

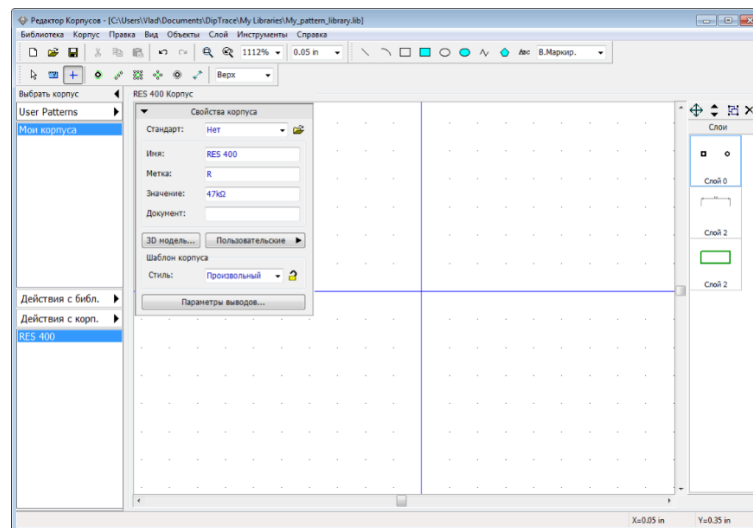


Рис. 101. Панель Властивості корпусу

Для цього корпусу ми виберемо Довільний Стиль шаблону корпусу, хоча ефективніше створювати такі корпуси, використовуючи стиль Лінії.

Встановлення контактних майданчиків

Переконайтеся, що розмір сітки становить 0.05 дюйма (одиниці виміру можна змінити вибравши пункт "Вигляд/Одиниці виміру" з головного меню). Тепер поверніть панель Властивостей корпусу. Натисніть кнопку Вивод і клацніть двічі в області побудови, щоб створити два контактні майданчики (КМ). Потім правий клік для того, щоб вийти з режиму встановлення виводів.

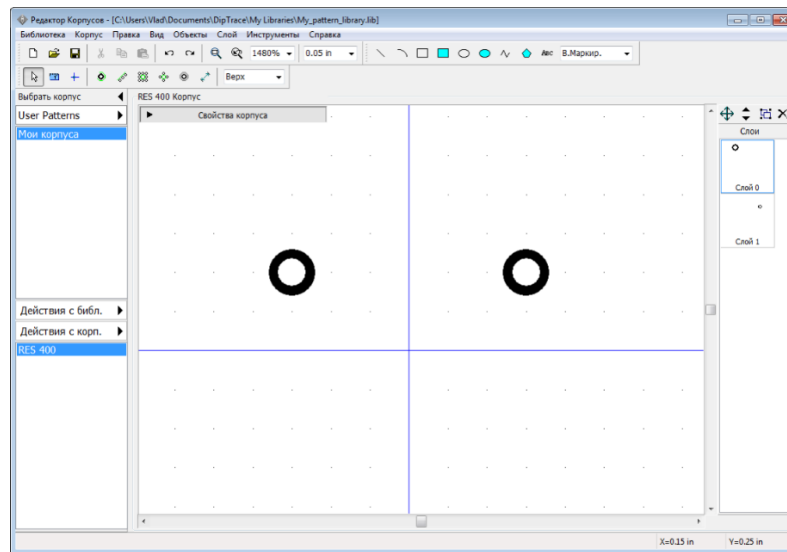


Рис. 102. Створення двох контактних майданчиків корпусу

Установка "на око" не дуже точний спосіб. Тому нам доведеться скоригувати координати виводів. Але спершу давайте встановимо розмір, який дозволить більш наочно розуміти, що потрібно зробити. Виберіть "Об'єкти/Розмістити розмір/Горизонтальний" з головного меню або на панелі інструментів виберіть відповідний інструмент. Потім клацніть лівою кнопкою миші по центру лівого КМ, потім по центру правого КМ, перемістіть курсор трохи вище і клацніть ще раз для встановлення розміру. Вузлові точки об'єктів підсвічуються, коли ви підводите до них курсор, тому визначити центр виведення дуже просто. Відстань автоматично перераховуватиметься, якщо об'єкти переміщуються.

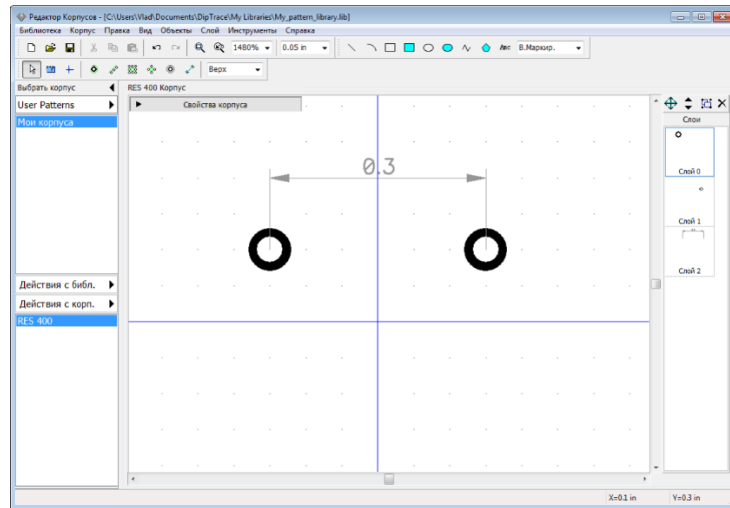



Рисунок 103. Автоматично перерахування відстані між контактними майданчиками, якщо об'єкти переміщуються

Клацніть правою кнопкою на лінії розмірності і ви побачите, що цей об'єкт можна переносити на інші шари, змінювати одиниці вимірювання, розміри стрілочок і так далі. Розмір можна перетягувати як і будь-який інший об'єкт.

Шари

Тепер спробуємо використати панель Шари. Вона розташована праворуч від області побудови. У ній є всі шари об'єкта. Це не фізичні шари плати, а просто допоміжні логічні шари, які служать зручності для редагування корпусу.

Виберіть "Шар 0". Для цього встановіть курсор на ньому, потім натисніть та зафіксуйте ліву кнопку миші та протягніть курсор до наступного шару "Шар 1" і відпустіть кнопку. Таким чином ви тільки що виділили два шари. Тепер виберіть "Шар/Об'єднати шари" з головного меню або натисніть кнопку . В результаті ми отримаємо один шар із двома виводами, які раніше розташовувалися в різних шарах.

Тепер подвійний клік по шару та відкриється діалогове вікно Об'єкти. Введіть нові координати виводів по осі X, щоб відстань між КМ складала 400 міліметра. Тепер натисніть ОК.

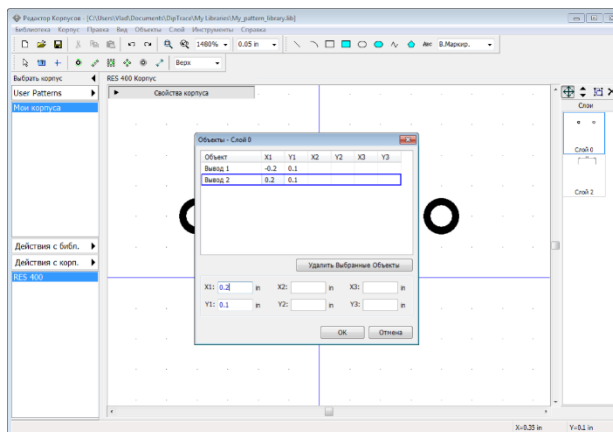


Рис. 104. Введення нових координат виводів по осі X, щоб відстань між КМ складала 400 міліметра

Зверніть увагу, що значення відстані перераховується і показує актуальне значення.

Параметри виводів

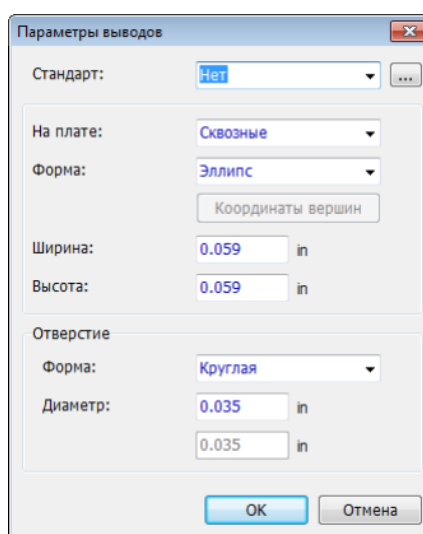


Рис. 105. Панель параметрів виводів

Контактні майданчики (виводи) можуть мати стандартні або приватні налаштування. Стандартні застосовуються за замовчуванням до всіх виводів корпусу, а приватні лише до обраних. Щоб змінити стандартні параметри, виберіть "Корпус/Параметри виводів" з головного меню або натисніть Параметри виводів на панелі Властивостей корпусу. Можна змінити форму виводів на: Еліпс, Овал, Прямокутник або Багатокутник (натисніть Координати вершин, якщо вибрано Багатокутник). Наскрізні виводи можуть мати отвори круглої або овальної форми. Шаблони виводів дозволяють за секунди застосувати нові параметри до нових виводів як у Редакторі Корпусів так і Редакторі Плат. Змініть форму виводів на Прямокутник, ширину встановіть 0,08, висоту-0.059 і виберіть Поверхневі в полі На платі. Натисніть ОК.

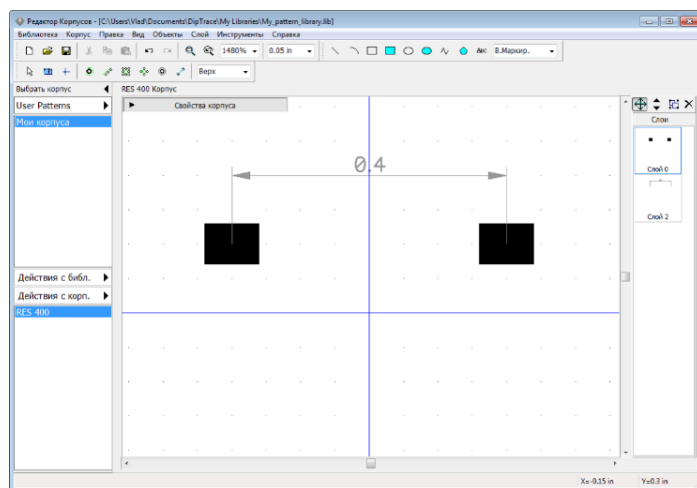



Рис. 106. Зміна форми виводів на Прямокутник

Зверніть увагу що у поверхневих виводів можна змінити бік, тобто встановити контактні майданчики на нижній бік майбутньої плати. Щоб змінити бік, на якому встановлений контактний майданчик, клацніть правою кнопкою виводу та виберіть Змінити бік. Поточна сторона встановлення нових майданчиків і фігур може бути вибрана на панелі об'єктів (спадне меню з текстом "Верх").

Тепер ми змінимо властивості лише одного виводу. Наведіть курсор на перший контактний майданчик, він повинен підсвітитися, якщо цього не

відбувається, отже потрібно перейти в режим за замовчуванням, натиснувши кнопку . Тепер, клацніть правою кнопкою миші по КМ і виберіть Властивості. У вікні Властивостей виводу є дві вкладки:

Номер/Позиція та Тип/Розміри. Координати та орієнтацію виводу можна змінити у вкладці Номер/Позиція. Ми ж зараз виберемо вкладку Тип/Розміри та знімемо галочку Використовувати властивості виводів для корпусу для того, щоб можна було змінювати параметри тільки цього виводу.

Полігональні виводи (багатокутники)

Давайте створимо шестикутник. Найшвидшим способом буде вибрати відповідний шаблон, але давайте зробимо це вручну. Не призначаючи шаблону, виберіть значення Наскрізний параметр На платі, змініть форму на багатокутник, ширину та висоту на 0.09 дюйма, діаметр отвору має бути 0.04, потім натисніть Координати вершин для доступу до вершин багатокутника.

Тут ви можете задати тип полігонального виводу і якщо він неправильної форми, задати його точки. Виберіть Рівносторонній, Число сторін: 8, з радіусом 0.045 дюйма. Складні форми можна редагувати за допомогою таблиці або візуально в полі перегляду.

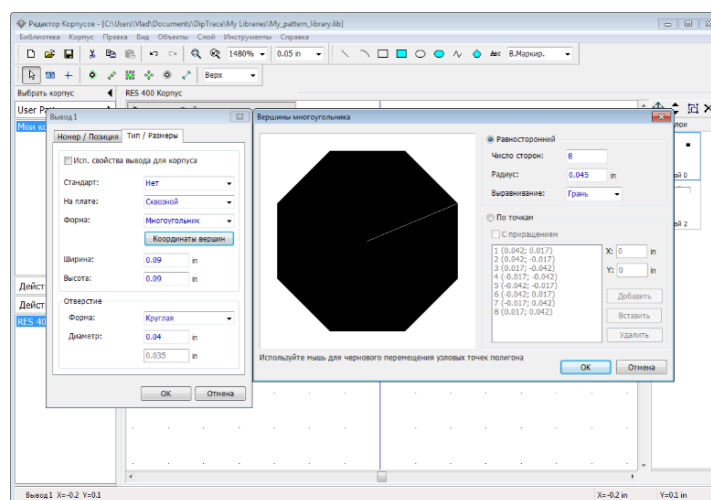


Рис. 107. Редагування полігонального виводу

Натисніть ОК, щоб створити багатокутник. І потім ще раз ОК, щоб застосувати налаштування виводу.

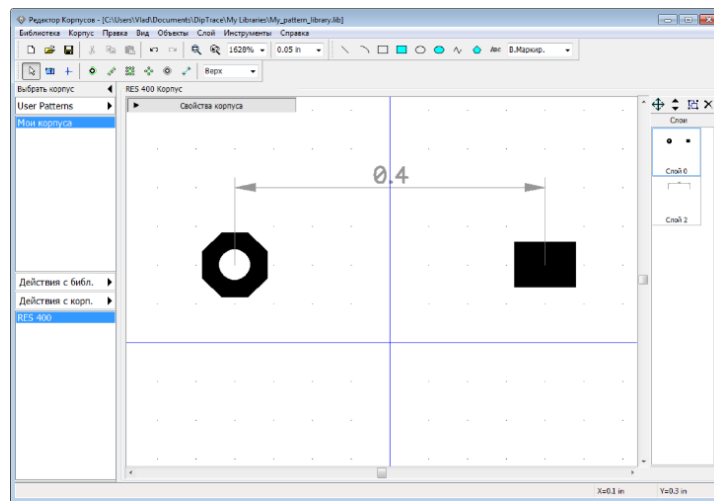


Рис. 108. Створення багатокутника

Є й інші способи створення полігональних КМ, наприклад, можна вибрати інструмент Багатокутник на Панелі рисування та нарисувати вивод прямо в області побудови, фігура повинна знаходитись у сигнальному шарі (вибрати Сигнальний на Панелі рисування). Якщо фігура вже нарисована, її можна перемістити на сигнальний шар, клікнувши по ній правою кнопкою і вибравши Властивості. Коли фігура на сигнальному шарі готова, потрібно клікнути по ній правою кнопкою і вибрати Перетворити на вивод.

Тепер встановіть такі властивості для виводів:

перший вивод – 0.09×0.09 , прямокутник, наскрізний, діаметр отвору 0.04 ;

другий – 0.09×0.09 , еліпс, наскрізний, діаметр отвору 0.04 .

Тепер розмістимо графічне позначення резистора у шарі шовкографії. Натисніть кнопку Прямокутник на Панелі рисування та клацніть лівою кнопкою у двох протилежних точках фігури в області побудови.

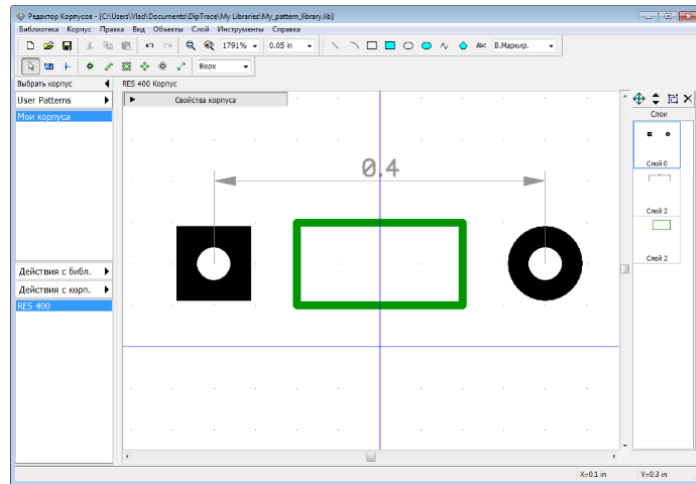



Рис. 109. Графічне позначення резистора у шарі шовкографії

Тепер перейдіть до режиму за замовчуванням, натиснувши . Швидше за все прямокутник вийшов менше, ніж потрібно, але його можна редагувати. Ви можете зробити це такими способами: 1) використовуючи діалог Об'єкти (подвійне клацання на "Шар1" у правій частині вікна), 2) праве клацання на фігурі і вибравши Координати точок у підменю, 3) перетягуючи вершини фігури. Ми скористаємося третім способом. Але спочатку змінимо розмір сітки на 0.025 дюйма натиснувши Ctrl + символ мінуса. Тепер просто перетягніть кутові точки прямокутника так, щоб рисунок корпусу був правильнішим (курсор показує можливі напрямки переміщення).

Центруйте корпус вибравши "Правка/Центрувати" з головного меню або Ctrl+Alt+C. Резистор готовий. Спробуйте обертати та дзеркально відобразити перший компонент бібліотеки, вибравши "Правка/Обертати корпус" для обертання та "Правка/Відобразити Вертикально", "Правка/Відобразити Горизонтально" для відображення.

3.1.4. Підключення 3D моделі

Можна скачати та встановити стандартну бібліотеку 3D моделей із сайту DipTrace, у якій понад 6500 компонентів.

Коли посадкове місце готове, потрібно підключити до нього 3D модель. Натисніть кнопку 3D модель на панелі Властивостей корпусу. У діалоговому вікні натисніть Усі моделі >>, щоб відкрити список усіх підключених до програми моделей компонентів (у стандартному пакеті моделі відсортовані за бібліотеками корпусів для зручності). Відповідну модель ми знайдемо в бібліотеці _General. Виберіть цю бібліотеку і прокрутіть список моделей вниз, поки не знайдете модель res-10.16_5.1x2.5.step, клацніть по ній лівою кнопкою і вона з'явиться в полі попереднього перегляду на посадковому місці.

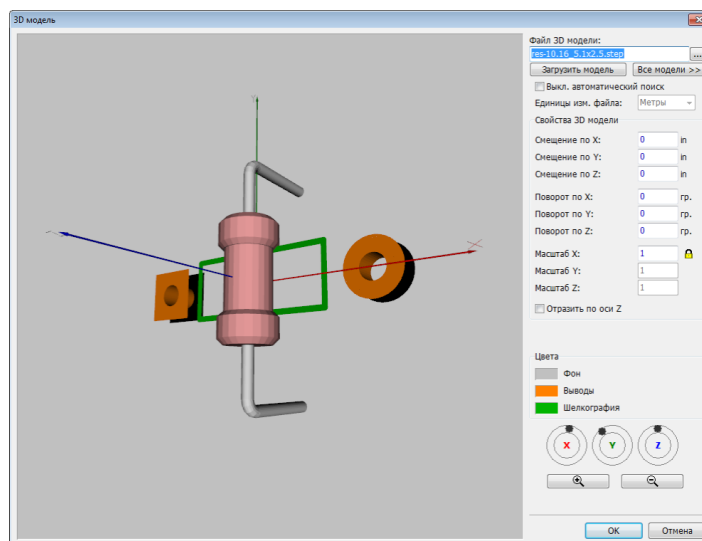


Рис. 110. Модель res-10.16_5.1x2.5.step в полі попереднього перегляду на посадковому місці

Іноді відображення 3D моделі потрібно підкоригувати.

Коригування положення 3D моделі корпусу

Програма автоматично має 3D модель на посадковому місці корпусу, але в окремих випадках положення або масштаб моделі потрібно буде підкоригувати. Для цього достатньо ввести відповідні значення у відповідні поля у розділі Властивості 3D моделі (зміщення, поворот, масштаб по осях).

У нашому випадку нам необхідно повернути модель резистора на 90 градусів і змістити трохи, щоб вона не була втоплена нижче площини майбутньої плати. Для цього ми введемо 90 градусів у поле Поворот по Z та 0.03 дюйма у поле Зміщення по Z. Корпус та модель можна повертати по всіх осях та збільшувати прямо у вікні перегляду, для цього використовуйте кнопки та коліщатко миші або інструменти на бічній панелі.

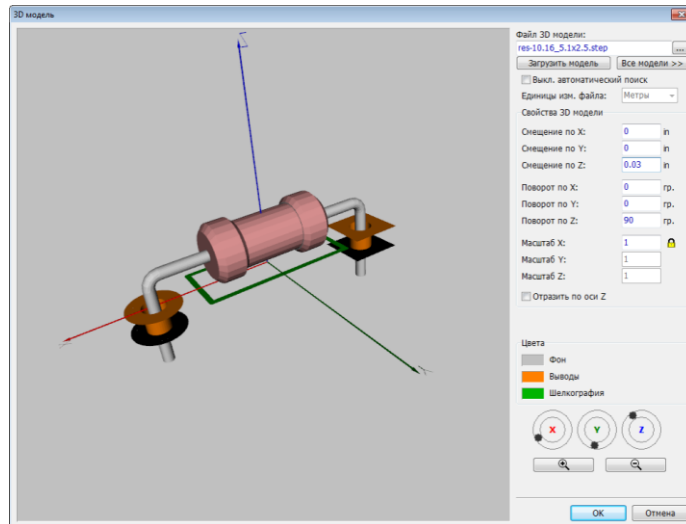


Рис. 111. Поворот моделі резистора на 90 градусів і зміщення по Z на 0.03 дюйма

Натисніть ОК, щоб підключити модель. Зверніть увагу, що кнопка 3D модель підсвічується зеленим, це означає, що модель підключена. Збережіть бібліотеку корпусів.

3.1.5. Створення корпусу BGA-144/13x13

Натисніть Дії з корпусом на панелі Менеджера бібліотек та виберіть Додати новий корпус до бібліотеки "Мої корпуси". Ми створимо посадкове місце для корпусу BGA-144/13x13, використовуючи стилі корпусів та функцію автоматичної нумерації виводів. Розгорніть панель Властивостей корпусу та введіть назву корпусу.

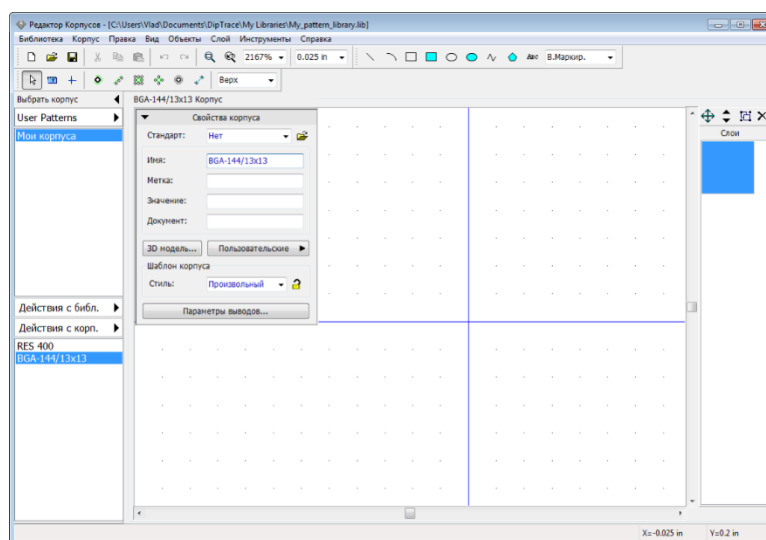


Рис. 112. Панель Властивостей корпусу

Виберіть міліметри як одиниці виміру ("Вигляд/Одиниці виміру/mm"). Потім виберіть "Корпус/Параметри виводів" з головного меню та вкажіть: На платі: Поверхневі, Форма: Еліпс, Ширина: 0.45, Висота: 0.45. Натисніть ОК, щоб застосувати властивості. Тепер на панелі властивостей корпусу виберіть: Стиль: Матриця, Столпці: 13, Рядки: 13, Відстань X: 0.8, Відстань Y: 0.8. Ви побачите матрицю виводів 13 на 13 та розміри, що вказують відстань між виводами.

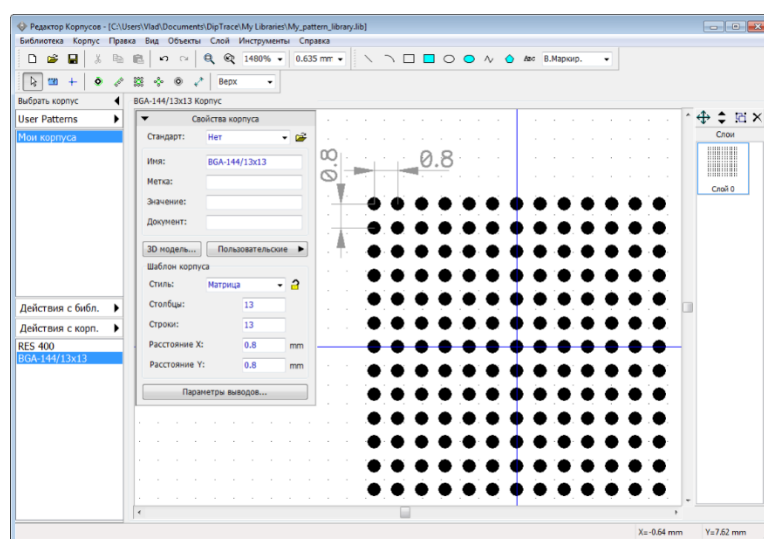



Рис. 113. Вибір одиниць виміру та параметрів виводів з головного меню

Клацніть **Заблокувати властивості**  на панелі властивостей, щоб запобігти випадковій зміні параметрів. Мінімізуйте панель властивостей, перетягніть контактні майданчики в центр екрана (клацніть правою кнопкою вільного поля і, утримуючи її, рухайте зображення). Для корпусу BGA-144/13x13 нам потрібно видалити квадрат 5 на 5 виводів в центрі корпусу. Виберіть виводи (підведіть курсор до лівого верхнього кута, клацніть лівою кнопкою і утримуючи її перемістіться до правого нижнього кута області, що виділяється, потім відпустіть ліву кнопку) і натисніть кнопку Delete.

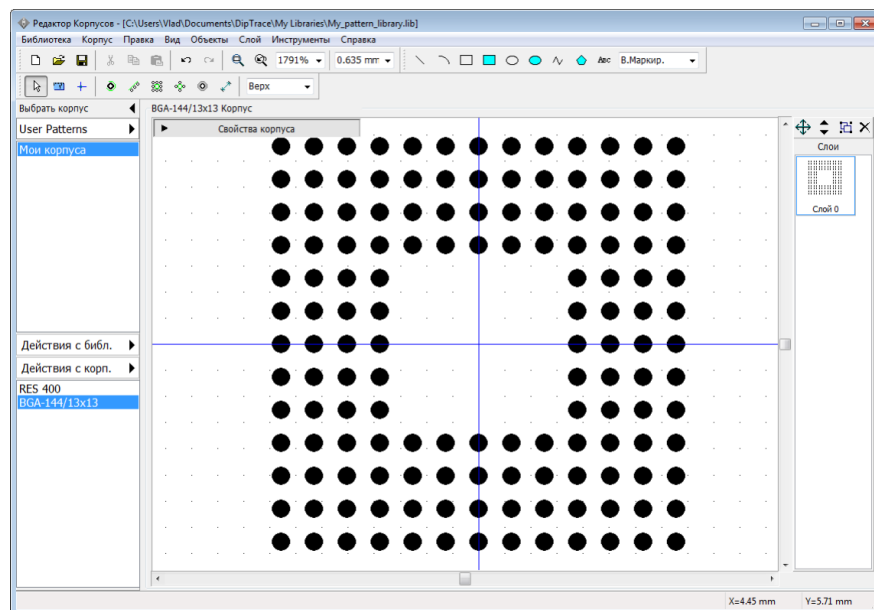


Рис. 114. Видалення квадрату 5 на 5 виводів в центрі корпусу BGA-144/13x13

Виберіть **"Вигляд/Номери контактних майданчиків/Показати"** з головного меню, щоб відобразити номери виводів. Зверніть увагу, що наша матриця має нумерацію від 1 до 169, але для BGA корпусів прийнята буквенно-символьна нумерація, тому виберіть усі контактні майданчики (Ctrl+A), клацніть правою кнопкою по одному з виводів та виберіть **Нумерація виділених** із підменю. У діалоговому вікні вкажіть **Тип: матриця BGA**, інші налаштування залиште без змін.

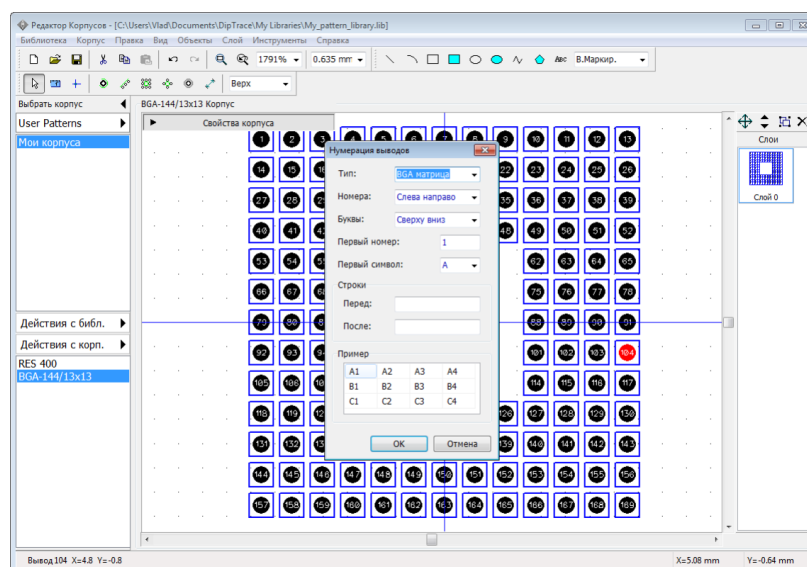


Рис. 115. Відображення номерів виводів

Натисніть кнопку ОК. Ми отримали правильну нумерацію контактних майданчиків для BGA матриці.

Якщо вибрати перенумерацію по контуру, то контактні майданчики будуть перенумеровані по контуру починаючи з тієї, якою ви клацнули правою кнопкою, тобто. можна автоматично задавати нумерацію для QFP, QFN та PLCC корпусів.

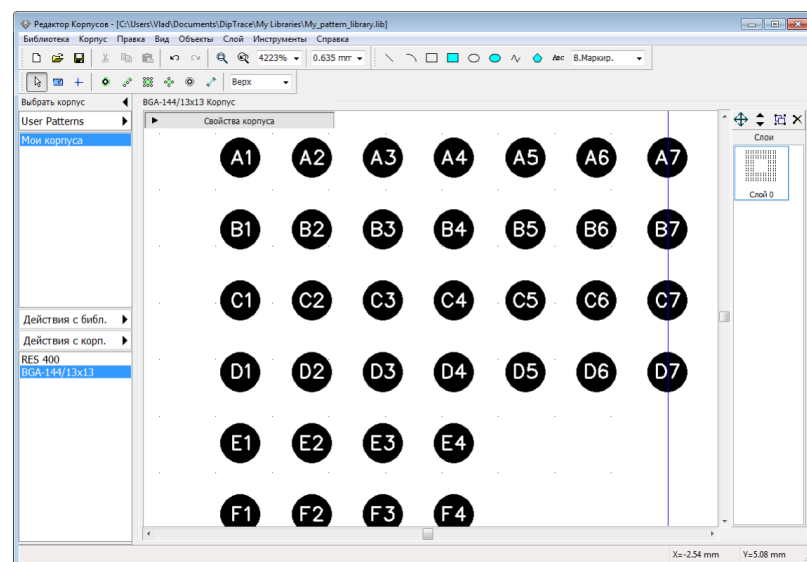


Рис. 116. Перенумерація по контуру

Тепер нарисуйте шовкографію корпусу за допомогою інструментів на Панелі рисуння. Сітка може бути змінена за допомогою клавіш Ctrl + Знак

плюса, Ctrl + Знак мінуса або відключена за допомогою F11. Об'єкти можуть бути переміщені простим перетягуванням в області рисунка або за допомогою функції позиціонування шарів (виберіть шар у списку праворуч і перетягуйте всі об'єкти шаром за раз). У нашому випадку підійде сітка 0.318 мм.

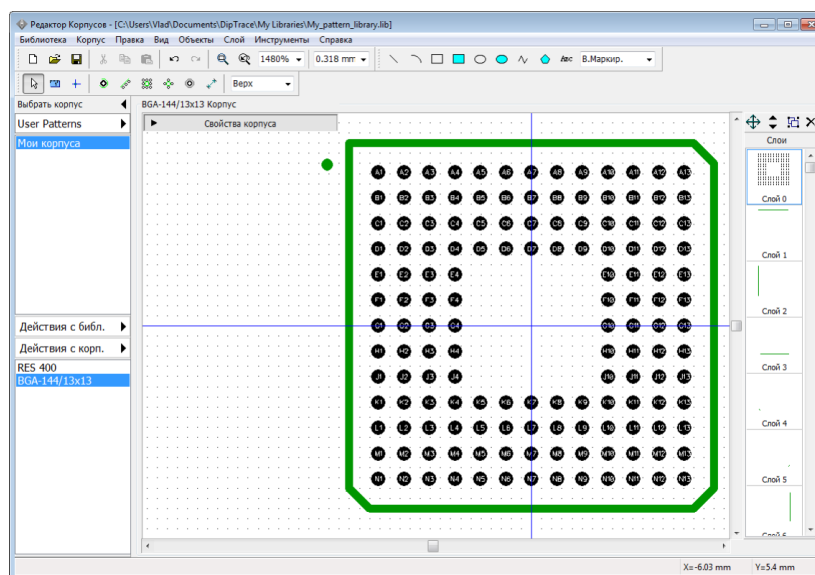


Рис. 117. BGA-корпус готовий

BGA-корпус готовий, натисніть Ctrl+S або кнопку Зберегти.

3.1.6. Створення реального компонента. Корпус SOIC-28

Тепер займемося створенням реального компонента відповідно до його "даташиту".

Візьмемо, наприклад, компонент Microchip PIC18F24K20 в корпусі SOIC-28. Якщо створюєте компонент з нуля і знаєте, що у вас немає відповідного корпусу, завжди рекомендуємо починати зі створення корпусу, а лише потім приступати до створення схемотехнічного символу.

Спершу ми зробимо корпус SOIC-28. Додайте новий корпус до бібліотеки ("Корпус/Додати до бібліотеки" з головного меню), потім введіть

його ім'я "SOIC-28" та мітку "IC". Виберіть Стиль: Лінії та Кількість виводів: 28 на панелі Властивості корпусу.

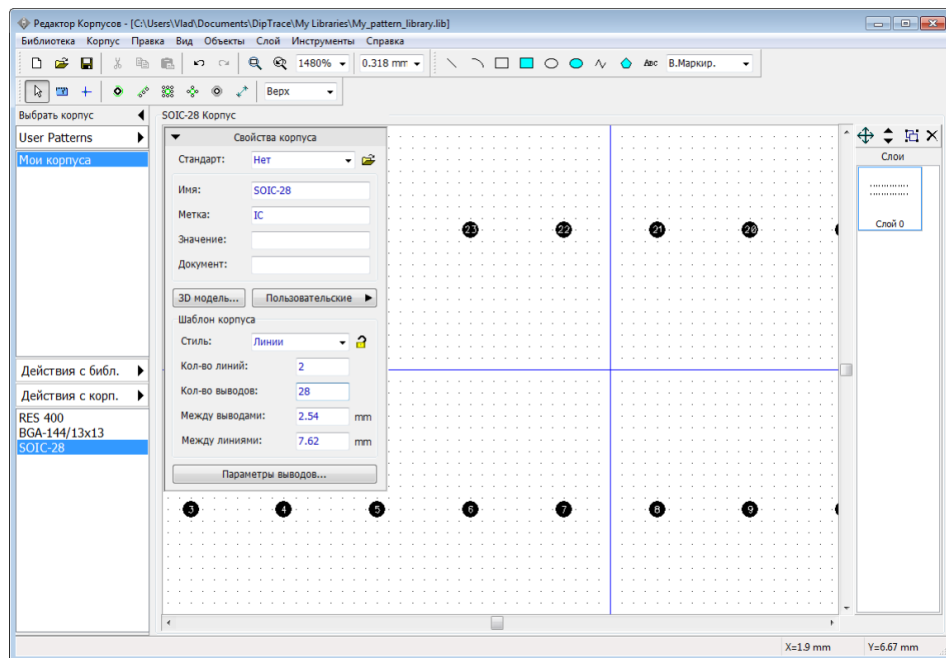


Рис. 118. Додавання нового корпусу SOIC-28 до бібліотеки

Дуже важливо не помилитися та вказати правильні параметри. Точні розміри корпусу SOIC-28 (7.50 mm) можна знайти у специфікації компонента на сайті Microchip, або можна взяти корпус SOIC-28 зі стандартних бібліотек DipTrace як приклад.

Спочатку вкажемо параметри контактних майданчиків (натисніть Параметри виводів): На платі: Поверхневі, Форма: Прямокутник, Ширина: 0.6, Висота 2 та натисніть ОК. Потім вкажіть: між лініями: 9.4, між висновками: 1.27 на панелі властивостей корпусу (всі розміри в мм). Перевірте коректність введених параметрів.

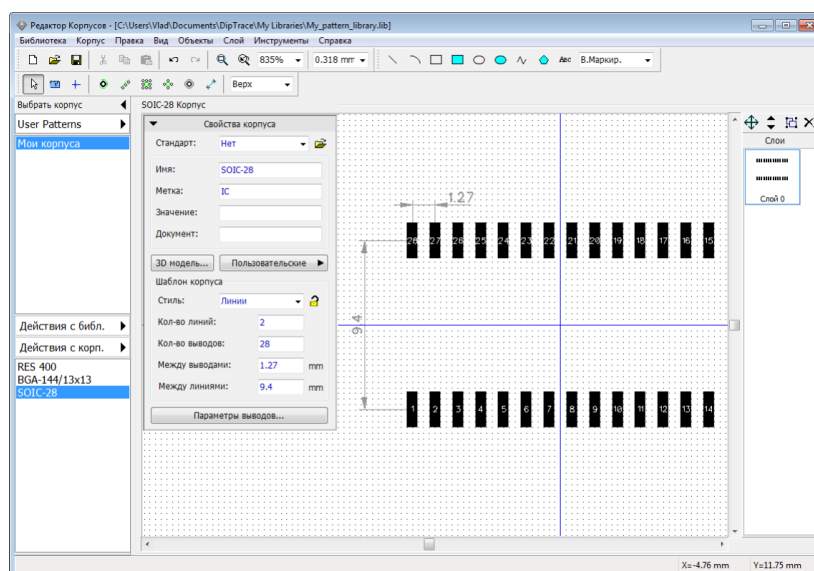


Рис. 119. Параметры контактных майданчиків

Номери майданчиків правильні, тому перенумерувувати їх не потрібно. Заблокуйте параметри корпусу, щоб запобігти змінам помилки.

Нарисуйте шовкографію посадкового місця (дивись рисунок 117) використовуючи інструменти Лінія, Полілінія та Дуга на Панелі Рисування (змініть розмір сітки (0.635 мм підійде), можете її відключити, а також згорнути панель Властивостей корпусу, щоб вона не заважала).

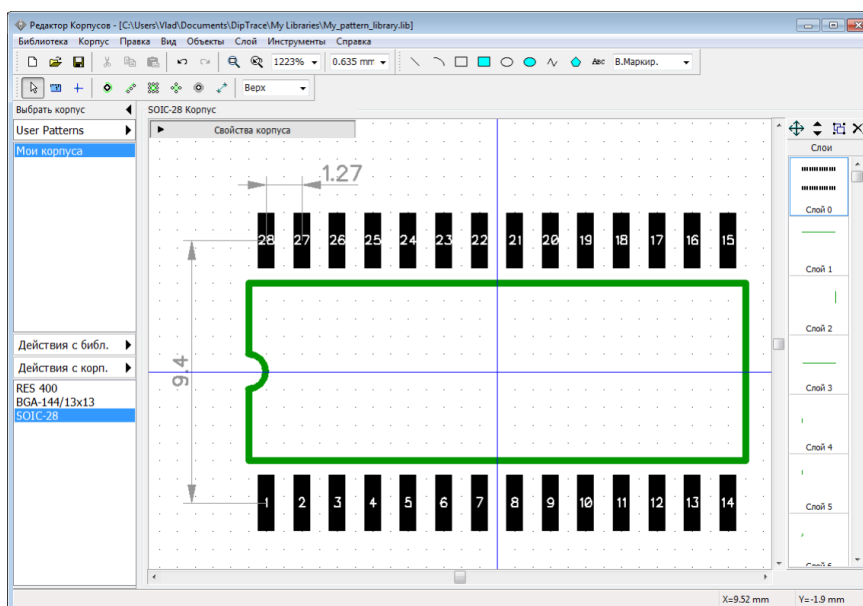


Рис. 120. Шовкографія посадкового місця

Для того, щоб нарисувати дугу, оберіть Дуга на Панелі рисування. Натисніть лівою кнопкою миші, щоб позначити її першу точку, потім клацніть на другій точці, щоб позначити її вершину, а потім клацніть, щоб завершити рисування дуги.

"Даташит" вимагає, щоб корпус був орієнтований вертикально, тому виберіть "Правка/Обертати корпус" з головного меню.

Підключіть 3D модель soic-28_300mil.step із бібліотеки _General до корпусу. А потім ми підключимо цей корпус до нового компонента, яким ми займемося в наступному розділі .

Збережіть бібліотеку та закрийте Редактор Корпусів.

3.2. Створення бібліотеки компонентів

Відкрийте редактор компонентів, тобто виконайте Пуск/Усі Програми/DipTrace/Редактор Компонентів для користувачів Windows OS. Якщо у вас MacOS, використовуйте DipTrace Launcher.

Редактор Компонентів служить для створення та редагування компонентів та їх бібліотек. Лише у Редакторі Компонентів можна підключити схемотехнічний символ до корпусу, але редагувати корпус та підключати до нього 3D модель можна лише у Редакторі Корпусів.

3.2.1. Налаштування редактора компонентів

Налаштування Редактора Компонентів аналогічне до налаштування Редактора Корпусів. Після запуску програми, виберіть "Вигляд/Початок координат" у головному меню або просто натисніть F1 для відображення або приховування точки початку координат. Панель властивостей компонента аналогічна Редактору Корпусів.

Можна вибрати один із чотирьох стилів компонента: Довільний (без будь-яких певних властивостей), 2 сторонній (виводів з двох сторін), 2-х

стороння мікросхема (виводи з двох сторін + прямокутний корпус) та 4 стороння мікросхема (виводи з 4-х сторін + прямокутний корпус). Єдине, що може викликати питання це поля Типи секцій та Секція.

Типи секцій

Секції можуть бути трьох типів: Нормальна, Живлення і земля та Порт. Якщо ви хочете приховати виводи живлення мікросхеми на схемі, то створіть окремо секцію живлення та перенесіть усі виводи землі та живлення до неї. Порти це особливі односекційні компоненти, розроблені для з'єднання мереж без візуальних зв'язків, зазвичай вони застосовуються до мереж GND і VCC. Ми будемо створювати мережеві порти пізніше. Секція показує активну секцію багатосекційного компонента (у нашому випадку це не важливо).

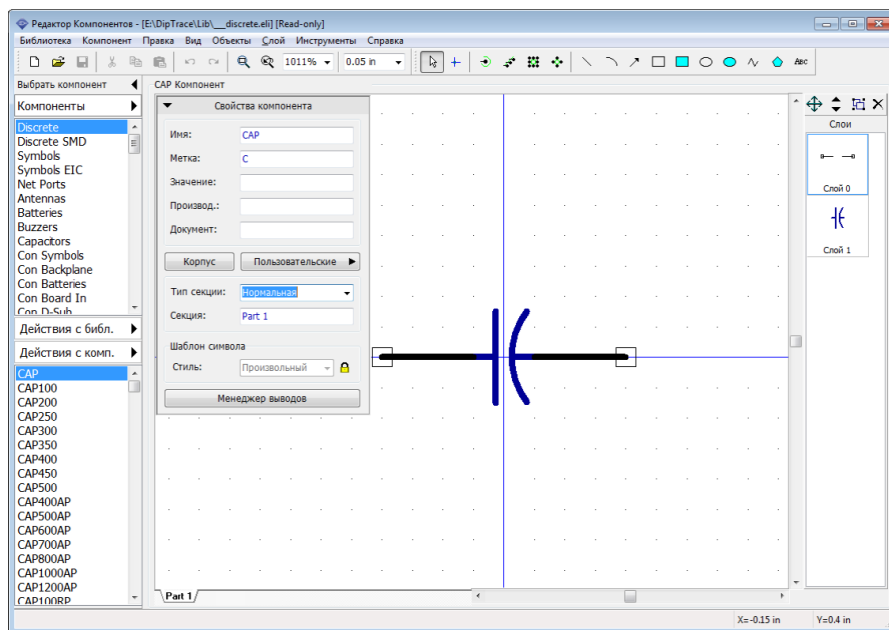


Рис. 121. Активну секцію багатосекційного компонента

Якщо ви хочете встановити властивості виводів перед створенням компонента, то оберіть "Об'єкти/Параметри встановлення виводів" у головному меню. Ми не змінюватимемо ці налаштування, але варто пам'ятати, що довжину і відстані по X- і Y-осях слід вибирати кратними

величині сітки так, щоб кінці виводів збігалися з точками сітки. Ми рекомендуємо використовувати сітку 0.1 дюйм для розміщення виводів та вирівнювання виводів по сітці.

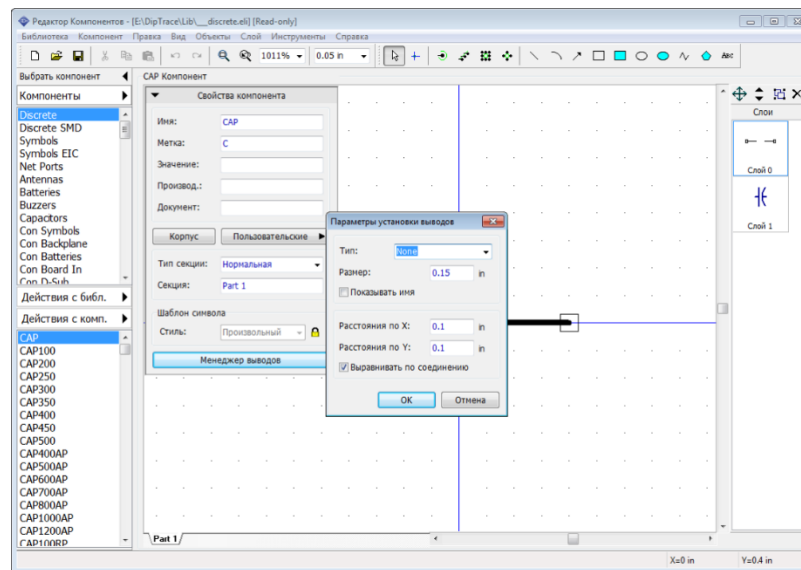


Рис. 122. Розміщення виводів та вирівнювання виводів по сітці

3.2.2. Створення компонента резистора

Як і в Редакторі Корпусів, спочатку необхідно створити бібліотеку, тому що DipTrace не дозволить додати нові компоненти до стандартних бібліотек.

Створення бібліотеки компонентів

Натисніть Дії з Бібліотеки, а потім натисніть Нова бібліотека на панелі Менеджера бібліотек. У діалоговому вікні введіть ім'я бібліотеки (воно має бути невеликим) та коментар. Також можна вибрати групу бібліотек, у якій потрібно створити нову бібліотеку. За замовчанням програма пропонує зберігати всі користувальницькі бібліотеки компонентів у групі бібліотек Користувальницькі Компоненти.

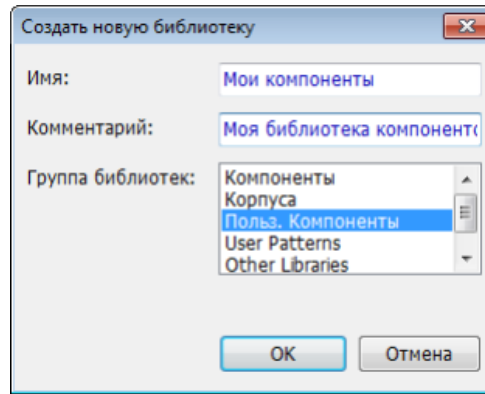


Рис. 123. Панель Менеджера бібліотек

Тепер натисніть кнопку із зображенням дискети на Стандартній панелі у лівому верхньому кутку. Виберіть папку, де хочете зберегти бібліотеку. Користувачам Windows ми рекомендуємо зберігати бібліотеки в папці "Документи/DipTrace/My Libraries", куди також зберігаються бібліотеки корпусів (*.lib).

Введіть ім'я файлу та натисніть Зберегти. Тепер у нас є нова користувальницька бібліотека компонентів, яка називається "Мої компоненти", збережена у файлі My_comp_library.e1i.

Далі створюємо резистор, використовуючи довільний стиль і візуальну установку виводів. Спочатку необхідно задати назву, мітку компонента та значення "47k Ω ", використовуючи відповідні поля на панелі Властивостей компонента. Після вказівки атрибутів мінімізуйте панель властивостей за допомогою стрілки в її лівому верхньому куті.

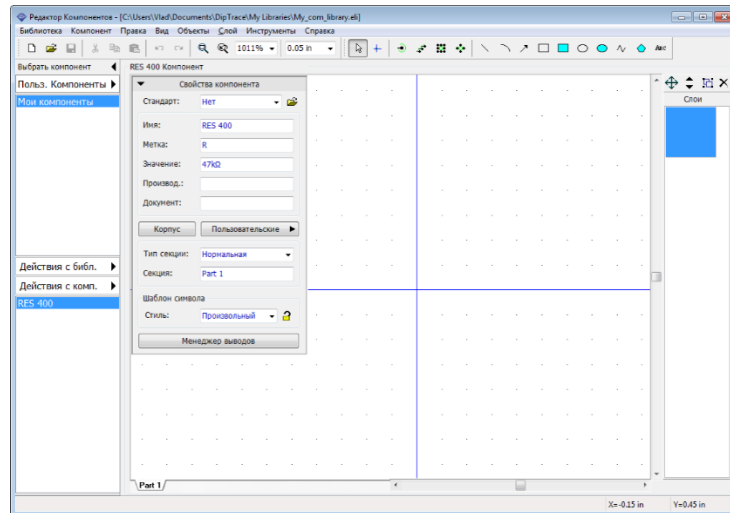



Рис. 124. Створення резистору

Натисніть кнопку Вивод  на Панелі об'єктів і клацніть двічі в області побудови, щоб встановити два виводи. Поверніть один із виводів на 180 градусів, виберіть його та натисніть клавішу R двічі. Тепер виберіть інструмент Прямокутник на Панелі рисування та створіть межі резистора у шарі шовкографії. Виводи мають бути встановлені за сіткою 0.1 дюйма, тому прямокутник потрібно намалювати за сіткою 0.05 дюйма (використовуйте гарячі клавіші Ctrl + Знак плюса, Ctrl + Знак Мінуса для швидкої зміни розміру сітки. У вас має бути як на рисунку 122.

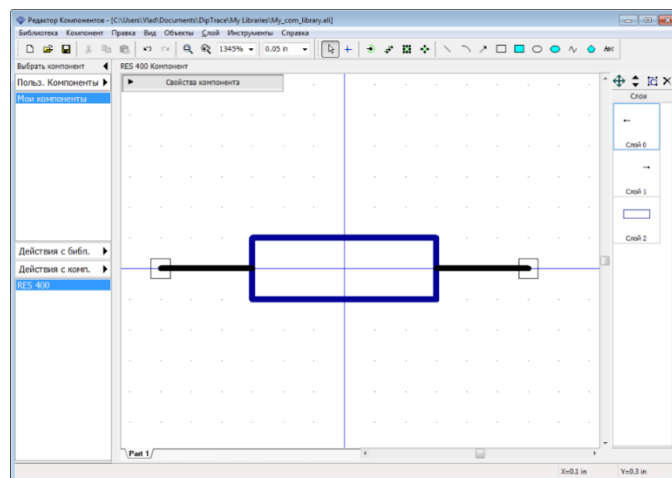


Рис. 125. Створення меж резистора у шарі шовкографії

Ви можете переміщувати виводи, просто перетягуючи їх мишею. Для переміщення або обертання кількох виводів потрібно спочатку їх виділити. Прикріпіть корпус до символу. Символ резистора вже готовий, але нам потрібно приєднати до нього корпус, інакше компонент не відобразатиметься на платі. Щоб прикріпити корпус до компонента, виберіть "Компонент/Прив'язка до корпусу" з головного меню або натисніть Корпус на панелі Властивостей Компонента. Ми хочемо підключити до цього символу корпус резистора, який ми створили у Редакторі Корпусів у попередньому розділі лекцій. У діалоговому вікні виберіть групу бібліотек Користувальницька.

Корпуси (User Patterns), оскільки саме там ми зберегли бібліотеку із нашим корпусом. У цій групі бібліотек є лише одна бібліотека ("Мої корпуси"), тому виберіть її, а потім виберіть корпус RES 400.

Програма автоматично з'єднує виводи символу з виводами корпусу (контактними майданчиками) на підставі номерів. За потреби зв'язку можна перепризначати вручну.

Щоб створити або змінити існуючі зв'язки, натисніть на вивод символу, потім натисніть на відповідному контактному майданчику корпусу. Щоб видалити зв'язок, клацніть правою кнопкою виводу корпусу або символу і виберіть Вимкнути вивод від контактної майданчика з підменю. Коли ви наводите курсор миші на один із з'єднаних виводів, то підсвічуються як вивід символу, так і підключений контактний майданчик корпусу. При роботі зі складними компонентами найбільш зручним способом з'єднання виводів і контактних майданчиків служить Таблиця відповідності виводів і контактних майданчиків. Щоб підключити контактний майданчик, достатньо ввести його номер у відповідне поле в таблиці.

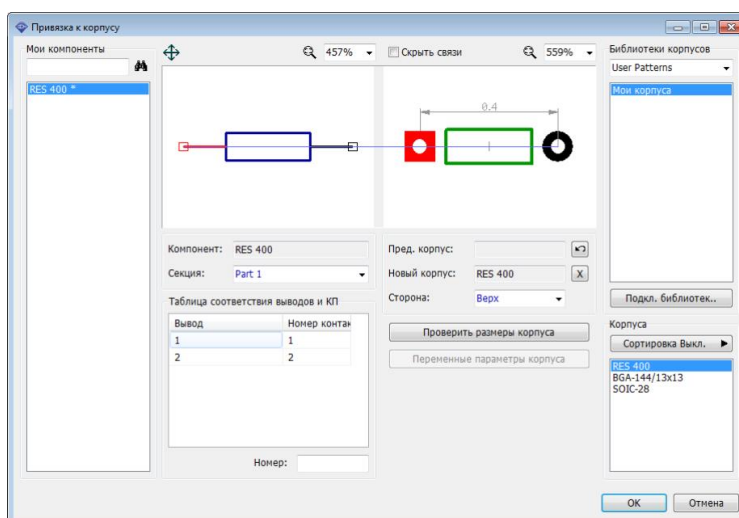


Рис. 126. Таблица відповідності виводів і контактних майданчиків

Якщо вибраний корпус не підходить, його можна забрати або повернути попередній натисканням однієї кнопки. Для того щоб змінити бік посадкового місця корпусу на платі, потрібно вибрати його з відповідного спадного списку.

Усі компоненти поточної бібліотеки компонентів відображаються у списку у лівій частині вікна, таким чином можна призначати корпуси для кількох символів компонентів, не закриваючи поточне вікно. У нашому випадку в бібліотеці лише один компонент.

Натисніть ОК, щоб приєднати корпус до символу резистора.

Для того, щоб змінювати номери виводів символу (відповідно та їх підключення до контактних майданчиків корпусу) можна використовувати Менеджер виводів (натисніть Менеджер виводів на панелі Властивостей компонента).

Компонент повністю готовий: він має правильно з'єднані між собою схемотехнічний символ, корпус (посадкове місце) та 3D модель.

Далі треба зберегти зміни в бібліотеці компонентів.

3.2.3. Створення конденсатора (компонент)

Натисніть "Компонент/Додати новий» до бібліотеки "Мої компоненти"" у головному меню. Ми створимо конденсатор, використовуючи стиль 2 -сторонній, для цього спочатку задайте назву "CAP", мітку компонента - "C", значення - "2 μ F", а потім виберіть 2-сторонній в полі Стиль на панелі Властивостей компонента. Переконайтеся, що дюйми встановлені як одиниці вимірювання та змініть ширину компонента на 0.1 дюйма, кількість виводів зліва та справа має бути 1.

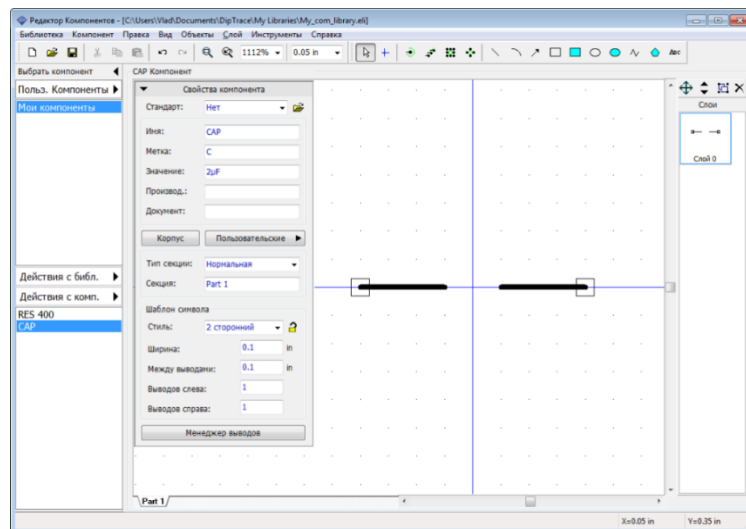


Рис. 127. Створення конденсатору

Тепер згорніть панель Властивостей компонента, встановіть розмір сітки 0.012 дюйма та нарисуйте безпосередньо символ конденсатора використовуючи три лінії та дугу.

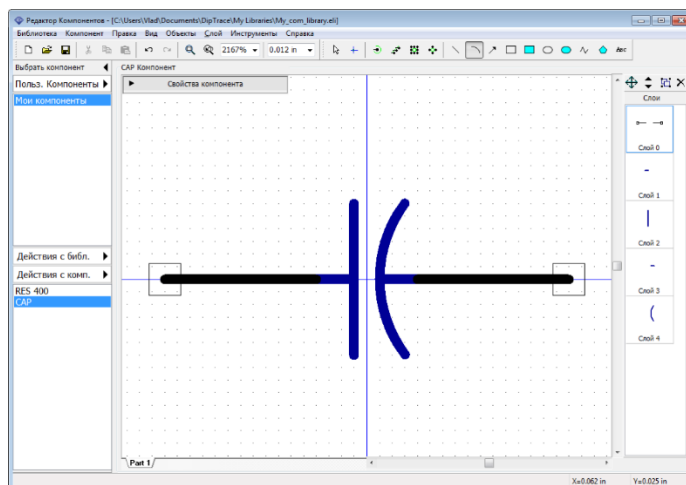


Рис. 128. Рисунання безпосередньо символ конденсатора використовуючи три лінії та дугу

Покажемо імена виводів символу, виділіть виводи (для виділення всіх об'єктів натисніть **Ctrl+A**), клацніть правою кнопкою по одному з виводів і виберіть пункт Властивості виводу в підменю. У діалоговому вікні, що з'явилося, позначте Показувати ім'я і натисніть **ОК** для підтвердження змін і закриття вікна.

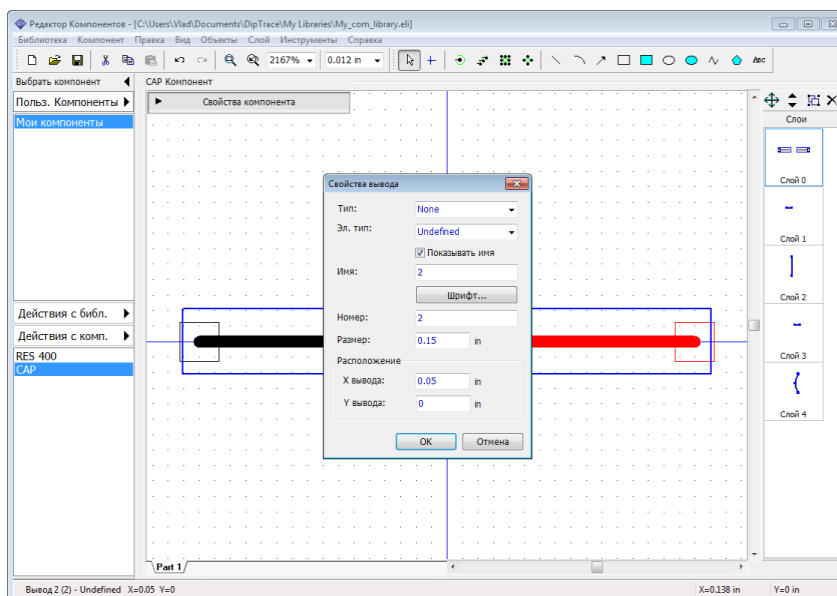


Рис. 129. Імена виводів символу

Тепер імена виводів відображаються, але вони знаходяться у невідповідних місцях, тому ми їх перемістимо. Виберіть "Вигляд/Позиціонування" з головного меню або просто натисніть F10. Потім лівою кнопкою миші перетягуйте імена виводів у нові місця. Щоб повернутися до стандартного режиму, клацніть правою кнопкою миші на порожньому місці.

Режим позиціонування можна використовувати для переміщення, виводів, номерів, міток тощо. Крім того, ви можете використовувати цей метод для переміщення імен, номерів виводів та атрибутів компонентів у всіх модулях програми DipTrace.

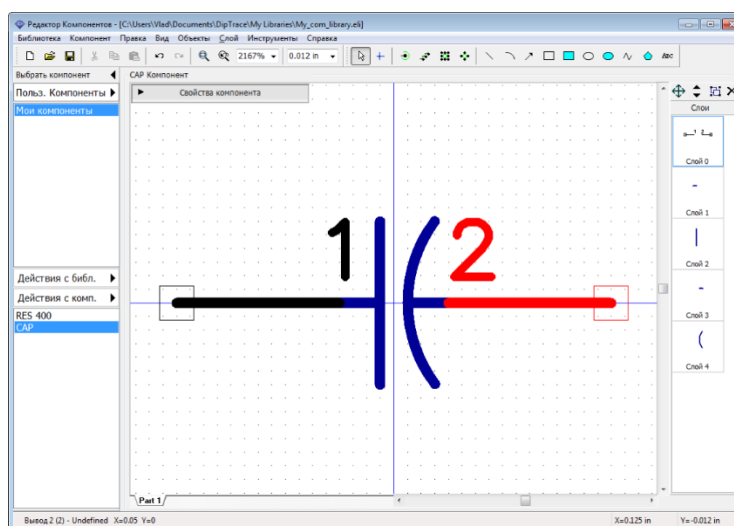


Рис. 130. Режим позиціонування можна використовувати для переміщення, виводів, номерів, міток тощо

До речі, ми відобразили імена виводів (а не їхні номери). Давайте перейменуємо один із виводів, разом покажемо як застосовувати інверсію в його імені. Клацніть правою кнопкою на виводі, виберіть Ім'я Виводу із підменю та введіть текст "normal ~invert". Натисніть кнопку ОК і перемістіть нове ім'я виводу за допомогою інструмента F10. Тільда в імені виводу означає початок і кінець інверсії, так що можна визначати інверсію для різних частин (сигналів) виводу.

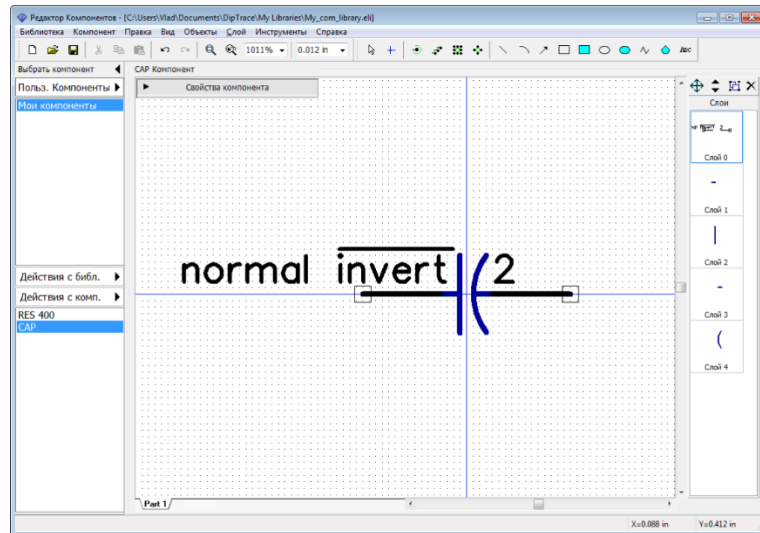


Рис. 131. Перейменування одного із виводів за допомогою інверсії в його імені

Швидше за все, у реальній практиці немає необхідності відобразити імена виводів для простих компонентів як конденсатор.

Виберіть "Компонент/Таблиця виводів" у головному меню, щоб відкрити вікно Таблиці виводів, або натисніть кнопку Менеджер виводів на панелі Властивостей компонента. У таблиці виберіть вивід з іменем normal ~invert і поміняйте його назад на 1. Тепер приховайте імена обох виводів: виберіть їх, утримуючи ліву кнопку миші та зніміть галочку Показувати ім'я. Закрийте таблицю виводів.

Зверніть увагу, що в Таблиці Виводів можна швидко та зручно змінювати номер, координати, довжину та електричний тип виводів для компонентів з будь-якою їх кількістю.

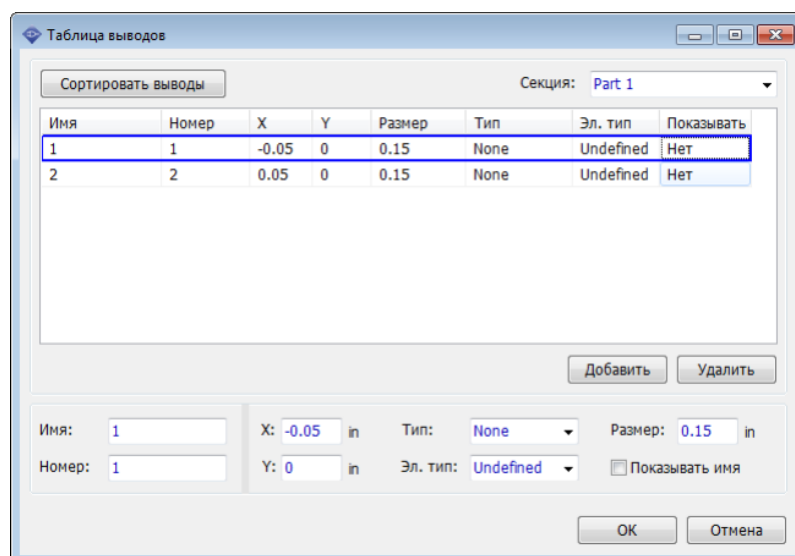


Рис. 132. Вікно Таблиці виводів

У Редакторі Компонентів можна задавати індивідуальні налаштування відображення номерів виводів ("Компонент/Номери виводів" в головному меню) та загальні програмні налаштування (ті ж, що і в Схемотехніці), використовуючи пункт головного меню "Вигляд/Номери виводів". Встановіть Показувати налаштування відображення номерів виводів компонента. Якщо необхідно, посуньте написи щодо виводів, використовуючи функцію переміщення написів (F10).

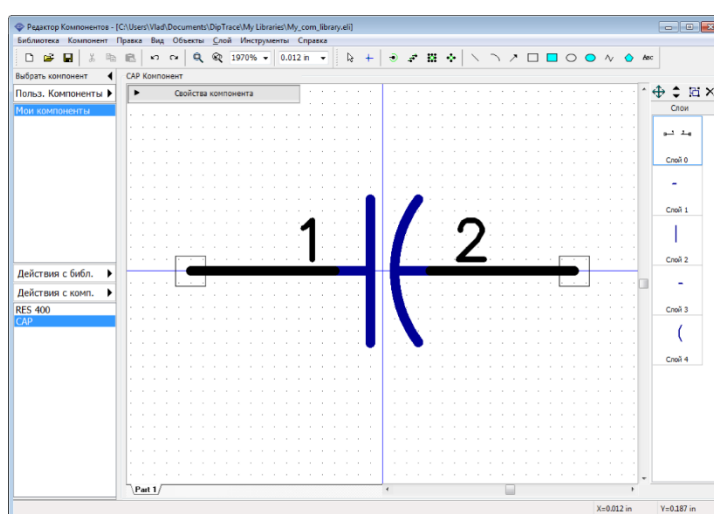


Рис. 133. Відображення номерів виводів компонента у Редакторі Компонентів

Наступний крок – підключення корпусу до конденсатора. Виберіть "Компонент/Прив'язка до корпусу" у головному меню. Для цього компонента ми не рисували корпус, тому що візьмемо його зі стандартних бібліотек корпусів DipTrace. Виберіть групу бібліотек Корпусу в полі Бібліотеки Корпусів, потім виберіть бібліотеку CAP та корпус CAPPR-2.54/5.08. Можете використовувати сортувальні фільтри. Відповідності виводів та контактних майданчиків, пропонувані програмою правильні, тому їх міняти не треба.

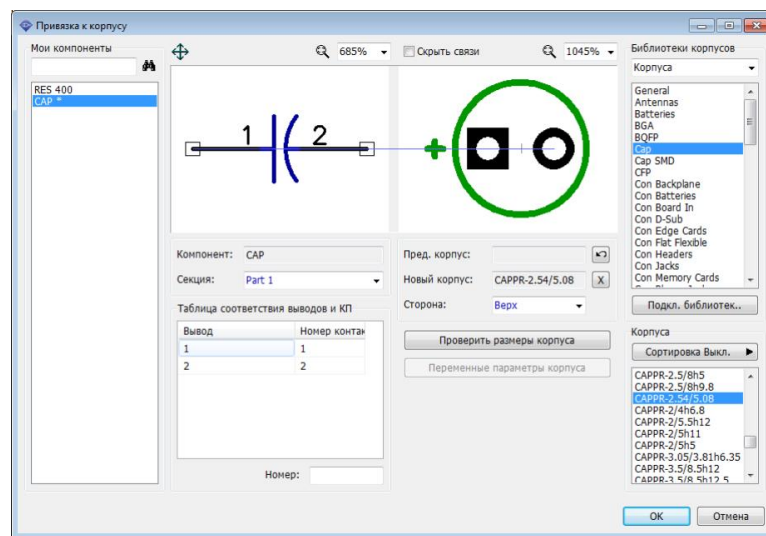


Рис. 134. Підключення корпусу до конденсатора

Натисніть кнопку ОК. Конденсатор готовий. Збережіть зміни.

3.2.4 Створення символів VCC та GND

Тепер ми попрактикуємося у створенні мережевих портів, розробляючи символи VCC та GND.

VCC

Виберіть "Компонент/Додати новий» до бібліотеки "Мої компоненти". Введіть назву VCC на панелі Властивостей компонента та виберіть Порт у полі Тип секції.

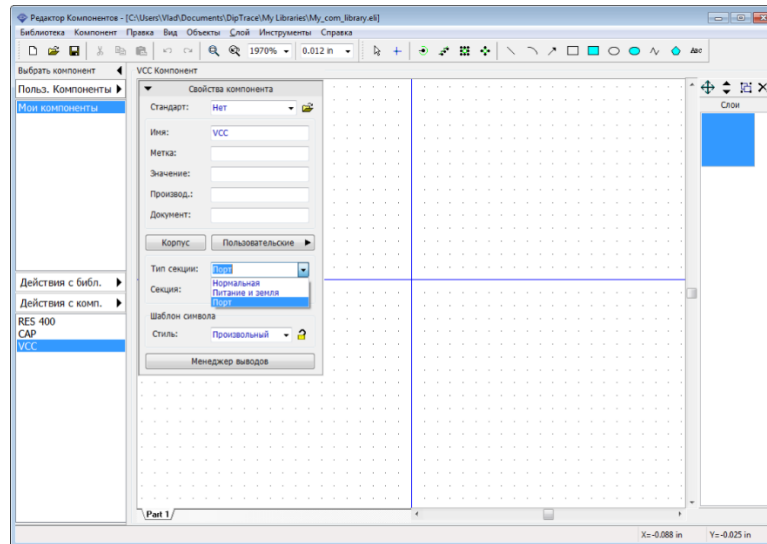



Рис. 135. Назва VCC на панелі Властивостей компонента

Мінімізуйте панель Властивостей компонента, потім виберіть інструмент Вивід  і встановіть один вивід в області побудови, поверніть його вертикально (виберіть вивід та натисніть R). Тепер виберіть інструмент Лінія на Панелі рисування та нарисуйте лінію як на рисунку нижче. Найкраще підійде сітка 0.05 дюйми.

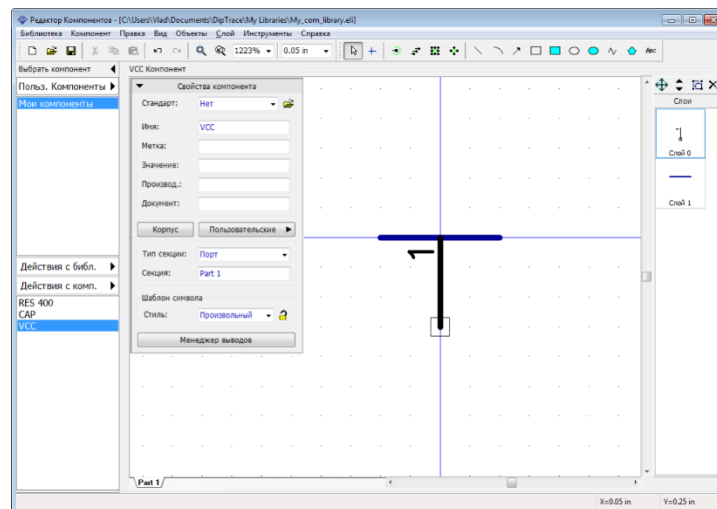


Рис. 136. Інструмент Лінія на Панелі рисування

Приховайте нумерацію виводів, натиснувши "Компонент/Номери виводів/Сховати" у головному меню, якщо вони показані. Символ VCC ГОТОВИЙ.

GND

Тепер додайте новий компонент (Ctrl+Insert) та нарисуйте символ GND аналогічним чином. Для рисування символу GND ми використали сітку 0.0125 дюйми.

Виберіть "Правка/Центрувати" або Ctrl+Alt+C для символу GND, тому що в нашому випадку початок координат символу не співпадає з центром компонента і цей символ у Схемотехніці за замовчуванням буде відображатися разом із точкою початку координат, що нам зовсім не потрібно.

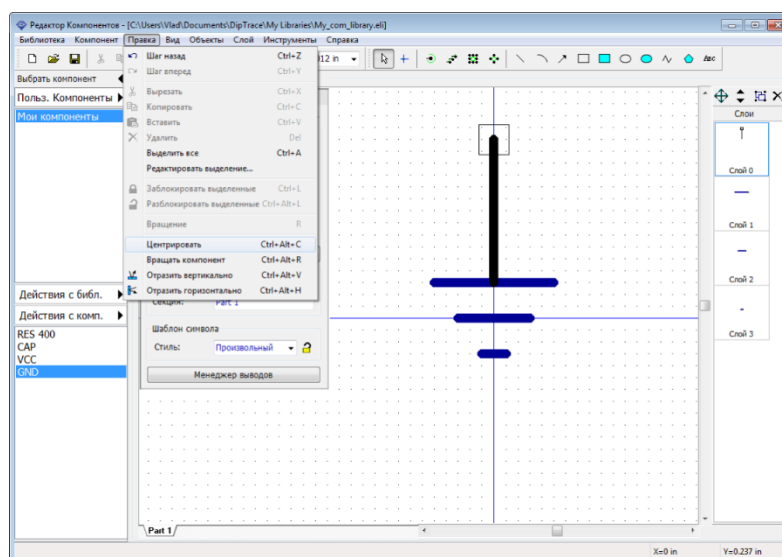


Рис. 137. Рисування символу GND

До символів мережних портів не потрібно підключати корпуси. Це особливий тип компонентів, який використовується лише для створення логічного зв'язку між выводами та фізично не існує на платі.

Потім треба зберегти бібліотеку.

3.2.5. Створення мультисекційного компонента

Схемотехнічні символи деяких компонентів можуть складатися з кількох символів (секцій), незважаючи на те, що на платі такий компонент знаходиться в одному фізичному корпусі. Створення багатосекційних компонент має свої особливості.

Створення символу

Ми створимо простий мультисекційний компонент, що складається з чотирьох елементів "І-НЕ", та приєднаємо до нього корпус DIP-14 із стандартних бібліотек програми. Для цього додайте новий компонент в бібліотеку, тобто натисніть Дії з компонентів, а потім натисніть Додати новий компонент до бібліотеки "Мої компоненти". Введіть назву та мітку компонента.

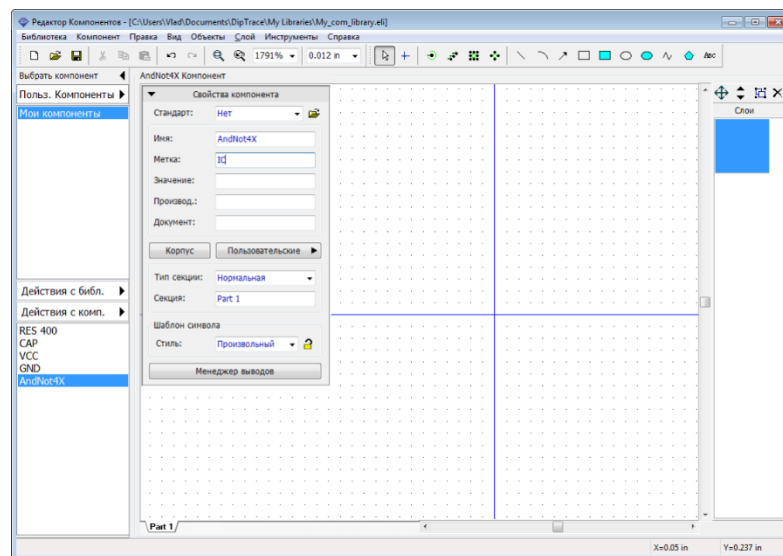


Рис. 138. Введення назви та мітки простого мультисекційного компоненту, що складається з чотирьох елементів "І-НЕ"

Створення секцій

Можна створювати багатосекційні компоненти, що складаються з роздільних або однорідних секцій. По суті, ці два види нічим не

відрізняються, просто для однорідних секцій автоматично успадковується графіка та розташування виводів символу, і не потрібно рисувати їх заново для кожної секції. Зараз ми створимо компонент із однорідних секцій, які потім у Схемотехніці можна буде групувати для зручності.

Кожна секція багатосекційного компонента може мати власний тип (Нормальний, Порт, Живлення та земля). Секції Живлення та землі у Схемотехніці можна приховати. На один компонент має бути одна секція типу Живлення та земля.

Давайте створимо компонент, що містить 4 схожі секції "I-HE" і одну загальну секцію живлення. Виберіть "Компонент/Створити групу однорідних" із головного меню, потім введіть кількість секцій "4" і натисніть ОК. Секції представлені як вкладок внизу області побудови. Однорідні секції автоматично успадковують графіку та розташування виводів.

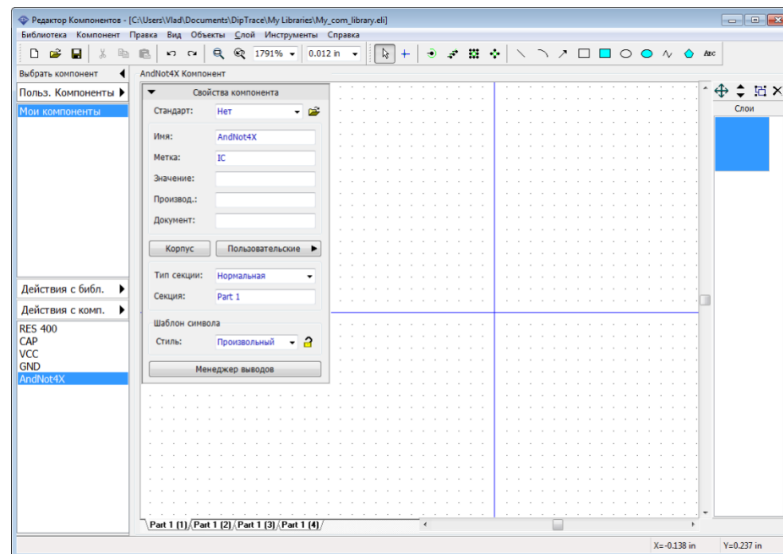


Рис. 139. Створення компоненту, що містить 4 схожі секції "I-HE" і одну загальну секцію живлення

Тепер ви бачите наступні секції: Part 1 (1), Part 1 (2), Part 1 (3) та Part 1 (4). Всі однотипні секції успадковують також ім'я. Змініть його на "AN", для цього оберіть відповідну секцію та введіть нове ім'я в полі Секція на панелі Властивостей компонента.

Бракує п'ятої секції живлення. Оскільки секція живлення має іншу графіку, її потрібно створити як окрему секцію, а не однорідну. Виберіть "Компонент/Додати нову секцію" в головному меню, потім виберіть секцію, що з'явилася, і перейменуйте її на "PWR". Додана секція не належить до групи секцій "AN", як і задумано. Почнемо рисування графіки із секції живлення. На панелі властивостей Компонента виберіть Стиль: 2- стороння мікросхема, Ширина: 0,3, Висота: 0,25, Виводів ліворуч: 2, Виводів праворуч: 0 (всі розміри в дюймах). Потім виберіть Живлення та земля в полі Тип секції.

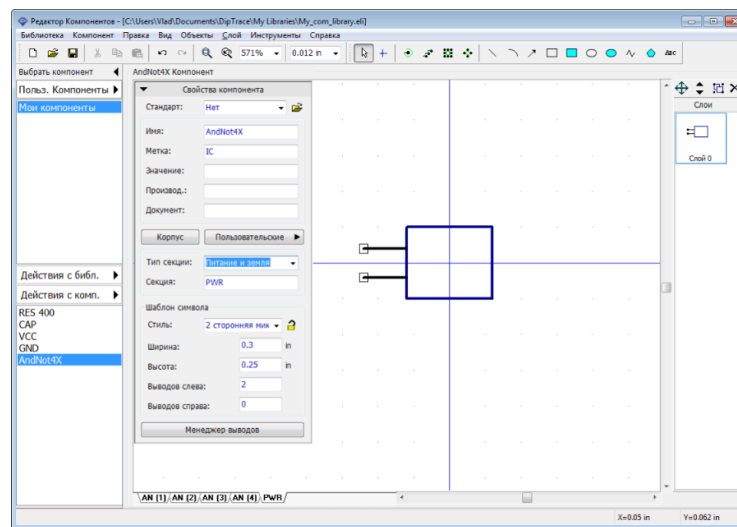


Рис. 140. Додавання п'ятої секції живлення

Натисніть Менеджер виводів та змініть імена виводів секції живлення на "VCC" та "GND", номери виводів-"14" і "7", електричний тип-Power і поставте галочку Показувати ім'я для обох виводів.

Параметри Тип, Показувати ім'я та Розмір можна змінювати одночасно для кількох виводів. Можна змінювати розмір вікна таблиці виводів та ширину кожного стовпця. Ці налаштування зберігаються при виході з програми.

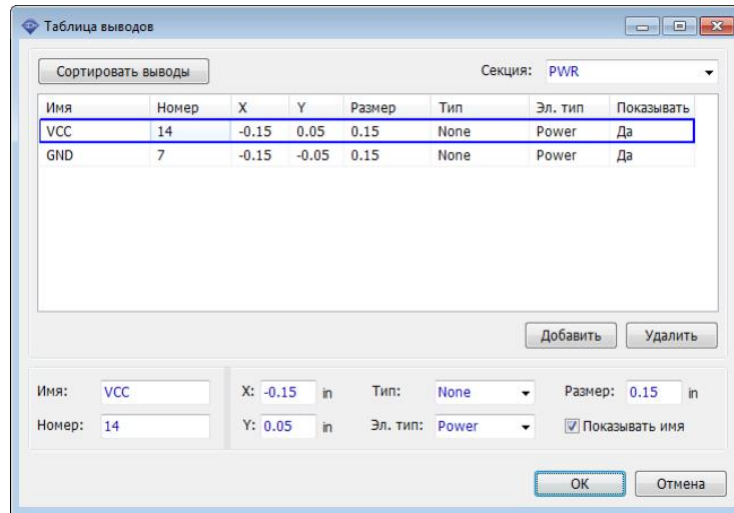



Рис. 141. Імена виводів секції живлення на "VCC" та "GND"

Натисніть ОК, щоб закрити таблицю виводів. Секція живлення готова. Залишилося створити решту секцій: виберіть одну з AN секцій і, використовуючи панель Властивостей компонента визначте наступні параметри: Стиль: 2 стороння мікросхема, Ширина: 0,2, Висота: 0,25, Виводів ліворуч: 2, Виводів праворуч: 1. Тепер поверніть панель властивостей, виберіть інструмент Текст , клацніть усередині прямокутника символу та надрукуйте текст "&". Потім натисніть клавішу Enter. Текст можна перетягнути, якщо він перекриває графіку символу.

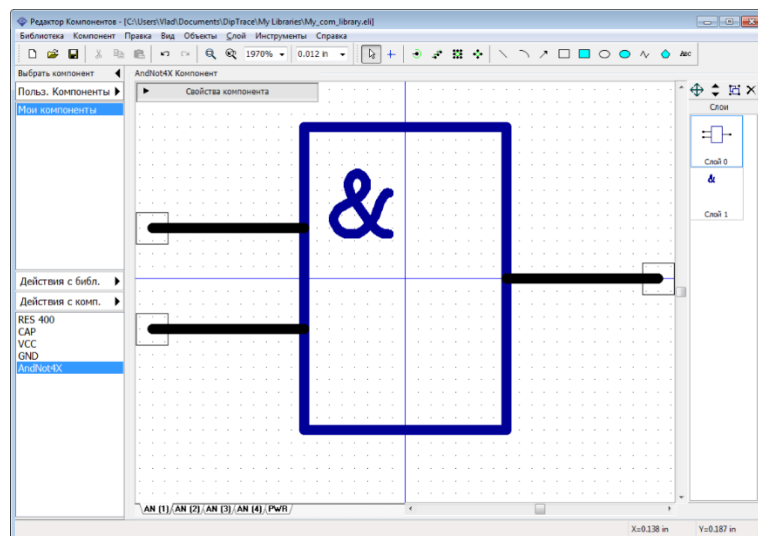


Рис. 142. Друк усередині прямокутника символу "&"

Ми створюємо секцію компонента "І-НЕ", тому правий вивід має бути інверсним або "Dot" типу. Для цього клацніть правою кнопкою виводу, виберіть Властивості виводу в підменю, виберіть "Dot" у полі Тип, потім натисніть ОК для підтвердження змін і закриття діалогового вікна. Вам не потрібно рисувати інші секції "AN". Вони вже готові, адже наслідують уже нарисовану секцію. Єдино що однорідні секції не успадковують, то це нумерацію виводів.

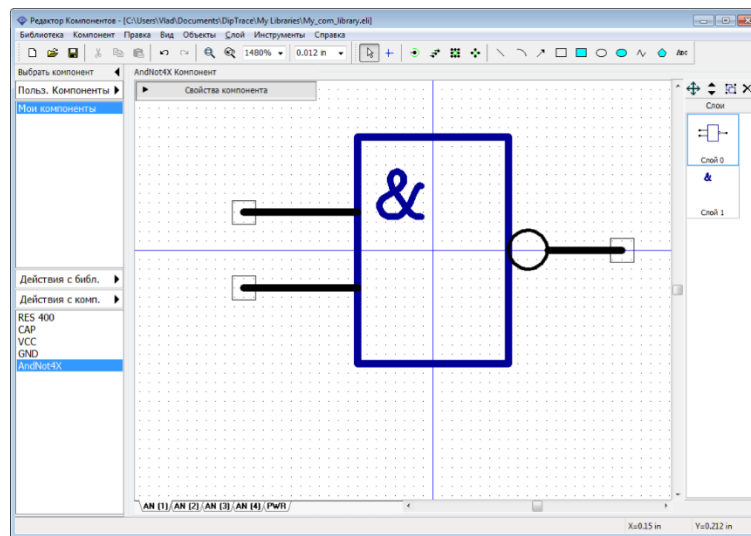


Рис. 143. Правий вивід інверсний або "Dot" типу

Менеджер виводів

Виберіть "Компонент/Таблиця виводів" у головному меню. У діалоговому вікні таблиці виводів виберіть секцію (знижуючий список праворуч вгорі), задайте номери виводів вибраної секції, потім виберіть наступну секцію і так, доки не введете номери виводів для всіх AN. Не обов'язково вибирати виводи мишею, достатньо натиснути Вниз або Введення на клавіатурі, щоб вибрати наступний вивід. Не забудьте, що вивід із номером 7 вже існує в секції живлення, тому при нумерації виводів інших секцій пропустіть цей номер. Також вкажіть електричний тип для виводів

секцій AN (два виводи Input та один вивід Output), інші секції успадкують це. Натисніть кнопку ОК.

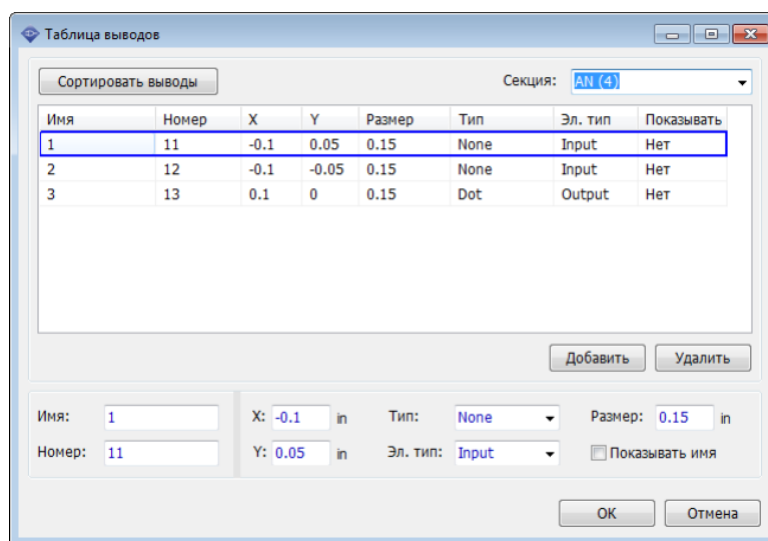


Рис. 144. Номери і параметри виводів вибраної секції

Наступним кроком буде приєднання корпусу до мультисекційного компонента. Натисніть Корпус, у діалоговому вікні виберіть Корпуси в Бібліотеки Корпусів, потім виберіть бібліотеку DIP і корпус DIP-14. Зверніть увагу, що в нашому випадку не потрібно визначати зв'язки між виводами символу та контактними майданчиками корпусу, адже при розробці символу ми продумали це та вказали правильні номери виводів, щоб програма автоматично вказала ці зв'язки за нас. Вибирайте різні секції компонента, щоб візуально перевірити правильність підключення виводів до контактних майданчиків. Натисніть ОК.

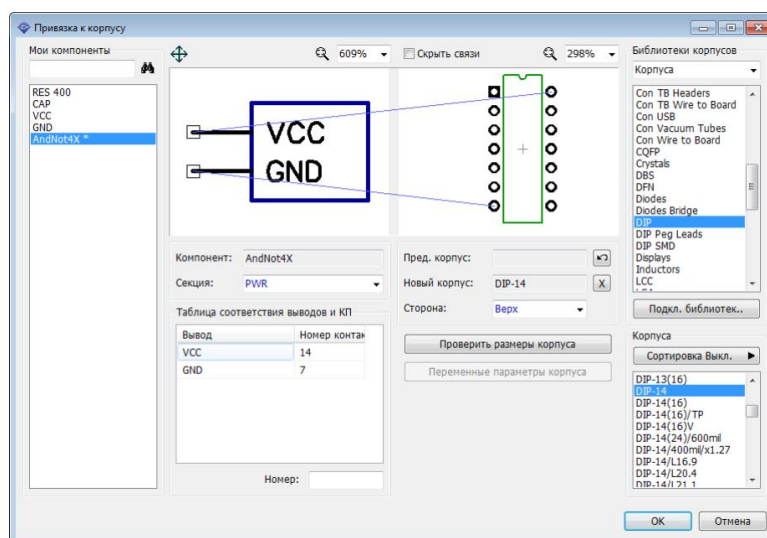


Рис. 145. Приєднання корпусу до мультисекційного компонента
Мультисекційний компонент готовий до застосування у ваших проектах. Збережіть зміни у файлі бібліотеки.

3.2.6. Використання полів користувача

За замовчуванням усі компоненти DipTrace мають п'ять полів: Ім'я, Мітка, Значення, Виробник і Документ ("даташит"). Однак іноді потрібно додати інші поля. У цьому випадку можна використовувати поля користувача, призначення та текст яких користувач вказує самостійно.

Виберіть "Компонент/Поле користувача за замовчуванням" в головному меню. Давайте припустимо, що нам потрібно додати ще одне поле з "даташитом" компонента. Введіть "Документ№2" у полі Ім'я, виберіть Тип: Посилання, введіть посилання на документ і натисніть Додати. Це додаткове поле тепер застосоване до всіх нових компонентів бібліотеки. Якщо ви хочете додати це поле користувача до всіх існуючих і майбутніх компонентів бібліотеки, натисніть Додати до всіх.

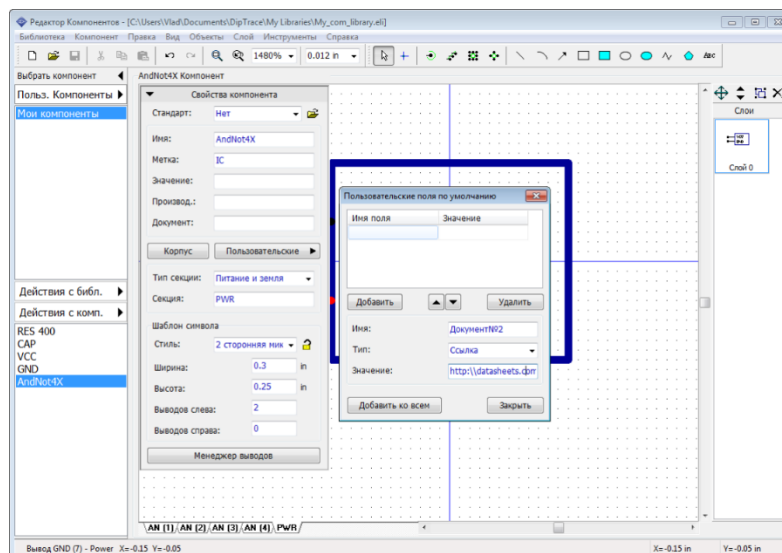


Рис. 146. Додавання нового поля користувача до всіх існуючих і майбутніх компонентів бібліотеки

З цього моменту всі компоненти в бібліотеці матимуть нове поле користувача з інтернет посиланням на ще один "даташит". Закрийте діалогове вікно Поле користувача за замовчуванням. Натисніть Дії з комп., потім натисніть Додати новий компонент до бібліотеки "Мої компоненти". На панелі Властивостей компонента натисніть Користувальницькі, щоб побачити та змінити поля користувача поточного компонента.

Література:

1. Основи комп'ютерної графіки: У 2-х кн. **Кн. 1.** Навчальний посібник для студентів вищих учбових закладів / Г.В.Веселовська, В.Є. Ходаков, В.М.Веселовський; під ред.. В.Є.Ходакова. - Херсон: «Олді-плюс», 2001. 218 с.
2. Основи комп'ютерної графіки: У 2-х кн. **Кн. 2.** Навчальний посібник для студентів вищих учбових закладів / Г.В.Веселовська, В.Є. Ходаков, В.М.Веселовський; під ред. В.Є.Ходакова. - Херсон: «Олді-плюс», 2002. 292 с.
3. Блінова Т.О., Порєв В.М. Комп'ютерна графіка /За ред. В.М.Порєва – К.: Видавництво «Юніор», 2004. 456 с., іл.
4. Кучеренко М. Є. Комп'ютерні технології в електроніці та електротехніці : навч.-метод. Посібник / М. Є. Кучеренко, А. А. Щерба. – К. : ІВЦ «Видавництво «Політехніка»» НТУУ «КПІ», 2003. – 50 с.

Навчальне видання

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«КОМП'ЮТЕРНА ГРАФІКА В ЕЛЕКТРОНИЦІ»

(для здобувачів вищої освіти спеціальностей 172 «Телекомунікації та радіотехніка», 171 «Електроніка», 153 «Мікро- та наносистемна техніка»)

(електронне видання)

Укладач:

Ж.Г. САМОЙЛОВА

Оригінал-макет Ж.Г. Самойлова

Підписано до друку 10.03.2023.

Формат 60x84 ¹/₁₆. Папір типогр. Гарнітура Times.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. ____ . Обл.-вид. арк. ____ .

Тираж ____ екз. Вид. № ____ . Замов. № ____ . Ціна договірна.

**Видавництво Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля**

Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК № 1620 від 18.12.03 р.

Адреса університета: вул. Іоанна Павла 2, 17

м. Київ, 01042, Україна

e-mail: vidavnictvoSNU.ua@gmail.com.