

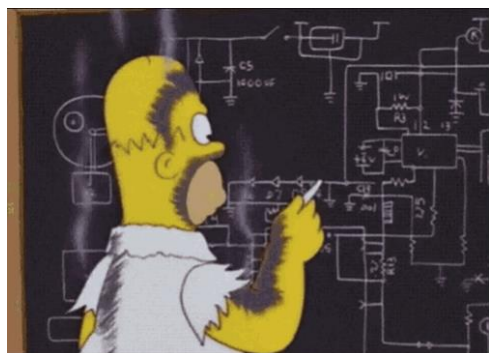
## Лекція 4

# Правила трасування друкованих плат

Описані далі правила трасування друкованих плат є найбільш базовими. Їх дотримання дає можливість отримати більш надійні друковані плати, їх недотримання - може призвести до того, що плата ніби і спроектована правильно, але або взагалі не працює, або швидко виходить з ладу.

**Важливо пам'ятати, що сама по собі ДП - практично неремонтований виріб, виправити помилку після її виготовлення майже завжди неможливо!**

**От якось так воно повинно працювати...**

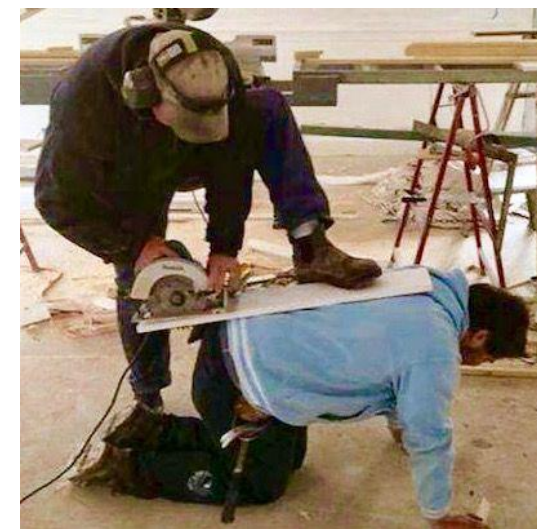


**...а от так ми можемо зробити...**

Trust me. I'm an engineer.



**...зате якщо щось піде не так, то можна буде полагодити...**



# Правило 1: Використовувати максимально можливу ширину провідника

## Помилка!

Використання тієї ширини провідників, яка за замовчуванням встановлена у САПР, за допомогою якої відбувається проектування ДП. Як правило, там встановлюється 0.1мм (5-й клас точності) або 0.15мм (4-й клас точності). Проте навіть на таких платах не всі провідники настільки тонкі.

## Проблема 1.1

Падіння напруги. Із закону Ома випливає, що чим менша площа поперечного перетину провідника, тим більший його опір. Чим більше опір провідника, тим сильніше на ньому впаде напруга.

## Проблема 1.2

Нагрів провідника. Із закону Джоуля - Ленца випливає, що потужність, яка виділяється на провіднику, пропорційна його опору - тобто чим більше опір, тим більше тепла виділиться на провіднику.

# Правило 1: Використовувати максимально можливу ширину провідника

## Проблема 1.3

Паразитна індуктивність. Щоправда, вона починає проявлятися на частотах понад 10 МГц...

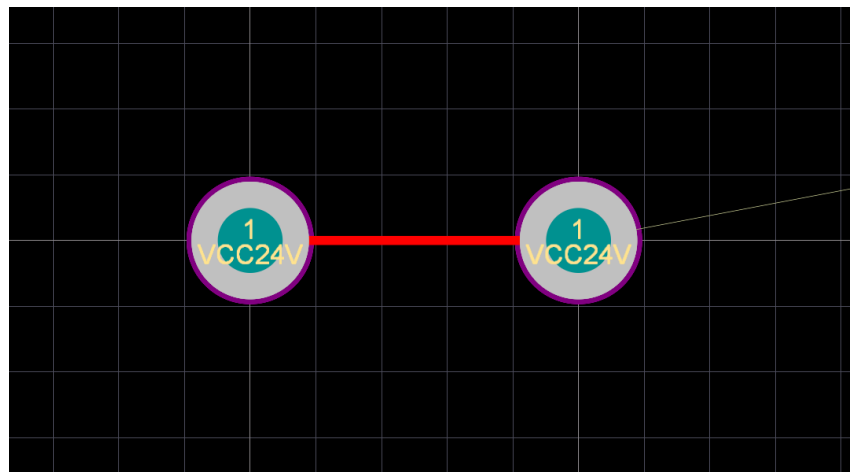
## Проблема 1.4

Низька механічна міцність.

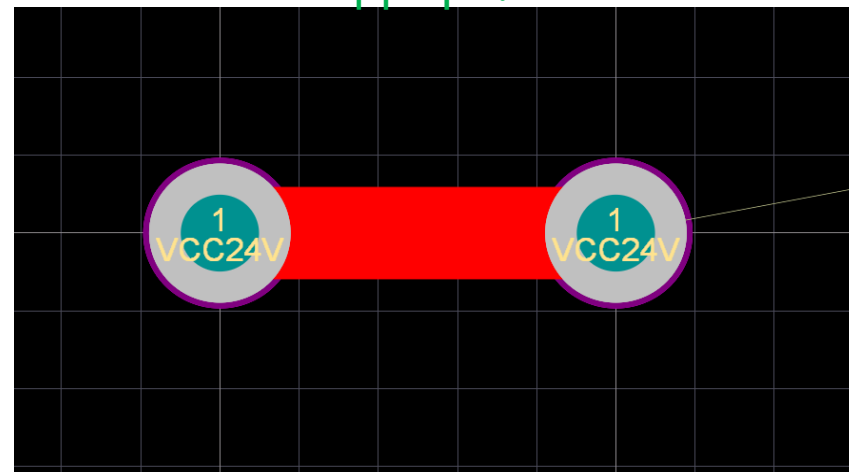
## Рішення

Використовувати максимально можливу ширину провідника. Наприклад, таку, що дорівнює 0,8 від діаметра контактної площинки.

Погано:



Добре:



## Правило 2: До виводів підключаються широкі провідники

### Помилка!

Бувають дві крайності. В одній розробник робить помилку з правила №1 і підключає доріжку 0.15 мм до виводу SMD-резистора 1206. В іншому випадку навпаки, використовує провідник, ширина якого дорівнює ширині контактної площинки. Обидва варіанти погані.

### Проблема 2.1

Низька механічна міцність. При декількох спробах перепайки компонента, контактна площинка або доріжка просто відшаруються від текстолітової основи друкованої плати.

### Проблема 2.2

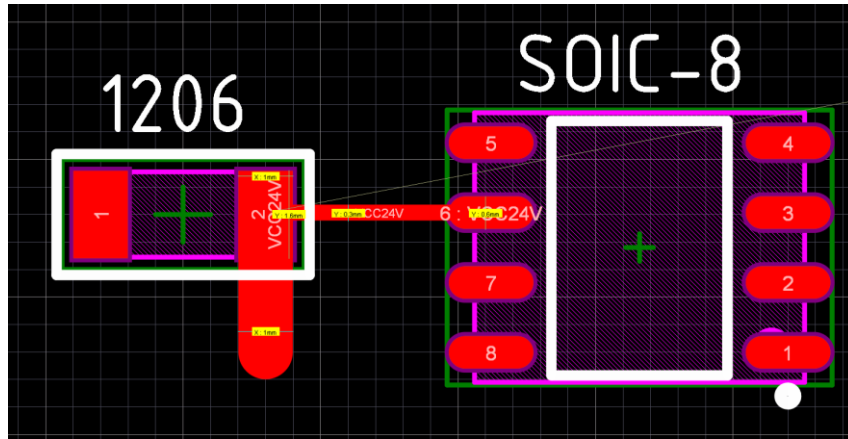
Ускладнений монтаж компонентів на плату.

### Рішення

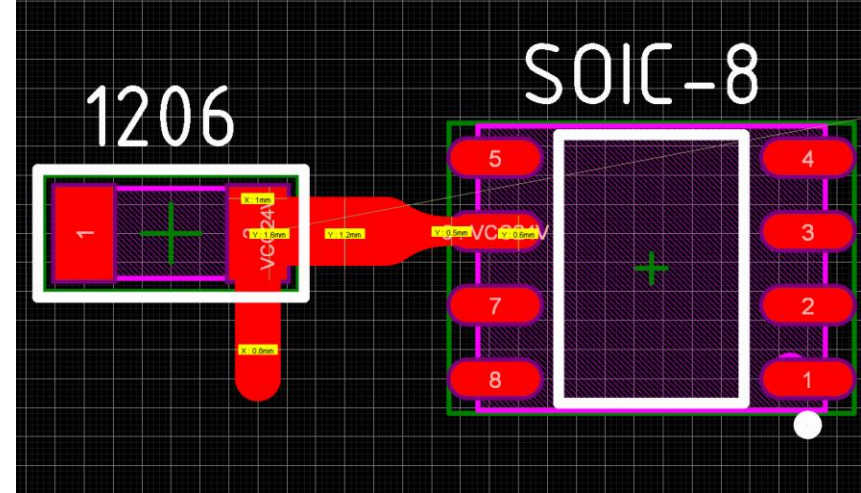
Таке ж саме, як і у правила 1: використовувати ширину провідника, що дорівнює 0,8 від діаметра контактної площинки.

# Правило №2: До виводів підключаються широкі провідники

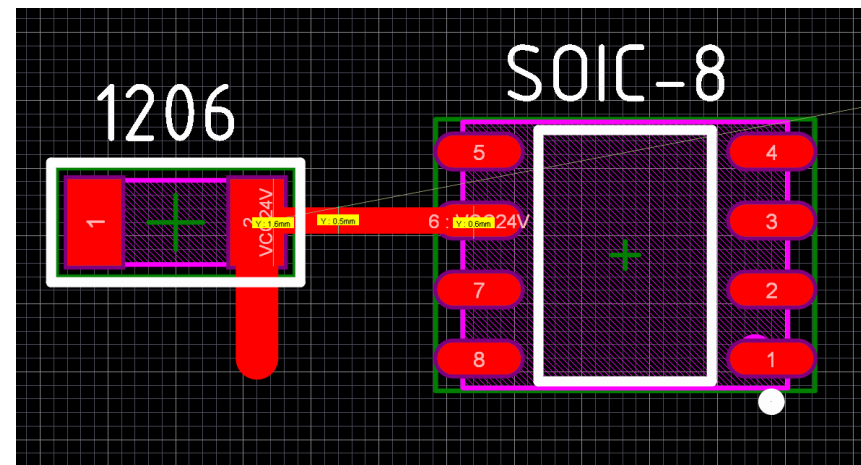
Погано:



Добре:



...або хоча б так:



# Правило 3: У випадку кіл електроживлення фанатично дотримуємося правил 1 і 2

## Помилка!

Нехтування правилами 1 і 2 при проектуванні кіл електроживлення.

## Проблема 3.1

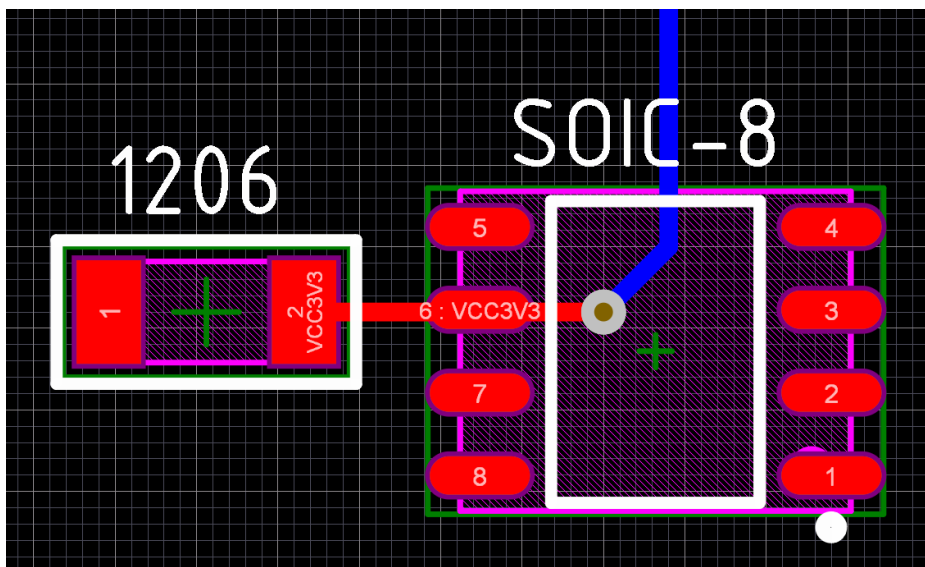
Падіння напруги. Приклад: на виході стабілізатора точно 3.3 В. На вході електроживлення мікросхеми може бути 2.8 В. Як наслідок, або вона не працює, або неправильна опорна напруга АЦП, або DC-DC-перетворювач не запускається...

## Рішення

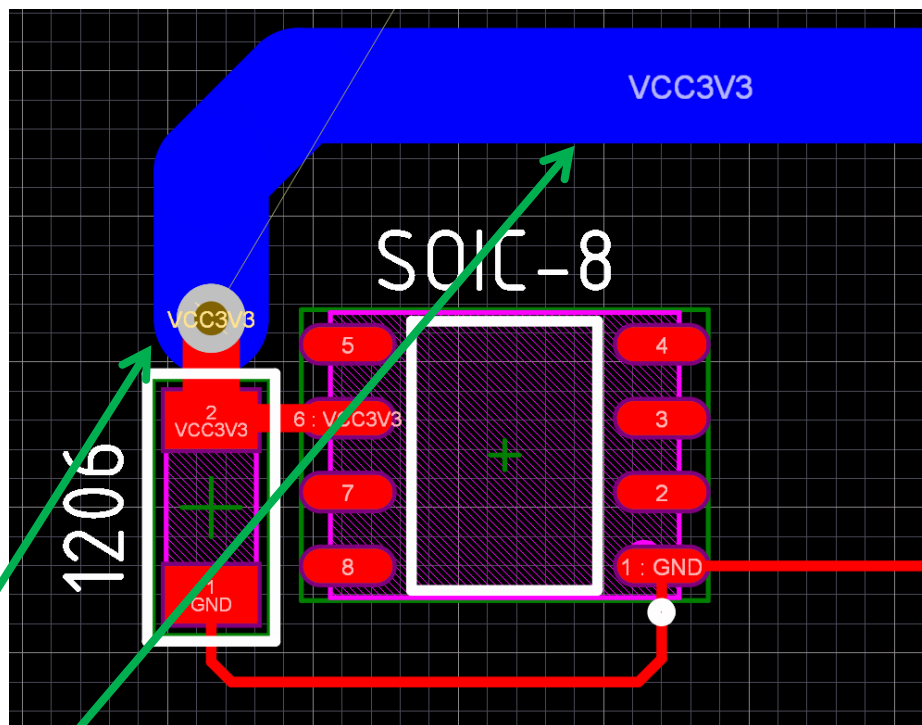
При проектуванні кіл електроживлення фанатично дотримуємося правил №1 і №2. Доріжки максимально широкі. Живлення має приходити на мікросхему через керамічний конденсатор, який по можливості ставлять ближче до виводу цієї мікросхеми.

# Правило 3: У випадку кіл електроживлення фанатично дотримуємося правил 1 і 2

Погано:



Добре:



Збільшили діаметр перехідного отвору, щоб зменшити його опір

Зробили максимально широкий провідник електроживлення



# Правило 4: Полігони або окремий шар для землі

## Помилка!

Трасування кола GND (землі) звичайним провідником, та ще й мінімальної ширини.

## Проблема 4.1

Нестабільність роботи пристрою і сильні завади, особливо в колах електроживлення.

## Проблема 4.2

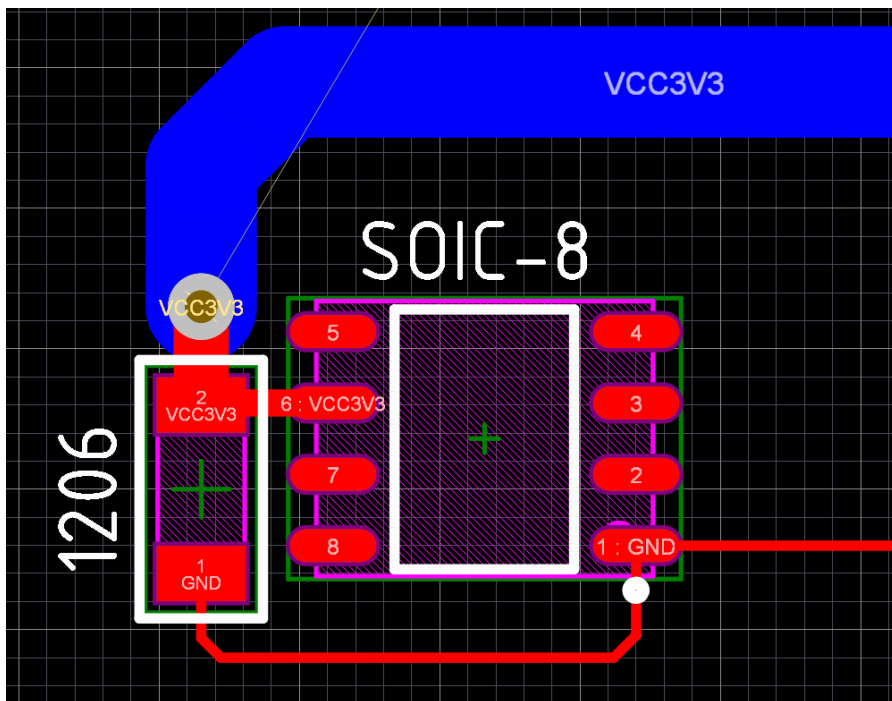
Нагрів і часто обрив тонкого провідника, тому що в ньому діє великий струм.

## Рішення

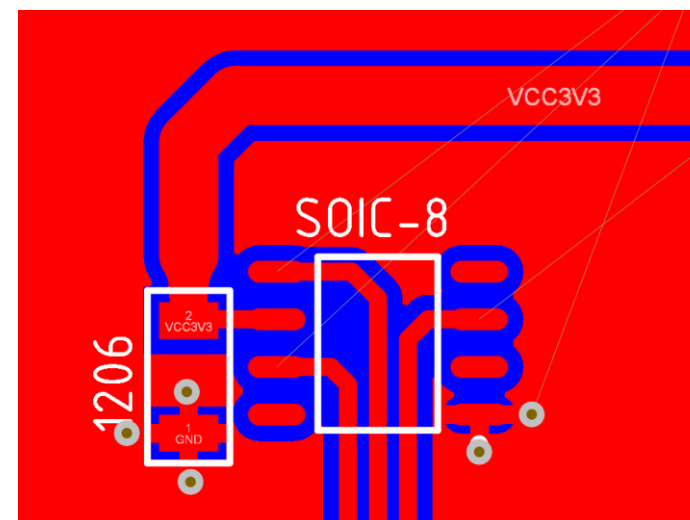
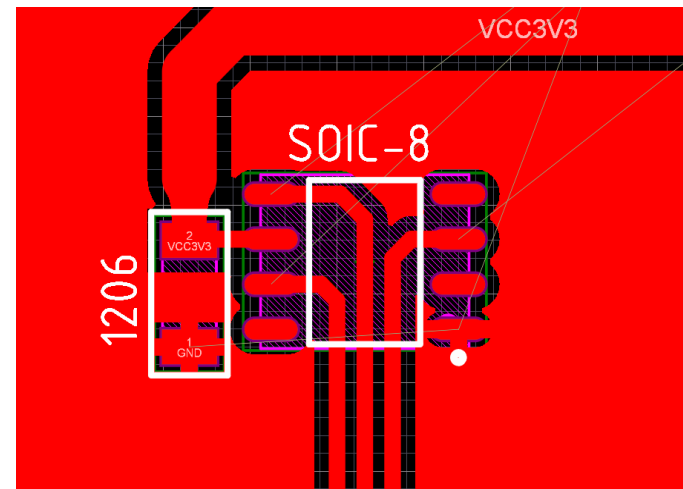
Використовувати полігон для трасування кола GND, а в ідеалі - окремий шар, який повністю виділений для цього ланцюга - наприклад, нижній шар.

# Правило 4: Полігони або окремий шар для землі

Погано:



Добре:



# Правило 5: Збільшити відстань між провідниками

## Помилка!

Зазор між провідниками недостатньо великий, зазвичай залишають його значення за замовчуванням близько 0.15 мм

## Проблема 5.1

Електричний пробій між паралельними провідниками.

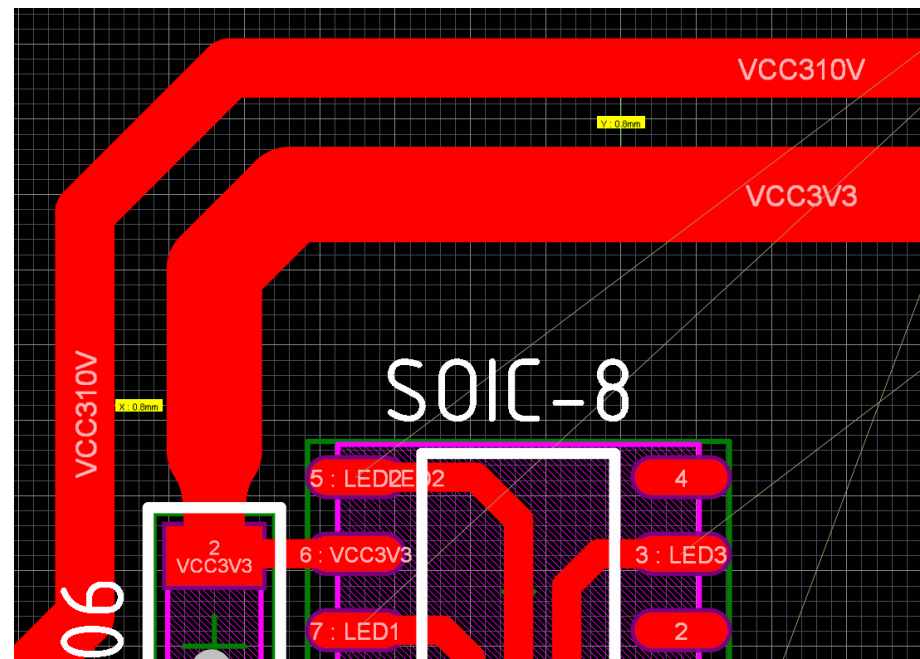
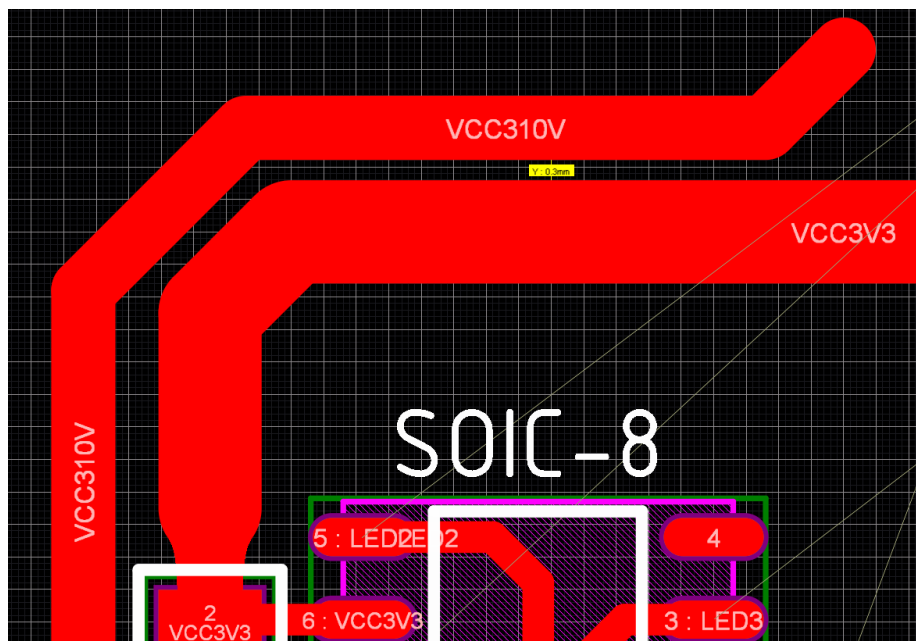
## Рішення

Збільшення відстані між провідниками. Напруга пробою залежить від типу матеріалу і від товщини / ширини ізолятора. У разі друкованих плат - відстань (зазор) між провідниками якраз є тим параметром, який впливає на критичного значення напруги пробою. Чим більше відстань між провідниками, тим більша напруга необхідна щоб пробити його.

# Правило 5: Збільшити відстань між провідниками

Погано:

Добре:



# Мінімально допустимі відстані між провідниками згідно стандарту IPC-2221

**Table 6-1 Electrical Conductor Spacing**

Voltage Between Conductors (DC or AC Peaks)	Minimum Spacing						
	Bare Board				Assembly		
	B1	B2	B3	B4	A5	A6	A7
0-15	0.05 mm [0.00197 in]	0.1 mm [0.0039 in]	0.1 mm [0.0039 in]	0.05 mm [0.00197 in]	0.13 mm [0.00512 in]	0.13 mm [0.00512 in]	0.13 mm [0.00512 in]
16-30	0.05 mm [0.00197 in]	0.1 mm [0.0039 in]	0.1 mm [0.0039 in]	0.05 mm [0.00197 in]	0.13 mm [0.00512 in]	0.25 mm [0.00984 in]	0.13 mm [0.00512 in]
31-50	0.1 mm [0.0039 in]	0.6 mm [0.024 in]	0.6 mm [0.024 in]	0.13 mm [0.00512 in]	0.13 mm [0.00512 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.13 mm [0.00512 in]
51-100	0.1 mm [0.0039 in]	0.6 mm [0.024 in]	1.5 mm [0.0591 in]	0.13 mm [0.00512 in]	0.13 mm [0.00512 in]	0.5 mm [0.020 in]	0.13 mm [0.00512 in]
101-150	0.2 mm [0.0079 in]	0.6 mm [0.024 in]	3.2 mm [0.126 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.8 mm [0.031 in]	0.4 mm [0.016 in]
151-170	0.2 mm [0.0079 in]	1.25 mm [0.0492 in]	3.2 mm [0.126 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.8 mm [0.031 in]	0.4 mm [0.016 in]
171-250	0.2 mm [0.0079 in]	1.25 mm [0.0492 in]	6.4 mm [0.252 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.8 mm [0.031 in]	0.4 mm [0.016 in]
251-300	0.2 mm [0.0079 in]	1.25 mm [0.0492 in]	12.5 mm [0.4921 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.4 mm [0.016 in]	0.8 mm [0.031 in]	0.8 mm [0.031 in]
301-500	0.25 mm [0.00984 in]	2.5 mm [0.0984 in]	12.5 mm [0.4921 in]	0.8 mm [0.031 in]	0.8 mm [0.031 in]	1.5 mm [0.0591 in]	0.8 mm [0.031 in]
> 500 See para. 6.3 for calc.	0.0025 mm /volt	0.005 mm /volt	0.025 mm /volt	0.00305 mm /volt	0.00305 mm /volt	0.00305 mm /volt	0.00305 mm /volt

B1 - Internal Conductors

B2 - External Conductors, uncoated, sea level to 3050 m [10,007 feet]

B3 - External Conductors, uncoated, over 3050 m [10,007 feet]

B4 - External Conductors, with permanent polymer coating (any elevation)

A5 - External Conductors, with conformal coating over assembly (any elevation)

A6 - External Component lead/termination, uncoated, sea level to 3050 m [10,007 feet]

A7 - External Component lead termination, with conformal coating (any elevation)

## Правило 6: Якщо в схемі є гальванічна розв'язка - то повинен бути гальванічний зазор

### Помилка!

Прирівнювання діелектричного зазору до гальванічного. По суті вони дуже схожі, але за вимогами все суворіше, коли справа доходить до гальванічної розв'язки. Яскравим випадком є розв'язка схеми управління і силової частини за допомогою реле або оптрона, коли зазор між розв'язаними сторонами вибирається так само 0.8 або 1.5 мм.

### Проблема 6.1

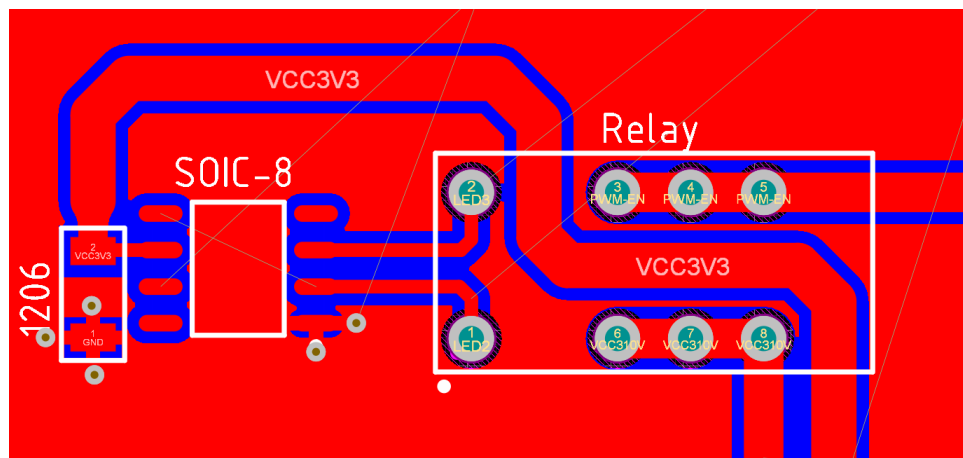
Пробій ізоляції, вихід з ладу системи управління та іншого дорогого обладнання.

### Рішення

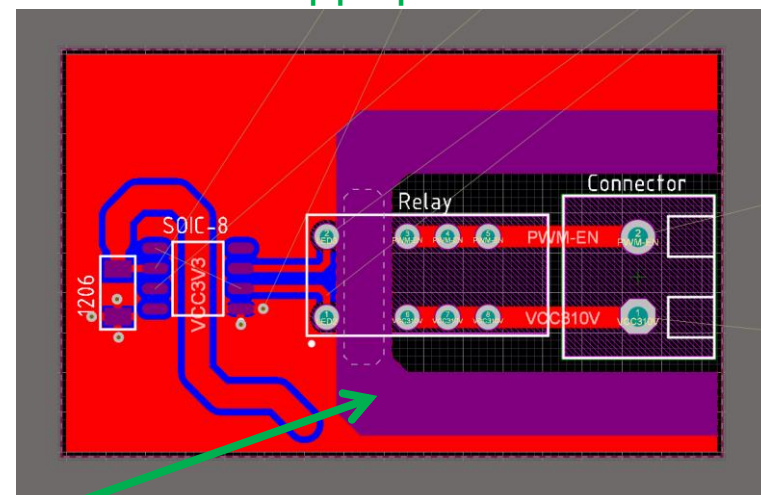
Збільшення порогу електричного пробою. Стандартними значеннями зазвичай є напруги 1.5 кВ, 2.5 кВ та 4 кВ. Якщо ваш пристрій працює з мережевою напругою, але людина безпосередньо з нею не взаємодіє, то напруга розв'язки в 1.5 кВ буде достатньою. Якщо передбачається взаємодія людини з таким пристроєм, наприклад, через кнопки та інші органи управління, то рекомендується застосувати ізоляцію з напругою пробою 2.5 кВ і більше.

# Правило 6: Якщо в схемі є гальванічна розв'язка - то повинен бути гальванічний зазор

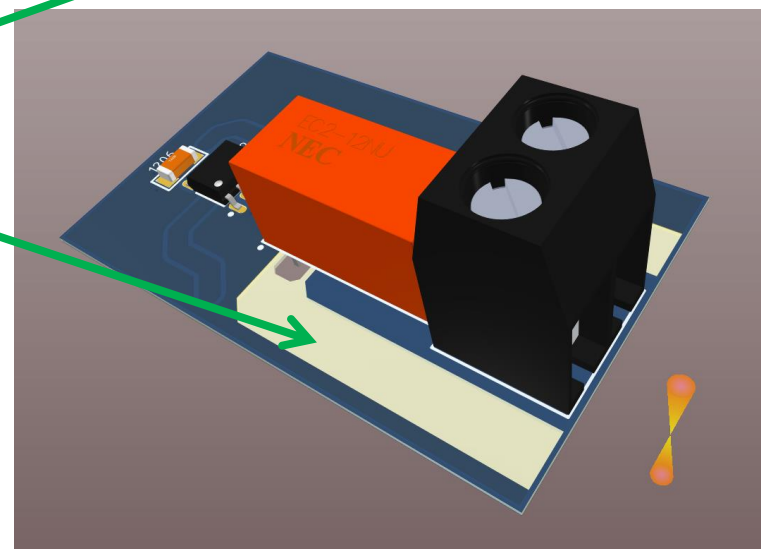
Погано:



Добре:



Гальванічний зазор. Навіть без шовкографії, причому мідь вибрана з обох боків плати.



## Помилка!

На двохшаровій друкованій платі для того, щоб з'єднати дві контактні площадки, використовують 3..4 або навіть 5 і більше перехідних отворів.

## Проблема 6.1

Перехідних отворів (via) стає занадто багато на платі і це обмежує місце під провідники, що призводить до подовження електричних кіл, а отже і до збільшення їх опору. Як наслідок - зменшується стійкість кіл та сигналів до завад.

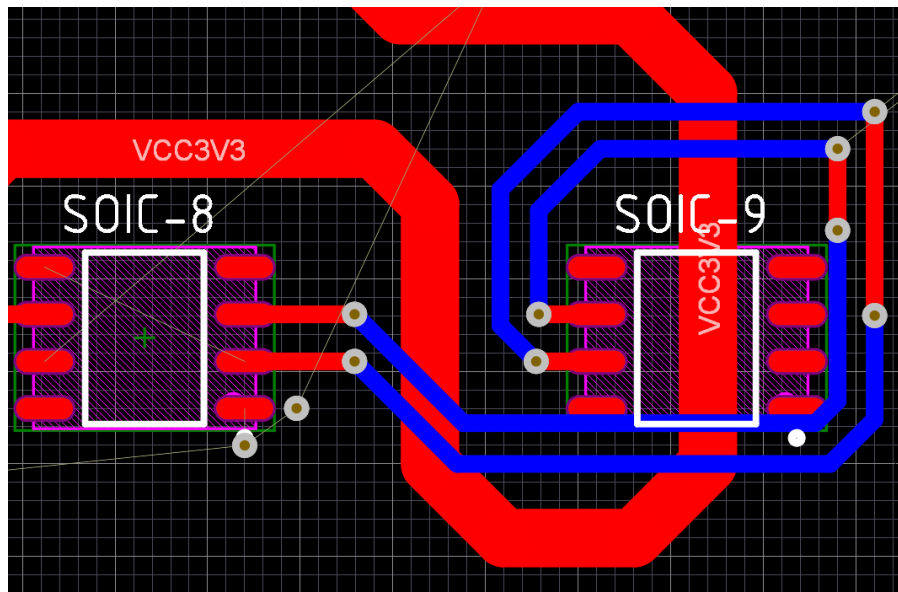
## Рішення

Використовувати мінімальну кількість перехідних отворів: якщо потрібно з'єднати два контакти на різних шарах, то не використовуйте більше одного перехідного отвору. Якщо два контакти знаходяться на одному шарі і ви не можете з'єднати їх безпосередньо, то використовуйте максимум два перехідних отвори. Якщо вам потрібно більше переходів для з'єднання, то щось ви робите не так - тренуйте логіку і перетрасуйте ділянку плати, яка призвела до проблеми.

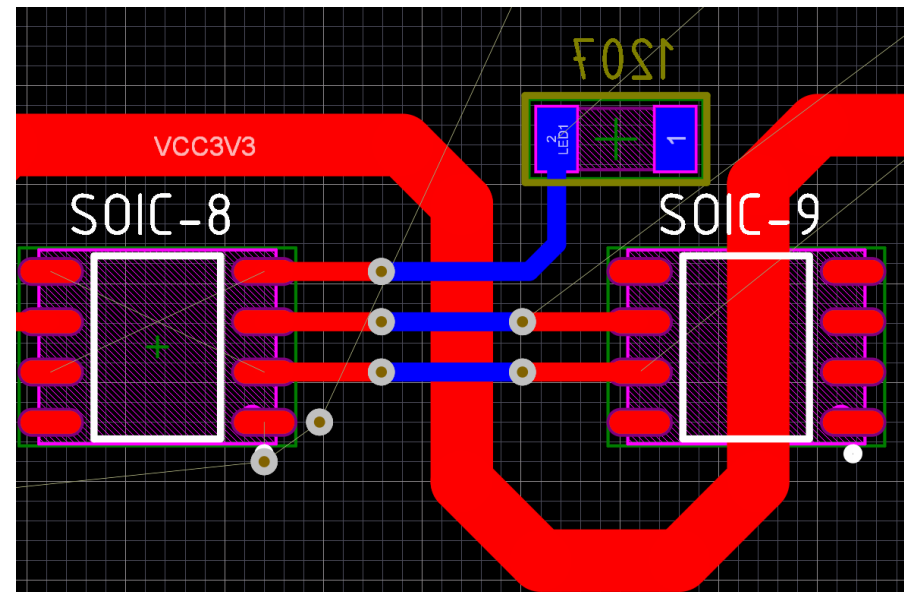


# Правило 7: Мінімум перехідних отворів

Погано:



Добре:



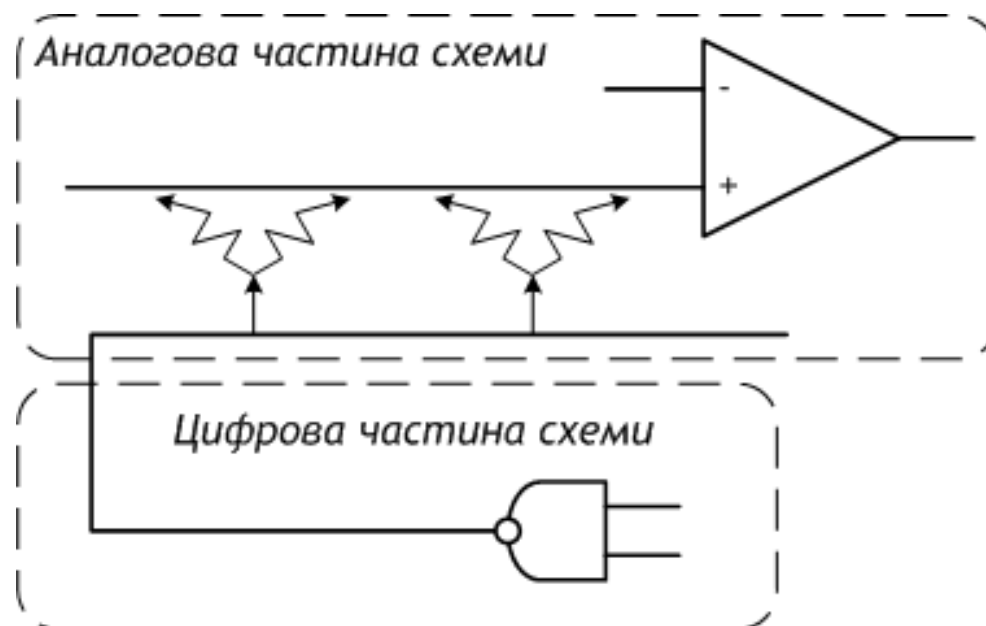
# Правило 8: Аналогова та цифрова частини схеми повинні бути розділені

## Помилка!

Деталі аналогової та цифрової частин схеми перемішані між собою.

## Проблема 8.1

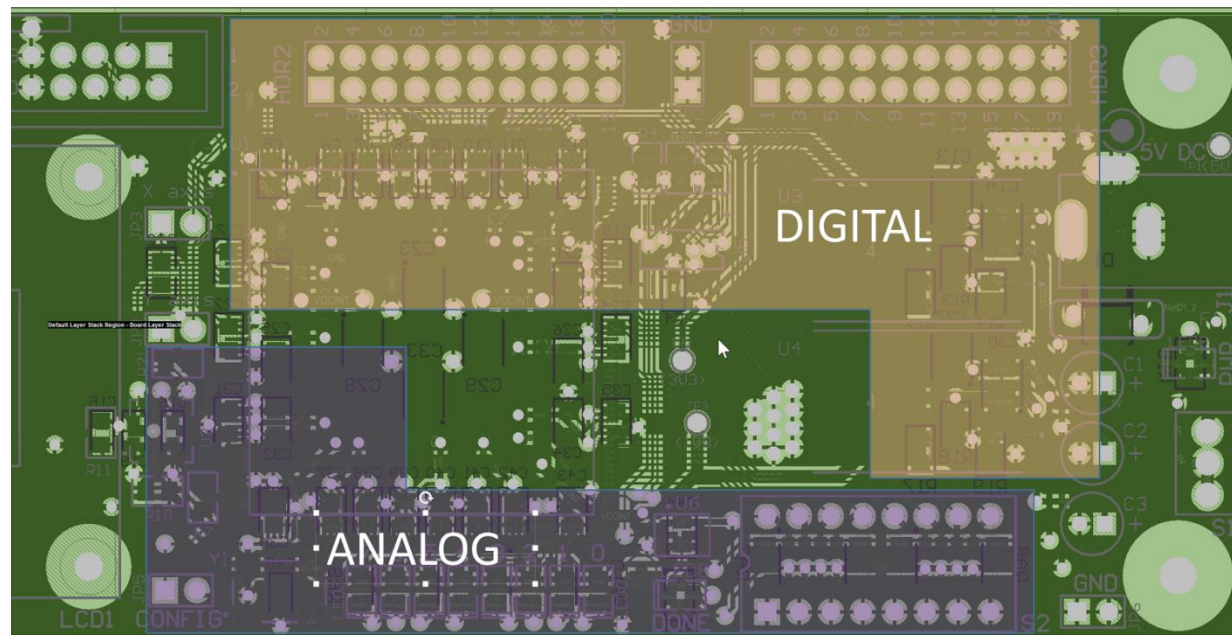
Майже всі тактові сигнали цифрових схем - високочастотні, і тому вони можуть проникати на входи аналогових компонентів та мікросхем через невеликі ємності між трасами і полігонами.



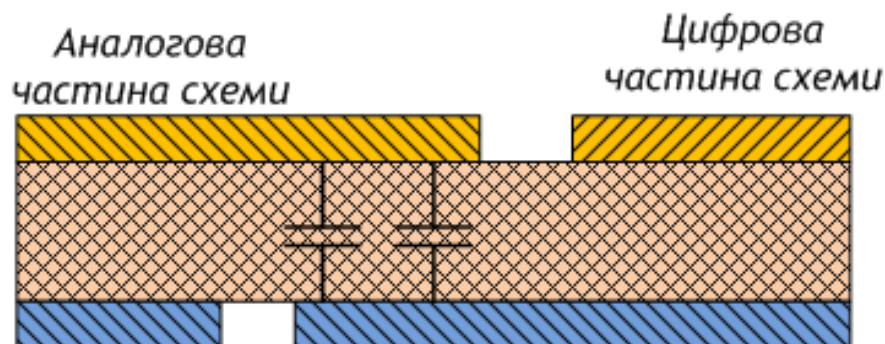
# Правило 8: Аналогова та цифрова частини схеми повинні бути розділені

## Рішення

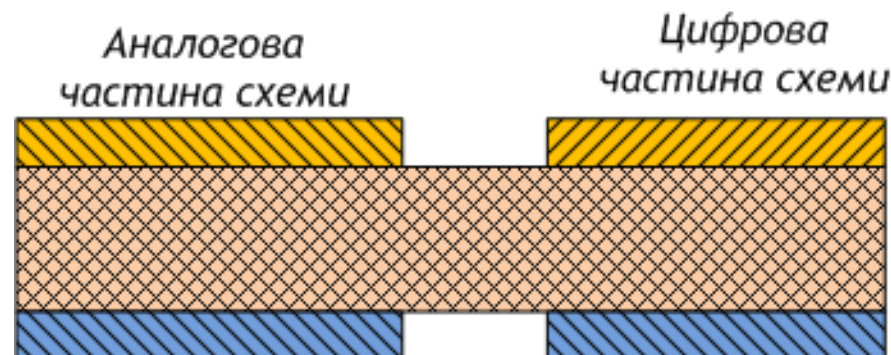
Виділити на платі місця окремо під аналогову та цифрову частини схеми. Причому важливо, щоб нижні та внутрішні шари відповідних частин схеми також не перекривались.



Погано:



Добре:



# Правило 8а: Аналогова та цифрова “землі” повинні бути розділені

## Помилка!

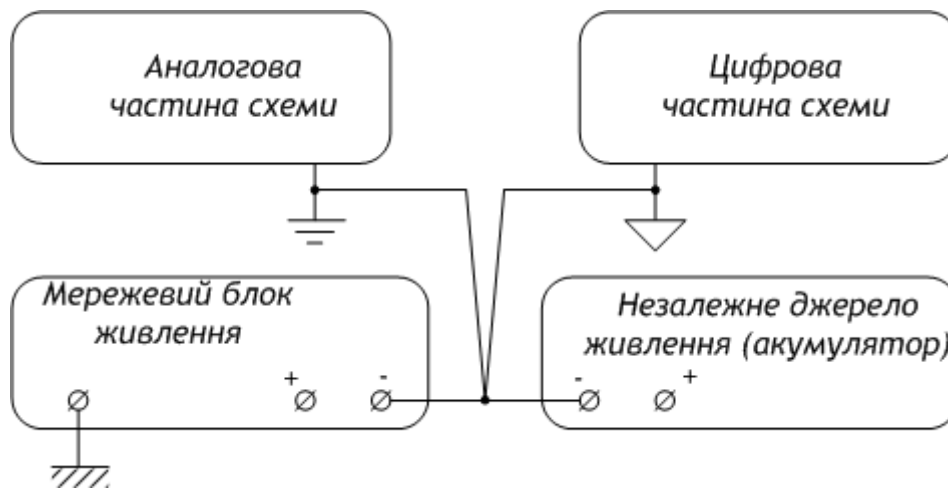
Використання однієї “землі” для аналогової та цифрової частин схеми.

## Проблема 8а.1

Та ж сама, що і в попередньому випадку: високочастотні завади попадають з цифрової “землі” на аналогову.

## Рішення

Таке ж саме, як і у попередньому випадку: розділити полігони “землі” для аналогової та цифрової частин схеми, причому вони не повинні перекриватися. Правда, “землі” повинні бути з’єднані в одній точці.



## Помилка!

Електрорадіокомпоненти розміщені хаотично.

## Проблема 9.1

Легко порушується попереднє правило з усіма впливаючими наслідками.

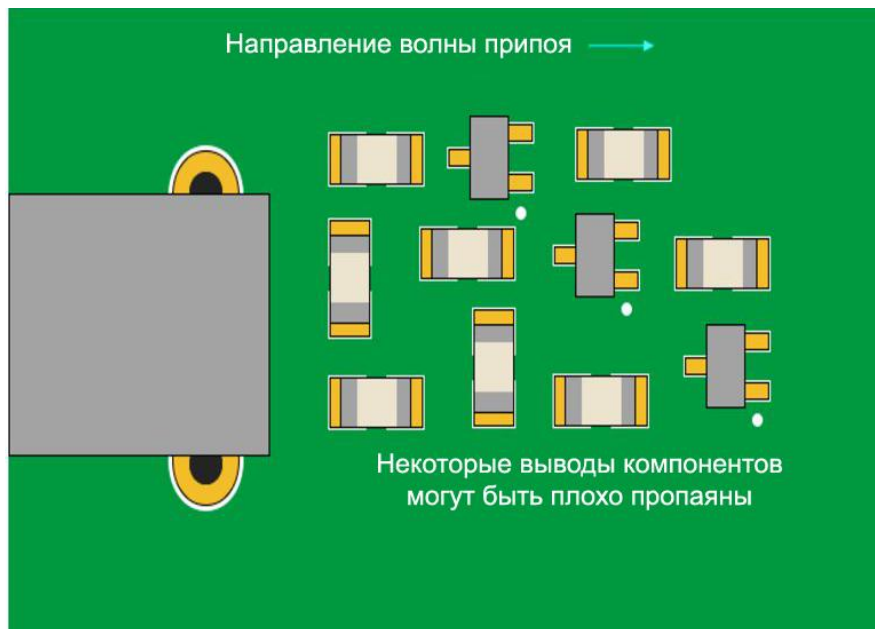
## Проблема 9.2

Ускладнюється монтаж компонентів.

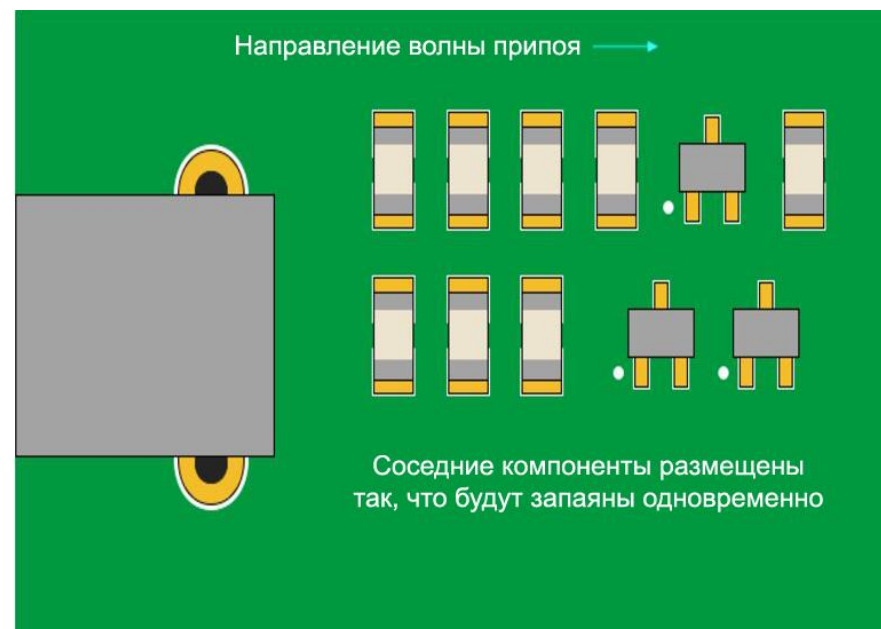
## Рішення

При розміщенні компонентів враховувати вимоги виробництва (допуски на відстані між компонентами та від компонентів до країв плати), та орієнтацію тих ЕРЕ, для яких це важливо (полярні конденсатори, транзистори, діоди, мікросхеми тощо).

Погано:



Добре:



# Правило 10: Шари живлення та “землі” - всередині, сигнальні шари - зовні

## Помилка!

Розводити все вперемішку.

## Проблема 10.1

Взаємні завади та наводки.

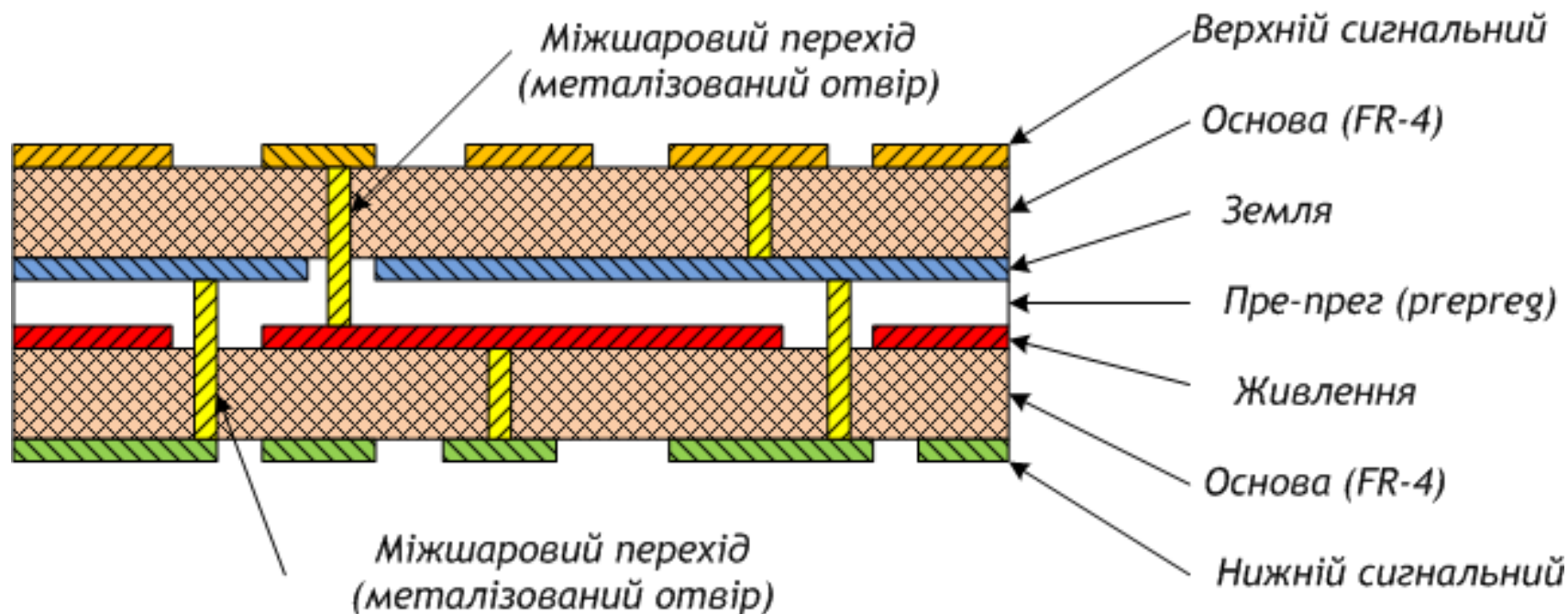
## Проблема 10.2

Якщо сигнальні шари - всередині, а шари живлення та “землі” - назовні, то з’являються труднощі з монтажем компонентів.

## Рішення

Найпоширеніше рішення при розведенні чотирьох-шарової ДП: послідовність шарів повинна бути - сигнальний-земля-живлення-сигнальний.

# Правило 10: Шари живлення та “землі” - всередині, сигнальні шари - зовні





# Правило 11: Якщо два сигнальних шари поряд - то напрямки провідників на них перепендикулярні

## Помилка!

Розводити “як получається” провідники на двох сусідніх сигнальних шарах.

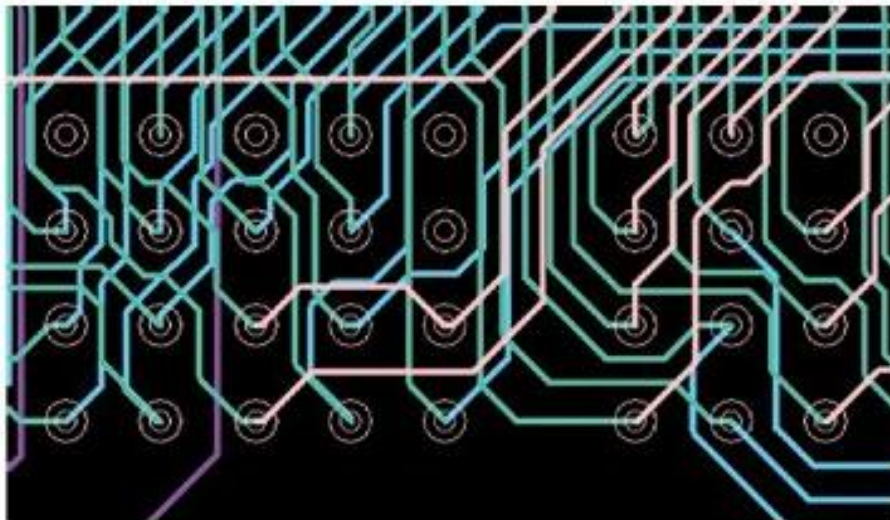
## Проблема 11.1

Взаємні завади та наводки через паразитні ємності.

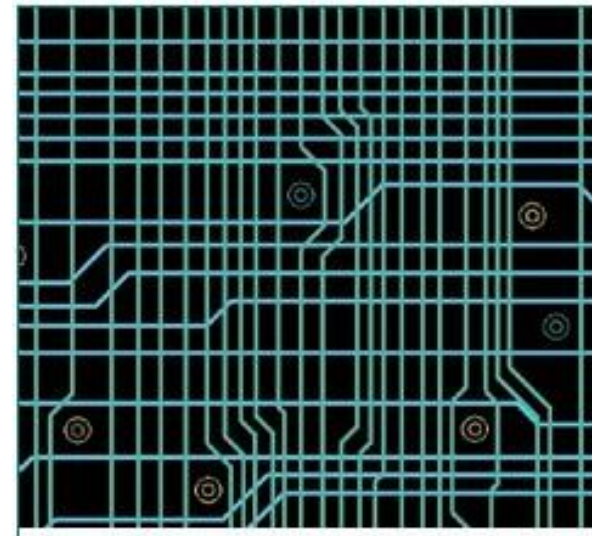
## Рішення

На одному шарі всі (або принаймні більшість) провідників розвести так, щоб вони були паралельні. Тоді на іншому шарі зробити всі провідники у такому напрямку, щоб вони були перепендикулярні провідникам попереднього шару.

Погано:



Добре:



# Правило 12: На високочастотних платах треба закруглювати провідники

## Помилка!

Гострі кути на провідниках у високочастотній ДП.

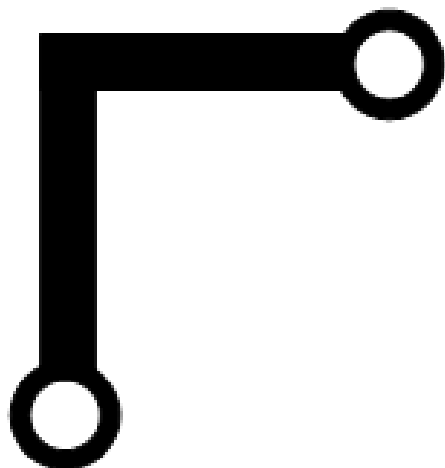
## Проблема 12.1

Гострий кут при певній довжині провідника може перетворитися на антену, через яку будуть йти завади та наводки на всю схему.

## Рішення

Позбавитися гострого кута: закруглити його.

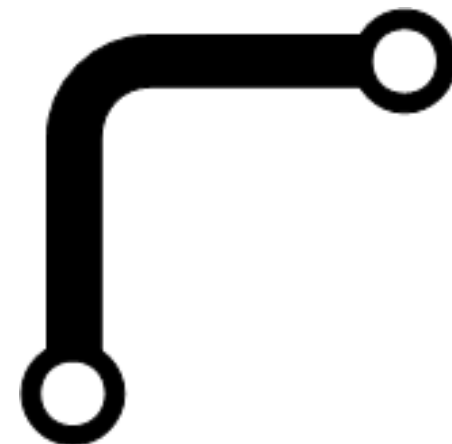
Погано:



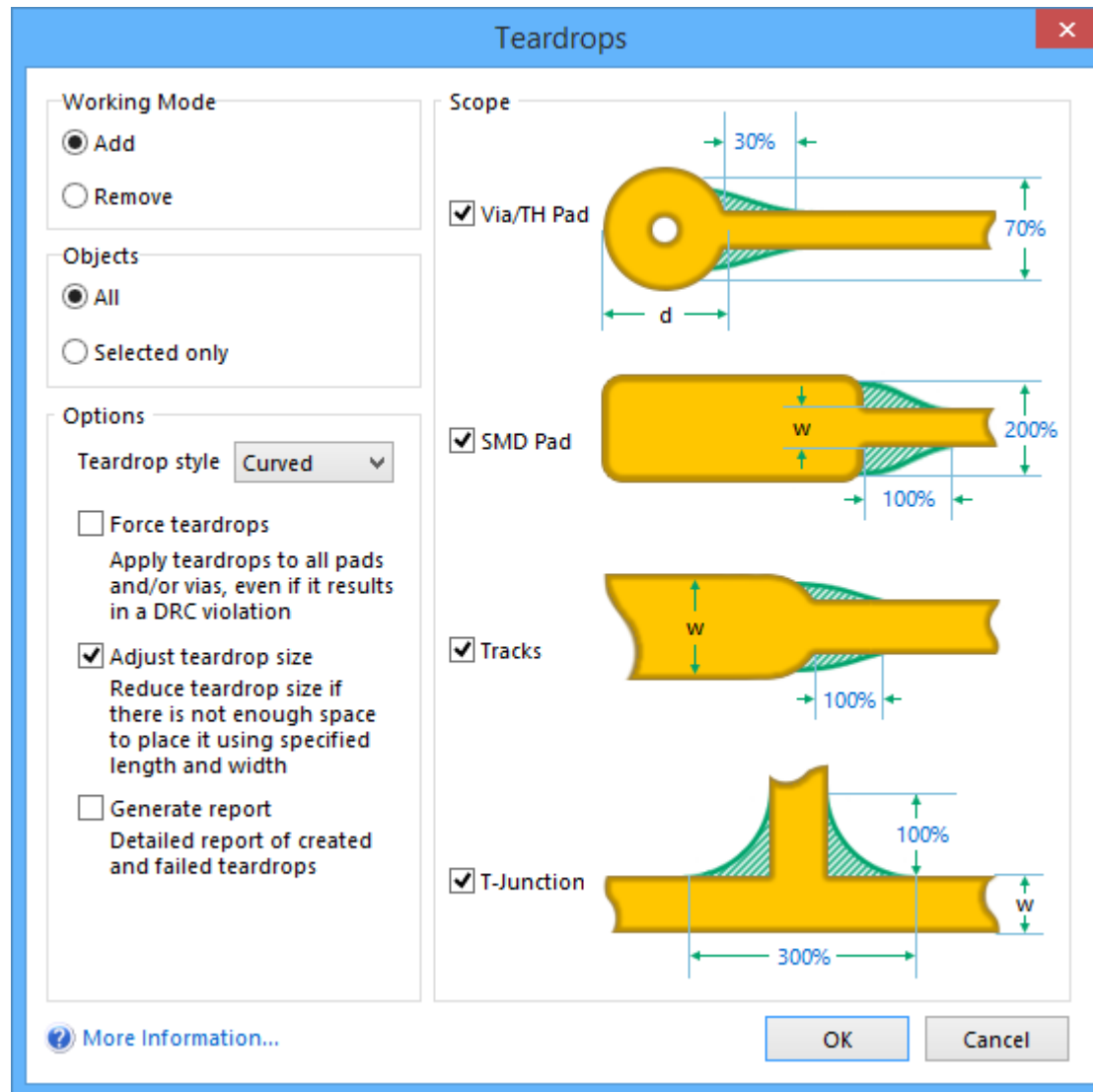
Краще:



Добре:

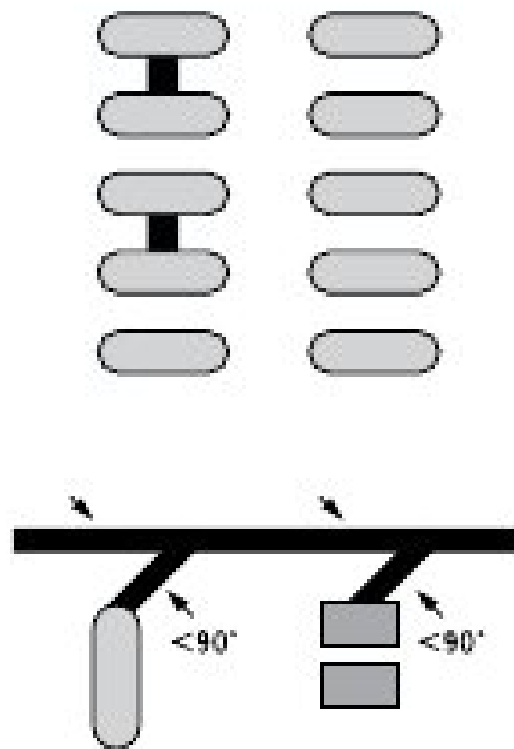


# Правило 12: На високочастотних платах треба закруглювати провідники

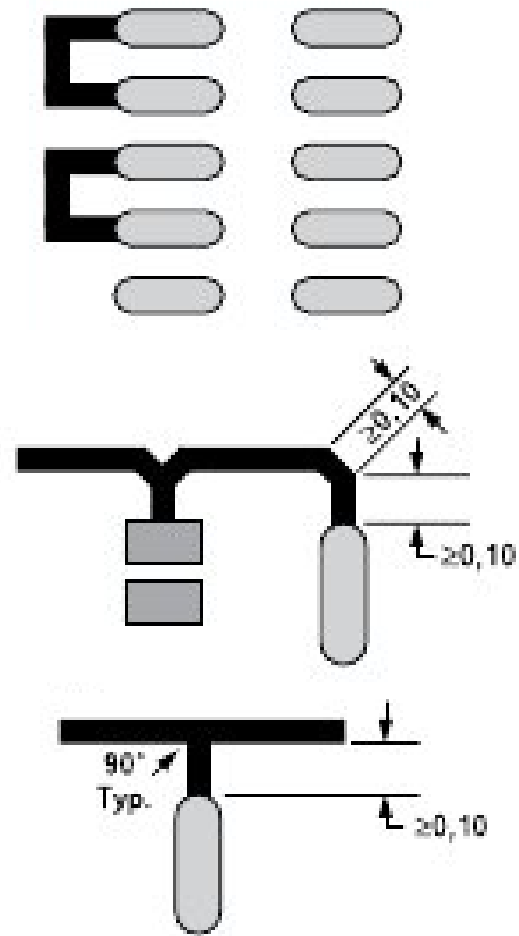


# Рекомендація 13: З'єднувати сусідні контакти площинки мікросхем т.зв. fanout

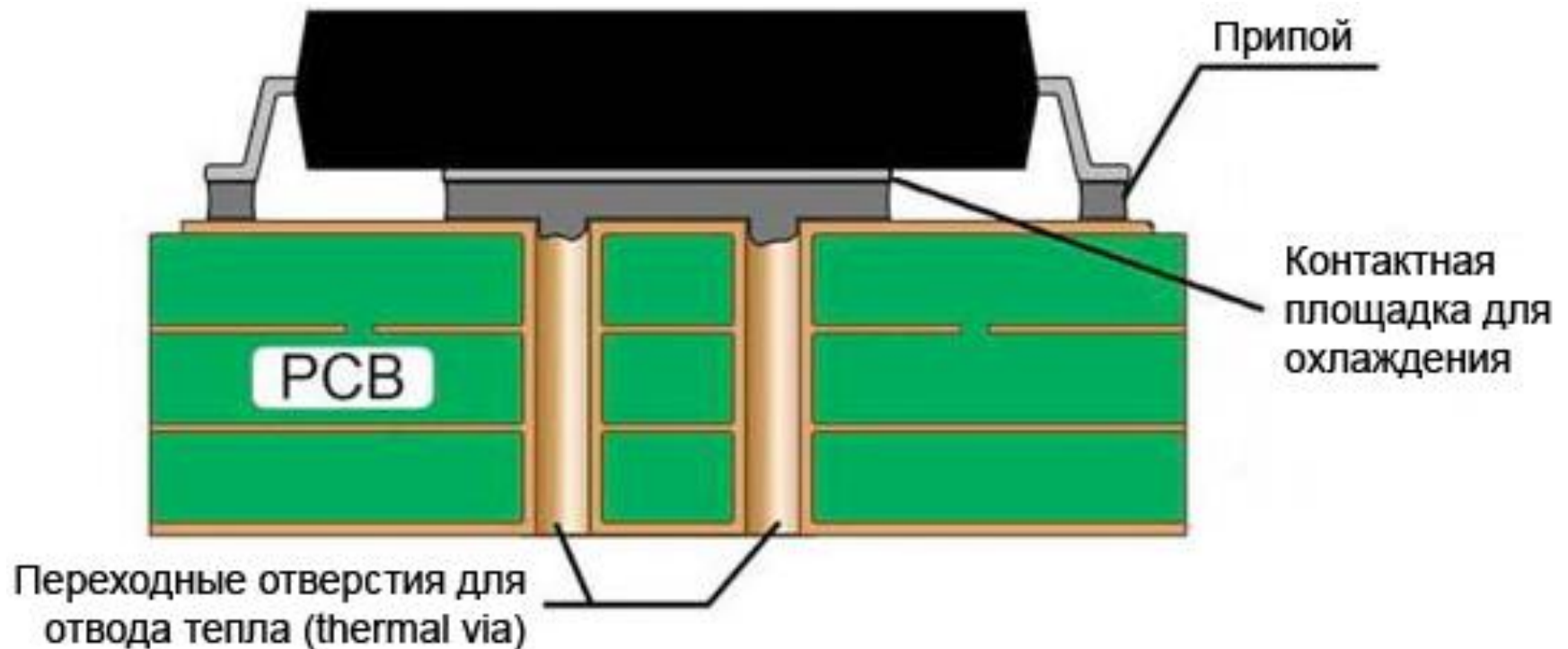
Погано:



Добре:



# Рекомендація 14: Використовувати наскрізні металізовані отвори для відведення тепла



1. Використовувати максимально можливу ширину провідника.
2. До виводів підключаються провідники, ширина яких становить 0,8 (або 80%) від діаметра контактної площинки.
3. У випадку кіл електроживлення фанатично дотримуємося правил 1 і 2.
4. “Земля” робиться полігонами або окремим шаром.
5. Збільшити відстань між провідниками.
6. Якщо в схемі є гальванічна розв’язка - то повинен бути гальванічний зазор.
7. Мінімум перехідних отворів.
8. Розділяти цифрову та аналогову частини схеми. Це ж саме стосується також цифрової та аналогової “землі”.
9. Розміщувати компоненти якимось впорядковано (у відповідності з вимогами технології монтажу або відповідно їх полярності).
10. Дотримуватися правильної послідовності шарів (для багат шарових ДП).
11. На сусідніх сигнальних шарах розводити провідники у взаємно перпендикулярному напрямку.
12. Для високочастотних друкованих плат (понад 3 МГц) - скругляти провідники.
- 13\*. Правильно з’єднувати сусідні контактні площинки мікросхем.
- 14\*. Використовувати наскрізні металізовані отвори для додаткового відведення тепла.

“Досвід росте прямо пропорційно кількості виведеного з ладу обладнання”  
*(постулат Хорнера)*

“Якщо нічого не допомагає - прочитайте, нарешті, інструкцію!”  
*(аксіома Кана)*

“При уважному вивченні мудрість мудрістю не є”  
*(автор невідомий, але найчастіше ця фраза приписується Соломону)*

Все повинно працювати!..



А я там щось припаяв,  
і все згоріло...



Далі буде...

...Огляд САПР для проектування  
друкованих плат