

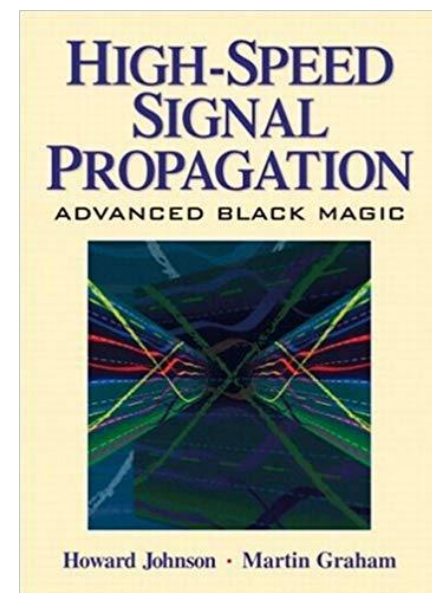
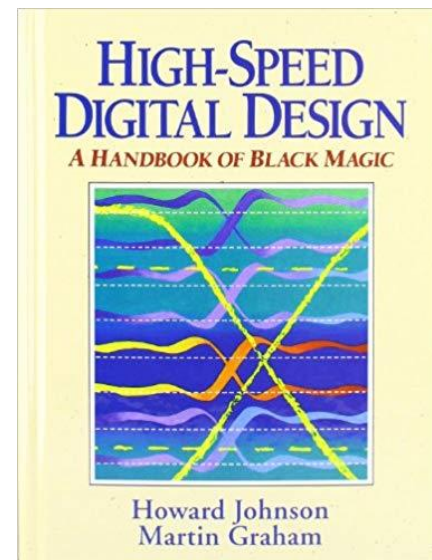
Лекція 9

Спеціальні питання проектування друкованих плат

Друковані плати є майже універсальним конструкторським рішенням при проектуванні РЕА. Проте на практиці вони працюють далеко не так, як може здатися в теорії. ДП мають паразитні параметри, які утворені струмопровідним рисунком, а точніше, елементи струмопровідного рисунку взаємодіють між собою, що в багатьох випадках є небажаним явищем.

Елементи струмопровідного рисунку можуть утворювати небажану (паразитну) ємність або індуктивність. Слід відзначити, що сама по собі ємність та індуктивність не є функціями частоти (не залежать від частоти сигналу), але реактивний опір (ємнісний або індуктивний) є функцією частоти: ємнісний опір обернено пропорційний частоті, а індуктивний прямо пропорційний. Як наслідок, при високих частотах через паразитні ємності починають протікати паразитні струми, а на паразитних індуктивностях наводиться паразитна е.р.с. самоіндукції, яка призводить до небажаного падіння рівня корисного сигналу.

Паразитні параметри друкованих плат є головним фактором, який обмежує їх використання на високих частотах. Боротися з цими явищами важко, але можливо. І першим етапом перевірки друкованої плати на працездатність в області високих частот є оцінка їх паразитних параметрів.

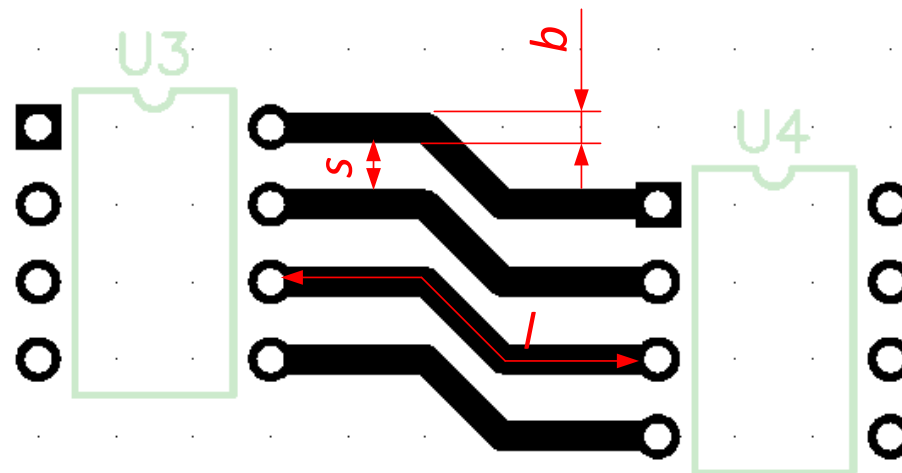


Наявність ізоляційної основи з великим значенням діелектричної проникності є причиною виникнення великих паразитних ємностей зв'язку та власної ємності провідника.

Величина паразитної ємності (пФ) між двома провідниками обчислюється за формулою

$$C_{\Pi} = \frac{0,12 \varepsilon l_{\Pi}}{\ln \frac{2s}{h + b}}$$

де l_{Π} - довжина взаємного перекриття провідників, мм; h - товщина друкованого провідника, мм; b - ширина друкованого провідника, мм; s - ширина зазору між краями друкованих провідників, мм.



Розрахунок паразитної ємності необхідно виконувати, вибираючи ті ділянки ДП, на яких вона може приймати найбільші значення (два паралельно розташованих друкованих провідника з мінімальним зазором між ними або з великим зазором при великій протяжності паралельних ділянок). Складена схема друкованих провідників відповідає заданим вимогам, якщо максимальне з отриманих розрахункових значень паразитної ємності є меншим, ніж гранично допустиме (як правило, його величина становить 5 .. .15 пФ). В протилежному випадку необхідно виконати одну або декілька з перерахованих вимог:

- збільшити відстань між провідниками;
- зменшити ширину провідників, враховуючи мінімально допустимі значення для обраного методу виготовлення ДП;
- зменшити довжину одного з провідників.

Індуктивність друкованих провідників L_n (мкГн) товщиною h і шириною b розраховується за формулою:

$$L_n = 2l \left(2,3 \lg \frac{l}{h+b} + 0,2235 \frac{h+b}{l} + 0,5 \right) \times 10^{-2}$$

Індуктивність двох паралельних друкованих провідників однакового перерізу, шириною зазору між ними s та та протилежним напрямом струмів визначається за формулою

$$L = 4l \left(2,3 \lg \frac{s+b}{h+b} - \frac{s-b}{l} + 0,2235 \frac{h+b}{l} + 1,5 \right) \times 10^{-2}$$

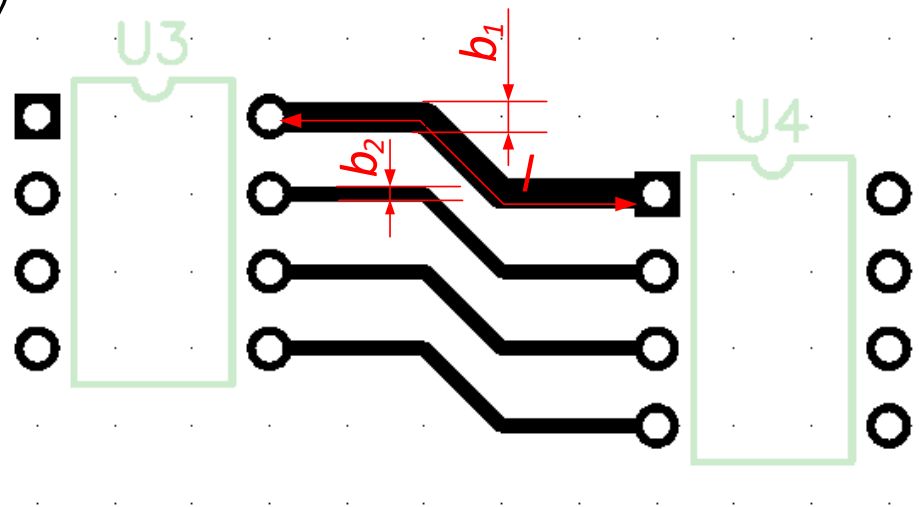
Якщо розміри перерізів різні, то

$$L = L_1 + L_2 - 2M$$

де M - взаємна індуктивність провідників (мкГн), при $l > 10(b + s)$ визначається виразом:

$$M = 2l \left(2,3 \lg \frac{2l}{s + \frac{b_1}{2} + \frac{b_2}{2}} + \frac{s + \frac{b_1}{2} + \frac{b_2}{2}}{l} \right) \times 10^{-2}$$

де b_1 і b_2 - відповідно ширина першого і другого провідників.



Розрахунок паразитної індуктивності проводять для найдовших друкованих провідників та ділянок, на якій друковані провідники ідуть паралельно один одному.

Якщо максимальне з розрахованих значень є більшим, ніж гранично допустиме (як правило, 1 ..3 мкГн), то потрібно виконати одну або декілька з перелічених дій:

- збільшити зазор s між провідниками;
- зменшити довжину ділянок l друкованих провідників, які розташовані паралельно один одному;
- змінити схему друкованих провідників.

Основними параметрами, що обумовлюють стабільність роботи друкованих плат, є тангенс кута діелектричних втрат $\operatorname{tg} \delta$ та діелектрична проникність ε , які найбільш підлягають зміні в процесі старіння органічної основи плати. Тому їх вплив необхідно враховувати при виборі діелектричного матеріалу, що використовується як основа ДП. Зміна діелектричних властивостей друкованих плат (під впливом температури та вологи) призводить до суттєвих втрат, які можуть сягати 30...40% від розрахункової потужності схеми. Потужність втрат ДП (Вт), визначають за формулою

$$P = 2\pi f C U^2 \operatorname{tg} \delta$$

де f - максимальна робоча частота схеми, МГц; C - ємність ДП, мкФ; U - напруга живлення, В; $\operatorname{tg} \delta$ - тангенс кута діелектричних втрат матеріалу основи плати.

Ємність ДП (пФ) розраховують за формулою

$$C = \frac{0,009\varepsilon A}{H_{\Pi}}$$

де ε - відносна діелектрична проникність матеріалу основи плати; A - сумарна площа друкованих провідників, мм²; H_{Π} - товщина діелектрика-основи друкованої плати, мм.

Визначаючи потужність втрат, підбирають матеріал основи друкованої плати, що відповідає умові забезпечення заданого значення потужності втрат не більше гранично допустимої (як правило, не більше 2,5% від потужності вузла). Для цього необхідно вибрати попередню товщину плати, скласти схему друкованих провідників по заданій принциповій схемі, вибрати обґрунтований метод виготовлення друкованої плати та провести розрахунок вихідної потужності функціонального вузла. Якщо жоден з рекомендованих матеріалів не відповідає поставленій вимозі, то необхідно провести розрахунок для друкованої плати іншої товщини або змінити величину сумарної площини друкованих провідників, розташувавши їх по-іншому.

Матеріали для високочастотних друкованих плат

Product	Dielectric Constant, Dk $\epsilon_r @ 10 \text{ GHz}$ (Typical)		Dissipation ⁽¹⁾ Factor TAN $\delta @ 10 \text{ GHz}$ (Typical)	Thermal ⁽²⁾ Coefficient of ϵ_r -50°C to 150°C ppm/°C (Typical)		Volume Resistivity Mohm • cm (Typical)	Surface Resistivity Mohm (Typical)	Moisture ⁽⁴⁾ Absorption D48/50 % (Typical)	Thermal ⁽⁵⁾ Conductivity W/m/°K (Typical) 80°C ASTM C518
	Process ⁽¹⁾	Design ⁽¹⁾⁽²⁾							
R03003™ PTFE Ceramic	⁽¹⁾ 3.00 ± 0.04	3.00	0.0013	11		10 ¹²	10 ¹¹	0.05	0.50
R03006™ PTFE Ceramic	6.15 ± 0.15	6.50	0.0020	-160		10 ⁷	10 ³	0.02	0.79
R03010™ PTFE Ceramic	10.20 ± 0.30	11.20	0.0022	-280		10 ¹²	10 ¹¹	0.05	0.95
R03035™ PTFE Ceramic	3.50 ± 0.05	3.60	0.0018	-50° to 10°C	-34	10 ⁷	10 ⁷	0.08	0.50
				10°C to 150°C	-11				
R03203™ PTFE Ceramic Woven Glass Reinforced	⁽¹⁾ 3.02 ± 0.04	3.02	0.0016	-75		10 ⁷	10 ⁷	0.06	0.48
R03206™ PTFE Ceramic Woven Glass Reinforced	6.15 ± 0.15	6.60	0.0027	-212		10 ⁷	10 ⁷	0.05	0.67
R03210™ PTFE Ceramic Woven Glass Reinforced	10.20 ± 0.50	10.80	0.0027	-459		10 ⁴	10 ⁴	0.13	0.81
R04003C™ Hydrocarbon Ceramic	⁽¹⁾ 3.38 ± 0.05	3.55	0.0029	+40		1.7 X 10 ¹⁰	4.2 X 10 ⁹	0.04	0.71
R04350B™ Hydrocarbon Ceramic	3.48 ± 0.05	3.66	0.0037	+50		1.2 X 10 ⁹	5.7 X 10 ⁹	0.05	0.69

Матеріали для високочастотних друкованих плат

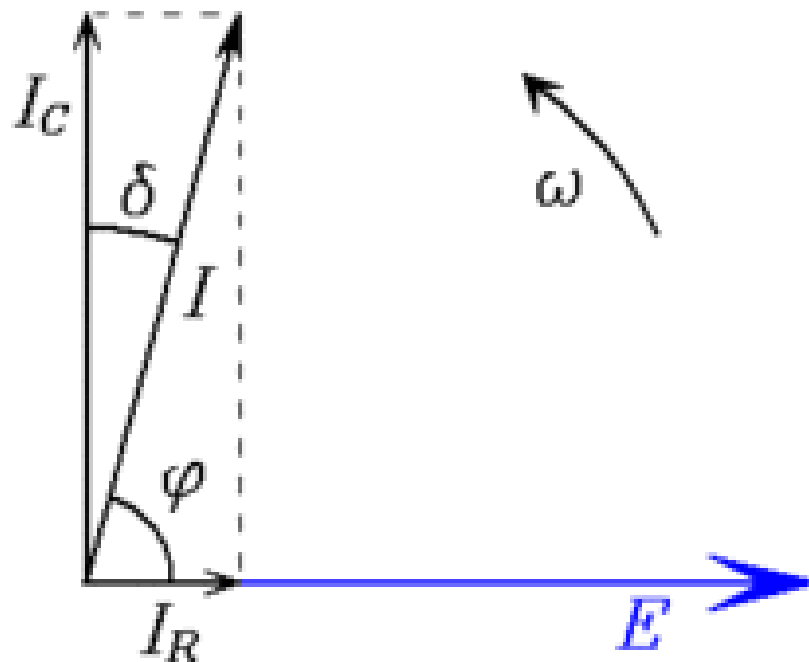
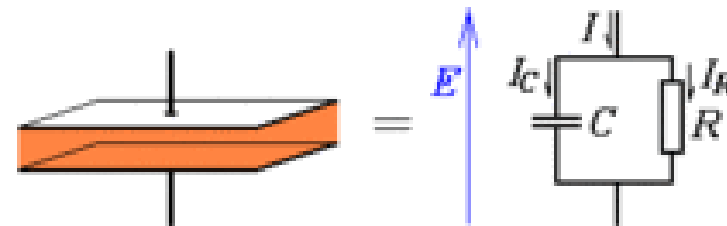
Property	Typical Value		Direction	Units	Condition	Test Method
	RO4003C	RO4350B				
Dielectric Constant, ϵ_r , Process	3.38 ± 0.05	3.48 ± 0.05	Z	--	10 GHz/23°C	IPC-TM-650 2.5.5.5 Clamped Stripline
⁽⁴⁾ Dielectric Constant, ϵ_r , Design	3.55	3.66	Z	--	8 to 40 GHz	Differential Phase Length Method
Dissipation Factor tan, δ	0.0027 0.0021	0.0037 0.0031	Z	--	10 GHz/23°C 2.5 GHz/23°C	IPC-TM-650 2.5.5.5
Thermal Coefficient of ϵ_r	+40	+50	Z	ppm/°C	-50°C to 150°C	IPC-TM-650 2.5.5.5
Volume Resistivity	1.7 X 10 ¹⁰	1.2 X 10 ¹⁰		MΩ•cm	COND A	IPC-TM-650 2.5.17.1
Surface Resistivity	4.2 X 10 ⁹	5.7 X 10 ⁹		MΩ	COND A	IPC-TM-650 2.5.17.1
Electrical Strength	31.2 (780)	31.2 (780)	Z	KV/mm (V/mil)	0.51mm (0.020")	IPC-TM-650 2.5.6.2
Tensile Modulus	19,650 (2,850) 19,450 (2,821)	16,767 (2,432) 14,153, (2,053)	X Y	MPa (ksi)	RT	ASTM D638
Tensile Strength	139 (20.2) 100 (14.5)	203 (29.5) 130 (18.9)	X Y	MPa (ksi)	RT	ASTM D638
Flexural Strength	276 (40)	255 (37)		MPa (kpsi)		IPC-TM-650 2.4.4
Dimensional Stability	<0.3	<0.5	X,Y	mm/m (mils/inch)	after etch +E2/150°C	IPC-TM-650 2.4.39A
Coefficient of Thermal Expansion	11 14 46	10 12 32	X Y Z	ppm/°C	-55 to 288°C	IPC-TM-650 2.4.41

Тангенс кута діелектричних втрат

Реальний діелектрик не є ідеальним ізолятором і проводить бодай невеликий постійний електричний струм.

Еквівалентну схему конденсатора, заповненого діелектриком, приведено на рисунку праворуч. В ній до ємності паралельно під'єднаний опір. Ідеальний конденсатор не проводить постійний струм, а при проходженні через нього змінного струму, сила струму упереджує напругу на чверть періоду за фазою.

Для реального конденсатора це упередження дещо менше. Різниця між ідеальним значенням упередження 90° та реальним його значенням називається кутом діелектричних втрат.



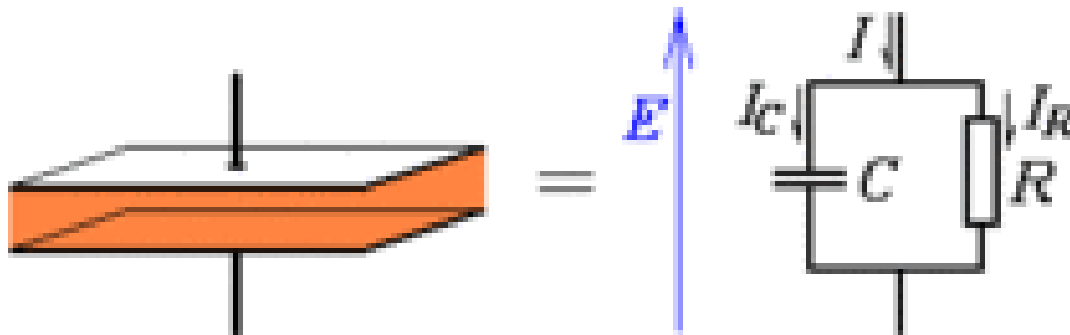
Тангенс кута діелектричних втрат

Тангенс кута діелектричних втрат – характеристика ізоляційних властивостей діелектриків та конденсаторів, яка визначається як відношення активної потужності до реактивної. Оскільки для паралельного з'єднання напруги на елементах рівні, то потужності дорівнюють відношенню квадрата напруги на відповідний опір. Тому тангенс діелектричних втрат реального конденсатора в наближенні паралельно з'єднаних C та R дорівнює також відношенню ємнісного опору до активного опору.

Комплексна провідність (адмітанс):

$$Y = G + iB = \frac{1}{R} + i\omega C$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega CR}$$

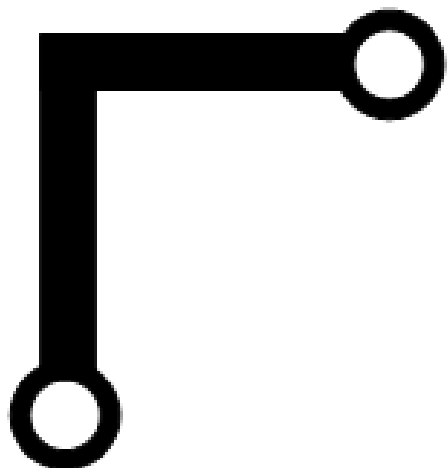


Гострий кут при певній довжині провідника може перетворитися на антену, через яку будуть йти завади та наводки на всю схему.

Рішення

Позбавитися гострого кута: закруглити його.

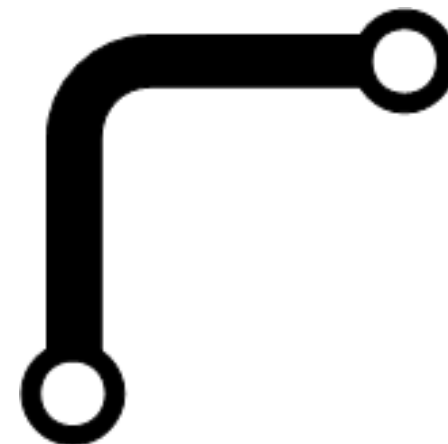
Погано:

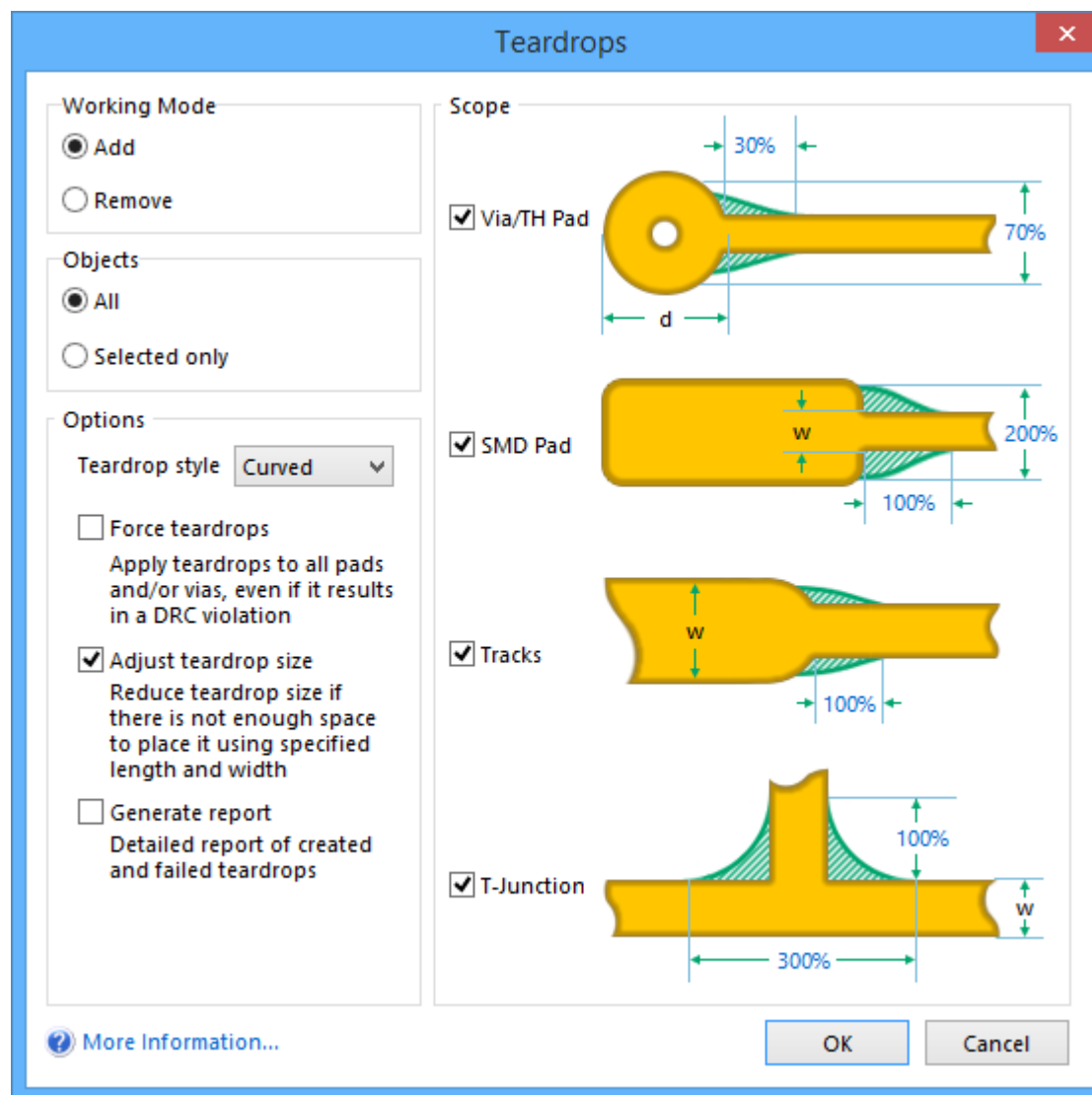


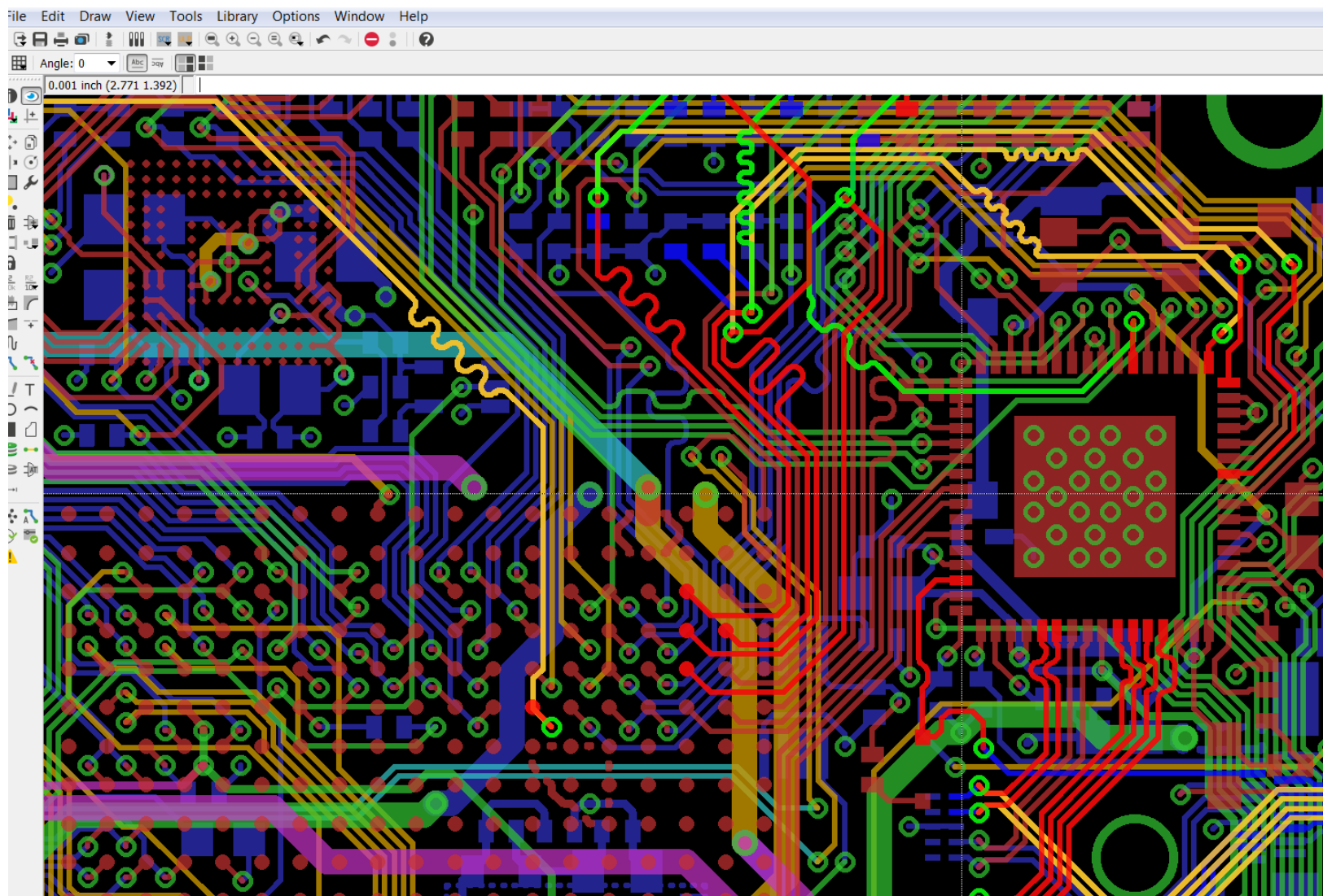
Краще:

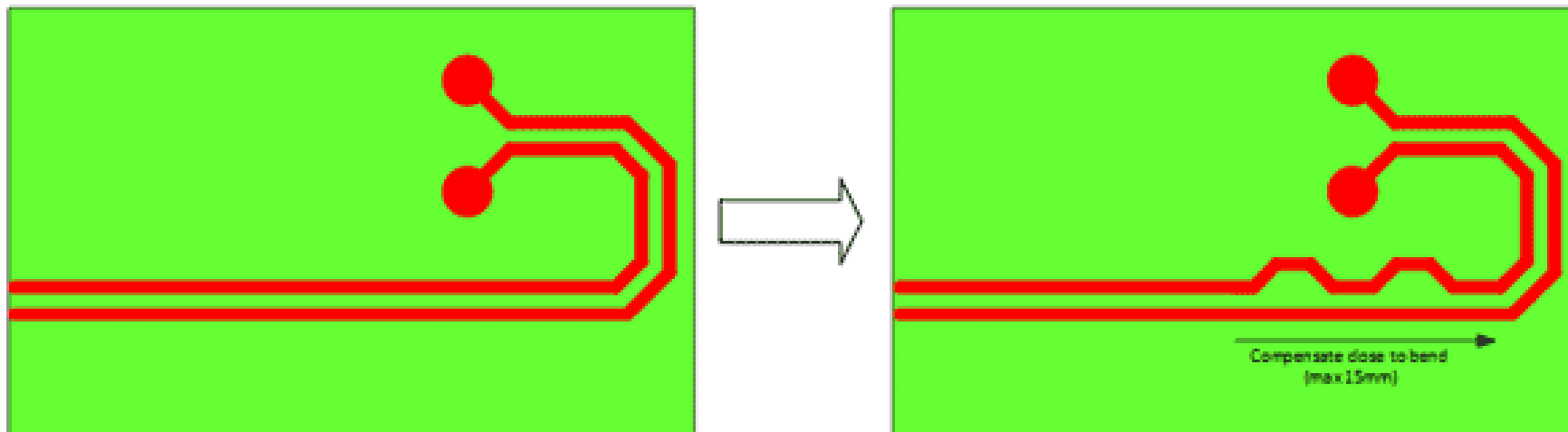


Добре:









<http://www.radiocomponents.com.ua/index.php/articles/18-high-impedance-inter>

Далі буде...

...Тепловий режим РЕА