

EMC Made Simple

Rules of Thumb

Optymalizacja layoutu PCB dla polepszenia kompatybilności elektromagnetycznej
Grzegorz Kronhof



SENSORY
DIAGNOSTICS



SENSORY
DIAGNOSTICS

Biuro R&D — Nasze kompetencje

Od koncepcji do gotowego produktu — projektowanie, prototypowanie i certyfikacja

Projektowanie PCB

Od koncepcji po gotowy produkt.
RF, high-speed, DDR, MIPI, Ethernet, USB, HDMI.
Obwody analogowe, filtry, front-endy pomiarowe.
Zasilacze, układy wykonawcze, systemy pomiarowe

Software

Embedded Linux, FreeRTOS, bootloadery, FOTA.
Sterowniki, DSP, C++/C#/Python. STM32, NXP, Microchip.
SOM: Variscite, Jetson.

EMC, testy & certyfikacja

Wsparcie w testach EMC i certyfikacji CE/FCC.
Optymalizacja kosztów testów.
Budowa testerów EOL — end of line i test jig

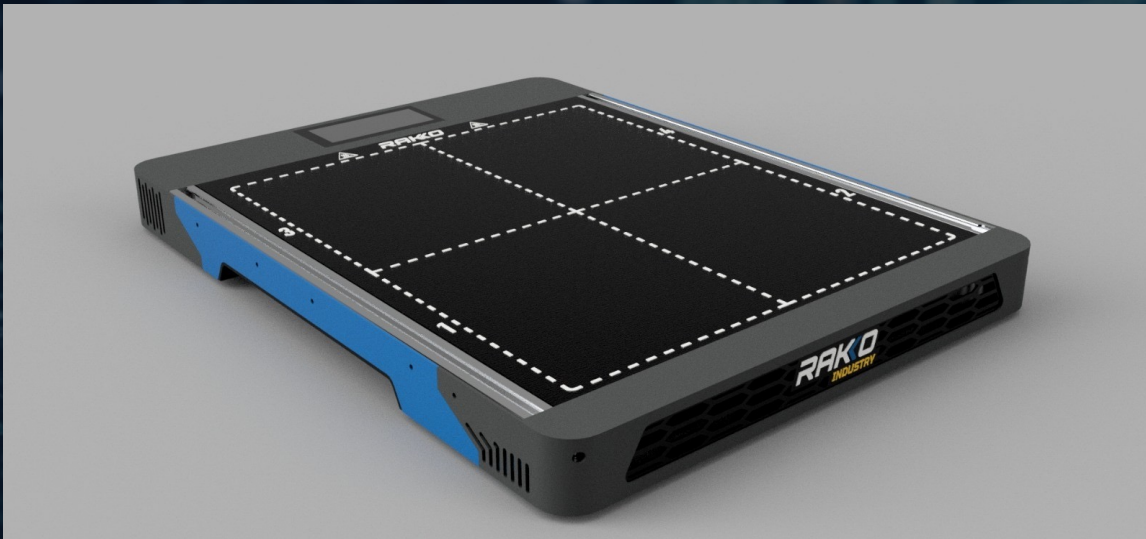
Mechanika, obudowy, montaż

We współpracy z R3D Motion
Projekt obudowy, prototypowanie mechaniki,
Produkcja

www.sensorydiag.com

Stacja Robocza IR Nowej Generacji start przedsprzedaży

Profesjonalny podgrzewacz IR do lutowania, reflow i napraw PCB — szybszy, stabilniejszy i bezpieczniejszy



RAKO
INDUSTRY

2000 + 500 W

Dolny podgrzew 2000 W + górny punktowy 500 W dla precyzyjnych napraw
Przemysłowa grzałka z drutu Kanthal A-1
~70% energii jest promieniowanej w postaci podczerwieni

Czytelny wyświetlacz

Precyzyjna konfiguracja i obsługa w rękawiczkach ESD
Dodatkowy (poza wbudowanym) zewnętrzny duży LCD i aplikacja web
Profile BGA, szybkie nastawy, zaawansowane wielopoziomowe alarmy

Akcesoria

Moduł chłodzenia, oświetlenie, podciśnienie, górna grzałka do BGA,
wszystko sterowane z jednego urządzenia

Agenda

01

Podstawy EMC

Emisja i odporność — kluczowe pojęcia

02

Layout PCB

Stackup, routing i zasady rozmieszczania komponentów

03

Filtracja i ekranowanie

Techniki tłumienia zakłóceń EMI na poziomie projektu

Podstawowe pojęcia EMC

Podstawowe pojęcia EMC

EMISJA

Zakłócenia przewodzone

Conducted Emissions (CE)

Niepożądane sygnały elektryczne generowane przez urządzenie, które propagują się wzdłuż przewodów zasilających i sygnałowych.

Zakłócenia promieniowane

Radiated Emissions (RE)

Energia elektromagnetyczna emitowana w przestrzeń przez urządzenie i jego okablowanie.

Podstawowe pojęcia EMC

EMISJA

Zakłócenia przewodzone

Conducted Emissions (CE)

Niepożądane sygnały elektryczne generowane przez urządzenie, które propagują się wzdłuż przewodów zasilających i sygnałowych.

Zakłócenia promieniowane

Radiated Emissions (RE)

Energia elektromagnetyczna emitowana w przestrzeń przez urządzenie i jego okablowanie.

ODPORNOŚĆ

Odporność promieniowana

Radiated Immunity (RI)

Zdolność urządzenia do poprawnej pracy w obecności zewnętrznych pól elektromagnetycznych.

Odporność przewodzona

Conducted Immunity (CI)

Odporność na zakłócenia wstrzykiwane przez przewody zasilające i sygnałowe.

Podstawowe pojęcia EMC

EMISJA

Zakłócenia przewodzone

Conducted Emissions (CE)

Niepożądane sygnały elektryczne generowane przez urządzenie, które propagują się wzdłuż przewodów zasilających i sygnałowych.

Zakłócenia promieniowane

Radiated Emissions (RE)

Energia elektromagnetyczna emitowana w przestrzeń przez urządzenie i jego okablowanie.

ODPORNOŚĆ

Odporność promieniowana

Radiated Immunity (RI)

Zdolność urządzenia do poprawnej pracy w obecności zewnętrznych pól elektromagnetycznych.

Odporność przewodzona

Conducted Immunity (CI)

Odporność na zakłócenia wstrzykiwane przez przewody zasilające i sygnałowe.

TESTY ODPORNOŚCIOWE

ESD

Electrostatic Discharge

Wyładowanie elektrostatyczne przy dotknięciu urządzenia.
Wyładowanie kontaktowe do ± 8 kV, powietrzne do ± 15 kV.
Kluczowe dla portów i obudowy.

Podstawowe pojęcia EMC

EMISJA

Zakłócenia przewodzone

Conducted Emissions (CE)

Niepożądane sygnały elektryczne generowane przez urządzenie, które propagują się wzdłuż przewodów zasilających i sygnałowych.

Zakłócenia promieniowane

Radiated Emissions (RE)

Energia elektromagnetyczna emitowana w przestrzeń przez urządzenie i jego okablowanie.

ODPORNOŚĆ

Odporność promieniowana

Radiated Immunity (RI)

Zdolność urządzenia do poprawnej pracy w obecności zewnętrznych pól elektromagnetycznych.

Odporność przewodzona

Conducted Immunity (CI)

Odporność na zakłócenia wstrzykiwane przez przewody zasilające i sygnałowe.

TESTY ODPORNOŚCIOWE

ESD

Electrostatic Discharge

Wyładowanie elektrostatyczne przy dotknięciu urządzenia.
Wyładowanie kontaktowe do ± 8 kV, powietrzne do ± 15 kV.
Kluczowe dla portów i obudowy.

Surge

Przebiecia udarowe

Symulacja przepięć wywołanych np. uderzeniem pioruna lub przełączaniem, np. Odłączenie odbiornika o charakterze indukcyjnym

Podstawowe pojęcia EMC

EMISJA

Zakłócenia przewodzone

Conducted Emissions (CE)

Niepożądane sygnały elektryczne generowane przez urządzenie, które propagują się wzdłuż przewodów zasilających i sygnałowych.

Zakłócenia promieniowane

Radiated Emissions (RE)

Energia elektromagnetyczna emitowana w przestrzeń przez urządzenie i jego okablowanie.

ODPORNOŚĆ

Odporność promieniowana

Radiated Immunity (RI)

Zdolność urządzenia do poprawnej pracy w obecności zewnętrznych pól elektromagnetycznych.

Odporność przewodzona

Conducted Immunity (CI)

Odporność na zakłócenia wstrzykiwane przez przewody zasilające i sygnałowe.

TESTY ODPORNOŚCIOWE

ESD

Electrostatic Discharge

Wyładowanie elektrostatyczne przy dotknięciu urządzenia.
Wyładowanie kontaktowe do ± 8 kV, powietrzne do ± 15 kV.
Kluczowe dla portów i obudowy.

Surge

Przebiecia udarowe

Symulacja przepięć wywołanych np. uderzeniem pioruna lub przełączaniem, np. Odłączenie odbiornika o charakterze indukcyjnym

Burst

Szybkie powtarzalne zakłócenia elektryczne

Seria krótkich, szybkich impulsów symulujących zakłócenia od przełączania obwodów indukcyjnych

Podstawowe pojęcia EMC

Każdy układ elektroniczny:

pobiera energię,
przetwarza energię,
przekazuje energię dalej.

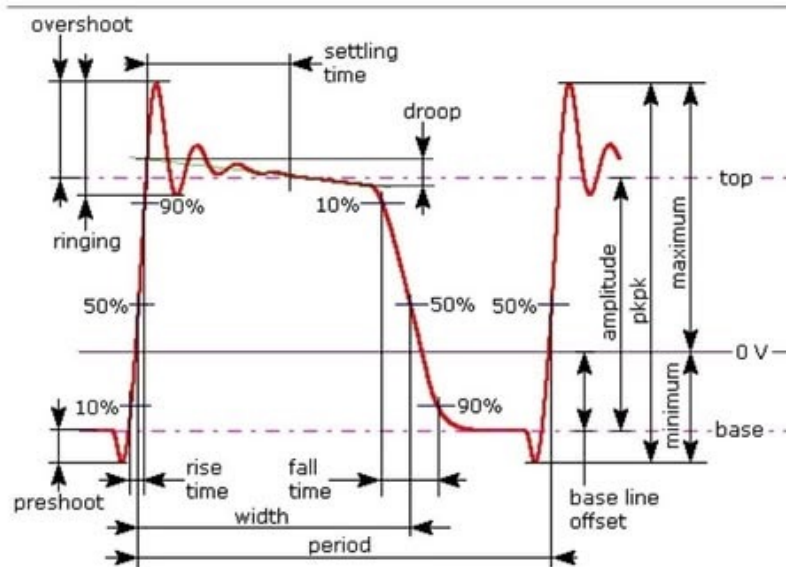
Layout - Ścieżki PCB są medium transportowym (czasem anteną) dla energii pomiędzy komponentami, dla szybkich sygnałów energia sygnału jest przenoszona głównie przez pole elektromagnetyczne wokół ścieżek PCB i płaszczyzn odniesienia, a same ścieżki pełnią rolę struktury prowadzącej tę energię. Zjawiska te uwypuklają się od ok 100MHz

Prąd wymiera drogę o najniższej impedancji i jak gdzieś płynie to musi gdzieś wrócić - prawo Kirchoffa

Podstawowe pojęcia EMC

Częstotliwości w naszym projekcie - szybkość narastania/opadania zbrocza a pasmo

PULSE PARAMETERS



Podstawowe pojęcia EMC

Częstotliwości w naszym projekcie - szybkość narastania/opadania zbocza a pasmo
 Dla STM32F103RTC6 czas narastania dla ustawienia MODE[1:0] 0b01 to 25ns

PULSE PARAMETERS

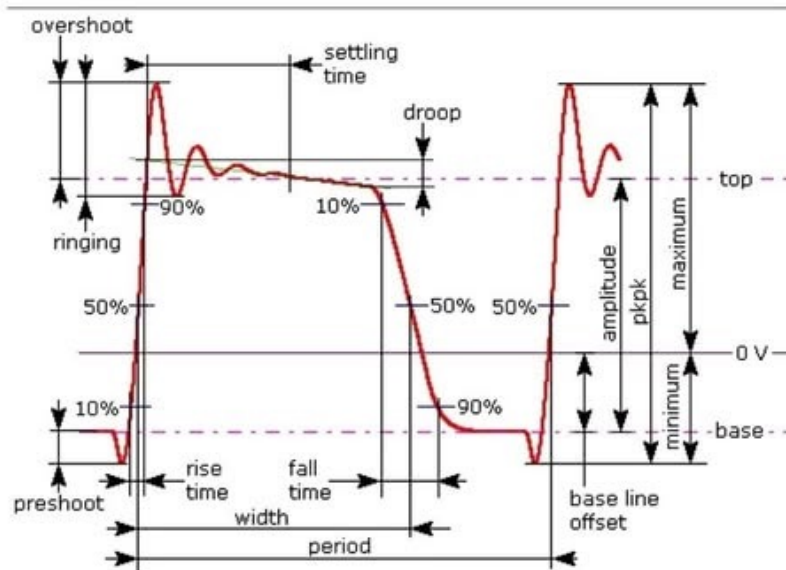


Table 48. I/O AC characteristics⁽¹⁾

MODEx[1:0] bit value ⁽¹⁾	Symbol	Parameter	Conditions	Min	Max	Unit
10	$f_{\max(I/O)out}$	Maximum frequency ⁽²⁾	$C_L = 50 \text{ pF}$, $V_{DD} = 2 \text{ V to } 3.6 \text{ V}$	-	2	MHz
	$t_{f(I/O)out}$	Output high to low level fall time	$C_L = 50 \text{ pF}$, $V_{DD} = 2 \text{ V to } 3.6 \text{ V}$	-	125 ⁽³⁾	ns
	$t_{r(I/O)out}$	Output low to high level rise time		-	125 ⁽³⁾	
01	$f_{\max(I/O)out}$	Maximum frequency ⁽²⁾	$C_L = 50 \text{ pF}$, $V_{DD} = 2 \text{ V to } 3.6 \text{ V}$	-	10	MHz
	$t_{f(I/O)out}$	Output high to low level fall time	$C_L = 50 \text{ pF}$, $V_{DD} = 2 \text{ V to } 3.6 \text{ V}$	-	25 ⁽³⁾	ns
	$t_{r(I/O)out}$	Output low to high level rise time		-	25 ⁽³⁾	
11	$F_{\max(I/O)out}$	Maximum frequency ⁽²⁾	$C_L = 30 \text{ pF}$, $V_{DD} = 2.7 \text{ V to } 3.6 \text{ V}$	-	50	MHz
			$C_L = 50 \text{ pF}$, $V_{DD} = 2.7 \text{ V to } 3.6 \text{ V}$	-	30	MHz
			$C_L = 50 \text{ pF}$, $V_{DD} = 2 \text{ V to } 2.7 \text{ V}$	-	20	MHz
	$t_{f(I/O)out}$	Output high to low level fall time	$C_L = 30 \text{ pF}$, $V_{DD} = 2.7 \text{ V to } 3.6 \text{ V}$	-	5 ⁽³⁾	ns
			$C_L = 50 \text{ pF}$, $V_{DD} = 2.7 \text{ V to } 3.6 \text{ V}$	-	8 ⁽³⁾	
			$C_L = 50 \text{ pF}$, $V_{DD} = 2 \text{ V to } 2.7 \text{ V}$	-	12 ⁽³⁾	
$t_{r(I/O)out}$	Output low to high level rise time	$C_L = 30 \text{ pF}$, $V_{DD} = 2.7 \text{ V to } 3.6 \text{ V}$	-	5 ⁽³⁾		
		$C_L = 50 \text{ pF}$, $V_{DD} = 2.7 \text{ V to } 3.6 \text{ V}$	-	8 ⁽³⁾		
		$C_L = 50 \text{ pF}$, $V_{DD} = 2 \text{ V to } 2.7 \text{ V}$	-	12 ⁽³⁾		
-	t_{EXTIpw}	Pulse width of external signals detected by the EXTI controller	-	10	-	ns

1. The I/O speed is configured using the MODEx[1:0] bits. Refer to the STM32F10xxx reference manual for a description of GPIO Port configuration register.

2. The maximum frequency is defined in Figure 46.

3. Guaranteed by design.

Podstawowe pojęcia EMC

Częstotliwości w naszym projekcie - szybkość narastania/opadania zbocza a pasmo
Dla STM32F103RTC6 czas narastania dla ustawienia MODE[1:0] 0b01 to 25ns
Generujemy prostokąt o częstotliwości 1kHz i d=50%

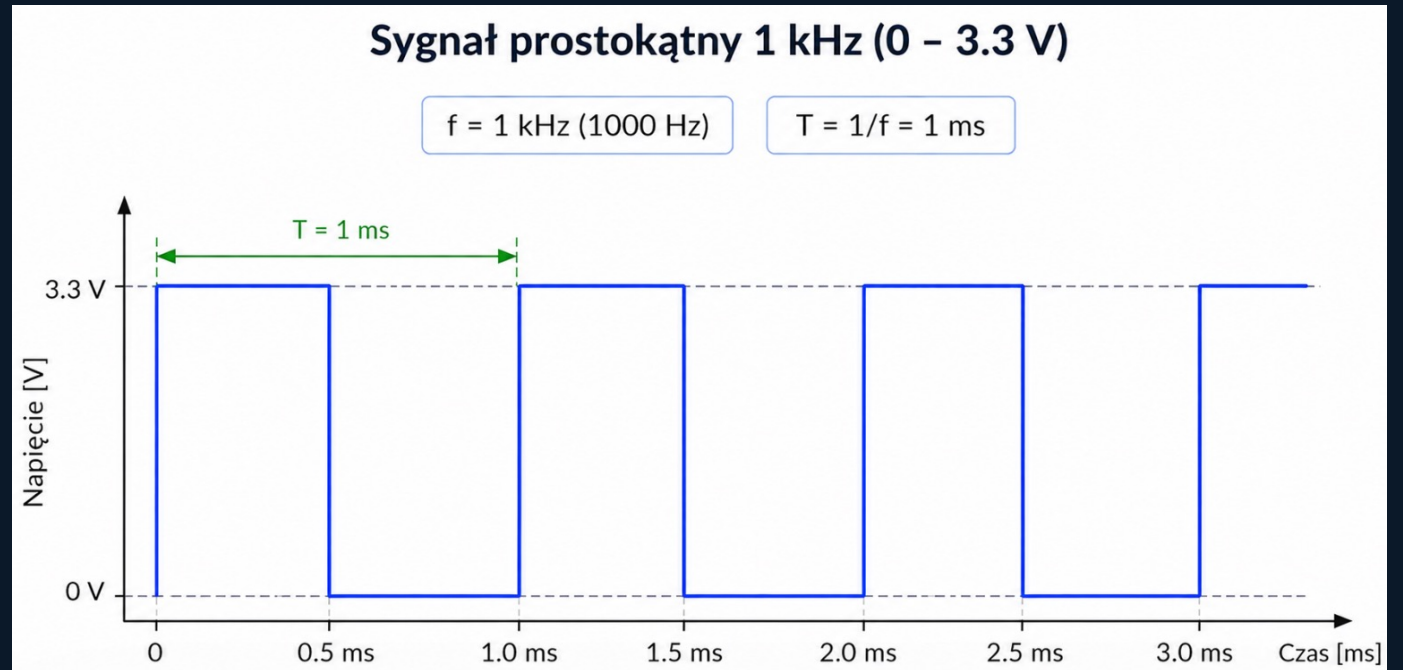
Częstotliwość podstawowa – 1kHz
Harmoniczne 3kHz, 5kHz, 7kHz, 9kHz

$t_r=25\text{ ns}$ – czas narastania zbocza

$$f = \frac{0.35}{t_r} = \frac{0.35}{25\text{ns}} \sim 14\text{MHz (częstotliwość istotna)*}$$

$t_r=5\text{ ns}$ – czas narastania zbocza

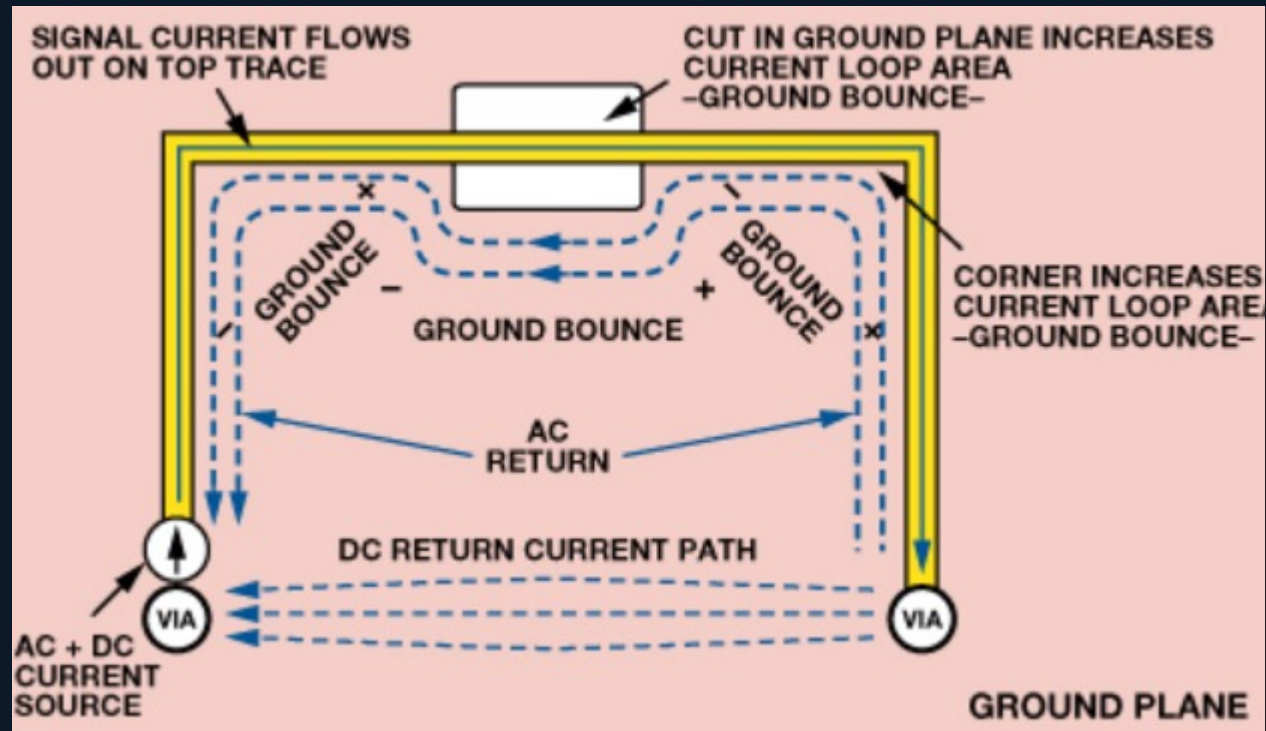
$$f = \frac{0.35}{t_r} = \frac{0.35}{5\text{ns}} \sim 70\text{MHz (częstotliwość istotna)*}$$



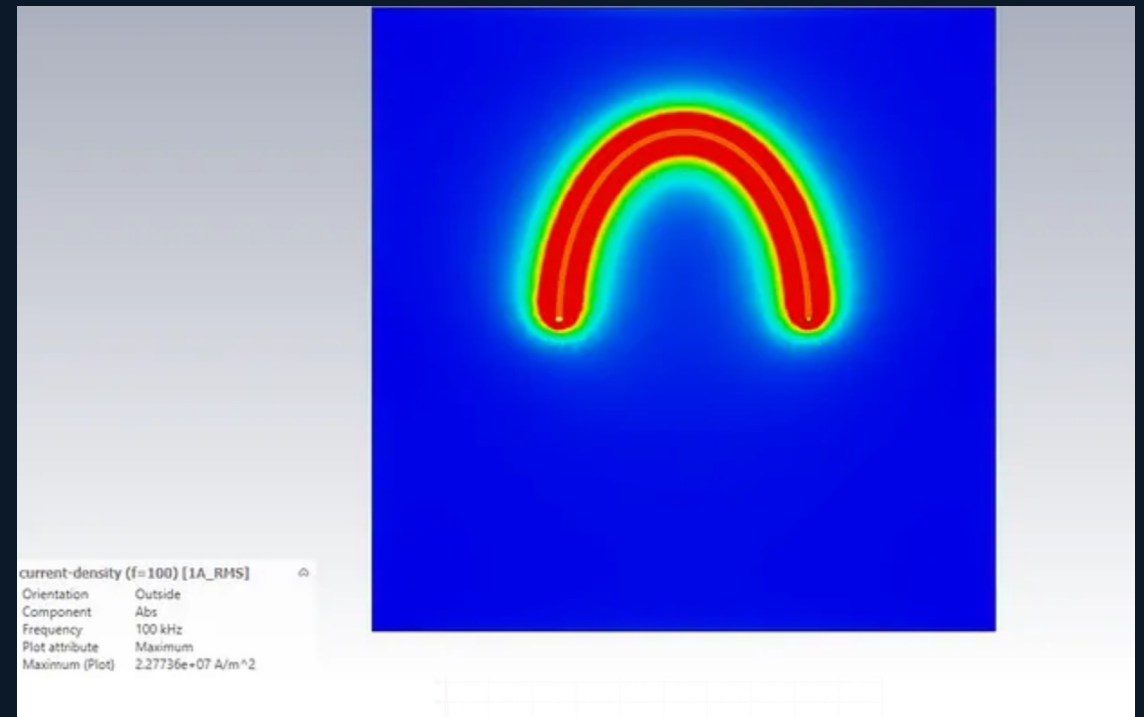
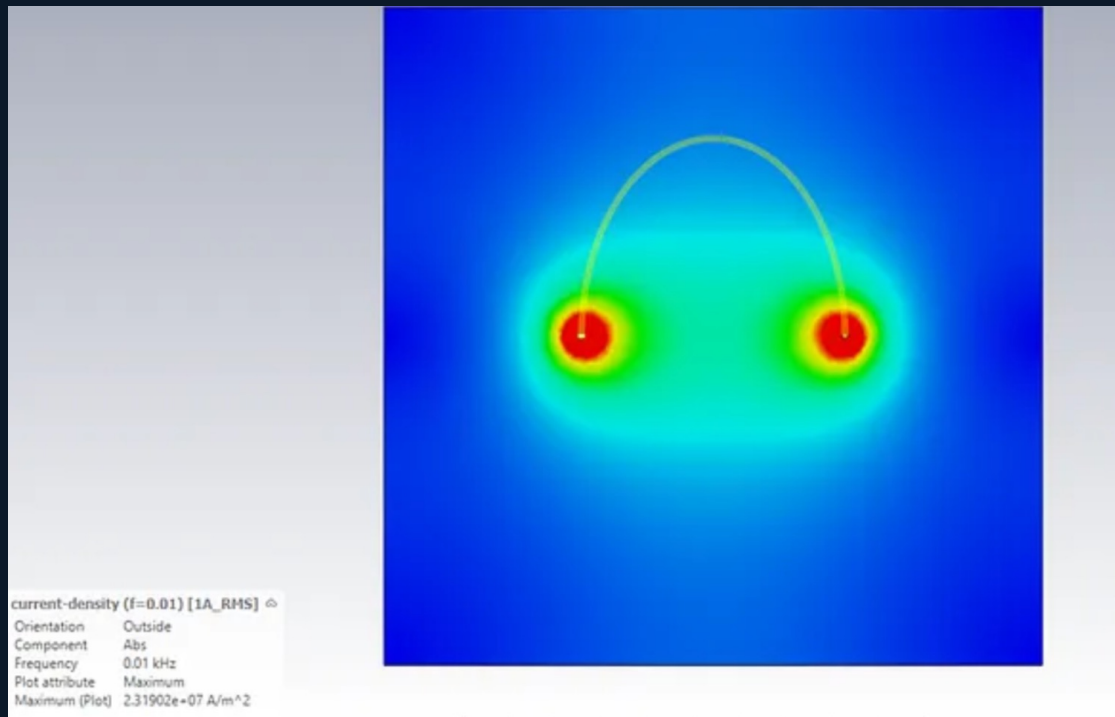
*Parametr 0,35 wynika z matematyki odpowiedzi układu pierwszego rzędu oraz z transformaty Fouriera zbocza

Layout - ground return path

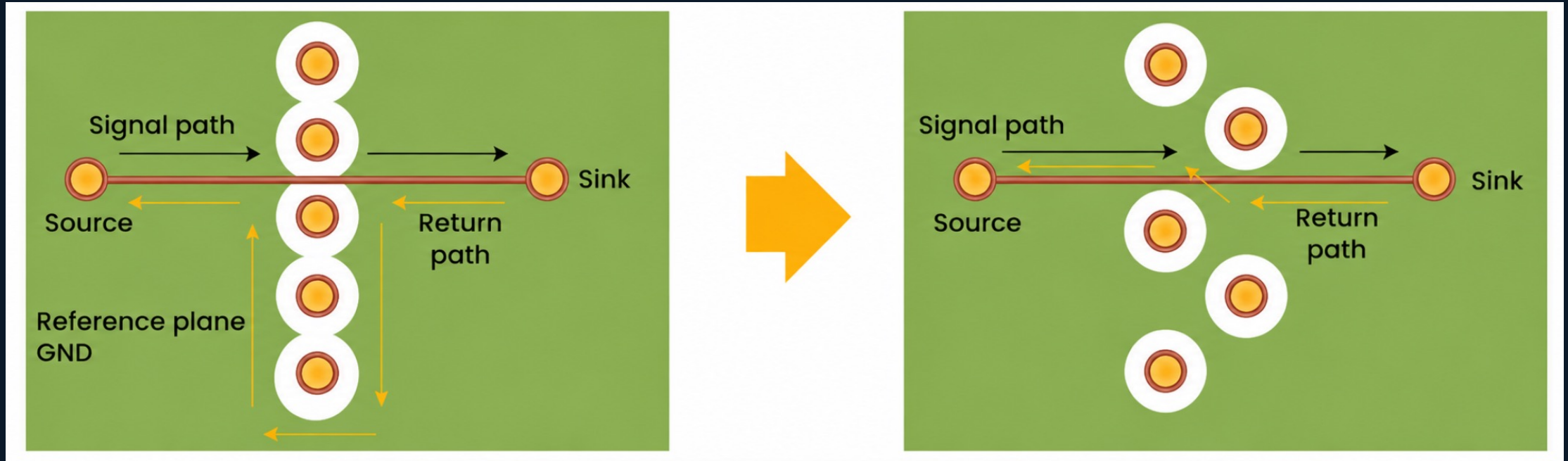
Największe natężenie pola jest bezpośrednio wokół ścieżki która dostarcza nam energię, więc prąd będzie chciał wrócić bezpośrednio pod tą ścieżką.



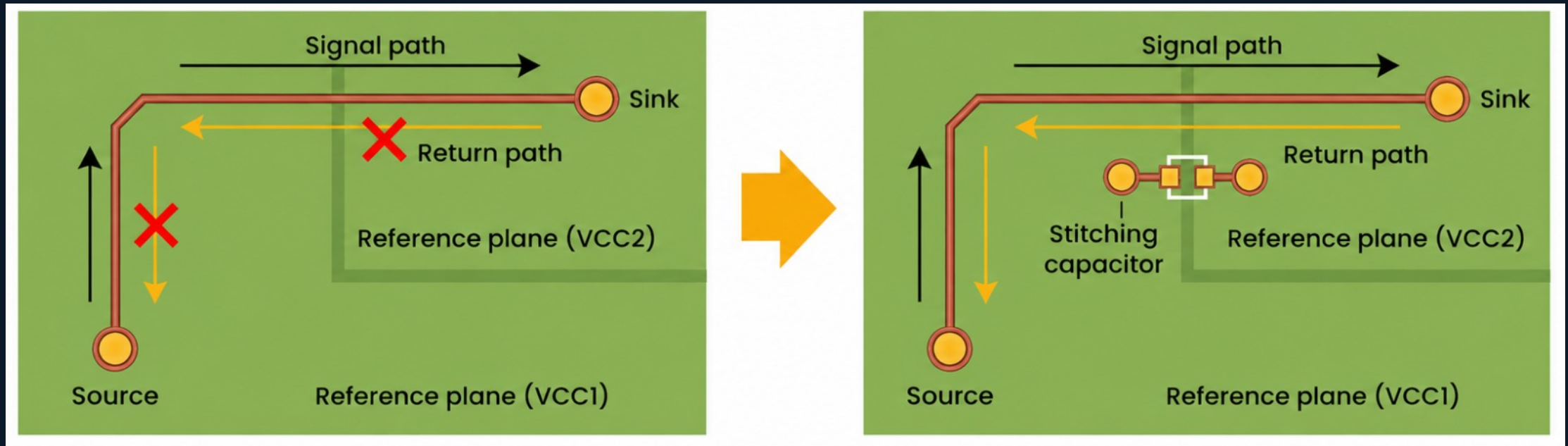
Layout - ground return path



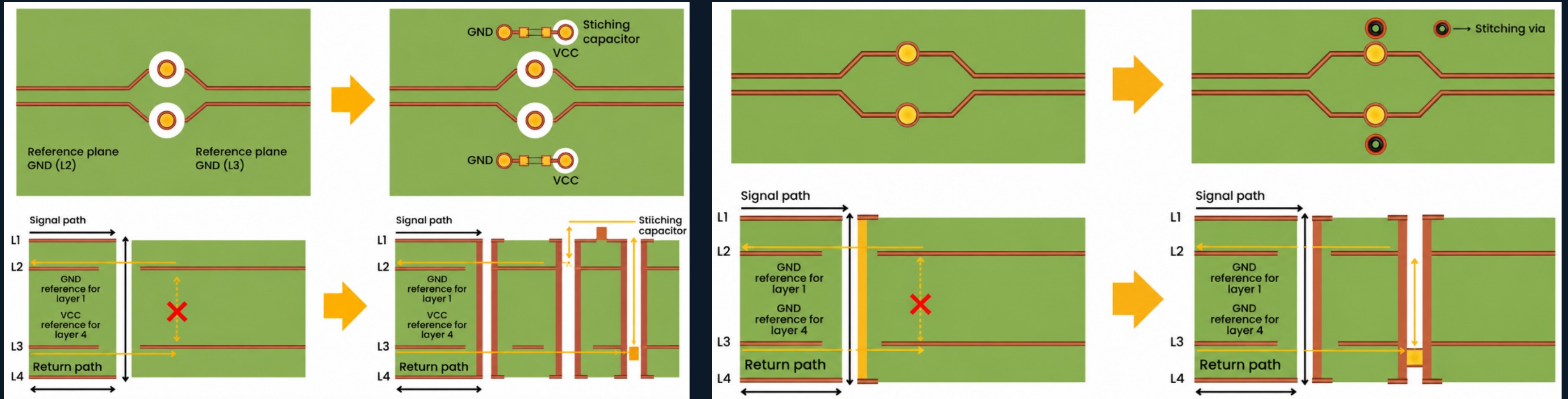
Layout - ground return path



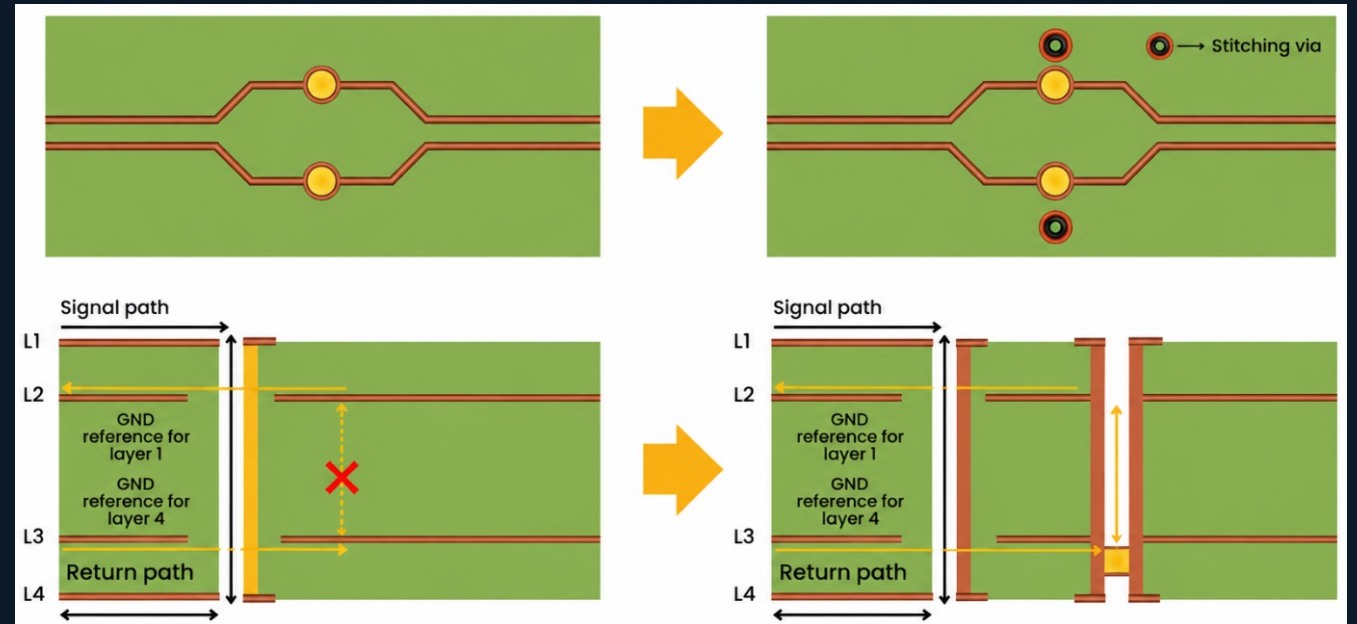
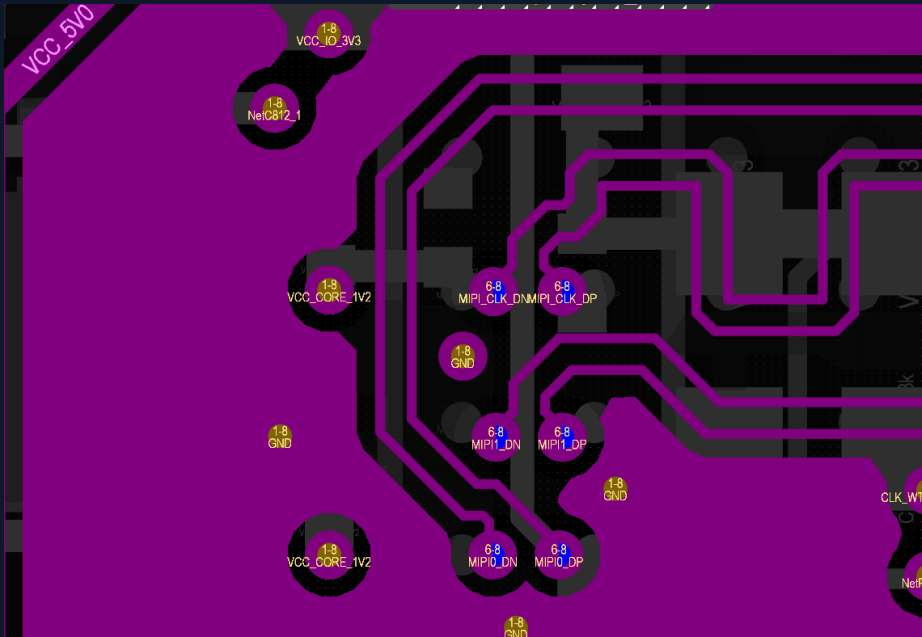
Layout - ground return path



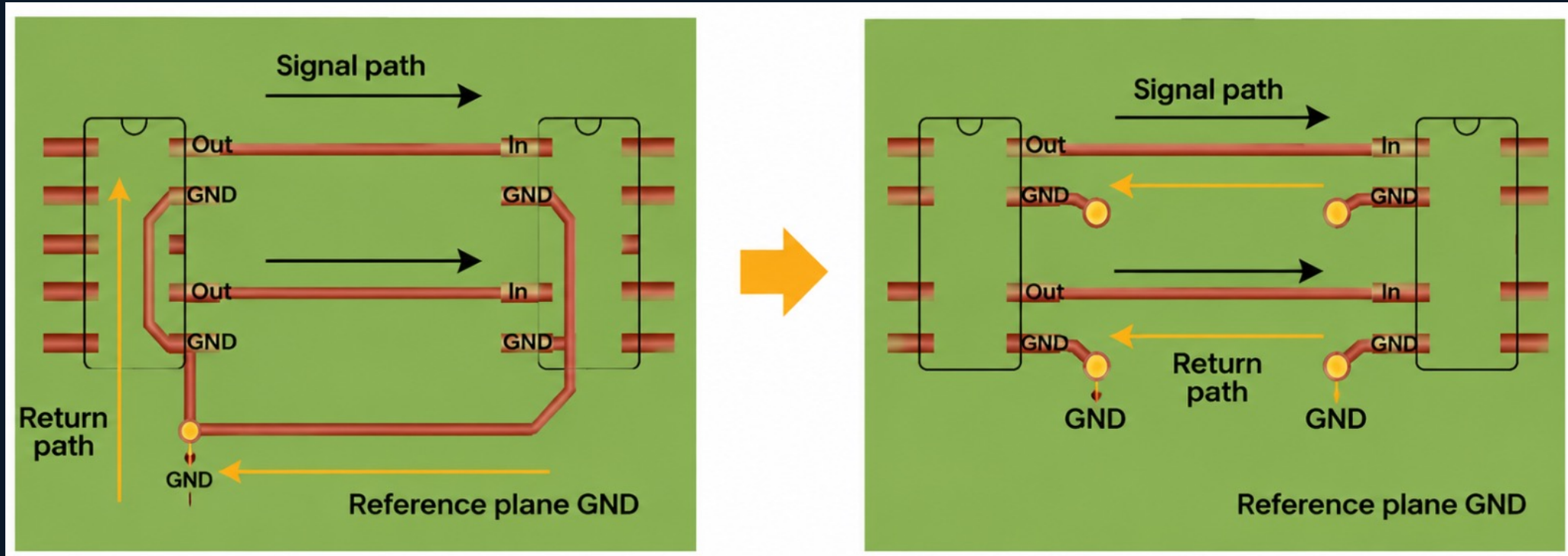
Layout - ground return path



Layout - ground return path



Layout - ground return path



Layout - ścieżki różnicowe - kalkulatory

Differential Microstrip/Stripline Calculator

Sierra Circuits Impedance Calculator

Saturn PCB Toolkit

JLCPCB Impedance Calculator

Layout - ścieżki różnicowe - kalkulatory

Differential Microstrip/Stripline Calculator

Sierra Circuits Impedance Calculator

Saturn PCB Toolkit

JLPCB Impedance Calculator

The screenshot shows the Sierra Circuits Impedance Calculator interface for a Differential Microstrip/Stripline Calculator. The interface is divided into four main sections: Geometry Information, Dielectric Information, Trace Information, and Impedance Output.

- Geometry Information:** Shows a cross-sectional diagram of a differential microstrip pair on a substrate. The diagram labels the dielectric height (H1), dielectric constant (ER1), trace width (W), and trace separation (S). Below the diagram, the formulas $\Delta W = W - W1$ and $TPS = W + S$ are shown, along with the website www.protoexpress.com.
- Dielectric Information:** Includes input fields for Dielectric Height (H1) in mils, Dielectric Constant (ER1), and Dielectric Constant (ER1).
- Trace Information:** Includes input fields for Trace Width (W) in mils, Trace Thickness (T) in mils, and Trace Separation (S) in mils. It also shows calculated values for $\Delta W = (W - W1)$ and Trace + Separation = (W + S).
- Impedance Output:** Includes input fields for Target Diff. Impedance (Zd) in Ohms, Calculated Diff. Impedance (Zd) in Ohms, Coupling Coefficient (K %), Odd Mode Impedance (Zodd) in Ohms, Even Mode Impedance (Zeven) in Ohms, Propagation Delay (PdEven) in ps/inch, and Propagation Delay (Pdodd) in ps/inch.

The diagram illustrates the geometry of a differential microstrip pair. It shows two parallel traces of width W separated by a distance S . The substrate has a dielectric height H and a copper thickness T . The total width of the substrate is B . The diagram is labeled with the following parameters:

- Copper Thickness (T):** mils
- Dielectric Thickness (B):** mils
- Trace Width (W):** mils
- Edge-to-Edge Spacing (S):** mils
- Dielectric Constant:** Dielectric Constant

A "Calculate" button is located below the diagram.

Layout - ścieżki różnicowe - kalkulatory

Differential Microstrip/Stripline Calculator

Sierra Circuits Impedance Calculator

Saturn PCB Toolkit

JLCPCB Impedance Calculator

USB 2.0 → 90 Ω differential

USB 3.x → 90 Ω differential

Ethernet → 100 Ω differential

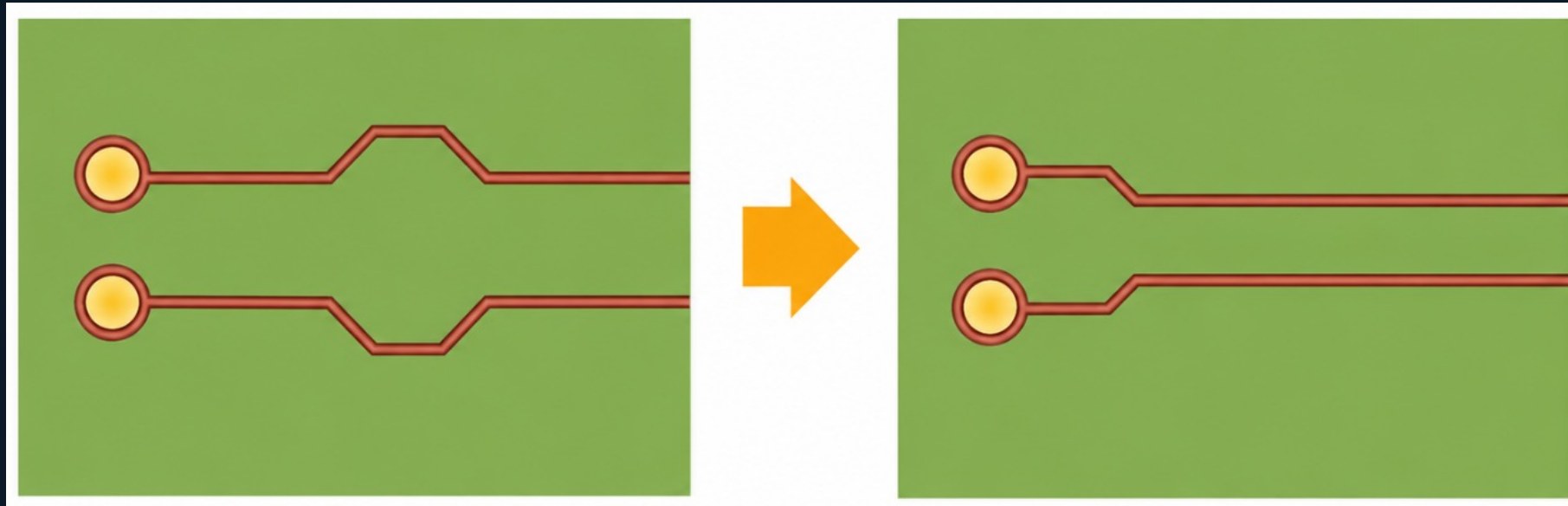
LVDS → 100 Ω differential

HDMI → 100 Ω differential

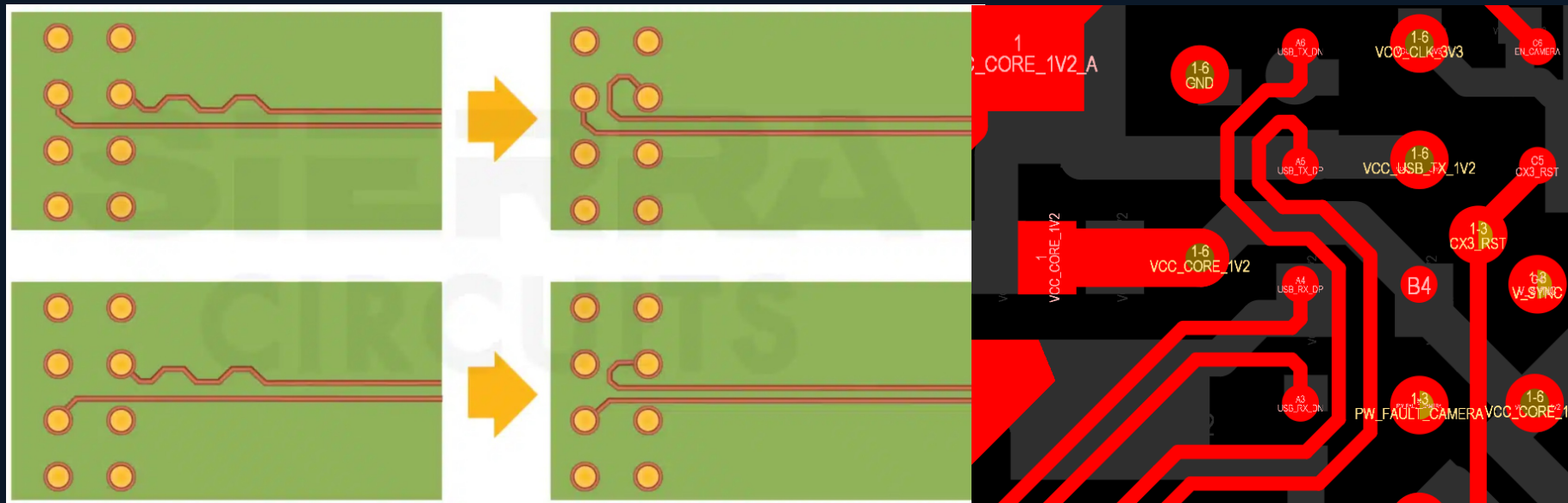
PCIe → 85 Ω differential

typowy coax – 50 Ω single ended

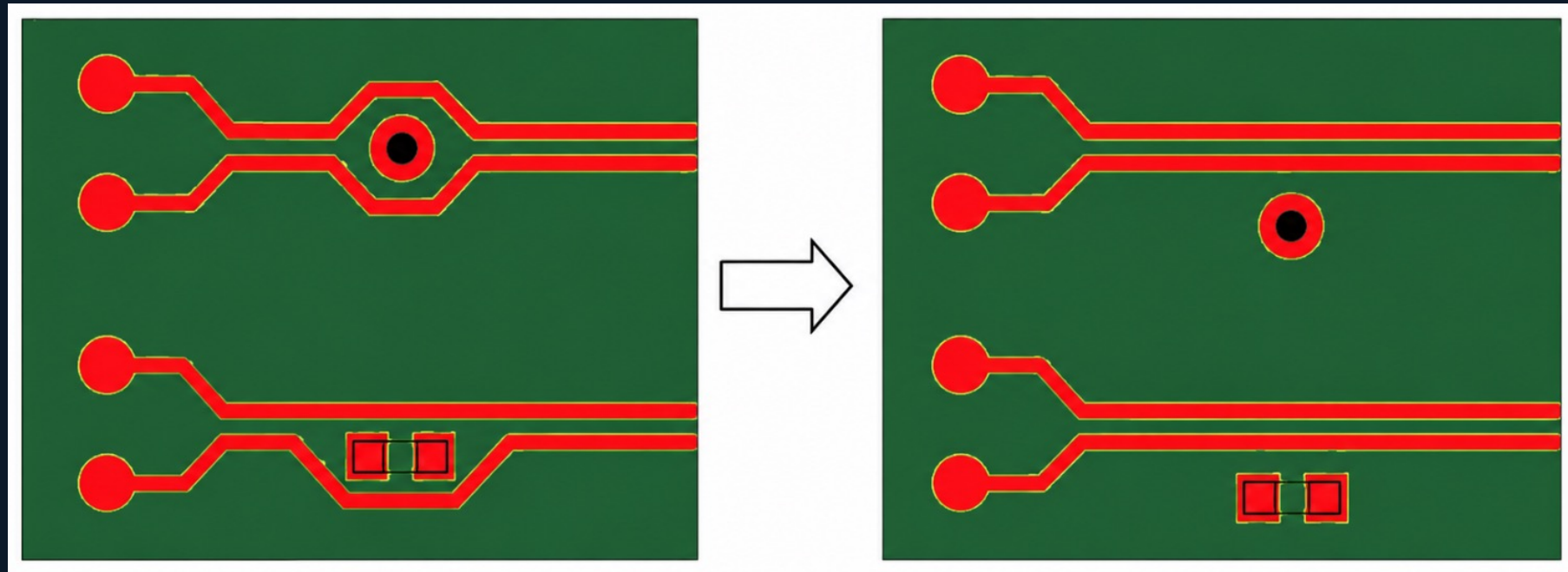
Layout - ścieżki różnicowe



Layout - ścieżki różnicowe



Layout - ścieżki różnicowe



Layout - stackup

Layers 8 | PCB Thickness 0.8 | Inner Copper Weight 0.5oz | Outer Copper Weight 1oz | Unit mil

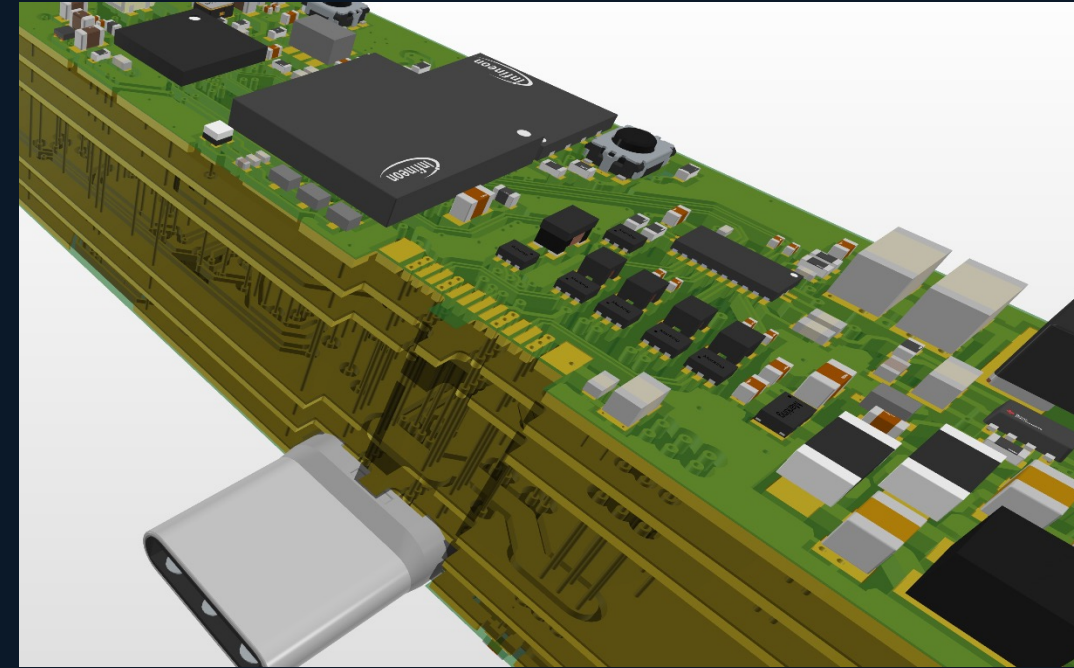
Impedance Configure + New Impedance Duplicate Impedance Calculate

Impedance (Ω)	Type	Signal Layer	Top Ref	Bottom Ref	Trace Spacing (mil)	Impedance trace to copper (mil)
90	Differential Pair (Non coplanar)	L3	L2	L5	8	/

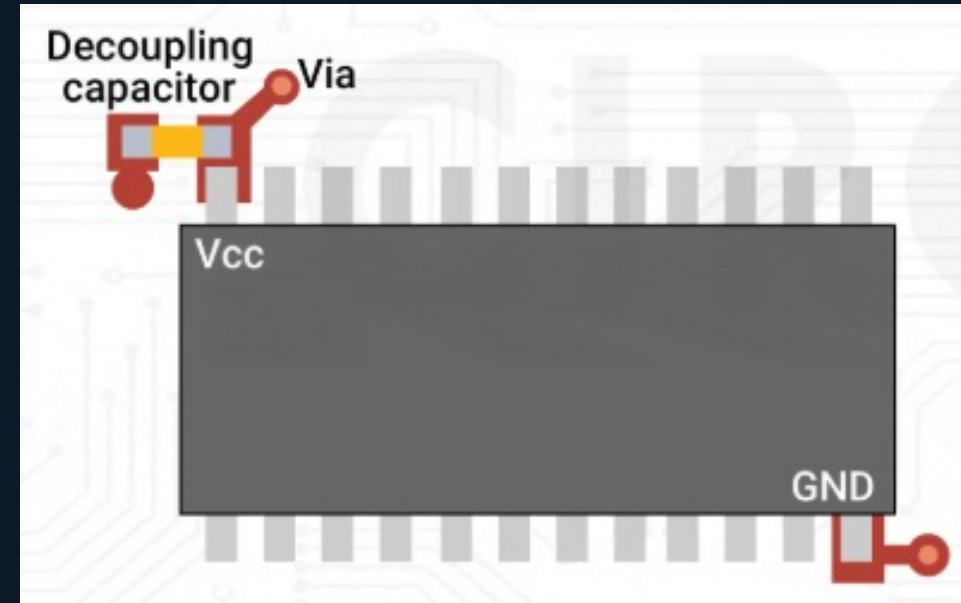
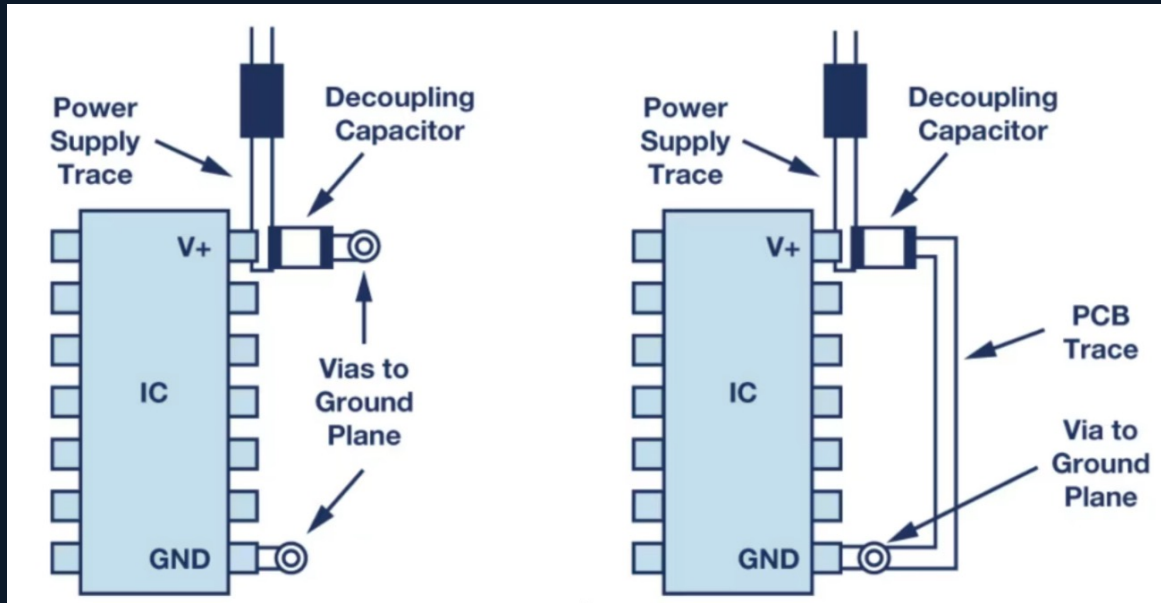
Standard/Finished thic 0.76±0.10mm | **JLC08081H-1080A(Special/Finished thickness 0.85±0.10mm)** | JLC08081H-1080B(Special Tg170/Finished thickness 0.8±0.10mm)

Impedance (Ω)	Type	Signal Layer	Top Ref	Bottom Ref	Trace Width	Trace Spacing	Impedance trace to copper
90	Differential Pair (Non coplanar)	L3	L2	L5	4.9400	8.0000	/

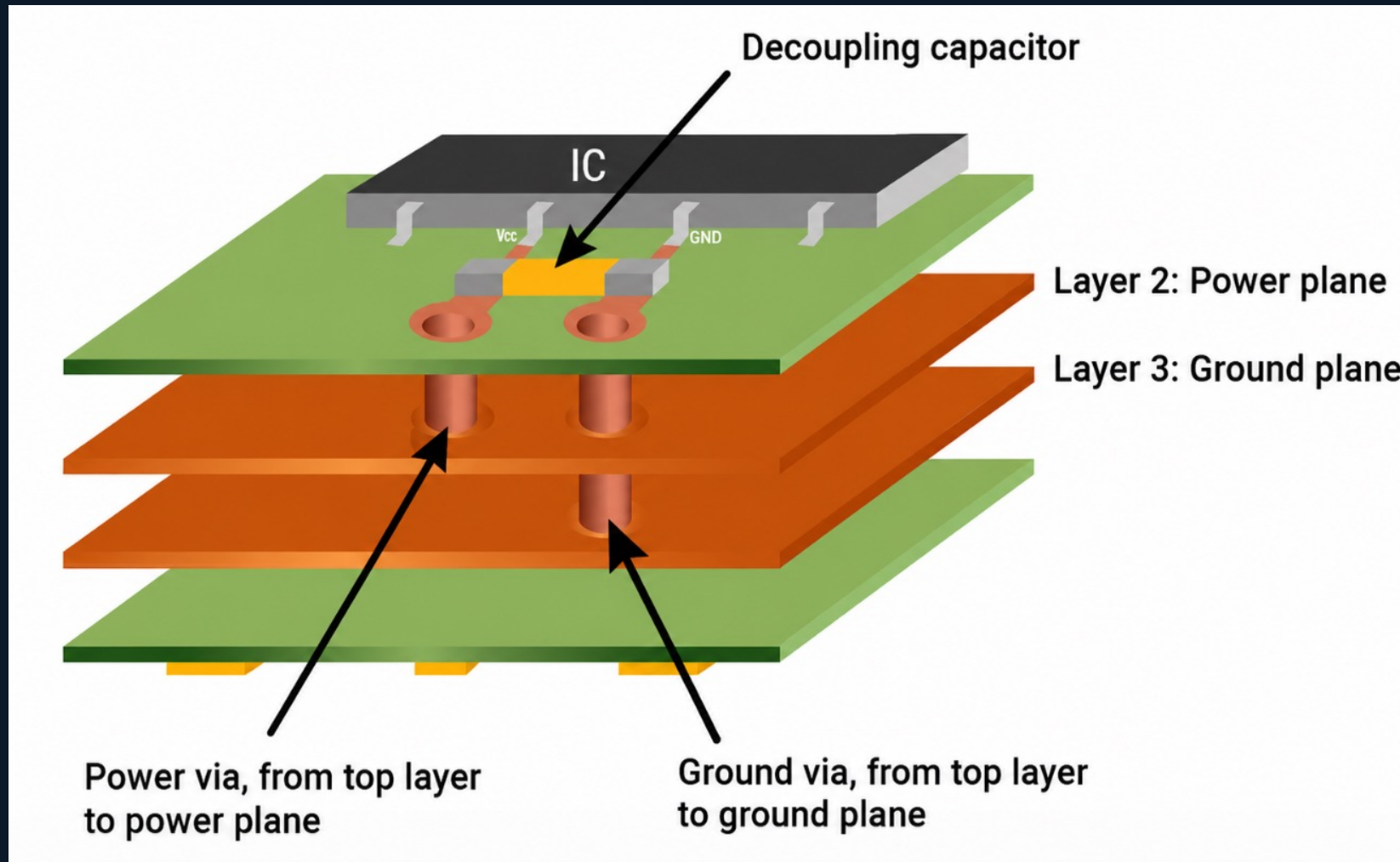
Layer	Material	Thickness (mil)	Thickness (mm)
L1	Outer Copper Weight1oz	1.38	0.0350
Prepreg	1080 RC69% 3.39mil	3.09	0.0784
L2	Inner Copper Weight	0.60	0.0152
Core	0.10mm H/HOZ without copper	3.94	0.1000
L3	Inner Copper Weight	0.60	0.0152
Prepreg	2313 RC58% 4.09mil	3.50	0.0888



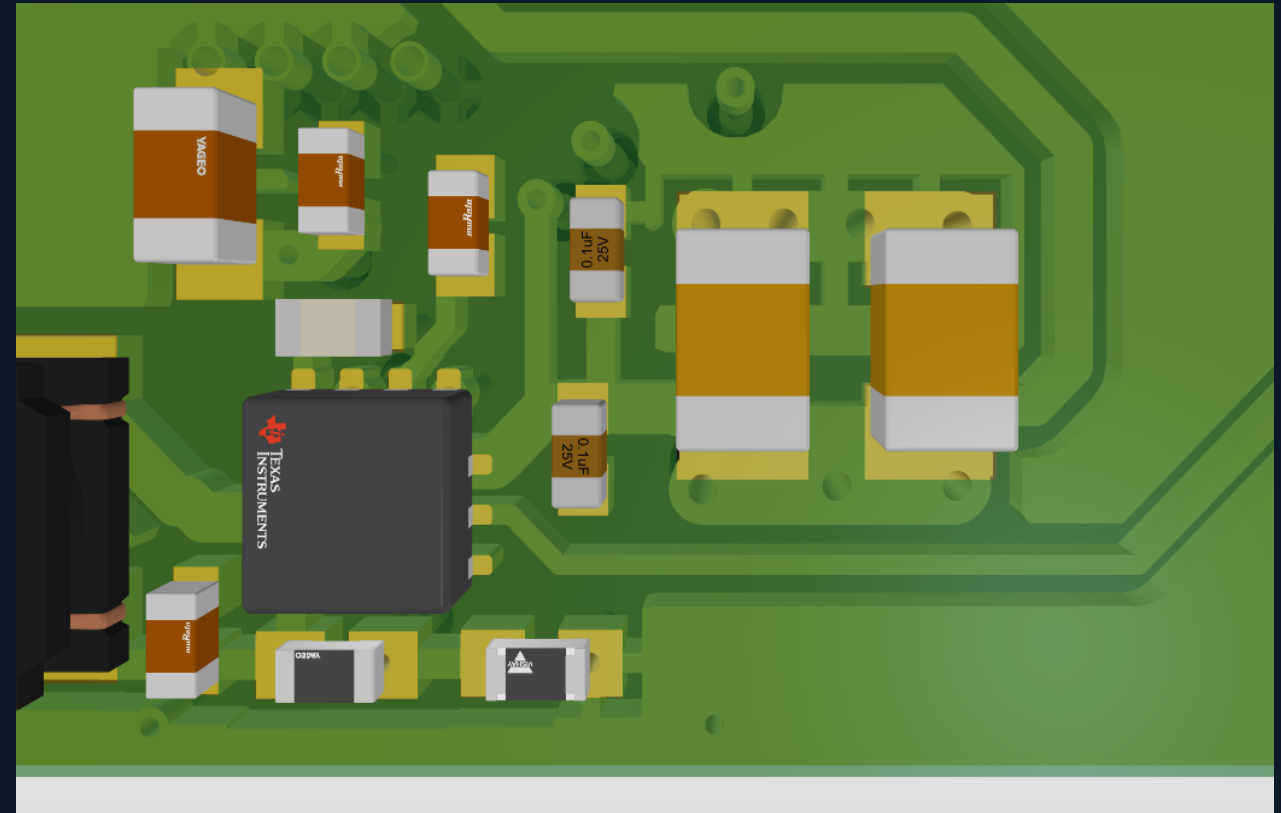
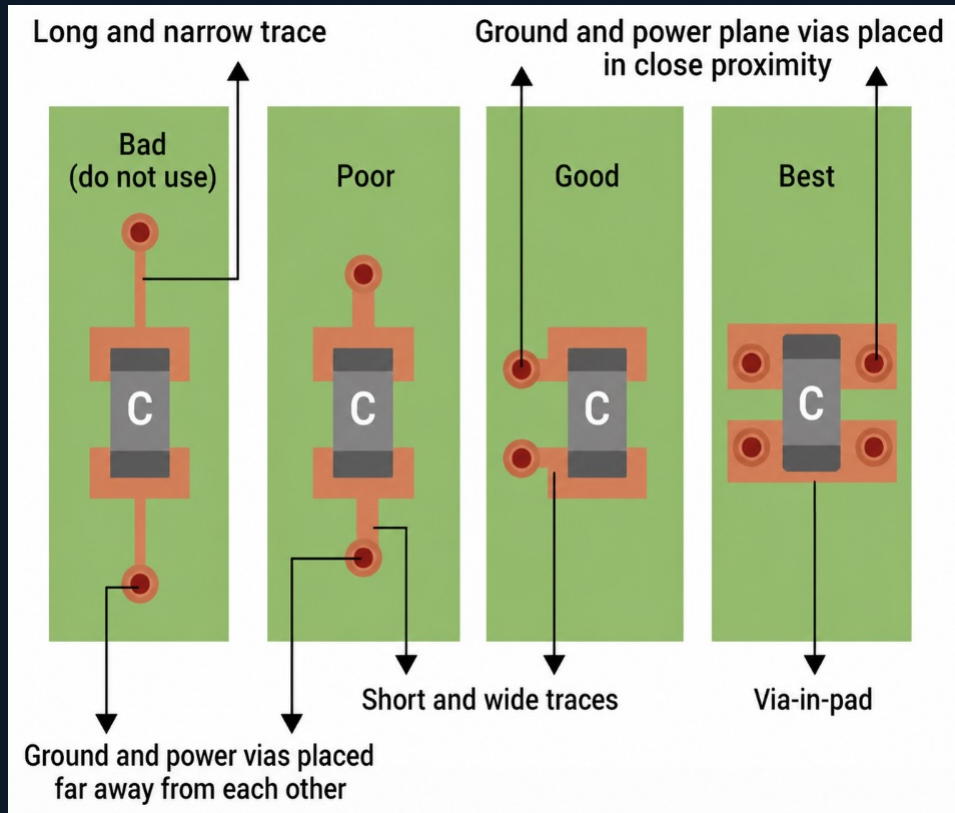
Layout - decoupling



Layout - decoupling



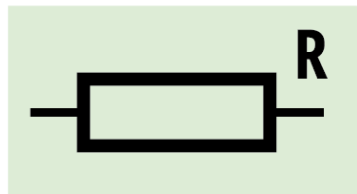
Layout - decoupling



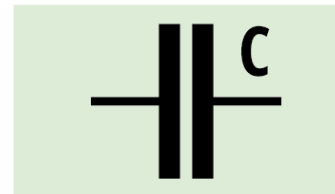
Layout - elementy rzeczywiste

Element w teorii, idealizowany symbol na papierze:

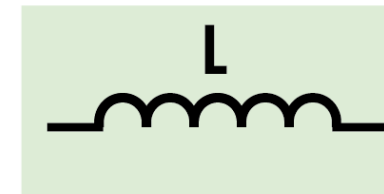
rezystor



kondensator

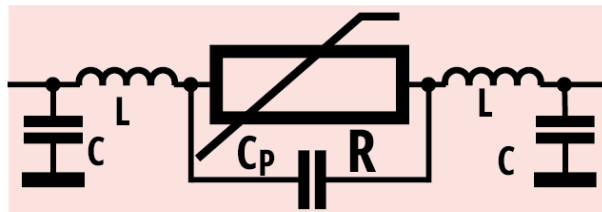


cewka (dławik)

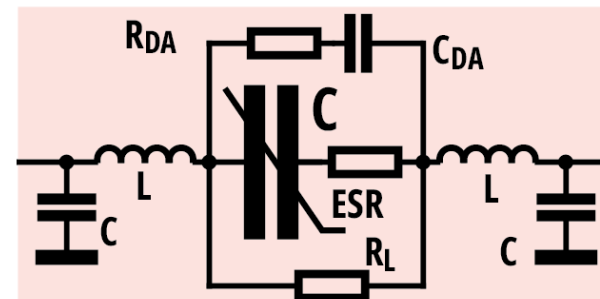


Natomiast bliżej rzeczywistości:

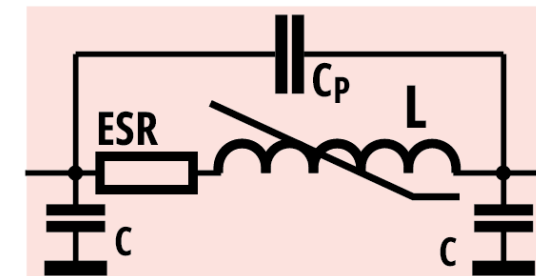
rezystor



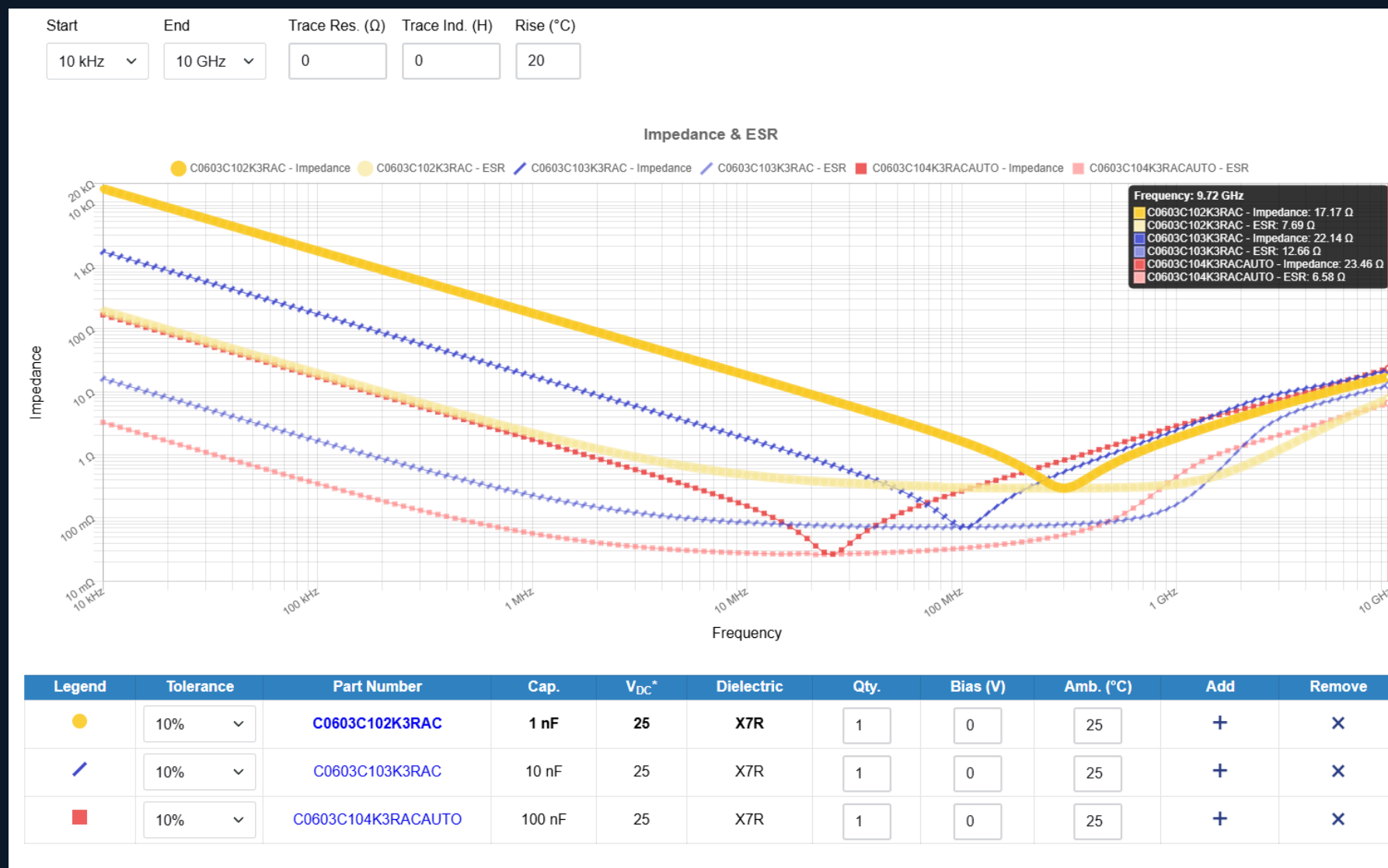
kondensator



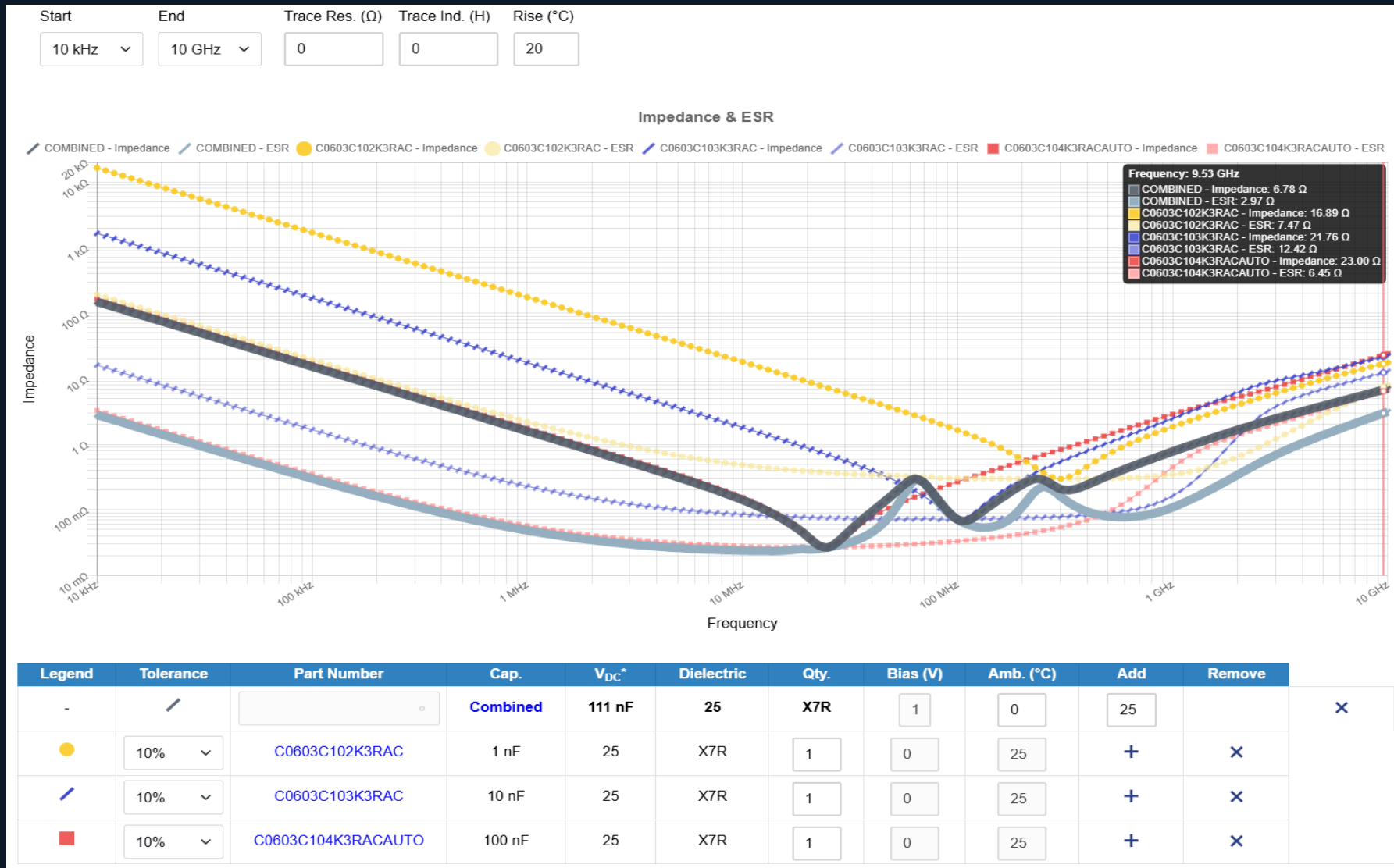
cewka (dławik)



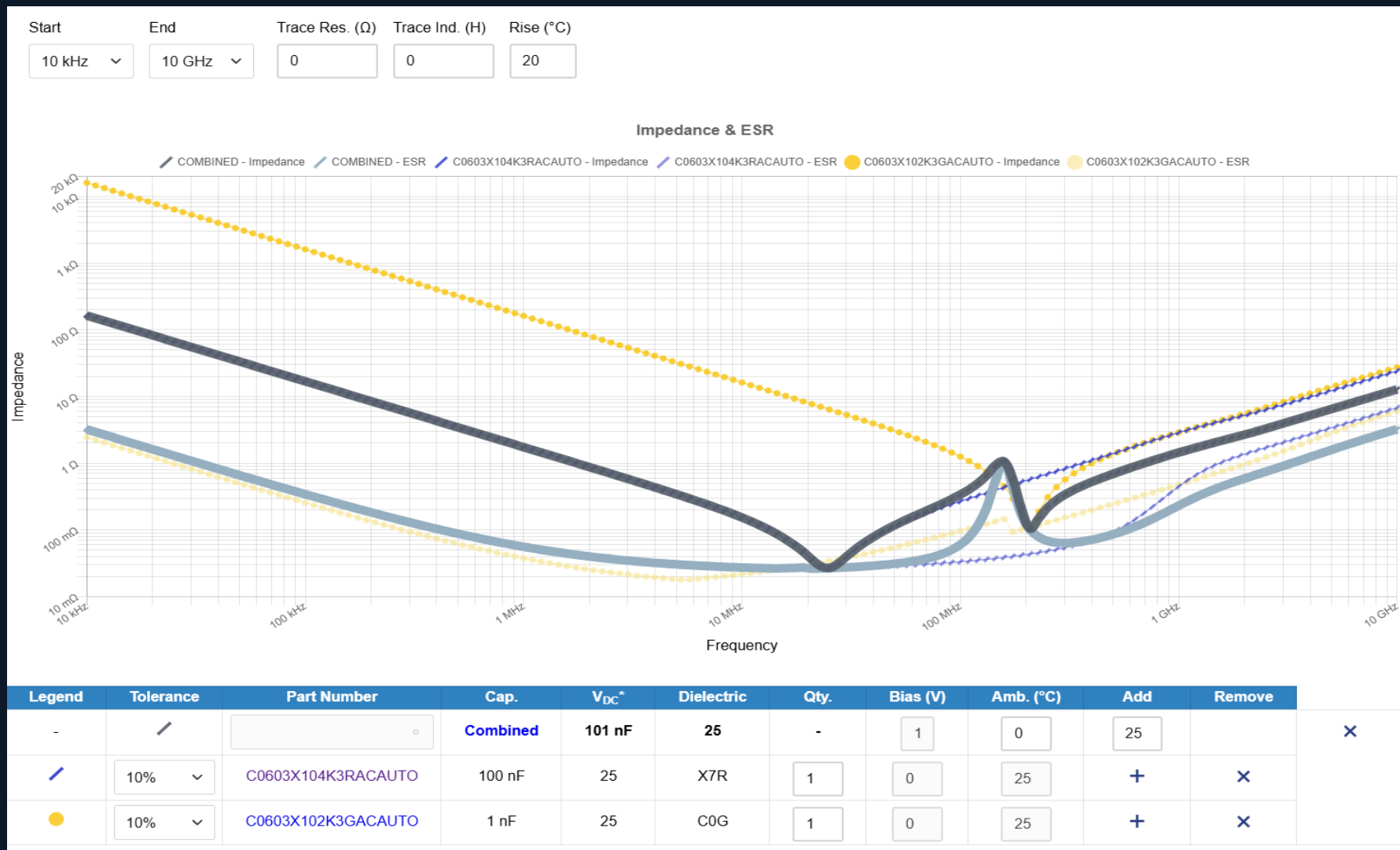
Layout - elementy rzeczywiste



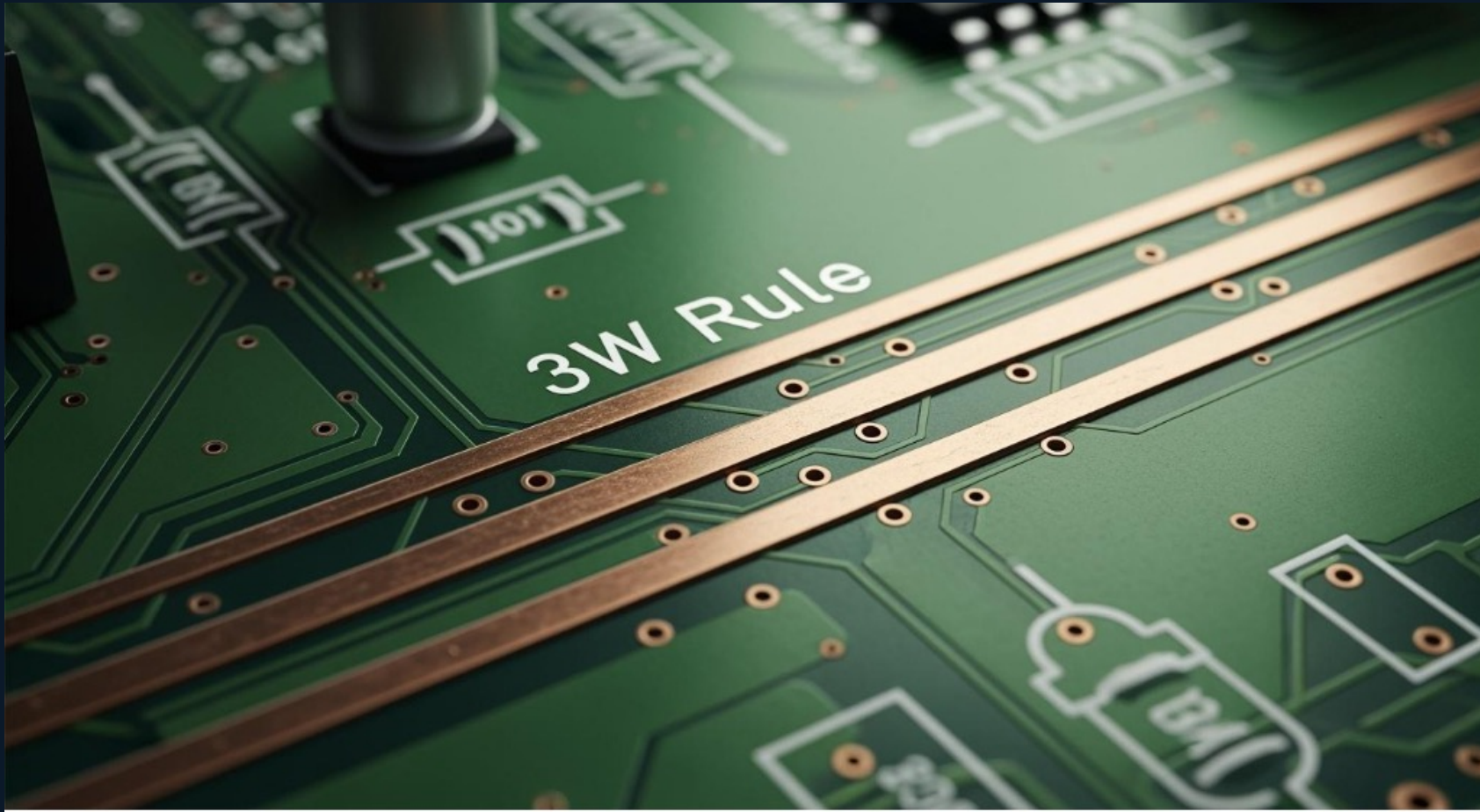
Layout - elementy rzeczywiste



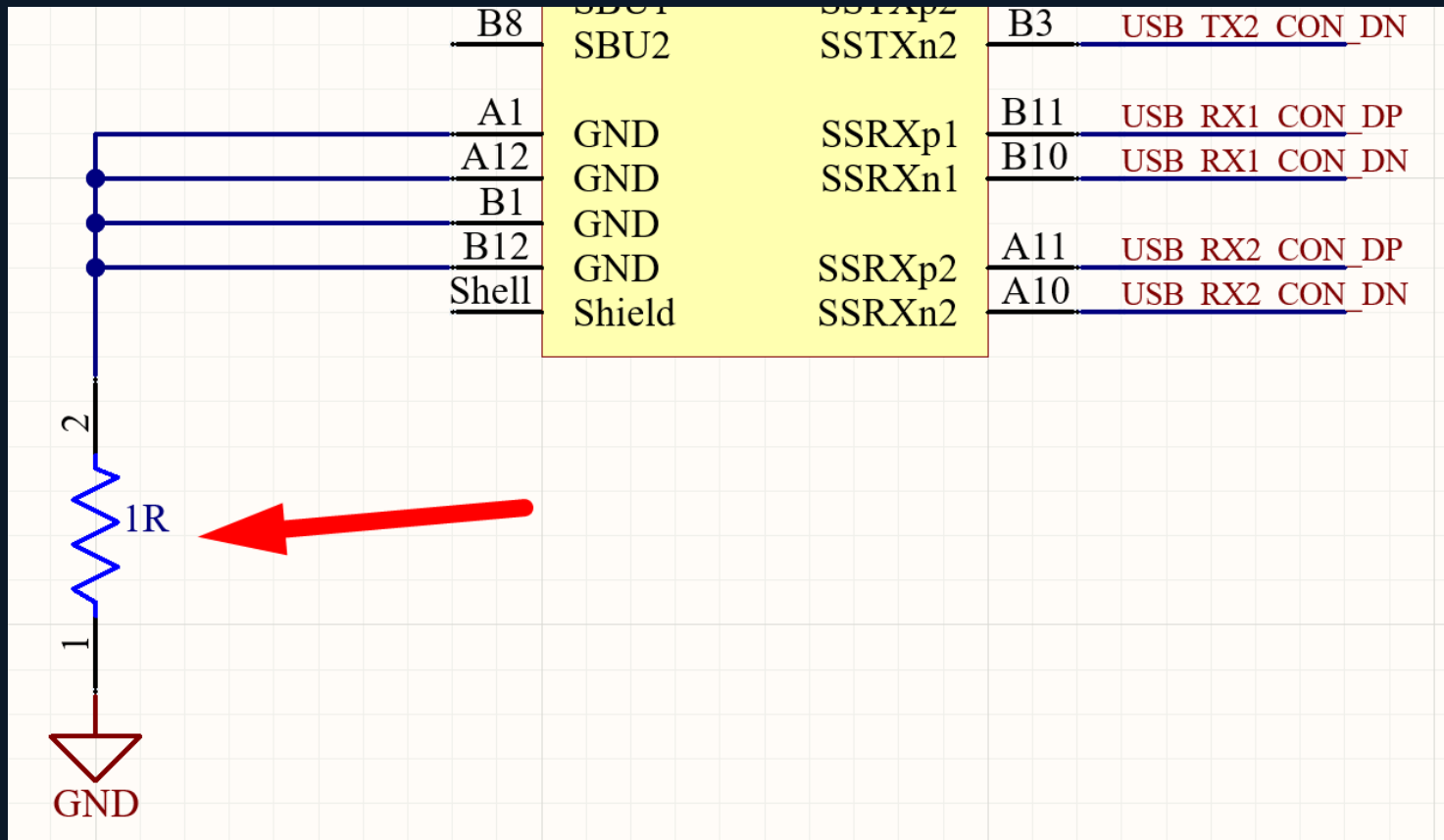
Layout - elementy rzeczywiste



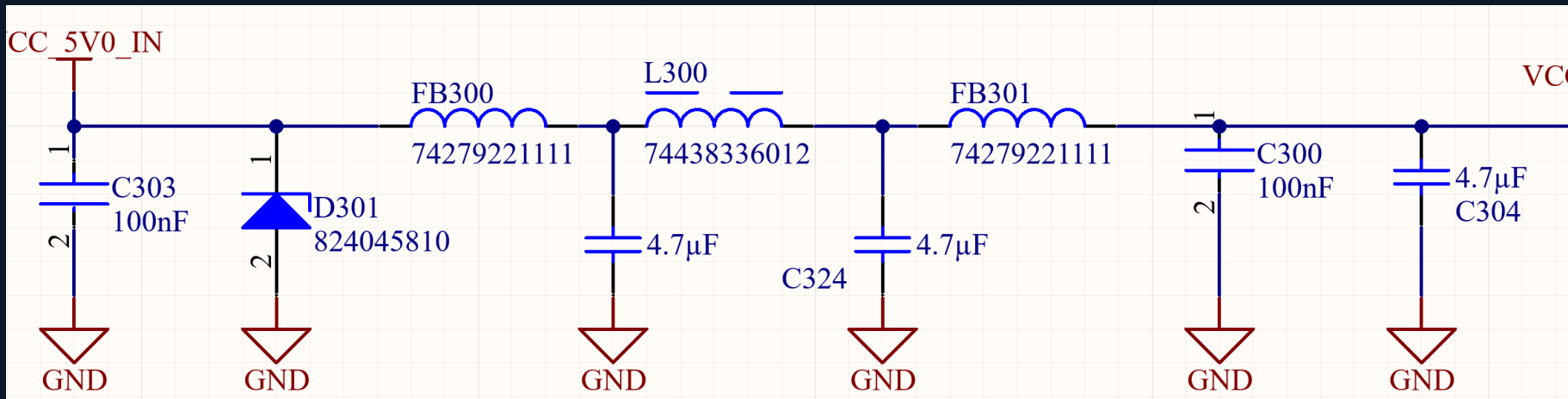
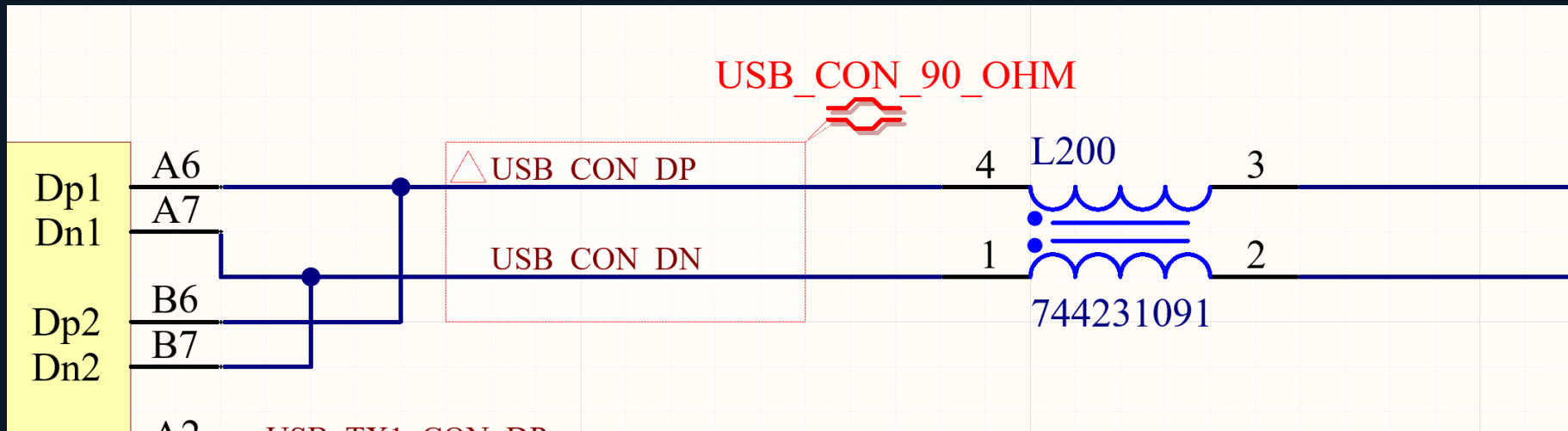
Ekranowanie - reguła 3W



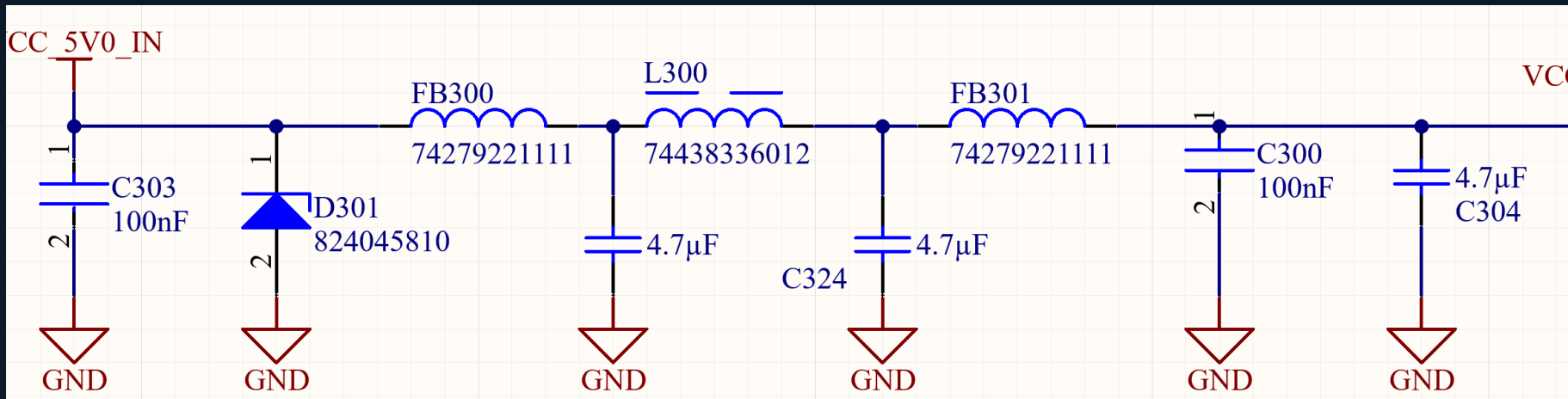
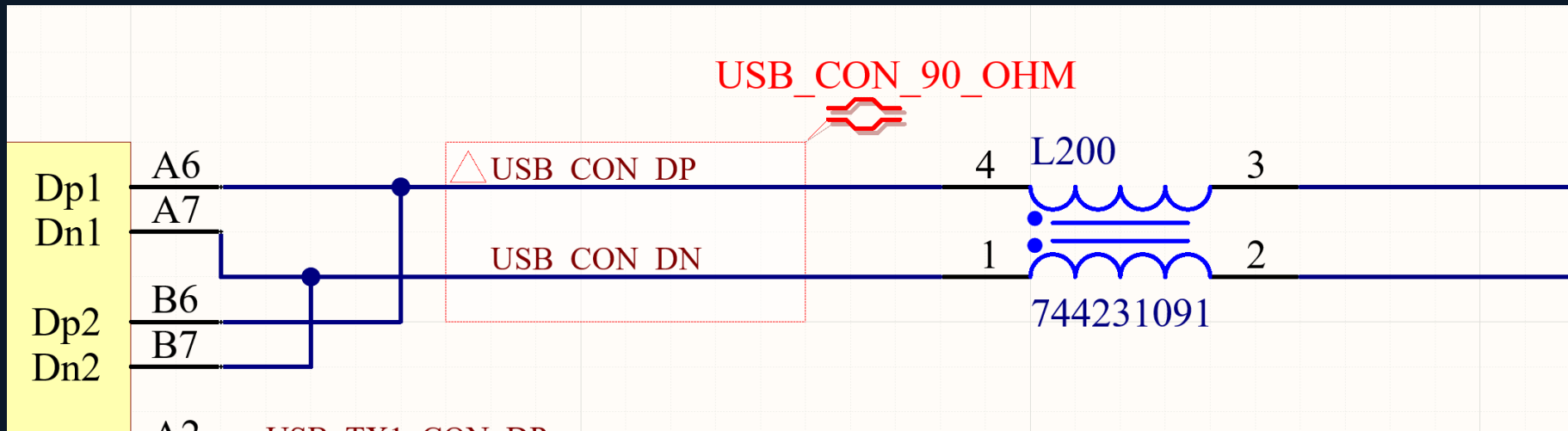
Filtrowanie



Filtrowanie



Filtrowanie





SENSORY
DIAGNOSTICS

Dziękuję za uwagę

Q & A