

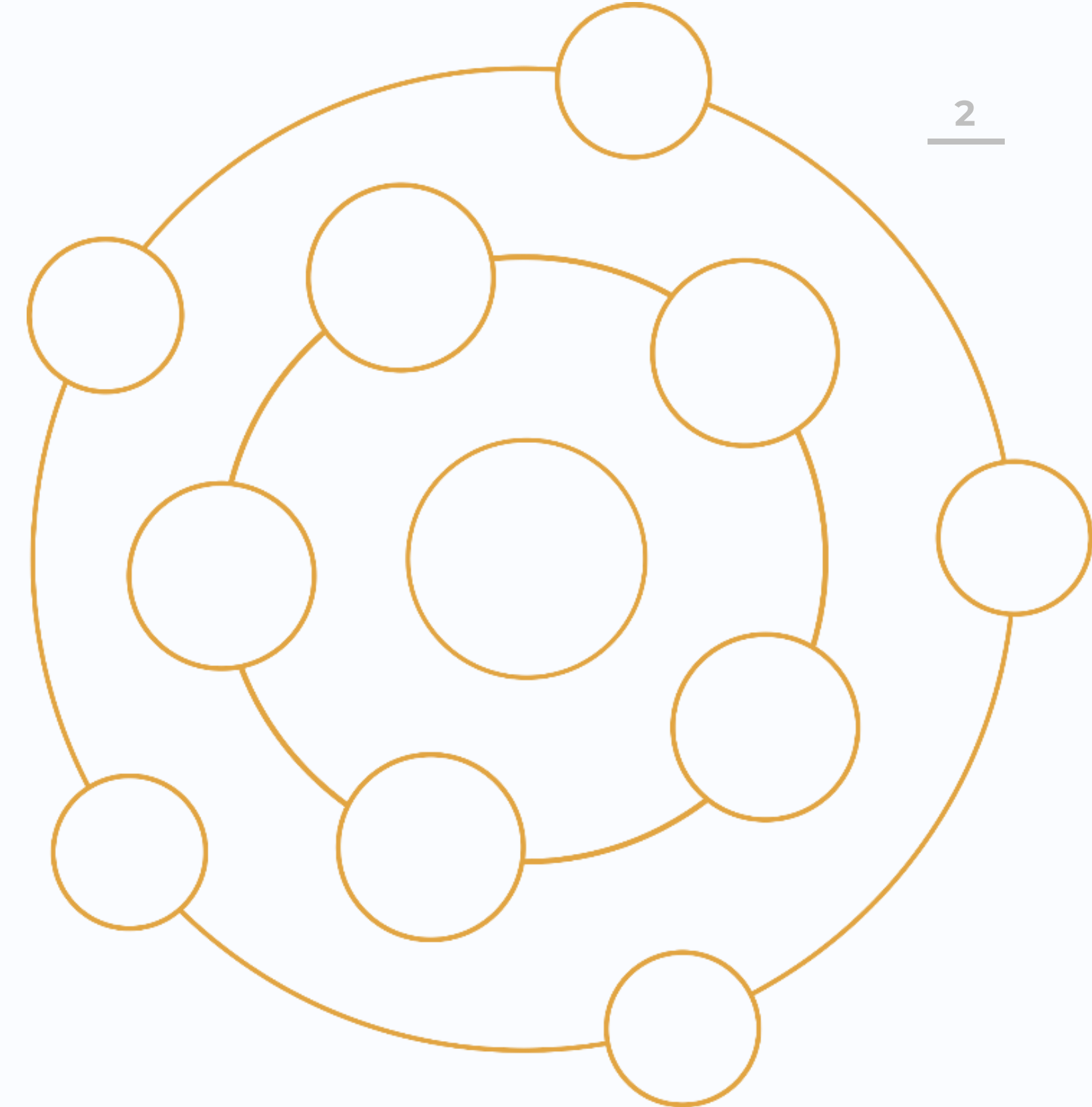
Hardware Design Masterclasses - Wrocław 2023

Metody pomiarowe w paśmie
Ka – weryfikacja układów
mikrofalowych
zaimplementowanych na PCB.

13.11.2023 Adrian Wroński
RF Engineer

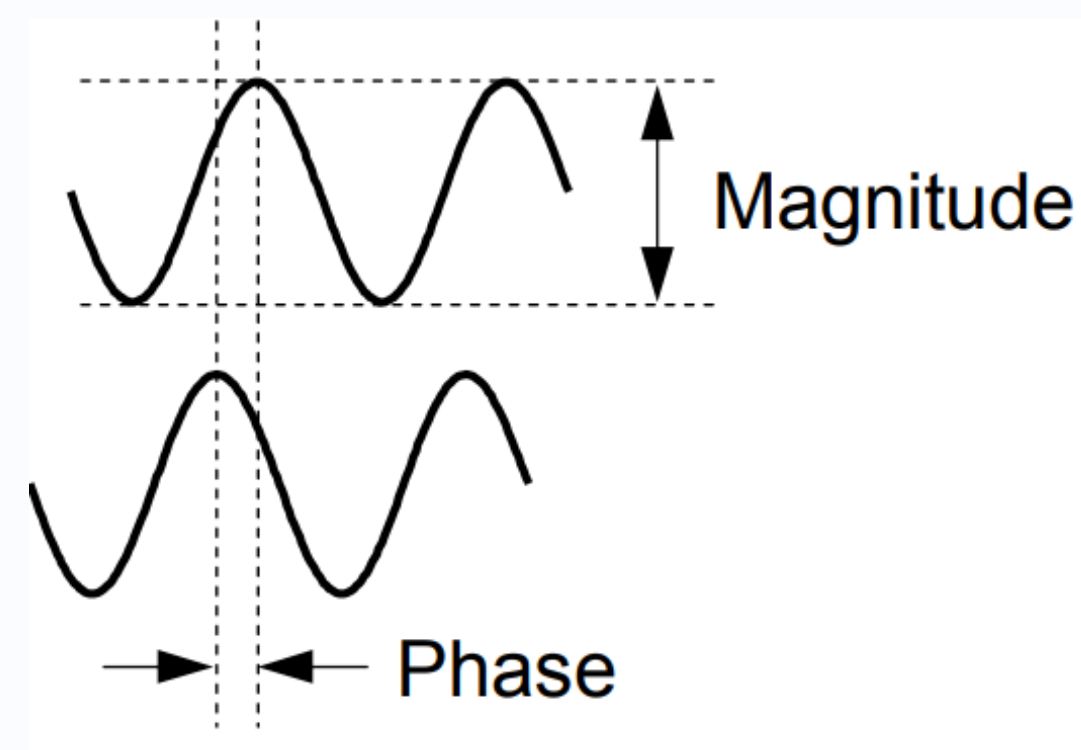
Agenda

- Wprowadzenie w zagadnienie precyzyjnych pomiarów;
- Przykładowe metody pomiarowe dla planarnych układów;
- Wyniki pomiarów wykonanych w laboratorium Thorium Space Technology.



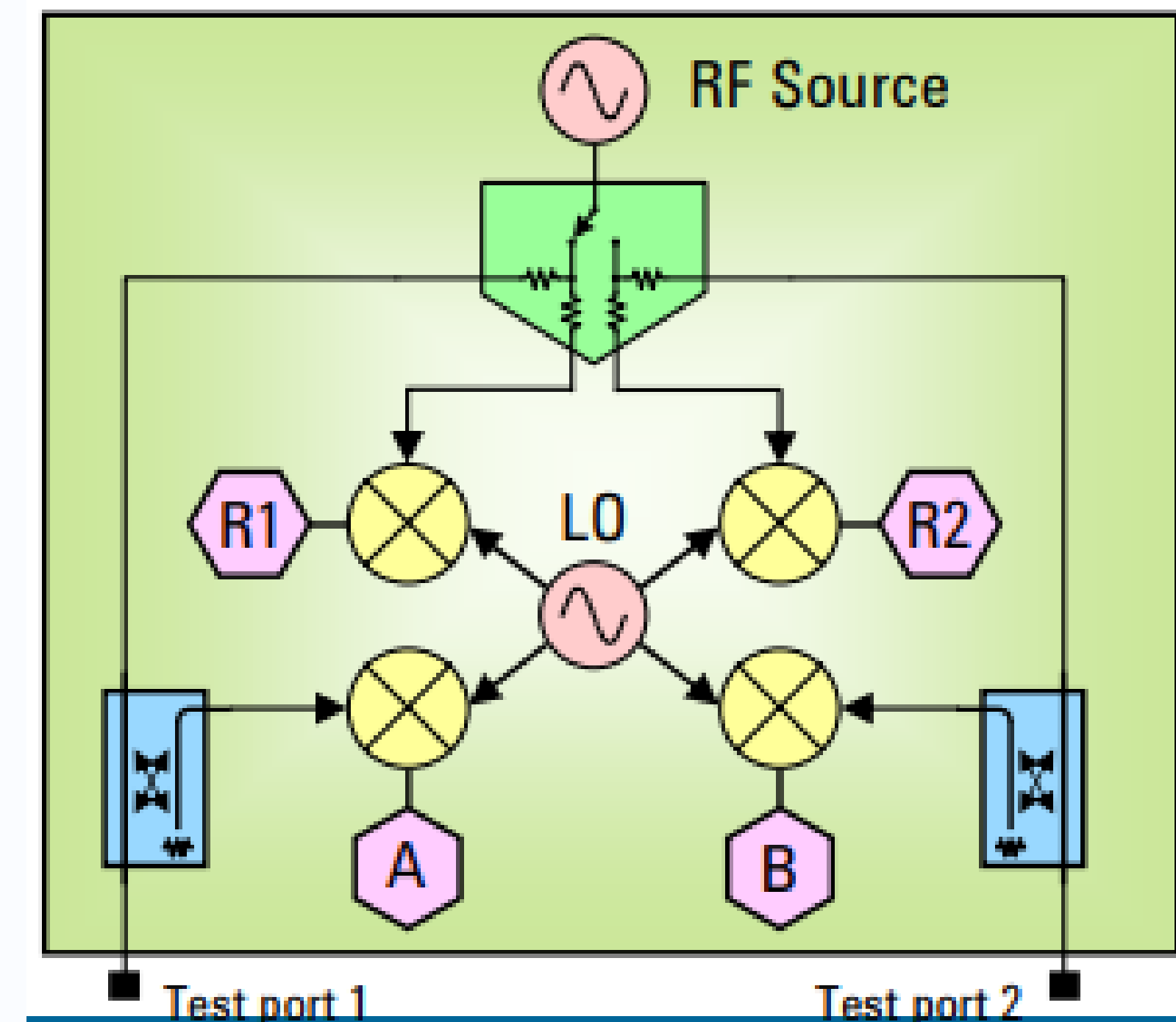
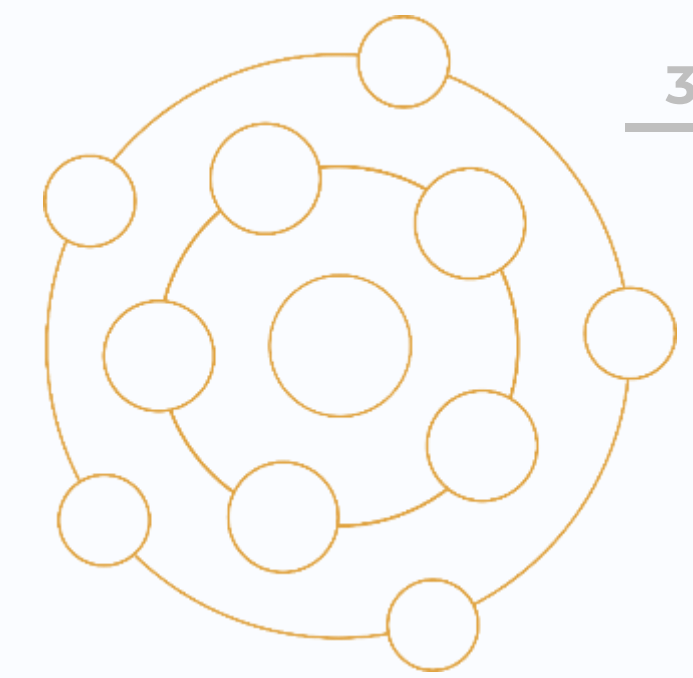
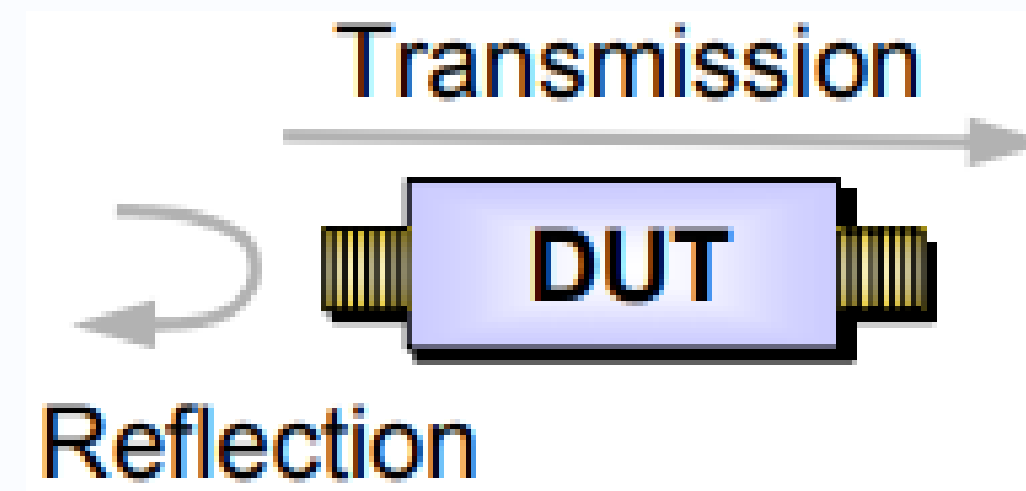
Co to jest VNA (Vector Network Analyzer)

- Urządzenie badające reakcję na pobudzenie w zadanym paśmie (od kHz do 110GHz i wyżej);
- Charakteryzuje fale padającą i odbitą (S-parameters) urządzeń RF;



- Mierzy amplitudę i fazę;

- Zapewnia najwyższy poziom dokładności pomiaru ($\pm 2^\circ$, $\pm 0.2\text{dB}$, dynamika nawet 140dB).



Measurement accuracy of the R&S®ZNB43

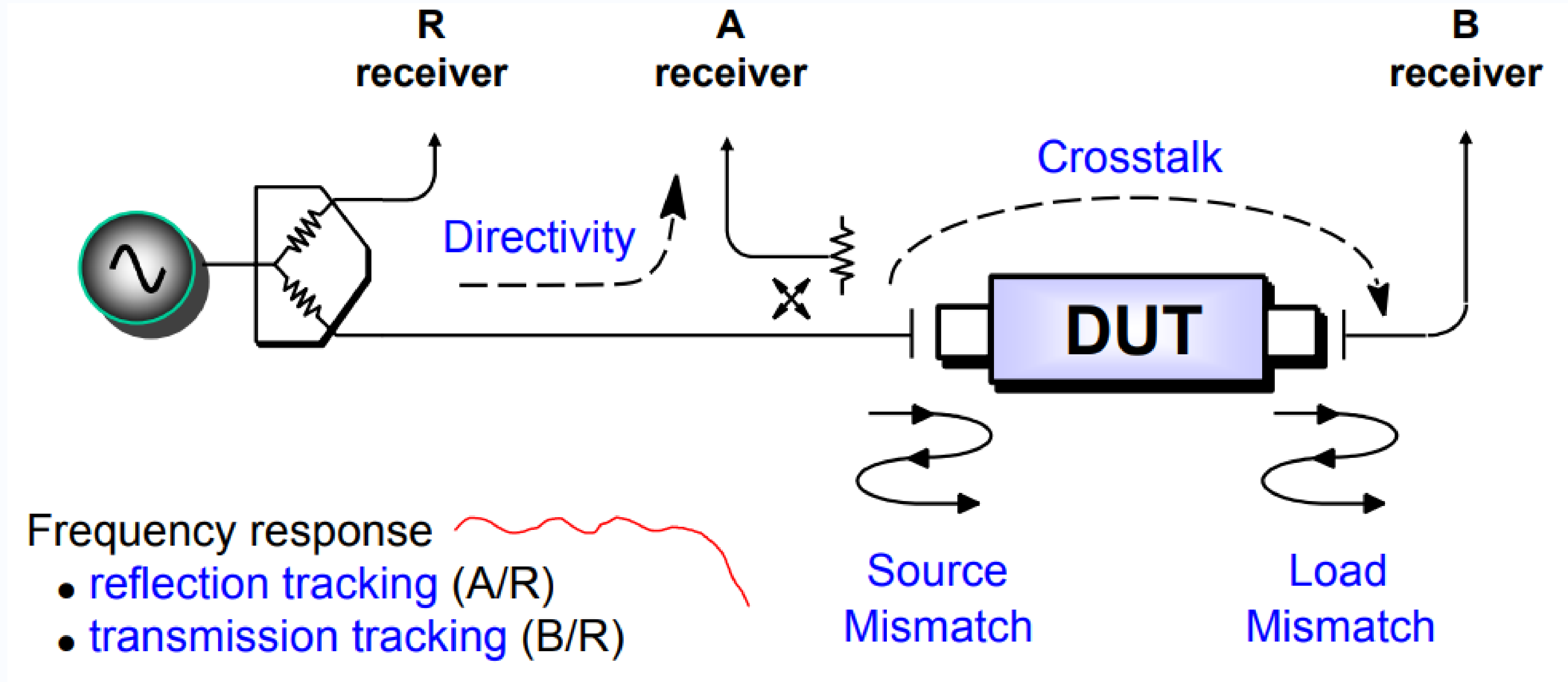
This data is valid between +18 °C and +28 °C, provided the temperature has not varied by more than 1 °C since calibration. Validity of the data is conditional on the use of an R&S®ZN-Z229 or R&S®ZN-Z224 calibration kit. This calibration kit is used to achieve the effective system data specified below. Frequency points, measurement bandwidth and sweep time have to be identical for measurement and calibration (no interpolation allowed).

Uncertainty of transmission measurements		Magnitude	Phase
R&S®ZNB43			
100 kHz to 1 MHz	0 dB to -20 dB	0.04 dB	0.4°
	-20 dB to -40 dB	0.05 dB	0.4°
	-40 dB to -50 dB	0.08 dB	0.6°
	-50 dB to -60 dB	0.22 dB	1.5°
> 1 MHz to 10 GHz	0 dB to -20 dB	0.04 dB	0.4°
	-20 dB to -40 dB	0.04 dB	0.4°
	-40 dB to -50 dB	0.06 dB	0.5°
	-50 dB to -60 dB	0.13 dB	0.9°
> 10 GHz to 30 GHz	0 dB to -20 dB	0.05 dB	0.4°
	-20 dB to -40 dB	0.05 dB	0.5°
	-40 dB to -50 dB	0.07 dB	0.6°
	-50 dB to -60 dB	0.18 dB	1.2°
> 30 GHz to 40 GHz	0 dB to -20 dB	0.06 dB	0.5°
	-20 dB to -40 dB	0.08 dB	0.6°
	-40 dB to -50 dB	0.18 dB	1.3°
	-50 dB to -60 dB	0.54 dB	3.7°
R&S®ZNB43, 2.4 mm interface			
> 40 GHz to 43.5 GHz	0 dB to -20 dB	0.06 dB	0.5°
	-20 dB to -40 dB	0.14 dB	1.0°
	-40 dB to -50 dB	0.39 dB	2.6°
	-50 dB to -60 dB	1.19 dB	8.4°
R&S®ZNB43, 2.92 mm interface			
> 40 GHz to 43.5 GHz (measured)	0 dB to -20 dB	0.06 dB	0.5°
	-20 dB to -40 dB	0.14 dB	1.0°
	-40 dB to -50 dB	0.39 dB	2.6°
	-50 dB to -60 dB	1.19 dB	8.4°
Specifications are based on a matched DUT, a measurement bandwidth of 10 Hz and a nominal source power of -10 dBm.			

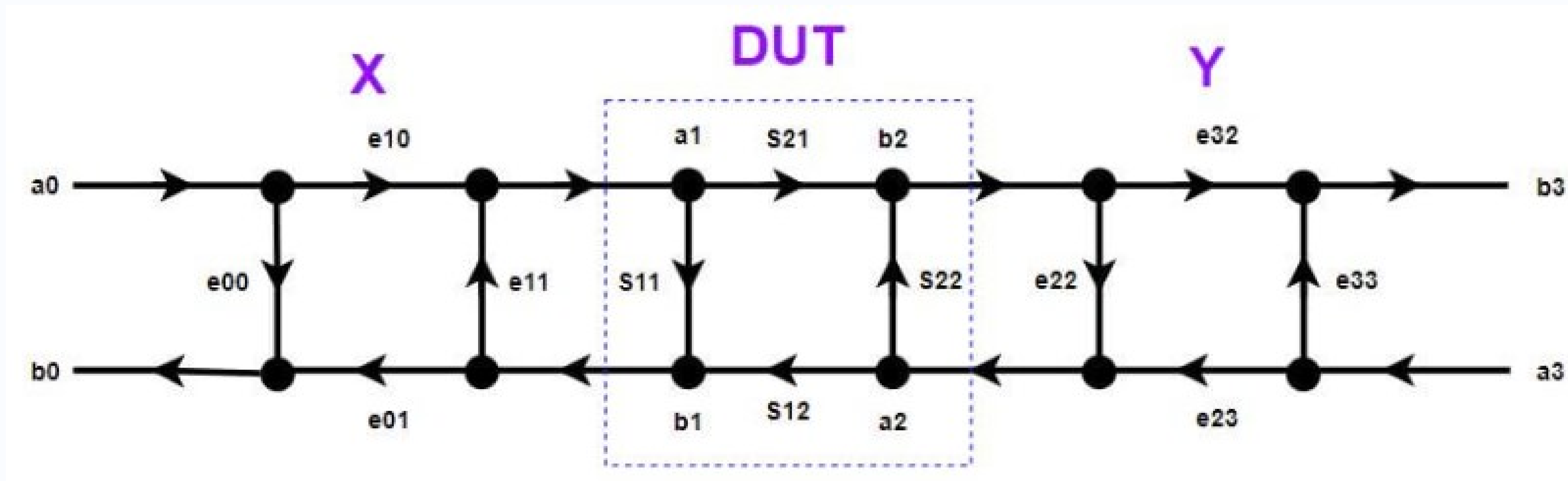
Uncertainty of reflection measurements R&S®ZNB43, 2.92 mm interface with ZN-Z229	Logarithmic			Linear	
	Reflection level	Magnitude	Phase	Reflection range	Magnitude
100 kHz to 10 GHz	0 dB	0.11 dB	0.7°	0 dB to -15 dB	0.013
	-15 dB	0.23 dB	1.9°	-15 dB to -25 dB	0.006
	-25 dB	0.91 dB	6.1°	-25 dB to -35 dB	0.006
> 10 GHz to 20 GHz	0 dB	0.13 dB	0.9°	0 dB to -15 dB	0.015
	-15 dB	0.44 dB	2.9°	-15 dB to -25 dB	0.009
	-25 dB	1.40 dB	9.2°	-25 dB to -35 dB	0.009
> 20 GHz to 26.5 GHz	0 dB	0.20 dB	1.3°	0 dB to -15 dB	0.023
	-15 dB	0.69 dB	4.5°	-15 dB to -25 dB	0.014
	-25 dB	2.21 dB	14.3°	-25 dB to -35 dB	0.014
> 26.5 GHz to 40 GHz	0 dB	0.20 dB	1.3°	0 dB to -15 dB	0.023
	-15 dB	0.69 dB	4.5°	-15 dB to -25 dB	0.014
	-25 dB	2.21 dB	14.3°	-25 dB to -35 dB	0.014
> 40 GHz to 43.5 GHz (measured)	0 dB	0.20 dB	1.3°	0 dB to -15 dB	0.023
	-15 dB	0.69 dB	4.5°	-15 dB to -25 dB	0.014
	-25 dB	2.21 dB	14.3°	-25 dB to -35 dB	0.014

Specifications are based on an isolating DUT, a measurement bandwidth of 10 Hz and a nominal source power of -10 dBm.

Najważniejsze błędy systematyczne



Błędy systematyczne, uproszczone (bez crosstalk)



Kalibracja

Korekta błędów wektorowych (faza i amplituda) :

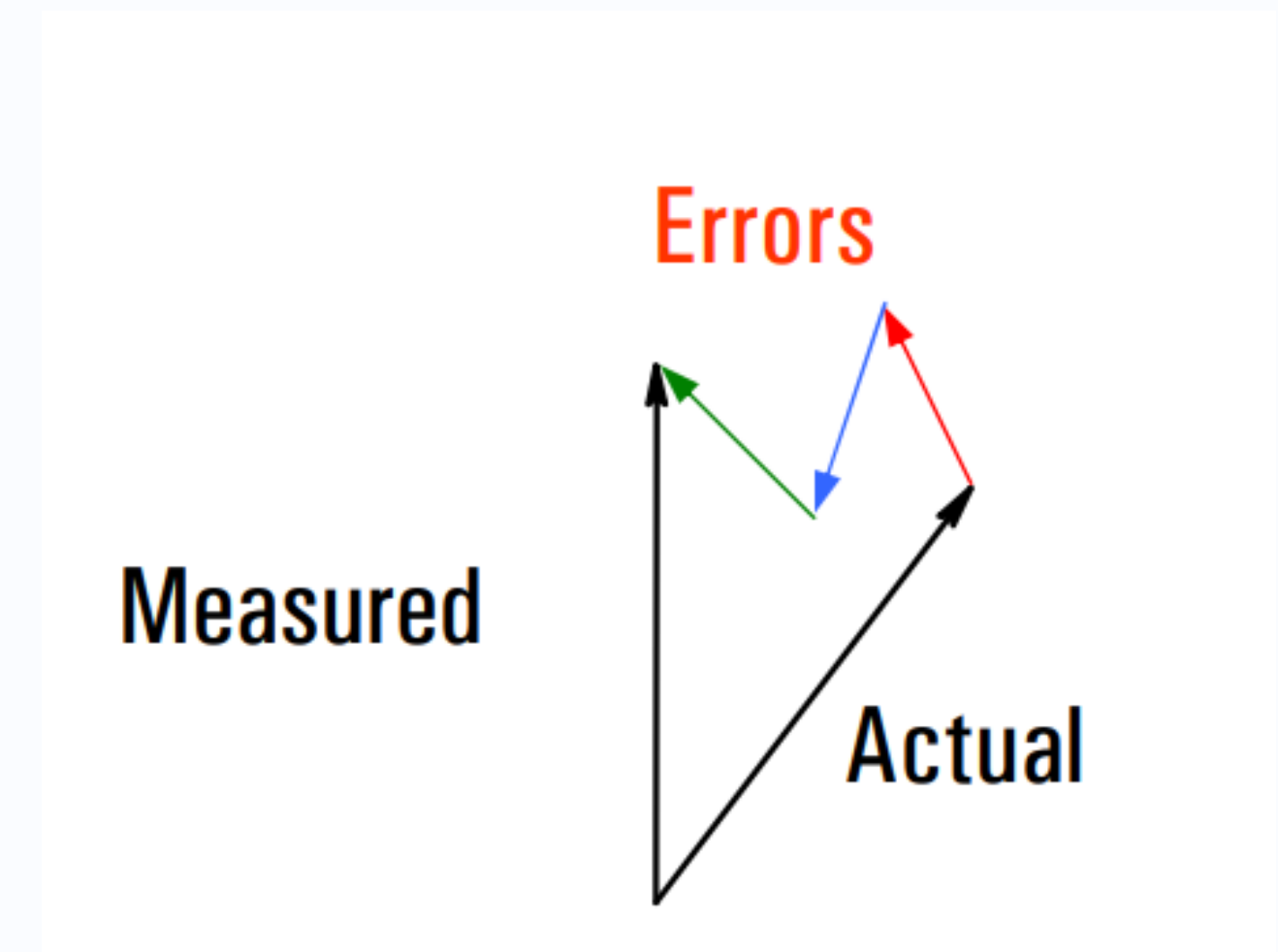
- Są to systematyczne błędy systemu pomiarowego;

Dlaczego musimy przeprowadzać kalibracje?:

- Nie możliwe jest wykonanie doskonałego hardwar-u;
- Ekstremalnie drogo wykonać system wystarczająco dobry, żeby wyeliminować potrzebę kalibracji.

Co robi kalibracja?:

- Usuwa największe błędy systemu, zwane błędami systematycznymi (błędy samego analizatora + kable);
- W efekcie daje nam najlepszy obraz parametrów DUT.



Kalibracja

Standardy kalibracyjne:

- Mogą być mechaniczne (dużo tańsze) lub elektryczne (dużo wygodniejsze i zapewniające większą precyzję);
- Najczęściej kalibracja jest dokonywana za pomocą idealnego zwarcia, rozwarcia, obciążenia i przejścia, ale mogą być zastosowane dowolne impedancje (ale znane - tak jest w eCal)).



Kalibracja – SOLT (Short, Open, Load, Thru)

Dwa najczęstsze typy kalibracji to SOLT i TRL (Thru, Reflect, Line):

- Oba usuwają systematyczne błędy.

SOLT:

- Wersja podstawowa to zwarcie, rozwarcie, obciążenie i znane przejście;
- Zawansowane wersje stosują wielokrotne zwarcia i obciążenia, nieznane przejścia i dowolne impedancje (Ecal);

Zalety SOLT:

- Łatwe do przeprowadzenia;
- Odpowiednie do zróżnicowanych warunków (linia koncentryczna, PCB fixture, falowód);
- Zapewnia szerokopasmową kalibrację.



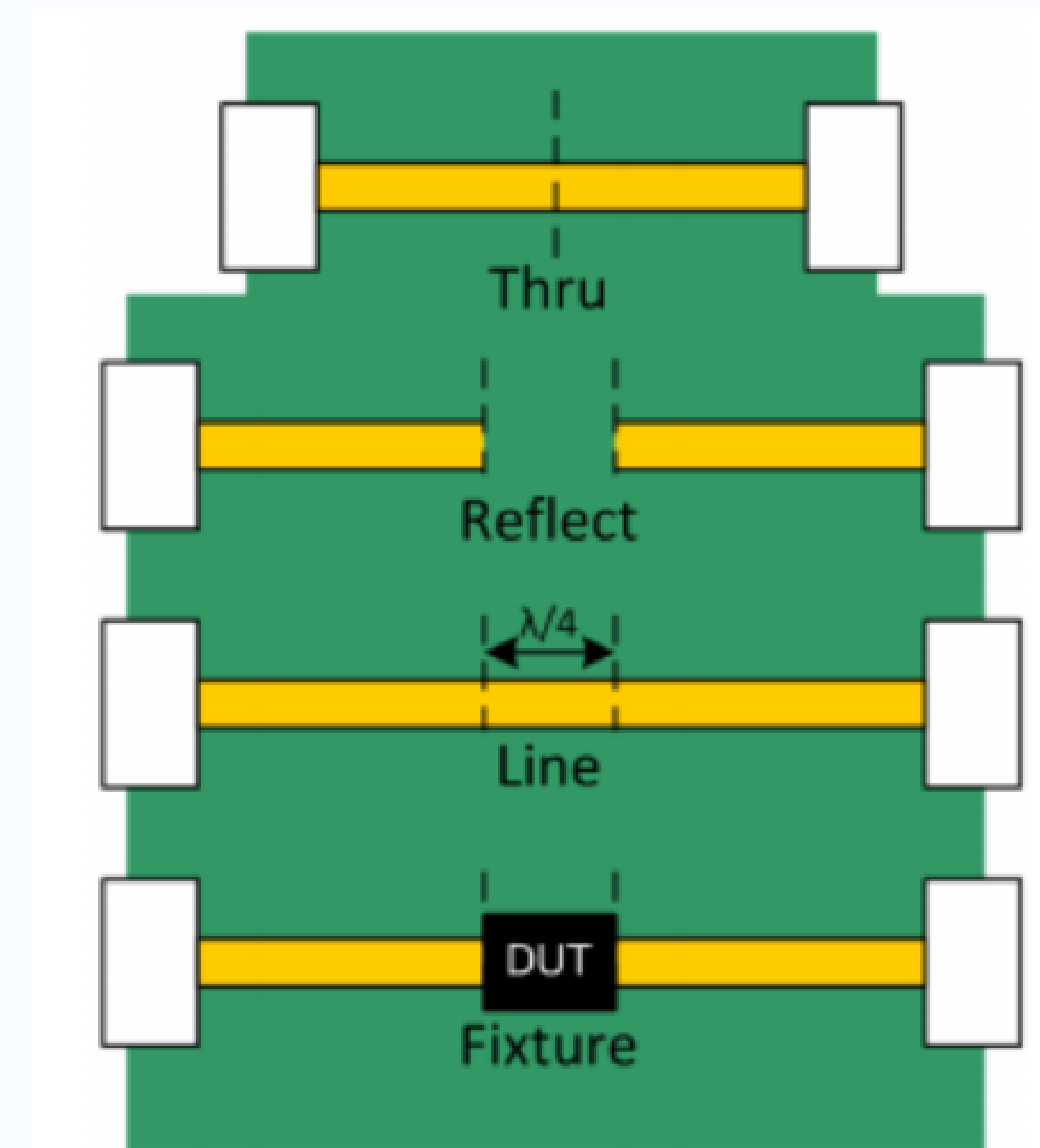
Kalibracja – TRL (Thru, reflect, line)

TRL:

- Kalibracja przeznaczona dla 2 lub więcej portów;
- Istnieją warianty tej techniki: TRM (Thru, Reflect, Match), TNA (Thru, Network, Attenuation), ale bazują na tej samej idei.

Zalety TRL:

- Idealna metoda dla zastosowań nie współosiowych jak PCB czy półprzewodniki na waflu”;
- Tanie do realizacji, wymaga tylko linii transmisyjnych i „dobrego” odbicia;
- Parametry odbicia nie muszą być znane ale współczynnik odbicia musi być różny od 0. Może to być zwarcie lub rozwarcie;
- **Nie wymaga idealnego dopasowania „Load”;**
- Potencjalnie najbardziej dokładna technika kalibracyjna stosowana w laboratoriach jako referencja (dokładność zależy od jakości wykonanych linii).



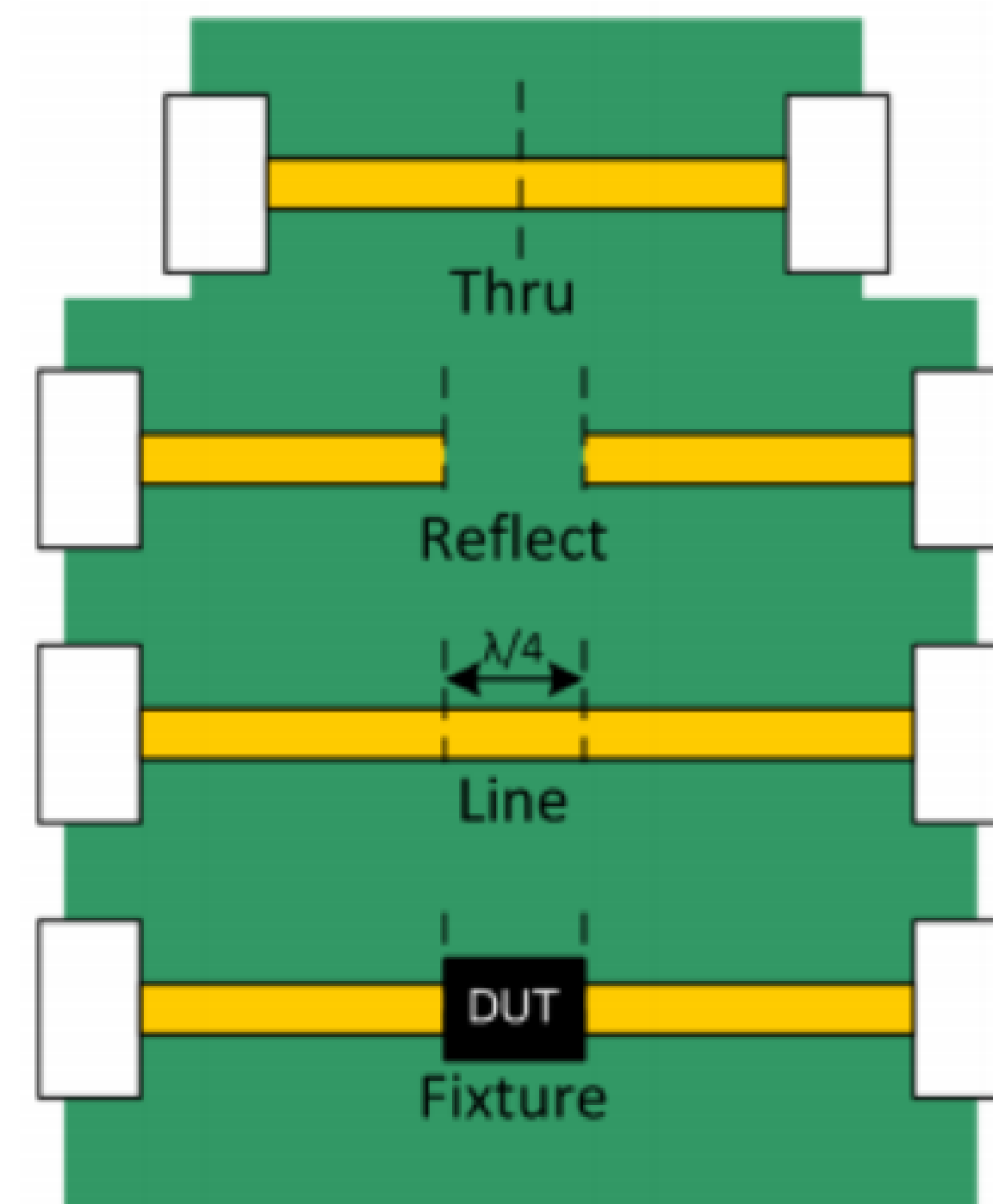
Kalibracja – TRL (Thru, reflect, line)

TRL:

Układ równań wykazuje osobliwości gdy różnica długości ΔL między przejściem a linią jest całkowitą wielokrotnością połowy fali:

$$\Delta L \neq n \frac{\lambda}{2}$$

To oznacza, że pasmo powinno się mieścić w zakresie 20° - 160° w odniesieniu do długości linii.

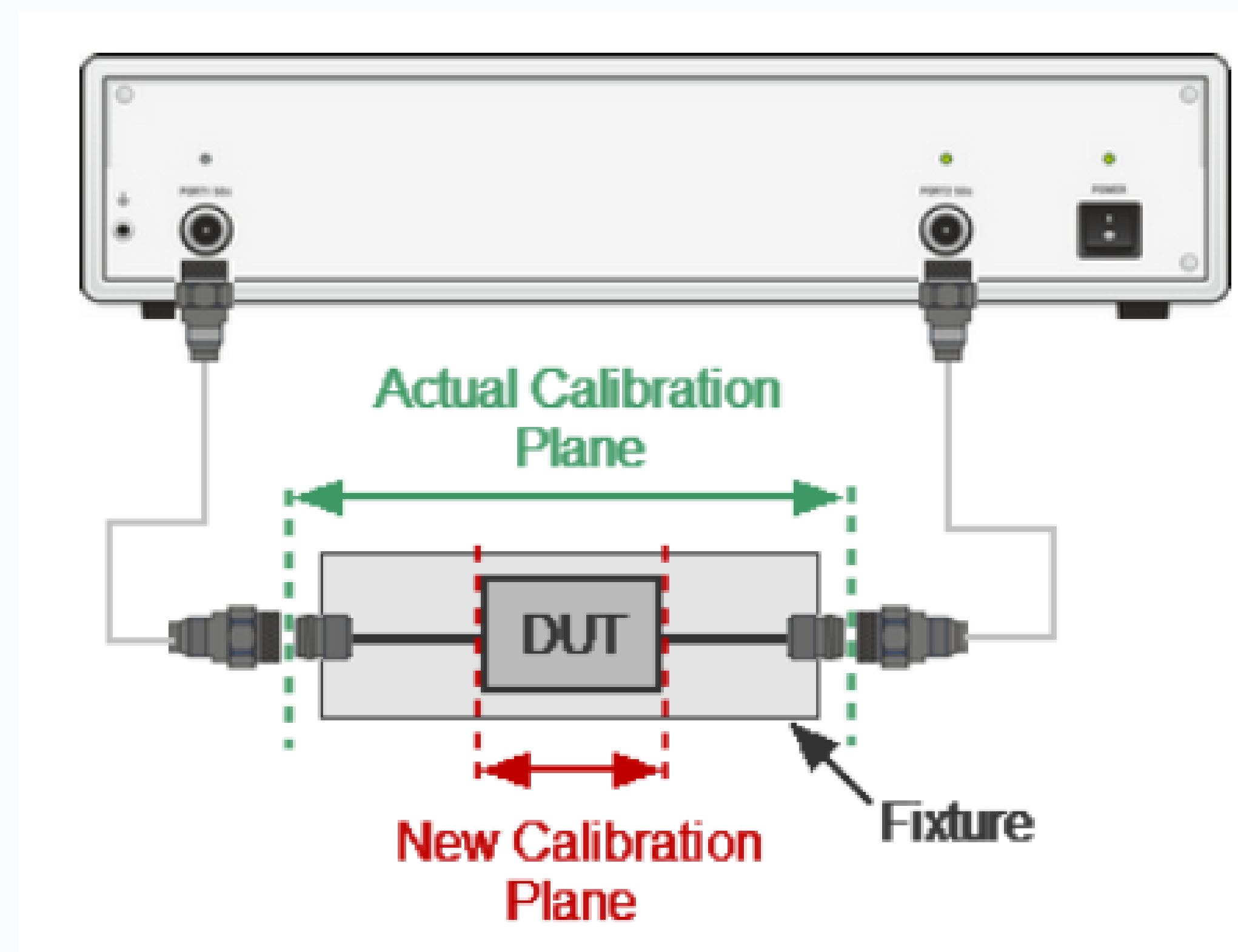


Port extension (port offset)

Zakładamy, że linie transmisyjne zachowują się jak idealne, w tym wypadku definiujemy jedynie:

- opóźnienie;
- straty.

Łatwa konfiguracja ale niska dokładność
(brak informacji na temat odbić czy sprzężeń).



Definicja standardów

View / Modify Cal Kit Standards

Open (m)
2.92 mm
2.92 mm Ideal Kit

Loss
0 GΩ/s

Z0
50 Ω

Delay
0 s

C
0 E-15 F + 0 E-27 F/Hz · f + 0 E-36 F/Hz² · f² + 0 E-45 F/Hz³ · f³

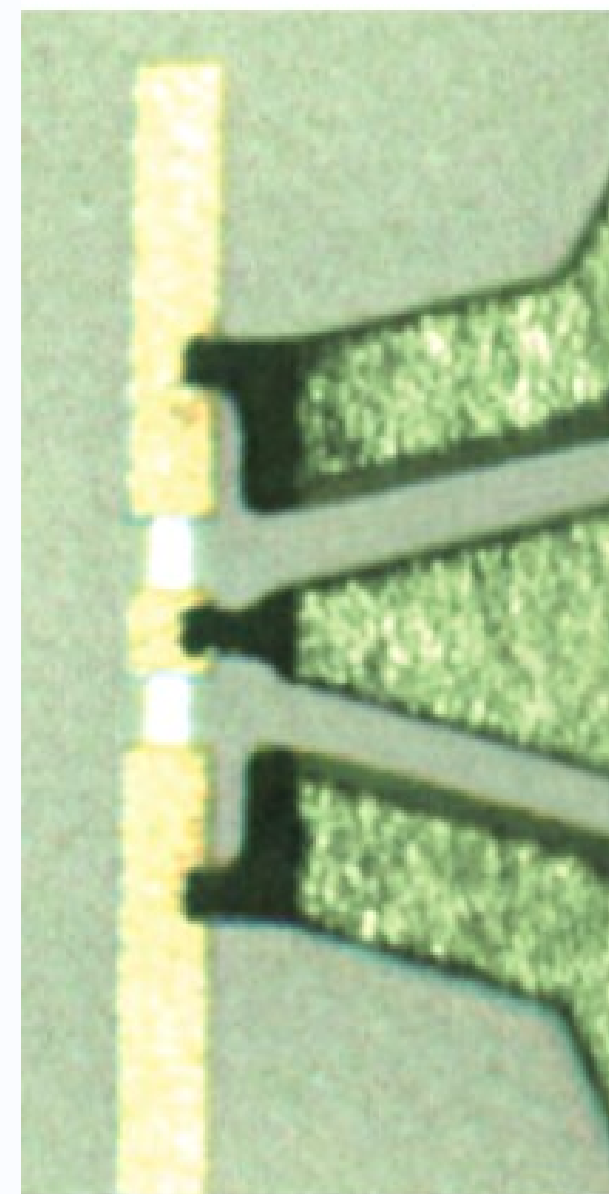
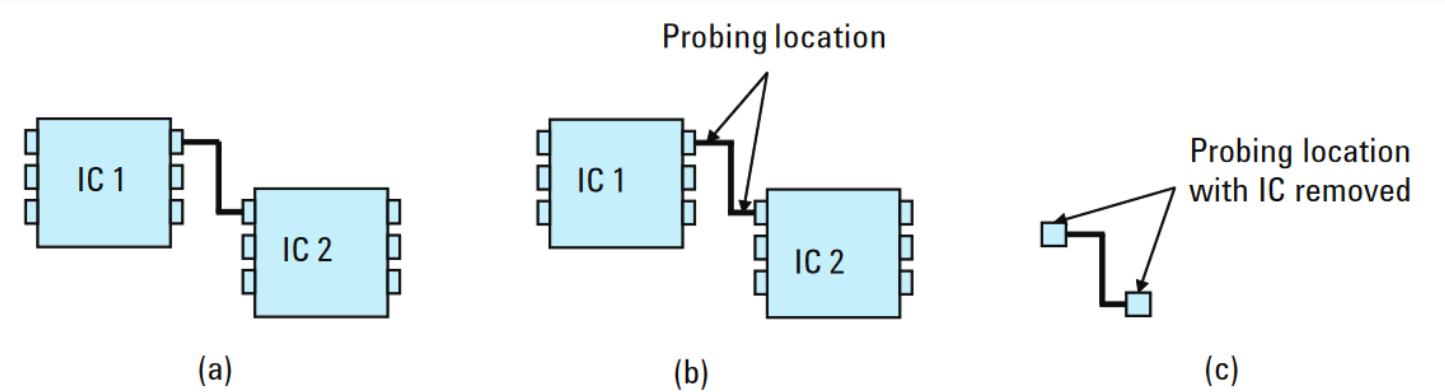
Open Short Match R

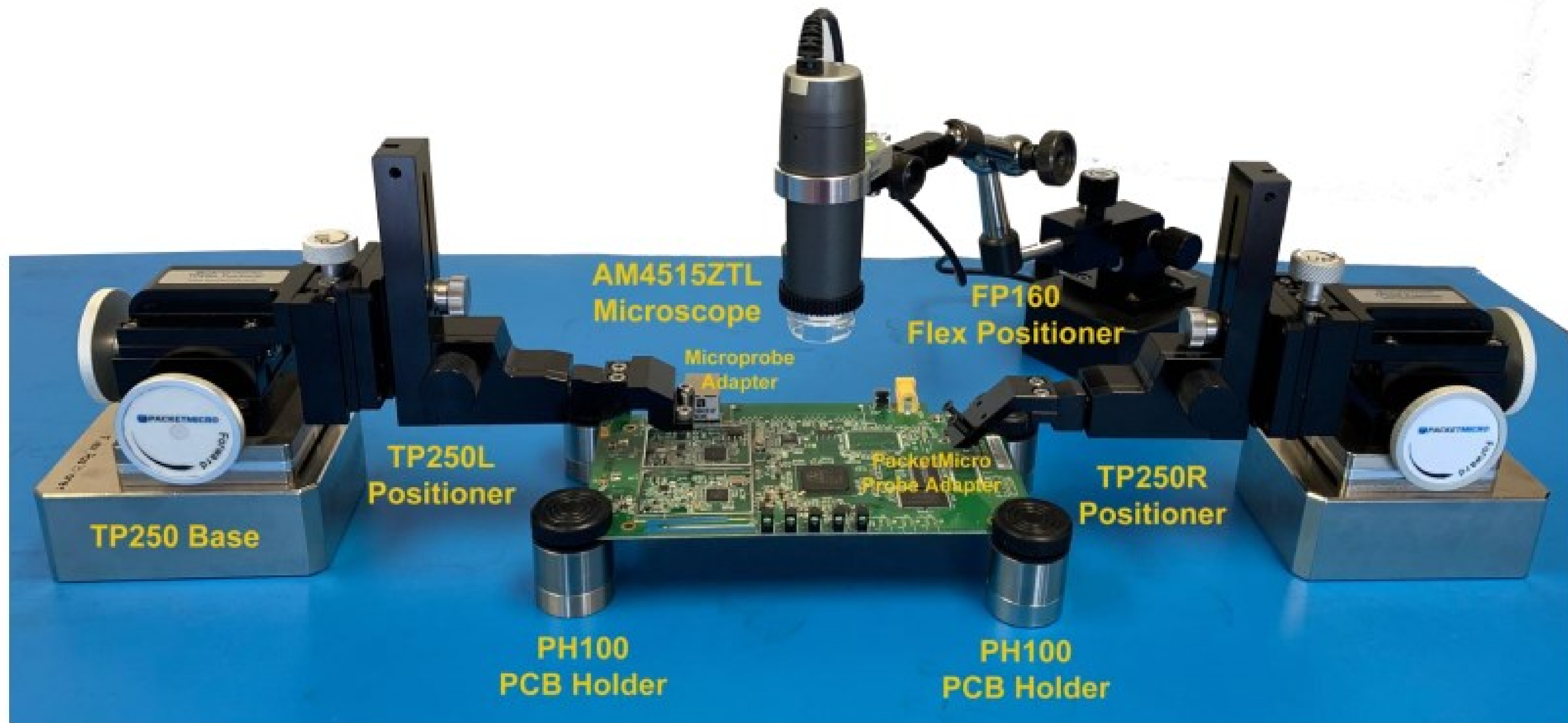
OK Cancel Help

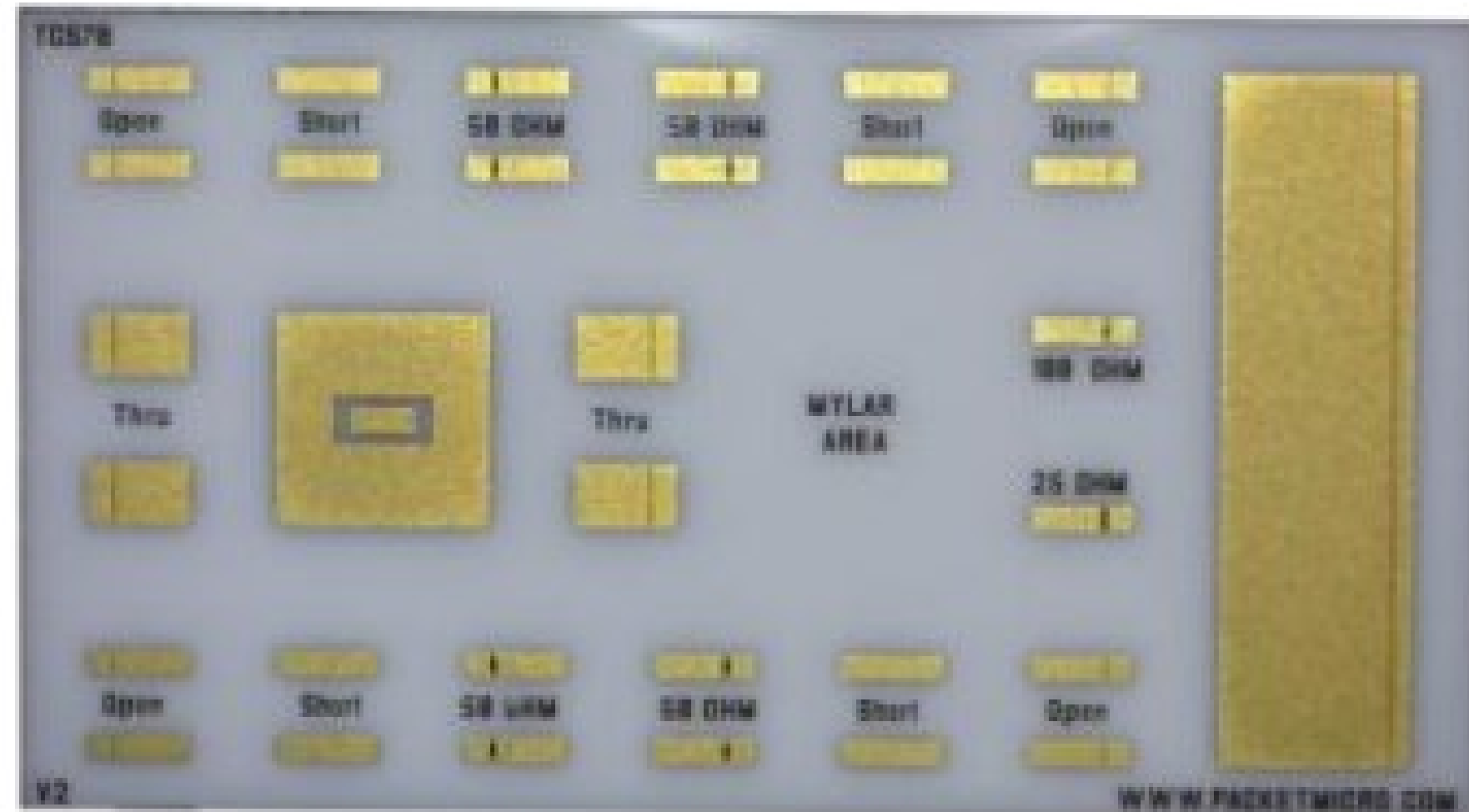
Pomiary PCB

Metody pomiarowe – jak się podłączyć i nie zaburzyć układu?:

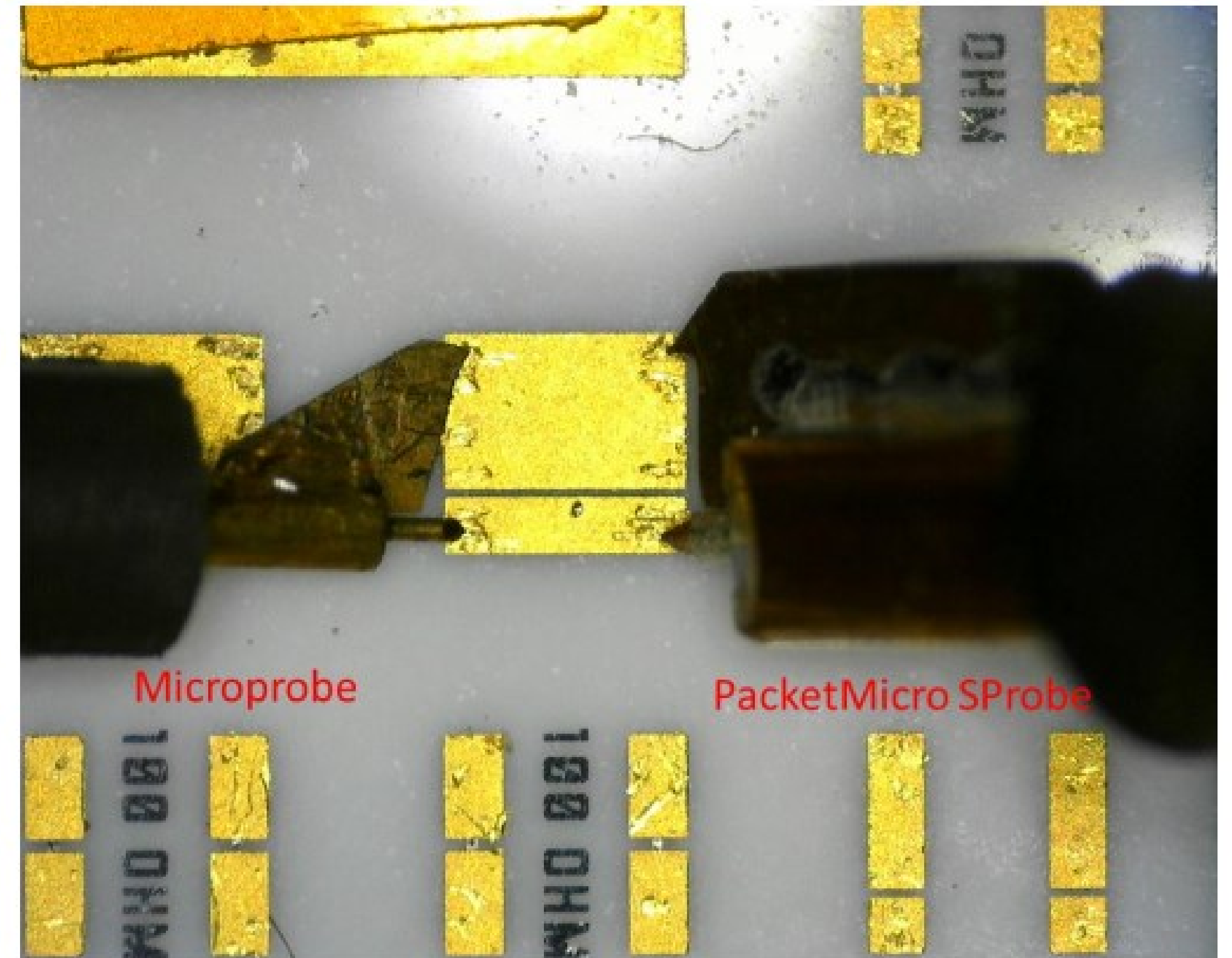
- Sondy GSG (rozstaw 25 μ m do 1250 μ m);
- Ucięty coax;
- Wyprowadzenie pod złącze;
- i inne np. sonda aktywna.



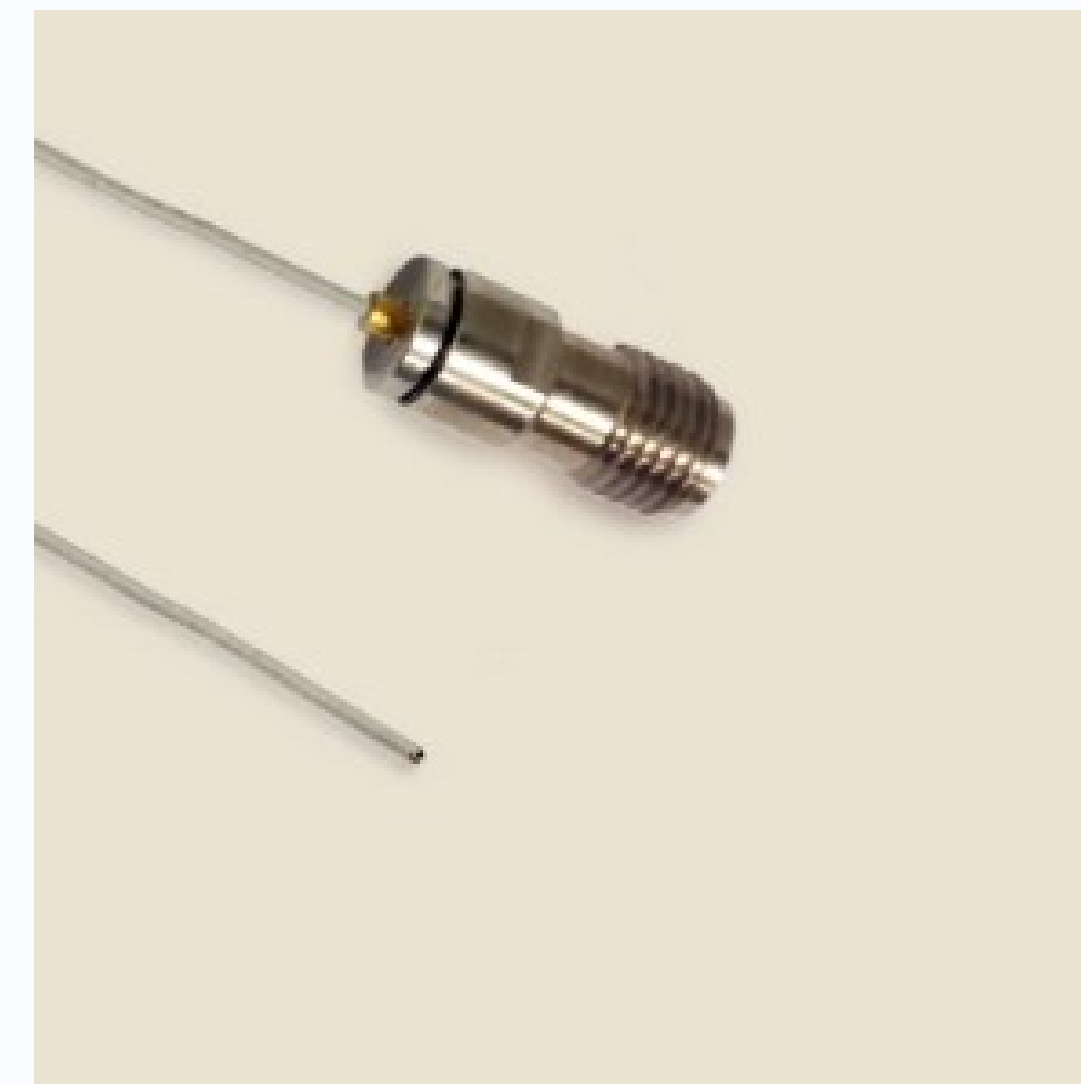




TCS70 Cal Substrate
(0.7" x 0.4" x 0.025")



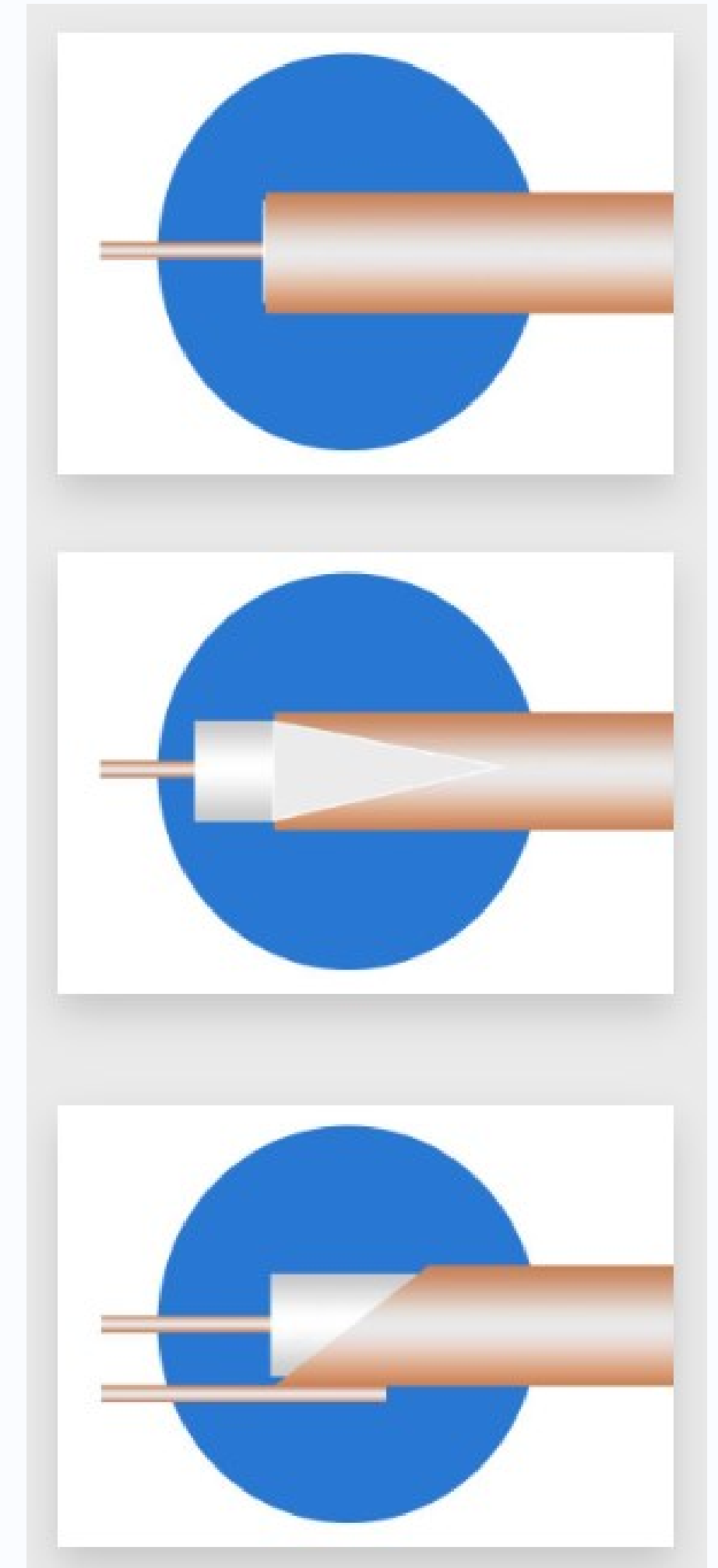
Ucięty coax - pigtail



Ucięty coax - pigtail

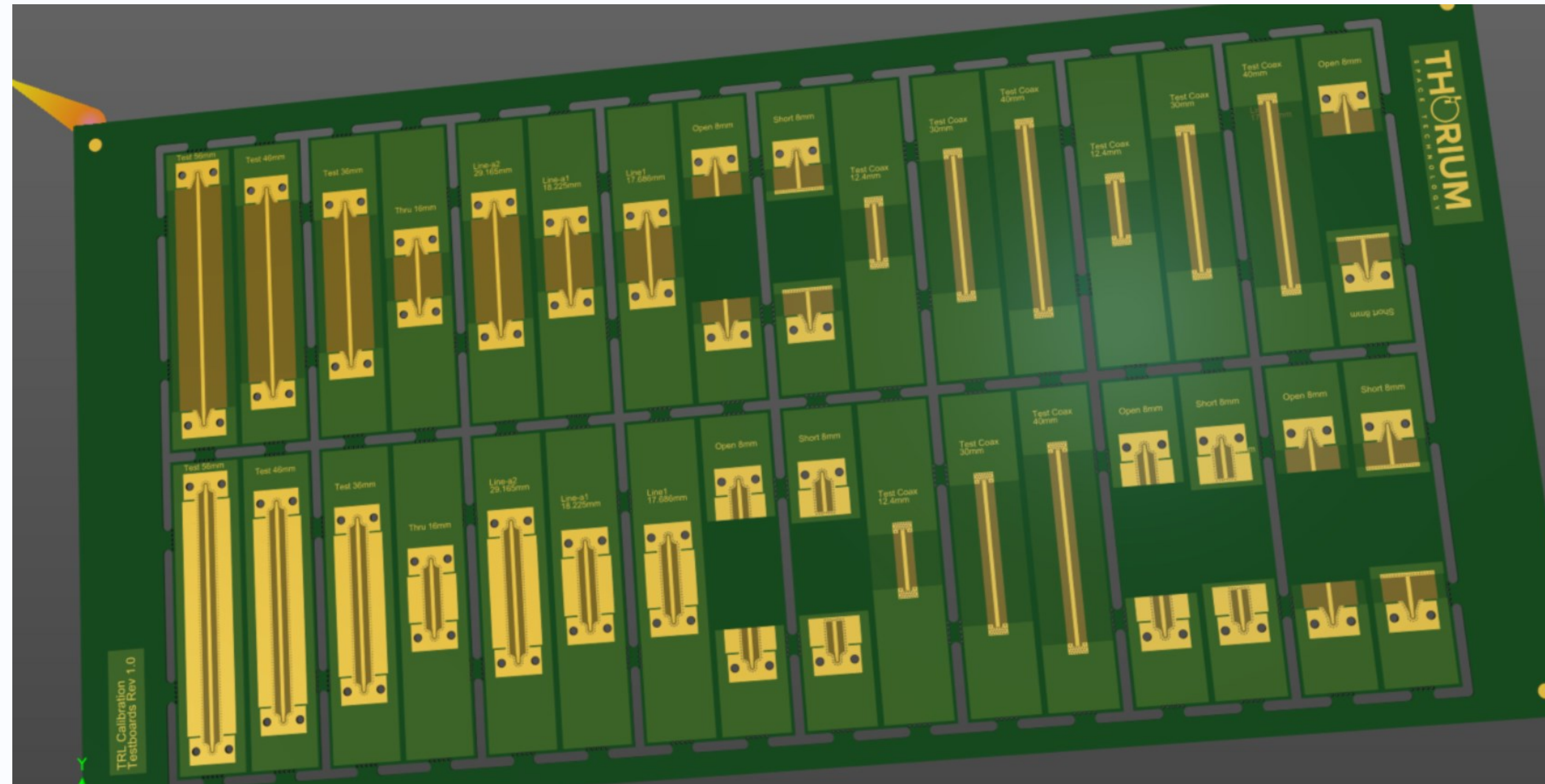
Pigtail Coax Options

Coax Diameter	Center Conductor Diameter, in.	Semi-Rigid	Conformable	Jacketed Conformable	Flexible
.020 (.51mm)	.004 (.10mm)	020SR			
.034 (.86mm)	.008 (.20mm)	034SR	034CC		
.047 (1.19mm)	.011 (.28mm)	047SR	047CC	047CJ	SS047
.086 (2.18mm)	.020 (.51mm)	085SR	085CC	085CJ	SS085
.141 (3.58mm)	.064 (1.63mm)	141SR	141CC	141CJ	SS141
.250 (6.35mm)	.064 (1.63mm)	250SR	250CC	250CJ	



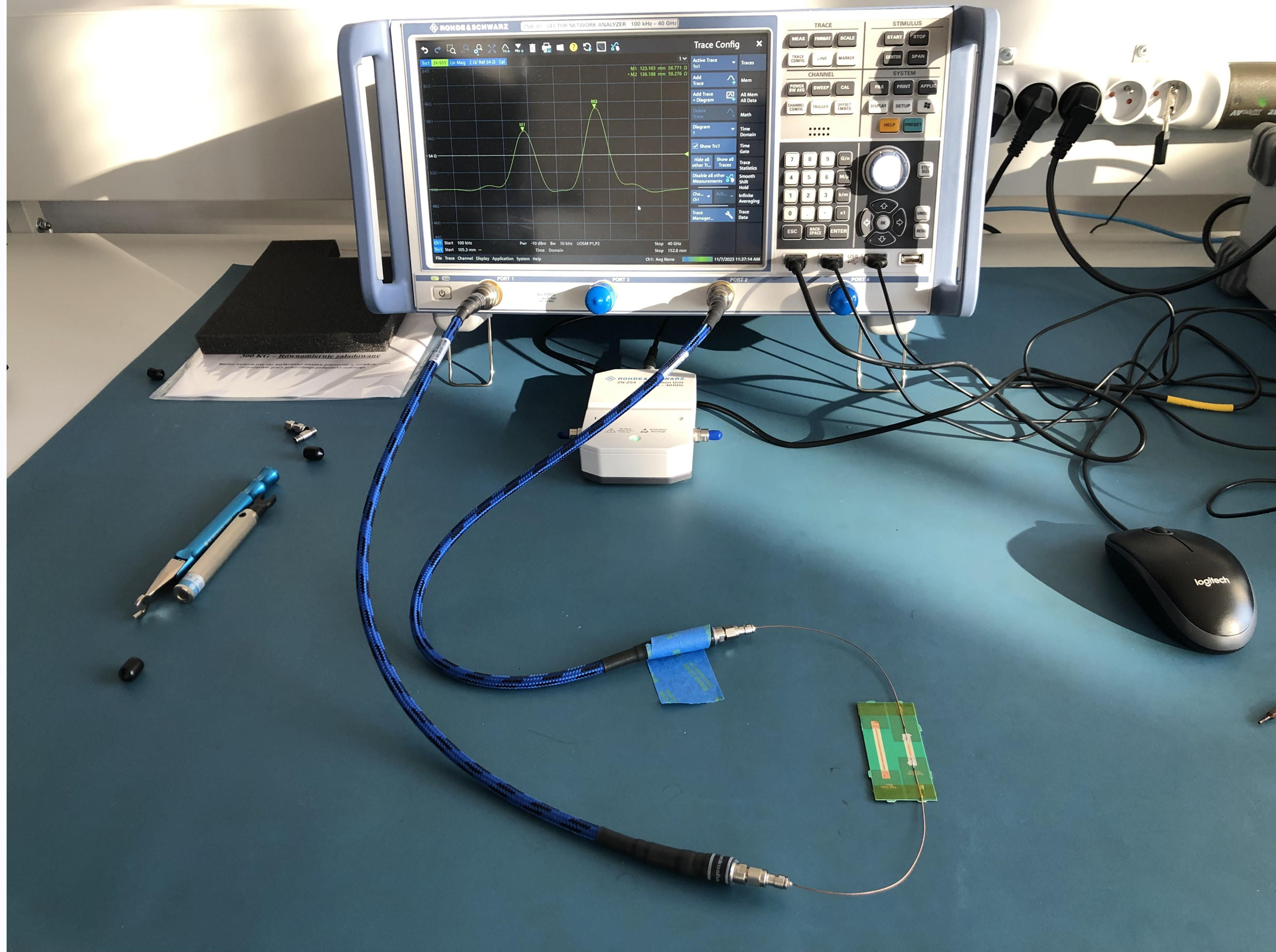
Weryfikacja metod pomiarowych

- Test coupon z liniami transmisyjnymi;
- Weryfikacja uciętego coxa oraz wertykalnych złącz;
- Weryfikacja metody TRL służącej do kalibracji .



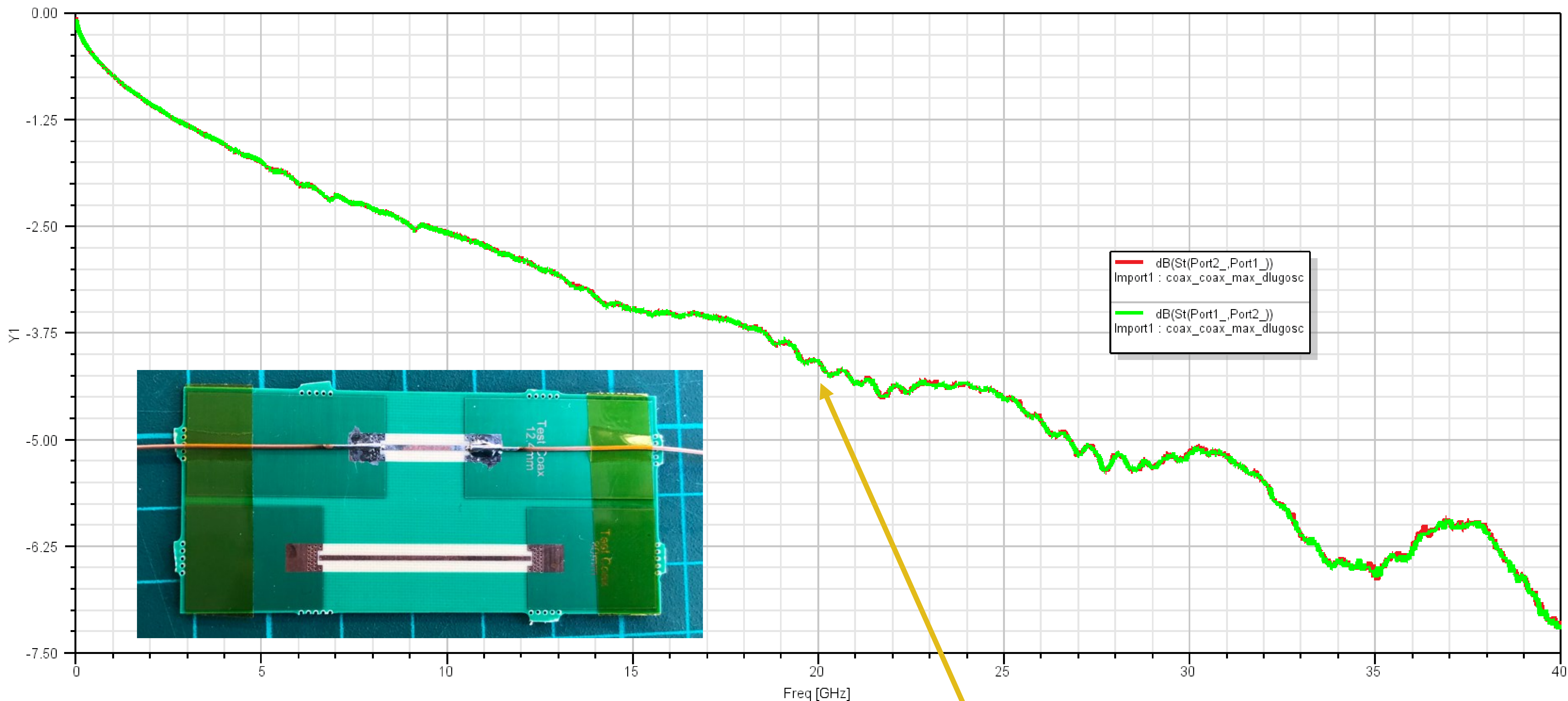
Ucięty coax - pomiary VNA

- Dwa przejścia;
- coax 140mm;
- linia 12.4mm;
- laminat Isola MT40;
- $Dk = 3,54$;
- $Df = 0.0032$;
- $h = 356\mu\text{m}/18\mu\text{m}$.



Uciety coax – straty wtraceniowe (pomiar VNA)

Terminal S Parameter Plot 2



Coax 020SR = 0,0124dB/mm; długość = 138mm; tłumienie wtraceniowe linii microstrip = 0,31dB (zmierzone met. TRL)

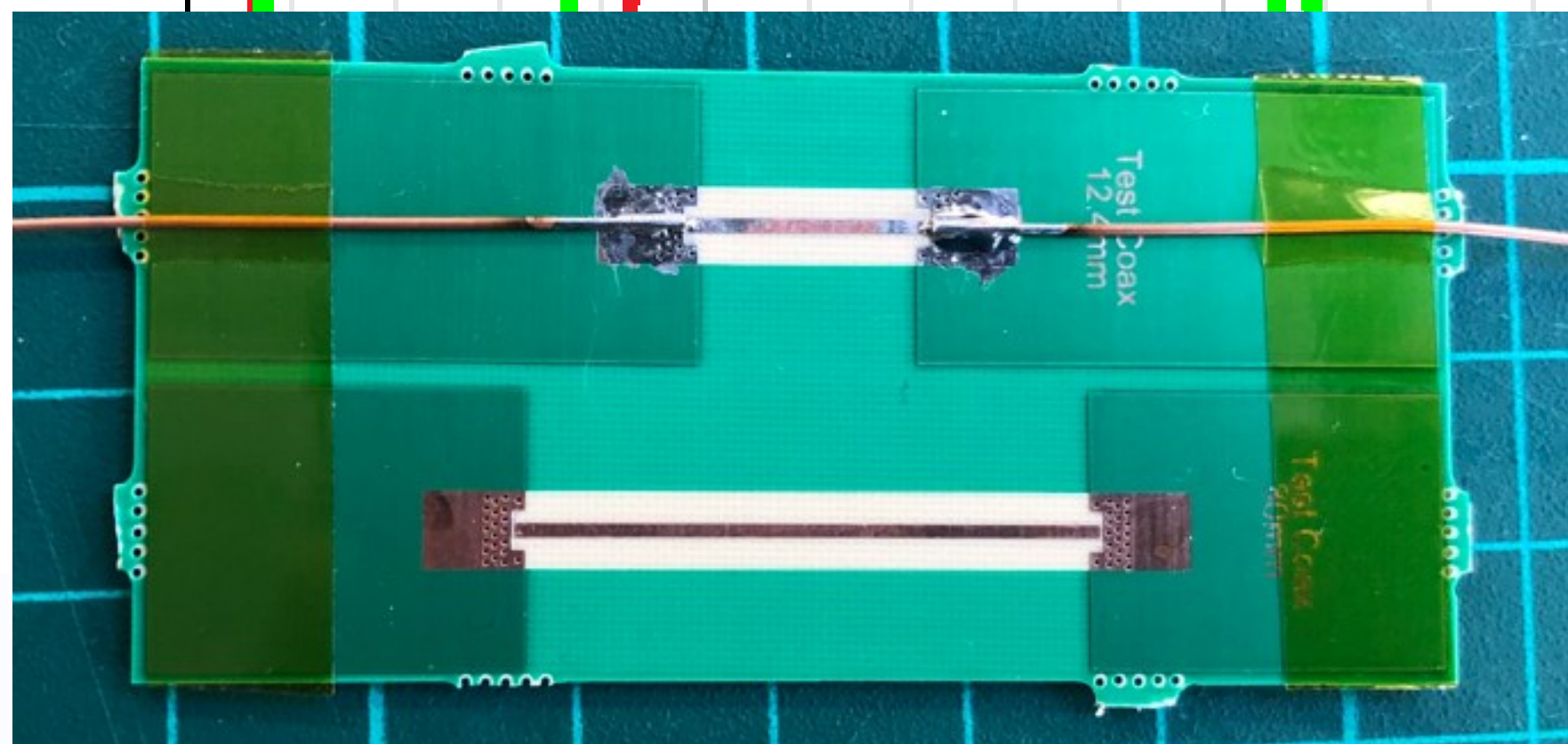
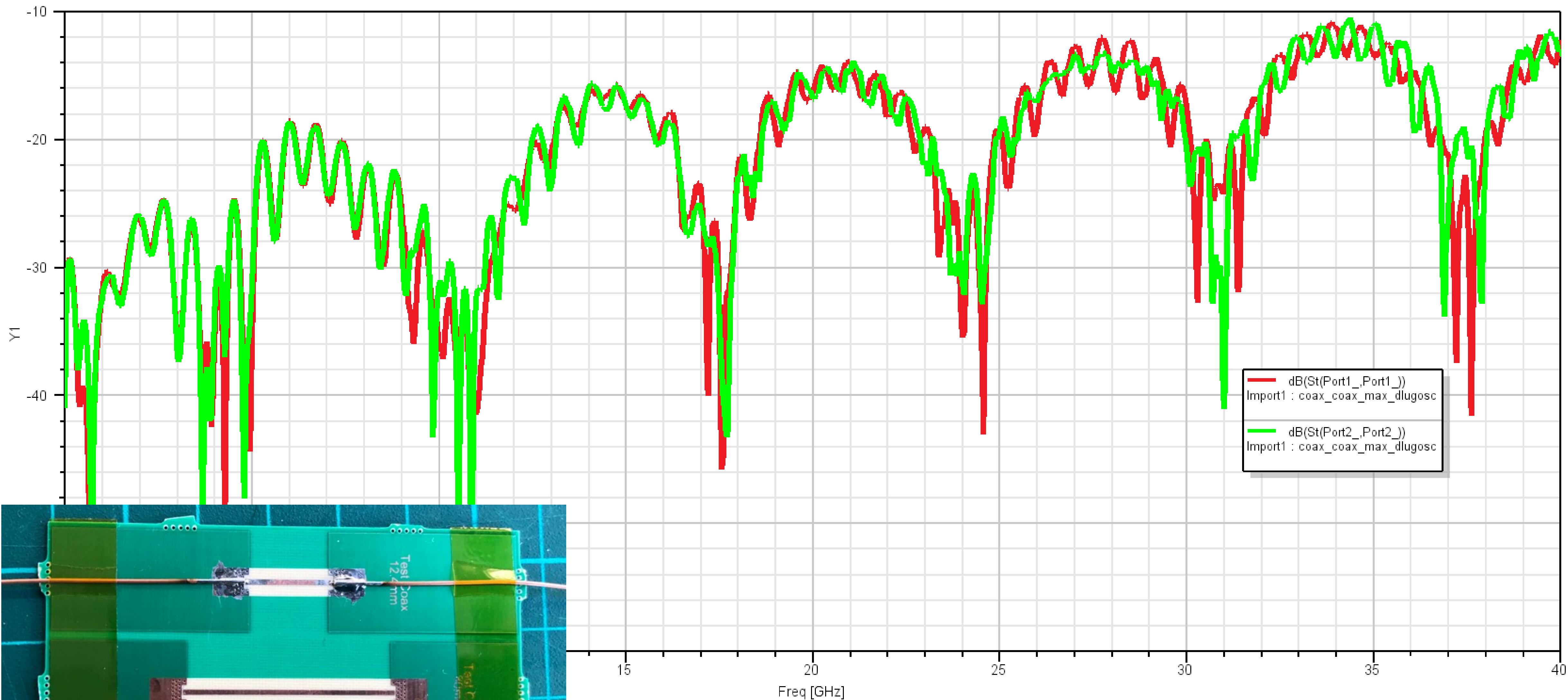
Att. Coax: $0,0124\text{dB/mm} * 138\text{mm} * 2 = 3,438\text{dB} + 0,31\text{dB} = 3,748\text{ dB}$

4,09dB (0.342 dB -> straty 2 x przejście i styk złącz z kablem).

Ucięty coax – dopasowanie na wejściu (pomiar VNA)

Terminal S Parameter Plot 1

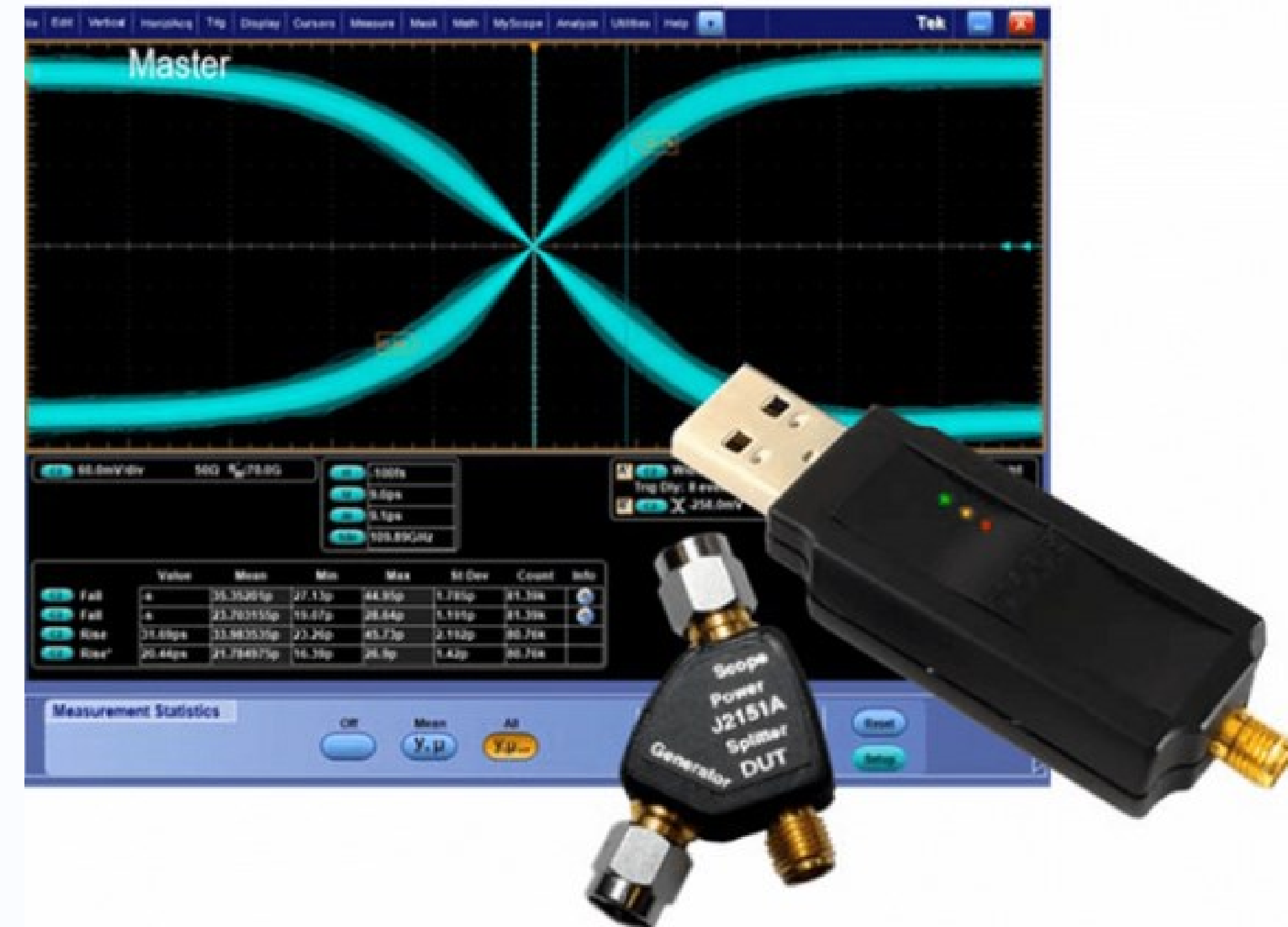
HFSSDesign1 **Ansys**
2023 R1



TDR (Time Domain Reflectometry)

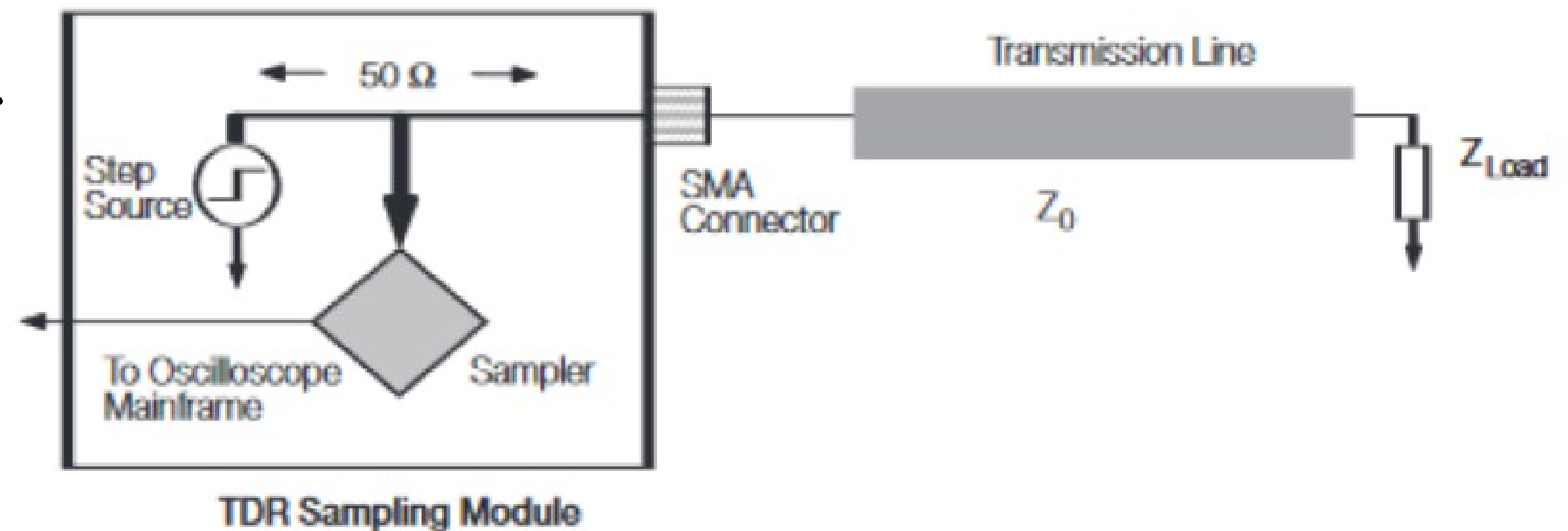
Precyzyjne lokalizowanie nieciągłości linii transmisyjnej:

- uszkodzenie kabla;
- niedokręcone złącza;
- nieprawidłowy promień zgięcia;
- wadliwe przelotki w PCB.

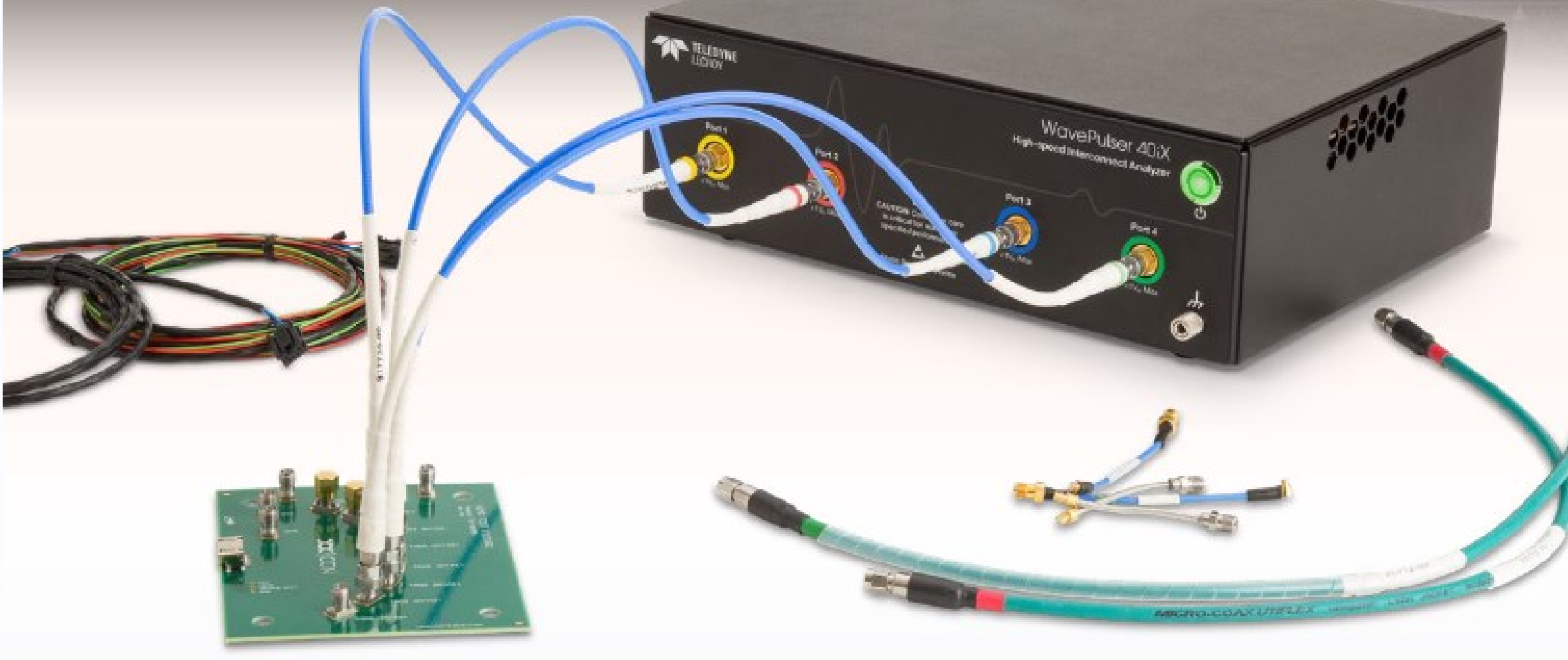
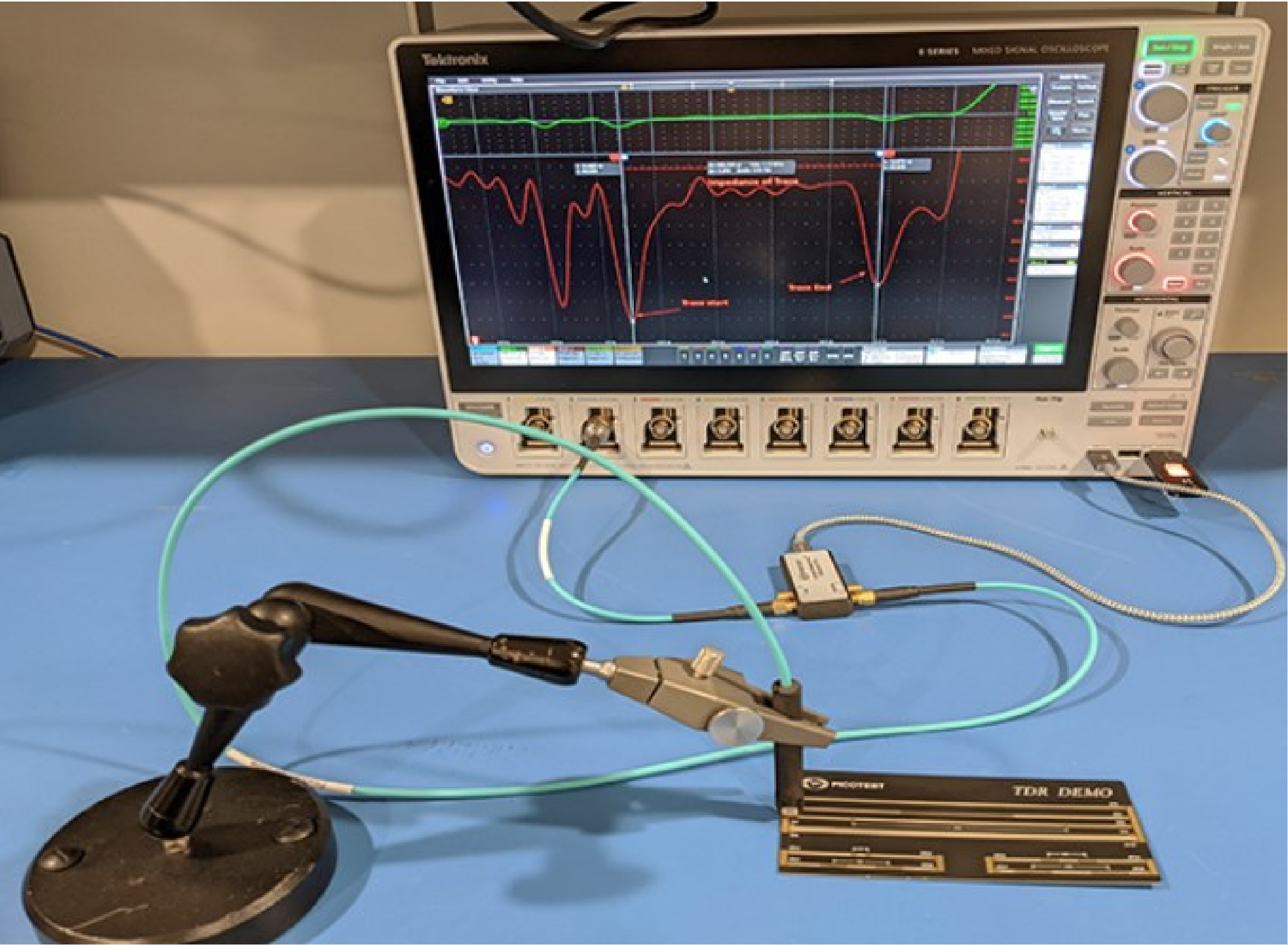


Charakteryzowanie impedancji:

- możliwość zlokalizowania i wyekstrahowania parametrów np. przelotki;
- wyeliminowanie wpływu np. złącz, kabli.



Czysty TDR



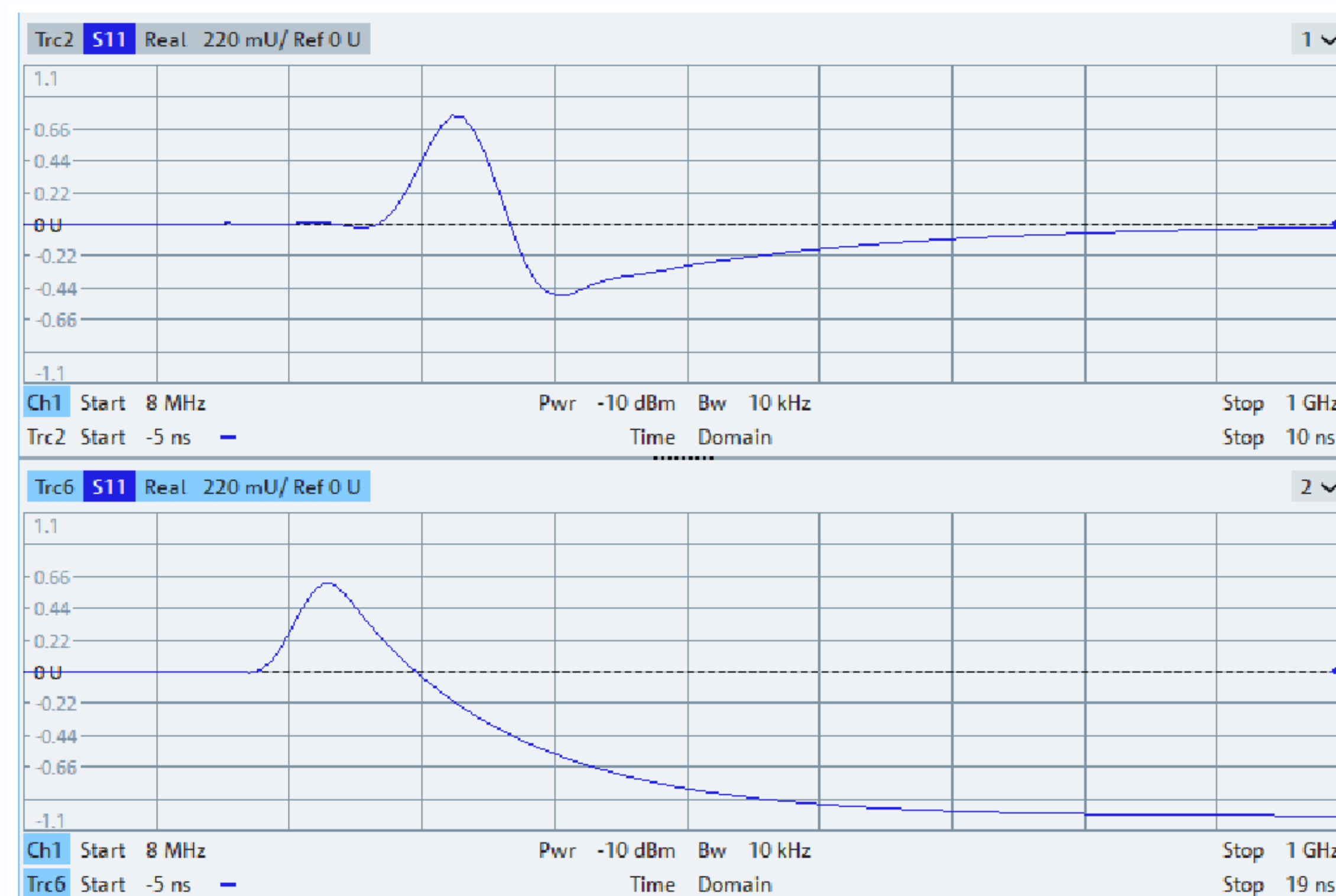
WavePulser 40iX

TDR z pomiaru VNA

Każdą sieć liniową i nie zmienną w czasie można przedstawić w dziedzinie czasu jako odpowiedź impulsową $h(t)$ lub w dziedzinie częstotliwości za pomocą funkcji przenoszenia $H(f)$. Relacje pomiędzy dwoma formami określa transformata Fouriera.

$$h(f) := \int_{-\infty}^{\infty} h(t) \cdot e^{-j \cdot 2\pi \cdot f \cdot t} dt$$

$$h(t) := \int_{-\infty}^{\infty} H(f) \cdot e^{j \cdot 2\pi \cdot f \cdot t} df$$

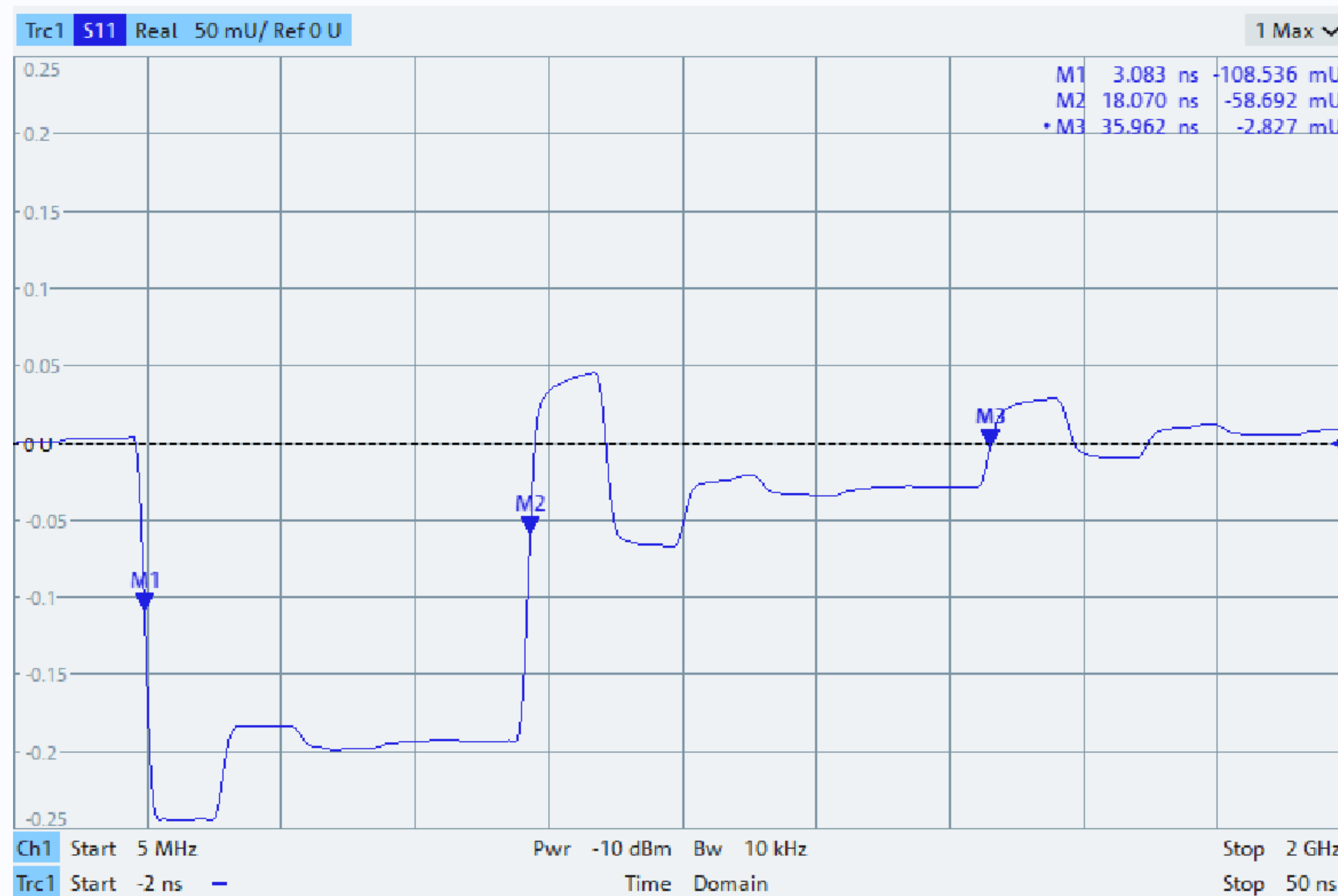


Impulse and step response of a 150 nH inductor

TDR z pomiaru VNA

Tutaj widzimy wyraźnie zmiany impedancji wzdłuż testowanej linii. Linia na środku ekranu wskazuje zerowe odbicie, reprezentuje impedancję odniesienia Z_0 . Wartości dodatnie oznaczają wyższą impedancję niż impedancja odniesienia, a wartości ujemne oznaczają niższą impedancję.

Ogólnie rzecz ujmując, związek między zmierzonym współczynnikiem odbicia S_{11} a impedancją Z jest następujący:

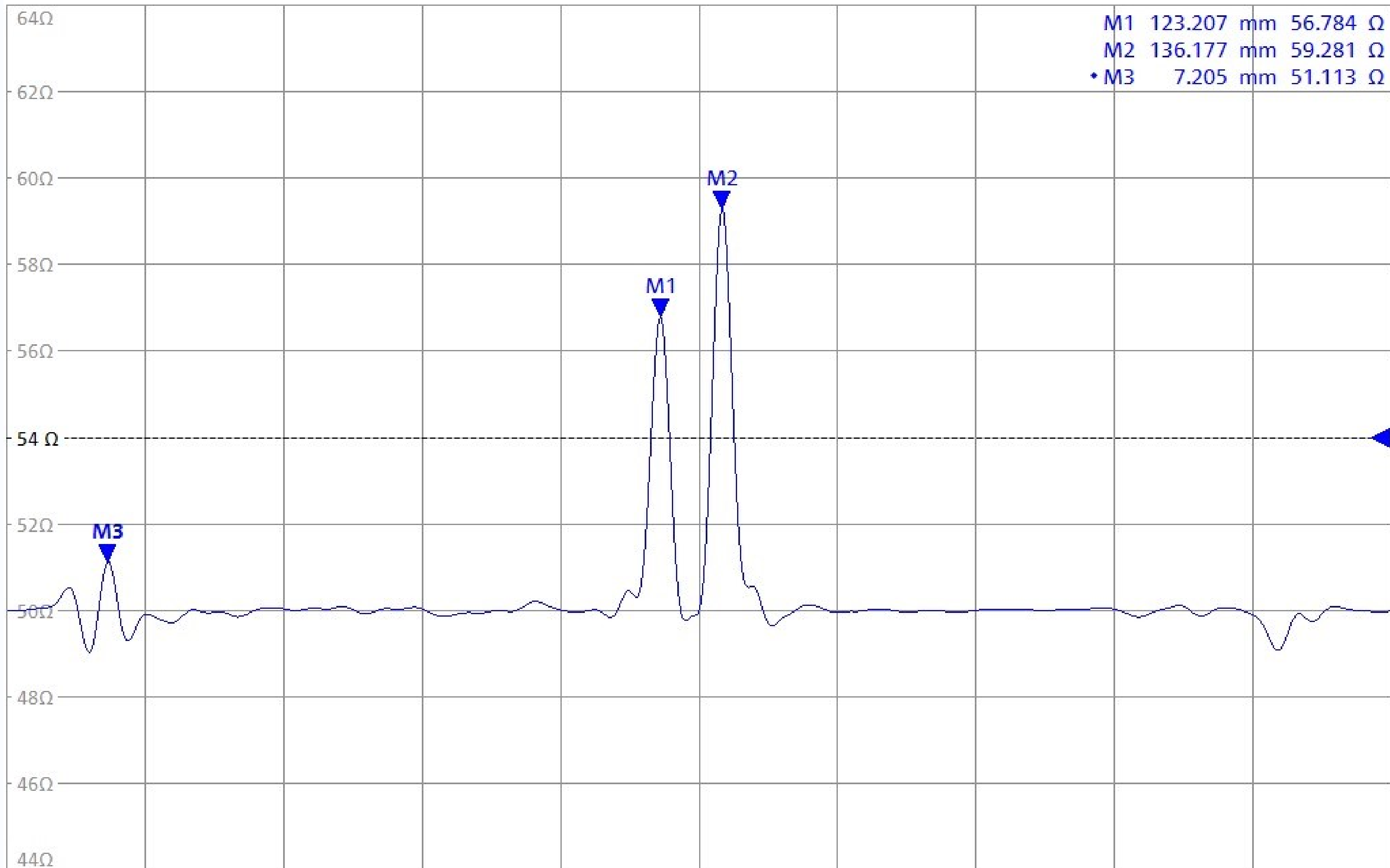


$$S_{11} := \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0}$$

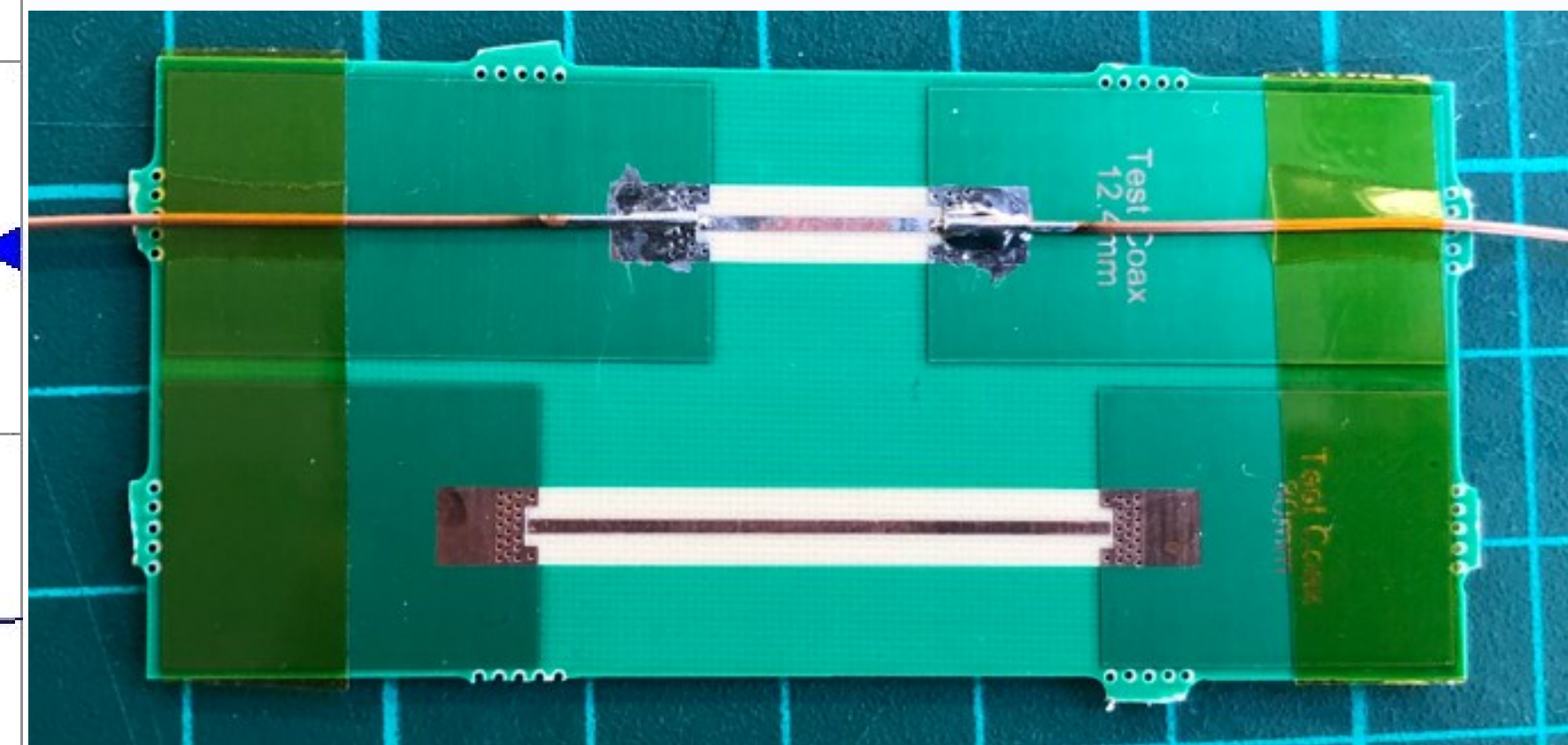
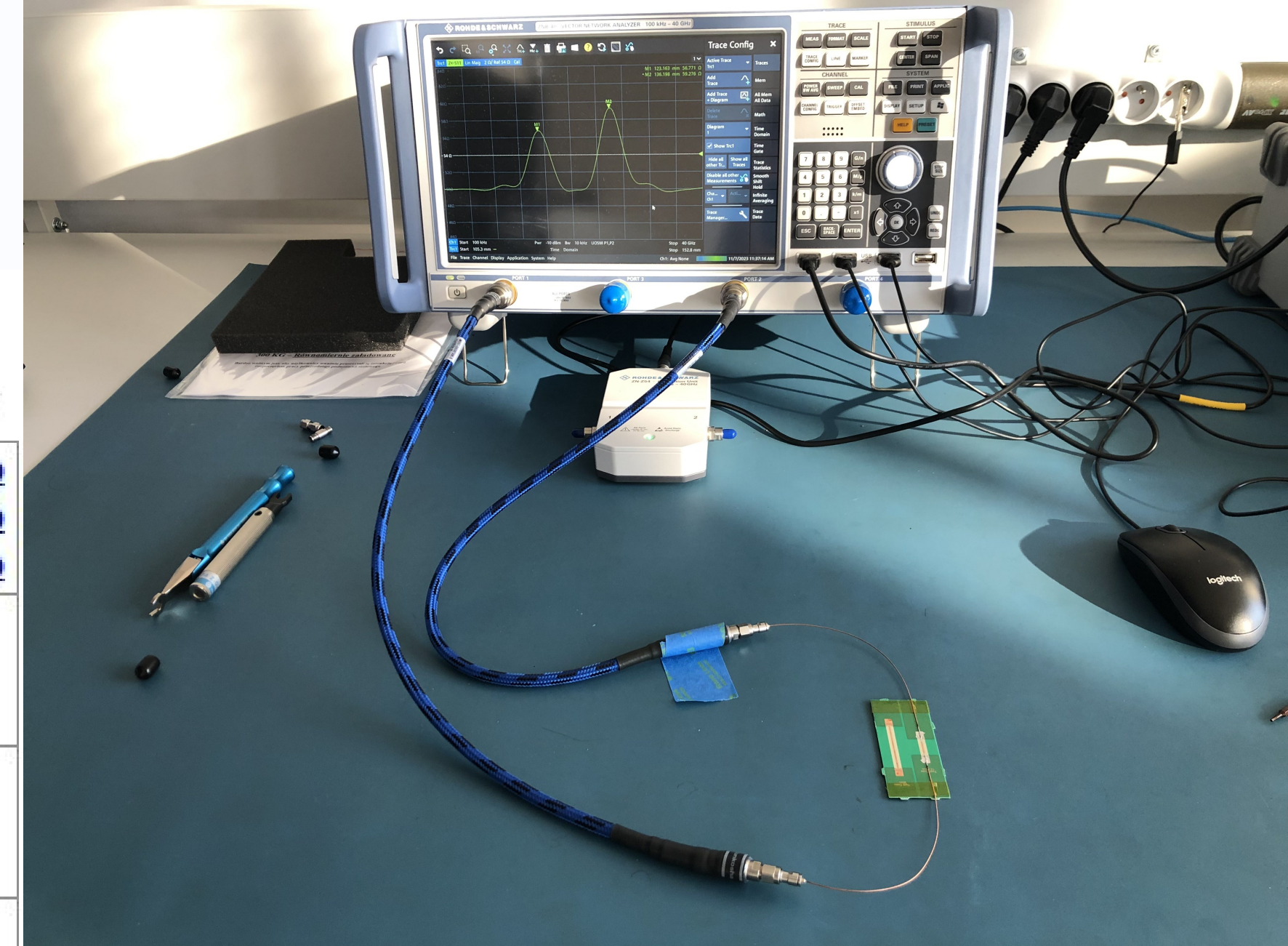
Ucięty coax - TDR z pomiaru VNA

RS 11/7/2023 11:43:44 AM
1311.6010K84-101787-wB

Trc1 — Z←S11 Lin Mag 2 Ω/ Ref 54 Ω Cal 1



Ch1 Start 100 kHz Pwr -10 dBm Bw 10 kHz UOSM P1,P2 Stop 40 GHz
Trc1 Start -14 mm — Time Domain Stop 276.9 mm



$$136,17\text{mm} - 123,2\text{mm} = 12,97\text{mm}$$

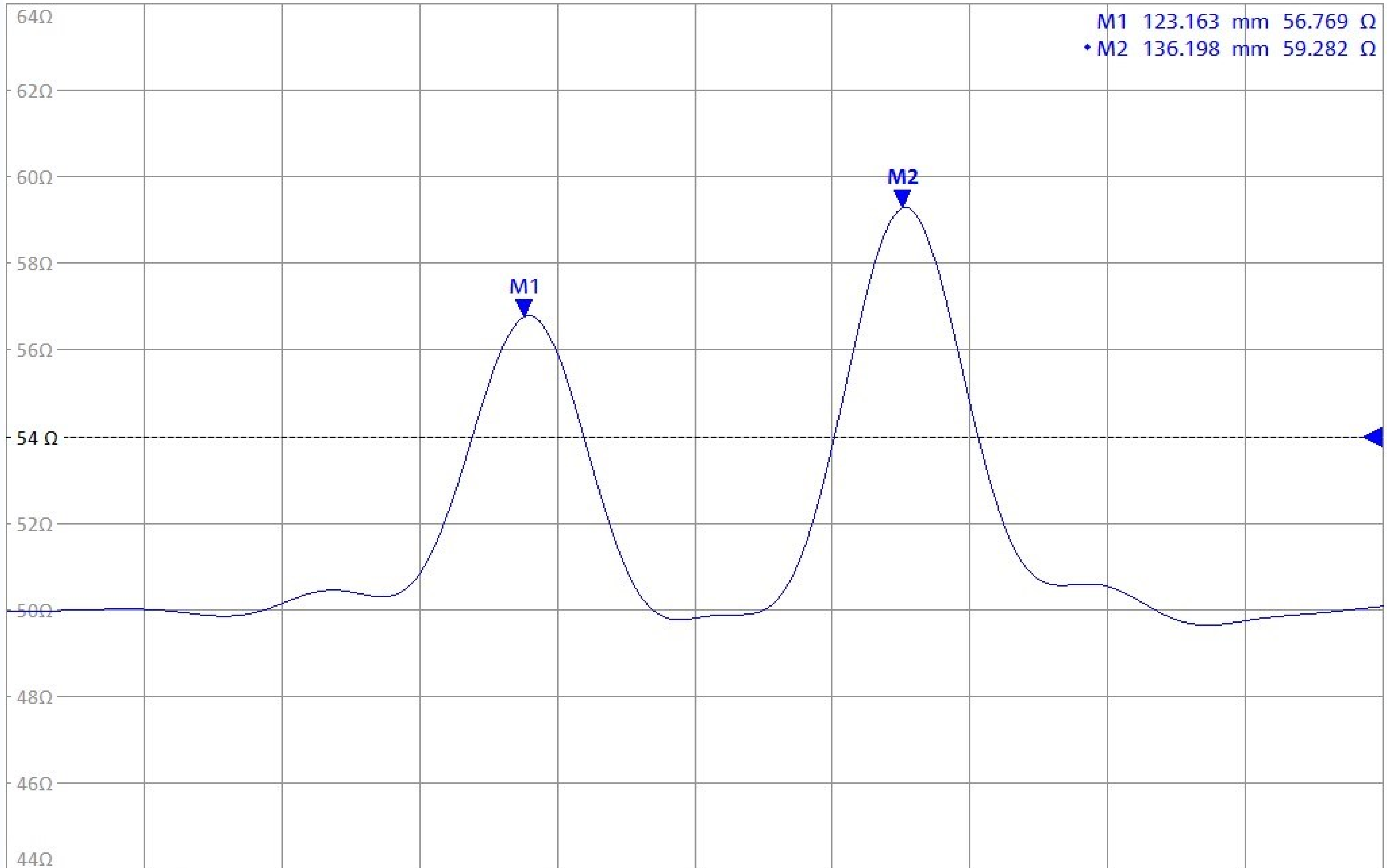
Przyjęta effective Dk = 2.777

Velocity factor =

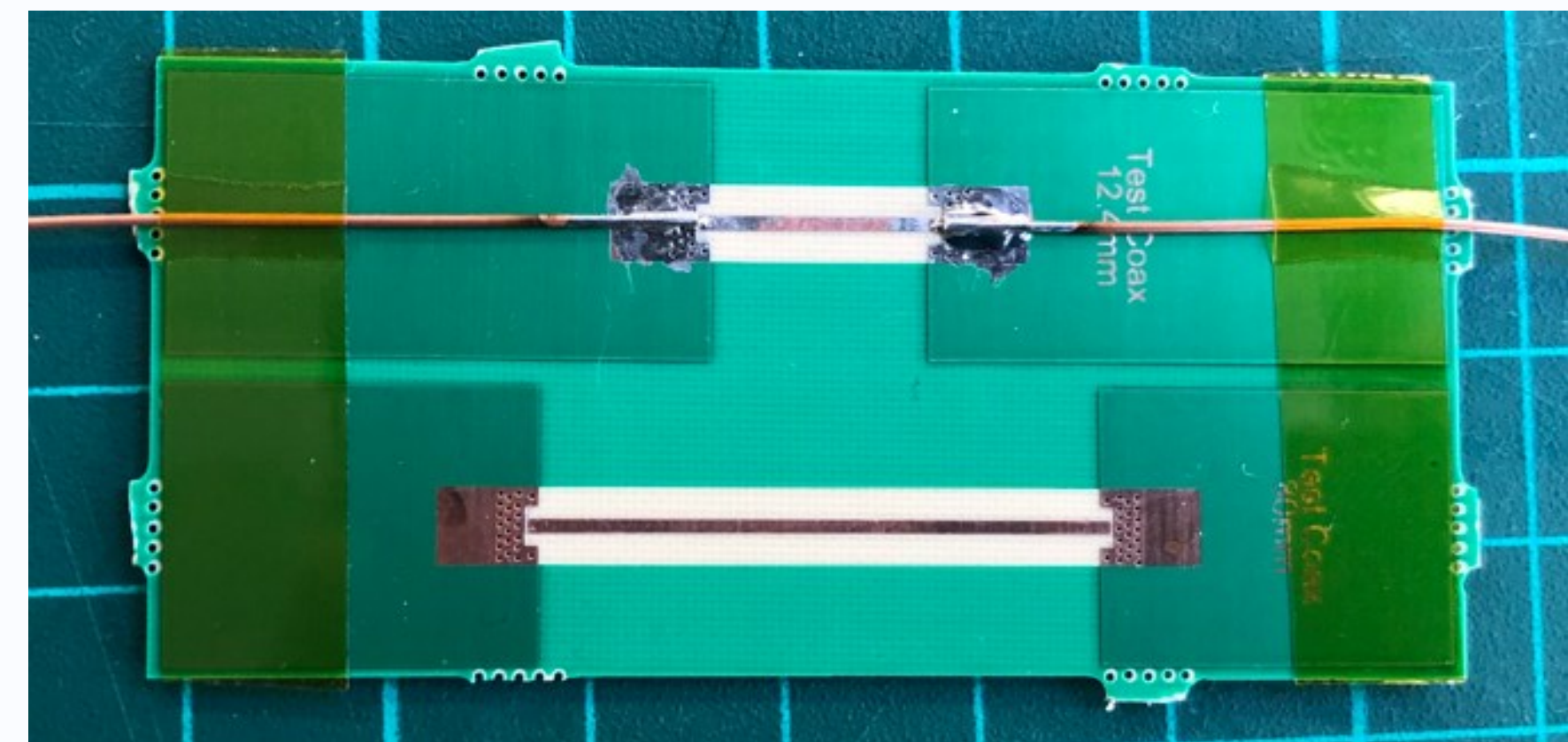
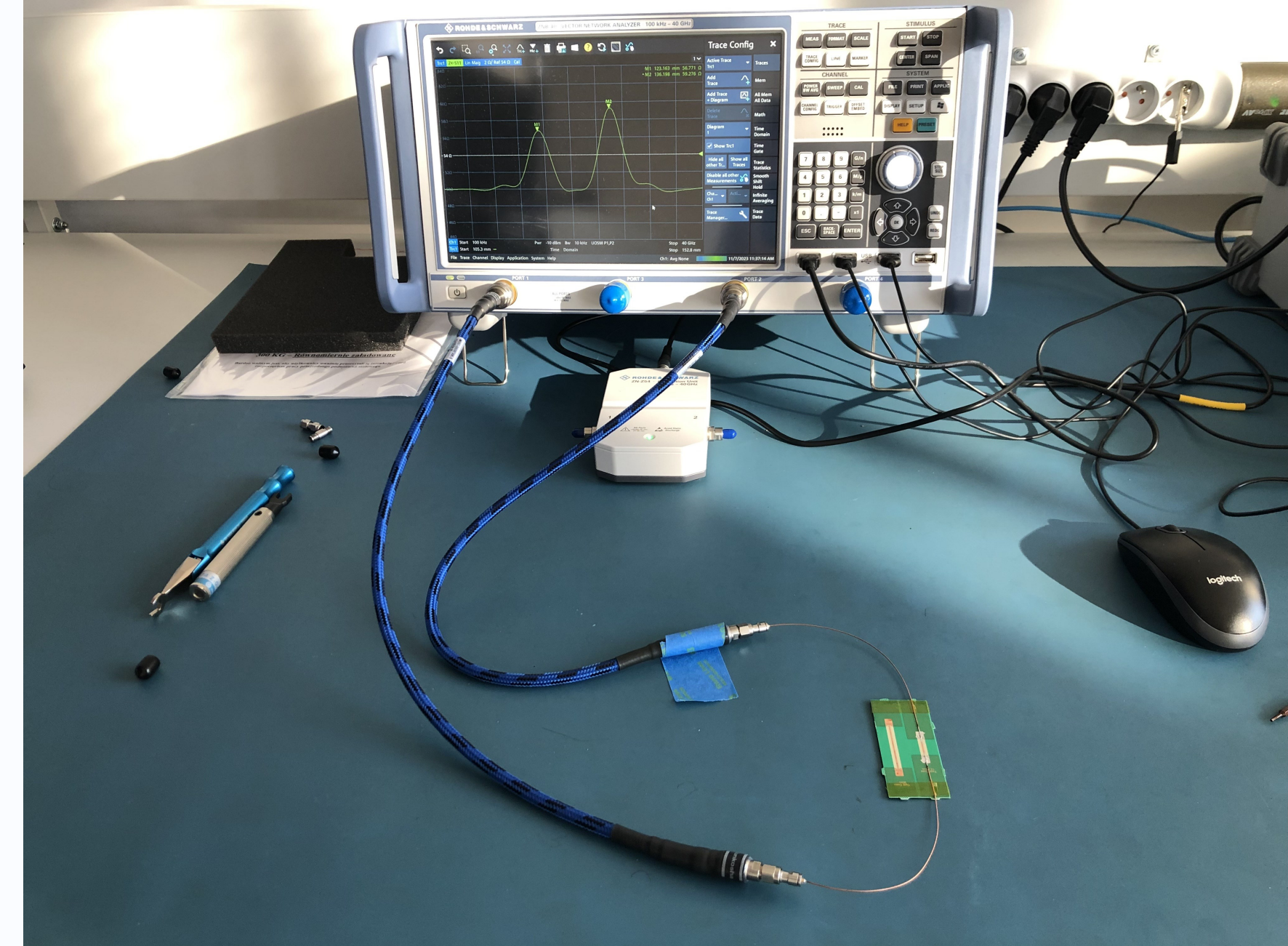
Ucięty coax - TDR z pomiaru VNA

11/7/2023 11:37:35 AM
1311.6010K84-101787-wB

Trc1 — Z←S11 Lin Mag 2 Ω/ Ref 54 Ω Cal



Ch1 Start 100 kHz Pwr -10 dBm Bw 10 kHz UOSM P1,P2 Stop 40 GHz
Trc1 Start 105.3 mm — Time Domain Stop 152.8 mm



$$136,17\text{mm} - 123,2\text{mm} = 12,97\text{mm}$$

Przyjęta effective Dk = 2.777

$$\text{Velocity factor} = \frac{1}{\sqrt{Dk}}$$

Effective Dielectric Constant – microstrip line:

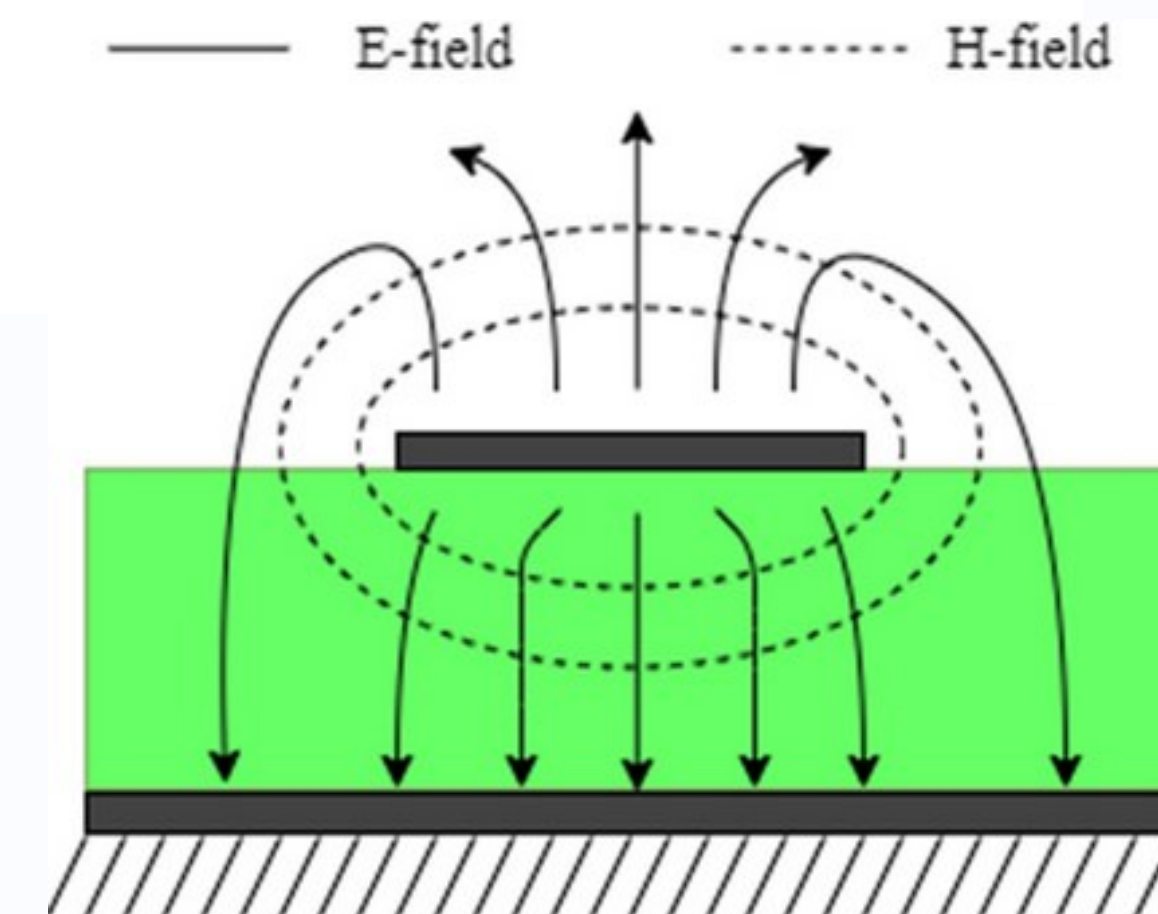
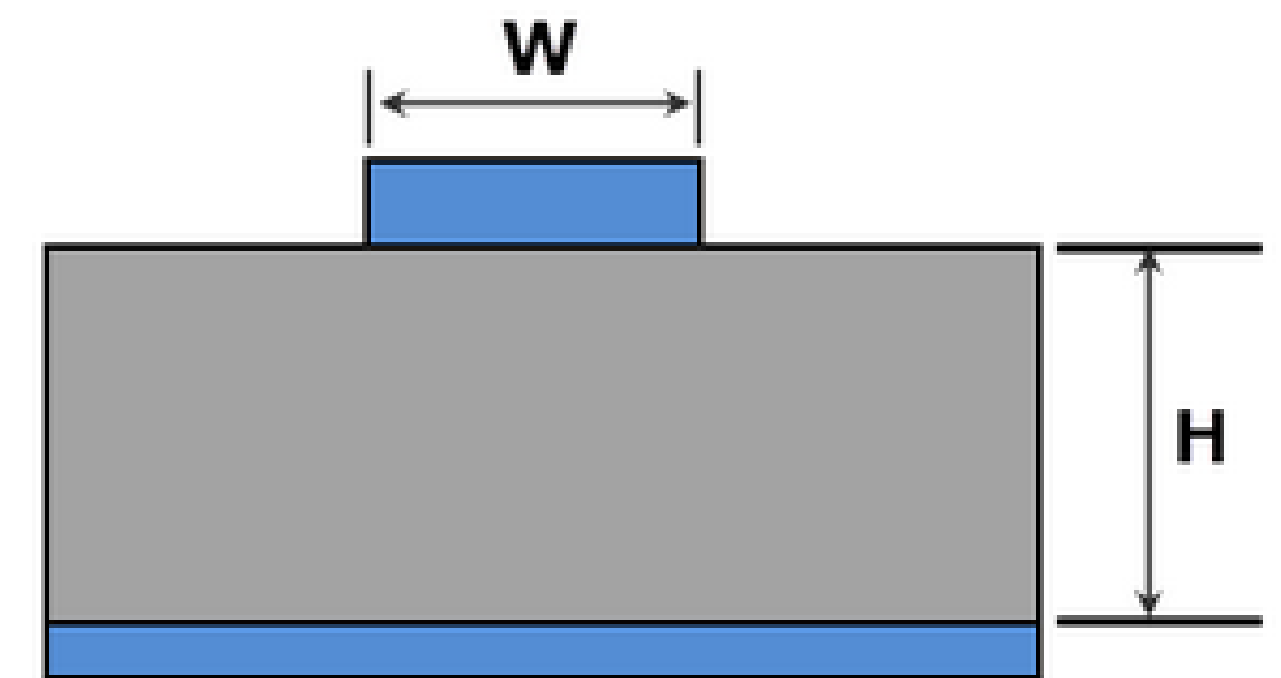
If $\left(\frac{W}{H}\right) < 1$:

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_R + 1}{2} + \frac{\epsilon_R - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12\left(\frac{H}{W}\right)}} + 0.04 \left(1 - \left(\frac{W}{H}\right)\right)^2 \right]$$

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left(8 \left(\frac{H}{W}\right) + 0.25 \left(\frac{W}{H}\right) \right)$$

If $\left(\frac{W}{H}\right) > 1$:

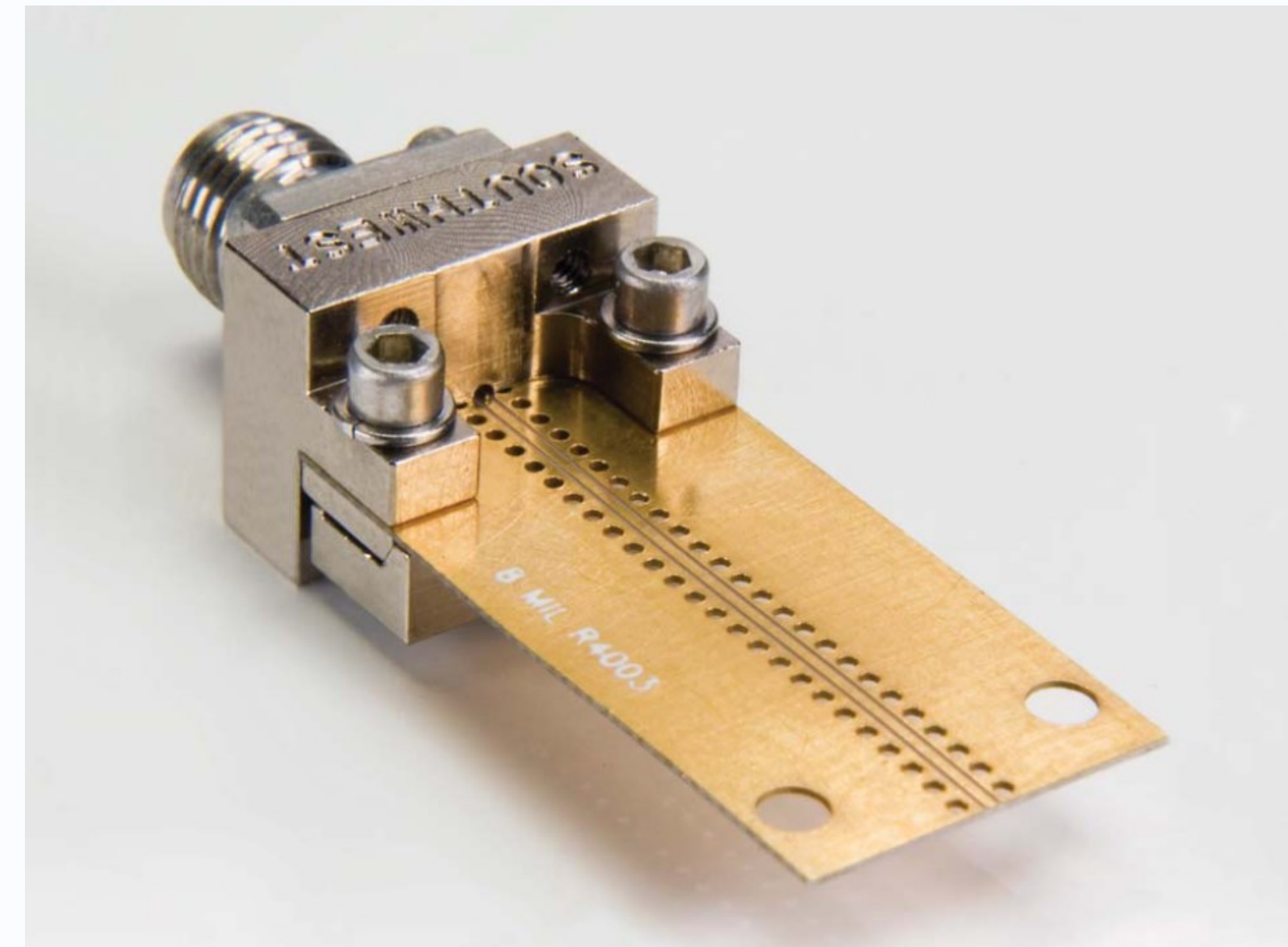
$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_R + 1}{2} + \left[\frac{\epsilon_R - 1}{2\sqrt{1 + 12\left(\frac{H}{W}\right)}} \right]; \quad Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}} \left[\frac{W}{H} + 1.393 + \frac{2}{3} \ln \left(\frac{W}{H} + 1.444 \right) \right]}$$



Wyprowadzenie pod złącze

- **End lunch connectors**
 - GCPW;
 - microstrip;
- **Vertical lunch connectors (testowane złącze to Pasternack PE45451)**
 - microstip;
 - GCPW;
 - stripline.

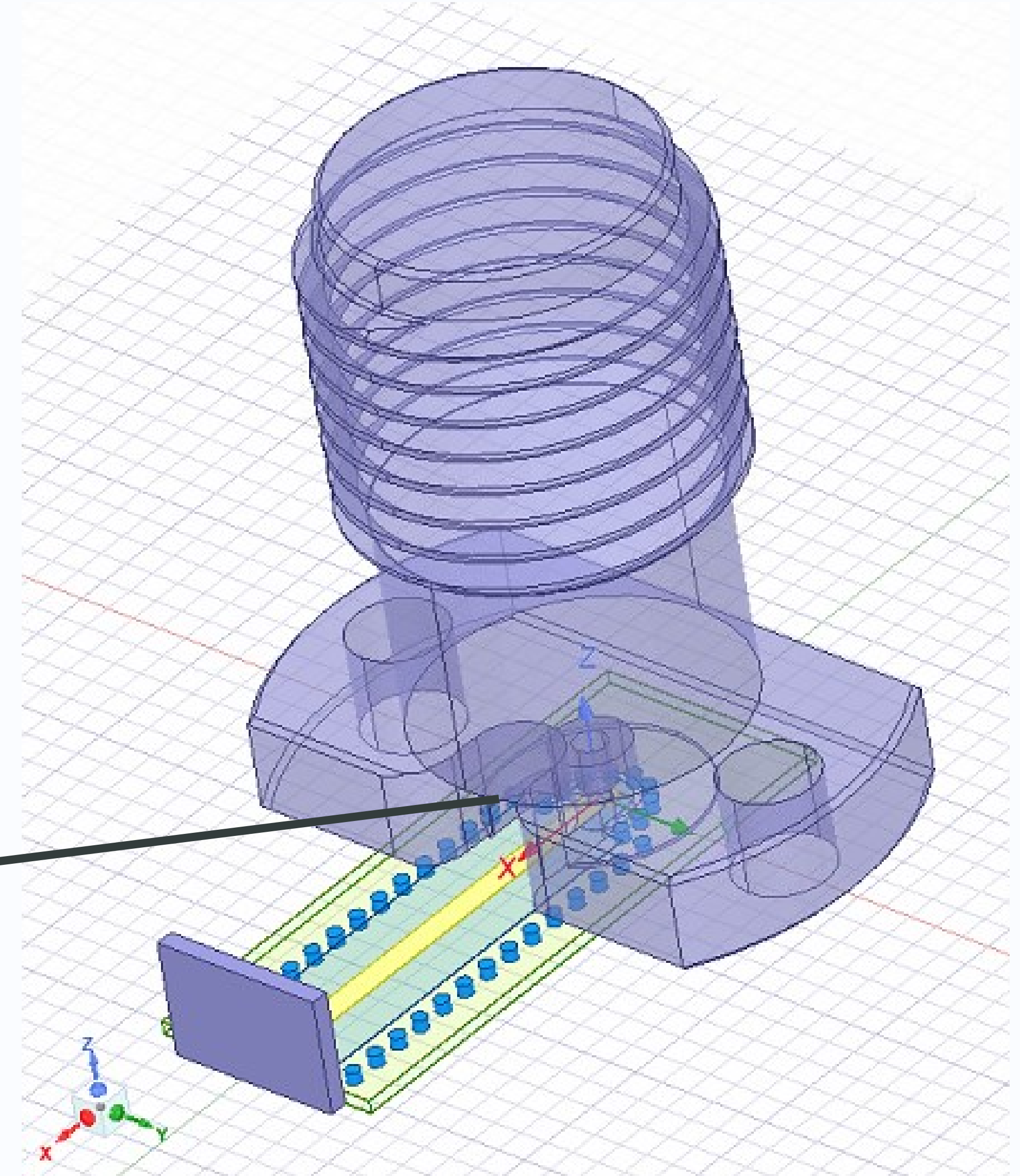
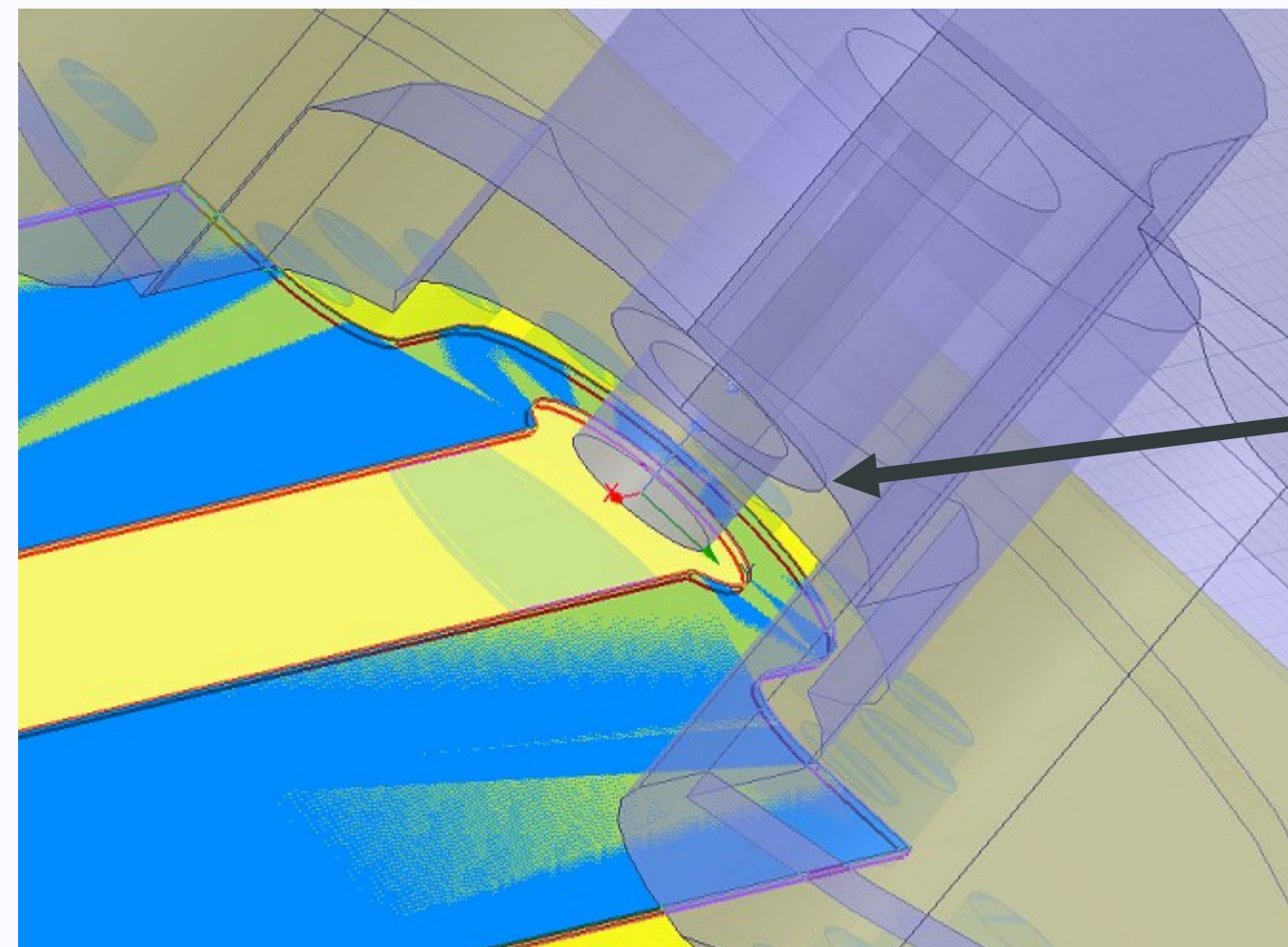
PE45451 deklarowane VSWR < 1.3



Wyprowadzenie pod złącze - model

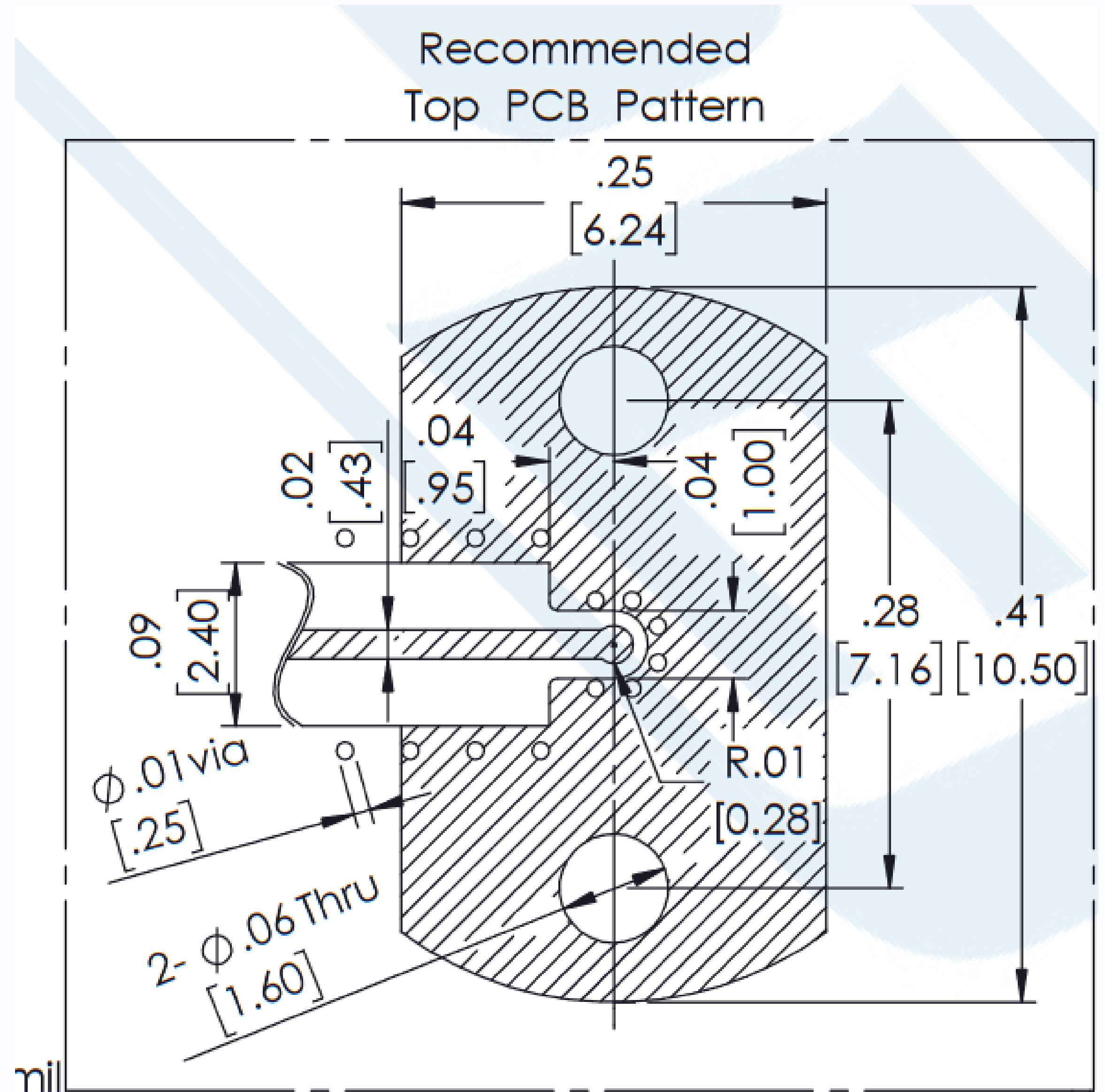
Model do symulacji EM

- Najlepiej pozyskać model od producenta;
- Można samemu zrobić model na podstawie zmierzonych wymiarów, na wejściu powinno być 50ohm;



Przejście do złącza jest kluczowe

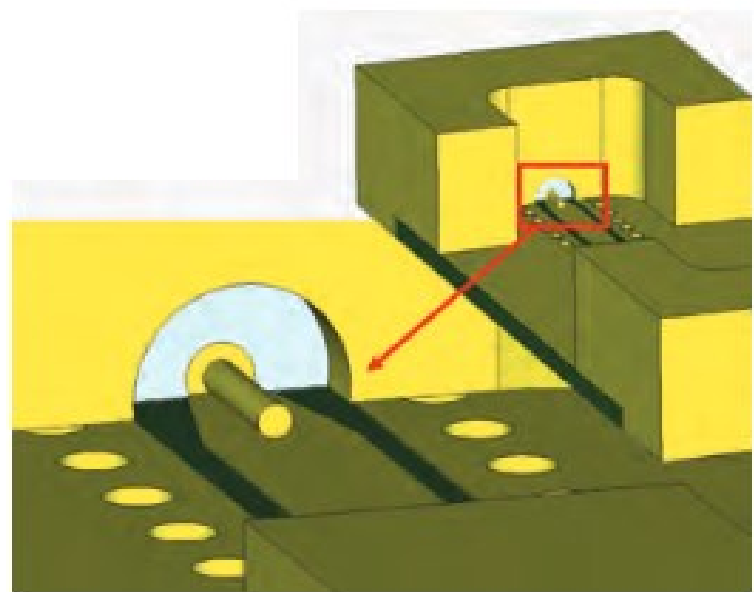
- Jakość przejścia ma kluczowy wpływ na jakość pomiarów / pasmo przenoszenia (z linii planarnej do linii współosiowej);
- Rekomendowany layout przejścia prawdopodobnie nie będzie pasować do naszej linii transmisyjnej (możemy dobierać laminat do rekomendowanego layout-u, ale nie zawsze się da).



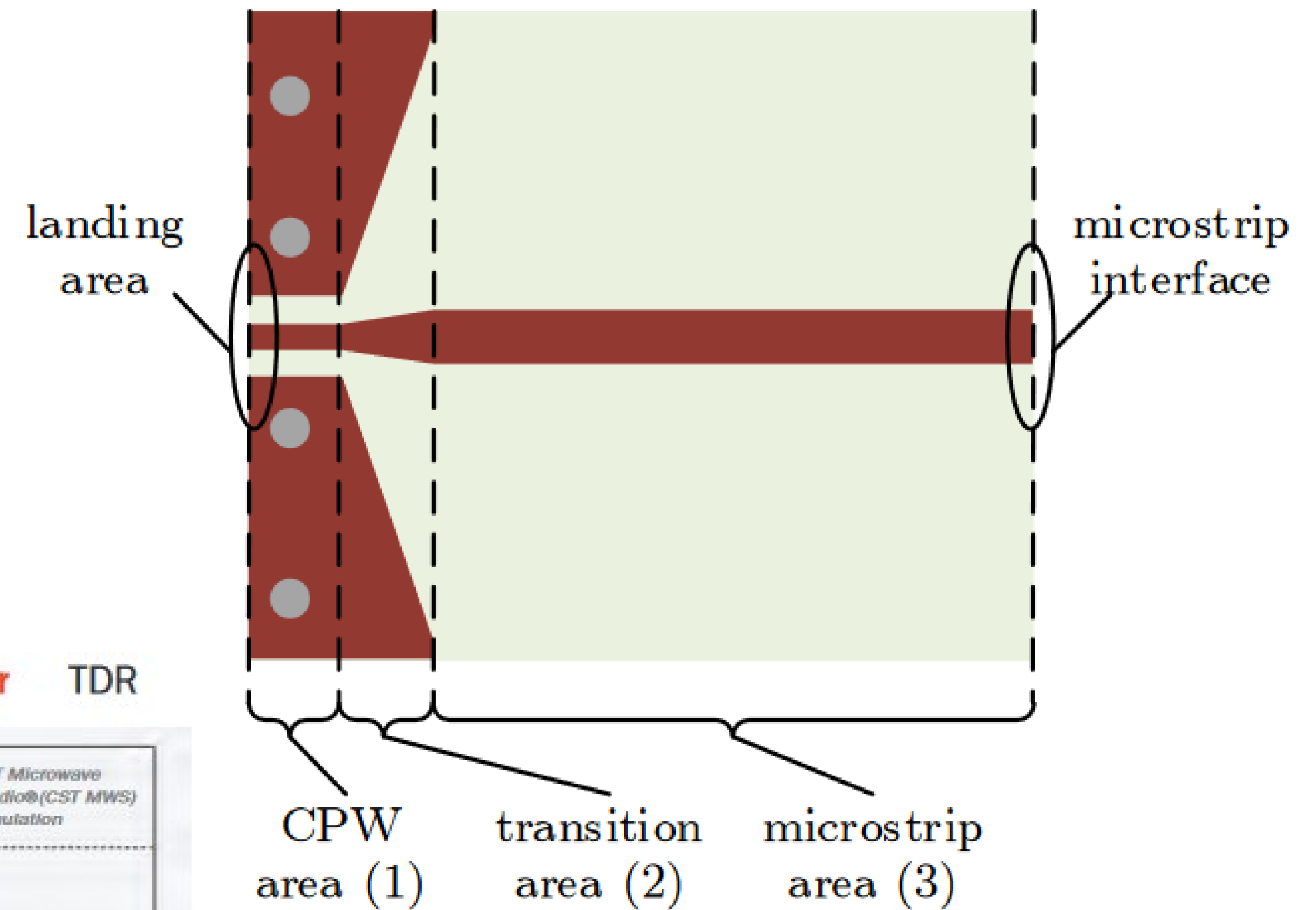
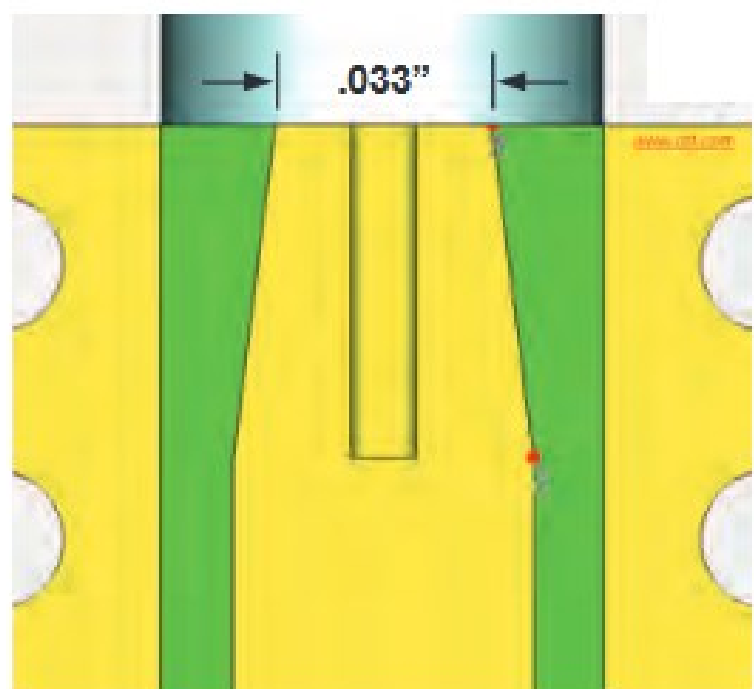
Wyprowadzenie pod złącze - przejście

Przejście do złącza jest kluczowe

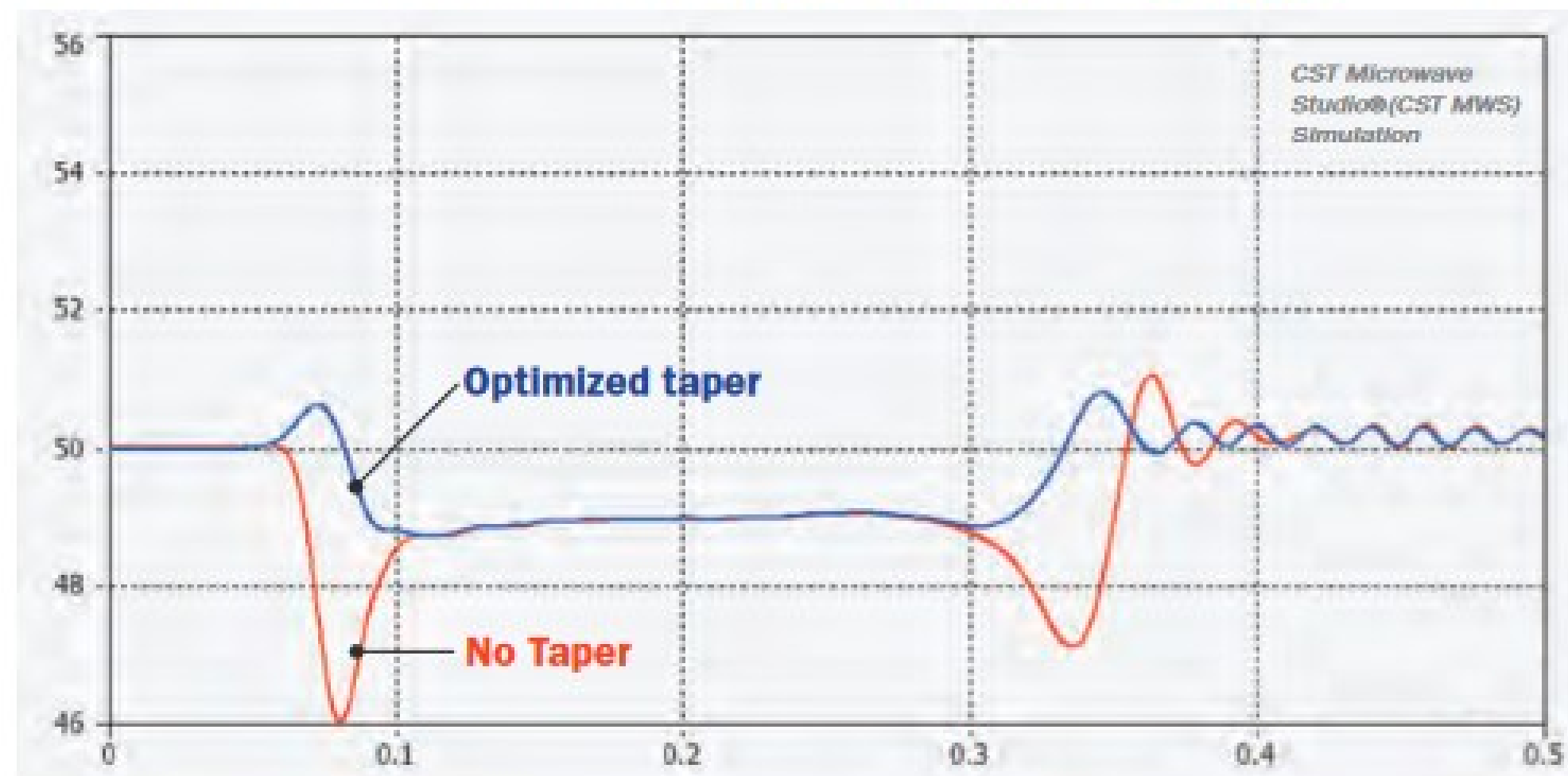
- W zależności od grubości dielektryka i D_k szerokość linii jest różna.



Optimized Taper



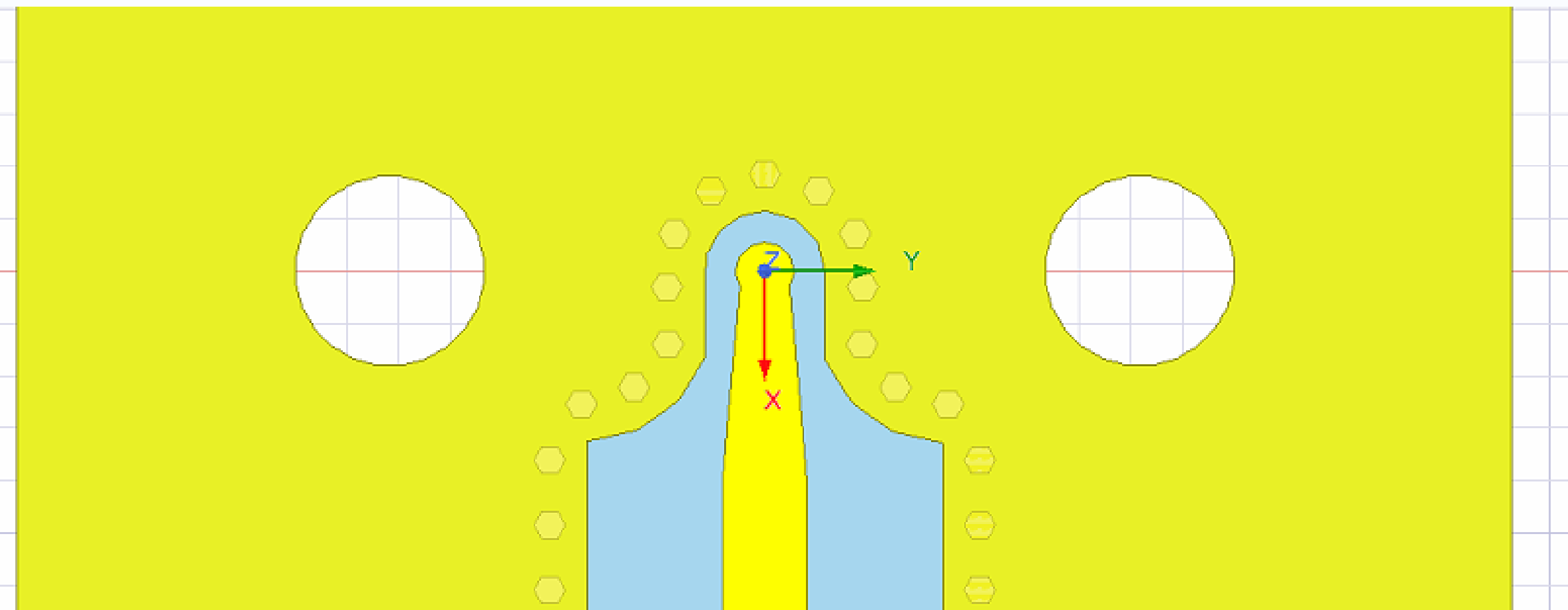
Simulated TDR Comparison: **Optimized taper** **No Taper** TDR



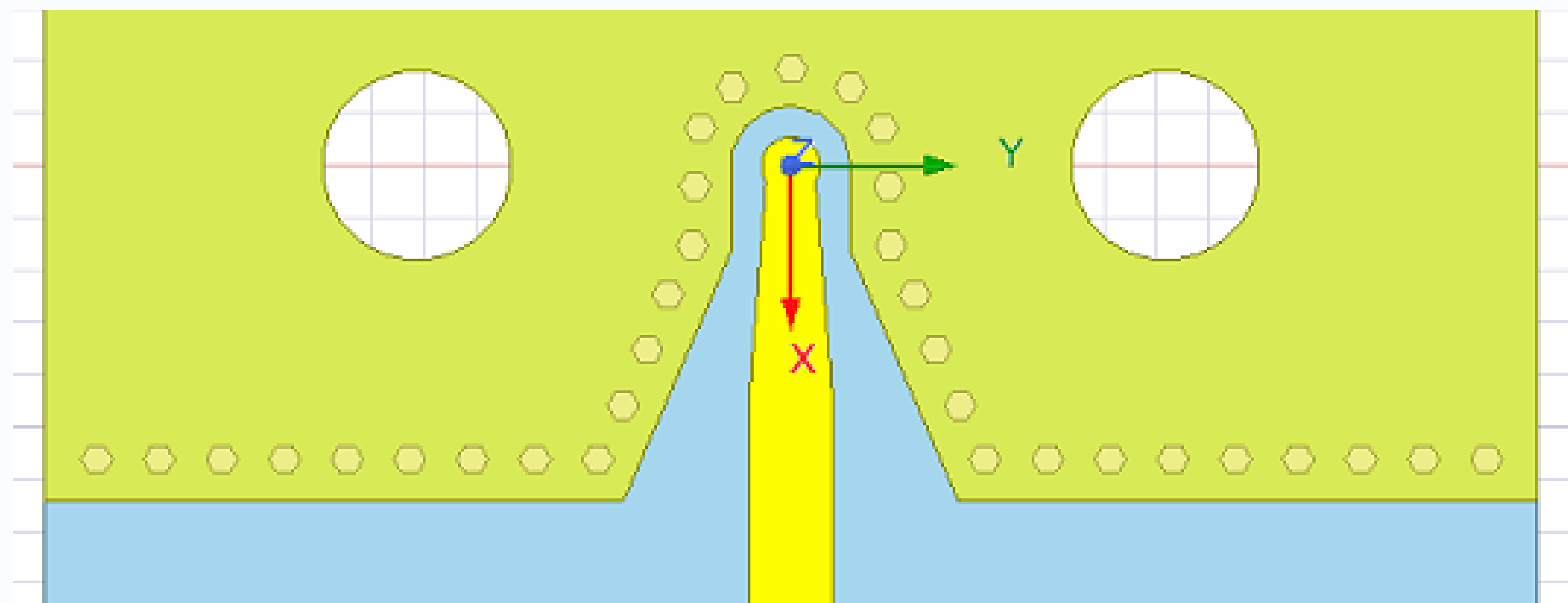
Wyprowadzenie pod złącze - przejście

Optymalne przejścia z linii GCPW i microstrip. Oba przejścia różnią się, diabeł tkwi w szczegółach.

Przejście z linii GCPW



Przejście z linii microstrip

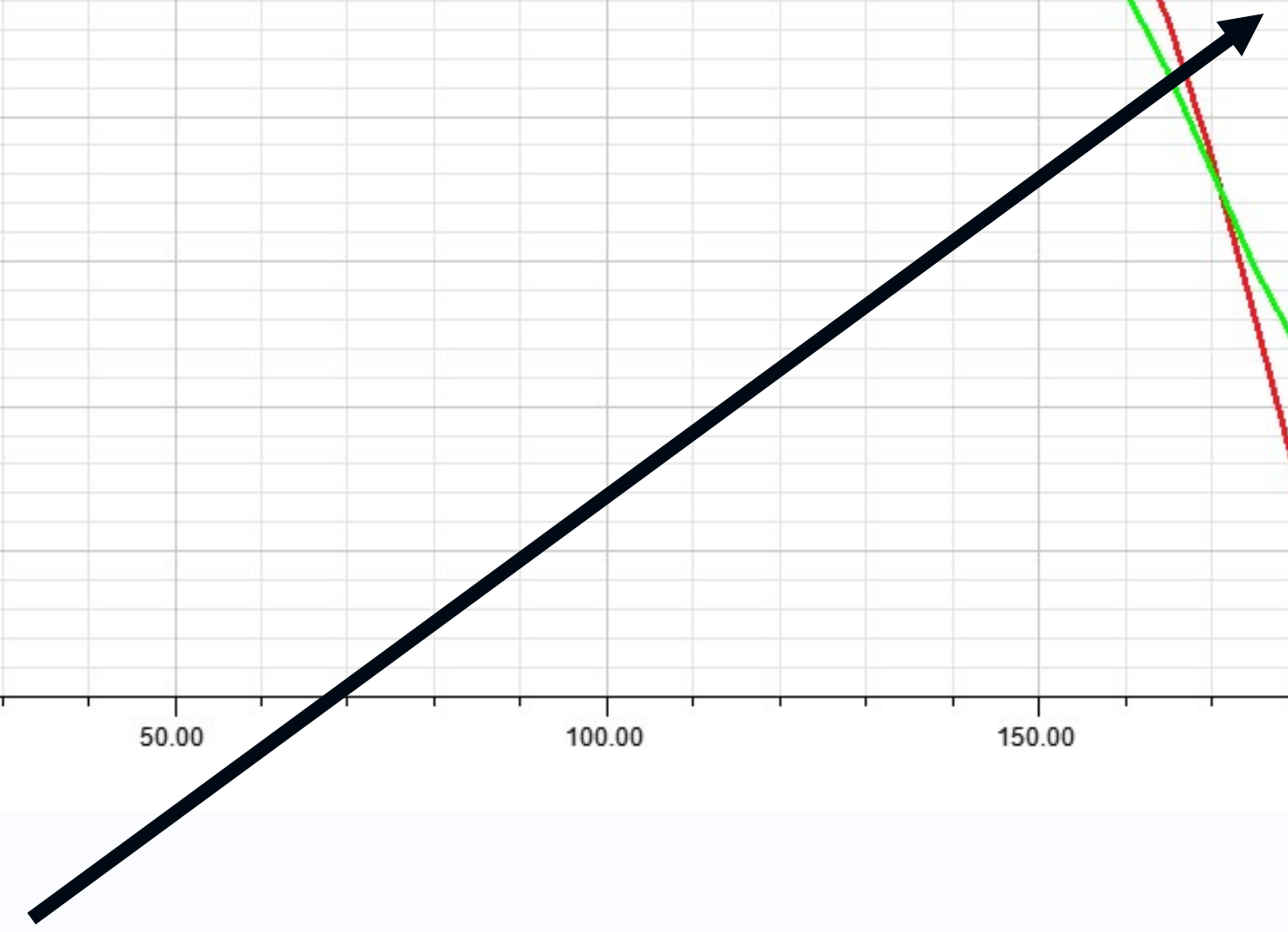
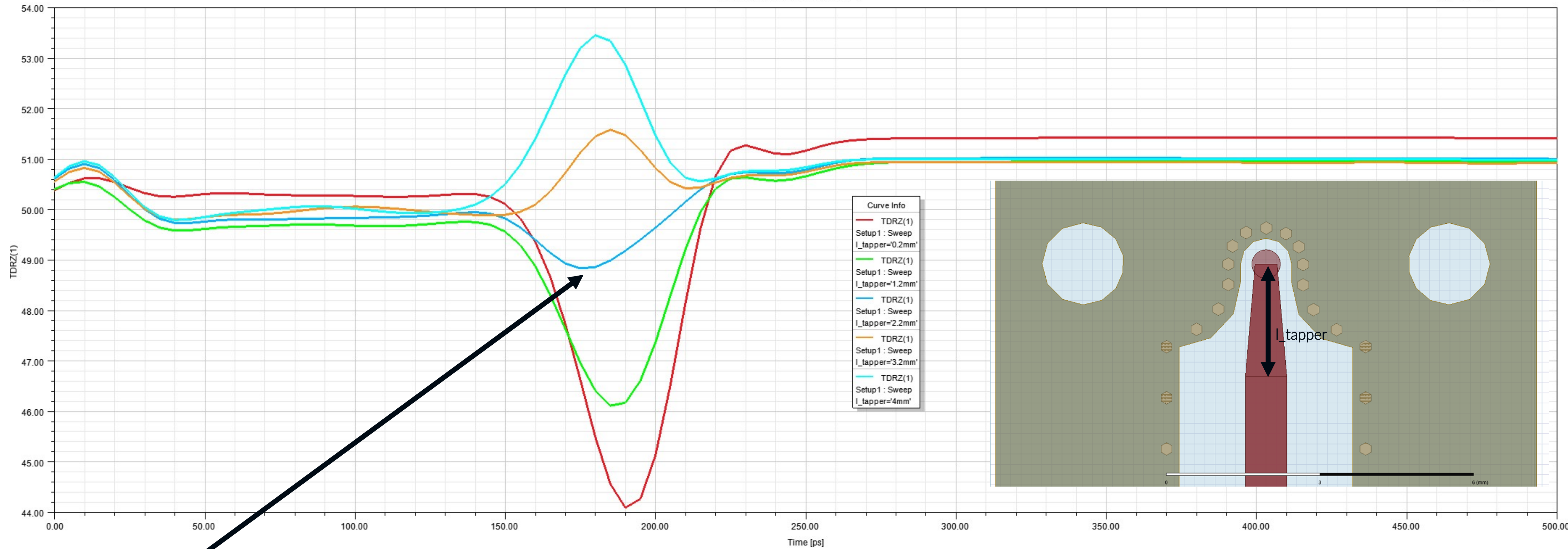


Wyprowadzenie pod złącze – przejście GCPW TDR



TDR Impedance Plot 2

spr_tapper_z_refferenc Ansys



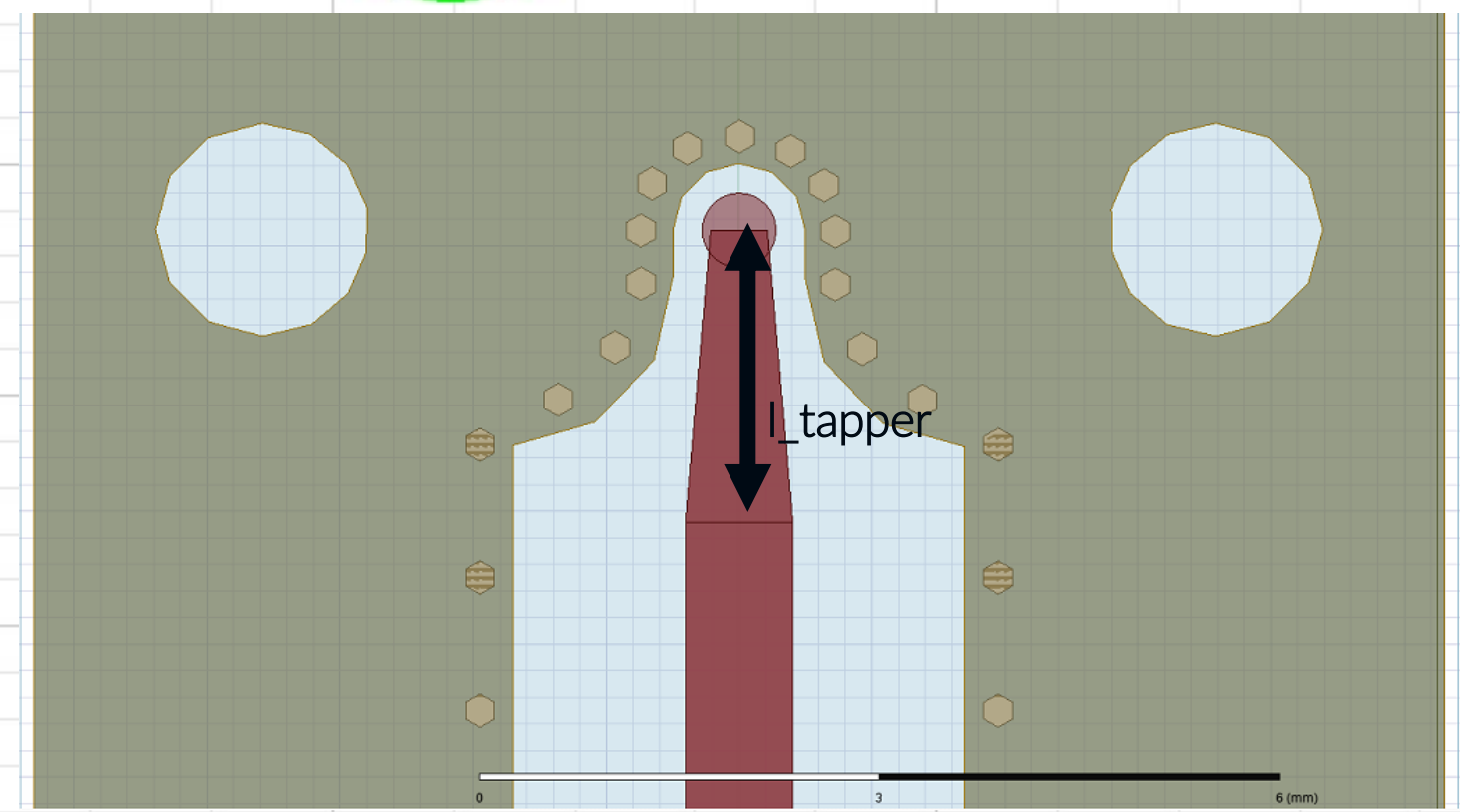
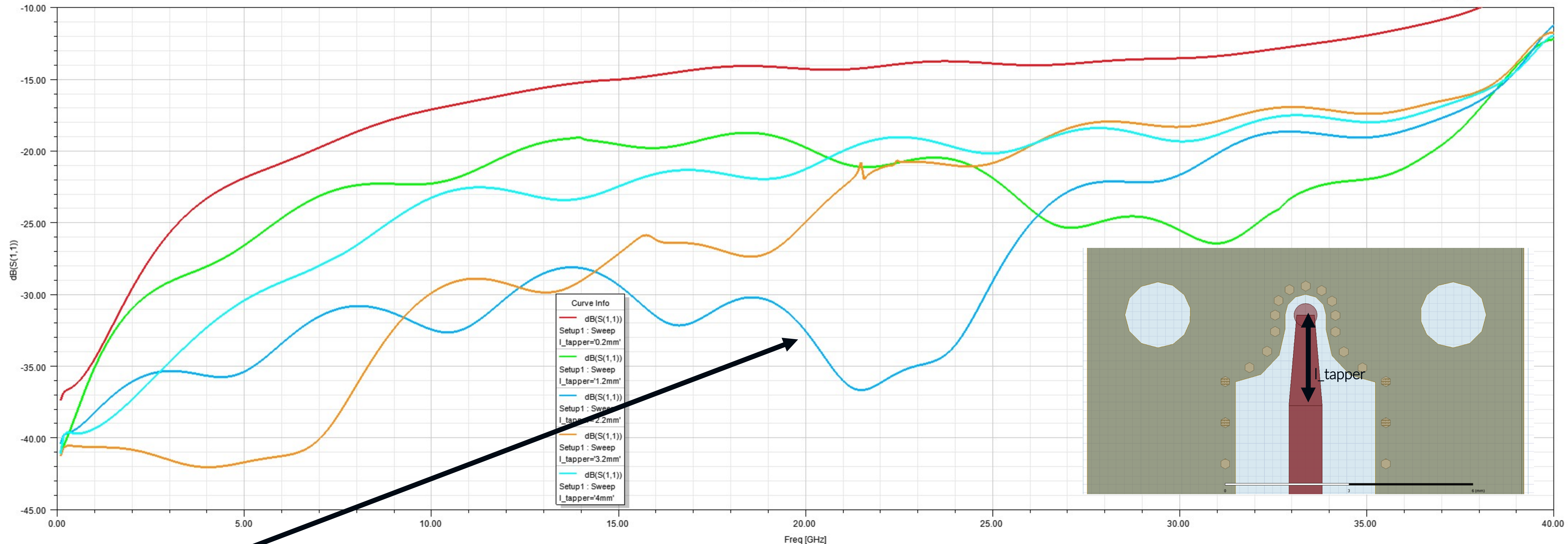
Optymalne przejście (2,2mm).

Wyprowadzenie pod złącze – przejście GCPW S11

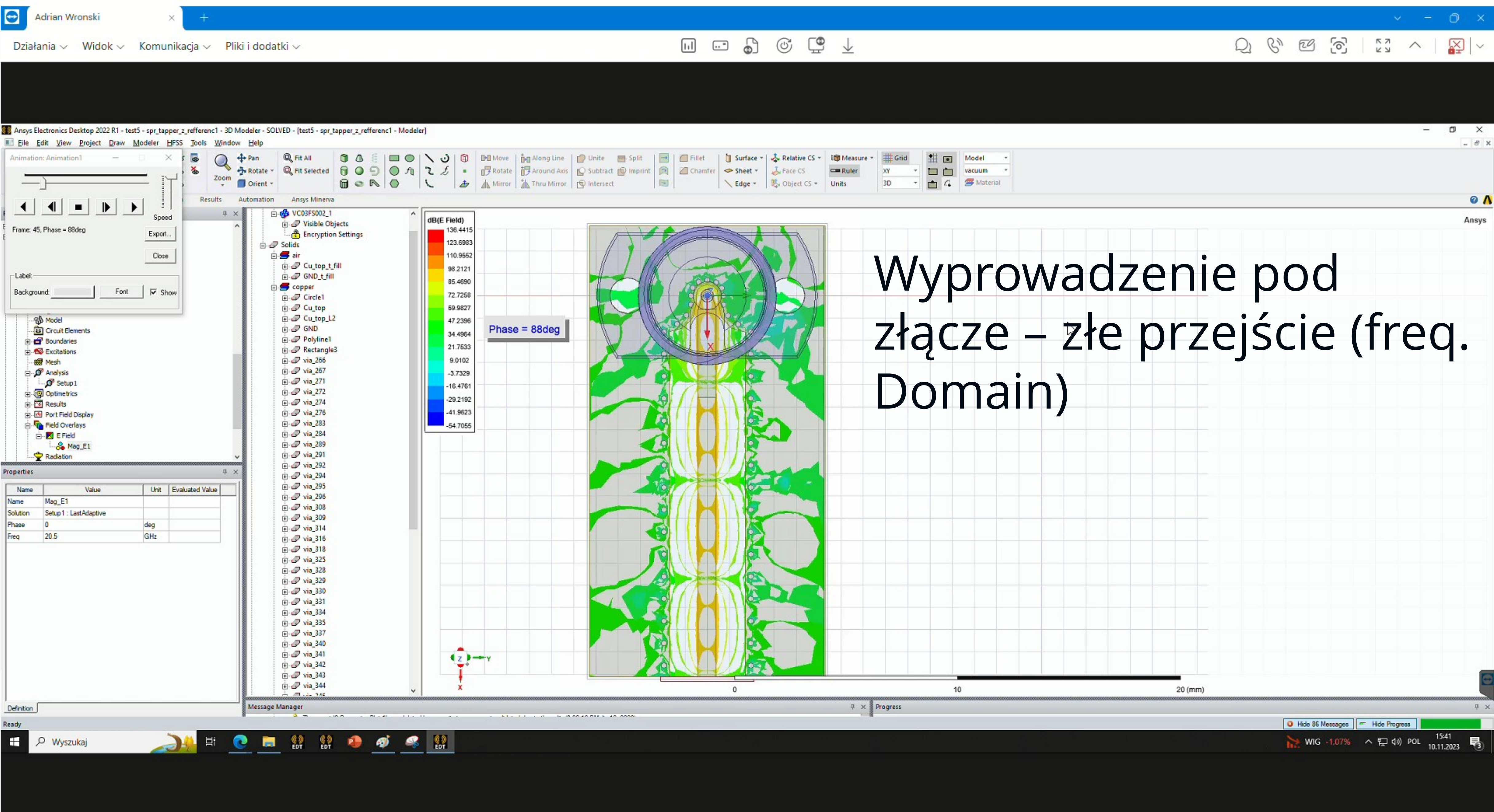


S Parameter Plot 2

spr_tapper_z_refferenc Ansys



Optymalne przejście (2,2mm).



Wyprowadzenie pod złącze – złe przejście (freq. Domain)

Adrian Wronski

Działania Widok Komunikacja Pliki i dodatki

Ansyes Electronics Desktop 2022 R1 - test5 - spr_tapper_z_referenc - 3D Modeler - SOLVED - (test5 - spr_tapper_z_referenc - Modeler)

File Edit View Project Draw Modeler HFSS Tools Window Help

Animation: Animation1

Frame: 233, Phase = -464deg

Speed

Export...

Close

Label:

Background: Font Show

TDR Impedance Plot 1

TDR Impedance Plot 2

TDRZ(1)

S Parameter Plot 1

dB(S(1,1))

TDR Impedance Plot 3

Port Field Display

Field Overlays

E Field

Mag_E1

Radiation

spr_tapper_z_referenc1 (Modal Network)*

spr_tapper_z_referenc2 (Modal Network)

spr_tapper_z_referenc3 (Transient Network)*

Properties

Name	Value	Unit	Evaluated Value
Name	Mag_E1		
Solution	Setup1 : LastAdaptive		
Phase	0	deg	
Freq	20.5	GHz	

Results Automation Ansys Minerva

dB(E Field)

110.4636

99.7273

88.9910

78.2548

67.5185

56.7822

46.0460

35.3097

24.5734

13.8372

3.1009

-7.6354

-18.3717

-29.1079

-39.8442

-50.5805

Phase = -464deg

0 10 20 (mm)

Ready

Wyszukaj

10°C Pochmurnie

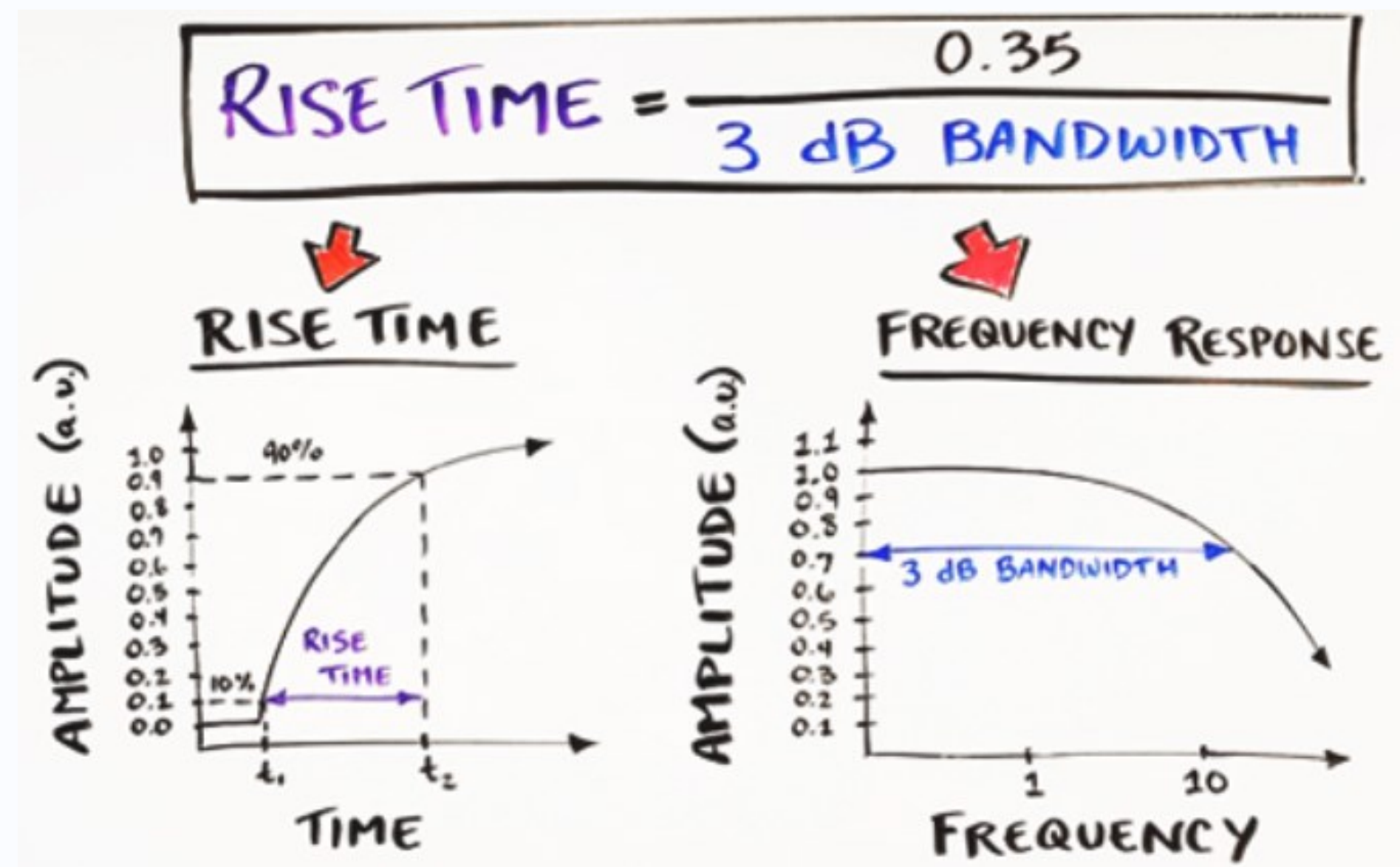
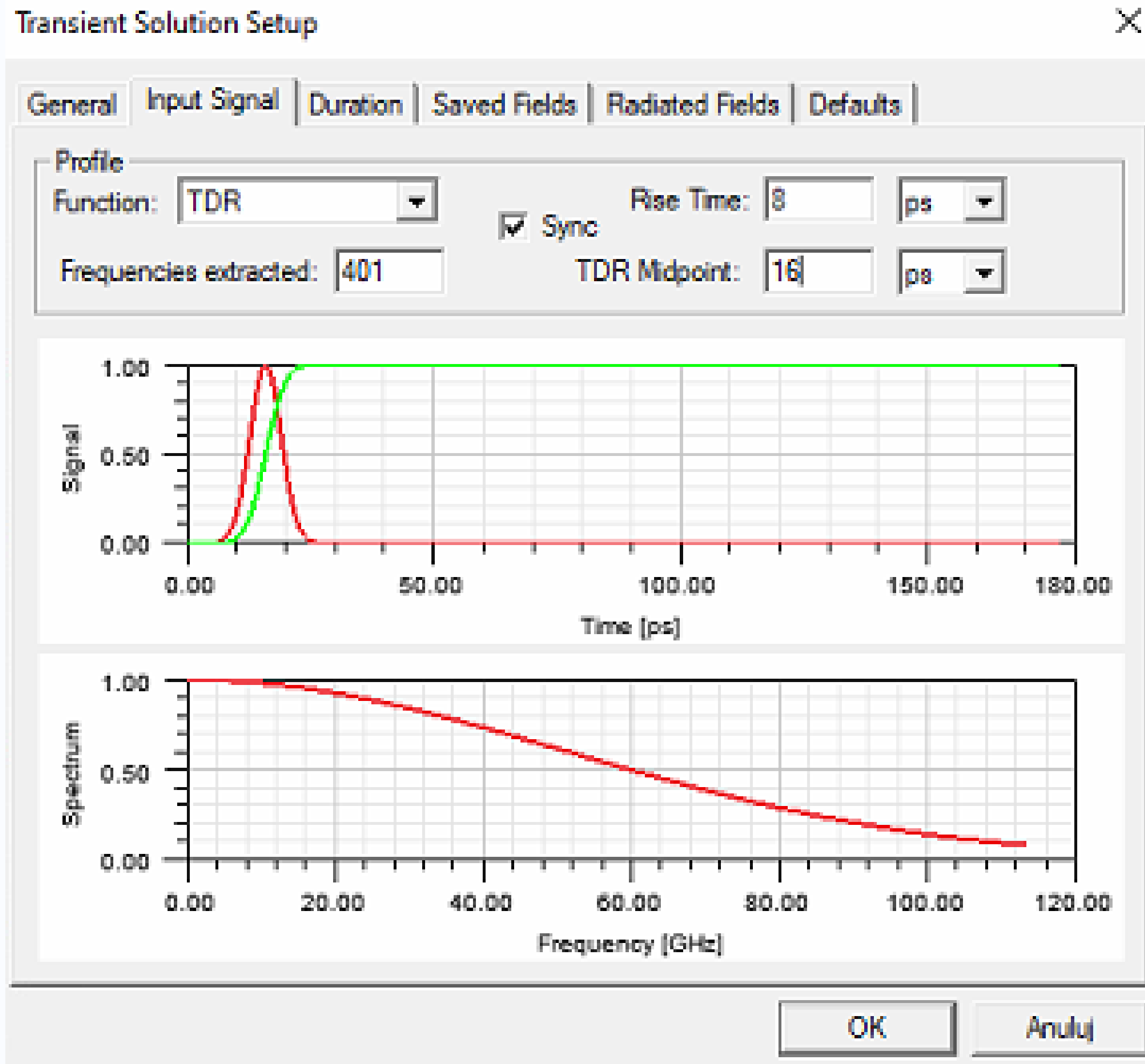
15:49

10.11.2023

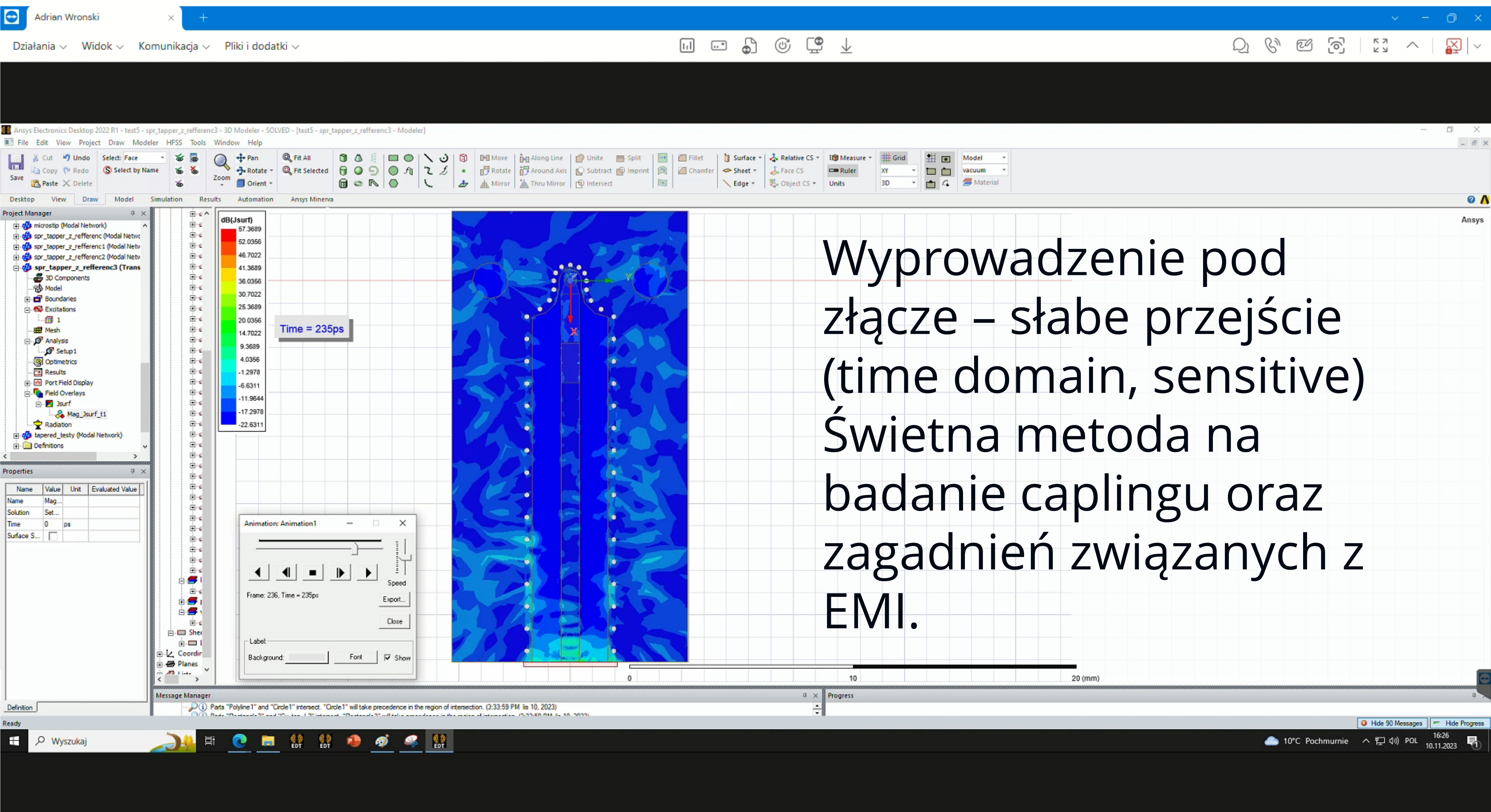
THORIUM
SPACE TECHNOLOGY

Wyprowadzenie pod złącze –
dobre przejście (freq.
Domain)

Wyprowadzenie pod złącze time domain



$$0,35/8ps = 43.7GHz$$



Wyprowadzenie pod
złącze – słabe przejście
(time domain, sensitive)
Świetna metoda na
badanie couplingu oraz
zagadnień związanych z
EMI.

Adrian Wronski

Działania ▾ Widok ▾ Komunikacja ▾ Pliki i dodatki ▾

Ansys Electronics Desktop 2022 R1 - test5 - spr_tapper_z_referenc3 - 3D Modeler - SOLVED - [test5 - spr_tapper_z_referenc3 - Modeler]

File Edit View Project Draw Modeler HFSS Tools Window Help

Save Cut Copy Paste Undo Redo Select: Face Select by Name Zoom Pan Rotate Fit All Fit Selected

Move Along Line Unite Split Fillet Surface Relative CS Measure Grid Model

Rotate Around Axis Subtract Imprint Chamfer Sheet Face CS Ruler XY vacuum

Mirror Thru Mirror Intersect Edge Object CS Units 3D Material

Desktop View Draw Model Simulation Results Automation Ansys Minerva

Project Manager

- Setup1
- Optimetrics
- Results
- Port Field Display
- Field Overlays
- Jsurf
- Mag_jsurf_t1
- Radiation
- spr_tapper_z_referenc4 (Transient Netv)
- 3D Components
- Model
- Boundaries
- LumpRLC1
- Rad1
- Excitations
- 1
- Mesh
- Analysis
- Setup1
- Optimetrics
- Results
- Port Field Display

Properties

Name	Value	Unit	Evaluated Value
Name	Mag_J...		
Solution	Setup...		
Time	0	ps	
Surface S...			

dB(Jsurf)

5.1000E+01
4.7667E+01
4.4333E+01
4.1000E+01
3.7667E+01
3.4333E+01
3.1000E+01
2.7667E+01
2.4333E+01
2.1000E+01
1.7667E+01
1.4333E+01
1.1000E+01
7.6667E+00
4.3333E+00
1.0000E+00

Time = 285ps

Animation: Animation1

Frame: 96, Time = 285ps

Speed

Export...

Close

Label

Background: Font Show

0 10 20 (mm)

Message Manager

Progress

Ready

Wyszukaj

CZK/PLN -0.22% POL 21:42 10.11.2023

Hide 13 Messages Hide Progress

Wyprowadzenie pod złącze – słabe przejście (time domain)

Adrian Wronski

Działania ▾ Widok ▾ Komunikacja ▾ Pliki i dodatki ▾

File Edit View Project Draw Modeler HFSS Tools Window Help

Save Cut Copy Paste Undo Redo Select: Face Select by Name Zoom Pan Rotate Fit All Fit Selected

Move Along Line Unite Split Fillet Surface Relative CS Measure Grid Model

Chamfer Sheet Edge Face CS Object CS Ruler Units XY 3D vacuum Material

Desktop View Draw Model Simulation Results Automation Ansys Minerva

Project Manager

- 3D Components
 - Model
 - Boundaries
 - LumpRLC1
 - Rad1
 - Excitations
 - 1
 - Mesh
 - Analysis
 - Setup1
 - Optimetrics
 - Results
 - Port Field Display
 - Field Overlays
 - Jsurf
 - Mag_jsurf_t1
 - Radiation
 - tapered_testy (Modal Network)
 - Definitions
 - TRL_Cal_Testboard_v1p0_xxxx*
 - TRL_gcpw*
 - wyniki_VNA

Properties

Name	Value	Unit	Evaluated Value
Name	Mag_J...		
Solution	Setup...		
Time	0	ps	
Surface S...			

dB(Jsurf)

5.1000E+01
4.7667E+01
4.4333E+01
4.1000E+01
3.7667E+01
3.4333E+01
3.1000E+01
2.7667E+01
2.4333E+01
2.1000E+01
1.7667E+01
1.4333E+01
1.1000E+01
7.6667E+00
4.3333E+00
1.0000E+00

Time = 290ps

Animation: Animation1

Frame: 146, Time = 290ps

Speed

Export...

Close

Label

Background: Font Show

0 10 20 (mm)

Message Manager

Progress

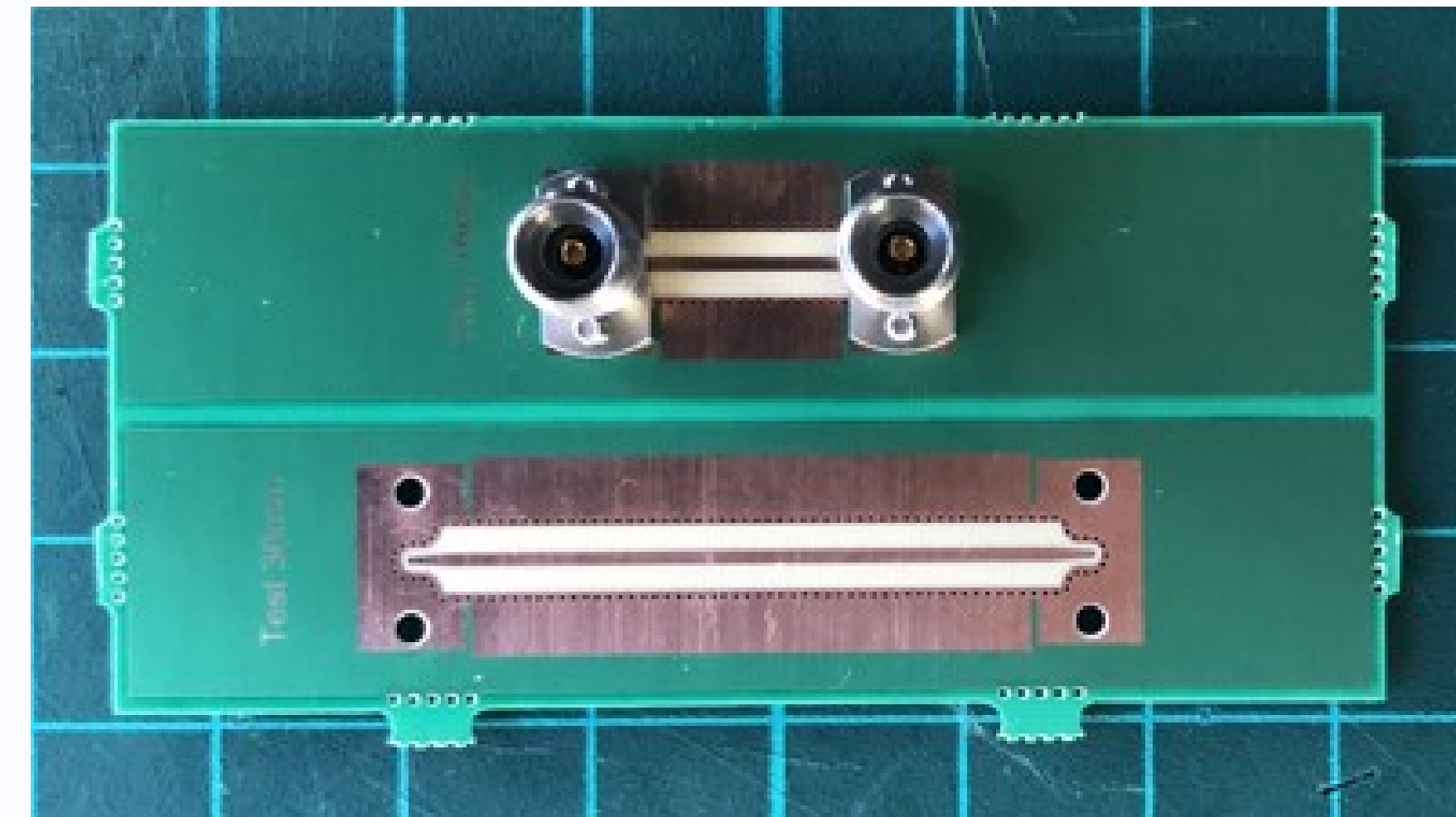
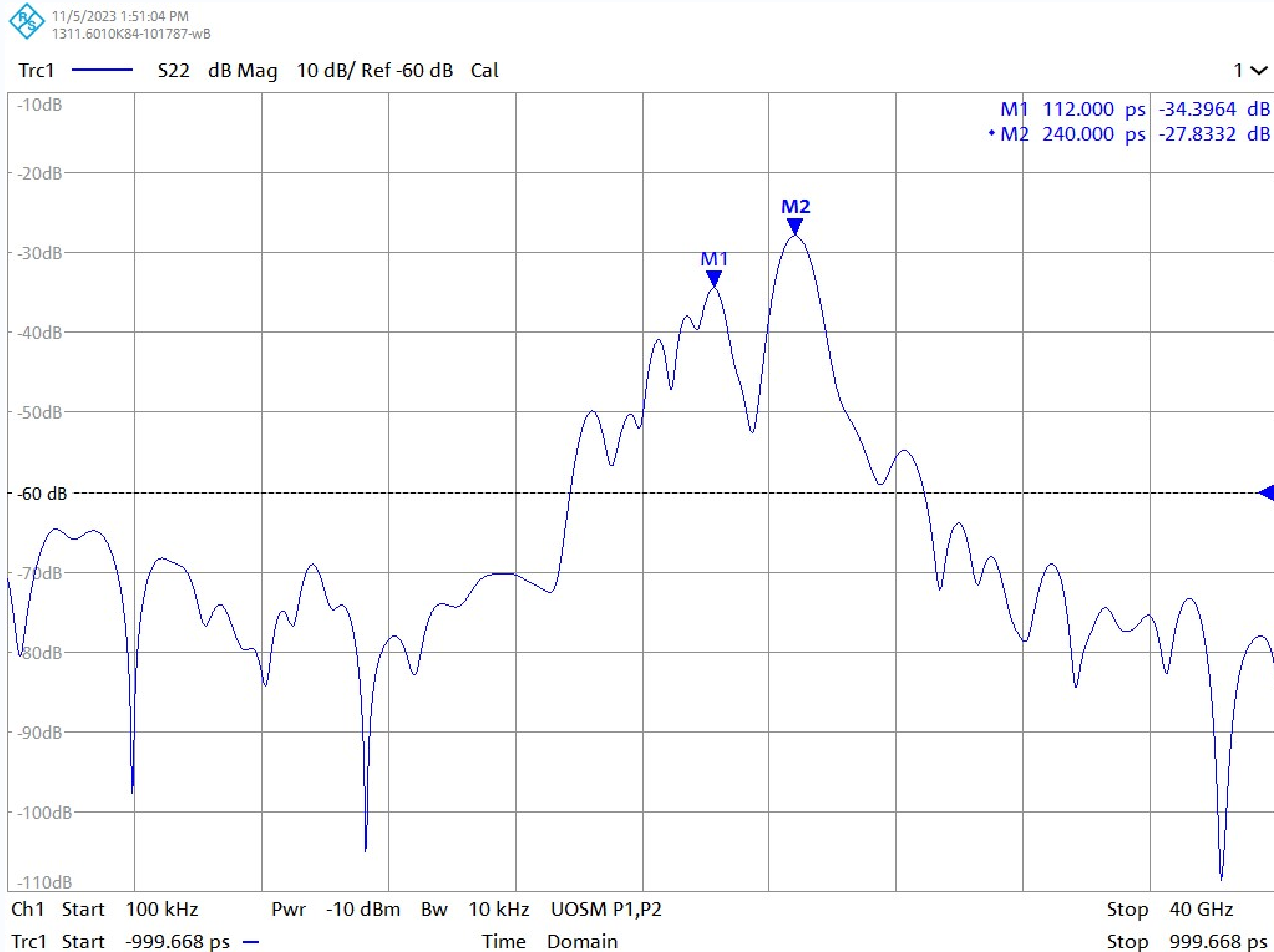
Ready

Wyszukaj

6°C Pochmurnie 21:44 10.11.2023

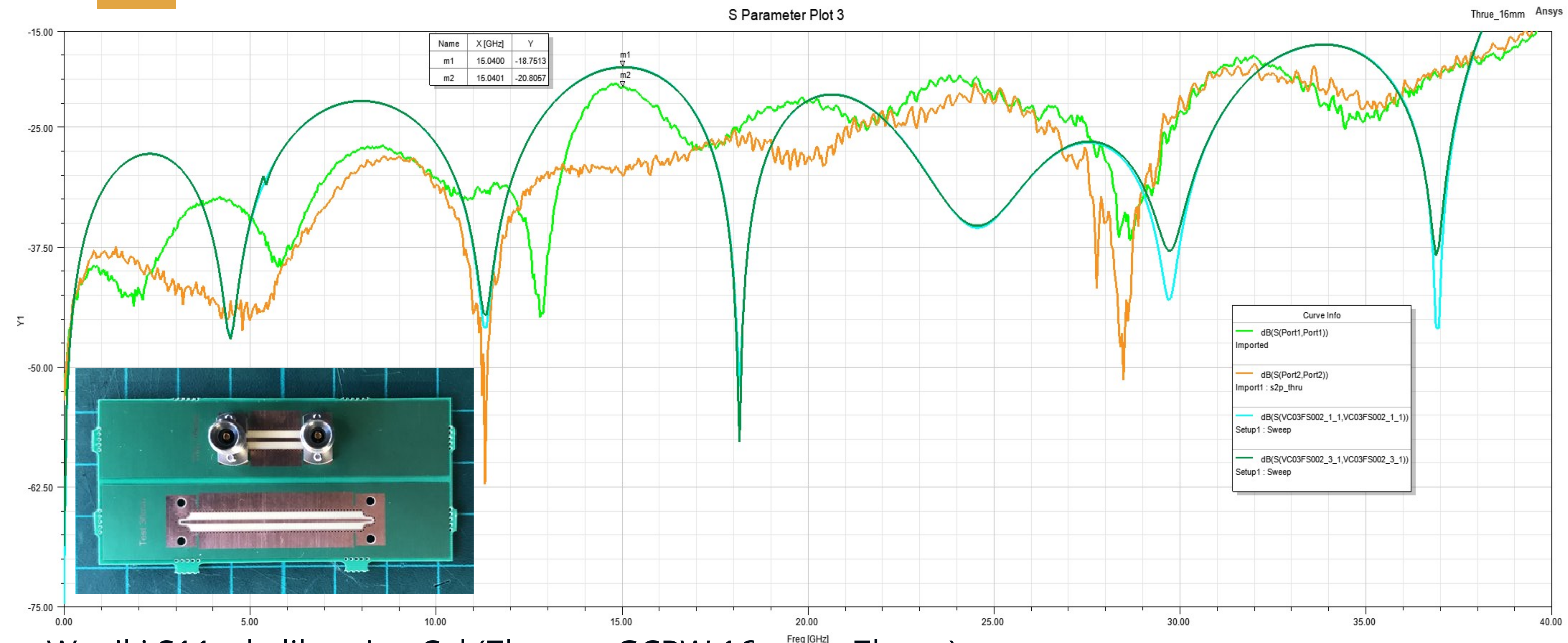
Wyprowadzenie pod złącze - lepsze przejście (time domain)

Wyprowadzenie pod złącze – pomiary 16mm GCPW VNA eCal TDR



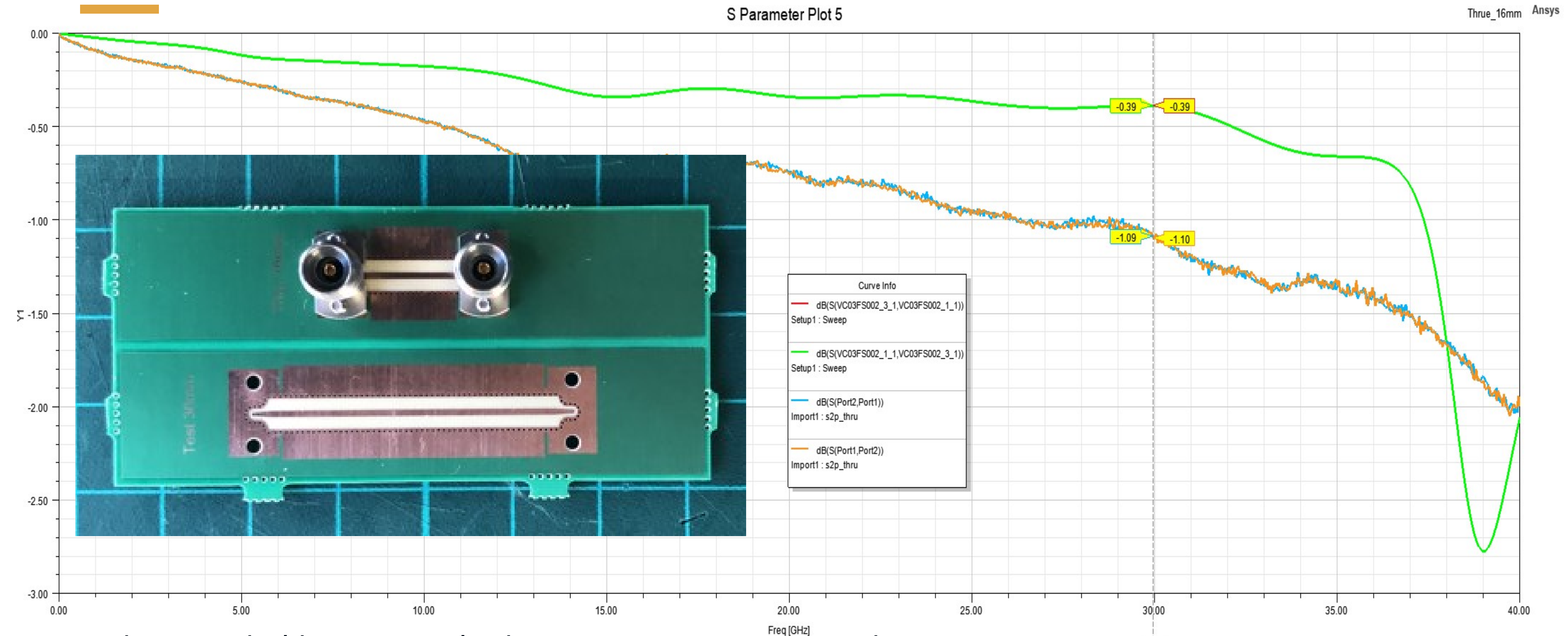
- Na styku złącz z linią GCPW widać niewielkie odbicia, rzędu -34dB oraz -27dB.

Wyprowadzenie pod złącze - eCal 16mm GCPW S11 (pomiar VNA + HFSS)



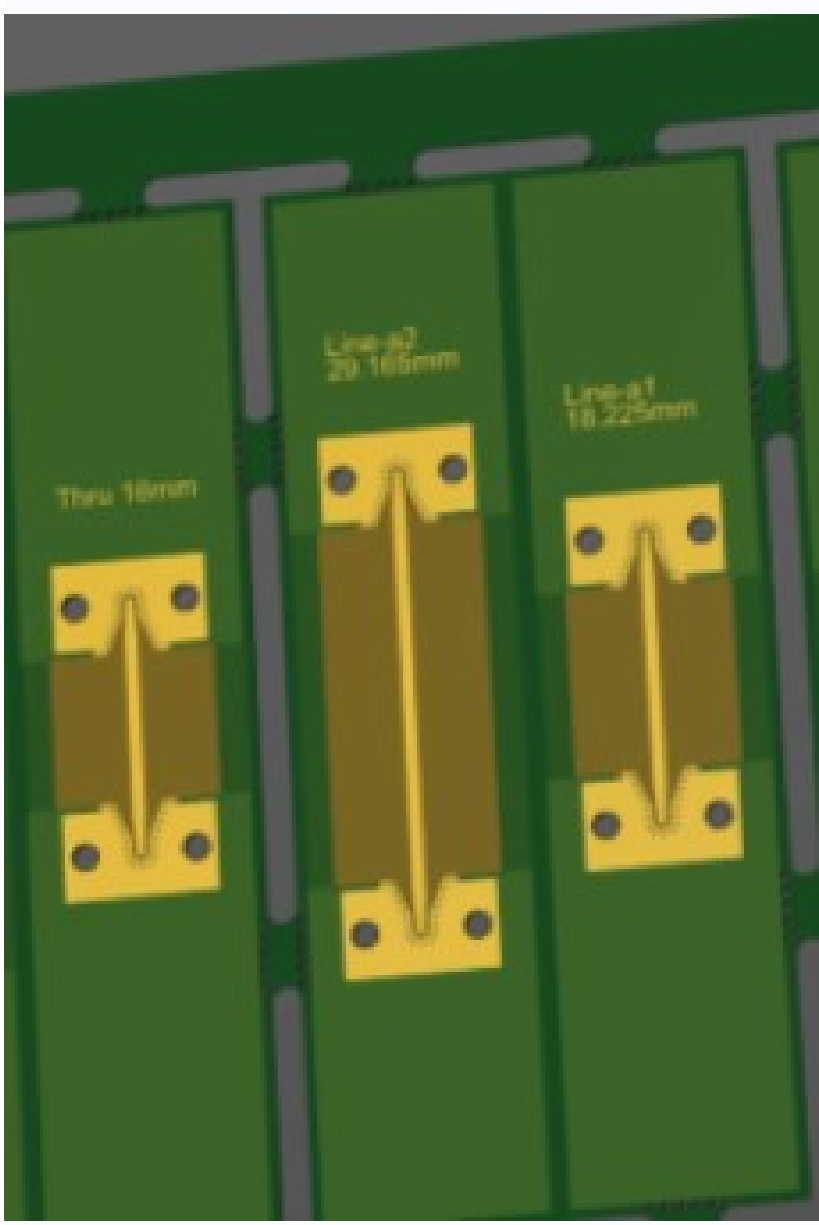
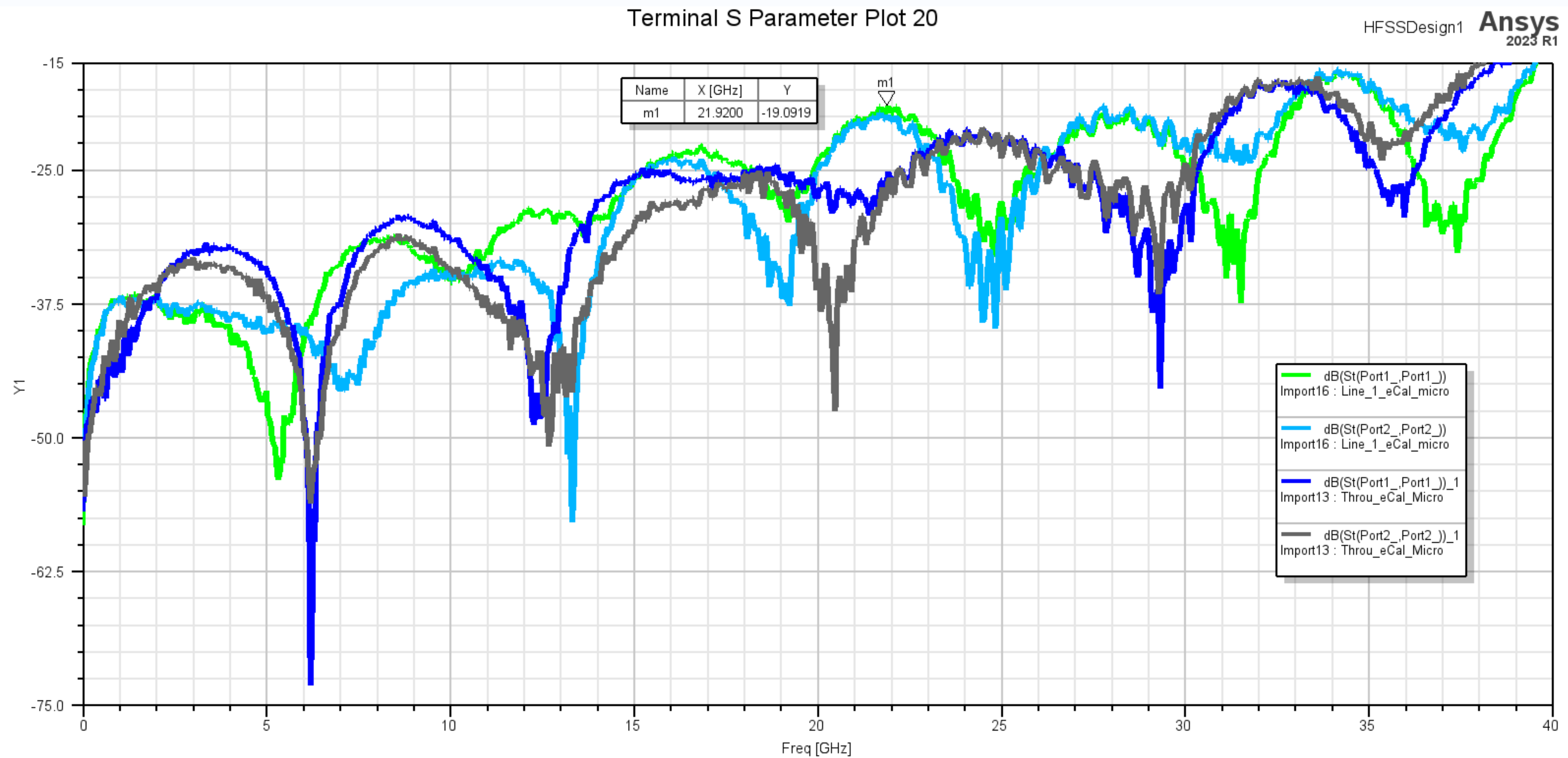
- Wyniki S11 z kalibracją eCal (Złącze – GCPW 16mm – Złącze);
- Wyniki pomiarów zbiegają się z wynikami symulacji HFSS.

Wyprowadzenie pod złącze – eCal 16mm GCPW S21 (pomiar VNA + HFSS)



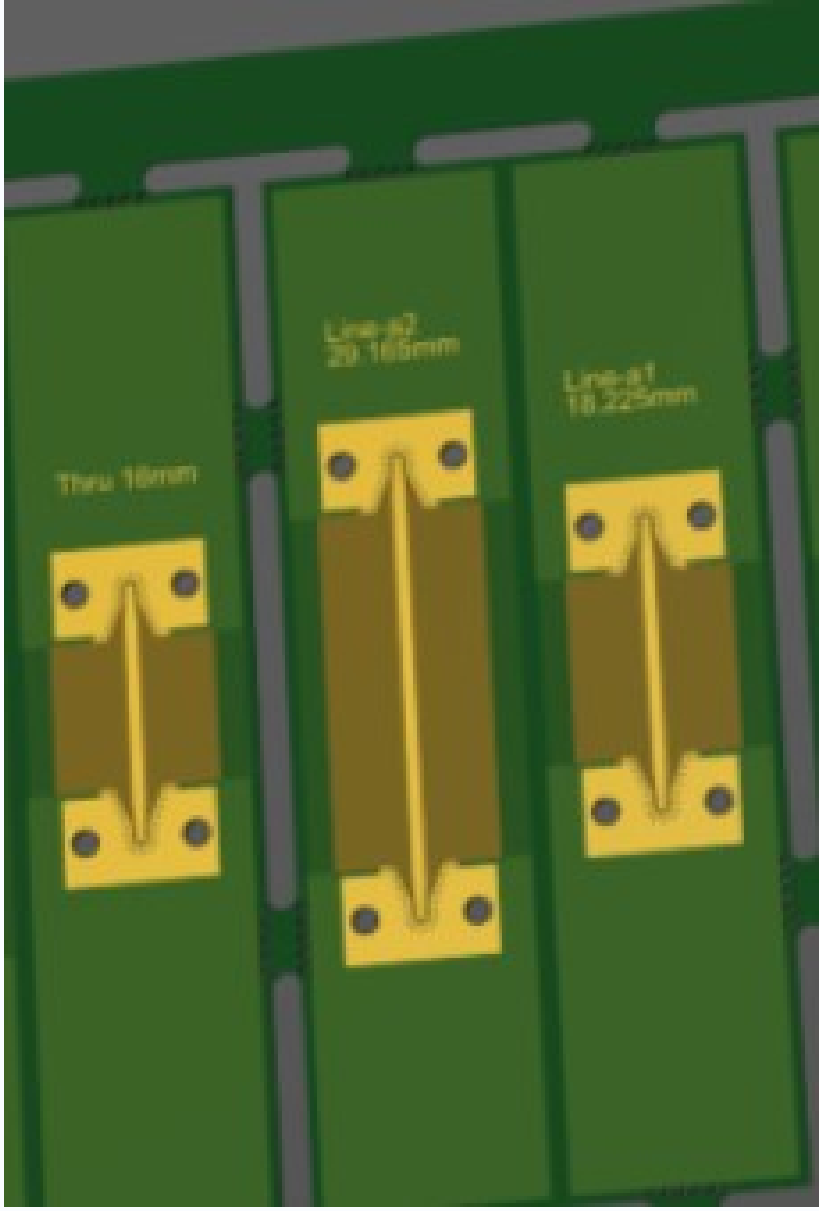
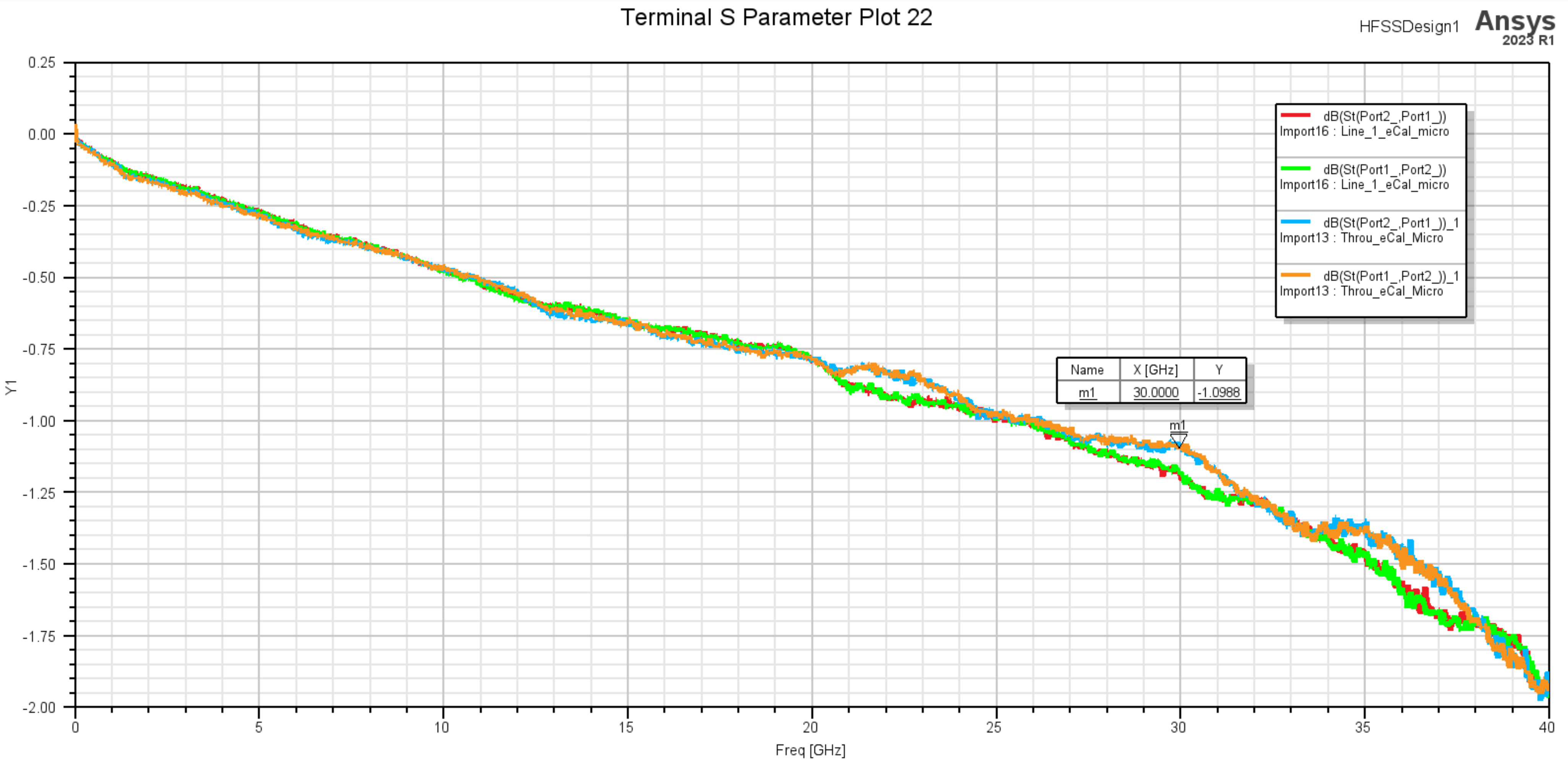
- Wyniki S21 z kalibracją eCal (Złącze – GCPW 16mm – Złącze);
- Różnica w tłumieniu na 30GHz dla HFSS v.s pomiary = 0.71dB.
- W symulacji nie uwzględniono surface roughness oraz połączenia kabli ze złączami.

Wyprowadzenie pod złącze - eCal 16mm microstrip S11 (pomiar VNA)



- Wyniki bardzo podobne do wyników dla linii GCPW.

Wyprowadzenie pod złącze - eCal 16mm microstrip S21 (pomiar VNA)



- Wyniki identyczne jak dla linii GCPW. IR = 1,1dB dla f = 30GHz.

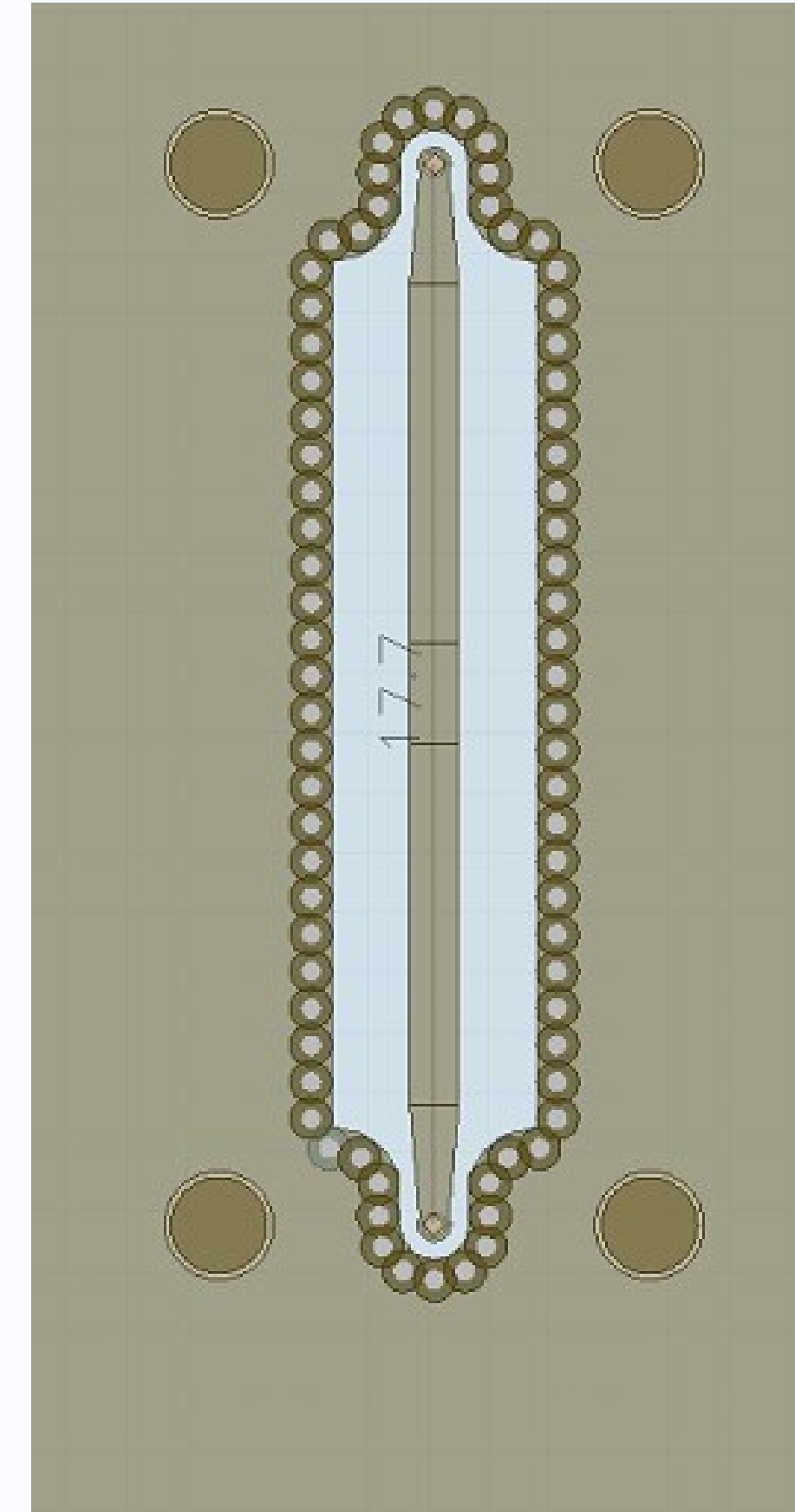
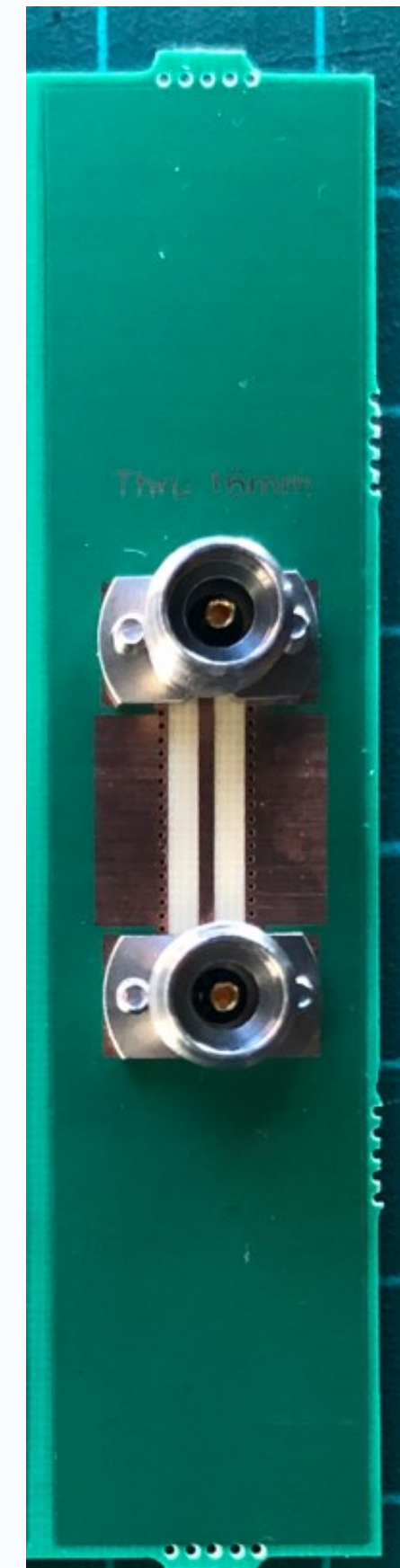
TRL (Thru-Reflect-Line)

- Została wykonana kalibracja TRL z jedną linią o długości 16mm + 1,7mm w paśmie 20GHz – 34GHz co daje:

66,6° przesunięcia dla 20GHz

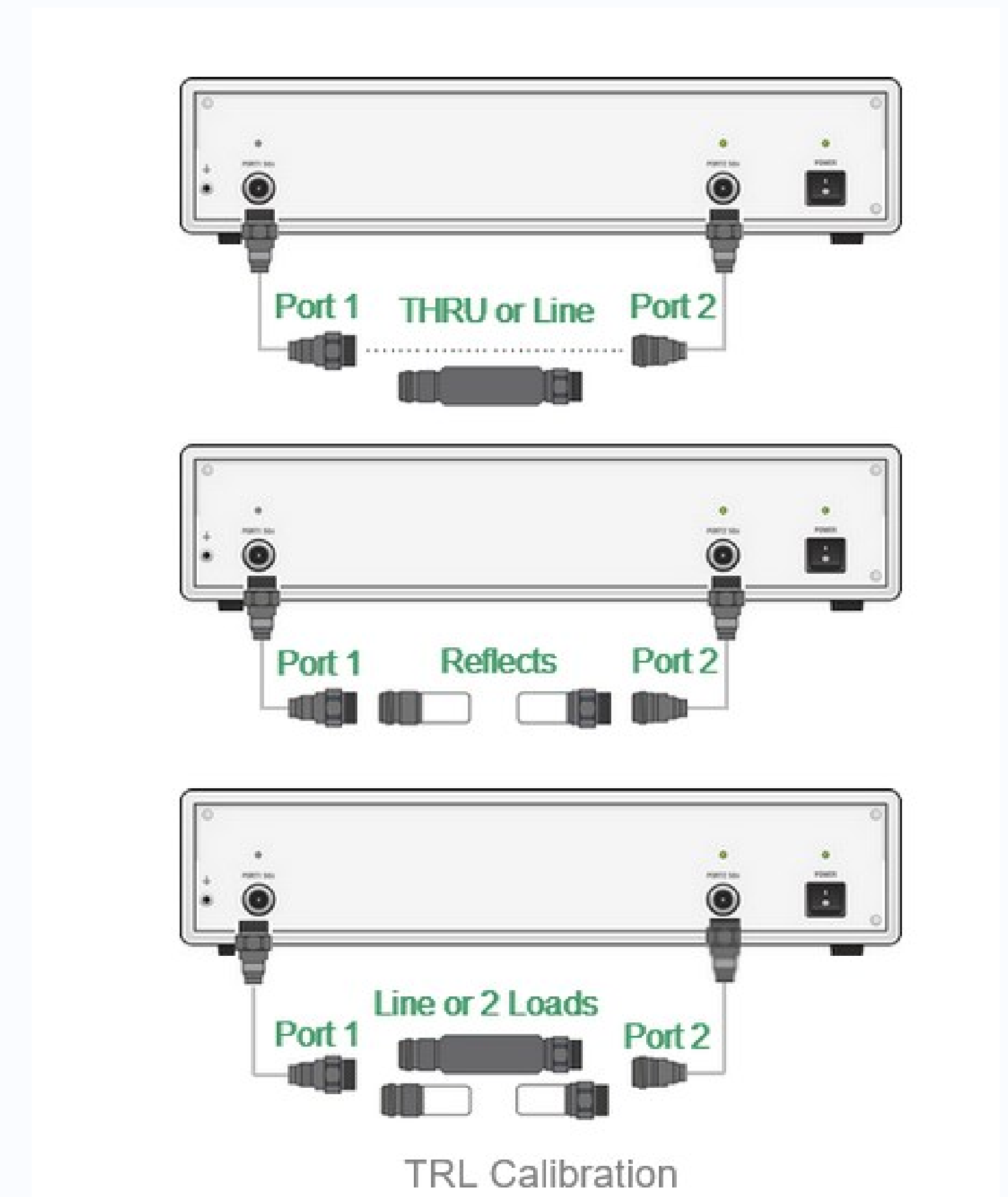
113,33° przesunięcia dla 34GHz

Jesteśmy w bezpiecznym zakresie
(daleko od 20 ° i 160 °)



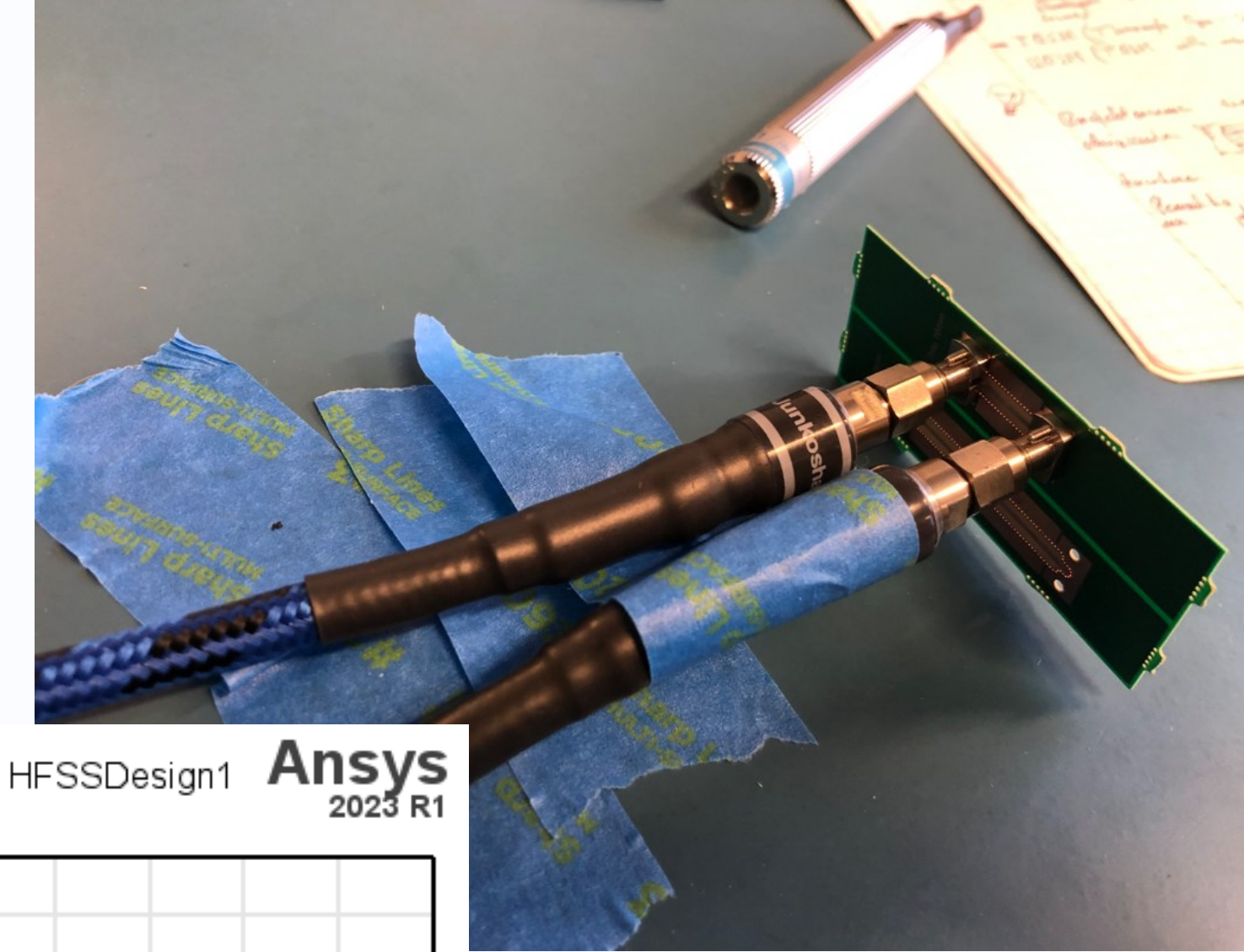
TRL (Thru-Reflect-Line)

- Kalibracja z jedną linią umożliwia nam kalibracje w paśmie 1:8.
- Kalibracja z dwiema liniami umożliwia nam kalibracje w paśmie 1:64.
- Kalibracja z trzema liniami umożliwia nam kalibracje w paśmie 1:512.
- Kalibracja z trzema liniami umożliwia nam kalibracje w paśmie 1:4096.



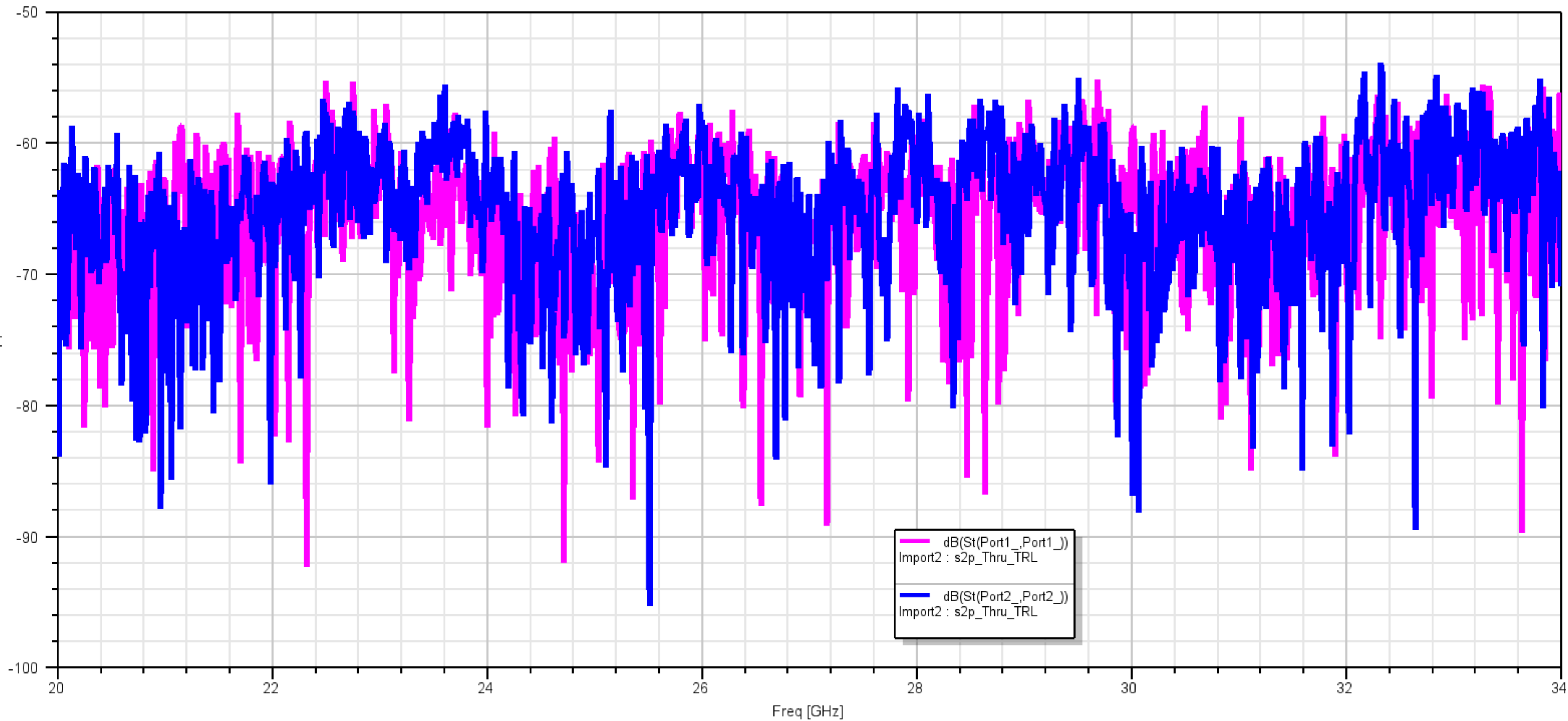
TRL (Thru-Reflect-Line) (pomiar VNA)

Przejsie Thru S11



Terminal S Parameter Plot 3

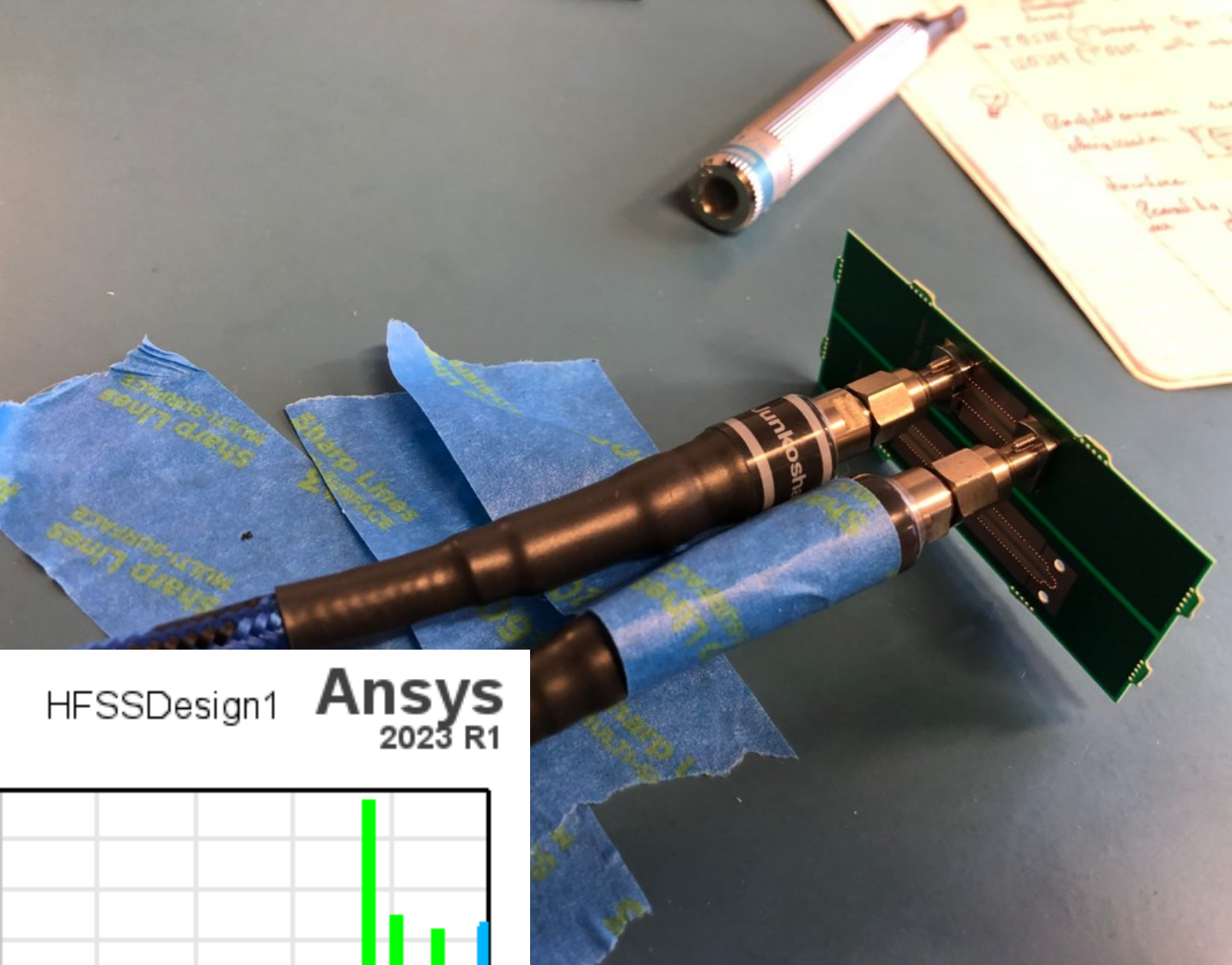
HFSSDesign1 Ansys
2023 R1



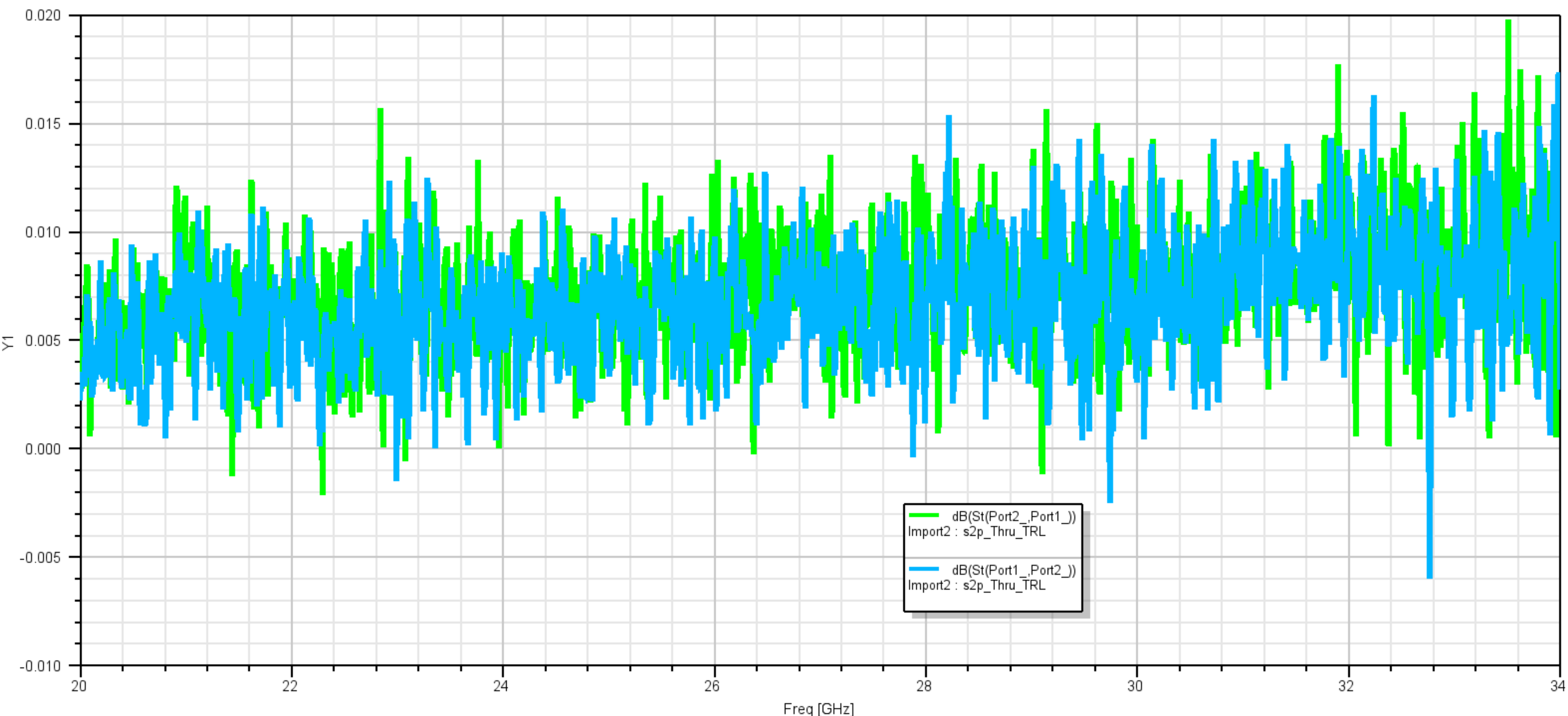
TRL (Thru-Reflect-Line) (pomiar VNA)

Przejsie Thru S21

Terminal S Parameter Plot 8

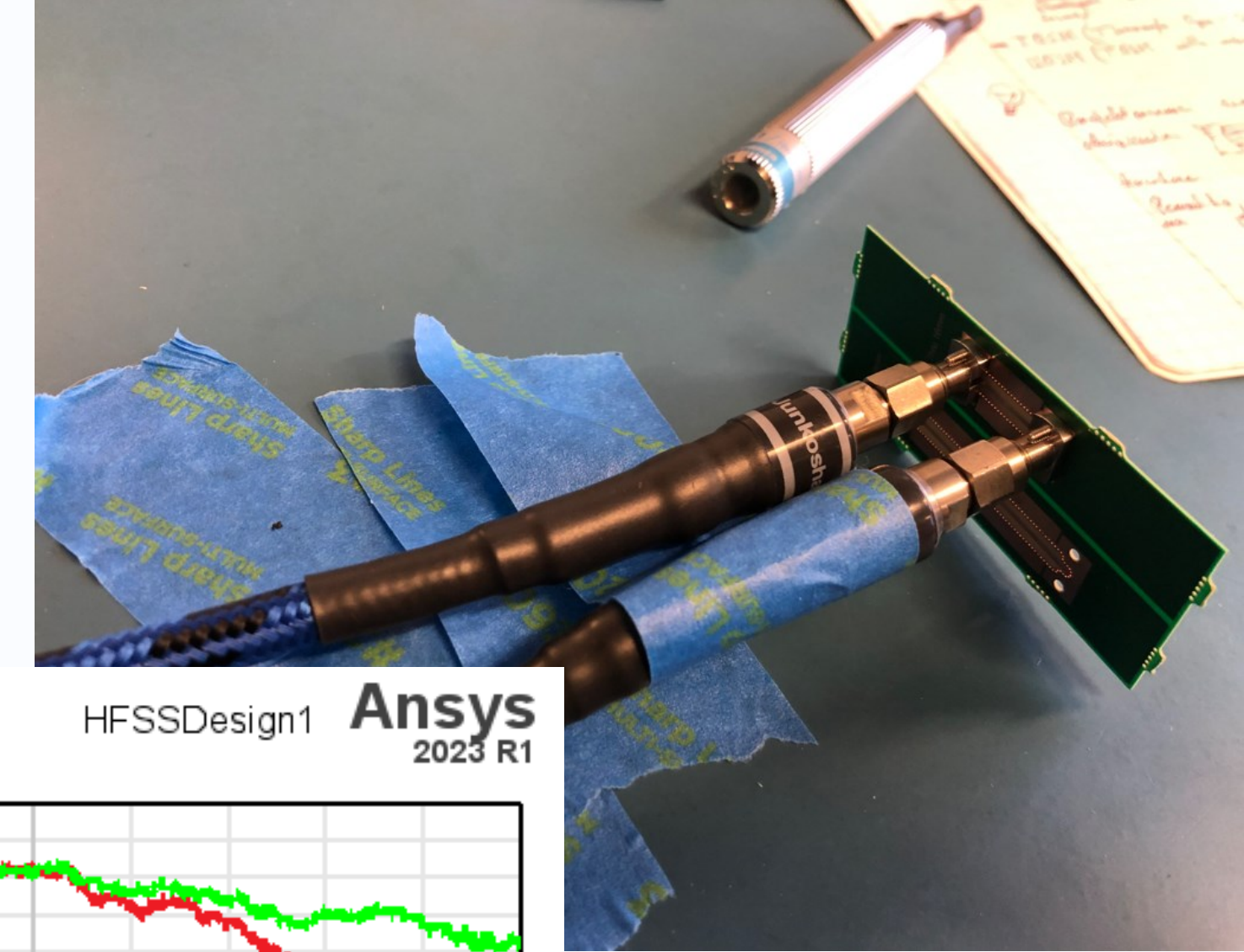


HFSSDesign1 **Ansys**
2023 R1



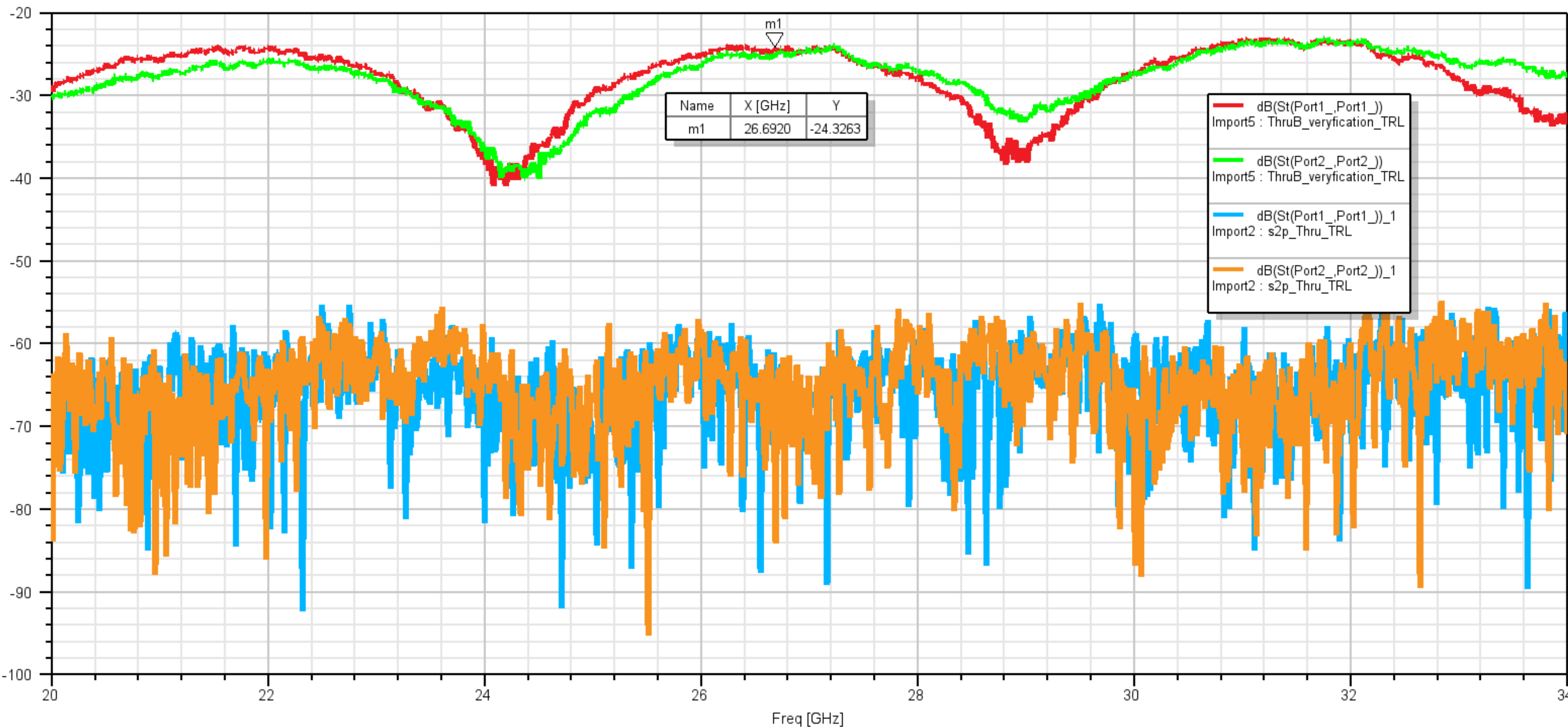
TRL (Thru-Reflect-Line)

Przejście Thru S11 – drugi egzemplarz Thru celem weryfikacji



Terminal S Parameter Plot 9

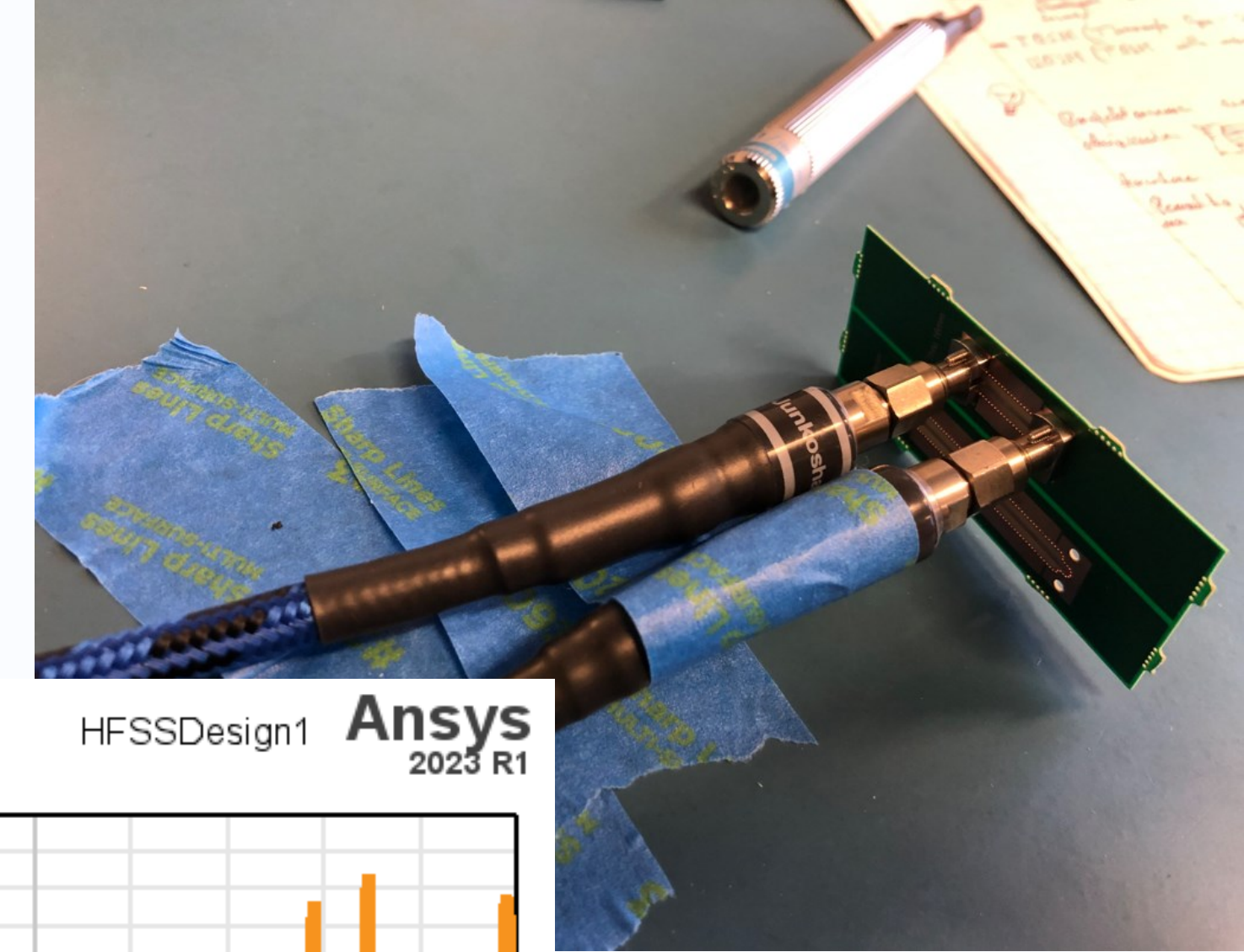
HFSSDesign1 **Ansys**
2023 R1



W ten sposób możemy weryfikować same złącza. Gorsze wartości S11 wynikają z ograniczeń złącza, ale spełniają spec. Tech. Prod.

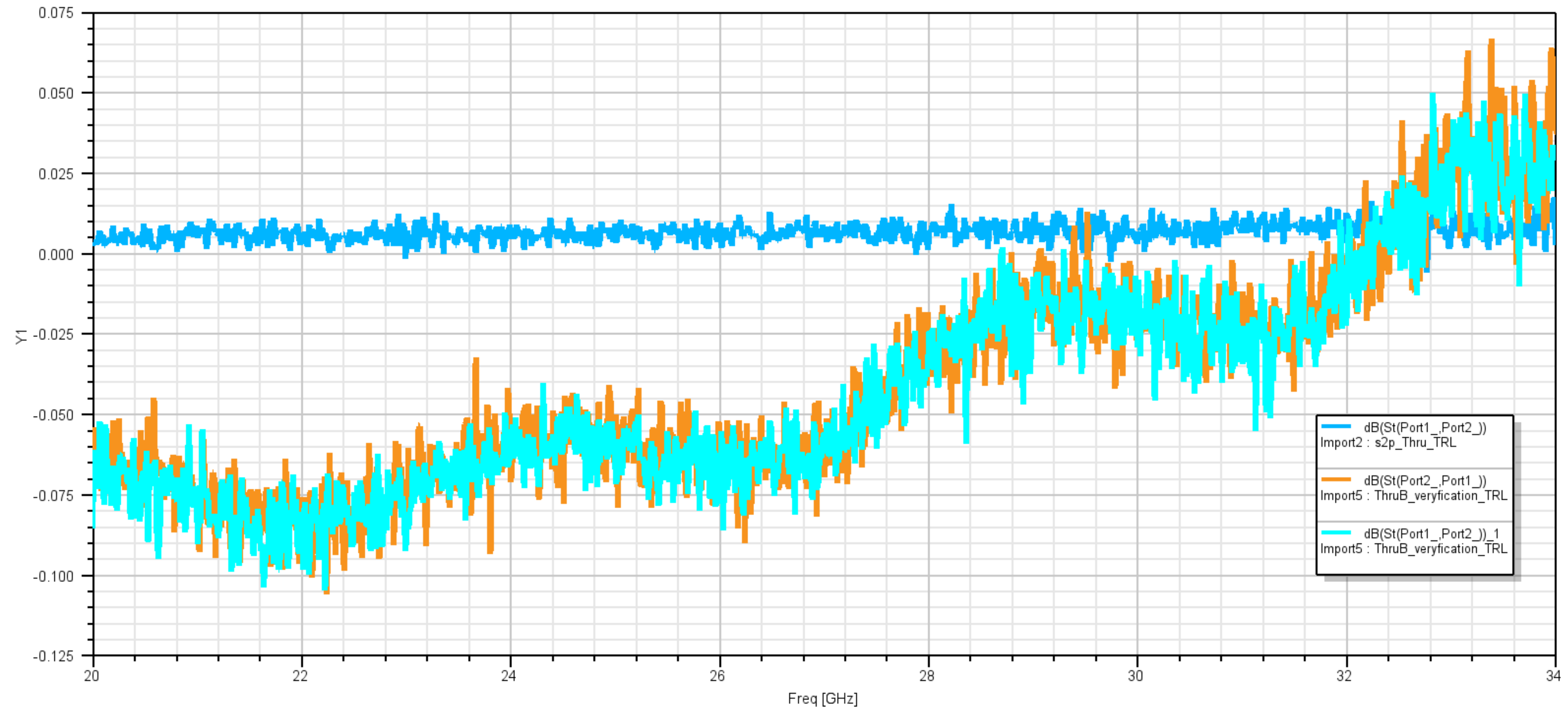
TRL (Thru-Reflect-Line) (pomiar VNA)

Przejsie Thru S21 - drugi egzemplarz Thru celem weryfikacji



Terminal S Parameter Plot 8

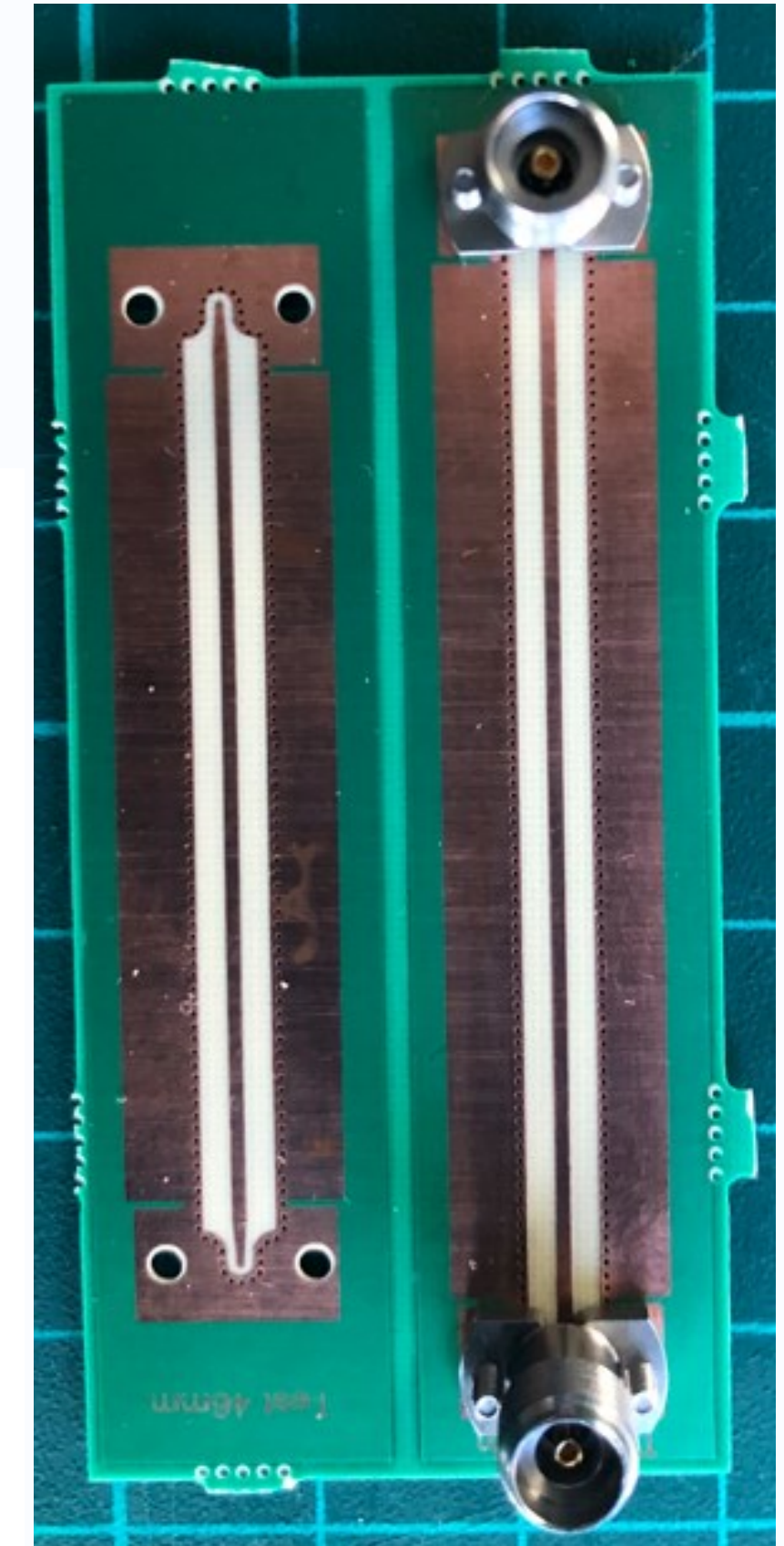
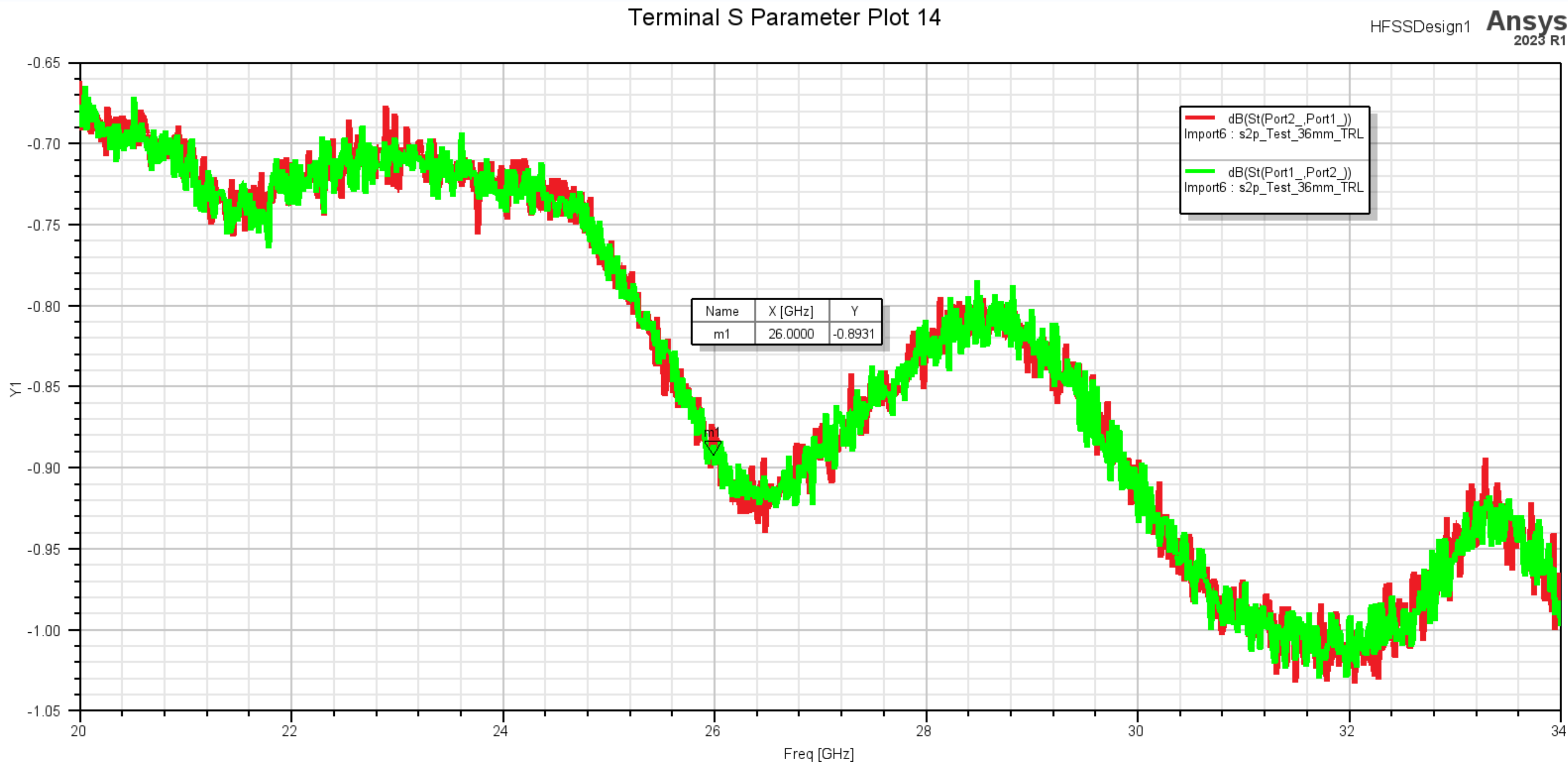
HFSSDesign1 **Ansys**
2023 R1



TRL (Thru-Reflect-Line) (pomiar VNA)

Przejdźcie **Test 36mm** – tłumienie wtrąceniowe linii dla 26GHz.

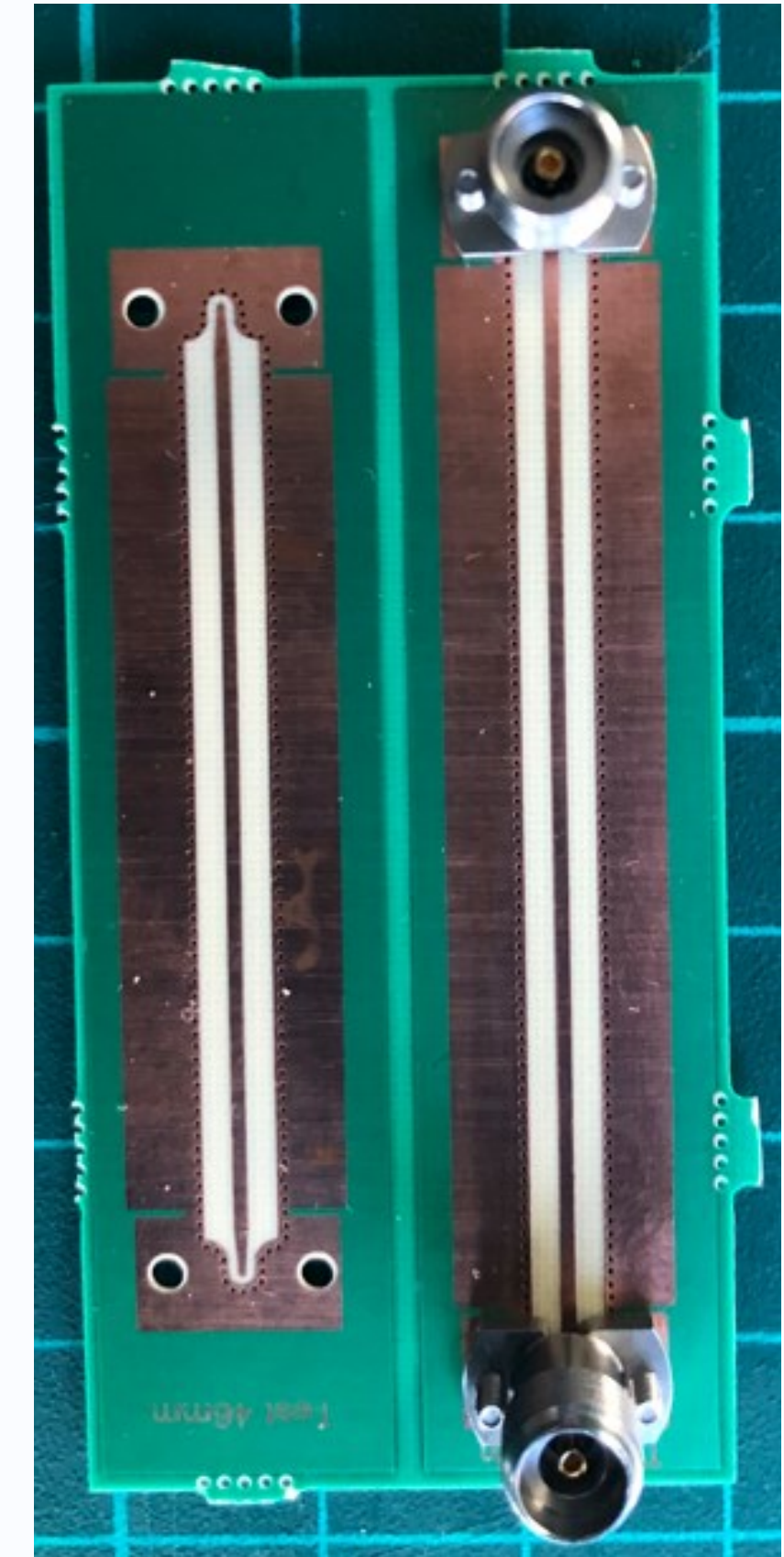
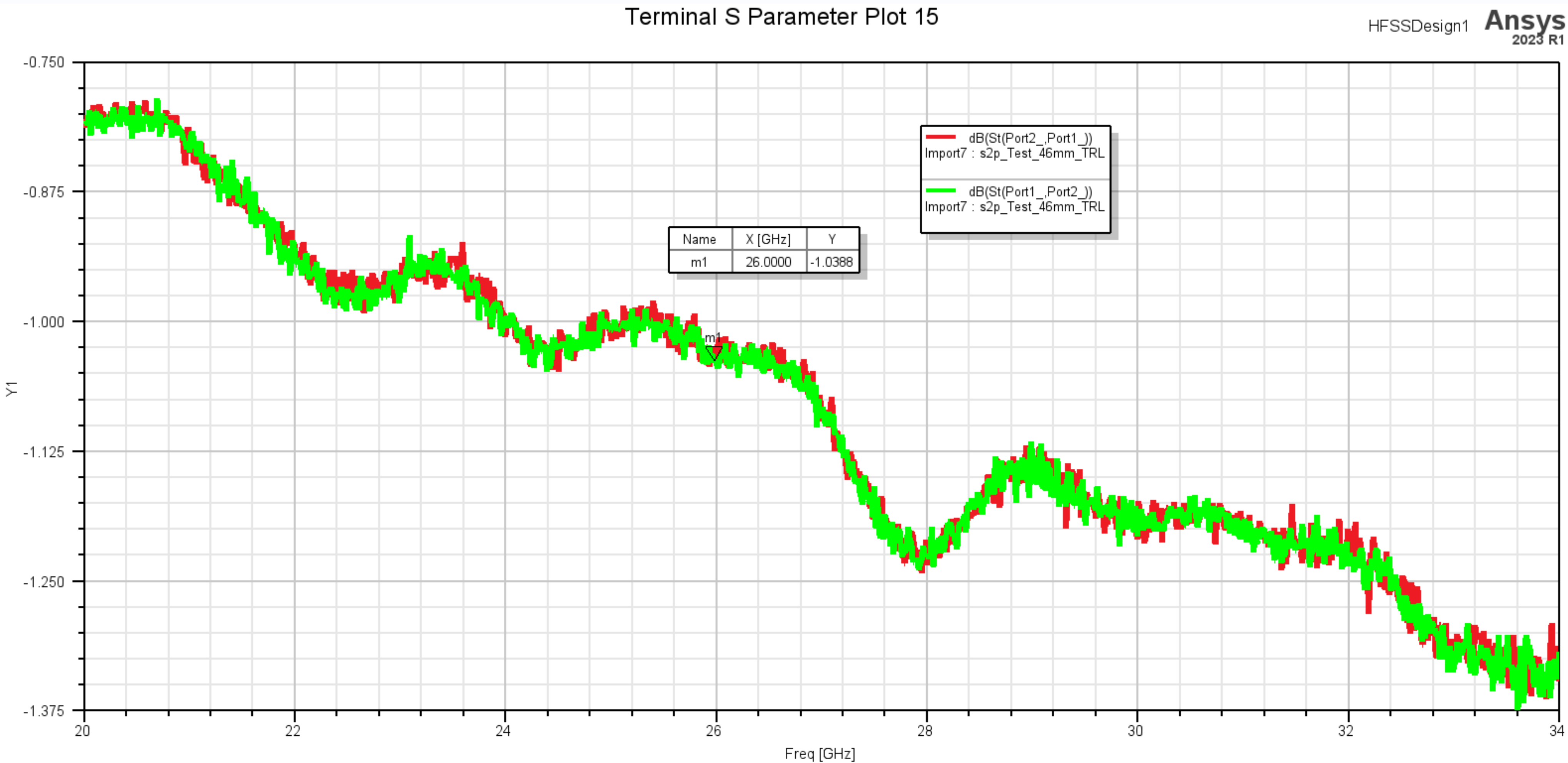
$0,89\text{dB} / 20\text{mm} = 0.0445\text{dB}/\text{mm}$.



TRL (Thru-Reflect-Line) (pomiar VNA)

Przebieg **Test 46mm** – tłumienie wtrąceniowe linii dla 26GHz.

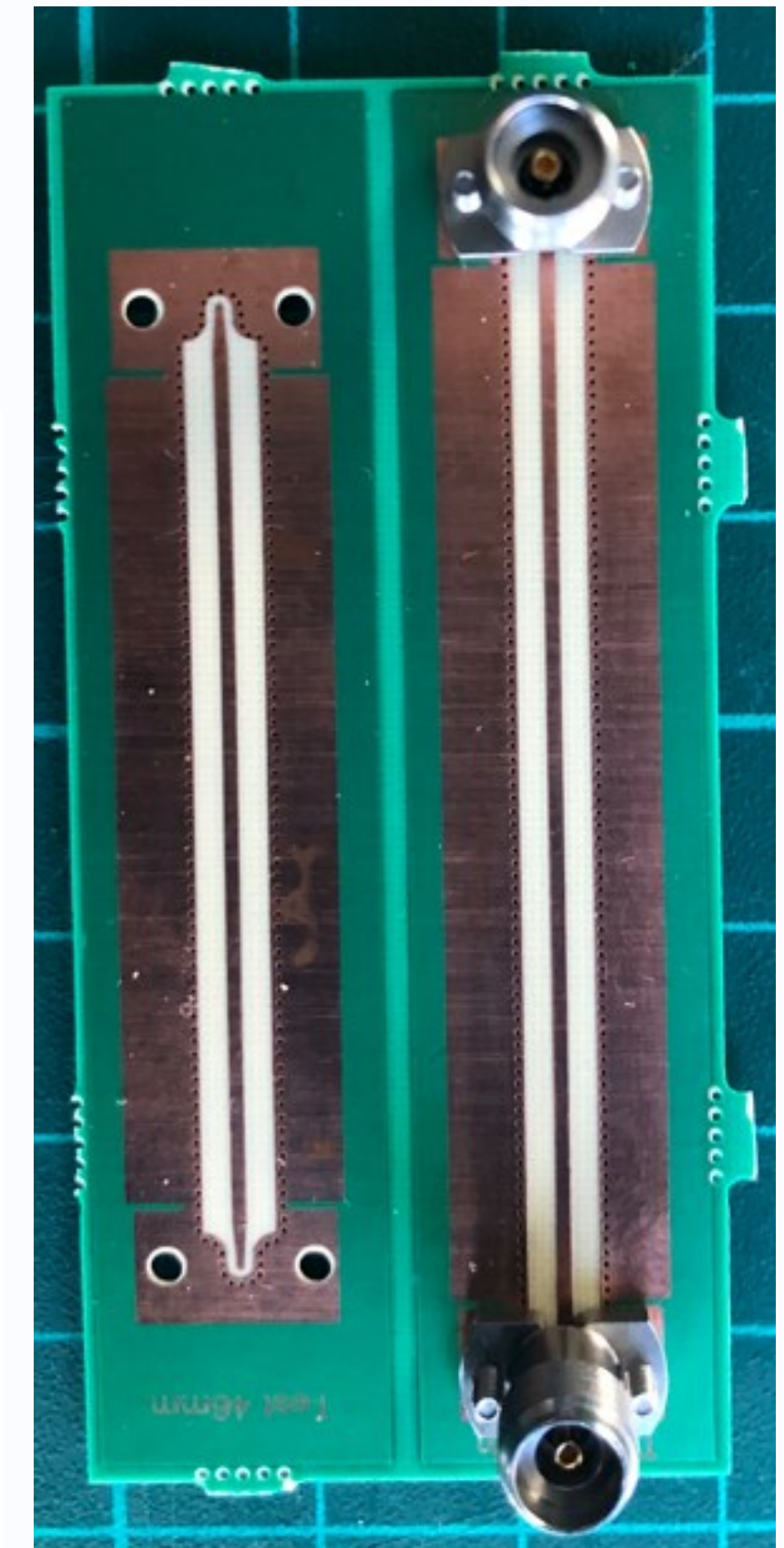
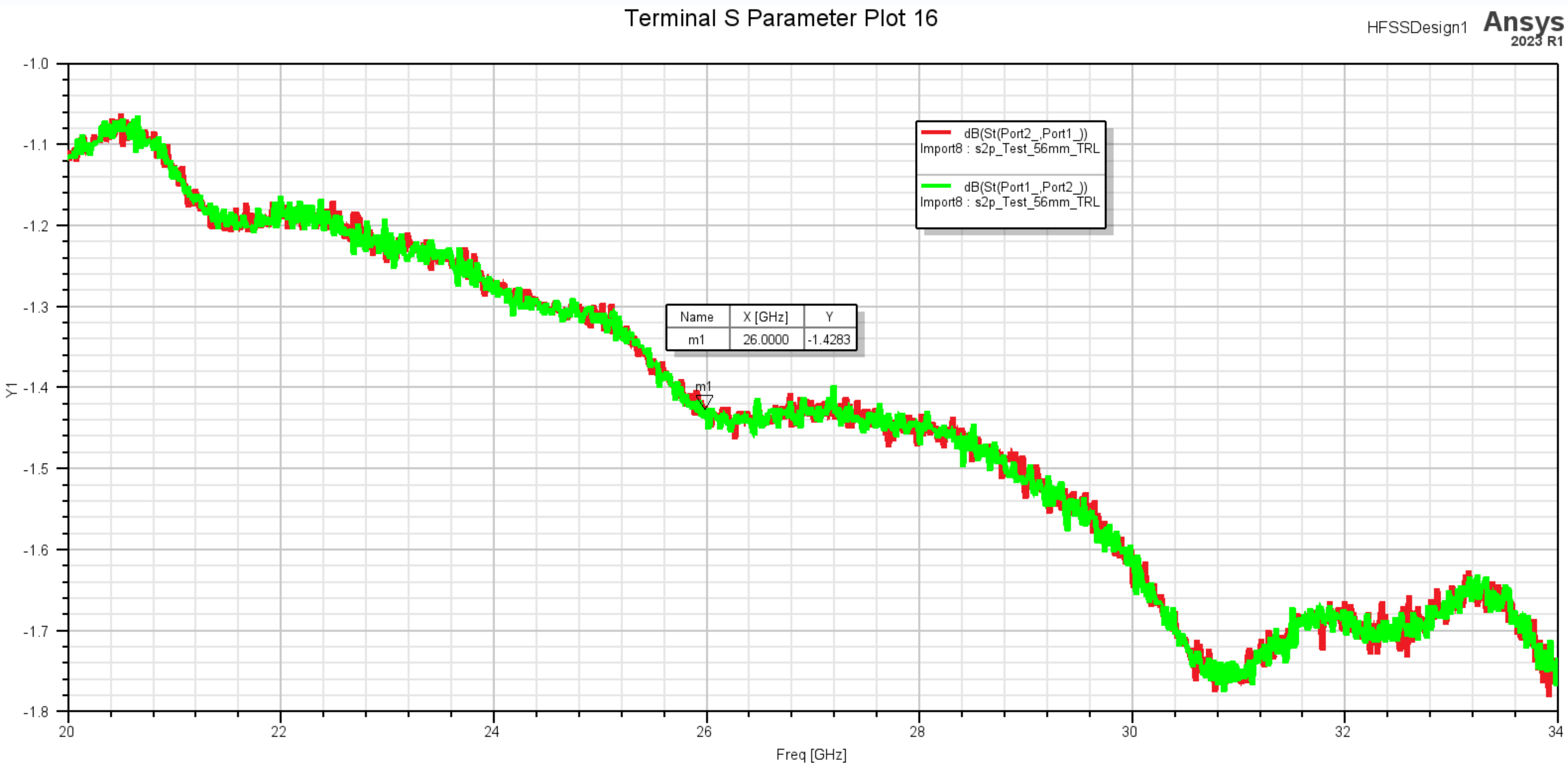
$1,03\text{dB} / 30\text{mm} = 0.034\text{dB}/\text{mm}$.



TRL (Thru-Reflect-Line) (pomiar VNA)

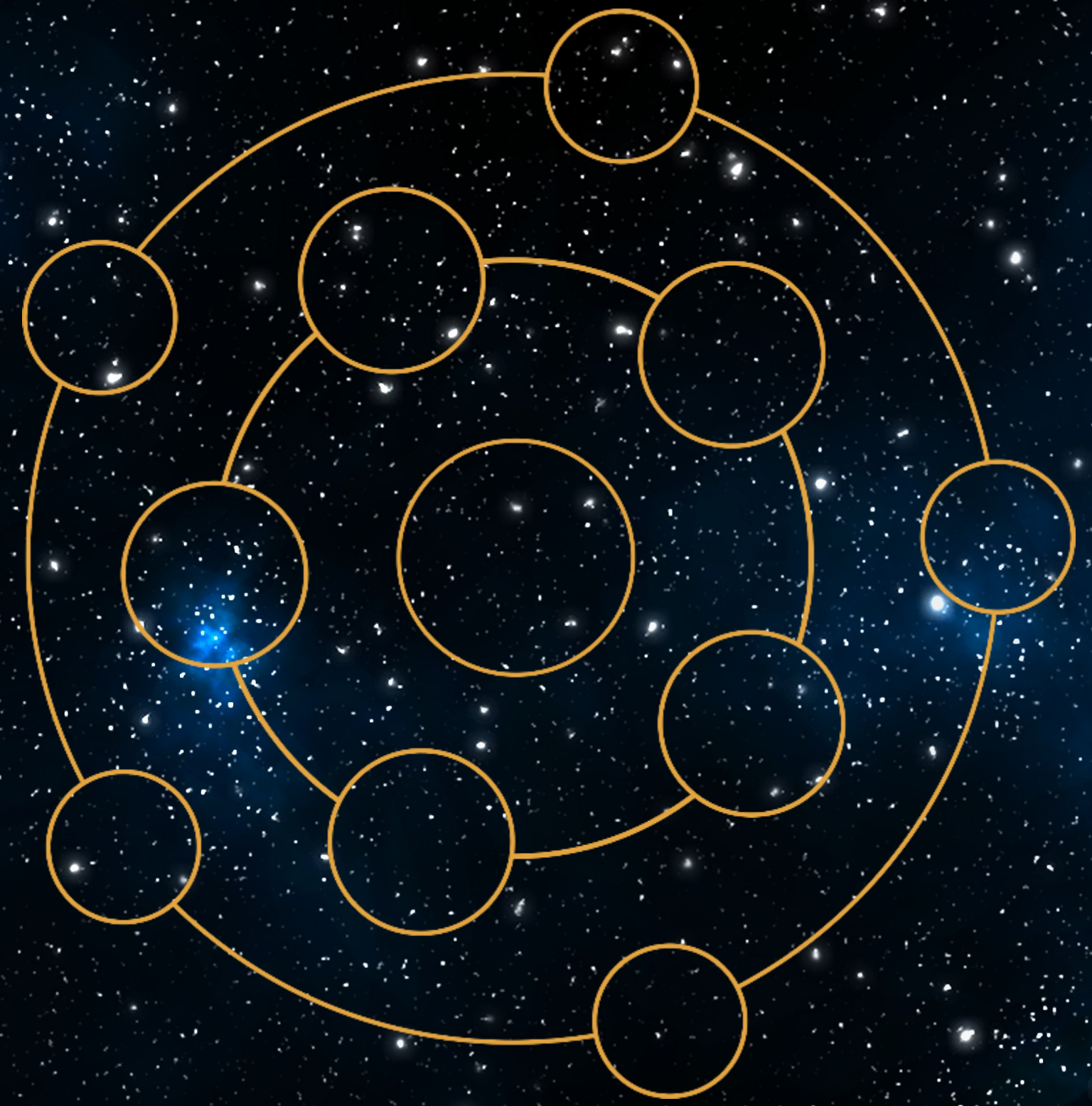
Przebieg **Test 56mm** – tłumienie wtrąceniowe linii dla 26GHz.

$$1,42\text{dB} / 40\text{mm} = 0.035\text{dB/mm.}$$



THORIUM

S P A C E T E C H N O L O G Y



Contact

Thorium Space Sp. z o.o.

T: +48 71 756 27 00

E: office@thorium.space

W: thorium.space

-

A: 57-59 Bierutowska Street

51-317 Wrocław, Poland