

Michał Hałucha
204061

Technika Mikrofalowa
Projekt układu dopasowującego

Czw. 7:30

Projekt

W ramach projektu z Techniki mikrofalowej zrealizowano układ wzmacniacza mikrofalowego na tranzystorze E p-HEMT. Dane:

Dla tranzystora ATF-34143

Nr	U _{ds} [V]	I _d [mA]	F ₀ [GHz]
3	4	60	2,5

Założenia:

- ☐ Straty odbiciowe lepsze niż 16 dB w jak najszerszym paśmie częstotliwości (nie mniejszym niż $\pm 8\%$ zadanej częstotliwości),
- ☐ Pominięty wyjściowy układ dopasowujący – zakłada się impedancję obciążenia o wartości 50Ω,
- ☐ Impedancja wejściowa również o wartości 50Ω,
- ☐ Możliwość podłączenia zewnętrznych układów polaryzacji,
- ☐ Realizacja układów dopasowujących za pomocą elementów o stałych rozłożonych,
- ☐ Układ wzmacniacza zrealizowany w technologii asymetrycznych linii mikropaskowych,
- ☐ Laminat wybrany w celu realizacji projektu dostępny na rynku.

Dane katalogowe i parametry tranzystora

Układ wzmacniacza realizowany na tranzystorze ATF-34143 w obudowie SOT – 343. Poniżej w tabeli umieszczono parametry katalogowe:

ATF-34143 Typical Scattering Parameters, V_{DS} = 4 V, I_{DS} = 60 mA

Freq. GHz	S ₁₁			S ₂₁			S ₁₂		S ₂₂		MSG/MAG dB
	Mag.	Ang.	dB	Mag.	Ang.	dB	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	
0.5	0.95	-41	21.91	12.454	150	-31.06	0.028	68	0.29	-41	26.48
0.8	0.89	-65	21.33	11.654	134	-28.18	0.039	57	0.24	-67	24.75
1.0	0.85	-83	20.46	10.549	123	-26.56	0.047	49	0.23	-84	23.51
1.5	0.78	-111	18.74	8.646	103	-24.44	0.060	38	0.21	-114	21.59
1.8	0.75	-122	17.92	7.873	95	-23.74	0.065	33	0.21	-125	20.83
2.0	0.73	-133	17.16	7.207	87	-23.22	0.069	29	0.20	-136	20.19
2.5	0.69	-151	15.78	6.149	73	-22.38	0.076	22	0.19	-155	19.08
3.0	0.67	-168	14.56	5.345	60	-21.62	0.083	15	0.19	-171	18.09
4.0	0.64	161	12.53	4.232	37	-20.54	0.094	3	0.18	162	16.53
5.0	0.63	134	10.88	3.501	16	-19.58	0.105	-10	0.19	135	15.23
6.0	0.64	111	9.49	2.983	-5	-18.79	0.115	-24	0.21	109	12.89
7.0	0.66	86	8.15	2.557	-26	-18.27	0.122	-38	0.24	84	11.22
8.0	0.69	65	6.92	2.217	-46	-17.79	0.129	-51	0.28	62	10.21
9.0	0.73	46	5.72	1.932	-65	-17.46	0.134	-65	0.33	42	9.36
10.0	0.76	28	4.73	1.723	-84	-16.95	0.142	-79	0.38	25	8.94
11.0	0.78	9	3.70	1.531	-104	-16.71	0.146	-94	0.42	7	8.23
12.0	0.81	-11	2.57	1.344	-124	-16.71	0.146	-111	0.47	-12	7.56
13.0	0.84	-30	1.20	1.148	-143	-17.02	0.141	-126	0.52	-29	6.94
14.0	0.86	-44	-0.12	0.986	-159	-17.46	0.134	-139	0.58	-43	6.37
15.0	0.87	-56	-1.21	0.870	-175	-17.59	0.132	-150	0.62	-58	5.78
16.0	0.86	-72	-2.21	0.775	168	-17.59	0.132	-163	0.65	-71	4.60
17.0	0.86	-88	-3.35	0.680	151	-17.65	0.131	-178	0.68	-86	3.79
18.0	0.89	-101.99	-4.81	0.575	135	-18.42	0.120	169	0.71	-104	3.33

Parametry elektryczne

ATF-34143 Electrical Specifications

T_A = 25°C, RF parameters measured in a test circuit for a typical device

Symbol	Parameters and Test Conditions	Units	Min.	Typ. ^[2]	Max.
I _{dss} ^[1]	Saturated Drain Current V _{DS} = 1.5 V, V _{GS} = 0 V	mA	90	118	145
V _p ^[1]	Pinchoff Voltage V _{DS} = 1.5 V, I _{DS} = 10% of I _{dss}	V	-0.65	-0.5	-0.35
I _d	Quiescent Bias Current V _{GS} = -0.34 V, V _{DS} = 4 V	mA	—	60	—
g _m ^[1]	Transconductance V _{DS} = 1.5 V, g _m = I _{dss} /V _p	mmho	180	230	—
I _{GDO}	Gate to Drain Leakage Current V _{GD} = 5 V	μA	—	—	500
I _{gss}	Gate Leakage Current V _{GD} = V _{GS} = -4 V	μA	—	30	300
NF	Noise Figure	f = 2 GHz	V _{DS} = 4 V, I _{DS} = 60 mA V _{DS} = 4 V, I _{DS} = 30 mA	0.5 0.5	0.8
		f = 900 MHz	V _{DS} = 4 V, I _{DS} = 60 mA	0.4	—
G _a	Associated Gain	f = 2 GHz	V _{DS} = 4 V, I _{DS} = 60 mA V _{DS} = 4 V, I _{DS} = 30 mA	16 17	19
		f = 900 MHz	V _{DS} = 4 V, I _{DS} = 60 mA	21.5	—
OIP3	Output 3 rd Order Intercept Point ^[3]	f = 2 GHz	V _{DS} = 4 V, I _{DS} = 60 mA V _{DS} = 4 V, I _{DS} = 30 mA	29 30	31.5
		f = 900 MHz	V _{DS} = 4 V, I _{DS} = 60 mA	31	—
P _{1dB}	1 dB Compressed Intercept Point ^[3]	f = 2 GHz	V _{DS} = 4 V, I _{DS} = 60 mA V _{DS} = 4 V, I _{DS} = 30 mA	20 19	—
		f = 900 MHz	V _{DS} = 4 V, I _{DS} = 60 mA	18.5	—

Notes:

1. Guaranteed at wafer probe level
2. Typical value determined from a sample size of 450 parts from 9 wafers.
3. Using production test board.

Szumy

ATF-34143 Typical Noise Parameters

V_{DS} = 4 V, I_{DS} = 60 mA

Freq. GHz	F _{min} dB	Mag.	Γ _{opt} Ang.	R _n /50 Ω	G ₃ dB
0.5	0.11	0.84	15	0.14	24.5
0.9	0.14	0.78	30	0.12	20.7
1.0	0.15	0.77	34	0.12	20.2
1.5	0.20	0.69	53	0.10	18.5
1.8	0.23	0.66	62	0.10	17.7
2.0	0.26	0.62	72	0.09	17.2
2.5	0.33	0.55	91	0.07	16.3
3.0	0.39	0.50	111	0.05	15.4
4.0	0.53	0.43	149	0.03	13.7
5.0	0.67	0.39	-173	0.04	12.3
6.0	0.81	0.39	-137	0.07	11.1
7.0	0.96	0.42	-104	0.14	10.0
8.0	1.10	0.47	-76	0.26	9.2
9.0	1.25	0.54	-53	0.41	8.6
10.0	1.39	0.62	-37	0.60	8.2

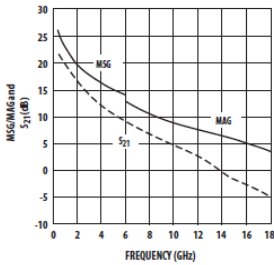


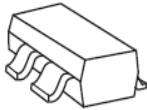
Figure 26. MSG/MAG and |S₂₁|² vs. Frequency at 4 V, 60 mA.

Notes:

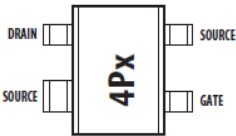
1. Fmin values at 2 GHz and higher are based on measurements while the Fmins below 2 GHz have been extrapolated. The Fmin values are based on a set of 16 noise figure measurements made at 16 different impedances using an ATN NP5 test system. From these measurements a true Fmin is calculated. Refer to the noise parameter application section for more information.
2. S and noise parameters are measured on a microstrip line made on 0.025 inch thick alumina carrier. The input reference plane is at the end of the gate lead. The output reference plane is at the end of the drain lead. The parameters include the effect of four plated through via holes connecting source landing pads on top of the test carrier to the microstrip ground plane on the bottom side of the carrier. Two 0.020 inch diameter via holes are placed within 0.010 inch from each source lead contact point, one via on each side of that point.

Rozkład padów tranzystora

Surface Mount Package - SOT-343



Pin Connections and Package Marking

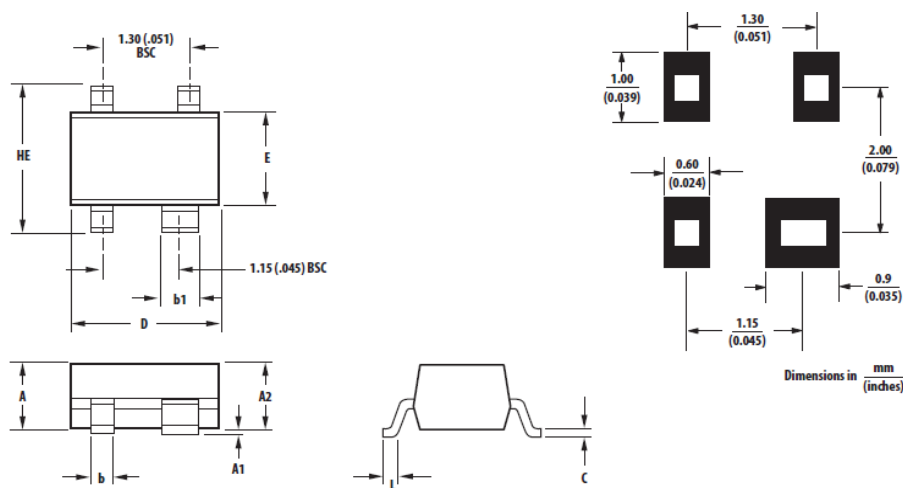


Note: Top View. Package marking provides orientation and identification.

"4P" = Device code

"x" = Date code character. A new character is assigned for each month, year.

Specyfikacja



Podłoże

W ramach projektu wybrano podłoże R03003, które jest przeznaczone do zastosowań w zakresie mikrofalowym. Na stronie producenta zapewnia się, że jest to podłoże zapewniające "wyjątkową stabilność mechaniczną oraz elektryczną" R03003 zapewnia stabilność wartości stałej dielektrycznej (przy zmianach temperatury), a tym eliminację skokowej zmiany wartości stałej. Dodatkowo, laminaty R03003 charakteryzują się niskim współczynnikiem rozpraszania, który wynosi 0,0013 przy częstotliwości równej 10GHz.

Ważniejsze parametry laminatu:

Rogers R03003

Grubość d 0,13÷1,52 mm

Współczynnik przenikalności ϵ_r 3

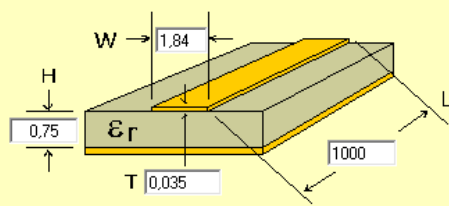
Grubość warstwy miedzi T 35 μm

Ze względu na dość duży współczynnik, przenikalności szerokość ścieżek jest względnie duża, co ułatwia projektowanie i późniejsze wykonanie układu. Zarówno grubość samego laminatu jak i warstwy miedzi są wartościami standardowymi z oferty firmy Rogers Corporation.

Wyniki symulacji projektowanego układu metodą obwodową

Aby uzyskać wiarygodne wyniki w programie Quicks wykonano układ płytki zawierający odpowiednio dobrane podłoże, wymagany tranzystor oraz 50 Ω ścieżki doprowadzające, przedstawione na poniższym rysunku.

Microstrip



Calculate Z0 [F4]

Z0 = 50.01 Ω

Dielectric: $\epsilon_r = 3$

RO3003

Frequency: 2.5 GHz

Length Units: mm

Elect Length = 12.941 λ

Elect Length = 4658.9 degrees

Elect Length = 1551.877 mm (Air Line equiv.)

Delay = 5.177 ns

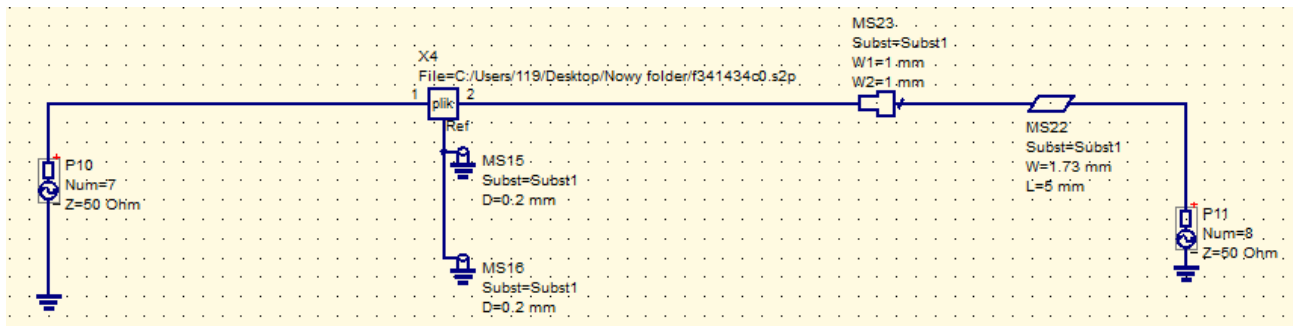
1.0 Wavelength = 77.272 mm

Vp = 0.644 fraction of c

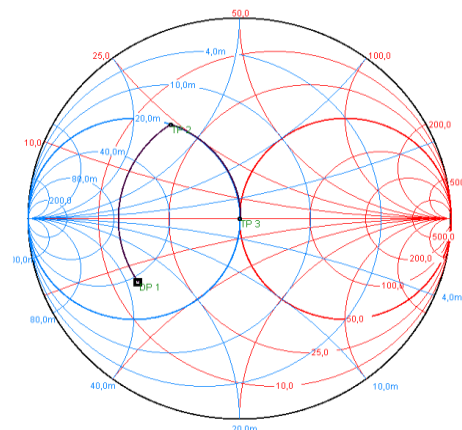
$\epsilon_{eff} = 2.408$

W/H = 2.453

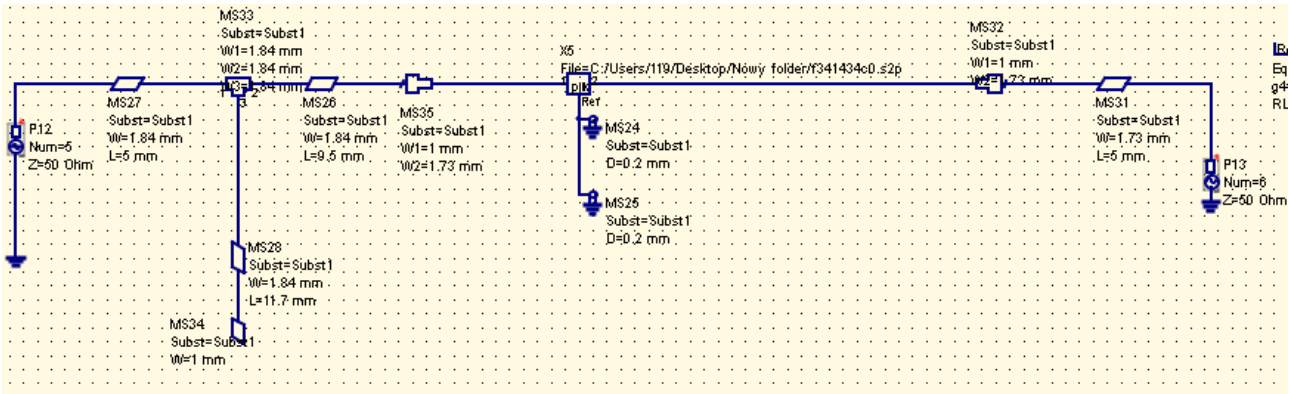
Układ wyjściowy:



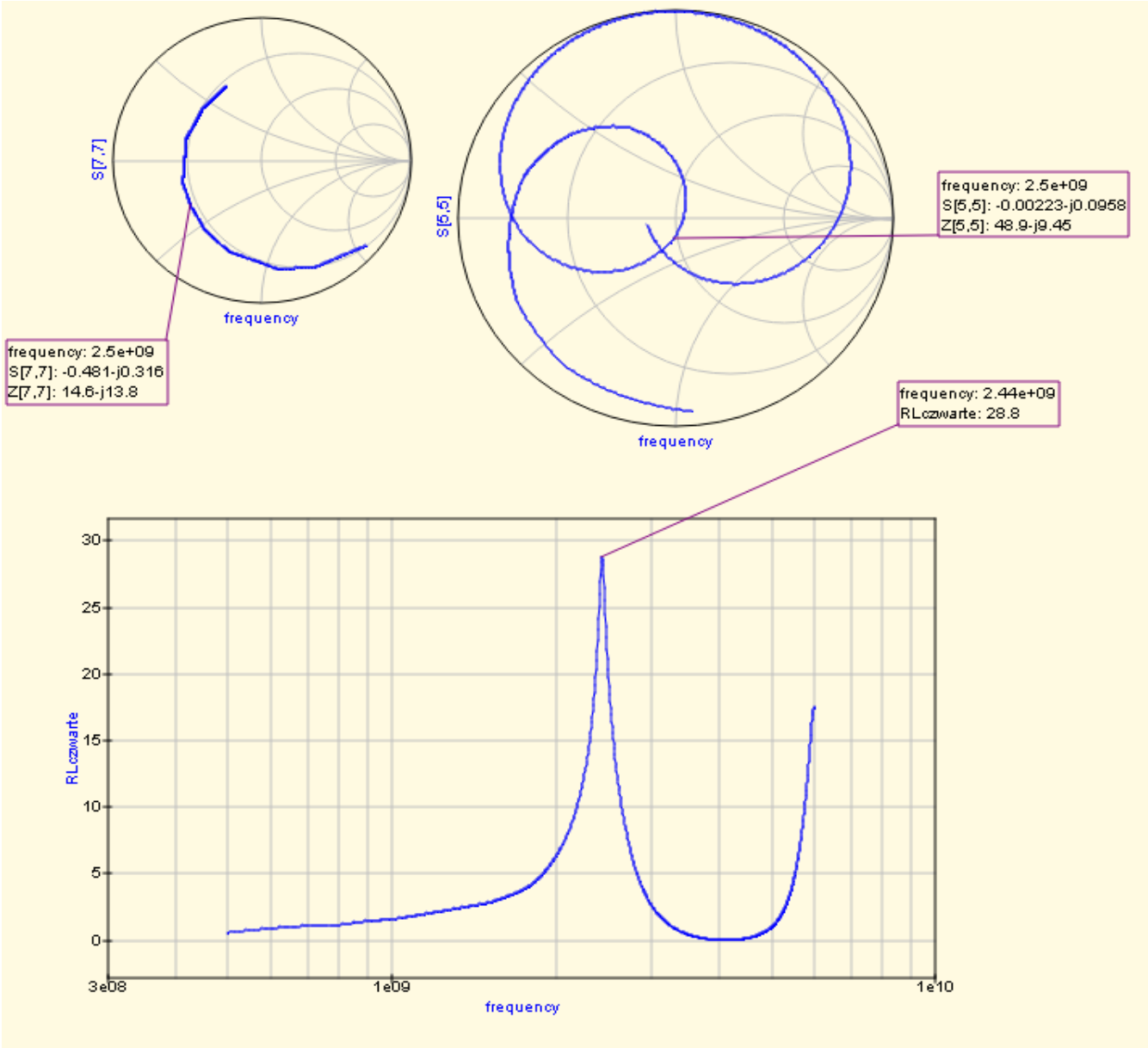
Po odczytaniu wartości $S[7,7]$ dla częstotliwości 2,5GHz można stwierdzić, iż układ wymaga dopasowania. W tym celu wykorzystano program Smith, a jako pierwszy model zastosowano stroik zwarty.



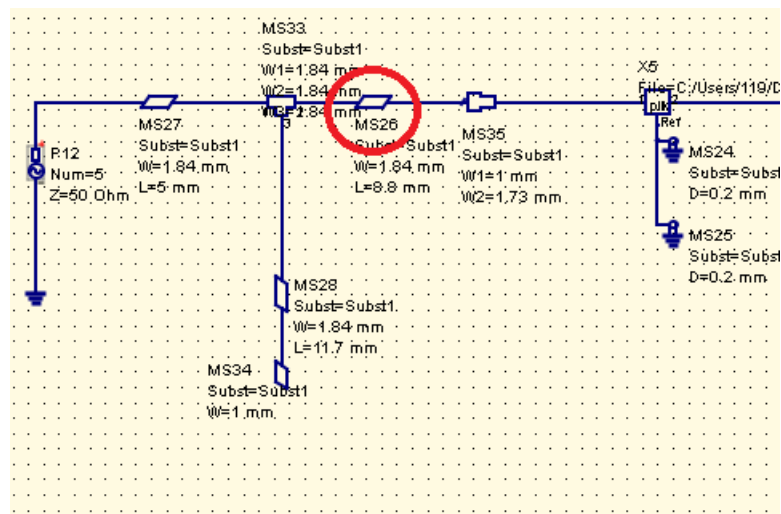
Tak uzyskane dane przeniesiono ponownie do programu Quicks oraz rozpoczęto symulacje.



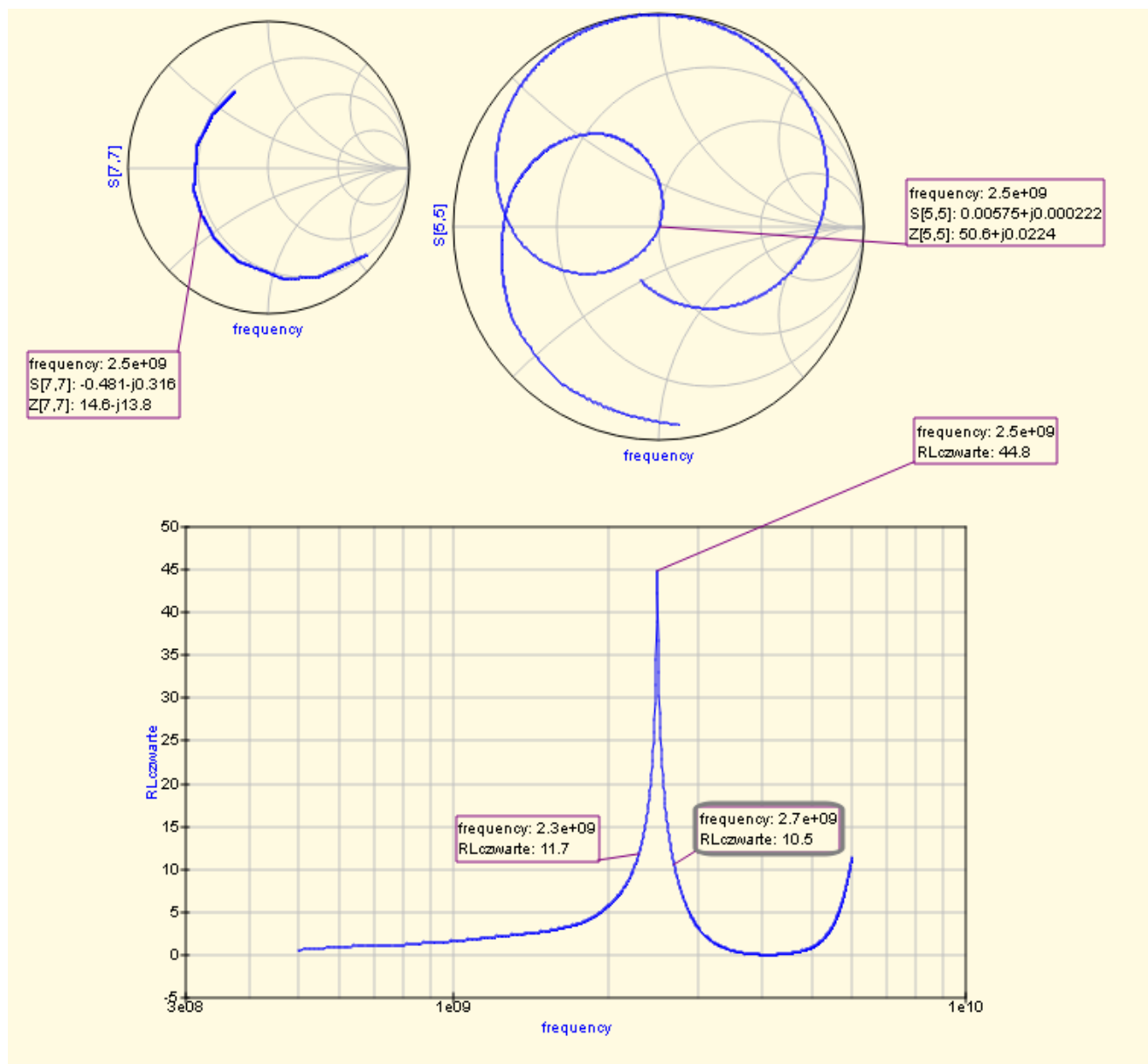
Wynik symulacji:



Jak widać pomimo dobranych elementów nie udało się uzyskać pasma lepszego dlatego kolejnej próby. Zmodyfikowany element zaznaczony czerwonym kolorem.



Wyniki symulacji:

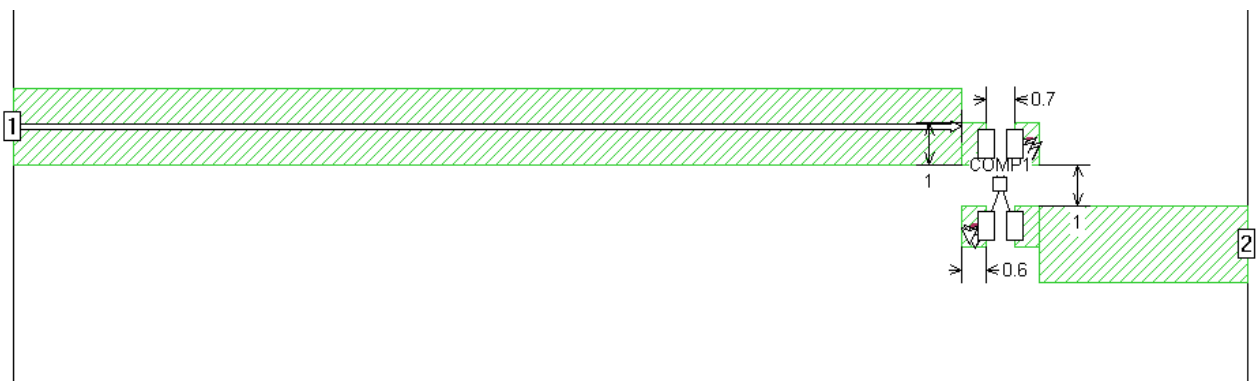


Wyniki symulacji projektowanego układu metodą Elektromagnetyczną

Projektowanie metodą elektromagnetyczną, odbywało się za pomocą SONNET.

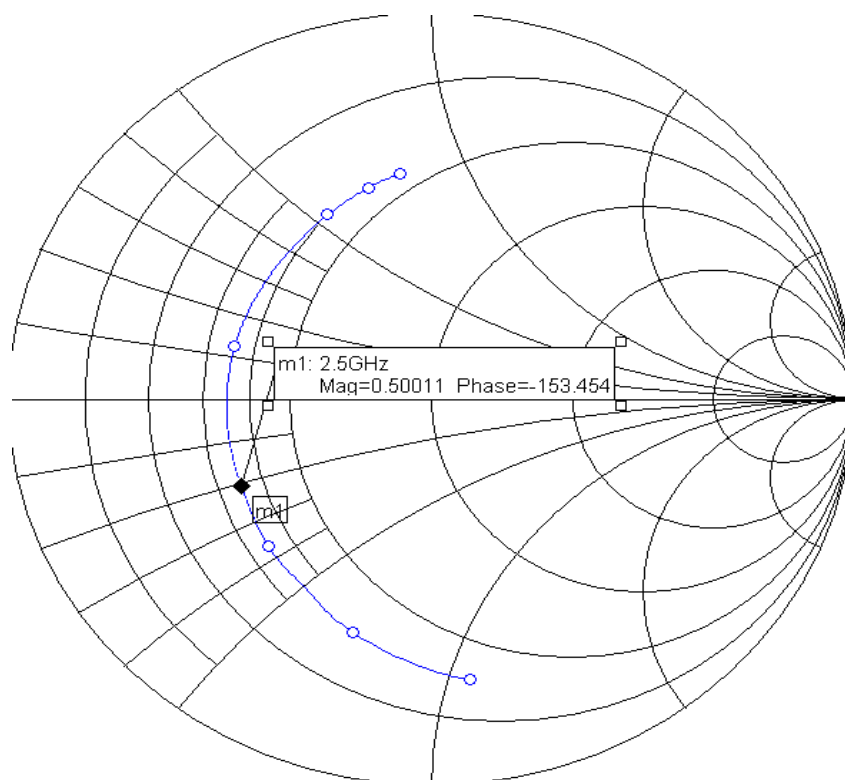
W celu uzyskania poprawnych wyników w programie Sonnet wykonano wstępny układ płytki PCB zawierający jedynie docelowy tranzystor wraz z padami oraz liniami mikropaskowymi doprowadzającymi na odpowiednim podłożu, tak jak przedstawia to rysunek numer 1. Jako że tranzystor podłączony został liniami o impedancji $50\ \Omega$, należało przeprowadzić odpowiednie przeliczenia w programie AppCad uwzględniając ϵ_0 , grubość laminatu oraz miedzi podłoża. W przypadku ścieżki $50\ \Omega$ szerokość dla wybranego podłoża wynosi $1.84\ \text{mm}$. Otrzymane wartości współczynników odbicia: promienia wodzącego (magnitude) oraz kąta (angle), pozwoliło na pierwszą próbę dopasowania w programie SMITH.

Dopasowanie do wejścia tranzystora w programie Sonnet:

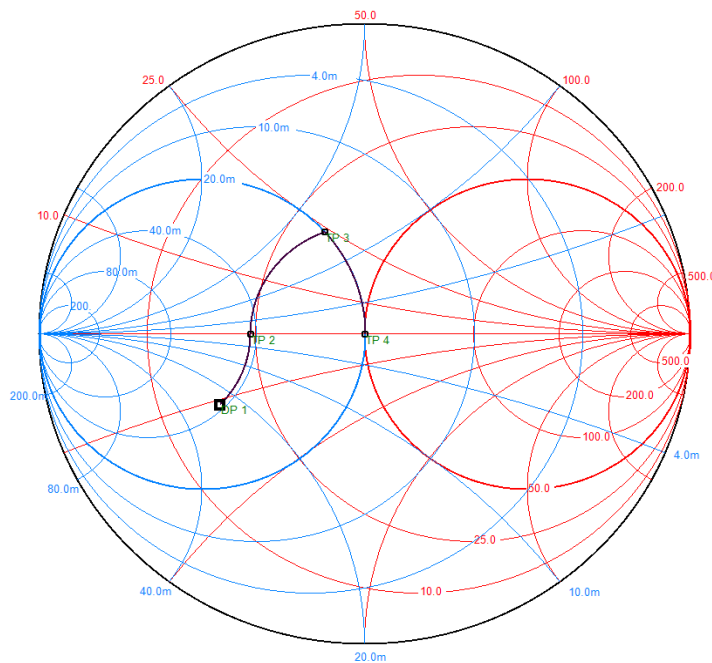


Następnie po wykonaniu symulacji można odczytać parametry S dla zadanej częstotliwości (2,5 Ghz), które zostaną dalej użyte przy projektowaniu dopasowania w programie Smith. Uzyskane wyniki zostały zaprezentowane na poniższym rysunku:

Odpowiedz na dopasowanie do wejścia tranzystora w programie Sonnet:

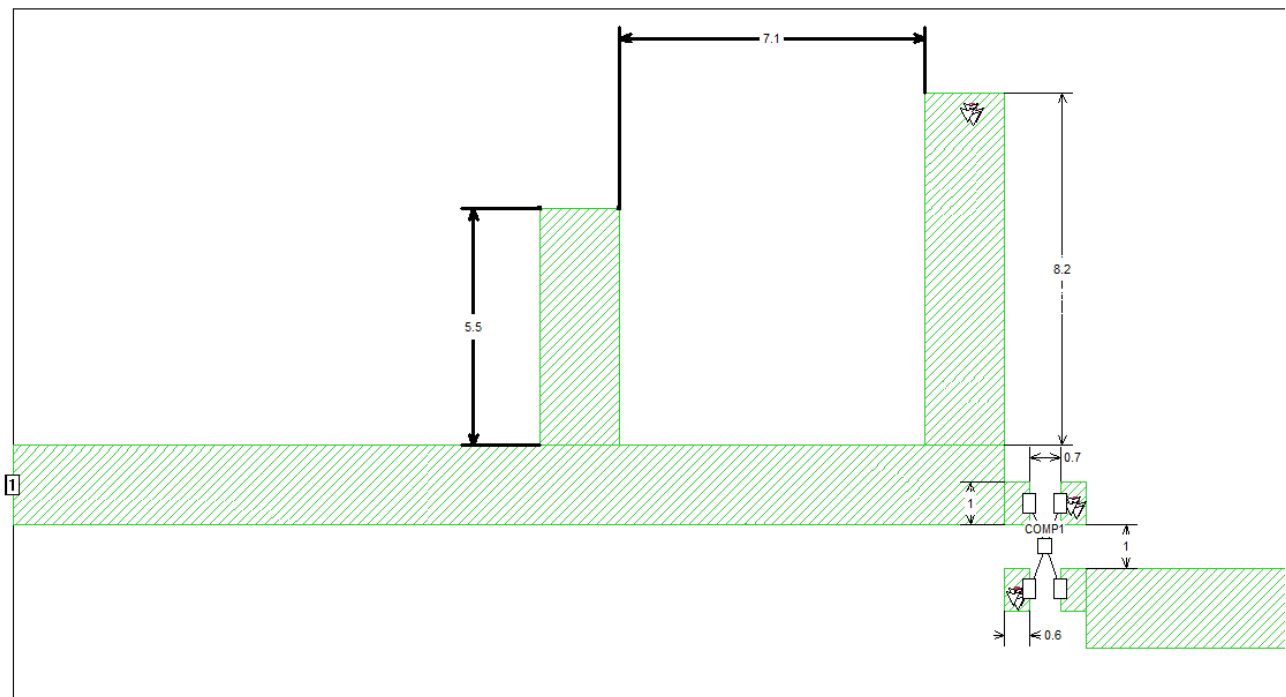


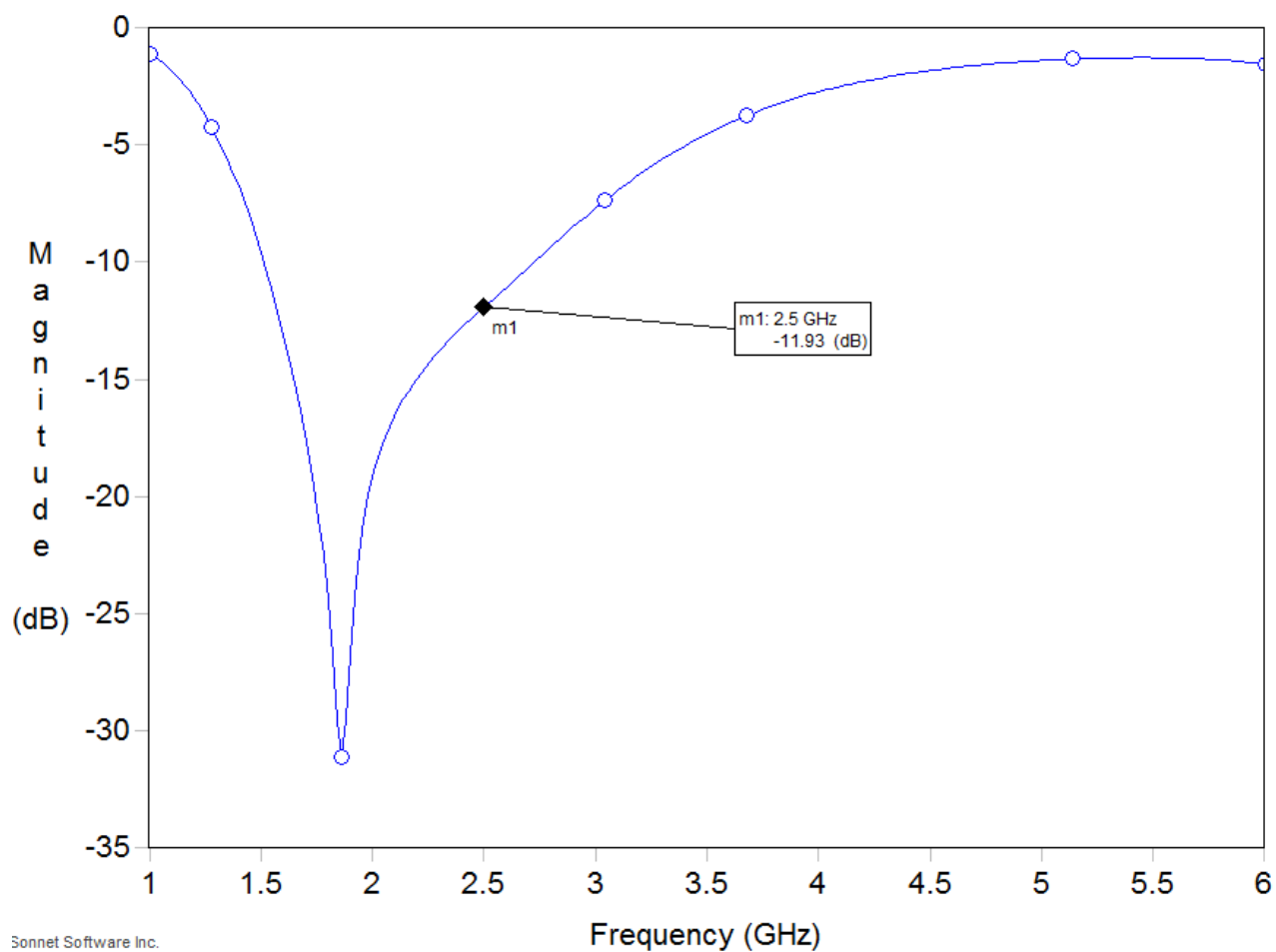
Analizując wcześniej wspomniany rysunek można przeprowadzić w programie Smith pierwszą próbę dopasowania:



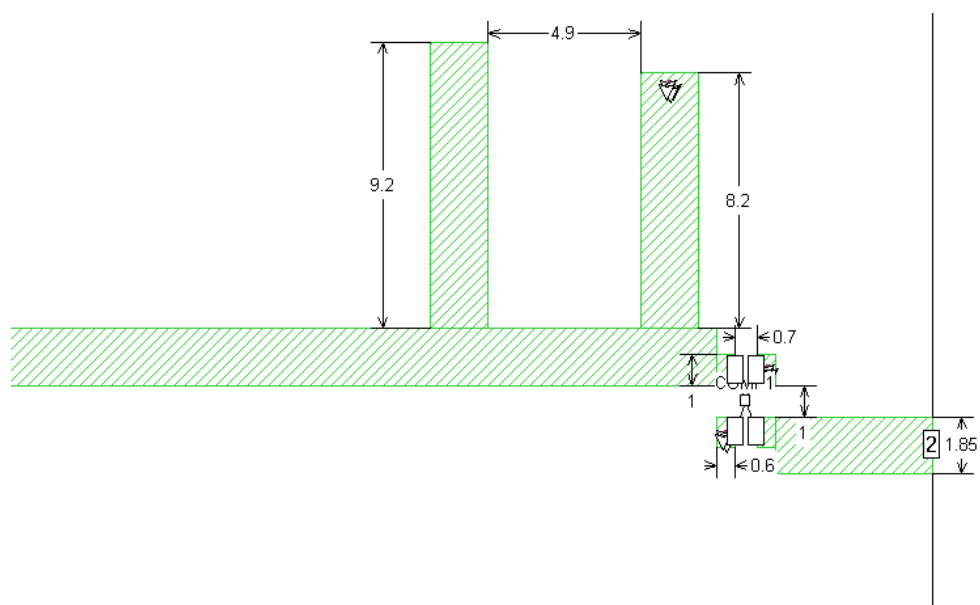
Następnie uzyskane wyniki zostały przeniesione do programu Sonnet. Oczywiście wymagane były drobne zmiany w przewidzianych przez program Smith długościach ścieżek.

Układ dopasowujący w programie Sonnet:

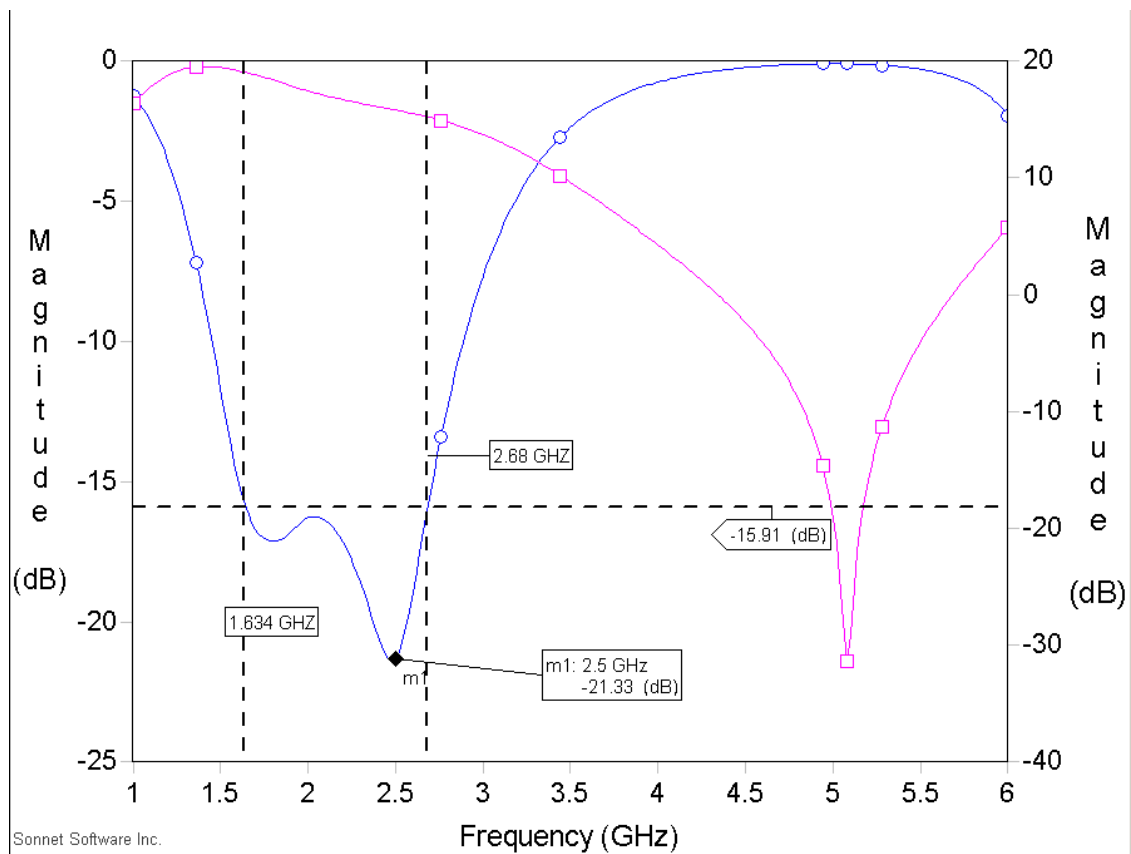




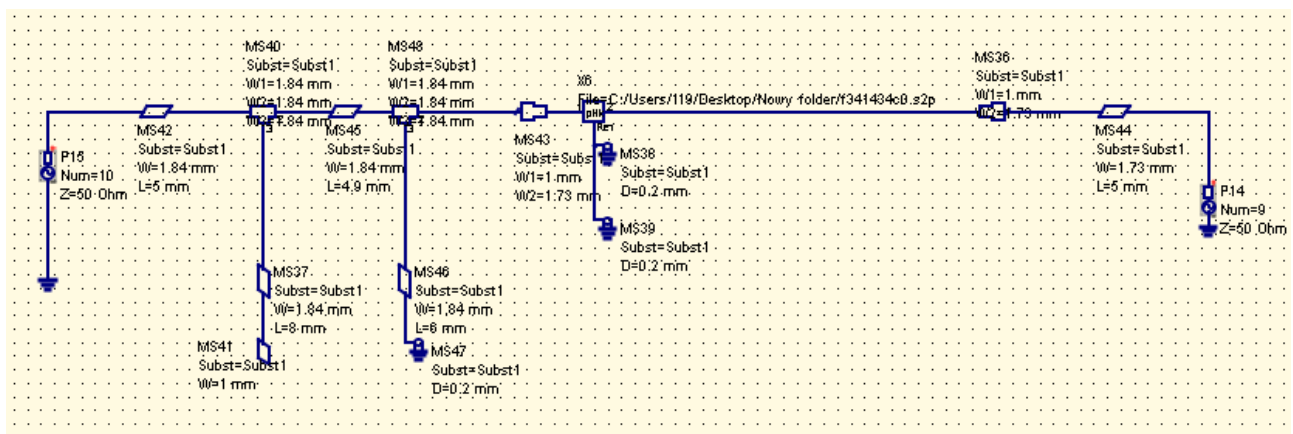
Po odczytaniu wartości dla częstotliwości 2,5GHz można stwierdzić, iż układ wymaga ponownego dopasowania. Zmodyfikowane zostały odległości pomiędzy ścieżkami.



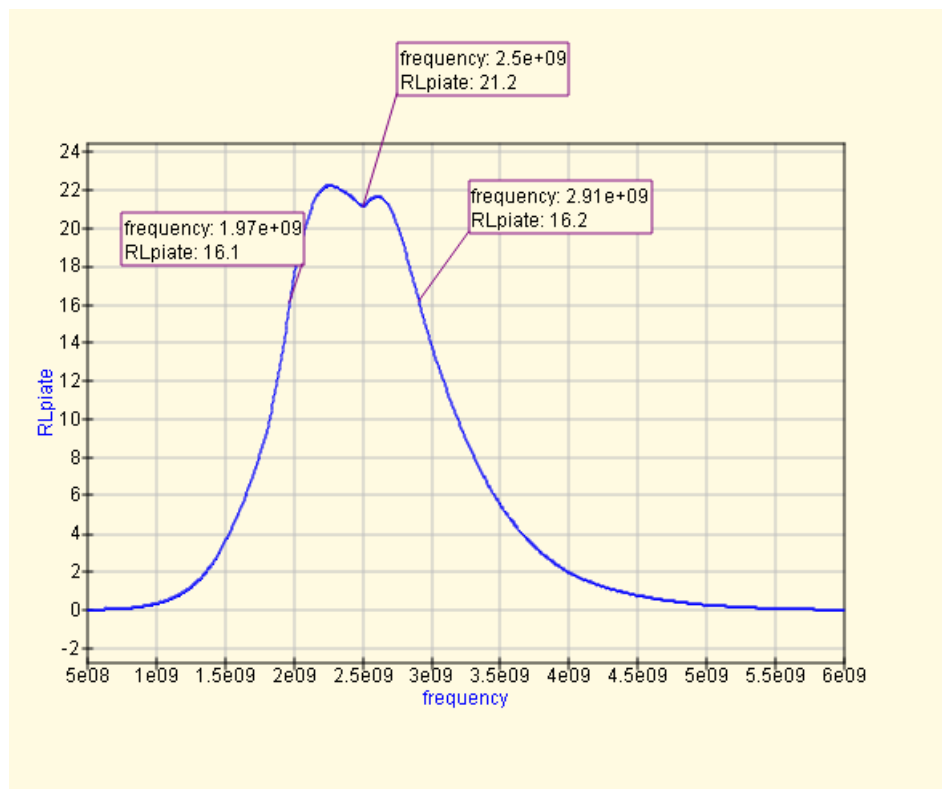
Wyniki symulacji:



Następnie przeprowadzono próbę przeniesienia układu z programu sonnet do Qucs w celu poprawy charakterystyk:



Po przeniesieniu układu oraz małej modyfikacji rozmiarów geometrycznych uzyskano wyniki:



Dyskusja i wnioski

Otrzymane wyniki w obu programach: Quicks i Sonnet mają nieco inne rozwiązania i wyniki symulacji. Wynikać to może między innymi z faktu, iż obie symulacje analizują układ innymi metodami, Quicks – metodą obwodową, natomiast Sonnet – metodą elektromagnetyczną. Mimo to udało się wykonać dopasowanie w obu tych programach za pomocą kilku przedstawionych sposobów. Długości linii mikropaskowych przeniesione do programu Qucs nie dały identycznych rezultatów, potrzebowały drobnych zmian geometrycznych. Jak widać na powyższych wykresach wzmocnienie układu jest zadowalające w każdym przedstawionym układzie dopasowującym. Aby uzyskać lepsze efekty można byłoby użyć laminatu, który cechuje się bardziej stabilną stałą dielektryczną w zakresie częstotliwości pracy np. RO3006.