Zasady pomiaru analizatorem wektorowym VNA

(Measurement principles of the VNA vector analyser)

Forum SP-HM i inne

20 kwietnia 2023

Streszczenie

Podręcznik dla wszystkich, którzy chcą wykorzystywać VNA w swoim warsztacie

1 Dopasowanie wrót o nieznanej impedancji do 50Ω

Sam¹ analizator VNA choć sam w sobie jest potężnym narzędziem jednak czasami trzeba się wspomóc odpowiednim oprogramowaniem. W tym celu należy zainstalować dwa programy:

- NanoVNA-saver oraz
- RFSimm99

Pierwszy z nich umożliwi nam komunikację z VNA, a drugi wspomoże w zakresie symulacji obwodu.



Rysunek 1: NanoVNA-Saver

Oczywiście VNA musimy mieć uprzednio skalibrowany przy pomocy procedury OSL.

Analizator łączymy uprzednio z komputerem i uruchamiamy program NanoVNA-Saver. Pomiary rozpoczynamy od zapięcia anteny do gniazda CH0 analizatora zwierając uprzednio wtyk antenowy, aby rozładować nagromadzone ładunki elektrostatyczne. Nie należy pomijać tego kroku, gdyż łatwo w ten sposób uszkodzić obwody wejściowe analizatora.

Następnie po wybraniu odpowiedniego portu wykonujemy **Connect** i określamy zakres skanowania:

¹Artykuł pierwotnie opublikowany na forum sp-hm przez kol. SP9FKP

Sweep setti	ings		-		×
Sweep name					
80m					
Settings					
		\bigcirc s	ingle sw	еер	
		00	ontinou	s sweep	
		۵ (verageo	l sweep	
Logarithmic sv logarithmical n datapoints an cannot reflect	veeping changes the s nanner. Useful in conju d many segments. Ste this currently.	tep widt inction v p displa	h in eac with sma y in Swe	h segmer Il amount epContro	nt in of ol
			ogarithm	nic sweep	
Averaging allo averages. Co	ws discarding outlying mmon values are 3/0,	sample 5/2, 9/4	s to get and 25	better /6.	
Number of me	asurements to averag	e 3			
Number to dis	card	0			
Some times wi attenuator in it.	hen you measure amp line with the S21 inpu	ifiers yo t (CH1)	u need here you	to use an u can spe	cify
Attenuator in	port CH1 (s21) in dB	0.0			
Sweep band					
Select band	80 m				\sim
Pad band limit	s 🖲 None				
	0 10%				
	0 25%				
	○ 100%				
Sweep span:	3.500MHz to 3.800MH	z			
	Set band s	weep			

Rysunek 2: Sweep Settings

Gdy już szczęśliwie przejdziemy proces komunikcji z PC możemy uruchomić poces skanowania (w naszym przykładzie anteny na 80m) uprzednio dostosowując wygląd ekranu do naszych potrzeb przy pomocy okienka **Display settings**:

Display settings			_	ц ,
Options			Chart colors	
Return loss is:	Negative		Use custom char	t colors
	O Positive		Chart background	
Show lines	Displays a thin line betwe	en data points	Chart foreground	
Dark mode	Black background with wh	nite text	Charthaut	
Sweep color			Chart text	-
Second sweep color			Font	
Reference color			Font size 8	~
Second reference color			Bands	
Point size		2 px 🖨	Show bands	
Line thickness		1 px 🖨	Chart bands	
Marker size		6 px 🖨	Manage bar	nds
Show marker numbers	Displays the marker numb	er next to the marker	VSWR Markers	
Filled markers	Shows the marker as a fil	led triangle	VSWP Markers	
Data point is:	At the center of the r	marker		
	○ At the tip of the mark	ker	None	~
Displayed charts			Add	Remove
S11 Smith Chart \sim	S11 Return Loss 🛛 🗸	None 🗸		
S11R+jX ~	S11 VSWR 🗸	None v		
Markers				
٨dd	Remove	Settings		

Rysunek 3: Display Settings

Naszym założeniem jest dopasowanie anteny do częstotliwości 3.7[MHz]. Patrzymy więc na wynik pomiaru:



Rysunek 4: Wynik pomiaru

Jak widać na wykresie antena wykazuje minimalny WFS w okolicach 3550 kHz a dla wybranej przez nas QRG 3700 kHz ma już 2.340 (Marker 2 - zielony).

Zapisujemy więc wynik pomiaru jako plik **s1p** wybierając przycisk Files..., a następnie **Save 1-Port file (S1P)**.

Porzucamy na chwilę program NanoVNA-Saver i uruchamiamy program RFSimm99.

Otwieramy program, w menu "**Component**" wybieramy pozycję "**S parameter**" i dalej opcję "**S Parameter One Port**". W otwartym okienku "**S parameter 1 port properties**" wybieramy zapisany wcześniej plik danych za pomocą "**Load File**" i zatwierdzamy "**OK**".

S parameter 1 port p	properties			×
Name test.s1p				
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Freq	S11Mag	S11Ang	^
풥 Load File	3.6MHz	0.356	84.565°	
	3.602MHz	0.355	82.892°	
🖌 ок	3.604MHz	0.358	81.788°	
Y Cancel	3.606MHz	0.358	80.873°	
	3.608MHz	0.351	79.536°	
Tolerances	3.61MHz	0.350	78.386*	
🔲 Enabled	3.612MHz	0.348	77.068°	
Mag 0%	3.614MHz	0.354	76.619°	
	3.616MHz	0.358	75.296°	
Ang 0%	3.618MHz	0.360	73.599°	
	3.62MHz	0.355	72.520°	
	3.622MHz	0.353	71.373°	~

Rysunek 5: Wczytujemy parametry S1P

Teraz tworzymy schemat naszego układu składającego się z portu 50 omów i komponentu S1P.

\oplus	RFSim	99 - unnamed.o	ct			_		×
<u>F</u> ile	<u>E</u> dit	<u>C</u> omponent	<u>D</u> raw <u>A</u> na	lyse <u>T</u> ools	Options <u>H</u> elp			
			Ŭ 🕒 🖡	. ș	🕅 📇 🖉 A	N 🗐 🕆	12	
و ک								:::
R	· · ·		· · · · · · · ·					::: -
	· · · ·	· · · · · · · · · ·	· · · · · · · · ·				· · · · · ·	
Ļ	· · ·		50R					
Ţ.			1	· · · · · · ·			· · · · · ·	
<u>н</u>	· · ·		· · · · · · ·	S1P	test.s1p			:::
↓ ↓				· · · · · · ÷				
ı غ	· · ·							:::
Ŵ								
			· · · · · · ·					
-↓∽ ≒⊯⊱	· · ·		· · · · · · · · ·	· · · · · · ·	· · · · · · · · · · · ·		· · · · · ·	

Rysunek 6: Schemat układu wykorzystującego komponent S1p

Po uruchomieniu symulacji widać wynik działania analizatora przesłany do RFSIM99.



Rysunek 7: Wynik działania symulacji

Teraz naciskamy przycisk "Auto Match" program wylicza nam odpowiedni układ dopasowujący dla zadanej częstotliwości, aktualizując jednocześnie schemat.

Auto Match	×
Match type Port 1 only C Port 2 only	O Simultaneous Conjugate
Port 1 Parameters	Port 2 Parameters
match topology Low Pass 💌	match topology High Pass
match to port 2 Zo of 50R	match to port 2 Zo of 50R
Calculate match at 3.701MHz	Note:Schematic will be modified to include automatically generated match networks.
● ● K	🗙 Cancel

Rysunek 8: Auto Match

\bigcirc	RFSim9	9 - unnamed.c	:ct			_		<
<u>F</u> ile	<u>E</u> dit	<u>C</u> omponent	<u>D</u> raw <u>A</u> nal	yse <u>T</u> ools	Options <u>H</u> elp			
			Ŭ ⊂ E	29 Bi	🔃 🖹 😹 A	N 🗐 👘	N 2	
وک								
R							· · · · · · · ·	: -
1		· · · · · · · ·	· · · · · · · · · ·		· · · · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · ·	· · · · · · · ·	-
Ŧ	· · · ·		50R					:
Ţ.			1-		• • • • • • • • • • • • • • • • • • •		· · · · · · · ·	-
— 古			<u>Ļ</u> .	2.256uH	,	test.s1p		-
屮 上				· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	651.743pF		· · · · · · · ·	:
T \			· · · · · · · · · ·		+2%,-2%			-
「「」「」「」「」「」」				· · · · · · · ·	÷			:
					· · · · · · · · · · · · ·			-
₽								
B∭E								•

Rysunek 9: Auto Match schemat

Teraz można zobaczyć jak będzie wyglądała symulacja:



Rysunek 10: Wynik po dopasowaniu

Pomiar z wykorzystaniem zbudowanego układu przy wykorzystaniu dostępnych elementów wygląda następująco:



Rysunek 11: Wynik pomiaru po dopasowaniu

2 Dopasowanie z wykorzystaniem programu QUCS Studio oraz VNA

Podobne rezultaty jak w poprzednim punkcie możemy osiągnąć z wykorzystaniem programu QUCS Studio. 2

W pierwszym kroku oczywiście odczytujemy parametry anteny tak samo jak w poprzednim akapicie i zapisujemy do pliku S1P.

2.1 Utworzenie przy pomocy szablonu parametru S, jak pokazano poniżej

QuesStudio 2.5.7															-			\times
File Edit Positioning Inser	t Project Tools	Simulation View Help																
New Text	Ctrl+N Ctrl+Shift+V	Untitled 🛛	• 8	<u>8</u> 8	٩	Q.	ж	3	2	5	*	Ŧ	4	*	÷	•	4x	
Templates	carro .	BIT characted	11111															1.1.0
Q Close	Ctrl+W	console c																
Save Save All	Ctrl+S Ctrl++	device_model.cpp FET_charac.sch																
Save as Print Print Fit to Page	Ctrl+- Ctrl+P Ctrl+Shift+P	gummel_plot.sch octave_function.m octave_mex.c																
Export as picture		s-parameter.sch																
Document Settings Edit Circuit Symbol	Ctrl+. F9	symbols.sch template.v																
Application Settings	Ctrl+,	template.va																
Exit	Ctrl+Q	tempate.vnci																
		<																>
															no	warn	ings	0:0

Rysunek 12: QUCSstudio S-Parameter Template

Podstawowy szablon po utworzeniu wygląda następująco:

 $^2\mbox{Luźne}$ tłumaczenie artykułu ze strony: https://hexandflex.com/2020/01/11/impedance-matching-with-qucs-studio-and-vna/

¢ دند	ⁱ QuesSt	udio	2.5.7	Incod	t Dry	aiact	Too	le 6	imul	ation	Via	w He	de														-			×
) • E			1 (9	0	B	100	3	2	E)	2		тр П	8	9	8	٩,	Q.	ж	:5	2	5	\pm	÷	4	±"	÷	•	√ x	-
								9 ×	un	titled	•																			
Library Components Content Projects	Ner Simulat Simulat Tuner to VNAcor	w ion_(ion_(ests mpar	Monte Octavi Optim	Open Carlo P ization		De	lete				P1 Nur Z=5 Star Star Poin	m=1 50 Oh e=log t=10N its=1!	m ion MHz SHZ S1	Datic Ean1 S11_c S11_c S21_c S21_c S21_c	DN iB=dE iB=dE iB=dE	3(S[2 3(S[1 3(S[2 =wph	0 P2	n=2 i0 Ohi	m											· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
									<																		no	warn	ings	

Rysunek 13: S-Parameter Template

Możesz przetestować układ, podłączając bezpośrednio przewód między P1 i P2 i naciskając ikonę "symuluj" (lub naciśnij F2). Po krótkich obliczeniach powinieneś zobaczyć wykres kartezjański i Smitha. Nie będzie to zbyt interesujące, ponieważ mamy idealne dopasowanie 50 Ω do 50 Ω .



Rysunek 14: Idealne dopasowanie

2.2 Import pliku s1p

Aby to zrobić, musimy usunąć port 2 (P2) i dodać komponent "Plik parametrów S". Podłącz go tak, jak pokazano. Zauważysz dodatkowy nieużywany port po prawej stronie komponentu. W następnej kolejności usuniemy ten dodatkowy port.



Rysunek 15: S-parameter File Component in 'Systems Components section

Kliknij dwukrotnie na komponent, wejdziesz do menu opcji i będziesz mógł wybrać plik s1p, a także ustawić liczbę portów na 1.

	arramatar file			
me: V	arameter nie			dienlau in echama
roperti	es			
show	Name	Value	Description	
\sim	File	stone/nanoVNA SP <mark>1300.s1</mark> p	name of the s parameter file	
	Data	polar	interpolation domain (rectangular, polar)	
	Interpolator	linear	interpolation type [linear, cubic]	
	duringDC	short ·	representation during DC and transient analysis (open, short, sl	hortall, zerofreq, response]
	Deemb	no '	for 2-port only: build de-embed matrix [yes, no]	
	Ports	1	number of ports	
	Symbol	block	schematic symbol [block, BJT, FET, coil, capacitor]	
	Package	SOT23	for PCB layout only: footprint [SOT23, TO92]	
				Edit Browse
				a 1

Rysunek 16: Select you s-param file and set number of ports to 1

Musimy teraz zmienić parametry symulacji, aby dopasować je do zakresu częstotliwości naszego pliku probierczego. Nie musi to być dokładne, ponieważ QUCS będzie interpolować między odczytami. Musiałem również zmienić przemiatanie z logarytmicznego na liniowy.

QuesStudio 2.5.7															_			х
File Edit Positioning Insert Project Tools Si	imulation View Help																	
]•2 🛛 🗑 🗑 🖉 🍐 🤞	ù 🛍 🔒 👟 🦘	<u>s</u> s	R R	Q.	X 19	2	5	*	Ŧ	4	<u>*</u> "	÷	+-	48	÷.	ø		
**	matchingexample.sch	o ma	tchingexample	dpl 🗆														
system components •																		^
system simulation Bit Generator で で で で で で で で で で で で で で で で で の の で の の			X1 File=	C:/VNA	/RVNA/	Touch	stone	/nano/	VNA S	SP13	00.s1	p						
Operation Delay frequency shift	0 P1 1 Num=1 ↓ Z=50 Ohm		-G	ef.														
田田																		
Pulse Shape quantization Filter - 문 수 소 Function Laser Mach-Zehnder DU - 문 문 Fiber Photodetector Coder 문 - 문	S parameter simulation Type=in Start=100MHz Stop=900MHz Points=1010			eq	uation Eqn1 S11_dB S11_pha	=dB(S) ise=wj	(1,1]) phase	(8[1,1	1D									
equation defined Frequency Domain 																		
	<.														no	warr	ings	> 0:0-

Musimy również usunąć odniesienia do portu 2 w równaniach.

Rysunek 17: Select you s-param file and set number of ports to 1

Ustaw parametry symulacji i równanie tak, aby odpowiadały zmianom.

Teraz, kiedy uruchomimy, powinniśmy zobaczyć te same wykresy, które widzieliśmy na VNA, kiedy początkowo mierzyliśmy urządzenie. Uwaga, wystąpią pewne błędy, ponieważ nadal próbujemy wykreślić port 2, który usunęliśmy wcześniej. Wystarczy dwukrotnie kliknąć wykres, aby otworzyć jego opcje i usunąć wykres dB(S[2,2]).



Rysunek 18: Powinno to wyglądać tak samo jak nasz pomiar VNA.

2.3 Projektowanie układu dopasowania

Aby to wygenerować, musimy najpierw dodać znacznik na jednej z naszych działek. Po wybraniu tego narzędzia możemy kliknąć nasz wykres, aby dodać znacznik do wykresu. Możesz precyzyjnie dostroić częstotliwość znaczników za pomocą klawiszy strzałek. Używam wykresu kartezjańskiego i wybieram 300 MHz (3e8) jako częstotliwość, na której chciałbym, aby moja pasująca sieć działała.



Rysunek 19: Dodanie znacznika do wykresu

Aby to zrobić, musimy kliknąć prawym przyciskiem myszy znacznik, aż zobaczymy opcję "dopasowanie mocy". Kliknięcie tego spowoduje wyświetlenie okna dialogowego Utwórz pasujący obwód pokazanego poniżej. W moim przypadku muszę zmienić format importu na mag/deg z rzeczywistego/obrazu(nie wiem dlaczego!). Narzędzie może wygenerować jedno z 2 rozwiązań w zależności od tego, czy zaznaczono opcję "użyj najkrótszej ścieżki". Przeprowadzę symulację obu, aby zobaczyć, jak każdy z nich będzie działał.

Create Matching Circuit		? ×
Calculate two-port matching Reference Impedance Port 1 50 ohms Port 2	50	ohms
S Parameter		
Input format real/imag -	🗹 use	shortest path
Reflexion Coefficient -4.09261 +j 0	S12 0	+j 0
Impedance (ohms) -30.3637 +j 0	S22 0.5	+j 0
Impedance (ohms) -30.3637 +j Frequency: 299.802 MHz	S22 0.5 ▪	+j 0

Rysunek 20: Pasujące parametry zaimportowane z wykresu

Po kliknięciu "Utwórz" będziesz mógł wkleić nową pasującą sieć do swojego projektu. Należy go umieścić między portem wejściowym, a komponentem parametru S. Dwie sieci generowane w moim projekcie są często określane jako górnoprzepustowe i dolnoprzepustowe. Jak widać, jeden projekt ma szeregową indukcyjność L i równoległą pojemność C i umożliwia przepływ prądu stałego (dolnoprzepustowy). Drugi projekt to szeregowa pojemność C i równoległa indukcyjność L, jest to projekt górnoprzepustowy.

Chargebodia 2.5.7													_		×
															^
File Edit Positioning Insert Project Tools	Simulation View Help														
) • 🗟 📾 🖻 🗇 🕹 🔺	- 0 R R 🖌 🗣 🕾	8 8 8 8 8 8	()ð <u>S</u>	۰ ۽	-10	4 ±	÷	** 1	F 6	k 0	22	к.	12		
	matchingexample.sch	matchingexample.dpl 0	3												
paintings Painti	P1 Num=1 Z=50 Ohm Sparameter smulation Type=In Stop=000Hiz Stop=000Hiz Points=1010	X1 File=C-XNAAT Eqn1 S11_dB=dB(S[1,1]) S11_phase=wphase(S[1	RVNA/Touchs	Use 50 Use 50	ovna s shortes ohm	st path c C1 C=4. L1 L=67.	1868 1868 1868 1868 1868	d L2 L=78.6 i (2 2=3.66	devic SanH devic	e					3
													ne	warnin	gs 0 : 0

Rysunek 21: 2 pasujące sieci wklejone do schematu.

Aby pokazać różnicę, przeprowadzę symulację obu projektów, a także niedopasowanego urządzenia.

TQUESSTUDIO 2.5.7																- 1. A - 1
													_		ц	~
File Edit Positioning Insert Project Tools Si	imulation View Help		_													
0 • 8 8 8 8 0 8 4	0 🛍 🔒 👟 🖘	8 8 8 8	-1 ×	2 11	۰ ۽	ē 4	<u>*</u>	÷	•• √7	<u>@</u> (9 E		8	12		
**	matchingexample.sch	o matchingexamp	pie.dpi 🗆													
system components -	Use shor	test path checked														
Image: Specific system simulation Bit Generator ⊕ ⊕ ⊕ Operation Delay frequency shift ⊕<	P1 Num=1 ↓ Z=50 Ohm	File-C	A1 File=C:/VNA/RVNA/Touchstone/nanoVNA 8PI300.s1p Ref													
	0 P2 Num=2 ↓ Z=80 Ohm ↓ Z=80 Ohm ↓ C=3.661pF	itpF	File=C:/VNA/RVNA/Touchstone/nanoVNA SPI300.s1p													
	Use P3 Num=3 ↓ 2=50 Ohm		X3 File	C:/VNA/I P ef	RVNA/T	S p sim Type Star Stop Poin	e=lin t=100v p=900v ts=101	eter on IHz IHz 0	SPI300.8	np 1_dB=c 2_dB=c 3_dB=c 1_phas	n 18(S[1 18(S[2 18(S[3 e=wp1	.1]) (.2]) (.3]) vase(S	(1,1)) ne v	amina	3 \$0:0	

Rysunek 22: Górnoprzepustowy, dolnoprzepustowy, niezrównany.

Daje to następujące wyniki. Czytelnikowi pozostawiam dopracowanie sposobu dodania dodatkowych wykresów do wykresu. To nie jest trudne.

W przypadku tej anteny z powodzeniem poprawiliśmy dopasowanie impedancji 300[MHz] z około -4[dB] do -12[dB]. Chociaż wszędzie jeszcze pogorszyliśmy sytuację.



Rysunek 23: Rezultat końcowy

2.4 Podsumowanie

Używając zarówno **NanoVNA** (lub większości innych VNA) z **QUCSstudio**, można łatwo importować przechwycone dane i projektować pasujące sieci. **Studio QUCS** pozwala nam łatwo przewidzieć wydajność tych sieci. To jednak dopiero początek. Następnie można bawić się wartościami komponentów, aby przetestować efekt użycia wartości ze świata rzeczywistego. Możesz dodać dodatkowe rezystory, aby symulować rzeczywiste straty. Możesz także użyć narzędzi optymalizacyjnych w wartościach parametrów przemiatania QUCS itp.



3 "Strojenie" fidera na połowę długości fali

Strojenie ³ anteny to przeważnie dość długi i pracochłonny proces, ale możemy sobie nieco ułatwić sprawę. Pomiary miernikiem VNA możemy przeprowdzić kalibrując wcześniej VNA razem z kablem koncentrycznym, który będzie zasilał antenę. Nie zawsze są warunki ku temu. Można też wcześniej przygotować odcinek kabla koncentrycznego o długości równej połowie długości fali lub jej wielokrotności. Kabel o takiej długości ma taką właściwość, że nie transformuje impedancji obciążenia, czyli impedancja widziana na wejściu kabla jest równa impedancji na jego wyjściu.

Najpierw musimy oszacować długość kabla jaka będzie nam potrzebna i możemy tego dokonać wyliczając długość ze wzoru:

(1)
$$L[m] = k \frac{150}{F[MHz]}$$

gdzie:

L – długość fizyczna kabla w metrach

F – częstotliwość pomiary w MHz

k – współczynnik skrócenia kabla

Wartość współczynnika k jest zawsze mniejsza od jedności i w zależności od budowy kabla i zastosowanego wypełnienia waha się od 0.6 do wartości bliskich 1. Jeżeli nie znamy wartości współczynnika k należy przyjąć wartość 1. Konsekwencją może być konieczność odcięcia większej nadwyżki kabla w procesie strojenia kabla pomiarowego.

Po obliczeniu fizycznej długości kabla pomiarowego przycinamy odpowiedni odcinek fidera dodając do obliczonej wartości niewielki zapas (5%÷10%) który skorygujemy podczas strojenia kabla. Rzeczywista wartość współczynnika skrócenia k może nieznacznie odbiegać od wartości podanej przez producenta. Kilku procentowy zapas uchroni nas przed sytuacją gdy w skutek złych danych odcinek kabla okazałby się zbyt krótki.

Na przygotowanym kablu mocujemy wtyk antenowy i podłączamy do analizatora antenowego. Na drugim końcu kabla wykonujemy zwarcie żyły środkowej kabla i ekranu. Zwarcie powinno być wykonane możliwie krótkie (np. przez skręcenie żyły z oplotem) a nadmiar drutów należy odciąć.

W takiej konfiguracji dokonujemy pomiaru impedancji kabla na częstotliwości na której potem będziemy stroić antenę. Jeżeli pomiar wykaże że składowa reaktancyjna X równa jest 0 a składowa rzeczywista R bliska 0 to kabel ma prawidłową długość i możemy na drugim końcu zamontować wtyczkę a następnie przystąpić do strojenia anteny. Najczęściej jednak pomiar wykaże niezerową wartość reaktancji X co oznacza konieczność korekcji długości kabla. W tej sytuacji możemy

³Kopia opisu kol. SQ5GVY

poszukać analizatorem częstotliwości na której składowa X osiągnie wartość 0. Jest to częstotliwość rezonansowa tego odcinka kabla. Częstotliwość ta powinna być niższa od zaplanowanej do pomiarów. Jeżeli nie znajdziemy takiej częstotliwości poniżej naszej zaplanowanej częstotliwości pomiarowej a wypadnie ona powyżej to będzie znaczyło, że albo został przycięty zbyt krótki odcinek kabla (błąd w obliczeniach, błąd w pomiarach długości kabla, zła wartość współczynnika skrócenia k) albo została źle zarobiona wtyczka lub jest źle wykonane zwarcie na końcu kabla.

Jeżeli częstotliwość rezonansowa kabla (na której X=0) wypadła poniżej częstotliwości pomiarowej korygujemy długość odcinka fidera przycinając go, Orientacyjną długość odcinka po korekcji można obliczyć z prostej zależności:

$$Lp = L\frac{F_r}{F_p}$$

gdzie:

L_p – długość kabla po korekcji

L – długość kabla podczas pomiaru

 F_r – częstotliwość rezonansowa (gdzie X=0)

 F_p – częstotliwość na której będzie strojona antena

Odcinając nadmiar kabla warto zostawić mała rezerwę i powtórzyć powyższą procedurę w celu precyzyjnego dobrania długości kabla. Po zakończeniu strojenia usuwamy zwarcie na końcu fidera i montujemy wtyczkę.