

<b>Kierunek:</b> <b>CBE</b>	<b>Nazwa zajęć:</b> <b>LABORATORIUM SIECI BEZPRZEWODOWYCH</b>		<b>Ocena:</b>
<b>Nr. ćwiczenia:</b> <b>4</b>	<b>Tytuł ćwiczenia:</b>  Filtry w układach zasilających		
<b>Termin:</b> <b>wt. 7:30 gr. 3</b>	<b>Data wykonania ćwiczenia:</b> <b>21.10.2025</b>	<b>Nr. grupy:</b> <b>1</b>	
<b>Osoby wykonujące ćwiczenie:</b>		<b>Podpisy:</b>	
Adam Wiktor			
Mateusz Jakoniuk			
<b>Sprawozdanie wykonał:</b>		Adam Wiktor	
<b>Data wykonania sprawozdania:</b>		21.10.2025	
<b>Sprawozdanie sprawdził:</b>		mgr inż. Marek Michalak	

Oświadczam, że zapoznałem/łam się ze niniejszym sprawozdaniem i uważam je za poprawnie wykonane:



.....

Oświadczam/y iż poniższe sprawozdanie zostało wykonane przeze mnie/nas samodzielnie:



.....

## Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z właściwościami oraz pomiar charakterystyki tłumienia wtrąceniowego przeciwzakłóceńowych filtrów sieciowych.

## Aparatura pomiarowa

1. Urządzenie pomiarowe RFT SMV 11 Veb Messelektronik Berlin 0,01...30MHz 220V 50/400Hz (OWR-T6-23).



*Dokumentacja techniczna:* <https://zapadpribor.com/en/smv-11/>

2. Filtr Schaffner 110/250VAC 50/60Hz (FN2070B-6-06).
3. Filtr WE-CLFS 250VAC 50/60Hz (810911006).



4. Filtr Strorschuss Dr. Typ III (36483570).
5. Duży, metalowy filtr z niewidocznymi napisami.



6. Przejsie ("beczka") BNC/BNC.
7. Adapter BNC.

## Przebieg ćwiczenia

### Pomiar metodą klasyczną

Zdecydowaliśmy się na pomiary:

- Kontrolny – samym przejściem BNC-BNC
- Filtrem 1 (później nazywanym urządzeniem nr 5)
- Filtrem 2 (później nazywanym urządzeniem nr 3)

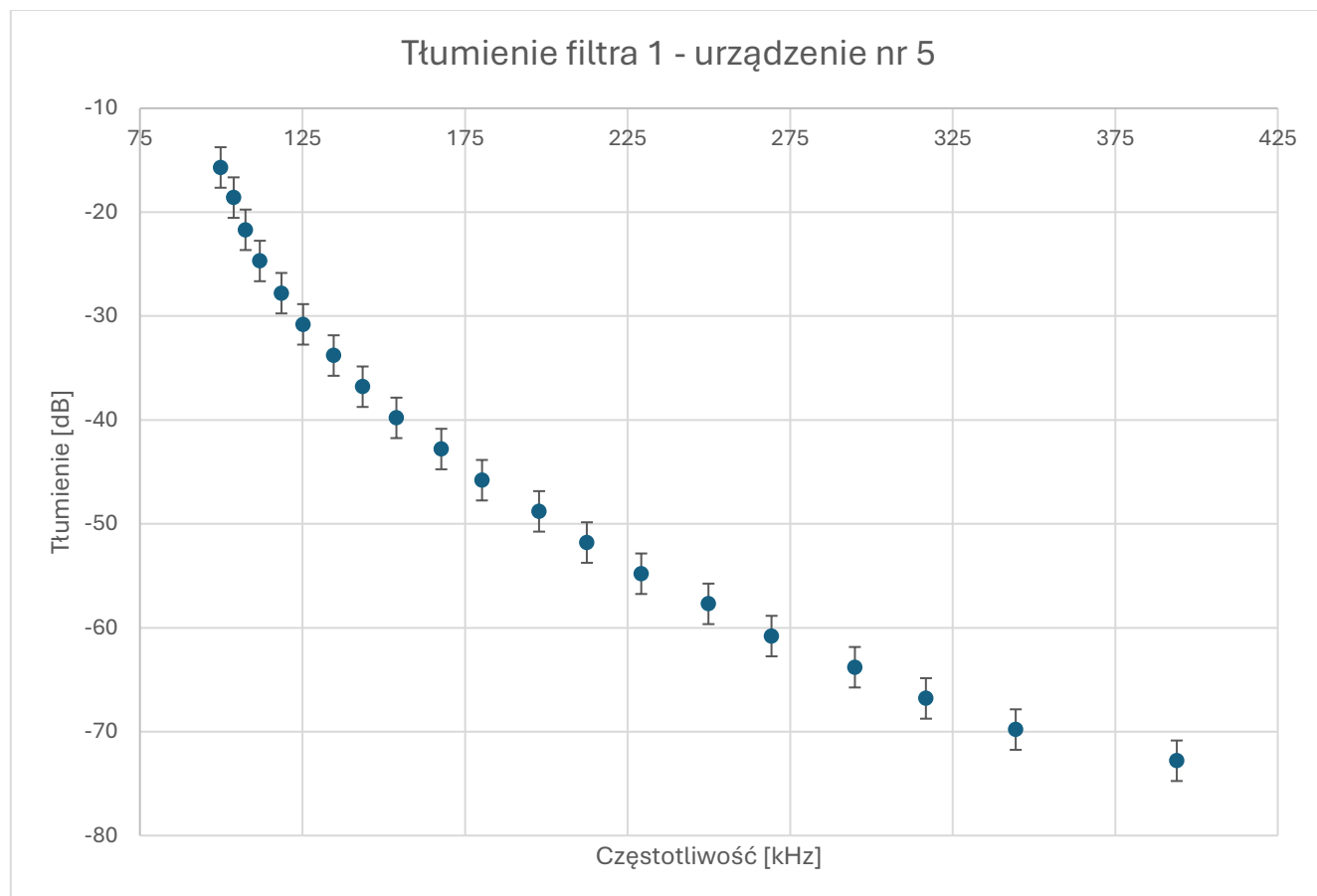
Wybraliśmy te urządzenia głównie ze względu na ich skrajnie różny rozmiar oraz dlatego, że jedno z nich wymagało dodatkowego adaptera, a drugie nie. Postanowiliśmy zaobserwować różnice w pomiarach przy tych warunkach. Po ustawieniu kalibracji i przygotowania stanowiska mogliśmy przystąpić do pomiarów.

Pierwszy został wykonany jedynie przejściem BNC-BNC, bez filtra. Miał on na celu określenia tłumienia występującego w samych kablach. Oczekiwany sygnał o napięciu  $100\text{dB}\mu\text{V}$  przy częstotliwości bazowej  $100\text{kHz}$  po przejściu przez kabel spadło do  $98.8\text{dB}\mu\text{V}$ . Oznacza to, że  $98.8\text{dB}\mu\text{V}$  powinno być naszym punktem odniesienia w metodzie klasycznej.

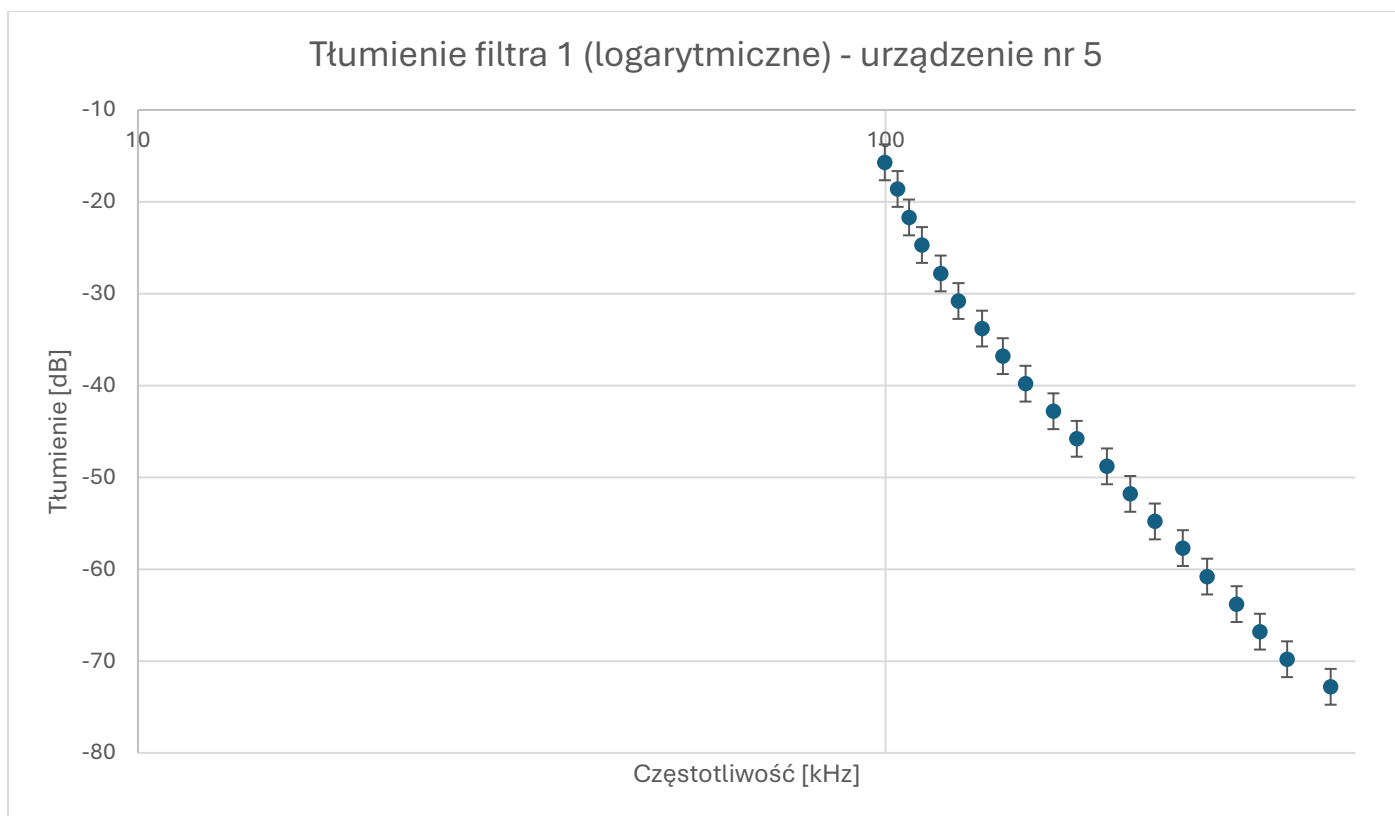
Z tą wiedzą mogliśmy przystąpić do serii pomiarów z filtrami. Zaczęliśmy od powrotu do częstotliwości bliskiej  $100\text{kHz}$  (konkretnie  $99.8\text{kHz}$ ), ponownego sprawdzenia kalibracji. Zmierzone napięcie wynosiło  $83.1\text{dB}\mu\text{V}$  – już na minimalnej częstotliwości filtr tłumił sygnał. Naszym zadaniem było ostrożne zwiększanie częstotliwości aż różnica pomiędzy napięciami wynosiła  $3\text{dB}$  – udało nam się osiągnąć  $80.2\text{dB}\mu\text{V}$  dla częstotliwości  $103.8\text{kHz}$ . Procedura była wykonywana iteracyjnie do osiągnięcia 20 pomiarów.

i	f [kHz]	Tłumienie 1 (urz. 5) [dB]	Niepewność standardowa względna
1	99,8	-15,7	12,415%
2	103,8	-18,6	10,479%
3	107,5	-21,7	8,982%
4	111,9	-24,7	7,891%
5	118,5	-27,8	7,011%
6	125,2	-30,8	6,328%
7	134,6	-33,8	5,767%
8	143,5	-36,8	5,296%
9	153,9	-39,8	4,897%
10	167,7	-42,8	4,554%
11	180,2	-45,8	4,256%
12	197,8	-48,8	3,994%
13	212,5	-51,8	3,763%
14	229,2	-54,8	3,557%
15	249,9	-57,7	3,378%
16	269,3	-60,8	3,206%
17	294,9	-63,8	3,055%
18	316,8	-66,8	2,918%
19	344,4	-69,8	2,792%
20	393,9	-72,8	2,677%

Tabela 1: Spadek amplitudy napięcia dla rosnącej częstotliwości przy wykorzystaniu filtra 1



Wykres 1: Zależność amplitudy napięcia od częstotliwości w kolejnych pomiarach przy wykorzystaniu filtra 1 (w skali liniowej)



Wykres 2: Zależność amplitudy napięcia od częstotliwości w kolejnych pomiarach przy wykorzystaniu filtra 1 (w skali logarytmicznej)

Tłumienie występowało po już niewielkich różnicach w częstotliwości, zatem w tym wypadku bardziej czytelna jest skala liniowa.

### Niepewność pomiarowa:

Niepewności pomiarowej typu A nie jesteśmy w stanie oszacować, ponieważ każdy pomiar został wykonany jedynie raz. Z tego powodu ograniczymy naszą niepewność pomiarową do niepewności typu B podzielonej przez  $\sqrt{3}$  aby otrzymać niepewność standardową. Stosujemy tą zasadę dla każdego z pomiarów, również w kolejnym zestawie pomiarów przy użyciu drugiego filtra.

Parametry do niepewności pomiarowej typu B zostały zaczerpnięte z dokumentacji urządzenia pomiarowego, przykładowo: <https://zapadpribor.com/en/smv-11/>. Okazała się ona jednak niepoprawnie sformatowana, prawdopodobnie przez tłumaczenie na język angielski.

Błąd pomiarowy został pomnożony przez pierwiastek z dwóch, ponieważ obliczone tłumienie składa się z dwóch pomiarów wykonywanych tym samym urządzeniem: pomiaru bazowego tłumienia („beczka” BNC-BNC) i pomiaru spadku napięcia przy podłączeniu tłumika. W związku z tym pomiar będący zależny od tych dwóch poprzednich będzie charakteryzował się większą niepewnością.

Dla bardziej inkluzyjnego błędu pomiaru można by dodatkowo pomnożyć błąd standardowy przez  $k=2$ , tym samym podnosząc go do 3.8 dB.

Table 3.

Indicating type	Bandwidth, V/MHz	Sinusoidal voltage measurement range. Approx. +5...+10dB		
		relative temperature $\delta_B=+23\pm2^{\circ}\text{C}$	Additional error intertemperature range -25...+45°C about $\delta_B$	Additional voltage noise error. SWM11 maximum.
AV I, AV II	0.2	1.5 dB	0.25 dB / 10°C	1 dB at the lower measurement limit
	1.7			
	9			
AV log	0.2	4 dB		1 dB at the lower measurement limit
	1.7			
	9			
QP I	0.2	1.5 dB		1 dB
QP II	9	1.5 dB		
RMS	0.2	1.5 dB		
	1.7			
	9			
P	0.2	1.5 dB		
	1.7			
	9			

Tabela 2: Niepewności pomiarowe

### Składowe niepewności pomiaru typu B to:

1. Niepewność błędu wskazania miernika dla temperatury  $23^\circ\text{C}$  ( $\pm 1.5\text{dB}$ )
2. Dodatkowa niepewność błędu spowodowana temperaturą ( $\pm 0.25\text{dB}/10^\circ\text{C}$ )
3. Niepewność błędu spowodowana dodatkowym szumem ( $\pm 1.0\text{dB}$ )
4. Niepewność błędu rozdzielczości miernika ( $\pm 0.2\text{dB}$ )

Temperatura w sali laboratoryjnej wynosiła około  $20^\circ\text{C}$ , zatem drugi składnik niepewności można ominąć.

### Przykładowy błąd pomiaru: pomiar nr 3:

$$\begin{aligned}
 f &= 107.5 \text{ kHz} \\
 V &= 77.1 \text{ dB}\mu\text{V} \\
 \Delta_{\text{base}} &= 1.5 \text{ dB} \\
 \Delta_{\text{noise}} &= 1.0 \text{ dB} \\
 \Delta_{\text{res}} &= 0.2 \text{ dB} \\
 u &= \sqrt{u_{\text{base}}^2 + u_{\text{noise}}^2 + u_{\text{res}}^2} \\
 u_{\text{base}} &= \frac{\Delta_{\text{base}}}{\sqrt{3}}, \quad u_{\text{noise}} = \frac{\Delta_{\text{noise}}}{\sqrt{3}}, \quad u_{\text{res}} = \frac{\Delta_{\text{res}}}{\sqrt{3}} \\
 u_{\text{base}} &= \frac{1.5}{\sqrt{3}} \text{ dB} = 0.866 \text{ dB} \\
 u_{\text{noise}} &= \frac{1.0}{\sqrt{3}} \text{ dB} = 0.577 \text{ dB} \\
 u_{\text{res}} &= \frac{0.2}{\sqrt{3}} \text{ dB} = 0.115 \text{ dB} \\
 u &= \sqrt{0.866^2 + 0.577^2 + 0.115^2} \text{ dB} \\
 u &= 1.4 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Równanie 1: Obliczanie niepewności pomiarowej standardowej bezwzględnej dla urządzenia pomiarowego

Niepewność pomiarowa pojedynczego pomiaru napięcia wynosiła 1.4dB, zatem niepewność każdego pomiaru tłumienia wynosiła 1.9dB, niezależnie od zakresu częstotliwości – dokumentacja urządzenia nie przewiduje różnych niepewności w zależności od tego parametru.

Bardzo podobna seria pomiarów została wykonana dla drugiego filtra. Po ponownym ustawieniu częstotliwości na bliską 100kHz (100.2kHz) zostało zmierzone napięcie – 80.8dB $\mu$ V, po czym częstotliwość była zwiększana do osiągnięcia różnicy 3dB – kolejno 196.2kHz i 78.0dB $\mu$ V. Ponownie, zadanie było wykonywane rekurencyjnie.

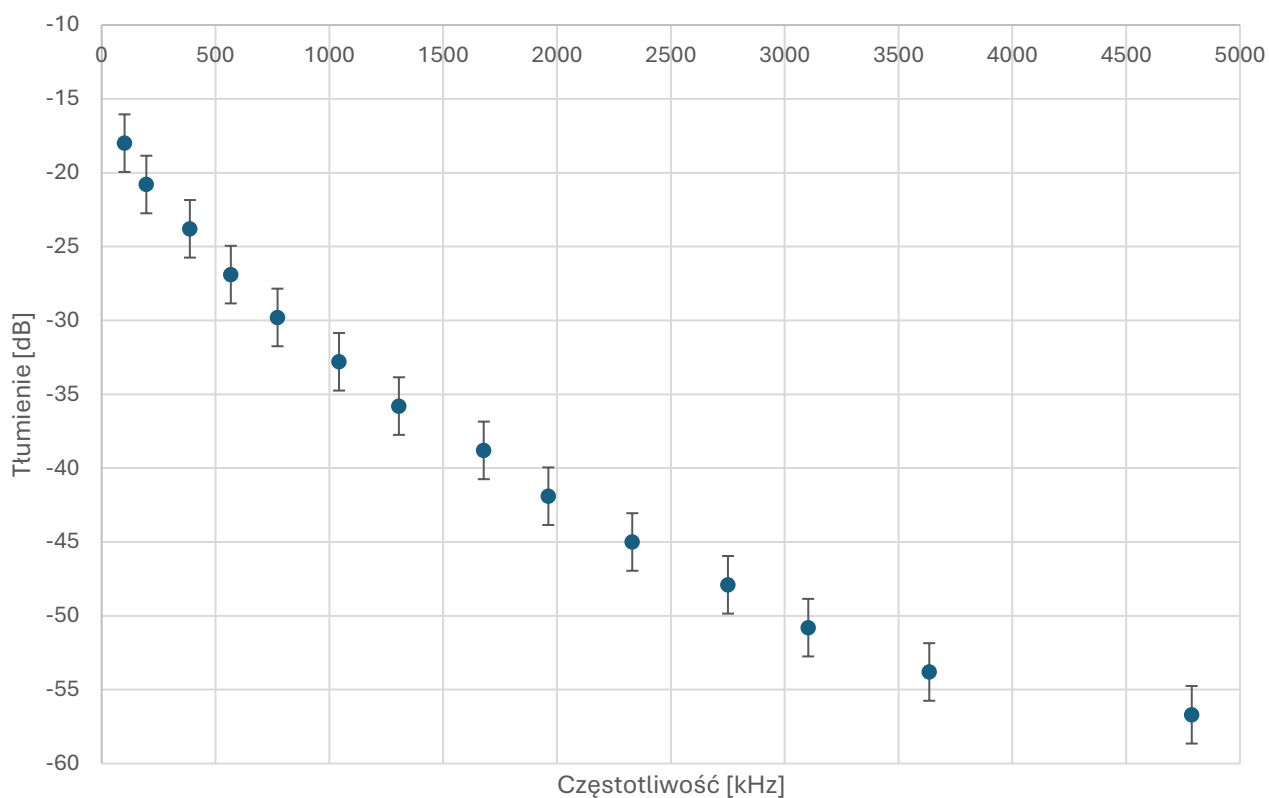
Niestety, okazało się, że elementy naszej aparatury pomiarowej były uszkodzone – najprawdopodobniej albo filtr, albo adaptery, które wykorzystywał. Zostało to zgłoszone na zajęciach. Przy pomiarach 12-14 wyniki były niedokładne, ponieważ wskazówka miernika nieprecyzyjnie i nieprzewidywalnie oscylowała wokół oczekiwanej wartości, a sam miernik po przesunięciu filtra zaczął wskazywać wartości o około 4dB mniejsze.

Ze względu na niewiarygodność późniejszych wyników, eksperyment został przerwany, a urządzenia zostały później zweryfikowane wektorowym analizatorem sieci.

i	f [kHz]	Tłumienie 2 (urz. 3) [dB]	Niepewność standardowa względna	Zmierzone napięcie (urz. 3) [dB $\mu$ V]
1	100,2	-18,0	10,828%	80,8
2	196,2	-20,8	9,371%	78,0
3	387,7	-23,8	8,189%	75,0
4	567,1	-26,9	7,246%	71,9
5	772,2	-29,8	6,541%	69,0
6	1042,8	-32,8	5,942%	66,0
7	1305,7	-35,8	5,444%	63,0
8	1678,6	-38,8	5,023%	60,0
9	1961,5	-41,9	4,652%	56,9
10	2331,0	-45,0	4,331%	53,8
11	2751,5	-47,9	4,069%	50,9
12	3103,5	-50,8	3,837%	48,0
13	3634,9	-53,8	3,623%	45,0
14	4787,9	-56,7	3,438%	42,1

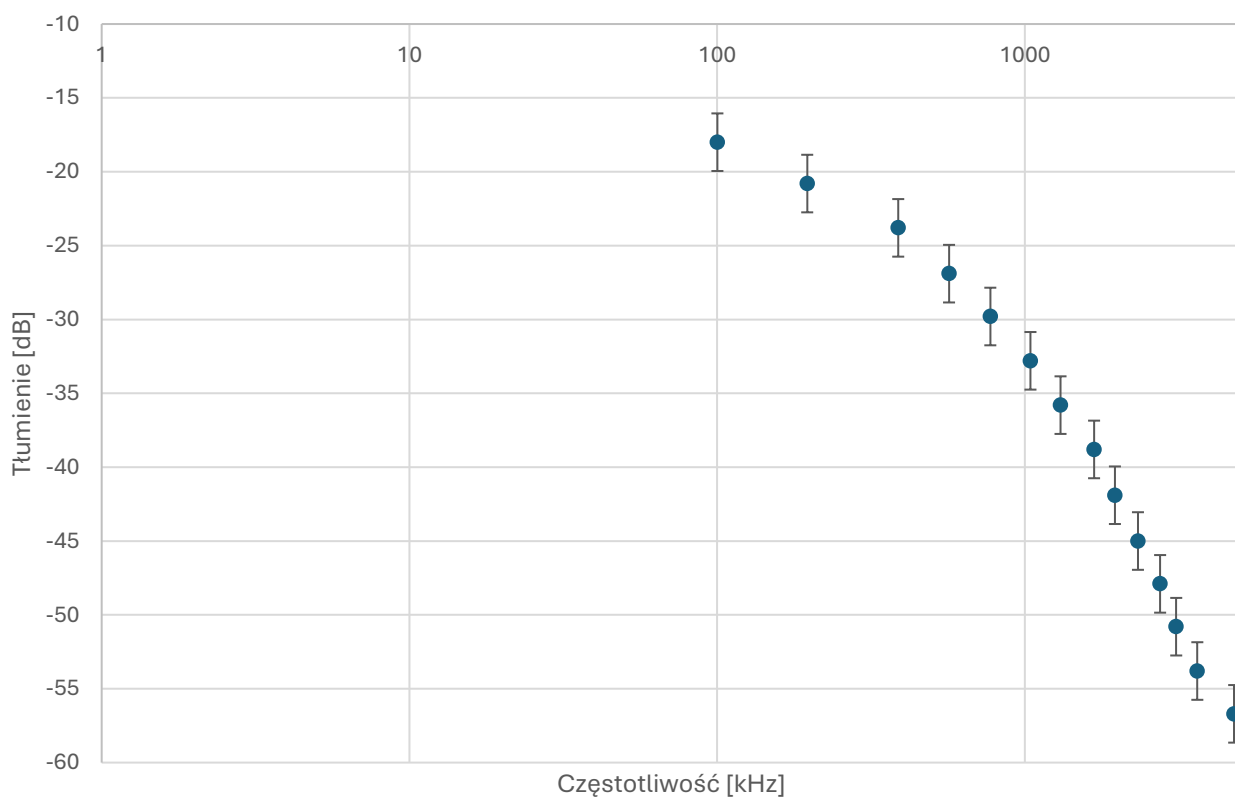
*Tabela 3: Spadek amplitudy napięcia dla rosnącej częstotliwości przy wykorzystaniu filtra 2*

Tłumienie filtra 2 - urządzenie nr 3



Wykres 3: Zależność amplitudy napięcia od częstotliwości w kolejnych pomiarach przy wykorzystaniu filtra 1 (w skali liniowej)

Tłumienie filtra 2 - urządzenie nr 3



Wykres 4: Zależność amplitudy napięcia od częstotliwości w kolejnych pomiarach przy wykorzystaniu filtra 2 (w skali logarytmicznej)



W tej serii pomiarów skala logarytmiczna jest bardziej czytelna i prawdopodobnie byłoby to jeszcze bardziej widoczne po wykonaniu wszystkich 20 planowanych pomiarów.

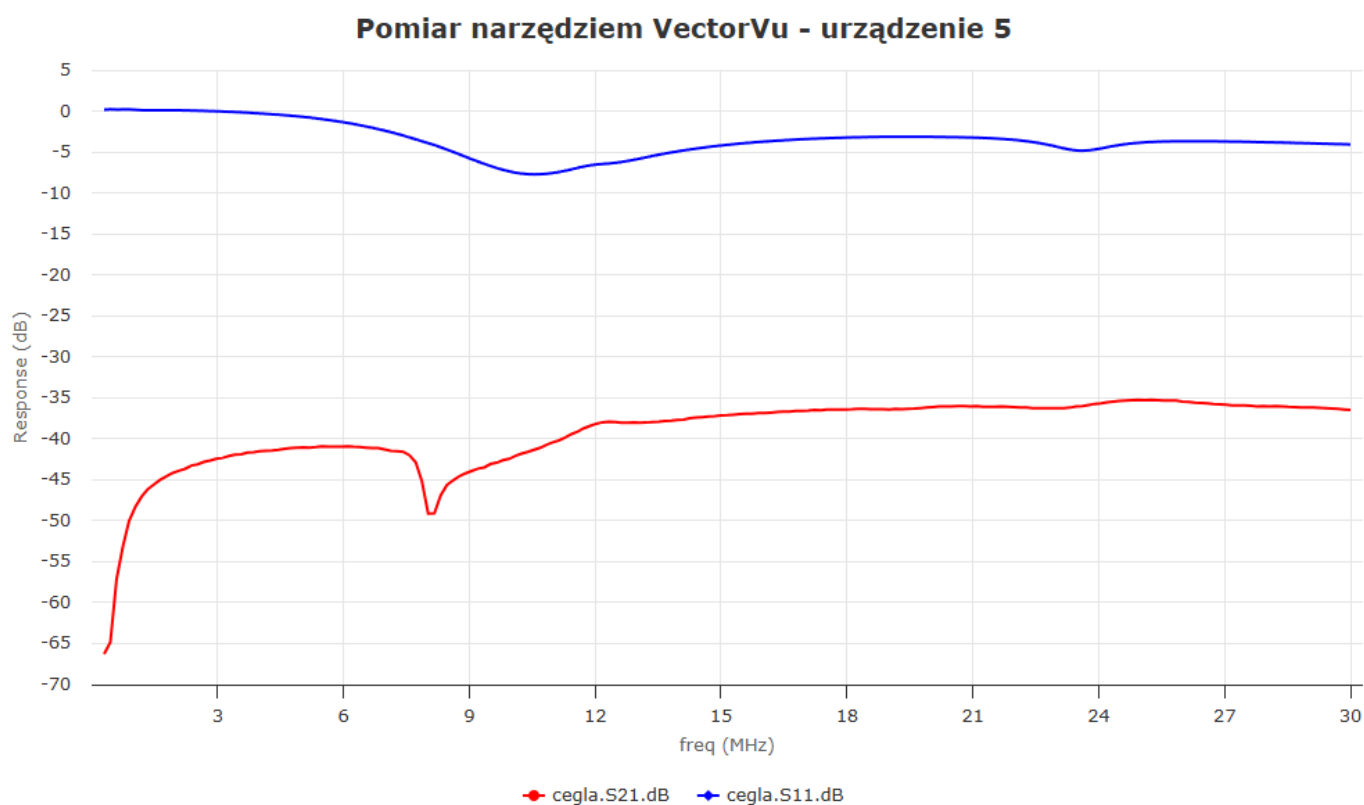
### Pomiar metodą uproszczoną

Pomiar metodą uproszczoną został pominięty zgodnie z poleceniem prowadzącego, lecz dawałby on podobne wyniki, ponieważ generator sygnałów dawał wyniki bliskie oczekiwanym.

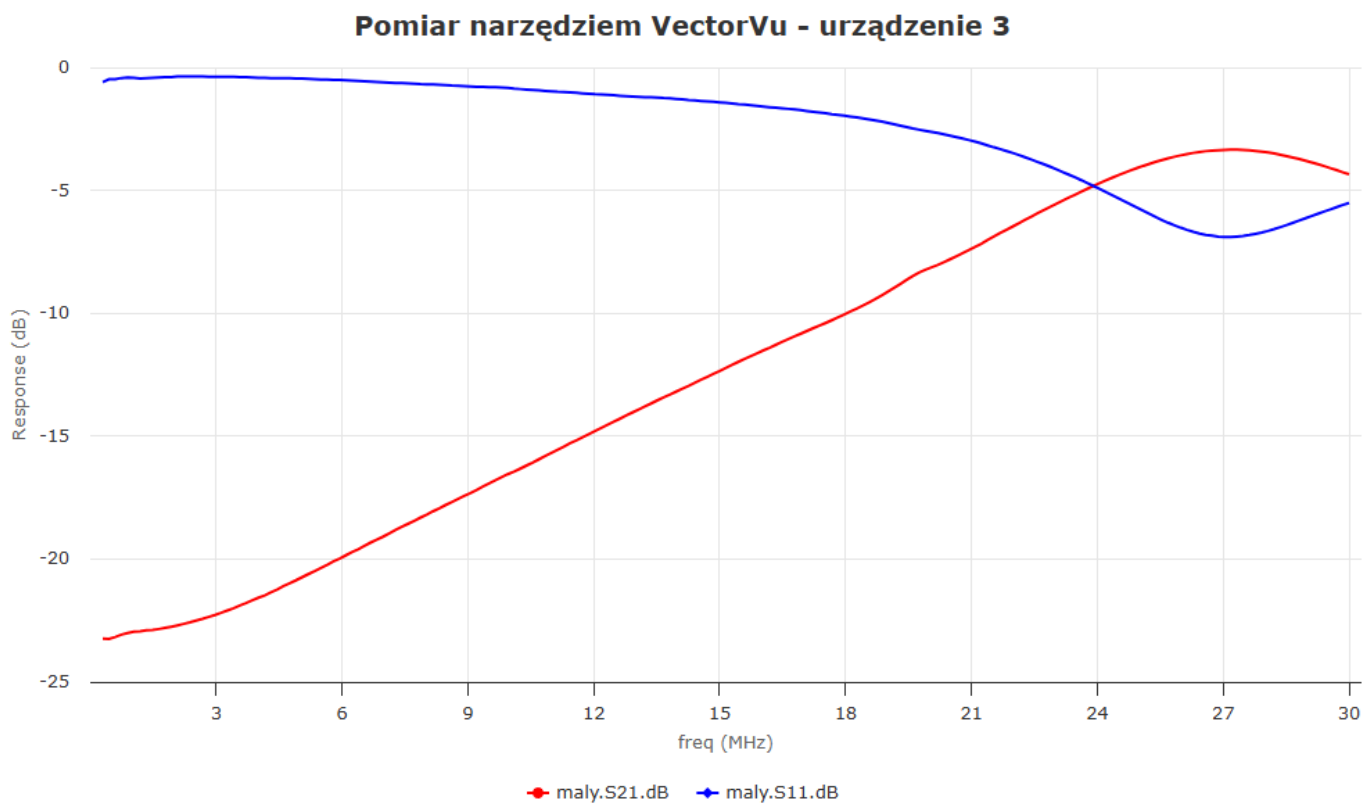
### Pomiar wektorowym analizatorem sieci

Zgodnie z instrukcjami, po uruchomieniu VectorVu-PC, ograniczeniu zakresu pomiaru oraz zmianie skali na logarytmiczną można było zmierzyć nowy punkt odniesienia – pomiar dla samego przejścia BNC-BNC. Po wykonaniu tego kroku i kalibracji można było wykonać pomiar amplitudy napięcia dla różnych poziomów częstotliwości przy użyciu filtrów z poprzedniego pomiaru. Wyniki zostały zaobserwowane przez nas oraz zapisane w postaci pliku .s2p.

Podczas pisania sprawozdania użyliśmy narzędzia <https://rfdesigntools.pythonanywhere.com/tool/s-parameter-viewer> aby odczytać te wyniki.



Wykres 5: Parametry S11 i S21 dla tłumienia spowodowanego urządzeniem nr 5



Wykres 6: Parametry S11 i S21 dla tłumienia spowodowanego urządzeniem nr 3

## Wnioski, obserwacje i analiza

Tłumienie w systemach radiowych nie jest stałe tak, jak mogłoby się wydawać – zamiast tego charakterystyka zależy od użytego filtra. W przypadku filtrów przez nas użytych rośnie ono wraz z wzrostem częstotliwości, co w przypadku urządzenia nr 5 przybiera kształt bliski liniowemu (w skali logarytmicznej, gdzie zarówno argumenty jak i wartości są logarytmem o podstawie 10). Cechy urządzenia nr 3 są trudniejsze w ocenieniu ze względu na problemy, które pojawiały się podczas jego używania. Z dużą pewnością można jednak przewidywać, że wykres nie posiadałby charakterystyki liniowej.

Ćwiczenie pokazuje również jak wygodne i użyteczne są decybele w pomiarach spadków i wzrostów jakichkolwiek sygnałów – zamiast przemnażać wartości napięcia przez stały mnożnik, mogliśmy po prostu dodawać 3dB, co w skali logarytmicznej pozwala na stworzenie czytelnego wykresu.

Niezrozumiała jest dla nas różnica pomiędzy naszymi wykresami a tymi wygenerowanymi przy pomocy VectorVu – S21 jest „odwrócony” w stosunku do naszego wykresu. Nie potrafimy tego poprawnie zinterpretować i ciekawi nas z czego wynika ta różnica.