

**POLITECHNIKA WROCŁAWSKA**  
**KATEDRA TELEKOMUNIKACJI I TELEINFORMATYKI**

# **LABORATORIUM KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ**

## **INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA NR 4**

**Temat: Filtry w układach zasilających**

Opracował: **dr inż. Paweł Bieńkowski**

**Wrocław 2012 / Rev 2022**

## I. Cel ćwiczenia

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

## II. Przygotowanie teoretyczne

1. Zaburzenia przewodzone symetryczne i asymetryczne. Pokazać ścieżkę prądów symetrycznych i asymetrycznych [1, 2].
2. Narysować i wyjaśnić prądy i napięcia: robocze, symetryczne i asymetryczne dla układu pary przewodów [1, 2].
3. Budowa typowego, jednosekcyjnego filtra przeciwzakłóceńowego [3].
4. Zasada działania dławika składowej asymetrycznej oraz dławika składowej symetrycznej.
5. Podstawowe informacje nt. macierz rozproszenia  $S$  [4].
6. Podstawowe informacje nt. tłumienia wtrąceniowego (z ang. Insertion Loss IL). Związek IL z parametrami  $S$ .

## III. Przygotowanie do ćwiczenia

1. Zapoznać się ze stanowiskiem.
2. Dokonać oględzin stanowiska. Sprawdzić, czy żaden z elementów stanowiska nie budzi zastrzeżeń w zakresie bezpieczeństwa.
3. Poczekać na prowadzącego, który zweryfikuje sposób podłączenia urządzeń do sieci energetycznej i wyda pozwolenie uruchomienia urządzenia pomiarowego.
4. W tym czasie wypełnić protokół wpisując skład grupy, spis przyrządów i urządzeń.
5. Notatki z pomiarów powinny zawierać datę.
6. Zapoznać się z instrukcją obsługi miernika, a szczególnie z technikami wykonywania kalibracji i pomiarów.

## IV. Przebieg ćwiczenia

Możliwe są dwie alternatywne metody pomiaru tłumienia wtrąceniowego filtra oraz jedna wspólna. Wszystkie metody opisano w kolejnych podpunktach. Pomiary należy wykonać obiema metodami dla zakresu częstotliwości od 10 kHz do 30 MHz. Minimalna liczba punktów częstotliwościowych to 20. W przypadku, gdyby różnica pomiędzy wynikami pomiarów dla dwóch kolejnych częstotliwości była większa niż 3 dB, należy lokalnie zagęszczać pomiary do momentu, w którym warunek 3 dB różnicy nie będzie naruszony.

### A. Pomiar metodą klasyczną

Zgodnie z definicją, pomiar tłumienia wtrąceniowego należy wykonać dwuetapowo. W pierwszym etapie, należy dokonać pomiaru poziomu napięcia w wyznaczonym punkcie obwodu, w którym to obwodzie nie zainstalowano filtra. Następnie w obwód należy włączyć filtr i dokonać pomiaru poziomu napięcia w tym samym punkcie obwodu. W celu wyznaczenia tłumienia wtrąceniowego należy wyznaczyć moduł różnicy obu odczytów, przy czym obliczenia należy przeprowadzić w skali logarytmicznej (z uwagi na wyznaczanie modułu różnicy, kolejność czynników przy odejmowaniu nie ma znaczenia).

### Przebieg pomiaru metodą klasyczną

1. Wybrać filtr, którego charakterystyka tłumienności wtrąceniowej ma być zmierzona.
2. Skonfigurować miernik zgodnie z instrukcją.
3. Zgłosić gotowość prowadzącemu i **po uzyskaniu wyraźnej zgody**, podłączyć źródło sygnału do wejścia pomiarowego miernika, zachowując zasady profilaktyki ESD. W miejsce filtra zastosować „beczkę” BNC-BNC umożliwiającą spięcie końców dwóch przewodów.
4. Dokonać pomiaru amplitudy napięcia w funkcji częstotliwości dla toru bez filtra. Punkty częstotliwościowe dobierać w taki sposób, by uzyskać równo rozłożone punkty pomiarowe na skali logarytmicznej, pamiętając o zachowaniu warunku 3 dB różnicy. Sposób wyznaczania punktów częstotliwościowych podano w **rozdz.V**.

5. Z uwagi na wykonywanie obu pomiarów: bez filtra w torze oraz z filtrem w torze, dla tej samej konfiguracji miernika, nie ma potrzeby sprawdzania, czy miernik utrzymuje kalibrację.
6. Dołączyć do filtra adaptery, które wymuszają asymetryczne zasilanie filtra.
7. Zachowując zasady profilaktyki ESD, podłączyć filtr (z dołączonymi adapterami) do źródła sygnału oraz wejścia pomiarowego miernika. Zwrócić uwagę na odpowiednie ułożenie filtra względem kierunku propagacji sygnału testowego w torze pomiarowym.
8. Dokonać drugiego pomiaru amplitudy napięcia w funkcji częstotliwości dla toru z filtrem. Pomiarów dokonać w tych samych punktach częstotliwościowych, w których dokonano pomiaru pierwszego.
9. Wyznaczyć tłumienie wtrąceniowe filtra.
10. Po zakończeniu pomiarów przedstawić protokół z wynikami prowadzącemu.

## **B. Pomiar metodą uproszczoną**

Możliwe jest również dokonanie pomiaru tłumienia wtrąceniowego w nieco inny sposób. Jeśli dysponujemy źródłem o znanej i niezmienniej amplitudzie, wówczas pominąć możemy pomiar obwodu z wymontowanym filtrem. W miejsce pierwszego pomiaru przyjmiemy arbitralnie stały poziom, jaki jest na wyjściu źródła sygnału. Spowoduje to jednak wystąpienie błędu metody, wynikającego z nie uwzględnienia tłumienności przewodów (normalnie tłumienność przewodów byłaby uwzględniona w pomiarze obwodu z wymontowanym filtrem). Jednakże, z uwagi na stosunkowo niskie częstotliwości oraz użycie dobrej klasy przewodów przyjąć można, że błąd spowodowany pominięciem tłumienności przewodów będzie mniejszy od błędu urządzenia pomiarowego. Przyjęcie alternatywnej metody pomiaru tłumienia wtrąceniowego, pozwala na redukcję czasu trwania pomiaru o połowę, przy jednoczesnym zachowaniu wymaganej dokładności pomiaru.

### **Przebieg pomiaru metodą uproszczoną**

1. Wybrać filtr, którego charakterystyka tłumienności wtrąceniowej ma być zmierzona.
2. Dołączyć do filtra adaptery, które wymuszają asymetryczne zasilanie filtra.
3. Skonfigurować miernik zgodnie z instrukcją.
4. Zgłosić gotowość prowadzącemu i **po uzyskaniu wyraźnej zgody**, podłączyć filtr (z dołączonymi adapterami) do źródła sygnału oraz wejścia pomiarowego miernika. Zwrócić uwagę na odpowiednie ułożenie filtra względem kierunku propagacji sygnału testowego w torze pomiarowym.
5. Dokonać pomiaru amplitudy napięcia w funkcji częstotliwości. Punkty częstotliwościowe dobierać w taki sposób, by uzyskać równo rozłożone punkty pomiarowe na skali logarytmicznej, pamiętając o zachowaniu warunku 3 dB różnicy. Sposób wyznaczania punktów częstotliwościowych podano w **rozdz. V**. W celu utrzymania wymaganej dokładności pomiaru, każdorazowo zweryfikować, czy miernik utrzymuje kalibrację (procedura opisana w **rozdz. V**).
6. Wyznaczyć tłumienie wtrąceniowe filtra przyjmując, że amplituda sygnału źródłowego (hipotetyczna amplituda pierwszego pomiaru) wynosiła 100dB $\mu$ V.
7. Po zakończeniu pomiarów przedstawić protokół z wynikami prowadzącemu.

## **C. Pomiar wektorowym analizatorem sieci (Vector Network Analyzer - VNA)**

Pomiar z wykorzystaniem VNA najczęściej wykonuje się metodą klasyczną, a więc również dwuetapowo. Dzięki bardziej zaawansowanemu urządzeniu trwa on jednak krócej, a konieczność wykonania pomiaru dla obwodu bez podłączonego filtru jest zastąpiona kalibracją toru. Po skalibrowaniu przyrządu, a więc skompensowaniu tłumienia przewodu, otrzymywane wyniki dla pomiaru parametru S12 lub S21 są wynikami tłumienia wtrąceniowego.

### Konfiguracja VNA dla pomiaru metodą klasyczną

1. Na komputerze uruchomić aplikację VectorVu-PC.
2. Po uruchomieniu się aplikacji należy ograniczyć zakres pomiaru (od najmniejszego możliwego do 30 MHz). Zmiana zakresu częstotliwości poprzez edytowanie parametrów „Start” i „Stop”.
3. Zmienić skalę na logarytmiczną. Menu Sweep Setup -> Sweep Type i wybrać Log Freq.
4. Zmienić mierzony parametr na S12 lub S21. Measure -> i wybrać odpowiedni parametr macierzy S do pomiaru.

### Przebieg pomiaru z użyciem VNA

1. Podłączyć źródło sygnału do wejścia pomiarowego miernika, zachowując zasady profilaktyki ESD. W miejsce filtra zastosować „beczkę” BNC-BNC umożliwiającą spięcie końców dwóch przewodów.
2. Wykonać kalibrację. Wybrać menu Cal -> Calibrate -> Response -> Thru.
3. W okienku wykonywania kalibracji wybrać typ „przejście” i poczekać na zakończenie procedury kalibracji – zamiana symbolu  $\times$  na  $\checkmark$ , zatwierdzić kalibrację.
4. W miejsce „beczki” podłączyć wybrany filtr wykorzystując dostępne adaptory.
5. Pomiar uruchamiamy wykonując ponownie punkt 4. z konfiguracji VNA.
6. Wynik należy wyeksportować w postaci pliku .xlsx, z wynikami w postaci decybelowej. Z menu Save/Recall -> SnP Format i wybrać dB jako format. Następnie zapisać przebieg z S2p. **Wyniki zapisać we własnym folderze utworzonym w folderze „wyniki” na pulpicie.**

### V. Wskazówki do przygotowania sprawozdania

7. W sprawozdaniu z ćwiczenia należy zawrzeć:
  - cel ćwiczenia
  - wykaz aparatury pomiarowej (wraz z numerami seryjnymi lub inwentarzowymi)
  - syntetyczny opis przebiegu ćwiczenia (równoważnikami zdania w punktach)
  - zestawienie w postaci wykresów wyników pomiaru amplitudy (albo jeden, albo dwa wykresy, zależnie od przyjętej metodyki pomiaru)
  - zestawienie w postaci wykresów wyników pomiaru tłumienia wtrąceniowego filtra zasilanego asymetrycznie
  - wnioski (należy wystrzegać się przepisywania przebiegu ćwiczenia).
8. Wykresy sporządzane na jednej stronie muszą być przygotowane w taki sposób, by pokrywały się wartości na osi odciętych. Na osi odciętych należy zastosować logarytmiczną skalę częstotliwości, na osi rzędnych skalę liniową. Na wykresach należy nanosić zmierzoną wartość tłumienia wtrąceniowego wyrażoną w [dB].

### VI. Sposób wyznaczania punktów częstotliwościowych

Zakładając, że:

$f_p$  - to częstotliwość początkowa wyrażona w kHz

$f_k$  - to częstotliwość końcowa wyrażona w kHz

$n$  - liczba punktów częstotliwościowych oraz  $i \in \langle 1, n \rangle$

kolejny i-ty punkt częstotliwościowy wyrażony w kHz, należy wyliczyć z zależności:

$$f_i = f_p * \left( \frac{f_k}{f_p} \right)^{\frac{i-1}{n-1}} \quad (1)$$

Pierwszym punktem częstotliwościowym będzie  $f_p$ , a końcowym  $f_k$ .

## VII. Zalecenia

1. Dobra praktyka pomiarowa nakazuje ustawienie maksymalnego tłumienia tłumika wejściowego przed dołączeniem urządzenia pomiarowego do obwodu.
2. Zawsze obwód pomiarowy należy łączyć od źródła do urządzenia pomiarowego, a urządzenie pomiarowe podłączać jako ostatni element układu.
3. Zawsze podłączając przewód koncentryczny do wejścia urządzenia pomiarowego musimy wiedzieć „co się dzieje” z drugim końcem tego przewodu!
4. Zawsze podłączając przewód koncentryczny do wejścia urządzenia pomiarowego należy zadbać o odprowadzenie ładunków elektrostatycznych z żyły gorącej przewodu koncentrycznego oraz o wyrównanie potencjału obu żył przewodu koncentrycznego. W razie wątpliwości należy zwrócić się o pomoc do prowadzącego.
5. Aspektem kluczowym dla dokładności pomiarów jest odpowiednie skalibrowanie urządzenia pomiarowego (niekiedy również ustawienie wskazania zerowego). Zawsze warto sprawdzić, czy urządzenie utrzymuje kalibrację w całym zakresie częstotliwości pomiarowych. Jeśli nie, wykonanie kalibracji jest konieczne dla każdej częstotliwości pomiarowej.

## VIII. Literatura

- [1] T.W. Więckowski, „*Badania kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń elektrycznych i elektronicznych*”, Oficyna wydawnicza PWr, Wrocław 2001
- [2] A. Charoy, „*Kompatybilność Elektromagnetyczna – Zakłócenia w urządzeniach elektronicznych*”, tom. I, WNT, Warszawa 1996
- [3] A. Charoy, „*Kompatybilność Elektromagnetyczna – Zakłócenia w urządzeniach elektronicznych*”, tom. III, WNT, Warszawa 1996
- [4] B. Galwas, „*Miernictwo mikrofalowe*”, WKiŁ, Warszawa 1985