

Szybka transformata Fouriera (FFT) w badaniach tłumienności obiektów ekranujących

Streszczenie. W artykule została przedstawiona szybka metoda pomiaru tłumienności z wykorzystaniem szybkiej transformaty Fouriera (FFT). Istotną cechą tej metody jest możliwość uzyskania quasi-ciągłych charakterystyk tłumienia obiektów ekranujących dzięki widmowej analizie odpowiednio ukształtowanych przebiegów w dziedzinie czasu.

Abstract. This article presents a quick method of attenuation measurement using Fast Fourier Transform (FFT). An important feature of this method is possibility to obtain a quasi-continuous attenuation characteristics of shielding objects by spectral analysis of the selected signals. (Using fast Fourier transform to attenuation tests of shielding objects).

Słowa kluczowe: kompatybilność elektromagnetyczna (EMC), tłumienność, obiekty ekranujące, analiza widmowa.

Keywords: electromagnetic compatibility, attenuation, shielding objects, spectral analysis.

Wstęp

Zapewnienie odpowiednio dużej tłumienności obiektów ekranujących (w tym indywidualnych osłon ekranujących) jest bardzo istotnym problemem zarówno w przypadku ochrony informacji jak i odseparowania się od zewnętrznego środowiska elektromagnetycznego w trakcie badań EMC. Obiekty takie podlegają badaniom, w trakcie których określona zostaje ich tłumienność i jednocześnie przydatność do odpowiednich zastosowań.

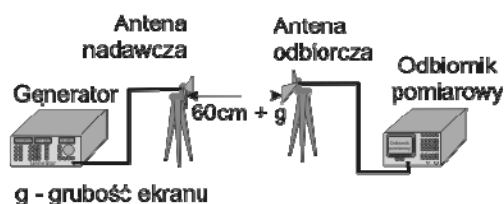
Do takich badań wykorzystuje się metody opisane w różnych dokumentach normalizacyjnych, wśród których najczęściej stosowaną w kraju jest norma obronna NO-06-A501. Przeprowadzenie pomiarów zgodnie z tą normą jest niezbędne do uzyskania odpowiedniego certyfikatu umożliwiającego przetwarzanie informacji niejawnych.

Niestety, opisane w dokumentach normalizacyjnych metody badań tłumienności opierają się na badaniach cząstkowych. Prowadzone są one na kilku wybranych częstotliwościach (np. 10 kHz, 15 kHz, 150 kHz, 15 MHz dla tłumienia pola magnetycznego i 200 kHz, 1 MHz, 18 MHz, 350 MHz i 900 MHz dla tłumienia pola elektrycznego i fali płaskiej). Ze względu na występujące nieciągłości ekranu w badanych obiektach, pomiędzy tymi częstotliwościami często dochodzi do pogorszenia właściwości ekranujących, co w konsekwencji może czynić taki obiekt nieprzydatnym do wykorzystania.

Teoretycznie, wyjściem z tej sytuacji mogłoby być zagęszczenie częstotliwości pomiarowych, lecz spowoduje to znaczne wydłużenie czasu badań, a co za tym idzie również kosztów.

W artykule zostanie przedstawiona dużo szybsza metoda pomiaru tłumienności z wykorzystaniem szybkiej transformaty Fouriera (FFT). Istotną cechą tej metody jest możliwość uzyskania quasi-ciągłych charakterystyk tłumienia obiektów ekranujących dzięki widmowej analizie odpowiednio ukształtowanych przebiegów w dziedzinie czasu.

Metoda znormalizowana



Rys.1. Przykładowy układ pomiarowy do określenia poziomu pola odniesienia

Metody znormalizowane, opisane w obowiązujących normach (np. NO-06-A501, PN-EN 50147-1) generalnie polegają na pomiarze pola odniesienia oraz pola tłumionego przy wykorzystaniu układów pomiarowych przedstawionych na rysunkach 1 i 2.



Rys.2. Przykładowy układ pomiarowy do określenia poziomu pola tłumionego

Największą wadą tych metod jest konieczność stosowania wielu prostych sygnałów o przebiegu sinusoidalnym i zadanej częstotliwości. W metodach tych ewentualne wykorzystanie dopuszczalnej modulacji ma za zadanie jedynie pomóc w identyfikacji mierzonych sygnałów.



Rys.3. Przebieg czasowy sygnału odniesienia



Rys.4. Widmo częstotliwościowe sygnału odniesienia



Rys.5. Widmo częstotliwościowe sygnału tłumionego (tłumienie 20 dB)



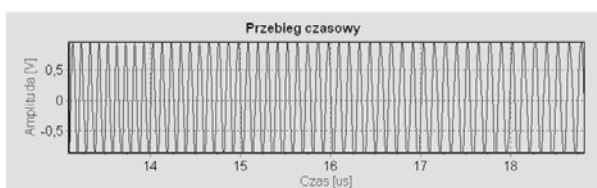
Rys.6. Przebieg czasowy sygnału tłumionego (tłumienie 20 dB)

Ze względu na brak dostatecznie dobrej komunikacji pomiędzy zespołem urządzeń nadawczych i odbiorczych (najczęściej nie ma możliwości przeprowadzenia przez ekran kabli sterujących) pomiary tego typu są czasochłonne. Zagęszczenie częstotliwości, na których prowadzone są badania przy uwzględnieniu dużej liczby punktów pomiarowych w obiekcie badanym, powoduje wydłużenie czasu trwania badań.

Z drugiej strony, niewystarczające zagęszczenie częstotliwości pomiarowych może doprowadzić do niewykrycia nieszczelności ekranu (w trakcie prowadzonych badań obserwowano już nieszczelności o bardzo wąskim paśmie promieniowania – rzędu setek kHz). Jest to bardzo poważną wadą dotychczasowych metod pomiarowych (znormalizowanych) dotyczących badań tłumienności obiektów ekranujących.

Metoda zmodyfikowana

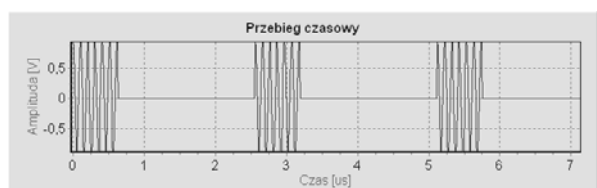
W odniesieniu do metody znormalizowanej różnica dotyczy jedynie postaci analizowanego sygnału a zasada pomiaru pozostaje niezmienną. Zmiana postaci sygnału związana jest z koniecznością zastosowania odpowiedniego źródła sygnału oraz odbiornika.



Rys.7. Przebieg czasowy sygnału z modulacją częstotliwości



Rys.8. Widmo częstotliwościowe sygnału z modulacją częstotliwości



Rys.9. Przebieg czasowy sygnału z modulacją impulsową



Rys.10. Widmo częstotliwościowe sygnału z modulacją impulsową

Wykorzystywany sygnał powinien charakteryzować się możliwie szerokim pasmem sygnału oraz gęsto rozłożonymi składowymi częstotliwościowymi. Na uwagę zasługują tu przede wszystkim sygnały z modulacją impulsową oraz częstotliwościową.

Przykładowe przebiegi czasowe oraz widma częstotliwościowe takich sygnałów przedstawiono na rysunkach 7-10.

Z analizy powyższych przebiegów wynika, że są one dużo korzystniejsze w badaniach. Pierwszą widoczną zaletą jest możliwość jednorazowej analizy dużo szerszego zakresu częstotliwości (rzędu kilku MHz). Drugą niewątpliwą zaletą jest gęstość analizowanych częstotliwości, która dla przedstawionych przypadków waha się od 20 kHz do 400 kHz.

Pod tym względem dużo korzystniejszy wydaje się sygnał z wykorzystaniem modulacji częstotliwości. Wadą tego rozwiązania jest budowa odpowiedniego modulatora. Standardowe, dostępne generatory sygnałowe nie są w stanie wytworzyć sygnału o tak szerokim widmie.

Rozwiązaniem tego problemu może być zastosowanie kart komputerowych lub generatorów z możliwością zaprogramowania poszczególnych próbek, z których odtworzony zostanie pożądany sygnał.

W takim przypadku można wygenerować również sygnały zapewniające jeszcze lepsze możliwości pomiarowe. Przykładowo może to być przebieg o płynnie zmieniającej się częstotliwości w czasie. Widmo częstotliwościowe takiego przebiegu przedstawiono na poniższym rysunku.



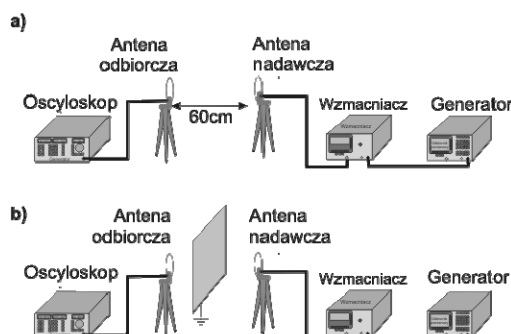
Rys.11. Przebieg czasowy sygnału o płynnie zmieniającej się częstotliwości



Rys.12. Widmo częstotliwościowe sygnału o płynnie zmieniającej się częstotliwości

Sygnał taki charakteryzuje się znaczną równomiernością widma częstotliwościowego w szerokim zakresie częstotliwości, co znacznie upraszcza późniejsze obliczenia.

Weryfikacja

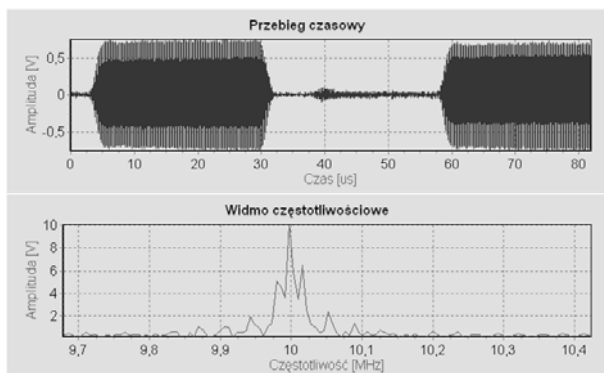


Rys.13. Układ pomiarowy do określenia sygnału odniesienia (a) oraz sygnału słabniejącego (b) przy wykorzystaniu arkusza blachy stalowej o grubości 1 mm i wymiarach 1 m x 1 m

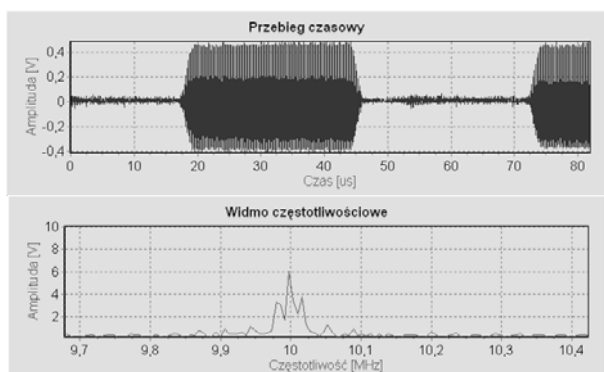
W celu sprawdzenia metody przeprowadzono szereg eksperymentów z wykorzystaniem różnych sygnałów – z modulacją amplitudy, częstotliwości oraz z modulacją impulsową. Do określenia poprawności uzyskanych

wyników wykorzystywano sygnał bez modulacji dostrojony do analizowanej częstotliwości.

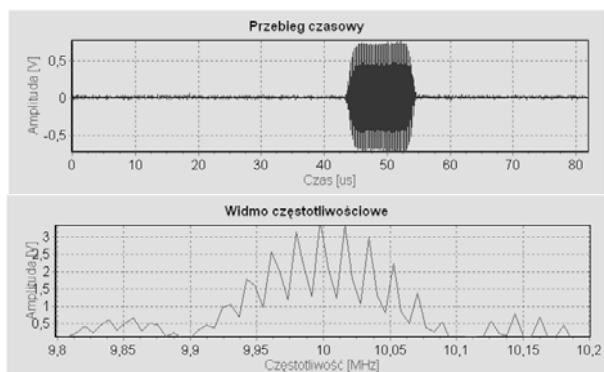
Pomiary przeprowadzono w układzie przedstawionym na rysunku 12. Na rysunkach 14 - 17 przedstawiono przykładowe przebiegi sygnałów użytych do badań tłumienia oraz ich widma częstotliwościowe.



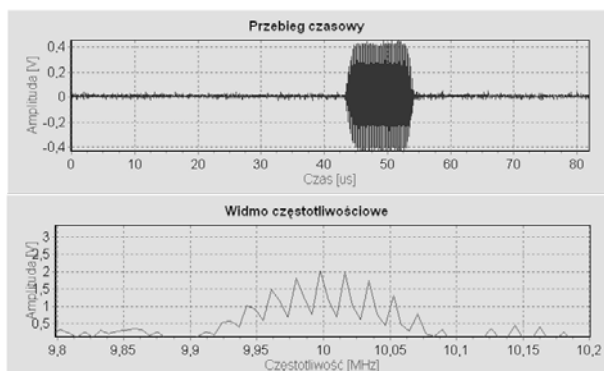
Rys.14. Sygnał o częstotliwości 10MHz z modulacją impulsową (czas trwania impulsu 50µs) – poziom odniesienia



Rys.15. Sygnał o częstotliwości 10MHz z modulacją impulsową (czas trwania impulsu 50µs) – poziom słumiony



Rys.16. Sygnał o częstotliwości 10MHz z modulacją impulsową (czas trwania impulsu 10 µs) – poziom odniesienia



Rys.17. Sygnał o częstotliwości 10 MHz z modulacją impulsową (czas trwania impulsu 10 µs) – poziom słumiony

Na podstawie analizy uzyskanych wyników w zakresie częstotliwości od 9,9 MHz do 10,1 MHz można stwierdzić, że analiza składowych widma częstotliwościowego (ich tłumienia) pozwala na poprawne określenie tłumienia ekranu.

Uzyskane uśrednione wyniki pomiaru tłumienia pola elektromagnetycznego przez arkusz blachy umieszczony pomiędzy antenami wyniosły odpowiednio:

- sygnał o częstotliwości 10 MHz z modulacją impulsową przy czasie trwania impulsu 50 µs – 4,8 dB (odchylenie standardowe dla poszczególnych składowych widma – 0,6 dB),
- sygnał o częstotliwości 10 MHz z modulacją impulsową przy czasie trwania impulsu 10 µs – 4,5 dB (odchylenie standardowe dla poszczególnych składowych widma – 0,2 dB),
- badanie poszczególnych częstotliwości metodą znormalizowaną (z wykorzystaniem fali ciągłej o częstotliwości odpowiedniej dla każdej ze składowych widma) – 4,6 dB (odchylenie średniokwadratowe dla poszczególnych pomiarów – 0,3 dB).

Podobne badania przeprowadzono dla innych częstotliwości fali nośnej (np. 1 MHz, 2 MHz, 5 MHz, 30 MHz). Za każdym razem uzyskiwane wyniki były zbieżne z wynikami uzyskiwanymi metodą znormalizowaną.

Ze względu na brak możliwości wygenerowania sygnałów o znacznie szerszym paśmie (np. rzędu kilku MHz) weryfikacji dla takich sygnałów nie przeprowadzono.

Podsumowanie

Uzyskane wyniki pomiarów tłumienności metodą znormalizowaną oraz zmodyfikowaną potwierdzają poprawność proponowanej metody pomiarowej.

Przedstawione w artykule wyniki zostały uzyskane przez przeliczenie każdego prążka widma, co powoduje wydłużenie czasu pomiarów.

Jednak wykorzystanie w tym procesie z jednej strony komputera z kartą akwizycji danych (jako odbiornik pomiarowy) z drugiej zaś komputera wyposażonego w kartę do generacji sygnału analogowego na podstawie zapisanych w pamięci próbek (jako generator sygnałowy), a także odpowiedniej aplikacji do analizy uzyskanych wyników, umożliwiłoby automatyczne uzyskanie obliczonych wartości tłumienności ekranu w wystarczająco szerokim zakresie częstotliwości.

LITERATURA

- [1] Nowosielski L., Pomiar efektywności ekranowania metodą wykorzystującą generator impulsów wysokoenergetycznych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 7/2014, 214-217
- [2] Musiał S., Kubiak I., Błędy w pomiarach zaburzeń elektromagnetycznych powodowane obecnością metalowych elementów konstrukcyjnych kabin ekranujących, *Przegląd Telekomunikacyjny*, 7/2014, 673-678
- [3] Rusiecki A., Pomiary skuteczności ekranowania małej obudowy ze szczeliną z użyciem komory GTEM i generatora grzebiennego w zakresie od 30 MHz do 1 GHz, *Przegląd Elektrotechniczny*, 3/2010, 72-73
- [4] Sarto M.S., A New model for the FDTD analysis of the shielding performance of thin composite structures, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 41/1999, nr 4, 298-306
- [5] Wallyn W., Zutter D., Rogier H., Prediction of the shielding and resonant behavior of multisection enclosures based on magnetic current modelling, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 44/2002, nr 1, 130-138

Autor: mgr inż. Sławomir Musiał, Wojskowy Instytut Łączności – Laboratorium Kompatybilności Elektromagnetycznej, ul. Warszawska 22a, 05-130 Zegrze, E-mail: s.musial@wil.waw.pl