

Pomiar tłumienności materiałów ekranujących z wykorzystaniem generatora HPM

Streszczenie. Artykuł przedstawia wybrane zagadnienia z obszaru pomiaru tłumienności materiałów ekranujących stosowanych przy impulsowym polu elektromagnetycznym. Jego celem było opracowanie metody pomiaru tłumienności materiałów ekranujących z wykorzystaniem generatora impulsów HPM (High Power Microwave)..

Abstract. The paper presents selected issues in the area of measuring the attenuation of absorbing materials used in pulsed electromagnetic fields. Its purpose was to develop a method for measuring the attenuation of absorbing materials using the HPM (High Power Microwave) pulse generator. (Measurement of the attenuation of shielding materials using the HPM generator).

Słowa kluczowe: automatyka, elektronika i elektrotechnika; tory w. cz., impuls, HPM.

Keywords: automatics, electronics and electrical engineering; RF paths, impulse, HPM.

Wstęp

W teraźniejszym świecie rola urządzeń elektronicznych oraz elektrycznych jest fundamentalna. Społeczeństwa oparte na nich swoją gospodarkę poprzez wykorzystanie ich do przekazywania, przechowywania i przetwarzania informacji. Systemy bazujące na urządzeniach teleinformatycznych zapewniają poprawne funkcjonowanie gospodarki oraz wzrost gospodarczy dzięki usprawnieniu jej działania [1].

Zaburzenie prawidłowego działania urządzeń elektrycznych i elektronicznych skutkuje zatrzymaniem gospodarki i zahamowaniem dalszego jej rozwoju. Jednym z zagrożeń powodujących dysfunkcje w ich działaniu jest wrażliwość na zakłócenia elektromagnetyczne.

Stanowi to duży problem dla zachowania odpowiedniej kompatybilności elektromagnetycznej oraz niejawności przekazywanych i przetwarzanych informacji. Z tego powodu duże znaczenie ma badanie tłumienności materiałów ekranujących w celu ochrony urządzeń elektronicznych i elektrycznych przed szkodliwym działaniem zewnętrznego pola elektromagnetycznego [2].

W niniejszym artykule przedstawiono opracowaną metodę i stanowisko laboratoryjne do pomiaru tłumienności materiałów ekranujących z wykorzystaniem generatora HPM (ang. High Power Microwave), omówiono metodykę badawczą oraz przedstawiono wyniki pomiarowe i analizy uzyskanych wyników.

Metoda pomiaru tłumienności materiałów ekranujących z wykorzystaniem generatora impulsów HPM

Impulsy elektromagnetyczne charakteryzują się wysokimi mocami promieniowania dochodzącymi do rzędu kilkudziesięciu gigawatów. Tak wysoka moc promieniowania jest w stanie trwale uszkodzić elektronikę całej aparatury pomiarowej. Następnym problemem podczas wykonywania pomiarów jest bardzo krótki czas trwania poszczególnych impulsów, są to chwile rzędu pojedynczych nanosekund.

Z racji tego, że parametry impulsów HPM są mocno problematyczne opracowano specjalne metody do przeprowadzenia pomiarów z wykorzystaniem specjalistycznych narzędzi, do których możemy zaliczyć [3]:

- metodę kalorymetryczną (ang. Calorimetric Method),
- metodę magnetoptyczną (ang. Method Based on Magneto-Optic Effect),
- metodę elektroptyczną (ang. Method Based on Electro-Optic Effect),
- metodę klasyczną.

W opracowanej metodzie pomiarowej zastosowano klasyczną metodę pomiaru, która wykorzystuje szerokopasmowe sondy pomiarowe. W czasie pomiarów wykonywanych metodą klasyczną impulsy HPM są zarejestrowane poprzez komputer z dedykowanym oprogramowaniem podłączony do oscyloskopu cyfrowego poprzez tłumiki RF. Badania powinny być przeprowadzane w komorze bezodbiciowej, w której umieszczone są takie elementy jak generator oraz sonda pomiarowa. Ma to na celu ochronę pozostałych urządzeń elektronicznych przed szkodliwym wpływem impulsów HPM. Elementy wrażliwe wchodzące w skład stanowiska pomiarowego powinny znajdować się poza komorą lub być przynajmniej chronione poprzez obudowę ekranującą [1].

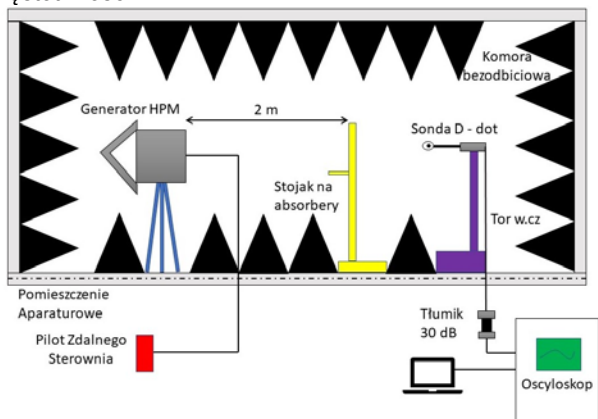
W metodzie klasycznej jako czujniki pola elektrycznego wykorzystuje się szerokopasmowe sondy D-dot. Muszą one spełniać następujące kryteria: charakteryzować się pasmem częstotliwości powyżej kilku GHz oraz muszą rejestrować impulsy, których czas narastania jest rzędu kilkadziesiąt pikosekund [4].

Metoda pomiarowa dla przedstawionego w artykule stanowiska pomiarowego składa się z dwóch etapów. W pierwszym etapie wykonywany jest pomiar referencyjny. Podczas pomiaru referencyjnego pomiędzy generatorem HPM a sondą D-dot jest wolna przestrzeń. W czasie wykonywania pomiaru referencyjnego antena nadawcza generatora HPM powinna być ustawiona w kierunku stojaka na absorber i tworzyć razem z sondą pola jedną linię. Podczas tego pomiaru mierzona jest wartość amplitudy impulsu HPM w warunkach gdy pomiędzy generatorem HPM a sondą D-dot jest wolna przestrzeń [6][7]. Schemat blokowy dla pomiaru zasadniczego przedstawiono na rys. 1.

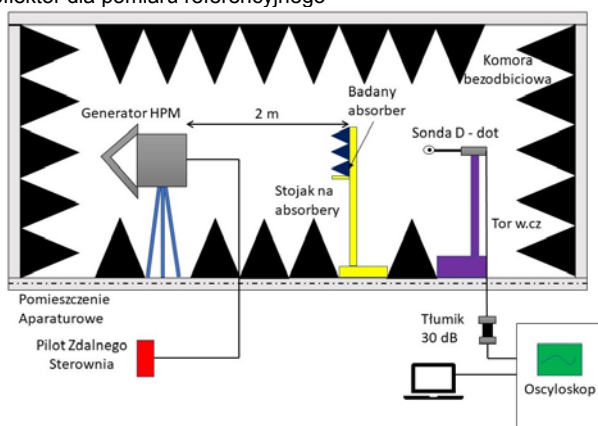
W drugim etapie realizowany jest pomiar zasadniczy. W czasie tego pomiaru mierzony jest impuls przechodzący drogą od generatora HPM przez absorber zamontowany na stojaku do sondy D-dot. W przypadku pomiaru zasadniczego warunki powinny być dokładnie takie same jak w przypadku pomiaru referencyjnego. Odległości, parametry generatora HPM jak i rozmieszczenie generatora wraz ze sondą pola powinny być zachowane. W czasie tego pomiaru mierzona jest również amplituda impulsu HPM z tą różnicą, że pomiędzy generatorem HPM a sondą D-dot umieszczony jest materiał badany. Schemat blokowy dla pomiaru zasadniczego przedstawiono na rys. 2. Podczas obu pomiarów mierzony jest poziom natężenia pola elektromagnetycznego w miejscu ustawienia czujnika [6][7].

Jako miarę tłumienności materiałów przyjęto różnicę poziomów składowych widma częstotliwościowego, którą

otrzymano z zarejestrowanych impulsów HPM podczas realizacji pomiarów referencyjnego i zasadniczego. Uzyskaną różnicę wyliczoną z odjęcia wyliczonych amplitud widm częstotliwościowych, które zostały zarejestrowane podczas pomiarów impulsów HPM należy podać przeliczeniu na miarę decybelową. Dzięki temu uzyskaną wartość tłumienności próbki badanego materiału można przedstawić za pomocą charakterystyki w funkcji częstotliwości.



Rys. 1. Schemat blokowy stanowiska laboratoryjnego do pomiaru tłumienności badanego materiału z generatorem posiadającym reflektor dla pomiaru referencyjnego



Rys. 2. Schemat blokowy stanowiska laboratoryjnego do pomiaru tłumienności badanego materiału z generatorem posiadającym reflektor dla pomiaru zasadniczego

Stanowisko pomiarowe do pomiaru tłumienności materiałów ekranujących z wykorzystaniem generatora HPM

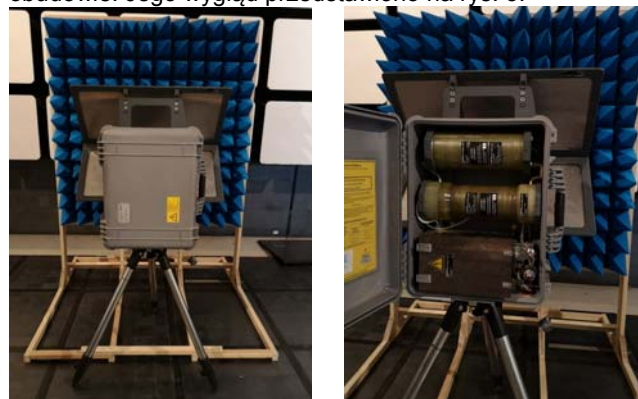
W celu implementacji omówionej klasycznej metody pomiarowej do wyznaczenia tłumienności materiałów ekranujących w funkcji częstotliwości dla mocy impulsów HPM rzędu 0,3 GW niezbędne są następujące elementy: nadajnik sygnału pomiarowego (generator HPM) i miernik natężenia pola elektromagnetycznego. Stanowisko pomiarowe, którego celem jest pomiar tłumienności materiałów ekranujących w funkcji częstotliwości powinno składać się z następującej aparatury pomiarowej [8][9]:

- Generator HPM DS110,
- Oscyloskop DPO70000,
- Sonda D-dot SFE3-5G,
- Zestaw tłumików,
- Stojak na absorbery o powierzchni 0,6 m x 0,6 m.

• Generator HPM DS110

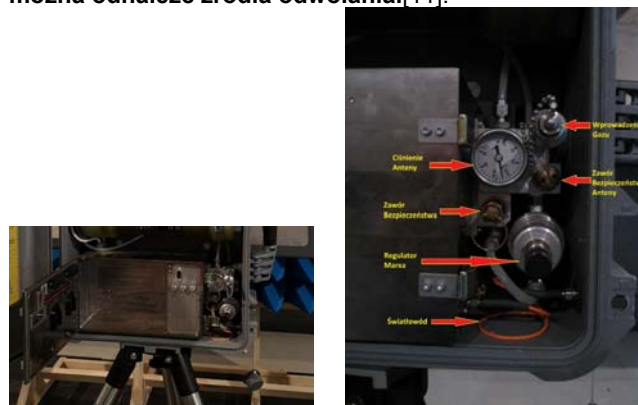
System DS110F jest to opracowanym przez Diehl BGT Defence źródłem RF dużej mocy. Generator HPM DS110F jest kompaktowym urządzeniem wykorzystywanym w celu

pokazania skutków wpływu impulsów wysokich mocy na sprzęt elektroniczny przy założeniu warunków rzeczywistych. Impuls HPM-DS jest generowany przez generator Diehl DS 110 KS2.F.MP1.B. Urządzenie to składa się z wielu elementów zamkniętych w wspólnej obudowie. Jego wygląd przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Generator Diehl HPEM Case System DS110

Do elementów składowych generatora możemy zaliczyć: generator Marx'a 300kV, układy zasilania i antenę rezonansową. Wysokonapięciowy układ zasilania (rys. 4) odpowiada za dostarczenie napięcia rzędu 50 kV do generatora Marx'a. Poprzez zasilanie symetryczne +/-25 kV generator Marx'a jest ładowany aż do progu ustalonego przez przełącznik. Przełącznik odpowiada za wyznaczenie poziomu ciśnienia gazu N2 w generatorze **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**[11].



Rys. 4. System zasilania i układ ciśnienia w generatorze DS110F

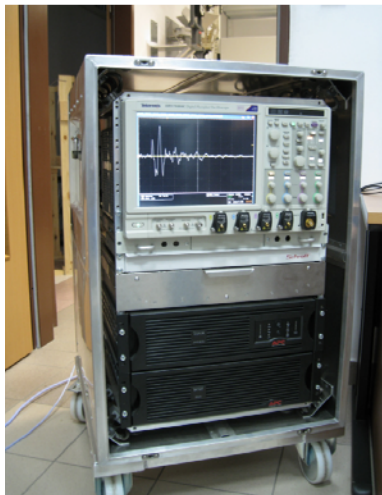
W czasie zmiany położenia przełącznika, napięcie o wartości 300 kV zostaje dostarczone do anteny. W antenie znajduje się iskrownik, który dzięki ciśnieniu gazu N2 jest izolowany. Ciśnienie gazu w tym przypadku jest o wiele większe niż te wykorzystywane w generatorze Marx'a, ponieważ trzeba utrzymać wysoką wartość napięcia **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**[11].

System DS110F został tak zaprojektowany, aby moc jego sygnału i kształt impulsu był zdolny niszczyć urządzenia elektryczne. Generuje on pole magnetyczne rzędu 170 kV/m w odległości 1 m przy zamontowanym reflektorze kątowym. Układy elektroniczne znajdują się w strefie bezpiecznej dopiero przy odległości wynoszącej około 50 m. Człowiek w celu zachowania bezpieczeństwa powinien zachować odległość około 5 m.

• Oscyloskop Tektronix DPO70404

Oscyloskop Tektronix Digital Phosphor Oscilloscope DPO70404 (

rys. 5) posiada cztery kanały analogowe o pasmach 4 GHz oraz 25 GS/s częstotliwości próbkowania w czasie rzeczywistym. Metodą stosowaną do pomiaru impulsowego pola jest dobór próbek w czasie rzeczywistym. Oscyloskop został wyposażony we własny komputer pokładowy od obsługi sprzętu. Pozwala to na zainstalowanie programu Microsoft Excel z makrami przetwarzania danych otrzymanych z pomiarów **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**



Rys. 5. Oscyloskop Tektronix DPO 70404

Oscyloskop jest wyposażony w funkcję FastFrame dzięki niej w jednym większym rekordzie możemy zobrazować jako sekwencje kolejnych rekordów uchwyconych wiele wydarzeń wyzwalających odpowiednio duże impulsy HPM, które można podać analizie. Co pozwala na zmierzenie i zobaczenie każdego rekordu z osobna. Całkowity czas wyzwalania każdej ramki oraz czas pomiędzy dwiema wyzwalanymi ramkami jest wyświetlany poprzez znacznik czasu. Wobec tego w jednym pliku może zostać przechwycone kilka impulsów HPM i ich przetwarzanie może odbyć się w komputerze w jednym etapie.

• **Sonda pola D-dot SFE3-5G**

Sensor pomiarowy jako bardzo ważny element podczas badania impulsów HPM musi spełniać szereg kryteriów jak charakteryzowanie się krótkim czasem narastania. Podstawowa budowa sensora to antena właściwa i linia transmisyjna, która jest odpowiedzialna za doprowadzenie sygnału do wejścia. W tabeli 1 przedstawiono najważniejsze parametry elektryczne dla sensora SFE3-5G, którego wygląd pokazano na rys. 6 [13].

Tabela 1 Parametry techniczne sondy SFE3-5G [13][14]

Typ sensora	SFE3-5G
Pasma pracy	3.5 GHz
Czas narastania	110 ps
Powierzchnia skuteczna	2x10-3m2
Wyjście złącza	SMA (męskie)
Napięcie wyjściowe	1 kV
Typ podłączenia	kabel SMA



Rys. 6. Widok sondy D-dot firmy Montena [14]

• **Zestaw tłumików**

W celu ochrony sprzętu badawczego przed niepożądanym uszkodzeniem należy wejście oscyloskopu zabezpieczyć poprzez tłumiki o odpowiedniej wartości tłumienia. Tłumiki te powinny chociaż częściowo tłumić niepożądane częstotliwości.

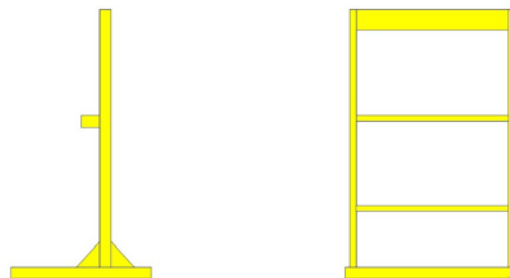
W opisywanej metodzie pomiarowej powinny być zastosowane trzy rodzaje tłumików typu N lub SMA o następujących tłumieniach: 10 dB, 20 dB, 30 dB oraz posiadające złącza męskie i żeńskie (rys. 7). Zakres częstotliwości pracy tłumików to min 3,5 GHz a impedancja wejściowa wynosi 50 Ω.



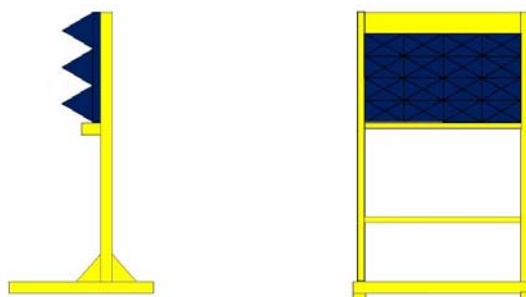
Rys. 7. Zestaw tłumików pomiarowych 30dB, 20dB, 10dB [13]

• **Stojak na absorbery o powierzchni 0,6 m x 0,6 m,**

W celu zapewnienia poprawnego przeprowadzenia pomiarów skonstruowano stojak na badany materiał, na którym podczas pomiaru zasadniczego umieszczana jest badana próbka materiału. Stojak został wykonany z drewna, dzięki czemu możliwe jest wyeliminowanie jego wpływu na wartość parametrów badanych próbek materiałów. Stojak posiada miejsce na absorber o wymiarach 0,6 m na 0,6 m. Stojak jest wyposażony w możliwość zamocowania płyty metalowej (płyty referencyjnej). Jego wygląd przedstawiono na rys. 8 oraz rys. 9.



Rys. 8. Pojedynczy stojak na absorber o wymiarze 0,6 m x 0,6 m wykonany z drewna



Rys. 9. Pojedynczy stojak na absorber o wymiarze 0,6 m x 0,6 m wykonany z drewna z zamocowanym absorberem

Poniżej na rysunkach przedstawiono wygląd stanowiska pomiarowego do pomiaru tłumienności badanych materiałów zarówno dla pomiaru referencyjnego i zasadniczego.

Na

rys. 10 przedstawiono wygląd stanowiska pomiarowego dla pomiaru referencyjnego. W tym przypadku jest to pomiar z wykorzystaniem generatora HPM wyposażonym w reflektor. Odległość od generatora do stojaka na absorbery wynosi 2 m. Sonda D-dot została ulokowana za stojakiem na absorbery. W czasie wykonywania pomiaru referencyjnego na stojaku na absorbery nie znajduje się żaden obiekt badany.

Na

rys. 11 przedstawiono wygląd stanowiska pomiarowego do pomiaru tłumienności badanego materiału dla pomiaru zasadniczego. W tym przypadku stanowisko pomiarowe również zostało wyposażone w generator HPM z reflektorem. Rozmieszczenie elementów oraz odległości są identyczne jak w przypadku pomiaru referencyjnego. W czasie pomiaru zasadniczego na stojaku na absorbery znajduje się jeden z badanych absorberów. Na stojaku na absorbery widać zamocowany absorber, który jest obiektem badawczym.



Rys. 10. Widok stanowiska laboratoryjnego do pomiaru absorpcji badanego materiału z generatorem posiadającym reflektor dla pomiaru referencyjnego

Rys. 11. Widok stanowiska laboratoryjnego do pomiaru absorpcji badanego materiału z generatorem posiadającym reflektor dla pomiaru zasadniczego

Pomiary tłumienności materiałów ekranujących z wykorzystaniem generatora HPM

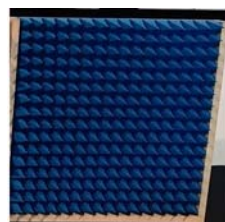
W celu walidacji opracowanej metody pomiarowej wykonano pomiary tłumienności materiałów ekranujących w postaci wybranych absorberów o rozmiarach 0,6 m x 0,6 m o znanych parametrach. Pomiary wykonano na stanowisku pomiarowym opisanym w niniejszym artykule. Podczas pomiarów moc impulsów HPM wynosiła około 0,3 GW, odległość pomiarowa pomiędzy sondą D-dot a generatorem wynosiła 2,2 m (odległość od generatora do absorbera to 2 m natomiast sonda D-dot znajduje się w odległości 20 cm za badanym absorberem).

Jako obiekty badań zostały wybrane cztery absorbery firmy Siepel wykonane w formie gąbki nasyconej związkami grafitu jako materiałem absorpcyjnym. Wybrano absorbery: APM10 firmy Siepel, APM20 firmy Siepel, APM30 firmy Siepel oraz APM66 firmy Siepel. Absorbery zostały wybrane do przeprowadzenia badań, ponieważ były dostępne na wyposażeniu laboratorium LAB-KEM oraz posiadają właściwości tłumiące falę elektromagnetyczną na pożądanych częstotliwościach do 1GHz. Pasma częstotliwości wykorzystywanego generatora HPM wynosi od około 50 MHz do 0,6 GHz co skutkuje tym, że, powyżej 0,6 GHz nie mamy składowych w widmie. W tabeli 2 zostały przedstawione parametry tłumienności wybranych absorberów w funkcji częstotliwości podane przez

producenta [15], natomiast na rys. 12 przedstawiono wygląd poszczególnych absorberów.

Tabela 2 Wartości tłumienności w funkcji częstotliwości dla absorberów z rodziny APM (na niebiesko zaznaczone absorbery wykorzystane do przeprowadzenia badań) [15]

Gwarantowana wartość tłumienności wnoszonej przez wykonawcę (dB) absorberów APM									
Typ	Wysokość absorbera [mm]	80 MHz	200 MHz	300 MHz	500 MHz	1 GHz	2 GHz	8 GHz	12 GHz
APM 9	89					-15	-21	-36	-40
APM 10	115				-18	-19	-20	-40	-40
APM 20	210			-20	-24	-25	-36	-46	-52
APM 30	305			-25	-30	-38	-40	-52	-52
APM 45	455				-32	-41	-42	-52	-52
APM 55	550			-26	-36	-44	-45	-52	-52
APM 66	660	-6	-21	-27	-38	-42	-47	-52	-52
APM 85	850	-10	-24	-28	-42	-49	-52	-52	-52



AP10



AP20



AP30



AP66

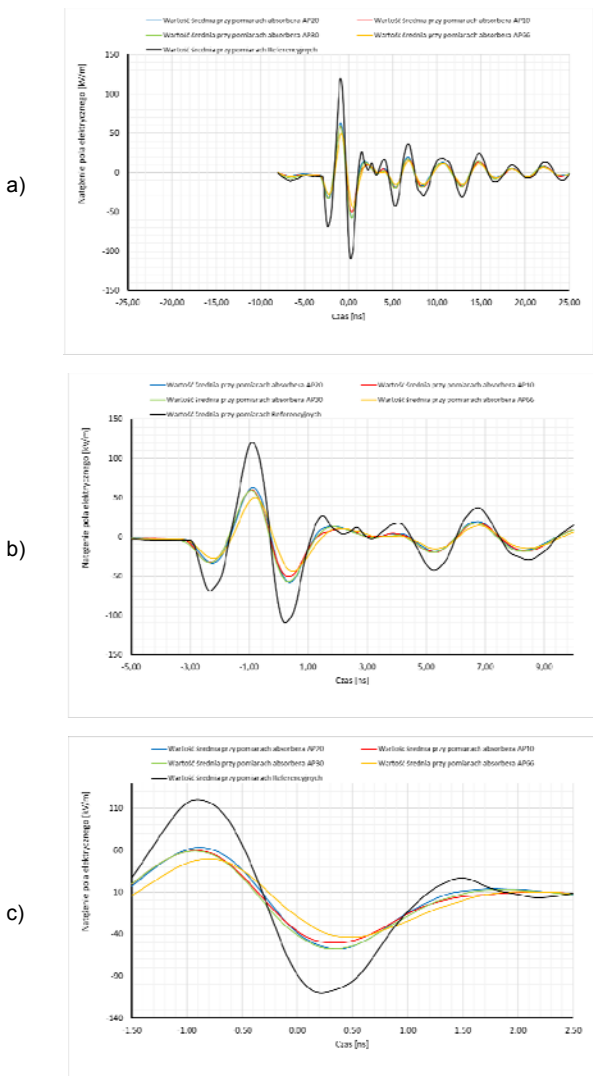
Rys. 12. Wygląd absorberów firmy Siepel wykorzystanych podczas pomiarów

Jako wynik procesu pomiarowego uzyskano impuls wygenerowany przez generator HPM zmierzony sondą D-dot w miejscu jej ustawienia. W celu analizy wyników pomiarowych otrzymane rezultaty zostały dodatkowo przedstawione w różnych skalach czasowych, co daje możliwość dokładnego zobrazowania natężenia pola elektrycznego podczas przeprowadzonych pomiarów referencyjnych oraz zasadniczych. Wyniki pomiarów referencyjnych i zasadniczych zostały przedstawione na jednym wykresie, dzięki czemu możliwe jest wyznaczenie różnicy poziomów składowych widma częstotliwościowego, otrzymanego z wyników pomiarów impulsów HPM dla pomiaru zasadniczego i referencyjnego.

Pierwszym punktem procesu pomiarowego jest wykonanie pomiaru referencyjnego przy wykorzystaniu generatora HPM z reflektorem. Wynikiem pomiarów jest wartość średnia uzyskana z 10 pomiarów (podczas każdego pomiaru było generowane 10 impulsów HPM z czego została wyliczona wartość średnia). Zarejestrowane impulsy podczas pomiaru referencyjnego przedstawiono na rys. 13 (w dziedzinie czasu) i rys. 14 (w dziedzinie częstotliwości) w kolorze czarnym. W przypadku pomiaru

referencyjnego można zauważyć, że charakteryzują on się największą amplitudą impulsu. Znacznie większą niż w przypadku pomiarów zasadniczych.

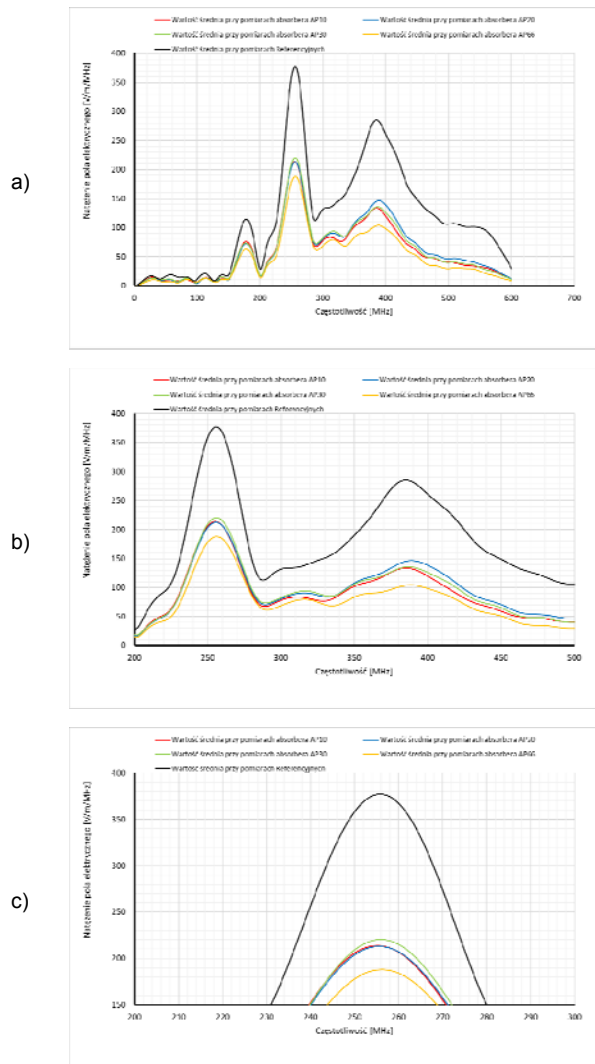
Drugim krokiem w procesie pomiarowym jest pomiar zasadniczy podczas którego na stanowisku pomiarowym umieszczono jeden z wybranych absorberów firmy Siepel jako obiekt badany. Absorbery były zamontowane na stojaku na absorbery, który znajdował się przed sondą D-dot. Wynikiem pomiaru była wartość średnia 10 impulsów HPM wygenerowanych przez generator HPM z reflektorem zmierzonych za pomocą sondy D-dot. Na rys. 13 (w dziedzinie czasu) i rys. 14 (w dziedzinie częstotliwości) przedstawiono uzyskane wyniki w postaci graficznej dla wartości średniej z dziesięciu pomiarów impulsów HPM. Kolorem czerwonym przedstawiono wyniki dla absorbera AP10, kolorem niebieskim przedstawiono wyniki dla absorbera AP20, kolorem zielonym przedstawiono wyniki dla absorbera AP30 oraz kolorem żółtym przedstawiono wyniki dla absorbera AP66 uzyskane podczas pomiarów zasadniczych. W celu porównania otrzymanych wartości wyniki uzyskane dla każdego obiektu badanego zostały umieszczone na wspólnym wykresie.



Rys. 13. Wartość średnia z dziesięciu pomiarów impulsów HPM przy pomiarach z reflektorem wykonanych dla wybranych absorberów: a) w dziedzinie czasu; b) w dziedzinie czasu (zawężona skala); c) w dziedzinie czasu tylko impuls główny

W celu wyznaczenia tłumienności materiałów badanych określono różnicę poziomów składowych widma

częstotliwościowego, którą otrzymano z zarejestrowanych impulsów HPM podczas realizacji pomiarów referencyjnego i zasadniczego. Uzyskana różnica amplitud widm częstotliwościowych dla zarejestrowanego sygnału referencyjnego i zasadniczego jest miarą tłumienności materiałów ekranujących. Wynik różnicy jest w skali liniowej, aby móc przedstawić tłumienność badanych materiałów w skali decybelowej należy wykonać przeliczenia tych wartości na miarę decybelową. Wyznaczona wartość tłumienności materiałów ekranujących jest wartością 20 logarytmów z uzyskanych wcześniej wartości modułu w skali liniowej.



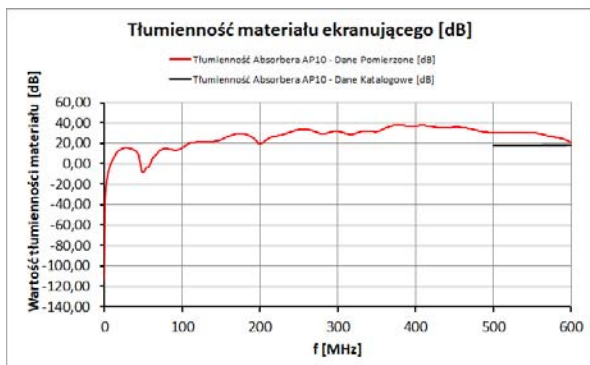
Rys. 14. Wartość średnia z dziesięciu pomiarów impulsów HPM przy pomiarach z reflektorem wykonanych dla wybranych absorberów: a) w dziedzinie częstotliwości; b) w dziedzinie częstotliwości (zawężona skala); c) w dziedzinie częstotliwości tylko impuls główny

Wartości tłumienności badanych materiałów uzyskane po przeliczeniu na miarę decybelową zostały przedstawione na rysunkach od rys. 15 do

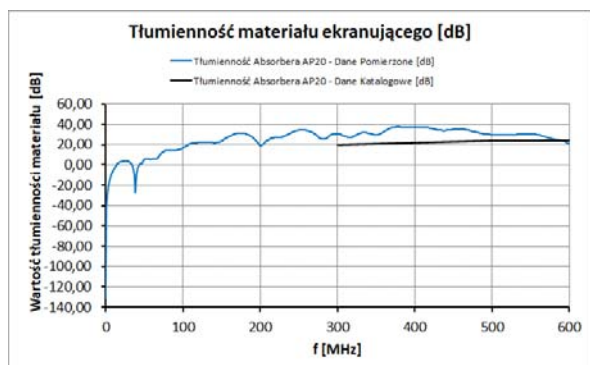
rys. 18. Kolorem czarnym zaznaczono na wykresach tłumienność danego absorbera podaną przez producenta natomiast odpowiednio kolorem czerwonym dla absorbera AP10, kolorem niebieskim dla absorbera AP20, kolorem zielonym dla absorbera AP30 oraz kolorem żółtym dla absorbera AP66 przedstawiono wartość pomierzonej tłumienności dla danego absorbera.

Wartości tłumienności dla poszczególnych absorberów minimalnie odbiegają od tych podanych przez producenta w

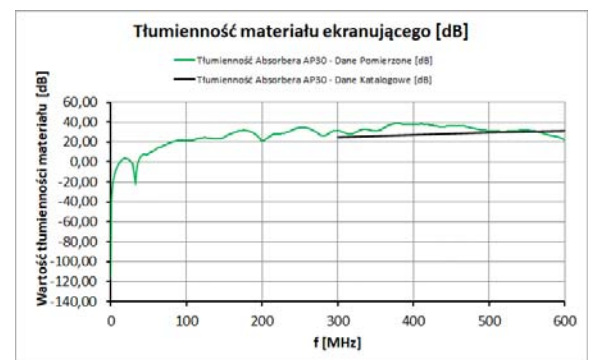
danych katalogowych. Jest to spowodowane niepewnością pomiaru. Wyniki pomiarów mogą odbiegać od rzeczywistej wartości tłumienności badanych materiałów. Najlepsze wyniki pomiarów uzyskano dla absorbera AP66, który pracuje na niskich częstotliwościach od 30 MHz. Ze względu na to, że wykorzystana metoda pomiarowa działa w częstotliwościach od 80 MHz do 600 MHz wyniki są porównane tylko w takich zakresach częstotliwości.



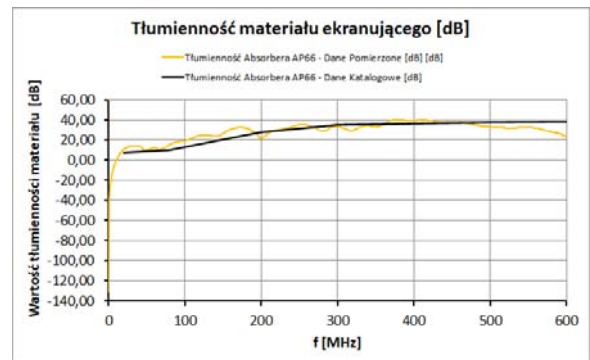
Rys. 15. Wartość tłumienności w funkcji częstotliwości dla absorbera AP10



Rys. 16. Wartość tłumienności w funkcji częstotliwości dla absorbera AP20



Rys. 17. Wartość tłumienności w funkcji częstotliwości dla absorbera AP30



Rys. 18. Wartość tłumienności w funkcji częstotliwości dla absorbera AP66

Wnioski

W artykule przedstawiono opracowaną metodykę pomiaru tłumienności materiałów ekranujących oraz budowę stanowiska pomiarowego do pomiaru tłumienności materiałów ekranujących z wykorzystaniem generatora HPM o mocy rzędu 0,3 GHz.

Przeprowadzone pomiary poziomu tłumienności dla czterech różnych obiektów badawczych (absorberów: AP10, AP20, AP30 oraz AP66) w funkcji częstotliwości udowodniły poprawne założenia stawiane przed stanowiskiem pomiarowym. Stanowisko pomiarowe może być stosowane w celu wykonywania pomiarów, które posłużą do porównania wartości tłumienności dla badanych próbek różnych materiałów.

Wyniki tłumienności otrzymane dla badanych absorberów minimalnie odbiegają od wartości absorpcji podanych przez producenta firmę Siepel w danych katalogowych. Dla absorbera AP66 absorpcja zmierzona jest prawie identyczna jak ta podana przez producenta. Odstępstwa wyników pomiarów od wartości wzorcowych wynikają z niepewności pomiarów oraz z faktu, że producent podaje wartości tłumienności absorberów dla pomiarów wykonanych z wykorzystaniem stanowisk pomiarowych o małych mocach. W przypadku konfiguracji stanowiska pomiarowego przedstawionej w artykule najbardziej zbliżone wyniki pomiarów absorpcji do tych podanych przez producenta uzyskują się dla pomiarów wykonanych przy generatorze z reflektorem. Z tego względu zaleca się wykonywanie pomiarów z wykorzystaniem reflektora założonego w generatorze HPM.

Do zalet wykorzystanej metody należy szybkość uzyskania wyników wartości tłumienności w całym analizowanym zakresie częstotliwości. Drugą zaletą jest szeroki zakres dynamiki pomiaru absorpcji. Do podstawowych wad opracowanej metody należą wysoka cena w stosunku do wykorzystanej aparatury pomiarowej, potrzeba stosowania w stanowisku układów tłumiących przed niepożądanymi częstotliwościami oraz dopasowujących sygnał indukowany z anteny pomiarowej do układów wejściowych odbiornika pomiarowego. Ostatnią wadą omawianej metody jest wąski zakres częstotliwości, w której możemy dokonać pomiarów wartości absorpcji badanych próbek materiałów (od 80 MHz do około 600 MHz).

Autorzy: dr inż. Rafał Przesmycki, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: rafal.przesmycki@wat.edu.pl; dr inż. Marek Bugaj, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: marek.bugaj@wat.edu.pl

LITERATURA

- [1] R. Białek, M. Kuchta, R. Kubacki, Metody pomiaru wysokomocowych impulsów elektromagnetycznych HPEM", Przegląd Elektrotechniczny, R. 93 NR 1/2017, ISSN 0033-2097,
- [2] Richard Hoad, William A. Radasky, "Progress in High-Altitude Electromagnetic Pulse (HEMP) Standardization, IEEE TRANSACTIONS ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY, VOL. 55, NO. 3, JUNE 2013.
- [3] Jarosław KIELISZEK, Robert PUTA, Jaromir SOBIECH, Wanda STANKIEWICZ, „Możliwości pomiarów impulsowego pola elektromagnetycznego,” Przegląd elektrotechniczny, nr 2b, 2013.
- [4] NATO AECTP 250 Electrical And Electromagnetic Environmental Conditions - Leaflet 256 Nuclear Electromagnetic Pulse (NEMP/EMP).
- [5] Kopp C.: The Electromagnetic Bomb – a Weapon of Electrical Mass Destruction, Melbourne 2010.

- [6] Rafał Przesmycki, Leszek Nowosielski, Marian Wnuk – Metodologia pomiaru absorpcji materiałów z wykorzystaniem generatora HPEM, Przegląd Telekomunikacyjny, ISSN 1230-3496, NR 8-9/2014, str: 821-827.
- [7] Rafał Przesmycki, Marek Bugaj, Marian Wnuk – The method of material absorption measurement using the HPM generator, IEEE Xplore, Electronic ISBN: 978-90-82598-73-5 Print on Demand(PoD) ISBN: 978-1-5386-3764-7, Pages 1 – 4, DOI: 10.23919/URSI-AT-RASC.2018.8471389,
- [8] Rafał Przesmycki, Marian Wnuk – Odporność informatycznych nośników danych na narażenia impulsami HPM, Przegląd Telekomunikacyjny, ISSN 1230-3496, NR 8-9/2017, str: 817-820.
- [9] Rafał Przesmycki, Marian Wnuk – Susceptibility of IT devices to HPM pulse, International Journal of Safety and Security Engineering, Vol. 8, No. 2 (2018) 1–11, ISSN 2041-9031, str: 223-233.
- [10] DIEHL BGT Defence – Operating and Maintenance Manual for DIEHL DS110.KS2.F.MP1.B (HPM Case System DS110), document No BDB8118952.
- [11] Bickes; A. Ganghofer E., Instrukcja obsługi i konserwacji dla DS110.KS2.F.MP1.B High-Power RF Source HPM DS110.KS2.F.x, Diehl, 20.12.2007r.
- [12] DIEHL HPEM measuring RF Pulse Measurement System, “Operating Manual - Safety Guideline”, Manual No. BD8286482, 28.11.2011.
- [13] Rafał Przesmycki – D-dot Probes Used in HPM Pulse Measurements, IEEE Xplore, Electronic ISBN: 978-1-7281-3403-1, Print on Demand (PoD) ISBN: 978-1-7281-3404-8, Electronic ISSN: 1559-9450, Pages 3126 – 3134, DOI: 10.1109/PIERS-Spring46901.2019.9017522.
- [14] http://astat-emc.pl/wp-content/uploads/files/montena_kk_rozniczkujace-sondy-swobodne-sf_gb.pdf.
- [15] <https://pdf.siepel.asia/antenna-measurement/microwave-absorbers/MICROWAVE%20PYRAMIDAL%20ABSORBER%20APM%20V13%20-%2018.07.2018.pdf>.
- [16] Wilson Clay: High Altitude Electromagnetic Pulse (HEMP) and High Power Microwave (HPM) Devices: Threat Assessments, CRS Report for Congress, 2004
- [17] Szubrycht T., Szymański T.: Broń elektromagnetyczna jako nowy środek walki w erze informacyjnej, Zeszyty Naukowe AMW nr 3, 2005
- [18] R. Przesmycki, M. Bugaj, M. Wnuk – The method of material absorption measurement using the HPM generator, IEEE Xplore, Electronic ISBN: 978-90-82598-73-5, Pages 1 – 4,