

Układ kształtowania obwiedni wzorcowego pola elektromagnetycznego

Streszczenie. W pracy przedstawiono koncepcję układu do kształtowania obwiedni modulowanego wzorcowego pola elektromagnetycznego (PEM). Dokonano analizy źródeł PEM, które emitują pole o charakterze znacznie odbiegającym od pola CW, zaprezentowano układ prototypowy oraz przeprowadzono jego weryfikację. Przedstawiono wstępne badania możliwości metrologicznych szerokopasmowych mierników PEM pod kątem pomiaru pola impulsowego o parametrach obwiedni odpowiadającej PEM emitowanemu przez urządzenia radiolokacyjne (radary).

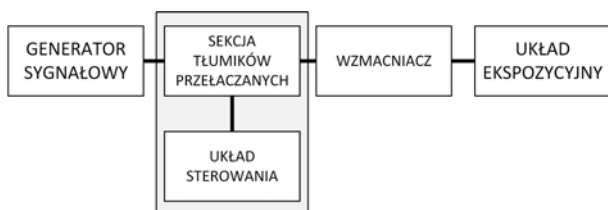
Abstract. Paper presents a concept of pulse modulated electromagnetic field (PEMF) envelope shaping system. Analysis of EMF sources with particular pulse envelopes is performed. Presented and verified a prototype circuit and also showed preliminary research on metrological possibilities of broadband electromagnetic field meters to measure PEMF with envelope parameters same as in radiolocation systems. (*Envelope shaping system for electromagnetic field standard setup*).

Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, PEM, obwiednia, metrologia PEM

Keywords: electromagnetic field, EMF, envelope, metrology

Wprowadzenie

Pole elektromagnetyczne (PEM) wykorzystywane jest w różnych dziedzinach naszego życia. Zdominowało sektor telekomunikacyjny stając się podstawowym medium w sieciach komórkowych czy bezprzewodowych sieciach Wi-Fi, ale wykorzystywane jest także w branży medycznej (fizykoterapia, chirurgia, diagnostyka MRI), militarnej (systemy ADS, techniki radarowe) itp. W wielu zastosowaniach PEM poddawane jest modulacji, a jego obwiednia może mieć różny kształt. Pomiary PEM o takim charakterze mogą sprawiać wiele trudności, a błędy pomiarowe podczas wykonywaniu pomiarów miernikiem szerokopasmowym wzorcowanym w polu ciągłym niemodulowanym (CW), mogą przekraczać nawet 10 dB [1], a CW jest podstawowym trybem wzorcowania większości przyrządów pomiarowych, które służą m.in. do pomiarów do celów BHP oraz ochrony środowiska zgodnie z obowiązującymi regulacjami prawnymi [2,3,4]. Do wzorcowania mierników ale także na potrzeby ekspozycji urządzeń technicznych (badania EMC) czy obiektów biologicznych (badania bioelektromagnetyczne) wykorzystuje się układy ekspozycyjne – źródła wzorcowego PEM o konstrukcji zależnej od zakresu częstotliwości czy zadanej składowej PEM, polaryzacji czy rodzaju modulacji [5,6]. W pracy przedstawiono jedną z propozycji układu wzorca PEM pozwalającego na uzyskanie pola o dowolnym kształcie obwiedni – zwłaszcza odpowiadającego PEM od radarów, ale także innych urządzeń technicznych - zgrzewarek, diatermi czy MRI.



Rys.1 Schemat blokowy wzorcowego stanowiska PEM z wykorzystaniem układu do kształtowania obwiedni (szary blok)

PEM modulowane impulsowo

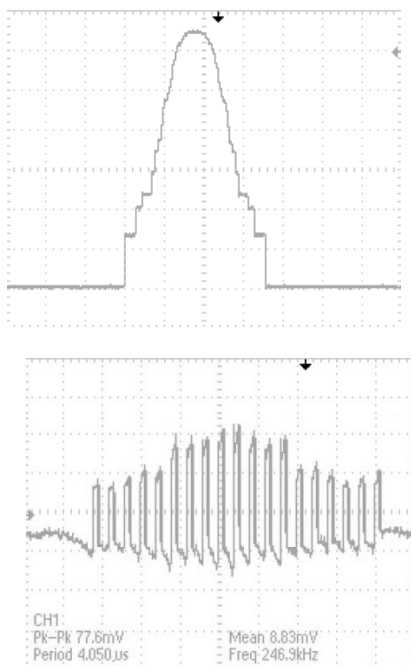
Istnieje wiele urządzeń, które emitują PEM o kształcie obwiedni znacznie odbiegającym od pola CW. Niekiedy są to pola modulowane w amplitudzie, impulsowe, w postaci ciągu impulsów wcz. itp. Wynika to np. z procesu

technologicznego, specyfiki zjawiska fizycznego, chemicznego lub pożądanego efektu terapeutycznego czy diagnostycznego. Ze względu na konstrukcję czujników popularnych mierników szerokopasmowych i stałych czasowych układów detektorów w nich występujących, krótkotrwałe emisje PEM z takich urządzeń, jak np. radary mogą być przez nie wręcz nierejestrowane, bądź wynik pomiaru uzyskuje przypadkowe wartości. Najlepszą metodą, minimalizującą te niedogodności, jest zastosowanie trybu MAX HOLD i wykonywanie pomiaru przez kilka minut, aż uda się zsynchronizować impuls PEM z wewnętrznym trybem pomiaru miernika, jednak nawet takie działania nie gwarantuje poprawnego pomiaru. Poniżej przykłady urządzeń emitujących PEM modulowane i impulsowe:

- Zgrzewarki RF (dielektryczne) – służą do zgrzewania materiałów termoplastycznych za pomocą pola elektromagnetycznego, które powoduje powstanie spoiny
- Zgrzewarki rezystancyjne – służą do punktowego łączenia metali, które powoduje przepływ prądu – emisja PEM jest tu efektem ubocznym.
- Urządzenia do rezonansu magnetycznego MRI – używają impulsów z częstotliwością fal radiowych do inicjacji jądrowego rezonansu magnetycznego
- Przyrządy terapeutyczne – Magnetroniki, Terapulsy – używają pola magnetycznego lub elektromagnetycznego do osiągnięcia efektu terapeutycznego
- Sprzęt medyczny – diatermie, skalpele elektryczne – generują impulsowe PEM podczas cięcia lub koagulacji
- Urządzenia radarowe – wytwarzają pole impulsowe o obwiedni wynikającej z obrotu anteny radaru
- Urządzenia telekomunikacyjne – sieci komórkowe, Wi-Fi, radiolinie – używają PEM jako medium transmisyjnego

Problematyka pomiarów impulsowych PEM była poruszana już wielokrotnie, m.in. w [7,8,9], gdzie jako główną przyczynę błędów wskazywano stałe czasowe układów pomiarowych mierników oraz wspomniany problem synchronizacji układu pomiarowego z mierzonym impulsem. W większości prac do przeprowadzenia badań używano generatorów impulsowych, gdzie obwiednię radaru aproksymowano przebiegiem prostokątnym. Przedstawiony układ umożliwia generowanie obwiedni w pełni

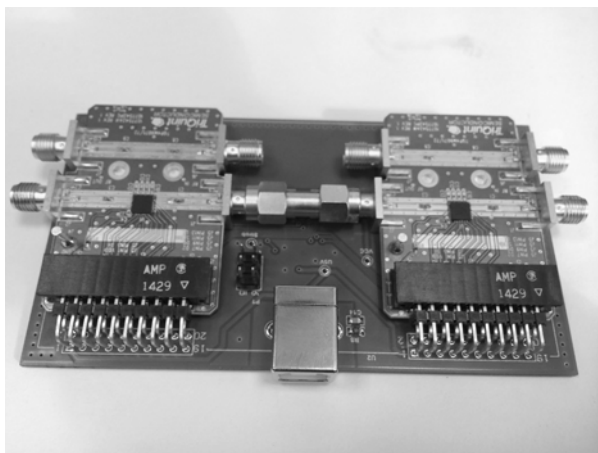
odzworowujących kształt i czas trwania impulsów pochodzących od np. radarów czy zgrzewarek dielektrycznych.



Rys. 3 Przykładowe obwiednie uzyskane za pomocą prototypu

Koncepcja układu do kształtowania obwiedni

Zaproponowane rozwiązanie stanowi układ rozszerzenia klasycznego układu wzorcowego pola elektromagnetycznego o system składający się z sekcji tłumików sterowanych oraz układu mikroprocesorowego z pamięcią, (schemat blokowy na rys. 1), w której przechowywany jest kształt pożądanej obwiedni w formie tablicy z wartościami tłumienia, dowolnie programowalnej z poziomu aplikacji na komputer PC. Po zaprogramowaniu pamięci i uruchomieniu układu na wejście sterujące tłumików podawany jest sygnał odzworowujący pożądaną obwiednię z kolei sygnał z generatora podany na wejście RF tłumików zostaje kształtowany (tłumiony) zgodnie z krzywą obwiedni i trafia po wzmocnieniu do układu ekspozycyjnego.



Rys.2 Zbudowany układ prototypowy

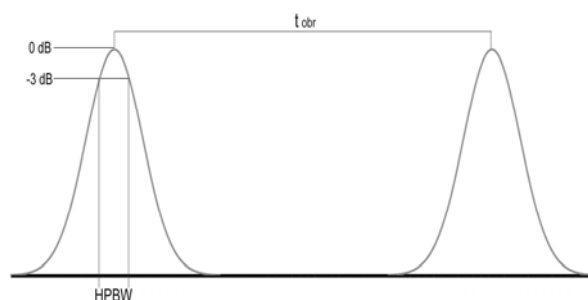
W zależności od kształtu i parametrów czasowych obwiedni, układ wykorzystuje dwie metody zarządzania pamięcią. Jedną z nich jest optymalizowana pod kątem

przechowywania obwiedni o dużej zmienności, ale krótkim okresie trwania, a druga z nich sprawdza się lepiej dla obwiedni o dłuższym okresie trwania lecz mniej skomplikowanym kształcie.

Prototyp przedstawiony na rys. 2 oparto o tłumiki sterowane firmy TriQuint model TQP4M9071 posiadające bezpośrednie sterowanie w postaci 6-bitowego portu równoległego. Pozwala to osiągnąć bardzo zadowalające parametry, a w szczególności krótkie czasy przełączania (Tab. 1), które umożliwiają kształtowanie obwiedni PEM od większości wymienionych wcześniej urządzeń – przykładowe obwiednie przedstawiono na rysunku 3. Po lewej stronie obwiednia sygnału w.cz. zgrzewarki dielektrycznej, a po prawej symulacji radaru.

Tabela 1. Parametry układu prototypowego

Pasm	Rozdzielczość	Tłumienie	Przełączanie
GHz	dB	dB	μ s
DC - 2,4	0,5	63	1,00



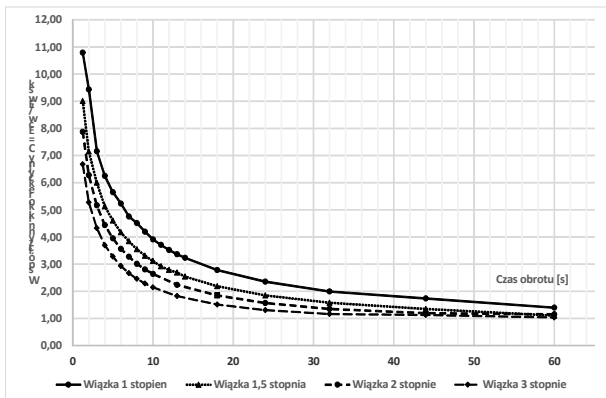
Rys.4 Obwiednie generowane podczas badań (HPBW – kąt połowy mocy stanowiący szerokość obwiedni, t_{obr} – czas obrotu radaru)

Weryfikacja i badania wstępne

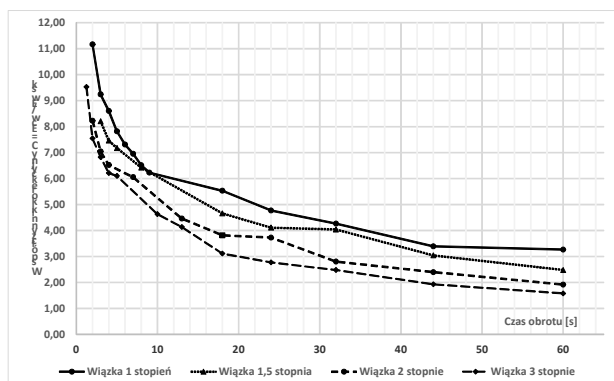
Układ prototypowy został poddany weryfikacji pomiarowej, którą przeprowadzono na zautomatyzowanym stanowisku wzorcowym pola elektromagnetycznego z komorą TEM. Weryfikacja polegała na porównaniu wskazań miernika PEM umieszczonego w układzie ekspozycyjnym dla pola impulsowego o różnym wypełnieniu (od 1/10 do 1/2000) dla szerokości impulsu 1 μ s. Weryfikację przeprowadzono dla dwóch trybów generowania impulsów - w pierwszym przypadku wytworzono je przy użyciu generatora impulsów wbudowanego w generator sygnałowy, a w drugim za pomocą zwykłego generatora CW, z którego sygnał kształtowany był w postać impulsową za pomocą układu prototypowego. Błąd względny obu sygnałów nie przekroczył 5% i jest w zupełności satysfakcjonujący. W kolejnych krokach układem prototypowym kształtowano obwiednię sygnału impulsowego.

Badania wstępne polegały na sprawdzeniu możliwości pomiarowych popularnych mierników szerokopasmowych PEM pod kątem pomiaru pola impulsowego o obwiedni zbliżonej do tej, jaka pojawia się w punkcie obserwacji podczas przemiatania przestrzeni wiązką radarową, z tym, że dokonano pewnego uproszczenia i zastosowano wypełnienie polem ciągłym (generowany przebieg przedstawiono na rys. 4). Eksperyment przeprowadzono dla symulacji 4 różnych szerokości wiązki radaru – kątów połowy mocy (HPBW) równych: 1°, 1,5°, 2° i 3° i dla prędkości obrotowych radaru z zakresu 1,25 – 48 obr/min. Kształt obwiedni przechowywany był na 1024 próbkach. Ponieważ stałą czasową układu pomiarowego badanych przyrządów jest znacznie dłuższa od czasu trwania wytwarzanych obwiedni, to jedyną metodą pomiarową było ustawienie badanego przyrządu w tryb wykrywania

najwyższej wartości (MAX-HOLD) przyjmując jako wynik – rezultat wielokrotnego pomiaru – minimum 20 „obrotów” radaru. Ta metoda pozwalała uzyskać synchronizację układu pomiarowego miernika z wytwarzanym impulsem, a wyniki badań dla dwóch różnych mierników przedstawiono na rysunkach 5 i 6. Na ich podstawie można stwierdzić, że układy pomiarowe testowanych przyrządów są w stanie uchwycić obwiednie radaru pracującego z falą ciągłą (CW) z prędkością obrotową do 1,25 obr/s włącznie, jednak współczynnik poprawkowy w tak skrajnym wypadku przekracza 10 (wynik pomiaru jest zaniżony jest ponad 10-krotnie). Nie dyskwalifikuje to miernika, ale wskazuje na konieczność wzorcowania właśnie w warunkach zbliżonych do warunków pomiarów – tylko wtedy można uzyskać wyniki z akceptowalną niepewnością.



Rys.5 Współczynnik korekcyjny do pomiaru PEM od radaru (wypełnienie CW) w zależności od prędkości obrotowej dla sondy pracującej w paśmie 18 GHz



Rys.6 Współczynnik korekcyjny do pomiaru PEM od radaru (wypełnienie CW) w zależności od prędkości obrotowej dla sondy pracującej w paśmie 40 GHz

Wnioski

Przedstawiony układ do kształtowania obwiedni wzorcowego pola elektromagnetycznego pozwala na wygenerowanie obwiedni o niemal dowolnym kształcie - spotykanych przy większości źródeł PEM o charakterze impulsowym i modulowanym. Przeprowadzone badania wstępne potwierdzają przydatność zaproponowanego rozwiązania i pozwalają na rozszerzenie zdolności

miarowych laboratorium, pokazując jednocześnie, że popularne mierniki szerokopasmowe PEM można w pewnych warunkach wykorzystywać do pomiarów impulsowych PEM, ale tylko po przeprowadzeniu wzorcowania w polu odpowiadającym warunkom pomiaru i uwzględnieniu współczynników poprawkowych przekraczających nawet 10.

Praca zrealizowana w ramach prac badawczych finansowanych przez środki wewnętrzne Politechniki Wrocławskiej nr zlecenia B40143.

Autorzy: dr hab. inż. Paweł Bieńkowski prof. PWr, Politechnika Wroclawska, Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: pawel.bienkowski@pwr.edu.pl;

dr inż. Jarosław Emilianowicz, Politechnika Wroclawska, Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: jaroslaw.emilianowicz@pwr.edu.pl;

mgr inż. Bartłomiej Zubrzak, Politechnika Wroclawska, Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: bartlomiej.zubrzak@pwr.edu.pl;

LITERATURA

- [1] Bieńkowski P. i Zubrzak B., Pomiary modulowanych pól elektromagnetycznych - możliwości i ograniczenia, *Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne*, 85 (2012), nr 8/9, 865-872,
- [2] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Załącznik 2, Część E. Pola i promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu częstotliwości 0 Hz - 300 GHz. (Dz. U. 2002 nr 217 poz. 1833 z późniejszymi zmianami). Zgodnie z projektem rozp. MPiPS z 18.06.2013 w najbliższym czasie utraci moc prawną i będzie zastąpione przez nowe rozporządzenie, bez zmian merytorycznych w zakresie dotyczącym zagrożeń elektromagnetycznych.
- [3] PN-T-06580-3: 2002. Ochrona pracy w polach i promieniowaniu elektromagnetycznym w zakresie częstotliwości od 0 Hz do 300 GHz. Część 3. Metody pomiaru i oceny pola na stanowisku pracy.
- [4] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 października 2003 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów utrzymania tych poziomów (Dz. U. 62. Poz. 627 z późniejszymi zmianami).
- [5] Bieńkowski P., Wyszowska J.: Techniczne aspekty ekspozycji na pole magnetyczne ekstremalnie niskich częstotliwości (ELF) w badaniach biomedycznych, *Medycyna Pracy*. 66 (2015), nr 2, 185-197
- [6] Bieńkowski P, Cała P, Wyszowska J., Zubrzak B.: Układy ekspozycyjne PEM w badaniach biomedycznych. *Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne*. 88 (2015), nr 4, 510-514.
- [7] Bieńkowski P., Zubrzak B.: Wytwarzanie i pomiar impulsowego i modulowanego pola elektromagnetycznego, *Przegląd Elektrotechniczny*, 86 (2010), nr 12, 17-20
- [8] Kubacki R., Kieliszek J., Sobiech J., Puta R. Metrologia pól elektromagnetycznych modulowanych impulsowo miernikami diodowymi, *Medycyna Pracy*, 58 (2007); nr 1, 57-62
- [9] Wnuk M., Chudy Z., Pomiar mocy impulsu elektromagnetycznego zakresu mikrofal *Przegląd Elektrotechniczny*, 90 (2014), nr 8, 239-242