

Anteny układów ekspozycyjnych dla badań biomedycznych z pasm GSM900, UMTS2100 i ISM 2.4GHz

Streszczenie. W pracy przedstawiono propozycje rozwiązań anten optymalizowanych do pracy w układach ekspozycyjnych na pole elektromagnetyczne z pasma GSM/UMTS/ISM2.4GHz. Zaprezentowano prototypy dwóch anten wnękowych z wynikami pomiarów parametrów obwodowych i polowych. Anteny pozwoliły na uzyskanie PEM o niejednorodności mniejszej niż $\pm 12\%$ w odległości 10cm od powierzchni anten.

Abstract. The paper presents novel antenna solution optimized for RF exposure systems working in GSM/UMTS/ISM2.4GHz. Prototype of cavity antennas with their radiation and circuit parameters have been presented. Antennas allowed to obtain EMF with non-uniformity less than $\pm 12\%$ at a distance of 10 cm from the antenna's surface. (**Exposure systems of GSM900/UMTS2100/ISM2400 antennas for biomedical research**)

Słowa kluczowe: pole elektromagnetyczne, PEM, układ ekspozycyjny, anteny, GSM900, UMTS, ISM2.4GHz

Keywords: electromagnetic field, EMF, exposure antenna system, GSM900, UMTS, ISM 2.4GHz

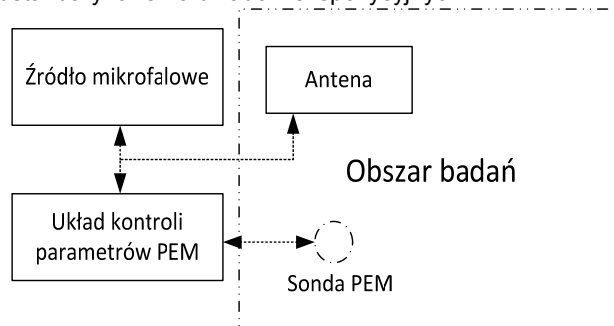
Wstęp

Badania biomedyczne związane z oddziaływaniem pola elektromagnetycznego (PEM) na organizmy prowadzone są od wielu lat, a metody badań wciąż doskonałe. Do realizacji badań laboratoryjnych niezbędne jest opracowanie odpowiednich układów ekspozycyjnych, pozwalających na uzyskanie stałych i kontrolowanych warunków ekspozycji na PEM. W zależności od oczekiwanych efektów i zakresu częstotliwości stosuje się różne rozwiązania układowe, np. dla pola magnetycznego niskich częstotliwości wykorzystuje się solenoidy bądź cewki Helmholtza [1], dla pola elektromagnetycznego w zakresie częstotliwości wyższych linie TEM lub układy z antenami liniowymi bądź aperturowymi [2]. W pracy przedstawiono propozycje anten opracowanych specjalnie na potrzeby układów ekspozycyjnych z pasm pracy popularnych systemów radiokomunikacyjnych - GSM900 / UMTS / ISM 2.4G. Podstawowym założeniem było uzyskanie stosunkowo jednorodnego pola na obszarze ok. 10x10cm w możliwie małej odległości od anteny – już rzędu 10cm.

Idea układu ekspozycyjnego

Zadaniem układu ekspozycyjnego jest wytworzenie w określonym obszarze pola elektromagnetycznego o znanych i kontrolowanych parametrach. Kluczowym jest kontrola natężenia PEM, jego parametrów spektralnych i przede wszystkim uzyskania dużej jednorodności PEM w obszarze badań. Rys. 1. przedstawia schemat blokowy przykładowego układu ekspozycyjnego wielkiej częstotliwości. W jego skład wchodzi: źródło mocy mikrofalowej, antena pracująca w wybranym paśmie częstotliwości oraz układ kontroli natężenia PEM ze sprzężeniem zwrotnym (sonda do pomiaru PEM). Źródłem mocy mikrofalowej jest generator sygnałowy z ewentualnym wzmacniaczem, antena dobierana jest pod kątem uzyskania wymaganego obszaru pomiarowego. W celu zapewnienia stałych, kontrolowanych warunków stosowany jest układ kontroli parametrów PEM, zwykle współpracujący z dedykowanym oprogramowaniem sterującym [3]. Zamiast pomiaru natężenia pola możliwe jest także monitorowanie mocy zasilającej i dopasowania anteny. Dla zapewnienia powtarzalności i odtwarzalności badań biomedycznych, niezbędna jest znajomość parametrów ekspozycji, a najbardziej optymalnym rozwiązaniem byłoby ustandaryzowanie procedur badawczych i w miarę możliwości – układów ekspozycyjnych [4]. Prezentowane w

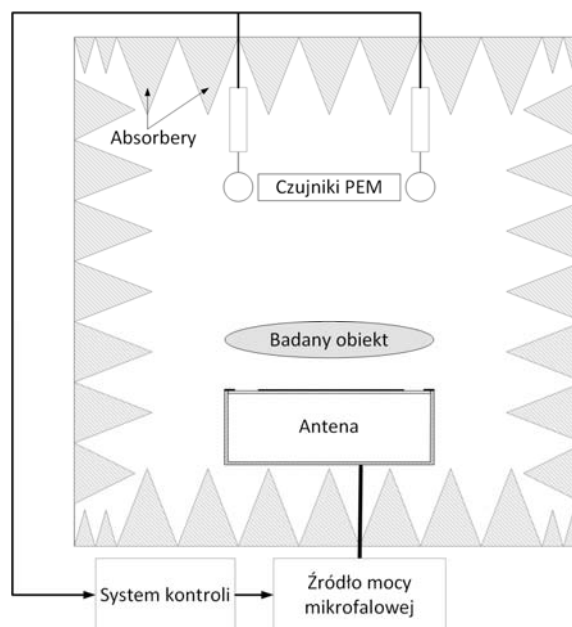
dalszej części pracy anteny są propozycją takiego ustandaryzowania układów ekspozycyjnych.



Rys. 1. Schemat blokowy układu ekspozycyjnego z układem kontroli parametrów i sondą PEM.

Prototypy anten

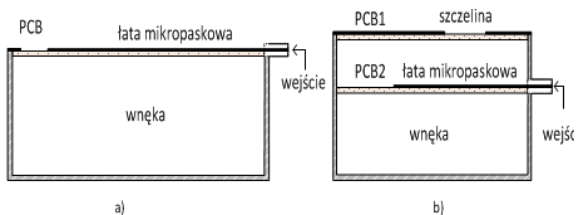
Analizując możliwe rozwiązania anten dla układów ekspozycyjnych, brano pod uwagę dwa główne czynniki: możliwość uzyskania równomiernego natężenia w obszarze nad anteną w możliwie dużym obszarze już w małej odległości od anteny oraz jej wymiary geometryczne.



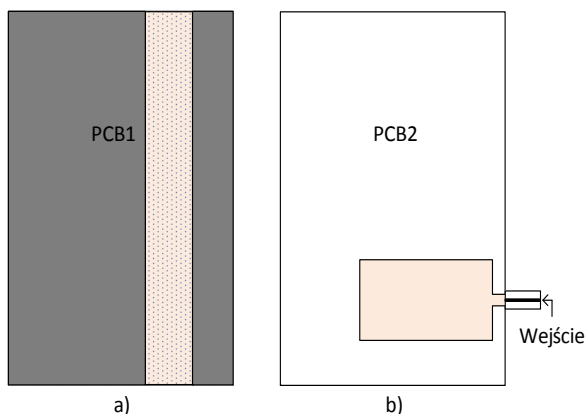
Rys. 2. Antena CMA w ciepłarni mikrofalowej [5].

Mniej istotna była szerokość pasma pracy oraz zysk energetyczny. Przyjęto założenie, że częstotliwości pasmo pracy anteny powinno pokrywać się z częstotliwościami pracy systemów radiokomunikacyjnych i korzystne jest, jeżeli antena jest wielopasmowa. Jako najlepsze rozwiązanie przyjęto wykorzystanie anten mikropaskowych. Co prawda charakteryzują się one względnie wąskim pasmem pracy (do kilkudziesięciu MHz), ale istnieje możliwość zaprojektowania anteny wielopasmowej przy stosunkowo małych wymiarach geometrycznych. Podstawową niedogodnością typowych anten mikropaskowych jest ich duża wrażliwość na sprzężenia z otoczeniem i wysoki poziom promieniowania wstecznego. Wady te można zminimalizować stosując warstwowe anteny wnękowe, które są modyfikacją anten mikropaskowych. Zastosowanie wnęki rezonansowej pozwala na zmniejszenie poziomu promieniowania wstecznego, minimalizuje jednocześnie wrażliwość anteny na sprzężenia tylnej części anteny z otoczeniem co jest bardzo pożądane w laboratoryjnych układach ekspozycyjnych – Rys.2) oraz pozwala na poszerzenie pasma pracy anteny [6].

Opracowano kilka modeli anten – w pracy przedstawiono dwa wybrane – dwupasmowej anteny wnękowej (CMA) na zakresy GSM/UMTS oraz anteny szczelinowej z cofniętą łata promieniującą (CBSA) na popularne pasmo ISM 2,4GHz. Na rysunku 3. przedstawiono przekroje proponowanych anten.



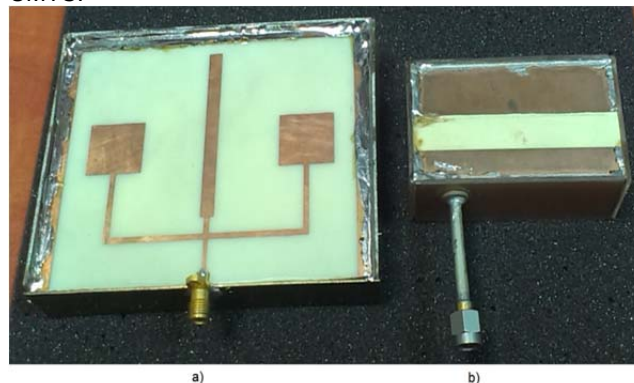
Rys. 3. Przekrój poprzeczny analizowanych struktur antenowych a) Antena wnękowa (CMA) b) antena szczelinowa z cofniętą łata promieniującą (CBSA).



Rys. 4. Topografia warstw anteny CBSA a) Warstwa zewnętrzna ze szczeliną promieniującą b) Warstwa wewnętrzna z łata promieniującą

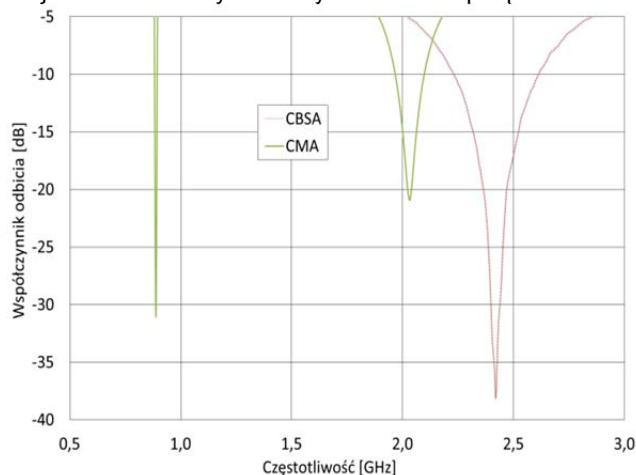
Rys.4 przedstawia wygląd warstw anteny CBSA. Łata pobudzająca anteny jest zanurzona wewnątrz wnęki i przykryta warstwą ze szczeliną. Zastosowanie takiej konstrukcji pozwoliło na zmniejszenie rozmiarów anteny o około 10% oraz zwiększenie zysku energetycznego anteny o 2dB względem anteny jednowarstwowej [6]. Prototyp anteny CBSA przedstawiono po prawej stronie rysunku 5. Proponowana antena może zostać umieszczona w szyku antenowym, ze względu na dużą wartość izolacji pomiędzy

dwoma elementami promieniującymi, która wynosi ponad -25dB [7,8]. Dwupasmową antenę CMA (lewa strona rys. 5) zaprojektowano jako układ trzech łat promieniujących – łata środkowa odpowiada za pasmo GSM a łaty boczne – UMTS.



Rys. 5. Prototypy anten pracujących w paśmie a) GSM/UMTS b) ISM 2.4GHz.

Parametry obwodowe wykonanych prototypów okazały się zbliżone z wynikami symulacji. Współczynniki odbicia (S11) obu anten przedstawiono na Rys.6. Uzyskane rezultaty przekładają się na współczynnik WFS mniejszy niż 1.5 dla pasma o szerokości 8 MHz w zakresie GSM 900, 64 MHz dla UMTS oraz 215 MHz w paśmie ISM 2.4GHz. Tak dobre współczynniki WFS oznaczają straty odbiciowe mniejsze niż 4% mocy dla wszystkich trzech podpasm.



Rys. 6. Współczynnik odbicia anten CBSA oraz CMA.

Charakterystyki promieniowania anten

Z punktu widzenia badań biomedycznych najistotniejszy jest rozkład natężenia pola bezpośrednio nad anteną w możliwie małej odległości, co wynika ze specyfiki układów ekspozycyjnych – konieczności ograniczenia obszaru promieniowania i chęci uzyskania dużych natężeń pola przy akceptowalnych mocach zasilających. Skutkuje to tym, że często obiekt badany znajduje się w obszarze pola bliskiego lub strefie przejściowej między polem bliskim a dalekim. Dla analizowanych anten granica pola dalekiego wyznaczona na podstawie popularnej zależności (1) wynosi odpowiednio: 5,8 cm dla CBSA_{ISM2.4}, 10cm dla CMA_{GSM900} oraz 20 cm anteny CMA_{UMTS}

$$(1) \quad \frac{2D^2}{\lambda}$$

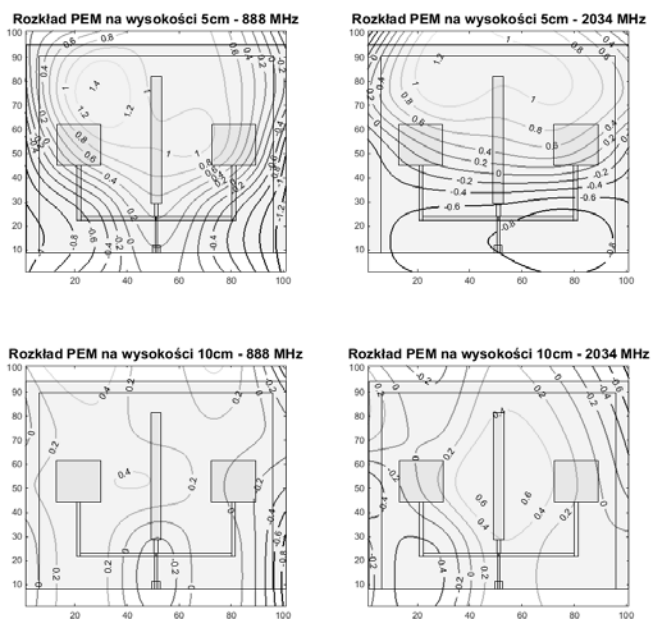
gdzie: D – największy wymiar liniowy anteny [m], λ - długość fali anteny [m]

Z analiz numerycznych wynikało, że bezpośrednio nad antenami pole o jednorodności lepszej niż ± 2 dB w obszarze 10×10 cm można będzie uzyskać już na wysokości ok. 10 cm nad powierzchnią anten. Eksperymentalnie rozkład PEM zmierzono dla dwóch różnych wysokości 5 cm oraz 10 cm nad każdą z proponowanych anten. Pomiary wykonano za pomocą izotropowej sondy PEM EP 600. Uzyskane wyniki dla mocy 23 dBm zasilającej antenę przedstawiono w tabeli 1 i na rysunkach 6 i 7.

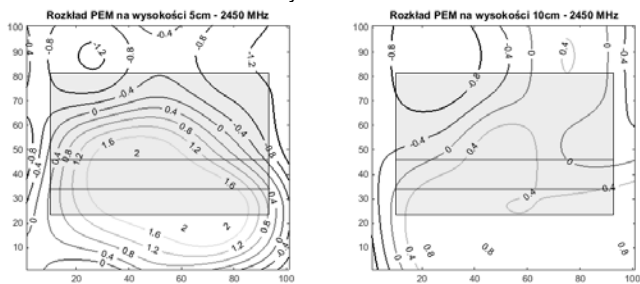
Tabela 1. Przedstawia wyniki niejednorodności uzyskanie w trakcie pomiarów rozkładów na wysokości 10 cm nad anteną dla obszaru 10×10 cm.

Typ anteny	Częstotliwość [MHz]	Niejednorodność %
CMA _{GSM900}	888	8
CMA _{UMTS}	2034	12
CBSA _{ISM2.4GHz}	2445	10

Rozkłady na wykresach z rys. 5 i 6 zostały unormowane względem średniego natężenia pola dla danej anteny.



Rys. 7. Rozkłady PEM dwupasmowej anteny CMA dla różnych wysokości.



Rys. 8. Rozkłady PEM anteny CBSA dla 2445 MHz.

Na rysunku 6 można zauważyć, że niejednorodność generowanego PEM dla anteny CMA na wysokości 5 cm nad anteną wynosi $\pm 1,3$ dB ($\pm 17\%$) natomiast dla 10 cm nad anteną wynosi już tylko $\pm 0,7$ dB ($\pm 8\%$) dla GSM 900 oraz ± 1 dB ($\pm 12\%$) dla UMTS. W przypadku rozkładu PEM

dla anteny CBSA uzyskano 1.6 dB ($\pm 20\%$) dla 5 cm oraz 0,8 dB ($\pm 10\%$) dla 10 cm. Uzyskane rezultaty potwierdzają przyjęte założenia. I oba typy anten mogą być wykorzystywane w praktycznych układach ekspozycyjnych.

Podsumowanie

W pracy przedstawiono propozycje anten wnękowych optymalizowanych pod kątem wykorzystania w układach ekspozycyjnych do badań biomedycznych małych obiektów (np. hodowli komórkowych). Przedstawione wyniki są zadowalające – uzyskano obszar pola jednorodnego (z odchyleniami mniejszymi niż 12%) na wysokości 10 cm nad anteną. Jednocześnie układ ma dużą sprawność energetyczną, którą można opisać współczynnikiem „energochłonności”: mocą zasilania anteny dla uzyskania zadanego natężenia pola dla zadanej wysokości nad anteną w dBm/(V/m). Prezentowane prace są krokiem do próby ustandaryzowania warunków ekspozycji na PEM w badaniach biomedycznych.

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;

mgr inż. Paweł Cała, Politechnika Wroclawska, Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, E-mail: pawel.cala@pwr.edu.pl;

LITERATURA

- [1] Bieńkowski P., Wyszowska J.: Techniczne aspekty ekspozycji na pole magnetyczne ekstremalnie niskich częstotliwości (ELF) w badaniach biomedycznych., Medycyna Pracy. 2015, vol. 66, nr 2, s. 185-197
- [2] Bieńkowski P., Cała P., Wyszowska J., Zubrzak B.: Układy ekspozycyjne PEM w badaniach biomedycznych. Przegląd Telekomunikacyjny, Wiadomości Telekomunikacyjne. 2015, R. 88, nr 4, s. 510-514.
- [3] Bieńkowski P., Zubrzak B.: Algorytmy ustalania zadanych wartości w układzie ze sprzężeniem zwrotnym na przykładzie automatycznego stanowiska wzorcowego pola elektromagnetycznego z antenami tubowymi. Przegląd Elektrotechniczny. 2011, R. 87, 9a, 160-165
- [4] Vallauri R. Bertin G. Piovano, B. Gianola P.: Electromagnetic Field Zones around an Antenna for Human Exposure Assessment, Antennas and Propagation Magazine, IEEE Volume: PP, Issue: 99, str. 1-4
- [5] Kieliszek J.; Puta R., Bieńkowski P., Sobiech J., Stankiewicz W.: Miniaturowa bezechowa komora klimatyczna do ekspozycji hodowli komórkowych na pole elektromagnetyczne, Zastosowania elektromagnetyzmu w nowoczesnych technikach i medycynie: XXV Sympozjum Środowiskowe PTZE, Wieliczka, 28 czerwca - 1 lipca 2015, 2015. s. 151-152
- [6] Bieńkowski P., Cała P., Kieliszek J., Wyszowska J.: Ekspozycja na PEM w eksperymentach bioelektromagnetycznych - rozwiązania układowe W: Zastosowania elektromagnetyzmu w nowoczesnych technikach i medycynie : XXV Sympozjum Środowiskowe PTZE, Wieliczka, 28 czerwca - 1 lipca 2015. s. 41-43
- [7] Cała P., Stobodzian P.: Cavity-backed slot antenna for wireless sensor integration, 23th Microwave and Radio Electronics Week (MAREW 2013), IEEE Nr CFP1385B-PRT, Pardubice, Czechy, IEEE, str. 72-75
- [8] Cała P., Stobodzian P.: Zastosowanie elementu promieniującego typu CBSA w układzie antenowym bezprzewodowego sensora naziemnego, Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne, 6/2013, czerwiec 2013, str. 400-403.