

Analiza wielowarstwowej anteny cylindrycznej ze względu na promień krzywizny

Streszczenie. Artykuł przedstawia badanie wpływu promienia krzywizny anten konforemnych na ich podstawowe parametry oraz charakterystyki promieniowania. W celu weryfikacji otrzymanych wyników numerycznych, zbudowano praktycznie analizowane modele anten konforemnych i wykonano ich pomiary w komorze bezodbiciowej oraz porównano je z analogicznymi antenami planarnymi. Analiza numeryczna została przeprowadzona (dla podstawowych kształtów: walec, kula, toroid) w programie CST Studio Suite. Analizowane anteny pracowały w zakresie częstotliwości 2200 – 2300 MHz oraz 5031 – 5090,6 MHz.

Abstract. The article presents analysis of the impact of conformal antennas radius of curvature on their basic parameters and characteristics of radiation. In order to verify the numerical results there were built models of practically analyzed conformal antennas, their measurements were taken in anechoic chamber and compared to those of planar antennas. Numerical analysis has been carried out (for basic shapes: cylinder, sphere, toroid) using CST Studio Suite software. Analyzed antennas worked within frequency range between 2200 – 2300MHz and 5031 – 5090,6 MHz. (Analysis of the impact of surface on parameters of cylindrical microstrip antennas).

Słowa kluczowe: Antena konforemna, antena cylindryczna, propagacja

Keywords: Conformal antenna, cylindrical antenna, propagation

Wstęp

Głównym powodem intensywnego rozwoju mikropaskowych anten konforemnych jest ich stosunkowo duża łatwość integracji z kształtem powierzchni na której są montowane. Dotyczy to głównie samolotów, statków kosmicznych, szybkich pociągów, rakiet i pocisków, w których każdy wystający element negatywnie wpływa na własności aerodynamiczne, zużycie paliwa itd. Zaś anteny konforemne mogą być w prosty sposób integralnie zamontowane np. w skrzydłach samolotów lub na powierzchni zewnętrznej kadłuba. Jest to szczególnie istotne, gdyż na powierzchniach nowoczesnych samolotów często jest ponad 30 różnych systemów antenowych [6].

Innym powodem szybkiego rozwoju mikropaskowych anten konforemnych jest łatwość ich wkomponowania w istniejące już elementy architektury miejskiej.

Definicję anteny konforemnej możemy znaleźć w [3], gdzie antena konforemna jest definiowana jako antena której kształt powierzchni jest zdeterminowany nie tylko przez czynniki elektromagnetyczne, ale też przez inne, np. aerodynamiczne, hydrodynamiczne lub estetyczne.

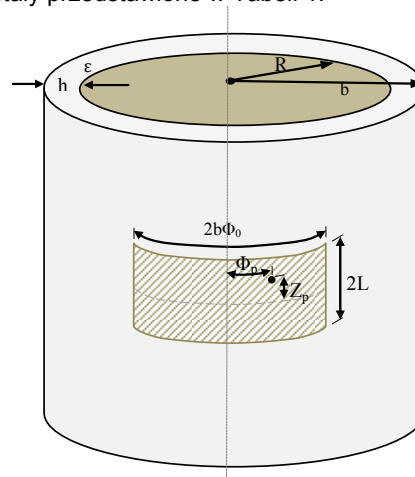
Analizowane modele anten

Do przeprowadzenia analizy wpływu promienia krzywizny anten konforemnych na ich podstawowe parametry oraz charakterystyki promieniowania zostały wybrane dwa zakresy częstotliwości: 2200 – 2300 MHz oraz 5031 – 5090,6 MHz. Obydwa zakresy częstotliwości są wykorzystywane w lotnictwie, pierwszy w systemach telemetrycznych, drugi w mikrofalowym systemie nawigacyjnym wspomagającym lądowanie samolotu w warunkach ograniczonej widoczności MLS (ang. Microwave Landing System).

Dla każdego z zakresów wybranych częstotliwości została zaprojektowana płaska mikropaskowa antena zasilana współosiowo. Następnie każda z anten została umieszczona kolejno na powierzchniach konforemnych: cylinder, kula, torus, gdzie dla każdej z nich została dokonana pełnofalowa analiza numeryczna parametrów anten w programie CST Studio Suite.

Na Rys. 1 została przedstawiona analizowana antena konforemna umieszczona na powierzchni bocznej walca. Element promieniujący ma kształt prostokąta o wymiarach $2L$ i $2b\Phi_0$ (szerokość elementu promieniującego widziana ze środka walca), umieszczony jest na dielektryku

o grubości $h=R-b$, przenikalności dielektrycznej ϵ oraz promieniu cylindra b . Wokół walca o promieniu R znajdują się próżnia o parametrach: ϵ_0 i μ_0 . Wymiary analizowanych anten zostały przedstawione w Tabeli 1.



Rys.1. Analizowana antena konforemna na powierzchni bocznej walca

Tabela 1. Wymiary analizowanej anteny

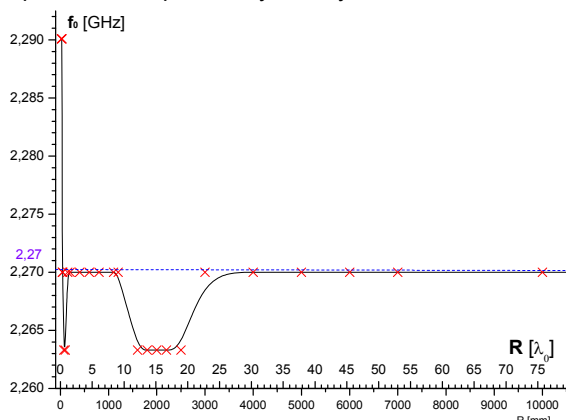
f	2200 – 2300 MHz	5031 – 5090,6 MHz
laminat	CuClad™ 250 GX	ROGERS RO3035™
ϵ	2,55	3,50
h	3,048 mm	1,52 mm
$2L$	38,00 mm	14,42 mm
$2b\Phi_0$	39,40 mm	19,03 mm
Φ_0	5,54 mm	0 mm
Z_0	5,84 mm	4,45 mm

Dla każdej powierzchni konforemnej długość promienia była zmieniana w zakresie 30 – 10000 mm. Przy zastosowaniu w programie CST Studio Suite podziału struktury badanej anteny na poziomie ok. 6 mln komórek (ang. meshcells) i komputera PC z procesorem Intel Core Duo (E4500, 2.2 GHz; 2GB RAM) czas analizy anteny dla wybranej pojedynczej długości promienia trwał średnio ok. 1 godziny. Każda badana antena była analizowana dla 30 różnych długości promienia powierzchni konforemnej. Na kolejnych rysunkach zostały przedstawione wyniki analizy badanej anteny konforemnej dla kolejnych zmian promienia krzywizny R . Otrzymane w ten sposób wyniki analizy

zostały naniesione na wykresach w postaci czerwonych „x” (dla poszczególnych zmian R) i połączone ze sobą za pomocą krzywych B-sklejanych (ang. B-spline, Basis spline function). Linia przerywana została zaznaczona wartość parametru otrzymana dla odpowiadającej anteny płaskiej.

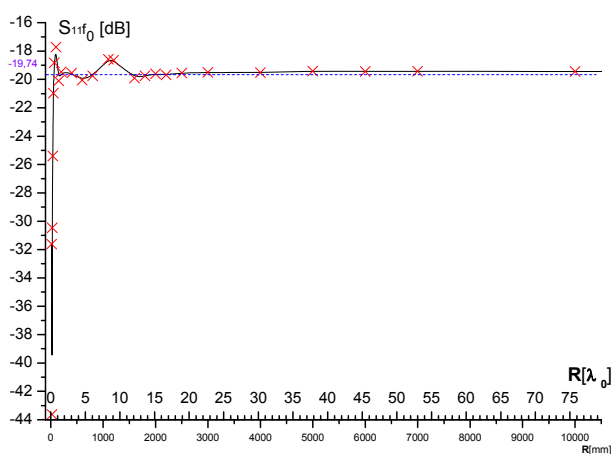
Antena konforemna na powierzchni bocznej walca

W rozdziale została dokonana analiza anteny konforemnej (przedstawionej na Rys. 1), zasilanej współosiowo, pracującej w zakresie częstotliwości 2200 - 2300 MHz, umieszczonej na powierzchni bocznej walca o promieniu R , którego wartość była zmieniana w przedziale 30 mm – 10000 mm ($0,227\lambda_0$ – $75,717\lambda_0$). Celem tej analizy było zbadanie wpływu krzywizny powierzchni bocznej walca na podstawowe parametry anteny.



Rys.2. Częstotliwości rezonansowe anteny konforemnej cylindrycznej w zależności od długości promienia walca R

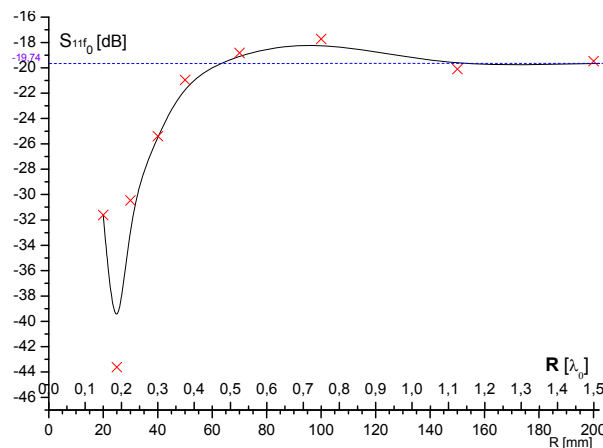
Na Rys. 2 został przedstawiony wykres zależności częstotliwości rezonansowej anteny f_0 od promienia walca R . Niemalże dla całości zmian długości promienia wartość częstotliwości rezonansowej anteny utrzymuje się na poziomie częstotliwości rezonansowej anteny płaskiej $f_0 = 2,27$ MHz (zaznaczonej linią przerywaną). Jedynie w zakresie małych wartości promienia $R < \lambda_0$ obserwujemy wzrost częstotliwości rezonansowej.



Rys.3. Współczynnik odbicia S_{11} konforemnej anteny cylindrycznej w zależności od długości R

Na kolejnym Rys. 3 przedstawiona została zależność współczynnika odbicia S_{11} dla częstotliwości rezonansowych anteny konforemnej umieszczonej na pobocznicy walca w zależności od promienia walca R .

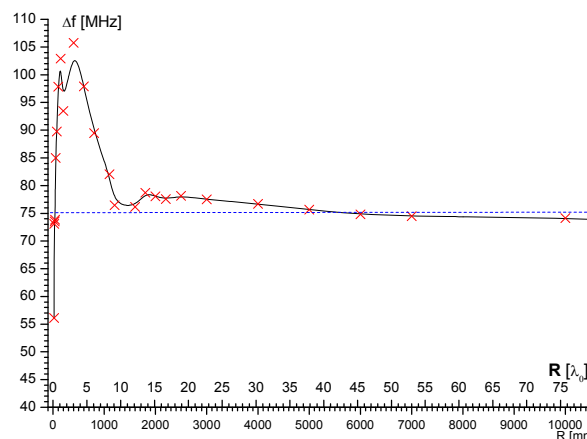
Na przedstawionym wykresie widzimy, że wartość współczynnika odbicia S_{11} dla $R > 12\lambda_0$ jest niemalże stała i wynosi $S_{11} = -19,74$ dB. Dla wartości promienia $R < \lambda_0$ współczynnik ten zmniejsza swoją wartość nawet do poziomu $S_{11} = -43,5$ dB.



Rys.4. Współczynnik odbicia S_{11} konforemnej anteny cylindrycznej w zależności od długości R ($R < 1,5 \lambda_0$)

Zależność współczynnika odbicia S_{11} od małych wartości promienia walca $R < 1,5 \lambda_0$ anteny konforemnej umieszczonej na pobocznicy walca została przedstawiona na Rys. 4

Rys. 5 przedstawia szerokość pasma pracy anteny konforemnej cylindrycznej Δf w zależności od promienia walca R .



Rys.5. Szerokość pasma pracy anteny w zależności od długości promienia walca R

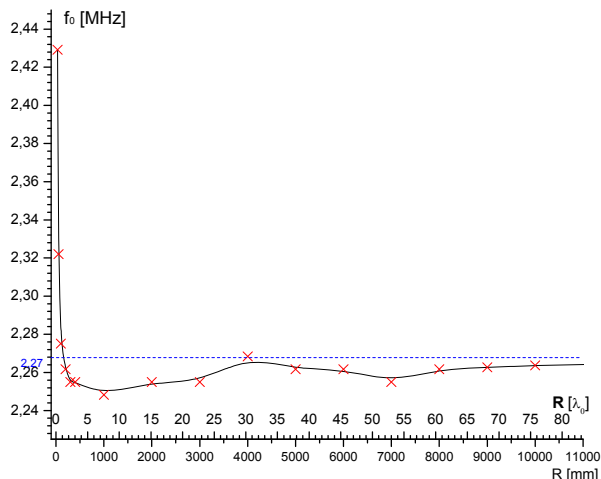
Antena konforemna na powierzchni kuli

Przedstawiona na Rys. 1 antena została następnie umieszczona na powierzchni kuli o promieniu R . Wyniki analizy anteny, pracującej w zakresie częstotliwości 2200 - 2300 MHz i umieszczonej na powierzchni kuli zostały przedstawione na Rys. 6 - 9.

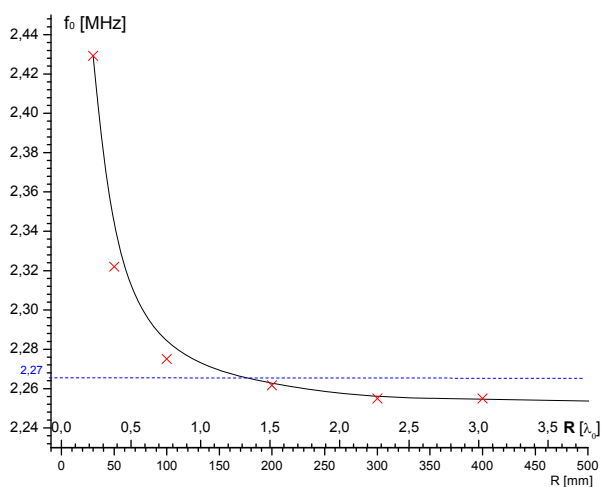
Na Rys. 6 został przedstawiony wykres zależności częstotliwości rezonansowej anteny f_0 od promienia kuli R . Niemalże dla całości zmian promienia R , częstotliwość rezonansowa anteny utrzymuje się na poziomie częstotliwości rezonansowej anteny płaskiej, $f_0 = 2,27$ MHz. Jedynie w zakresie $R < \lambda_0$ obserwujemy gwałtowny wzrost wartości częstotliwości rezonansowej.

Zależność częstotliwości rezonansowej anteny f_0 od małych wartości promienia kuli $R < 3,5\lambda_0$ została przedstawiona na kolejnym wykresie Rys. 7.

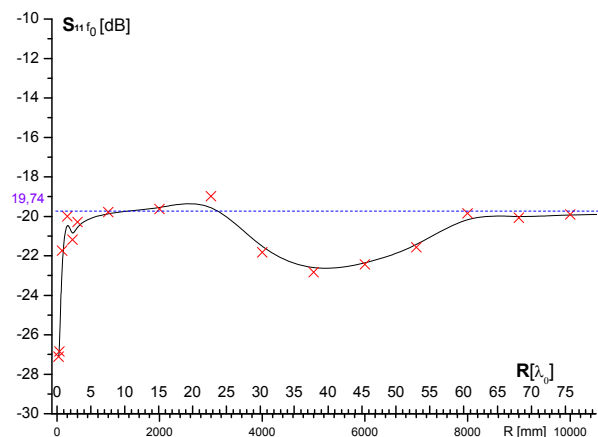
Na Rys. 8 przedstawiona została zależność współczynnika odbicia S_{11} od promienia kuli R . Widzimy, że wartość współczynnika odbicia S_{11} dla dużych wartości promienia R jest niemalże stała i wynosi $S_{11} = -19,74$ dB. Dla wartości promienia $R < 2\lambda_0$ współczynnik ten zmniejsza swoją wartość nawet do poziomu $S_{11} = -27$ dB.



Rys.6. Częstotliwości rezonansowe anteny konforemnej na powierzchni kuli w zależności od długości promienia walca R



Rys.7. Częstotliwości rezonansowe anteny konforemnej na powierzchni kuli w zależności od długości promienia walca R ($R < 3,5\lambda_0$)



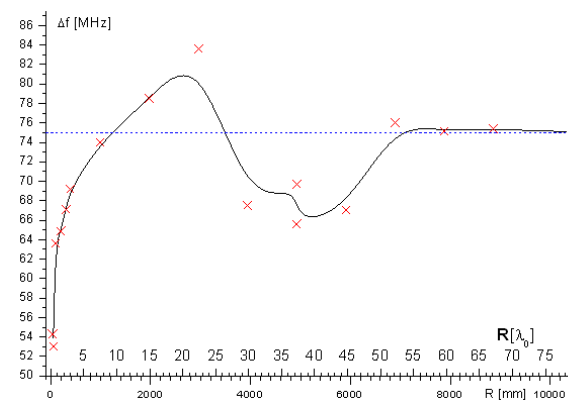
Rys.8. Współczynnik odbicia S_{11} konforemnej anteny na powierzchni kuli w zależności od długości R

Na Rys. 9 została przedstawiona zależność szerokości pasma pracy anteny Δf w zależności od promienia kuli R, na której znajduje się ta antena.

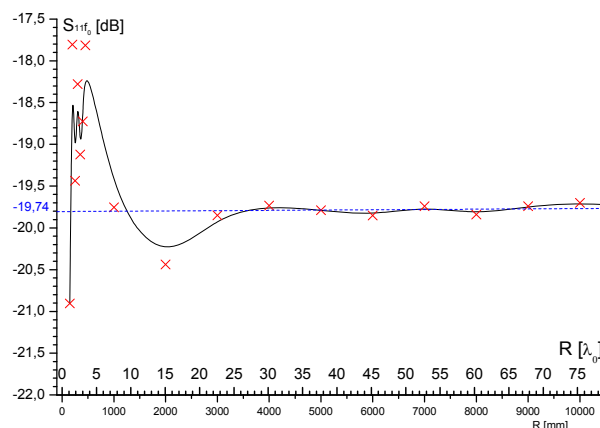
Antena konforemna na powierzchni torusa

Przedstawiona na Rys. 1 antena została następnie umieszczona na powierzchni torusa o promieniach wewnętrznym $r = 0,379\lambda_0$ (50 mm) i zewnętrznym R – który był zmieniany w przedziale 30 mm – 10000 mm ($0,227\lambda_0$ – $75,717\lambda_0$). Wyniki analizy tej anteny, umieszczonej na

powierzchni torusa i pracującej w zakresie częstotliwości 2200 – 2300 MHz, zostały przedstawione na Rys. 10 – 12.

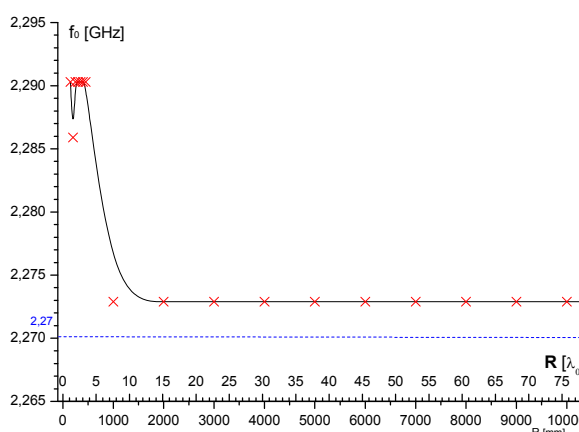


Rys.9. Szerokość pasma pracy anteny w zależności od długości promienia kuli R



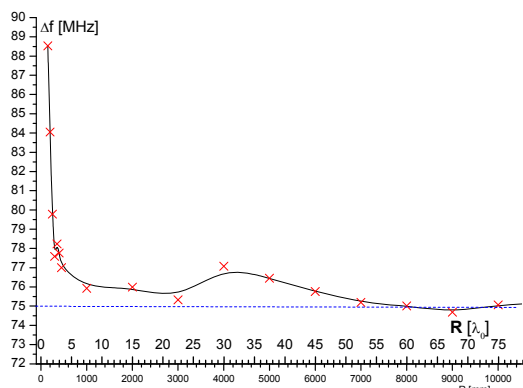
Rys.10. Współczynnik odbicia S_{11} anteny konforemnej w zależności od długości R

Rys. 10 przedstawia zależność współczynnika odbicia S_{11} od promienia torusa R dla częstotliwości rezonansowej anteny f_0 . Z wykresu widzimy, że wartość współczynnika odbicia dla częstotliwości rezonansowej jest praktycznie stała dla $R > 23\lambda_0$. Dla przedziału długości promienia $R = 3 - 7\lambda_0$ wartość współczynnika odbicia dla częstotliwości rezonansowej przyjmuje wartości największe, ok. – 18,0 dB.



Rys.11. Częstotliwości rezonansowe anteny konforemnej w zależności od długości promienia torusa R

Na Rys. 11 został przedstawiony wykres częstotliwości rezonansowej anteny f_0 od promienia zewnętrznego torusa R. Z wykresu widzimy, że częstotliwość rezonansowa jest stała i wynosi 2,273 GHz dla promienia $R > 7\lambda_0$. Dla promieni mniejszych $R < 7\lambda_0$, częstotliwość rezonansowa anteny przyjmuje wartość 2,290 GHz (zmiana o 0,7%).



Rys.12. Szerokość pasma pracy anteny konforemnej w zależności od długości promienia torusa R

Rys. 12 przedstawia szerokość pasma pracy badanej anteny Δf od promienia torusa R. Z przedstawionego wykresu widzimy, że dla promienia torusa $R < 7\lambda_0$ szerokość pasma pracy anteny zwiększa się aż do $\Delta f = 88,5$ MHz. Dla długości promienia $R > 55\lambda_0$, wartość szerokości pasma pracy anteny przyjmuje wartość stałą $\Delta f = 75$ MHz.

Pomiary parametrów anten wykonanych praktycznie

Celem sprawdzenia poprawności przeprowadzonej w poprzednich rozdziałach analizy numerycznej, wybrane modele anten zostały zbudowane praktycznie oraz wykonano pomiary ich podstawowych parametrów. W ramach pracy praktycznie zbudowane zostały anteny: płaskie oraz po trzy anteny cylindryczne o promieniach krzywizny $R = \lambda, 2\lambda, 4\lambda$ dla każdego z zakresów częstotliwości: 2200 – 2300 MHz oraz 5031 – 5090,6 MHz (Rys. 13). Otrzymane wyniki zostały bezpośrednio porównane z wynikami symulacji numerycznych otrzymanych w oprogramowaniu CST Studio.

Na Rys. 14 zostały przedstawione charakterystyki współczynnika fali stojącej uzyskane z symulacji a na Rys. 15 z wyników pomiarów wykonanych anten dla zakresu 5031 – 5090,6 MHz.

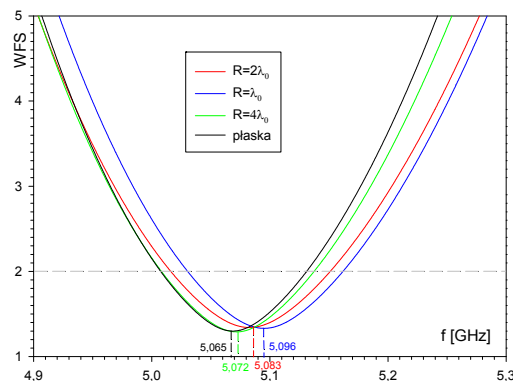


Rys.13. Widok praktycznie wykonanych anten konforemnych.

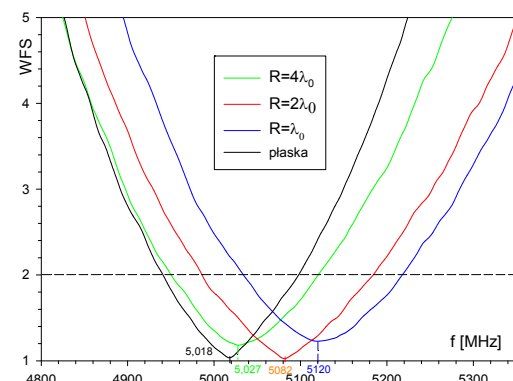
Na podstawie wykresów przedstawionych na Rys. 14 i Rys. 15 widzimy, że zbudowane anteny mają bardzo zbliżone warunki pracy do wyników otrzymanych w czasie symulacji numerycznej w programie CST Studio. Rozbieżności częstotliwości rezonansowych zbudowanych anten do wyników symulacji są na poziomie pojedynczego procenta.

Wnioski

Celem pracy zostały przedstawione wyniki badań wpływu promienia krzywizny anten konforemnych (dla kształtów: cylinder, kula, torus) na ich podstawowe parametry. W celu weryfikacji otrzymanych wyników numerycznych zbudowano i przebadano wybrane modele anten konforemnych.



Rys.14. Zestawienie charakterystyk WFS cylindrycznych anten konforemnych dla $R = \lambda_0$, $R = 2\lambda_0$, $R = 4\lambda_0$, $R = \infty$ (płaska) uzyskanych w wyniku symulacji w programie CST Studio



Rys.15. Zestawienie charakterystyk WFS cylindrycznych anten konforemnych dla $R = \lambda_0$, $R = 2\lambda_0$, $R = 4\lambda_0$, $R = \infty$ (płaska) uzyskanych z wyników pomiarów wykonanych anten

Z przedstawionych analiz wynika, że promień krzywizny powierzchni na której została umieszczona antena mikropaskowa, w widoczny sposób wpływa na parametry tej anteny dla małych wartości $R < \lambda_0$. Dla dużych wartości promienia krzywizny powierzchni – wpływ ten jest pomijalnie mały, dla obszarów przejściowych jest na poziomie kilku, kilkunastu procent.

Konstrukcja mikropaskowych anten konforemnych stanowi nowoczesne rozwiązanie urządzenia antenowego o zwartej formie, co jest szczególnie ważne w sytuacji wykorzystania jej na obiektach ruchomych, gdzie kształt anteny można dopasować do obrysu obiektu. Szczególnego znaczenia fakt ten nabiera w technice wojskowej, w szczególności w pociskach kierowanych oraz lotnictwie.

LITERATURA

1. C. Balanis: „Antenna Theory: Analysis and Design”, John Wiley&Sons, 3 Ed., New York 2005
2. Z. K-L Wong, „Design of Nonplanar Microstrip Antennas and Transmission Lines”, John Wiley & Sons, New York 1999.
3. IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas (IEEE Std 145-1993)
4. Garg R., pp. Bhartia, I. Bahl, „Microstrip antenna design handbook”, Artec Hause, INC 2001.
5. R. C. Hansen, „Phased Array Antennas, John Wiley&Sons”, 2001
6. L Josefsson., P. Persson, „Conformal array antenna theory and design”, IEEE Press, 2006.
7. R. J., Mailloux, „Phased Array Antenna Handbook”, Artec Hause, INC 2005.
8. Persson P., „Analysis and design of conformal antenna”, Royal Institute of Technology Stockholm, 2001.

Autorzy: dr inż. Jarosław Bugaj, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, E-mail: jbugaj@wat.edu.pl; prof. dr hab. inż. Marian Wnuk, Wydział Elektroniki, E-mail: mwnuk@wat.edu.pl.