



Wpływ poziomu przecięcia charakterystyk promieniowania anten rozmieszczonych w szyku cylindrycznym na dokładność namiaru

LESZEK KACHEL, CEZARY ZIÓŁKOWSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Telekomunikacji,
Zakład Radiokomunikacji, 00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki analizy pracy cylindrycznego (dookólnego) systemu antenowego przeznaczonego do pracy w monoimpulsowych układach namierzania. Analizowany system antenowy złożony jest z ośmiu anten tubowych sektorowych, pracujących w zakresie częstotliwości od 2 do 4 GHz i równomiernie rozmieszczonych na obwodzie okręgu. Przedmiotem analizy jest ocena wpływu poziomu przecięcia charakterystyk promieniowania poszczególnych anten na dokładność namiaru. Wykazano, że poprzez odpowiednie ukształtowanie charakterystyk promieniowania elementów analizowanego systemu antenowego można minimalizować błąd występujący w procesie realizacji namiaru.

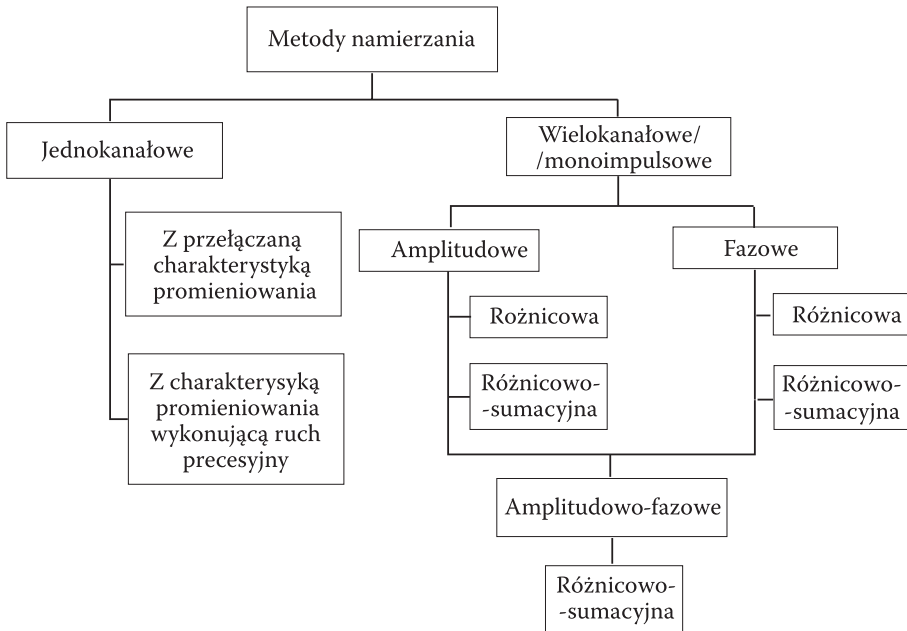
Słowa kluczowe: dookólny system antenowy, antena tubowa sektorowa, namiar

Symbole UKD: 621.396.67

1. Wprowadzenie

Przedmiotem rozważań jest w niniejszym artykule analiza pracy systemu antenowego znajdującego zastosowanie w urządzeniach radiolokacji biernej. Zasadniczym zadaniem realizowanym przez te urządzenia jest wyznaczenie kierunku, z którego dociera do odbiornika sygnał elektromagnetyczny. Tak rozumiane zadanie najczęściej określa się mianem pelengacji lub potocznie namierzaniem.

W początkowym okresie rozwoju radiolokacja bierna bazowała na jednokanałowych urządzeniach odbiorczych. W tym przypadku namiar wyznaczano przy wykorzystaniu jednej z dwóch metod: z przełączaną charakterystyką promieniowania lub z charakterystyką promieniowania wykonującą ruch precesyjny (rys. 1) [1].



Rys. 1. Klasyfikacja metod namierzania

Obecnie do wyznaczania namiaru najczęściej wykorzystuje się metody wielokanałowe, nazywane potocznie monoimpulsowymi. Istota metod monoimpulsowych polega na jednoczesnym odbiorze w kilku niezależnych kanałach sygnału emitowanego przez źródło. Wyznaczanie kierunku na źródło promieniowania fali elektromagnetycznej realizowane jest poprzez porównanie odpowiednich parametrów sygnałów uzyskiwanych na wyjściach poszczególnych kanałów odbiorczych.

W zależności od sposobu wyznaczania namiaru na podstawie równocześnie odebranych sygnałów wyróżnia się dwie podstawowe grupy metod monoimpulsowych, tj. metody amplitudowe i metody fazowe (rys. 1) [1]. W przypadku pierwszej z metod kąt przyścia pomiędzy kierunkami odniesienia i odbioru sygnału wyznacza się na podstawie różnic amplitud odebranych sygnałów występujących na wyjściach poszczególnych kanałów. W systemach monoimpulsowych wykorzystujących metodę fazową, kąt ten wyznaczany jest na podstawie różnicy faz sygnałów występujących na wybranych wyjściach kanałów odbiorczych.

Podstawowym zespołem każdego urządzenia namierzającego jest zatem układ antenowy. Sygnały docierające do systemu namiaru mogą mieć dowolną częstotliwość, dowolną polaryzację, dowolną moc oraz mogą dochodzić z dowolnego kierunku. W tych warunkach układ antenowy powinien charakteryzować się dokólną charakterystyką promieniowania, możliwie szerokim częstotliwościowym pasmem pracy i niewrażliwością na polaryzację odbieranych sygnałów. Wymienione wymagania łatwo jest spełnić, budując cylindryczny sztyk antenowy złożony ośmiu

anten tubowych sektorowych rozłożonych równomiernie na okręgu o promieniu r [5, 10, 11].

Typowe urządzenie namierzające składa się z zespołu antenowego, odbiornika z analizatorem parametrów odbieranych sygnałów i układu ich przetwarzania. Przedstawiona w artykule analiza systemu antenowego dotyczy dookólnego szyku anten kierunkowych, połączonych z odpowiednimi wejściami bloku rozdziału sygnałów. W przeprowadzonych badaniach numerycznych do zamodelowania bloku rozdziału sygnałów wykorzystano macierzę Butlera, reprezentowaną przez macierz o wymiarach 8×8 . Ocenę dokładności namiaru, zależną od przebiegu charakterystyk promieniowania poszczególnych anten, przeprowadzono na podstawie parametrów sygnałów występujących na wybranej parze wyjść macierzy Butlera. Pracę macierzy zamodelowano numerycznie, wykorzystując zależności analityczne [14, 23] opisujące podzespoły mikrofalowe jej struktury. Zależności opisujące amplitudy i fazy sygnałów na wyjściach analizowanego systemu antenowego wyznaczono na drodze analitycznej.

2. Analiza pracy szyku dookólnego

Celem analizy pracy szyku dookólnego jest wyznaczenie amplitud i faz indukowanych w każdej z ośmiu anten ($N = 8$) rozmieszczonych równomiernie na okręgu o promieniu r . Strukturę analizowanego układu przedstawiono na rysunku 2, gdzie:

θ — kąt przyścia sygnału względem kierunku odniesienia systemu antenowego, np. względem kierunku północnego (N),

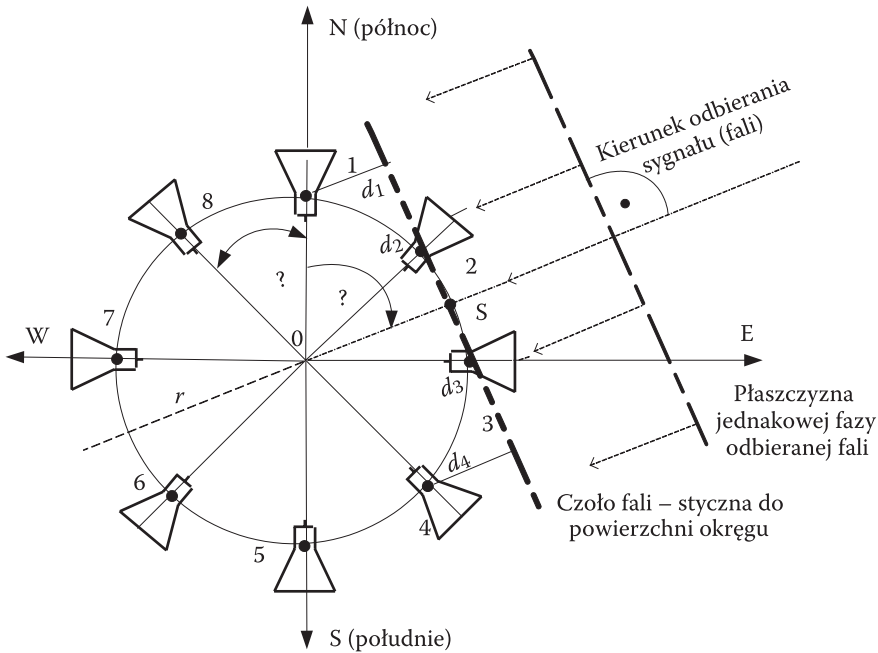
ψ — kąt rozstawienia anten $\psi = \frac{2\pi}{N}$,

d_1, d_2, \dots, d_8 — odległości centrów fazowych poszczególnych anten do czoła fali stycznej w punkcie S do okręgu o promieniu r .

Zgodnie z rysunkiem 2, linia środkowa pierwszej anteny przechodząca przez geometryczny środek szyku pokrywa się z kierunkiem odniesienia np. kierunkiem północnym. Tym samym, pierwsza z anten jest anteną odniesienia w systemie. Położenia kątowe poszczególnych anten w systemie opisują następujące zależności:

$$\alpha_1 = 0, \quad \alpha_2 = \psi, \quad \dots, \quad \alpha_n = (n-1)\psi, \quad \dots, \quad \alpha_N = (N-1)\psi, \quad (1)$$

gdzie: α_n — kąt rozstawienia n -tej anteny względem kierunku odniesienia systemu.

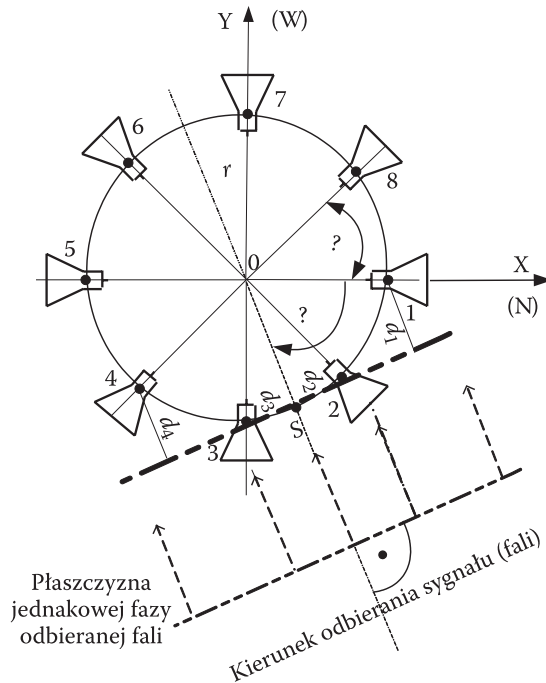


Rys. 2. Struktura analizowanego szczyku antenowego

Analizę pracy dookólnego szczyku antenowego przeprowadzono przy następujących założeniach:

- fala elektromagnetyczna docierająca do systemu antenowego jest falą płaską, co oznacza przyjęcie założenia, że źródło sygnału znajduje się w strefie dalekiej względem systemu antenowego,
- anteny rozłożone są równomiernie na okręgu o zadanym promieniu r ,
- odniesienie stanowi antenna, która wraz z geometrycznym środkiem systemu antenowego wyznacza kierunek północny (w naszym przypadku jest to antenna 1),
- szerokości charakterystyk kierunkowości anten w analizowanym zakresie częstotliwości nie ulegają zmianie,
- w analizie pominięto listki boczne, których poziom jest mniejszy od -60 dB.

W celu wyznaczenia wartości opóźnień dotarcia fali do poszczególnych anten, analizowaną strukturę antenową przedstawiono w kartezjańskim układzie współrzędnych, jak na rysunku 3. W tym przypadku kierunkiem odniesienia staje się oś OX .



Rys. 3. Struktura analizowanego szyku antenowego w kartezjańskim układzie współrzędnych

W przyjętym kartezjańskim układzie współrzędnych, położenie centrum fazowego n -tej anteny opisują następujące wyrażenia:

$$\begin{aligned} x_n &= r \cos \alpha_n = r \cos \left[(n-1) \frac{2\pi}{N} \right] \\ y_n &= r \sin \alpha_n = r \sin \left[(n-1) \frac{2\pi}{N} \right]. \end{aligned} \tag{2}$$

Do analitycznego opisu czoła fali w przyjętym układzie współrzędnych wykorzystano równanie normalne prostej stycznej do okręgu w punkcie S. W tym przypadku odległość d_n n -tej anteny o współrzędnych x_n, y_n od czoła fali opisuje następujące wyrażenie [22]:

$$d_n = |x_n \cos \theta + y_n \sin \theta - r|. \tag{3}$$

Po uwzględnieniu zależności (2), wyrażenie (3) przyjmuje postać:

$$d_n = r \left| \cos \left[(n-1) \frac{2\pi}{N} \right] \cos \theta + \sin \left[(n-1) \frac{2\pi}{N} \right] \sin \theta - 1 \right|. \tag{4}$$

Opóźnienie, mierzone względem fali, której czoło pokrywa się ze stycznią do okręgu w punkcie S , wynosi:

$$t_n = \frac{d_n}{c}, \quad (5)$$

gdzie: $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_o \mu_o}}$.

Jeśli przyjmie się założenie, że pierwsza z anten jest anteną odniesienia, czasy opóźnień Δt_i ($i = 1, 2, \dots, 8$) dotarcia czoła fali do centrów fazowych poszczególnych anten są równe:

$$\Delta t_1 = \frac{d_1 - d_1}{c} = 0, \quad \Delta t_2 = \frac{d_2 - d_1}{c}, \dots, \Delta t_n = \frac{d_n - d_1}{c}. \quad (6)$$

Charakterystyki kierunkowości poszczególnych anten i czasy opóźnień stanowią podstawę do wyznaczenia parametrów sygnałów występujących na wyjściach poszczególnych anten. Podstawą przyjęcia zależności analitycznej opisującej charakterystykę promieniowania anteny tubowej sektorowej były wyniki badań eksperymentalnych anteny podane w publikacji [24]. Funkcyjna zależność odwzorowująca w sposób przybliżony uzyskaną praktycznie charakterystykę kierunkowości pojedynczej anteny tubowej sektorowej ma następującą postać:

$$F(\Theta) = \begin{cases} \frac{\sin\left(\frac{\pi a_t}{\lambda} \sin \Theta\right)}{\frac{\pi a_t}{\lambda} \sin \Theta} & \text{gdzie } |\Theta| \leq \frac{\pi}{2}, \\ 0 & \text{gdzie } |\Theta| > \frac{\pi}{2} \end{cases}, \quad (7)$$

gdzie: λ — długość fali;
 a_t — szerokość apertury anteny tubowej.

W tym przypadku związek pomiędzy wymiarem apertury a_t a szerokością charakterystyki promieniowania anteny φ opisuje następująca zależność [4, 19]:

$$a_t = \frac{1,3916 \cdot \lambda}{\pi \cdot \sin(\varphi/2)}, \quad (8)$$

gdzie: φ — szerokość charakterystyki kierunkowości anteny na poziomie połowy mocy.

Jeśli weźmie się pod uwagę kąt przyjscia fali θ , położenie poszczególnych anten w układzie antenowym oraz czasy opóźnień, sygnał $s_n(t)$ na wyjściu n -tej anteny odniesiony do sygnału występującego na wyjściu pierwszej z nich przyjmuje następującą postać:

$$s_n(t) = k_A A_o F_n(\theta - \alpha_n) e^{j\omega_o(t - \Delta t_n)}, \quad (9)$$

gdzie: k_A — współczynnik proporcjonalności;
 A_o — amplituda sygnału dla kierunku głównego promieniowania.

Na podstawie zależności (6) i (7) uzyskuje się następujące wyrażenia opisujące amplitudę A_n i fazę chwilową φ_n sygnału na wyjściu n -tej anteny:

$$A_n = \begin{cases} A_o \frac{\sin\left(\frac{\pi a_t}{\lambda} \sin\left(\theta - (n-1) \frac{2\pi}{N}\right)\right)}{\frac{\pi a_t}{\lambda} \sin\left(\theta - (n-1) \frac{2\pi}{N}\right)} & \text{gdzie } |\theta - \alpha_n| \leq \frac{\pi}{2} \\ 0 & \text{gdzie } |\theta - \alpha_n| > \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad (10)$$

$$\varphi_n = -\frac{\omega_o}{c}(d_n - d_1) = -\omega_o \cdot \Delta t_n. \quad (11)$$

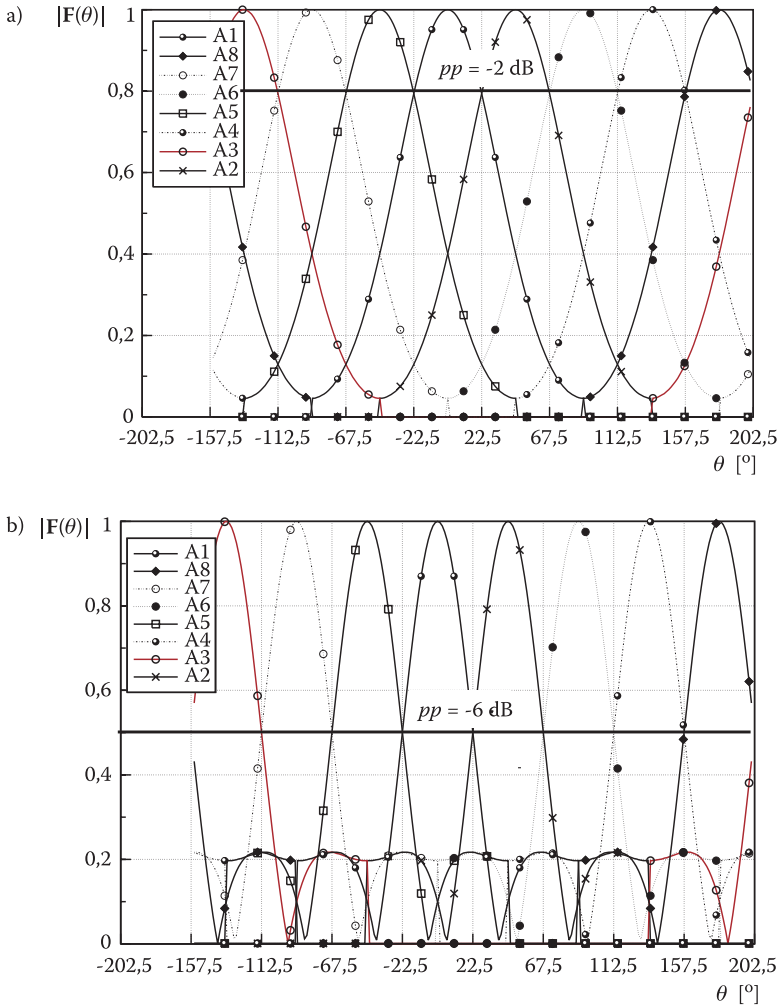
Z analizy tych zależności wynika, że wartości amplitud sygnałów na wyjściach poszczególnych anten są zależne od kąta przyjscia fali, a fazy sygnałów zależą również od promienia okręgu analizowanego systemu antenowego, co znajduje odbicie w zależności (4).

3. Wpływ poziomu przecięcia charakterystyk kierunkowości anten na dokładność namiaru

Zależności opisujące przesunięcia faz, transmitancje i sprzężenia podzespołów mikrofalowych [14, 23] tworzących macierzę Butlera stanowiły podstawę do przeprowadzenia obliczeń numerycznych, których celem była ocena dokładności namiaru.

Na podstawie zależności (10), wyznaczono charakterystyki kierunkowości poszczególnych anten tworzących szereg antenowy. Ocenę wpływu zmian poziomu przecięcia charakterystyk anten na parametry sygnałów występujących na ich wyjściach uzyskano przez zmianę szerokości φ charakterystyk promieniowania. Zmianę szerokości charakterystyki zasymulowano poprzez zmianę wymiaru apertury a_t , zgodnie z zależnością (8).

Na rysunku 4 przedstawiono dwa przypadki charakterystyk kierunkowości anten, przecinające się na poziomach odpowiednio -2 dB i -6 dB. Na podstawie wykresów przedstawiających charakterystyki kierunkowości anten analizowanego szyku można zauważyć, że w zależności od poziomu przecięć zmieniają się relacje poziomów sygnałów występujących na wyjściach poszczególnych anten.

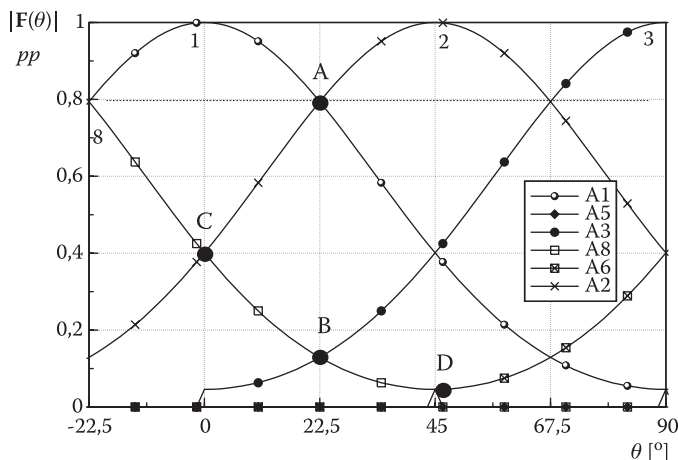


Rys. 4. Moduły charakterystyk promieniowania anten (A1, A2, ..., A8) dookólnego szyku antenowego dla częstotliwości $f = 3$ GHz

Szczególnego znaczenia nabiera wpływ poziomu listków bocznych dla poziomu przecięć -6 dB (rys. 4b). W rzeczywistości o wypadkowym poziomie będzie decydować nie tylko amplituda, ale także faza sygnałów wyjściowych z poszczególnych

anten. Różnica faz jest efektem różnicy dróg promieni do poszczególnych anten od płaszczyzny styczności w miejscu położenia anteny odniesienia.

Na rysunku 5 przedstawiono pozostałe punkty przecięć charakterystyk kierunkowości sąsiednich anten (punkt A, B, C, D) dla przykładowo wybranego zakresu kąta θ od $-22,5^\circ$ do $90,0^\circ$. Poziomy te decydują również o dokładności określenia kierunku.



Rys. 5. Poziomy przecięć charakterystyk kierunkowości sąsiadujących ze sobą anten

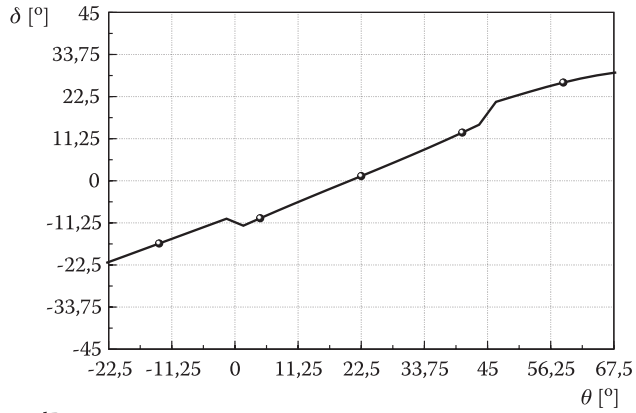
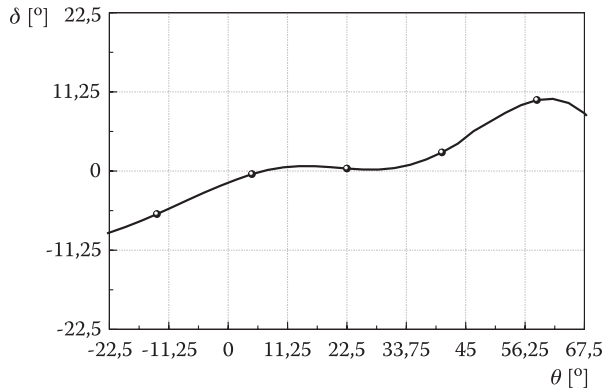
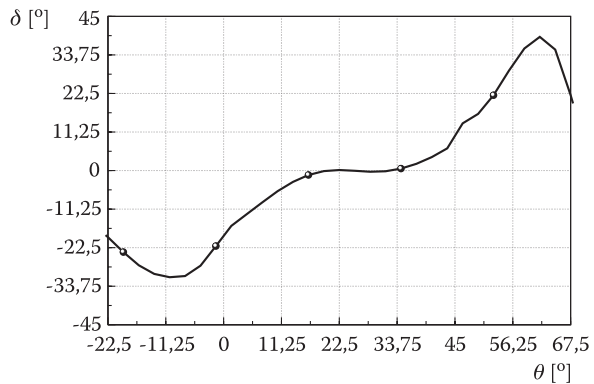
Punkty przecięć C, B i D są zależne od kształtu charakterystyki kierunkowości pojedynczej anteny. W artykule przeprowadzono analizę dla ustalonej charakterystyki kierunkowości opisanej zależnością (7). Stąd też ocenę wpływu poziomego przecięcia na dokładność namiaru ograniczono jedynie do analizy wpływu położenia punktu A. Analizę numeryczną przeprowadzono przy założeniu, że kąt θ zawiera się w sektorze $(-22,5^\circ, 67,5^\circ)$ względem kierunku odniesienia, tj. kierunku północnego.

Na podstawie zależności (10) i (11) wyznaczono wartości amplitud i faz odbieranego sygnału na wyjściach poszczególnych anten. Następnie uzyskane dane poddano przekształceniu reprezentowanemu przez macierz Butlera. Otrzymane wyniki, reprezentujące parametry sygnałów (amplituda i faza) występujących na odpowiedniej parze wyjść macierzy Butlera, stanowiły podstawę do obliczenia kąta przyjścia sygnału θ_0 . Wartości błędu namiaru δ wyznaczano na podstawie zależności:

$$\delta = \theta - \theta_0, \quad (12)$$

gdzie: $\theta_0 = \arctg \frac{\text{Im } S_{14}}{\text{Im } S_{12}},$

S_{12}, S_{14} — sygnały na wyjściach wrót odpowiednio 12 i 14 macierzy Butlera.

a) $pp = -0,9$ dBb) $pp = -2$ dBc) $pp = -6$ dB

Rys. 6. Wpływ poziomu przecięcia pp charakterystyk kierunkowości anten na dokładność δ namiaru dla różnych kątów oświetlenia szyku antenowego

Obliczenia numeryczne błędu namiaru przeprowadzono z uwzględnieniem różnych wartości poziomów przecięć pp charakterystyk kierunkowości anten. Na rysunku 6 przedstawiono wyniki obliczeń wpływu zmian poziomu przecięcia pp na dokładność namiaru w zakresie zmian kąta θ od $-22,5^\circ$ do $67,5^\circ$.

Przykładowe wyniki obliczeń przedstawiono dla przypadku trzech poziomów przecięć charakterystyk promieniowania anten, wynoszących odpowiednio: $pp = -0,9$ dB, $pp = -2$ dB oraz $pp = -6$ dB. Obliczenia numeryczne przeprowadzono, przyjmując częstotliwość pracy $f = 3$ GHz.

Na podstawie zobrazowanych wyników analizy numerycznej wpływu poziomu przecięć charakterystyk na błąd oceny kierunku można zauważyć, że najmniejsze błędy namiaru występują, gdy poziom przecięć pp charakterystyk kierunkowości sąsiednich anten wynosi około -2 dB (rys. 6b). W tym przypadku dokładność namiaru δ mieści się w przedziale $\pm 8,5^\circ$. Uzyskane wyniki pokazują, że występuje pewna optymalna wartość poziomu przecięć charakterystyk kierunkowości anten (punkt A) warunkująca minimalizację błędu namiaru. Oznacza to, że dla analizowanego szyku antenowego, poprzez odpowiedni dobór apertury anten tubowych sektorowych można uzyskać minimalizację błędu oceny kierunku przyjsia sygnału. Analizę teoretyczną przeprowadzono, przyjmując określoną zależność analityczną (7) opisującą charakterystykę kierunkowości pojedynczej anteny.

Stąd też analizowaną w artykule problematykę ograniczono do uwzględnienia wpływu poziomu tylko przecięć charakterystyk anten bezpośrednio sąsiadujących w szyku. W ogólnym przypadku o błędach namiaru decydować będą również wzajemne położenia pozostałych punktów przecięć (B, C, D — rys. 5), które są zależne od kształtu charakterystyk promieniowania. Małe poziomy przecięć występują w przypadku gdy charakterystyki kierunkowości anten są wąskie i jednocześnie zapewniony jest mały poziom listków bocznych. Oznacza to, że przy wyborze anten pracujących w dookólnym systemie antenowym należy dążyć do charakterystyk *smukłych*, zapewniających małe wartości poziomów przecięć charakterystyk oddalonych anten.

4. Podsumowanie

W celu uzyskania możliwie małych wartości błędu namiaru przy zastosowaniu dookólnego szyku antenowego złożonego z anten tubowych sektorowych należy dążyć do uzyskania jak najmniejszych rozwartości charakterystyk kierunkowości poszczególnych anten przy jednoczesnym zapewnieniu optymalnego poziomu pp ich przecięć. Jednakże uzyskanie dużej *smukłości* wiąże się z zapewnieniem wymaganej powierzchni apertury anteny; ogranicza tym samym minimalną odległość ich rozstawu na obwodzie koła utworzonego przez szyk antenowy.

Zwiększenie promienia szyku antenowego jest przyczyną powstawania różnic faz sygnałów na wyjściach poszczególnych anten, co jest wynikiem różnicy dróg propagacji poszczególnych promieni. Jednakże wraz ze wzrostem promienia okrę-

gu, na którym rozmieszczono anteny, zmiany różnic faz poszczególnych sygnałów mogą odbiegać od liniowego charakteru, czyli mogą być przyczyną wystąpienia zniekształceń fazowych.

Analiza pracy szyków kołowych wymaga uwzględnienia nie tylko amplitud, ale także faz sygnałów na wyjściach anten. Ma to duże znaczenie przy współpracy analizowanego szyku antenowego z układem formowania wiązki realizującym wektorowe dodawanie poszczególnych sygnałów.

Gdy nie ma możliwości rozmieszczenia anten na stosunkowo małym promieniu, różnice faz $\Delta\varphi$ sygnałów z wyjść anten stają się funkcjami nie tylko kąтового położenia promieniującego obiektu, promienia rozmieszczenia anten, ale również zależą od częstotliwości odbieranego sygnału. Znajomość rzeczywistego charakteru zmian amplitud i faz w funkcji kąta przyjscia promienia fali jest niezbędna przy formułowaniu wymagań i projektowaniu systemu antenowego współpracującego z układem formowania wiązki (macierzą Butlera).

Jeśli system zawiera dwie lub więcej anten, wówczas w sposób oczywisty relacje fazowe sygnałów na wyjściach anten będą funkcją ich wzajemnego położenia i częstotliwości odbieranych sygnałów. Istotna jest również znajomość położenia centrów fazowych anten. W efekcie na dokładność oceny kierunku z punktu widzenia systemu antenowego ma wpływ: kształt charakterystyki kierunkowości pojedynczej anteny, poziomy przecięć charakterystyk kierunkowości sąsiednich anten oraz promień okręgu rozmieszczenia anten.

Artykuł wpłynął do redakcji 19.07.2006 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 11.09.2006 r.

LITERATURA

- [1] S. ROSŁONIEC, *Metody wyznaczania współrzędnych kątowych wykrywanego obiektu za pomocą monoimpulsowych urządzeń radiolokacyjnych*, Prace Przemysłowego Instytutu Telekomunikacji, z. 134, 2004.
- [2] J. BUTLER, R. LOVE, *Beamforming matrix simplifies design of electronically scanned antennas*, Electronic Design, vol. 9, April 1961.
- [3] W. COHEN, C. STEINMETZ, *Amplitude — And Phase — Sensing Monopulse System Parameters*, Part I, The Microwave Journal, October 1959, 27-33.
- [4] H. JASIK, *Antena Engineering Handbook*, Mc Graw-Hill, New York, 1961.
- [5] S. LIPSKY, *Microwave passive direction finding*, John Wiley & Sons, 1987.
- [6] S. LIPSKY, *Find The Emitter Fast With Monopulse Methods*, Microwaves, May 1978, 42-53.
- [7] J. POPIK, M. SŁĄBA, Z. KOWALCZYK, *Cylindrical Antenna Array Feeding Network For Electronic Scanning*, t. 1, MIKON, 1998, 384-388.
- [8] A. RUTKOWSKI, *Systemy namiaru kierunku z macierzą Butlera*, I Konferencja Naukowo-Techniczna „Systemy Rozpoznania i Walki Radioelektronicznej”, Żegiestów, grudzień 1995, 113-122.
- [9] B. SHELEG, *A Matrix-Fed Circular Array for Continuous Scanning*, IEEE, vol. 56, nr 11, November 1968, 2016-2027.

- [10] B. STEC, Z. CHUDY, L. KACHEL, *Monoimpulsowy układ formowania wiązki antenowej w systemie namiaru źródeł promieniowania elektromagnetycznego*, V Szkoła — Konferencja „Metrologia Wspomagana Komputerowo”, Rynia k/W-wy, 21-24.05.01, 291-298.
- [11] B. STEC, Z. CHUDY, L. KACHEL, *Multielement Circuits for High Frequency Signals in Receiving Systems*, t. I, MIKON, Wrocław, 21-24.05.2000, 61-64.
- [12] B. STEC, Z. CHUDY, L. KACHEL, *Szerokopasmowy układ formowania wiązki antenowej dookólnego systemu namiaru źródeł promieniowania*, Kwartalnik Elektroniki i Telekomunikacji PAN, nr 2, 2001, 255-271.
- [13] B. STEC, *Radioelectronic Reconnaissance Monopulse Station*, International Defence Conference, Abu Dhabi, 19-23 March 1995, 553-567.
- [14] S. ROSŁONIEC, *Algorytmy projektowania wybranych liniowych układów mikrofalowych*, WKiŁ, 1987.
- [15] Z. CHUDY, L. KACHEL, *Monoimpulsowy bierny układ pomiaru kierunku na źródło promieniowania mikrofalowego*, rozprawa doktorska, WAT, Warszawa, 2002.
- [16] R. GARG, P. BHARTIA, I. BAHL, A. ITTIPOON, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Artech House Boston, London, 2001.
- [17] B. STEC, A. RUTKOWSKI, *Szerokopasmowa mikrofalowa tuba grzbietowa*, Biul. WAT, 7 (443), Warszawa, 1989, 84-92.
- [18] T. RUTKOWSKI, J. MIŁOSZ, *Płaskie mikrofalowe anteny szerokopasmowe*, Sympozjum „Nowe techniki antenowe”, Rościszów, 1-3 czerwca 1993.
- [19] D. J. BEM, *Anteny i rozchodzenie się fal radiowych*, WNT, Warszawa, 1973.
- [20] J. BOYNS, *Step Scanned Circular-Array Antena*, Phased Array Conference, 1977.
- [21] B. STEC, Z. CHUDY, L. KACHEL, *Szerokopasmowy monoimpulsowy układ namiaru źródeł promieniowania elektromagnetycznego*, Materiały XII Konferencji Naukowej nt. „Sterowanie i regulacja w radiolokacji i obiektach latających”, Jelenia Góra, czerwiec 2001.
- [22] *Poradnik inżyniera-matematyka*, WNT, Warszawa, 1987.
- [23] J. A. DOBROWOLSKI, *Technika wielkich częstotliwości*, WPW, 2001.
- [24] B. STEC, A. RUTKOWSKI, *Szerokopasmowe anteny mikrofalowe*, Materiały V Krajowego Sympozjum Nauk Radiowych URSL, Toruń, 1987.

L. KACHEL, C. ZIÓŁKOWSKI

Influence of radiation characteristic crossing level of circular formation antenna on bearing resolution

Abstract. The paper presents the results of operation of a circular antenna system. This system consists of 8 sector tube antennas working at 2-4 GHz frequency band. The antennas are equally distributed at the circle district per 45 degrees. The circular antenna formation together with a shaping beam circuit is able to make radiation source bearings with the full angle range without mechanical searching. This system is wideband, circular, polarity non-selective and sensitive enough. Here, we analyze and compute the amplitude and phase values at each antenna output. These values allow for evaluating the influence of the radiation crossing levels profile and radius antennas place on the bearing error. The conclusions based on theoretical analysis of the antenna crossing levels influence are also concerned.

Keywords: circular antenna system, sector tube antenna, bearing

Universal Decimal Classification: 621.396.67

