

Metoda poszukiwania elektrycznie małych anten liniowych

Katarzyna Jagodzińska, Maciej Walkowiak
Wydział Elektroniki i Informatyki
Politechnika Koszalińska
ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin, Polska

Streszczenie

W artykule przedstawiono metodę „M”, za pomocą której możliwe jest generowanie struktur elektrycznie małych anten liniowych (ESLA). Metoda ta wykorzystuje do poszukiwania konfiguracji anten algorytm genetyczny. Jako konfigurację anteny ESLA przyjęto monopól, którego ramię podzielono na kilka segmentów o równej długości. Ponadto, monopól umieszczony jest nad powierzchnią doskonale przewodzącą. Położenie segmentów tworzących antenę jest losowe. Jako funkcję celu przyjęto maksymalny zysk energetyczny i najmniejszy współczynnik fali stojącej. Parametry uzyskanych w ten sposób anten obliczono programem NEC.

1. Wprowadzenie

Postępująca miniaturyzacja urządzeń mobilnych powoduje konieczność projektowania anten o niewielkich rozmiarach przy zachowaniu ich parametrów użytkowych.

Antenami spełniającymi te wymagania są np. anteny „inteligentne” — anteny mające możliwość zmiany swojej charakterystyki promieniowania lub geometrii (samoorganizujące się anteny SSA [1]) — oraz elektrycznie małe liniowe anteny.

Jako małą antenę należy rozumieć antenę, która może być zamknięta w pewnej ograniczonej przestrzeni – np. półsfery o promieniu R . Promień półsfery nie powinien być większy niż $\lambda/4$. W [2] i [3] zostało pokazane, że pasmo robocze anteny zmniejsza się ze współczynnikiem R^{-3} . Oprócz pasma roboczego anteny należy również brać pod uwagę inne parametry, takie jak zysk energetyczny, rozmiar. Zwiększenie pasma osiągnąć dotychczas przez konstruowanie anten w postaci zwiniętych dipoli, wieloramiennych spiral, konstrukcji odwróconego „L” lub „F”. W pracy [4] zaproponowano konstrukcję anteny złożonej z połączonych ze sobą, dowolnie rozmieszczonych w przestrzeni elementów prostoliniowych. Podążając tym śladem została opracowana autorska metoda o nazwie „M”. Metoda ta łączy ze sobą działanie algorytmu genetycznego (GA) oraz algorytmu generującego pokolenie pierwotne [5,6,7], przez co możliwe jest tworzenie anten, których kształt nie jest „z góry” określony.

Celem niniejszej pracy jest zastosowanie opracowanej metody „M” w generacji anten ESLA, które charakteryzują się dużym zyskiem energetycznym (G_{\max}) i małym współczynnikiem fali stojącej (VSWR).

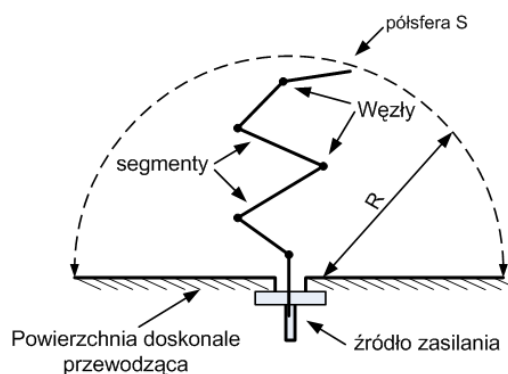
2. Opis działania algorytmu

W rozdziale tym zostanie zaprezentowany algorytm genetyczny w powiązaniu z algorytmem generującym pokolenie startowe anten ESLA. Pokolenie to wykorzystane będzie przez algorytm genetyczny. Natomiast parametry anten obliczane są za pomocą programu NEC.

Modelowana antena jest monopolem, którego ramię wygina się w dowolny sposób, tak by uzyskać żądane parametry. Cała antena umieszczona jest ponadto w półsfery o promieniu R nad płaszczyzną doskonale przewodzącą.

Struktura anteny ESLA składa się z drutu o ustalonej długości podzielonego na N równych co do długości segmentów. Pierwszy z segmentów (nazwany zerowym) struktury jest zawsze ustawiony w osi OZ i może być położony w dowolnym miejscu podstawy półsfery. Kolejne segmenty są losowo rozmieszczone w przestrzeni ograniczonej półsfery w taki sposób, że koniec jednego segmentu stanowi jednocześnie początek kolejnego. Połączenia poszczególnych segmentów anteny nazywa się węzłami. Źródło zasilania anteny znajduje się pomiędzy segmentem zerowym a ekranem anteny.

Rysunek 1 przedstawia model anteny ESLA wykorzystywany w niniejszym opracowaniu.



Rys.1. Model anteny ESLA

Program poszukujący odpowiedniej konfiguracji elektrycznie małej anteny liniowej rozpoczyna się od podania danych wejściowych w postaci całkowitej długości ramienia anteny, ilości segmentów, promienia R półsfery ograniczającej oraz położenia segmentu zawierającego zasilanie anteny. Wymienione powyżej dane wejściowe zwane są dalej ograniczeniami. Ponadto założono, że segmenty anteny nie mogą się przecinać.

Kolejnym krokiem działania programu jest wygenerowanie pokolenia startowego anten, które będzie wykorzystywane następnie przez algorytm genetyczny.

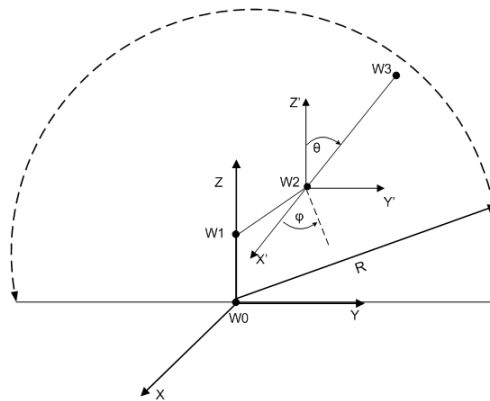
Można zauważyć, że konstrukcja anteny przypomina manipulator robota. Stosując więc znane w robotyce metody pozycjonowania manipulatora zadanie ustawiania kolejnych segmentów struktury antenowej staje się proste.

Wprowadza się dwa układy współrzędnych - globalny, którego początek umiejscowiony jest w środku ograniczającej półsfery oraz lokalny, którego początek umiejscawia się w punkcie o współrzędnych końca ostatnio dodanego segmentu (rys. 2).

Przy założeniu, że długość segmentów jest stała wylosowanie współrzędnych końca kolejnego segmentu anteny sprowadza się, w sferycznym układzie współrzędnych, do wylosowania jedynie kątów azymutu ϕ i elewacji θ . Jednocześnie program sprawdza, czy segmenty nie przecinają się i czy nie wykraczają poza otaczającą je półsferę.

W momencie ustalenia położenia wszystkich segmentów anteny tworzony jest plik tekstowy. Plik ten wykorzystywany jest przez program NEC, który wyznacza parametry użytkowe anteny.

Schemat konstrukcji anteny przedstawiony jest na rysunku 2, zaś szczegółowy opis procedury tworzenia pokolenia pierwotnego anten znajduje się w pracy[7].



Rys.2. Schemat konstrukcji anteny

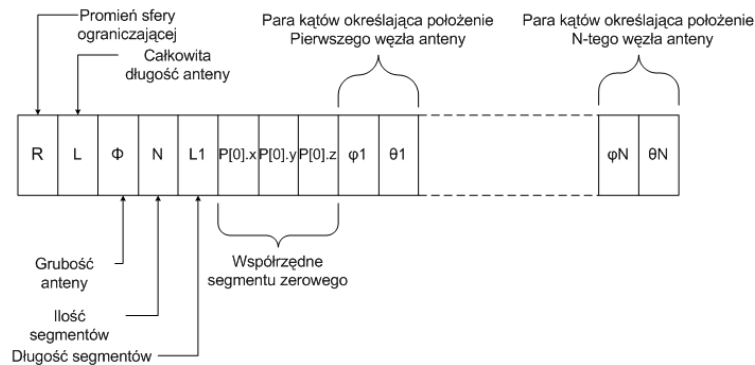
Po zakończonym procesie tworzenia pokolenia startowego do pracy przystępuje algorytm genetyczny (GA).

W dziedzinie projektowania anten, jako pokolenie należy rozumieć zbiór o określonej liczebności struktur antenowych. Każda antena z takiego zbioru jest traktowana jako pojedynczy osobnik, którego cechy zapisane są w chromosomie.

Biorąc pod uwagę elektrycznie małe anteny liniowe chromosom składa się z określonej ilości komórek, w których zapisane są dane pozwalające na identyfikację każdej anteny. Te dane to: promień półsfery ograniczającej, całkowita długość i grubość ramienia anteny, ilość i długość segmentów, współrzędne położenia segmentu zerowego

na którym znajduje się punkt zasilania anteny oraz pary kątów azymutu ϕ i elewacji θ . Pary kątów (ϕ, θ) oraz długość segmentu określają położenie węzłów anteny.

Schemat budowy chromosomu umieszczony jest na rysunku 3.



Rys.3. Schemat budowy chromosomu

Praca algorytmu genetycznego podzielona została na dwa etapy.

Pierwszy etap rozpoczyna się od deklaracji liczebności pokolenia pierwotnego oraz ilości tworzonych pokoleń. Następnie generowane jest pokolenie pierwotne, które zapisywane jest do postaci chromosomów.

Kolejnym krokiem jest określenie przystosowania osobników z pokolenia startowego, zatem określana jest wartości funkcji celu. Jako funkcję celu przyjęto maksymalny zysk energetyczny oraz jak najmniejszy współczynnik fali stojącej. Równanie opisujące funkcję celu przedstawiono poniżej

$$F_c = 0,2 \frac{A}{9} + 0,8 \frac{1}{B} \quad (1)$$

gdzie A to maksymalny zysk energetyczny G_{max} , a B oznacza współczynnik fali stojącej VSWR.

Po wyznaczeniu wartości funkcji celu dla wszystkich osobników z pokolenia startowego następuje wybór reproduktorów (rodziców). Wybór ten dokonywany jest metodą ruletki.

Kolejnymi etapami działania GA są procesy krzyżowania i mutacji.

Krzyżowanie jest jednopunktowe. Wybór punktu krzyżowania jest losowy, jednak punkt krzyżowania w chromosomie musi wypaść pomiędzy parami kątów (Φ, θ). Co więcej, musi zostać spełniony warunek, iż faktyczny punkt krzyżowania wypadnie najwcześniej po parze kątów (Φ, θ) opisujących położenie pierwszego segmentu anteny, a najpóźniej przed parą kątów (Φ, θ) definiujących położenie ostatniego węzła anteny.

Mutacja jest procesem, który powinien zachodzić sporadycznie podczas działania GA. Warunkiem zajścia mutacji jest trafienie pewnej liczby np. 510 z pewnego zakresu np. $1 \div 1000$. Oznacza to iż prawdopodobieństwo zajścia mutacji wynosi $1 \div 1000$.

W momencie spełnienia warunku zajścia mutacji, wybierany jest losowo chromosom oraz pozycja w chromosomie na której owa mutacja ma zajść. W zależności od tego czy na wylosowanej pozycji zapisany jest kąt φ lub θ taki jest zakres losowania nowego kąta. W miejsce losowo wybranej pozycji w losowo wybranym chromosomie wartość oryginalna zastępowana jest nowo wyznaczoną wartością.

Rezultatem zajścia procesów reprodukcji, krzyżowania i mutacji jest pojawienie się nowego pokolenia („dzieci”). Pokolenie to, zanim zostanie uznane za właściwe musi przejść dwa etapy oceny.

Pierwsza ocena „dzieci” polega na sprawdzeniu czy nowopowstałe anteny spełniają warunki ograniczeń (tak jak to było w przypadku pokolenia pierwotnego). Jeśli ograniczenia są spełnione to następuje drugi etap oceny.

Drugi etap oceny nowego pokolenia sprowadza się do wyznaczenia wartości funkcji celu dla wszystkich osobników. Najlepsze wartości funkcji celu, a więc i najlepsze konfiguracje anten są następnie zapisywane do plików.

Algorytm genetyczny kończy swe działanie w momencie wygenerowania zadanej ilości pokoleń.

3. Wyniki badań

Przy użyciu metody „M” zostało wygenerowanych kilkaset struktur antenowych. Na potrzeby eksperymentów numerycznych przyjęto, iż całkowita długość ramienia anteny wynosi 0.4m. Ilość segmentów ustalono na 5. Położenie segmentu zawierającego źródło zasilania było losowe. Natomiast promień półsfery ograniczającej wyniósł 0.25m.

Ilość osobników w pokoleniu pierwotnym wyniosła 30, a ilość generowanych pokoleń ustalono na 200. Algorytm genetyczny był uruchamiany trzykrotnie, zatem otrzymano 600 konfiguracji anten ESLA.

W poniższej tabeli zebrano i przedstawiono parametry wybranych struktur antenowych. Wyniki są posegregowane ze względu na współczynnik fali stojącej VSWR.

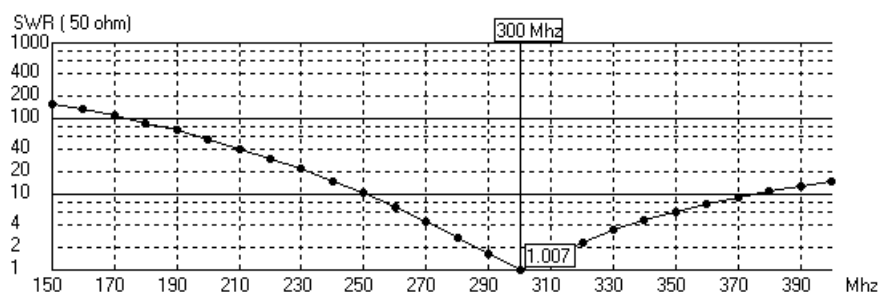
TABELA 1. Zestawienie parametrów wybranych struktur antenowych

Lp.	VSWR	G_{\max} [dBi]	Lp.	VSWR	G_{\max} [dBi]
1	3.42	7.14	11	10.2	4.88
2	4.61	5.83	12	10.7	5.04
3	4.76	6.98	13	11.5	5.17
4	5.35	4.63	14	12.4	5.02
5	7.11	4.59	15	13.1	12.9
6	7.55	4.96	16	13.3	4.52
7	8.11	5.69	17	13.8	6.23
8	8.98	6.91	18	14.7	4.57
9	9.14	5.18	19	15.2	5.06
10	9.19	4.49	20	15.3	5.72

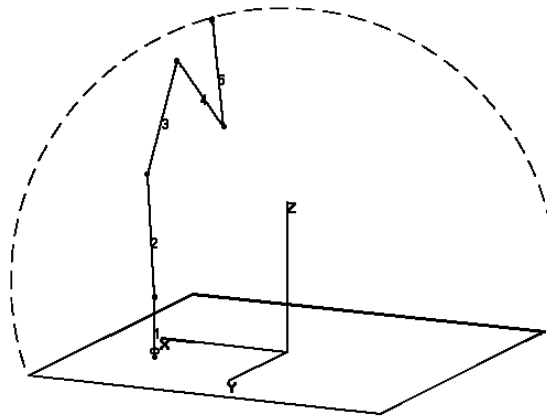
Ze zgromadzonych powyżej wyników badań wynika, iż współczynnik fali stojącej (VSWR) waha się w granicach od 3.42 do 15.3, a maksymalny zysk energetyczny (G_{\max}) zmienia się od 4.49dBi do 12.9dBi.

Pomimo faktu, iż otrzymane wyniki nie należą do idealnych i są niezbyt stabilne (zwłaszcza VSWR) to wydają się zachęcające do dalszej pracy.

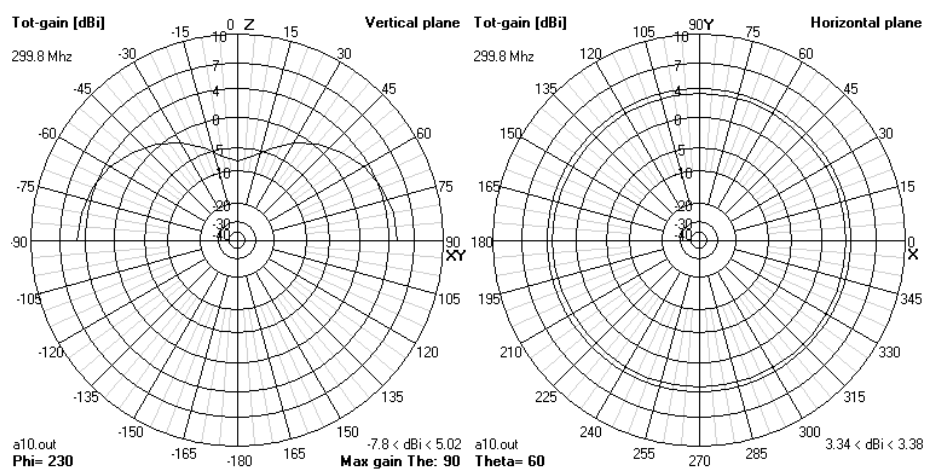
Co więcej, w przypadku fizycznej realizacji anten ESLA przedstawionych w tabeli kiepskie wartości VSWR da się poprawić po zastosowaniu układu dopasowującego impedancję wejściową anteny do impedancji linii zasilającej. Przykładowy układ dopasowujący (dla VSWR=12.4) mógłby być zrealizowany za pomocą filtra o strukturze „L”. Zmiany VSWR w funkcji częstotliwości po zastosowaniu układu dopasowującego do linii o impedancji charakterystycznej 50Ω przedstawia rysunek 4. Natomiast rysunki 5, 6, przedstawiają odpowiednio przykładową strukturę ESLA dla której VSWR=12.4 oraz jej charakterystyki promieniowania.



Rys.4. Wykres VSWR po zastosowaniu układu dopasowującego



Rys.5. Przykładowa struktura ESLA



Rys. 6. Charakterystyki promieniowania anteny z rys. 5

4. Podsumowanie

W pracy opisano zastosowanie metody „M” do poszukiwania struktur ESLA o możliwie najmniejszym VSWR i dużym zysku energetycznym G.

Prezentowane wyniki badań symulacyjnych potwierdzają, że da się za pomocą opisanej metody odnaleźć konfiguracje anten ESLA zapewniających mały współczynnik fali stojącej ($WFS=3.42$) i duży zysk energetyczny ($G_{max}=7.14$).

Ponadto stwierdza się, iż uzyskane charakterystyki promieniowania są spłaszczone w płaszczyźnie pionowej. Zatem taką antenę można uznać za kierunkową.

W dalszych pracach przewiduje się rozwój zaprezentowanej metody poprzez odpowiednie dobranie współczynników wagowych funkcji celu. Następnie przewiduje się realizację fizyczną wybranej struktury antenowej i pomiar jej parametrów.

LITERATURA

- [1] M. Kraśniewski, K. Miłaszewska, M. Walkowiak, *Samoorganizujące się struktury antenowe*, KKTi 2005, Zeszyty Naukowe WETI Politechniki Gdańskiej, T. 6, ss. 279–284
- [2] R. C. Hansen, *Fundamental limitations in antennas*, IEEE Antennas Propag. Mag., Vol. 69, pp. 170–182, Feb. 1981
- [3] E. E. Altshuler, *Electrically small self-resonant wire antennas optimized using a genetic algorithm*, IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. 50, No. 3, pp. 297–300, Mar. 2002
- [4] H. Choo, R. L. Rogers, H. Ling, *Design of electrically small wire antennas using a pareto genetic algorithm*, IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. 53, No. 3, pp. 1038–1046, Mar. 2005
- [5] K. Jagodzińska, F. Darnowski, M. Wysota, M. Walkowiak: *Pseudolosowe generowanie struktur elektrycznie małych anten liniowych*, Zeszyty Naukowe WETI PG, 2007.
- [6] K. Jagodzińska, F. Darnowski, M. Wysota, M. Walkowiak.: *Implementacja algorytmu genetycznego w symulacji anten ESLA*, ZN XI Krajowa Konferencja Automatyzacja i eksploatacja systemów sterowania i łączności, Gdynia 2007.
- [7] K. Miłaszewska, M. Kraśniewski, M. Walkowiak.: *Algorytm losowego generowania elektrycznie małych anten liniowych*, X Konferencja nt. Automatyzacja i eksploatacja systemów sterowania i łączności, Gdynia 2005.

Searching method of the electrically small and linear antennas