

Warszawa, 27 lutego 2019 r.

D z i e k a n a t

Uprzejmie informuję, że na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej odbędzie się w dniu 19 marca 2019 r. publiczna obrona rozprawy doktorskiej

Mgr. inż. Grzegorza Bogdana

temat: „Adaptacyjne kształtowanie charakterystyki kierunkowej anteny z modulacją czasową”

promotor prof. dr hab. inż. Yevhen Yashchyshyn z Wydziału Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej

recenzenci: prof. dr. hab. inż. Piotr Gajewski Wydział Elektroniki Wojskowa Akademia Techniczna

prof. dr. hab. inż. Krzysztof Wesołowski Instytut Elektroniki i Telekomunikacji Politechniki Poznańskiej

Obrona odbędzie się w dniu 19 marca 2019 r. w sali 116 na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych – Gmach im. Janusza Groszkowskiego, Warszawa, ul. Nowowiejska 15/19; początek godz. 11.00

Po adresem: www.elka.pw.edu.pl/Wydzial/Rada-Wydzialu/Harmonogram-obron-doktorskich-streszczenia-i-recenzje zapewniony jest na stronie Wydziału dostęp do tekstów streszczenia rozprawy i recenzji, jak również do tekstu rozprawy umieszczonej w Bazie Wiedzy Politechniki Warszawskiej.

Dziekan



prof. dr hab. inż. Krzysztof Zaremba

Mgr inż. Grzegorz Bogdan

Promotor: prof. dr hab. inż. Yevhen Yashchyshyn

Tytuł rozprawy doktorskiej: "Adaptacyjne kształtowanie charakterystyki kierunkowej anteny z modulacją czasową".

Intensywny wzrost popularności swobodnego dostępu do Internetu spowodował, że pojemność sieci czwartej generacji (4G) staje się niewystarczająca do obsługi wygenerowanego ruchu telekomunikacyjnego. Z tego powodu wielkie oczekiwania wiązane są z nowymi systemami piątej generacji (5G). Jedną z kluczowych technik zapowiadaną w sieciach 5G jest przestrzenna filtracja sygnałów za pomocą anten inteligentnych, poprzez dynamiczną zmianę kierunku odbioru lub nadawania fal elektromagnetycznych według założonych kryteriów.

Tematyka niniejszej rozprawy doktorskiej związana jest z analizą, projektowaniem oraz weryfikacją eksperymentalną anteny inteligentnej, która składa się w dwóch głównych części: szyku antenowego z modulacją czasową oraz algorytmu adaptacyjnego kształtowania charakterystyki kierunkowej.

W rozprawie zaproponowano nową architekturę szyku antenowego, która pozwala na uzyskanie podobnych możliwości kierowania wiązką charakterystyki kierunkowej jak w przypadku szyków fazowanych.

Opracowany szyk antenowy cechuje się większą sprawnością, szerszym pasmem pracy oraz niższym kosztem produkcji niż inne znane rozwiązania tego typu. Zaproponowana architektura została zweryfikowana eksperymentalnie poprzez wykonanie demonstratora szyku antenowego, a następnie jego charakteryzację, przeprowadzoną w oparciu o opracowane metody pomiarowe, które uwzględniają specyficzne cechy anteny z modulacją czasową. Komplementarną częścią szyku antenowego jest opracowany algorytm ewolucyjny, który w czasie rzeczywistym dopasowuje charakterystykę kierunkową anteny do zmieniającego się środowiska propagacyjnego. Efektywność całego systemu adaptacyjnego została zweryfikowana eksperymentalnie w warunkach laboratoryjnych dla różnych scenariuszy m.in. w sytuacji przemieszczającego się terminala ruchomego oraz w warunkach zakłócanych sygnałem niepożądanym. Przedstawiono również przykłady zastosowania opracowanego szyku antenowego w systemie MIMO 2x2 z pojedynczym radiowym torem odbiorczym.

Poznań, dnia 31 stycznia 2019 r.

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Wesołowski
Instytut Elektroniki i Telekomunikacji
Politechnika Poznańska

**KWESTIONARIUSZ- RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY
WYDZIAŁU ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMACYJNYCH
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Tytuł rozprawy:

Adaptacyjne kształtowanie charakterystyki kierunkowej anteny a modulacją czasową

Autor rozprawy: mgr inż. Grzegorz Bogdan, Politechnika Warszawska

1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy (teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?

Przedmiotem rozprawy jest analiza, określenie własności i eksperymentalna weryfikacja szyku antenowego z modulacją czasową – alternatywnego rozwiązania dla tzw. szyku fazowanego, jednej z możliwych realizacji zasady sterowanego elektronicznie bloku (szyku) anten kierunkowych. Autor sformułował trzy tezy rozprawy:

- Anteny z modulacją czasową mogą stanowić tanią alternatywę dla szyków fazowanych.
- Anteny z modulacją czasową mogą być skutecznie stosowane jako systemy adaptacyjne pracujące w czasie rzeczywistym.
- Szerokość pasma pracy oraz sprawność anteny z modulacją czasową mogą być zwiększone przynajmniej dwukrotnie w porównaniu do obecnego stanu techniki.

Tezy rozprawy zostały sformułowane jasno i w jej trakcie zostały udowodnione.

Rozprawa ma charakter teoretyczno-konstrukcyjno-eksperymentalny. Należy z dużym zadowoleniem przyjąć raport z wykonanych konstrukcji układu antenowego wraz z układem sterowania, jego optymalizacji i przeprowadzonych pomiarach eksperymentalnych. Obecnie niewiele prac doktorskich w dziedzinie radioelektroniki i telekomunikacji ma część konstrukcyjno-eksperymentalną. Wykonanie jej jest dowodem umiejętności konstrukcyjnych i praktycznych jej Autora.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle) świadcząca o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Przegląd literatury i analiza źródeł została przeprowadzona bardzo szeroko. W rozprawie cytowane są 152 pozycje literatury. Temat związany z szykami antenowymi jest przedmiotem publikacji od wielu lat, więc nie sposób zawrzeć wszystkich istotnych źródeł na liście literatury. Sposób redakcji rozdziałów pozwala stwierdzić, że Doktorant posiada umiejętność eksploracji źródeł i odpowiedniej syntezy wiadomości w nich zawartych. Być może można było jeszcze wzbogacić listę pozycji o następujące:

- S. Saunders, Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems, John Wiley & Sons, 1999,
- A. Chockalingan, B. Sunder Rajan, Large MIMO Systems, Cambridge University Press, 2014,
- T. Sarkar, M. C. Wicks, M. Salazar-Palma, R. J. Bonneau, Smart Antennas, John Wiley & Sons, 2003.

Elementarne wiadomości na temat anten adaptacyjnych można również znaleźć w podręczniku K. Wesołowskiego pt. Systemy radiokomunikacji ruchomej, WKŁ, Wyd. 3, Warszawa 2006.

3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Autor rozwiązał postawione zagadnienia za pomocą analizy teoretycznej z wykorzystaniem metod matematycznych. Zaproponował modyfikację anten modulowanych czasowo przez zastosowanie zamiast przełączników sterowanych z odpowiednimi fazami pomiędzy „zerem” a przesyłanym sygnałem przełączników odwracających fazę (w rzeczywistości przełączników pomiędzy dwoma antenami generującymi/odbierającymi sygnały z przeciwną fazą). Zarówno same anteny jak i układ sterujący ich przełączaniem były przedmiotem konstrukcji, analizy, optymalizacji i weryfikacji pomiarowej. Autor uwzględniał różne rzeczywiste ograniczenia sprzętowe (np. czas przełączania pomiędzy pozycjami konkretnych dostępnych przełączników, rozdzielczość przesunięć czasowych przełączeń w różnych antenach szyku, itp.). Zadbął również o dobre warunki wykonywanych pomiarów skonstruowanego szyku antenowego z modulacją czasową anten.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Oryginalność rozprawy nie ulega wątpliwości. Jest nią wprowadzenie wspomnianego wyżej trybu przełączania czasowego zamiast przełączników odłączających sygnał od dalszego przetwarzania. Kolejnym oryginalnym osiągnięciem jest metoda sterowania kierunkiem promienia generowanego przez szyk antenowy, która według Autora należy do grupy algorytmów ewolucyjnych. Recenzent nazwałby ją algorytmem iteracyjnym ze sterowaniem wielkości przesunięć kątowych w funkcji numeru iteracji. Oryginalność rozprawy jest też potwierdzona raportem z konstrukcji szyku antenowego i jego układu sterującego a także określenie i zrealizowanie stanowiska pomiarowego w celu zbadania właściwości tego szyku. Interesujące są również rozważania zastosowania proponowanego rozwiązania w transmisji MIMO 2X2.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?

Autor napisał rozprawę w sposób jasny i uporządkowany. Jest ona stosunkowo łatwa w analizie i nie powinna nastęrczać trudności w jej zrozumieniu czytelnikowi średnio zaawansowanemu w dziedzinie technik antenowych, cyfrowego przetwarzania sygnałów i radiokomunikacji. W rozprawie można znaleźć kilka nielicznych błędów typograficznych, które są właściwie nie do uniknięcia i nie warto ich tu nawet wymieniać. Jediną uwagą wartą dyskusji jest tytuł rozdziału 5: Charakteryzacja AMC. Nie jest to najlepsze sformułowanie. Być może warto byłoby zatytułować ten rozdział „Wyznaczanie charakterystyk AMC”. Słowo „charakteryzacja” pojawia się wielokrotnie w tym rozdziale. Jak uwagę redakcyjną można wspomnieć fakt, że w książkach i dysertacjach tytuły tabel występują nad nimi, nie zaś pod nimi, co preferuje Autor w rozprawie.

6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Słabych stron pracy jest niewiele. Być może dyskusja na temat metod adaptacji szyku antenowego jest nieco powierzchowna i można byłoby ją przedstawić w sposób bardziej formalny matematycznie, chociaż recenzent zdaje sobie sprawę, że algorytmy adaptacji są przedmiotem drugiej ważności w rozprawie w porównaniu z konstrukcją szyku antenowego i zaproponowanymi funkcjami modulującymi. Analiza zaproponowanego algorytmu nie jest zbyt głęboka. Zazwyczaj w przypadku analizy algorytmów adaptacyjnych rozpatruje się ich warunki zbieżności, zakres doboru tzw. kroku adaptacji, itp. Takiej analizy w pracy nie ma, chociaż sam algorytm jest sformułowany w sposób precyzyjny. Być może jest to trudne zagadnienie w przypadku algorytmów ewolucyjnych.

Uwaga szczegółowa:

- Na str. 100 Autor pisze o tzw. algorytmach stochastycznego spadku wzdłuż gradientu. W rzeczywistości gradient funkcji kosztu (zakładamy jej wypukłość) względem np. współczynników wagowych szyku antenowego wskazuje kierunek wzrostu tej funkcji, więc zmieniamy współczynniki w kierunku przeciwnym do gradientu. Wzór (6.3) (str. 101) nie przedstawia algorytmu stochastycznego. Dopiero wzór (6.4) ma charakter algorytmu gradientowego w formie stochastycznej (wartość oczekiwana w (6.1) jest zastąpiona jej stochastyczną estymatą).

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Oceniam rozprawę jako istotną dla realizacji szyków antenowych w systemach np. związanych z bardziej zaawansowanymi wersjami systemów WiFi. Brak konieczności zastosowania przetworników A/C jest dużą zaletą rozpatrywanego zastosowania. Zastanawiam się jedynie, czy jednak główne zastosowanie opracowanego szyku antenowego nie jest po stronie odbiorczej łącza transmisyjnego. Przełączanie funkcjami prostokątnymi ze sterowanymi przesunięciami fazy powoduje bowiem powstawanie listków bocznych o poważnych poziomach mocy w porównaniu z dwoma listkami głównymi. W przypadku zastosowania proponowanego szyku po stronie nadawczej konieczne byłyby filtry odcinające listki boczne i zapewniające czystość widmową poza nominalnym pasmem systemu. Druga wątpliwość pojawia się w przypadku proponowanej konfiguracji systemu MIMO, w której w odbiorniku analizie mają podlegać dwie różne repliki odebranego widma. Wydaje się, że repliki, jak sama nazwa wskazuje, powinny mieć tę samą zawartość informacyjną. Być może nowatorskim podejściem jest zastosowanie w tym przypadku odchyleń kątowych anten. Temat ten nadaje się jednak do szerszej dyskusji na obronie rozprawy doktorskiej.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a) nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy
- b) wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania
- c) spełniająca wymagania
- d) spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem
- e) wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie

Podsumowując, pomimo pewnych nielicznych uwag zawartych w niniejszej recenzji, uważam, że pracę doktorską mgr. inż. Grzegorza Bogdana należy zaliczyć do wybitnie dobrych, które zasługują na wyróżnienie. Wynika to zarówno z oryginalnego koncepcyjnego wkładu Autora, dużego nakładu pracy konstrukcyjnej i pomiarowej oraz bardzo dobrej redakcji rozprawy. Warta zauważenia jest też lista publikacji Autora, na której są trzy pozycje z listy JCR (czwarta wysłana do publikacji) i kilka referatów na konferencjach międzynarodowych. Stawiam więc wiosek o wyróżnienie recenzowanej pracy.

Arkadiusz Derjowski

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY
WYDZIAŁU ELEKTRONIKI I TECHNIK INFORMACYJNYCH
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

**Tytuł rozprawy: Adaptacyjne kształtowanie charakterystyki kierunkowej anteny
z modulacją czasową**

Autor rozprawy: mgr inż. Grzegorz BOGDAN

**1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy /teza rozprawy/ i czy zostało
dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa
(teoretyczny, doświadczalny, inny)?**

Istotą rozwoju współczesnych systemów teleinformacyjnych jest skok ilościowy (i jakościowy) zapotrzebowania na bezprzewodową wymianę i dostęp do informacji, w tym zwłaszcza w zakresie transmisji danych wykorzystywanych w systemach połączeń typu urządzenie do urządzenia (D2D – Device-to-Device). W sytuacji ograniczeń dostępnego pasma częstotliwości, stwarza to wyzwanie związane ze zmianą zasad organizacyjnych systemów bezprzewodowych i wprowadzaniu rozwiązań technicznych, umożliwiających obsługę ogromnego strumienia danych (big data). Jedną z obiecujących technik stosowanych w celu sprostowania temu wyzwaniu jest wykorzystanie techniki zmasowanej transmisji wielowejściowo-wielowyjściowej (Massive MIMO) z adaptacją kierunkowości charakterystyk antenowych. Wymaga to poszukiwania technik szybkiej zmiany charakterystyk systemów antenowych nadajnika i odbiornika z zapewnieniem odpowiedniej dokładności wyznaczenia głównego kierunku lub kierunków łącza telekomunikacyjnego przy jednoczesnym zapewnieniu jak największej tłumienności sygnałów przychodzących z kierunków innych niż pożądane.

Celem pracy, a zarazem głównym zagadnieniem naukowym do rozwiązania było opracowanie systemu antenowego z adaptacyjnym formowaniem wiązki przy pomocy szyków antenowych z tzw. modulacją czasową (AMC). Cel ten został jasno sformułowany w postaci postawionych przez Autora rozprawy 3 tez, które brzmią [cyt.]:

- 1- *Anteny z modulacją czasową mogą stanowić tanią alternatywę dla szyków fazowanych*
- 2- *Anteny z modulacją czasową mogą być skutecznie stosowane jako systemy adaptacyjne pracujące w czasie rzeczywistym*
- 3- *Szerokość pasma pracy oraz sprawność anteny z modulacją czasową mogą być zwiększone przynajmniej dwukrotnie w porównaniu do obecnego stanu techniki*

Rozwiązywane zagadnienie można byłoby sprowadzić do jednej tezy unikając udowadniania oczywistej tezy 1, wynikającej z uproszczenia konstrukcji systemu. Ponadto uważam, że końcówka zdania w tezie 3 jest wprowadzonym niepotrzebnie skrótem logicznym, który mógłby być zastąpiony sformułowaniem: **... mogą być zwiększone ... dwukrotnie w porównaniu do rozwiązań wynikających z obecnego stanu techniki.**

Niezależnie od powyższej uwagi stwierdzam, że zadanie zostało sformułowane przez Autora w sposób dostatecznie jasny, uwzględniając cztery szczegółowe cele rozprawy związane z:

- przeprowadzeniem analizy sprawności systemu AMC i wyprowadzenie zależności na optymalne funkcje modulujące,
- opracowanie autorskiego sposobu zwiększenia szerokości pasma AMC,
- wykonanie demonstratora zgodnie z opracowaną koncepcją,
- opracowanie koncepcji zastosowania AMC w adaptacyjnym systemie radiokomunikacyjnym.

Praca ma w gruncie rzeczy charakter praktyczny, z aspektami teoretycznymi i technicznymi.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł / w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle/ świadczący o dostatecznej wiedzy autora? Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Wykaz literatury jest dość obszerny i zawiera 152 pozycje, głównie publikowane w periodykach naukowych krajowych i międzynarodowych oraz w materiałach konferencji naukowych. W zdecydowanej większości są to publikacje z literatury światowej, z ostatnich kilku lat, co świadczy o aktualności zagadnienia i źródeł wykorzystanych do analizy stanu wiedzy w jego obrębie. Odrębny wykaz zawiera 18 tytułów, w tym w jednym przypadku doktorant był jedynym autorem. Wszystkie pozycje odnoszą się do tematyki rozprawy w kontekście analizy stanu wiedzy w rozpatrywanej dziedzinie, jak i problemów rozważanych w rozprawie. Bibliografia jest zróżnicowana, co świadczy o dociekliwości Doktoranta, zaś sposób wyboru i analizy informacji z niej płynących świadczą o jego zdolności do interpretowania i uogólniania wiedzy.

Wnioski z przeglądu literatury zostały sformułowane w sposób jasny i poprawny merytorycznie, pozwalający na zorientowanie czytelnika odnośnie motywacji podjęcia badań w wybranym obszarze, celu rozprawy, sposobu rozwiązania problemu badawczego oraz analizy stanu wiedzy w obszarze badań z w pełni udaną próbą jej usystematyzowania.

3. Czy Autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są właściwe?

Sposób zrealizowania zadania oraz przeprowadzenia dowodu tezy rozprawy świadczą o dostatecznej wiedzy Autora zarówno w odniesieniu do podstawowych problemów realizacji badań naukowych związanych ze sformułowaniem problemu naukowego, wykorzystaniem odpowiednich narzędzi do jego rozwiązania, metodyki prowadzenia badań, ale również wiedzy szczegółowej w zakresie obszaru badań, w tym implementacji układowych i programowych. Sposób rozwiązania problemu zaproponowany przez Doktoranta jest w pełni zgodny z metodologią badań naukowych o charakterze praktycznym i zawiera: analizę problemu, sformułowanie zadania, opracowanie demonstratora techniki AMC zawierające opis implementacji technicznej wraz ze sposobem strojenia i oceny parametrów rozwiązania, opracowanie i zaimplementowanie warstwy programowej demonstratora, zwłaszcza adaptacyjnego kształtowanie wiązki oraz praktyczną walidację w środowisku laboratoryjnym, zbliżonym do rzeczywistego, mającą na celu wykazanie możliwości zastosowania rozwiązania w systemie radiokomunikacyjnym.

Ponizej przedstawiona jest merytoryczna ocena zawartości poszczególnych rozdziałów pracy. Jej dwa pierwsze rozdziały stanowią wprowadzenie do tematyki rozprawy. I tak: w rozdziale pierwszym (wstępnym) określono obszar badań motywując wymaganiami współczesnych systemów teleinformatycznych, zdefiniowano tezy rozprawy, określono zakres praktycznego zastosowania wyników rozprawy oraz opisano jej strukturę. Autor wprowadza tu pojęcie anteny inteligentnej bez wyjaśnienia sensu tego pojęcia, tym bardziej że w dalszych rozważaniach używane jest pojęcie anteny adaptacyjnej. Wprawdzie w literaturze polskojęzycznej używa się pojęcia inteligentne odnoszącego się do rozwiązań typu smart czy kognitywnych, ale w dysertacji należy szczególnie dbać o czystość pojęciową. Uwaga ta dotyczy również zdefiniowania pojęcia modulacji czasowej w odniesieniu do systemów antenowych, ponieważ ilustracja na rysunku 1.3 jest klasycznym przedstawieniem modulacji z manipulacją amplitudy ASK (Amplitude Shift Keying). W systemie telekomunikacyjnym pojęcie modulacja czasu odnosi się do uzależnienia odstępu pomiędzy momentami charakterystycznymi sygnału zmodulowanego od przesyłanej informacji.

Rozdział 2 stanowi przegląd stanu literatury w zakresie metod kształtowania wiązki promieniowania anten, w tym stosujących technikę AMC. Przegląd jest krótki, ale wystarczający i poprawny pod względem merytorycznym. Autor uzasadnił podjęcie tego obszaru badawczego

motywując z jednej strony prostotą rozwiązania, z drugiej przedstawiając ograniczenia praktycznych rozwiązań.

To właśnie ograniczenia wynikające z zastosowania unipolarnych funkcji kluczujących stanowiły podstawę nowego rozwiązania szyku AMC, zakładającego kluczowanie ciągami bipolarnymi. Jego istotę Autor przedstawił w rozdziale 3, wykazując tu, że charakteryzuje się ono nie tylko dwukrotnym zwiększeniem pasma pracy szyku antenowego, ale również czterokrotnym wzrostem sprawności energetycznej. Jest to niewątpliwie postępowanie w stosunku do rozwiązań znanych z literatury.

W celu udowodnienia wyników analiz teoretycznych, Doktorant opracował i zrealizował układ, nazwany demonstratorem AMC, który został opisany w rozdziale 4. Na początku doktorant opisał cztery rozwiązania, w skład których wchodziły układy anten z przełącznikami, zapewniającymi ich sterowanie. Kolejne, opisane układy miały na celu wykazanie następujących funkcjonalności szyków AMC:

- redukcji poziomów bocznych listków charakterystyki promieniowania,
- zdolności do sterowania tzw. zerem charakterystyki,
- zwiększenie stosunku SINR poprzez zmniejszenie poziomu interferencji,
- zwiększenie szerokości pasma z równoczesnym wzrostem sprawności układu antenowego, czyli udowodnienia właściwej tezy rozprawy.

W pierwszym rozwiązaniu szyszek antenowy składał się z 4 anten prętowych, natomiast pozostałe rozwiązania zostały opracowane i wykonane w postaci anten łatkowych. Charakterystyki tych układów zostały zmierzone w komorze bezodbiciowej. Po potwierdzeniu zdolności odpowiedniego reagowania na zmianyysterowania szyku anten, Doktorant opracował właściwy układ demonstratora, na który składają się:

- planarny 16-to elementowy szyszek anten łatkowych,
- układ szybkiego przełączania zasilania poszczególnych anten w szyku,
- układ sterowania składający się z mikrokontrolera, cyfrowo sterowanej linii opóźniającej oraz zegara z czterowyjściowym rozdzielaczem sygnału.

Funkcjonowaniem układu można sterować z zewnętrznego komputera, dołączonego do mikrosterownika za pomocą interfejsu USB.

Przy konstruowaniu demonstratora zastosowano szereg autorskich rozwiązań, mających na celu redukcję wpływu połączeń poszczególnych układów na zmianę opóźnienia oraz zmniejszenie poboru mocy zasilania układu.

Zagadnienia związane z przygotowaniem stanowiska badawczego zostały opisane w kolejnym rozdziale 5 o nieco dziwnym tytule „Charakteryzacja AMC”, ponieważ jak dotąd nie spotkałem się z takim zastosowaniem słowa „charakteryzacja” (używanego w sztuce i matematyce). Znacznie odpowiedniejszy byłby tu tytuł „Opracowanie systemu pomiarowego” lub „Opracowanie metodyki pomiarów”. Opracowana metodyka pozwoliła na praktyczną weryfikację zasadniczej tezy rozprawy. Znaczącym wynikiem jest tu opracowanie zbioru zaleceń dotyczących realizacji pomiarów przy pomocy analizatora widma. Otrzymane charakterystyki potwierdzają zdolność układu do uzyskiwania wiązki o założonym kształcie i kierunkowości, przy zakładanych wartościach zysku kierunkowego. Wykazano możliwość uzyskania większego pasma systemu AMC w wyniku znaczącego stłumienia parzystych składowych widma. Dodatkowo zbadano wpływ stabilności użytego generatora zegarowego na charakterystyki częstotliwościowe układu AMC, potwierdzając przydatność zastosowanego generatora do stosowania w konstrukcji szyku.

Istotnym elementem proponowanego rozwiązania demonstratora jest algorytm zapewniający adaptacyjne dostosowanie wiązki AMC do środowiska radiowego, w tym przypadku kierunku (kierunków) odbioru/nadawania sygnałów (Rozdział 6). Uwzględniając informacje literaturowe dotyczące zastosowania metod adaptacyjnych w systemach elektronicznego kształtowania wiązki, Autor opracował własną propozycję wykorzystania algorytmu genetycznego wykorzystującą metodę przeszukiwania heurystycznego często wykorzystywaną do określania parametrów modeli stosowanych w inteligencji obliczeniowej. Istotą takiego rozwiązania jest odpowiednie dobranie metod określenia osobników populacji, ich selekcji dla nowej generacji, zdefiniowania ich chromosomów oraz zmian chromosomów w wyniku reprodukcji (krzyżowania i mutacji). W rozwiązywanym przypadku przyjęto wartość SNR jako cechę dziedziczenia, której

maksymalizacja jest celem procesu adaptacji. Opracowana procedura jest niewątpliwie poprawna. Natomiast mam zastrzeżenia co do opisu algorytmów ewolucyjnych. Algorytmy ewolucyjne zaliczane są do klasy inspirowanych biologią, ale nie należy z nimi utożsamiać innych algorytmów, jak wymieniona przez Autora optymalizacja stadna cząsteczek, których podstawą jest kolektywne zachowanie zwierząt.

Wartość pracy podnoszą propozycje zastosowań szyków AMC opisane w rozdziale 7. Natomiast na wstępie mam pytanie, czy opisane w paragrafach 7.1.1 i 7.2.1 stanowiska badawcze są ze sobą w jakiś sposób powiązane. Jeśli nie, to dlaczego brakuje rysunku w pierwszym z wymienionych paragrafów? Badania wykazują zdolność opracowanego układu do adaptacji kierunku charakterystyki w różnych scenariuszach i stanowią potwierdzenie możliwości stosowania rozwiązania w różnych systemach.

W podsumowaniu (rozdział 8) Autor stwierdza, że osiągnął cele pracy i potwierdził jej tezę, co jest zgodne z prawdą. Autor ustosunkowuje się do globalnych cech rozwiązania wskazując na uzyskane parametry. Dalej, podsumowuje oryginalne wyniki pracy. Na koniec wskazuje kierunki dalszych badań nad zaproponowaną metodą.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Oryginalność rozprawy nie budzi wątpliwości i dotyczy ona zarówno uzasadnienia wybranej tematyki pracy, jak i proponowanych rozwiązań. Jako podstawowy, oryginalny dorobek Autora należy wskazać:

- opracowanie nowej architektury anteny z modulacją czasową wraz ze sposobem kierowania wiązką,
- opracowanie algorytmu adaptacyjnego kształtowania charakterystyki kierunkowej,
- opracowanie metodyki badań obejmujących pojedyncze elementy anten, szyki antenowe i zestawy AMC,
- opracowanie demonstratora techniki AMC oraz wykonanie badań eksperymentalnych wykazujących jego właściwości,
- przedstawienie i zbadanie możliwości zastosowania tej techniki w praktyce.

Proponowane rozwiązania są autorskie, a uzyskane wyniki są oryginalne i nie posiadają odpowiedników w literaturze światowej, osiągnięciem jest zwłaszcza podwojenie szerokości pasma i zysku szyku antenowego.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników /zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy/?

Rozprawa jest napisana w sposób zwięzły i przejrzysty. Zawartość merytoryczna nie budzi zastrzeżeń, potwierdzając zarówno zasadność wyboru tematyki badawczej, jak i sposobu osiągnięcia celu rozprawy. Kolejność rozdziałów stanowi przejrzysty tok rozumowania.

Autor wykazał się umiejętnością poprawnego i przekonującego przedstawiania uzyskanych przez siebie rezultatów. Formułowane wnioski są trafne i poprawne.

Co do strony redakcyjnej nie mam szczególnych uwag poza brakiem opisu osi na niektórych wykresach.

6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Rozprawa nie ma wad zasadniczo ujmujących jej wartości, natomiast, jak dla niemal każdej publikacji, można wskazać szereg niedociągnięć, które można uznać za jej słabsze strony. Do tych niedociągnięć zaliczam w szczególności:

- brak zdefiniowania pojęcia anteny inteligentnej i relacji z pojęciem anteny adaptacyjnej,
- brak wyjaśnienia związku pomiędzy modulacją z kluczowaniem amplitudy, a użytym tu pojęciem modulacji czasowej,

- brak opisu powiązania pomiędzy opracowanymi układami pomiarowymi,
- brak wyjaśnienia, co oznacza tu pojęcie charakteryzacja anten,
- niepoprawna systematyzacja algorytmów optymalizacyjnych inspirowanych biologią,
- błędy stylistyczne i logiczne np.
 - str. 19 uwaga do 3 tezy rozprawy (patrz pkt.1)
 - str. 79 wzór 5.3 jest niezgodny z opisem i błędny
 - str. 80 co oznacza zysk AMC na produkcji modulacji?
 - str. 79 gdzie we wzorze 5.4 jest wartość q , co sugeruje 3 zdanie ostatniego akapitu na str. 86
 - str. 97 ostatni akapit, pierwsze zdanie jest niedokończone „stosowanej”, ale gdzie?
 - str.105 brak wyjaśnienia skrótu TMAA (rys.6.2)

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Zdaniem recenzenta, rezultaty rozprawy doktorskiej oprócz wartości naukowych mają duży potencjał aplikacyjny. Powinny zostać wykorzystane w praktyce do rozwiązania problemów związanych z rozwojem współczesnych systemów bezprzewodowych, w szczególności tych, które wymagają szybkiej zdolności do szybkiej adaptacji do zmiennych warunków transmisyjnych, jak np. w inteligentnych systemach transportowych w komunikacji typu V2V, V2I.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a) niespełniająca wymagań stawianych rozprawom przez obowiązujące przepisy
- b) wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania
- c) spełniająca wymagania
- d) spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem
- e) wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie

Stwierdzam, że rozprawa spełnia wymagania Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym. Niezależnie od wymienionych wcześniej uwag, zaliczam rozprawę do kategorii c) spełniająca wymagania i wnoszę o jej dopuszczenie do obrony publicznej.

