

Dr hab. inż. Piotr Słobodzian, prof. uczelni
Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki
Politechnika Wrocławska
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

Wrocław, 11 marca 2019r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej
dla Rady Wydziału Elektrycznego
Politechniki Białostockiej**

Tytuł rozprawy: *Opracowanie wielowrotnikowych układów wzbudzenia promienników systemów ultraszerokopasmowych.*

Autor rozprawy: *mgr inż. Marek Grzegorz Nowakowski*

Rozprawa pana Nowakowskiego przedstawia wybrane zagadnienia analizy, syntezy i projektowania układów wielowrotnikowych oraz elementów promieniujących, wykorzystywanych do budowy ultraszerokopasmowych układów antenowych.

Tematyk badawcza poruszana w pracy jest aktualna, ważna i ciekawa zarówno z teoretycznego jak i praktycznego punktu widzenia. Dotyczy teorii i techniki układów b.w.cz. i układów mikrofalowych oraz elementów i układów antenowych. Wpisuje się zarówno w dziedzinę elektroniki jak i telekomunikacji. Jest obecna w bieżących nurtach badawczych związanych z techniką transmisji ultraszerokopasmowej, nazywanej w skrócie UWB (z *ang.* *UltraWideBand*). Technika UWB jest jedną z głównych technik, które są obecnie wykorzystywane w systemach radiokomunikacyjnych i jest ciągle rozwijana. Z tego powodu podjęcie przez pana mgr. inż. Nowakowskiego tej tematyki w rozprawie doktorskiej jest w pełni uzasadnione.

Rozprawa doktorska zawiera 135 stron. Została podzielona na 9 rozdziałów. Pierwsze trzy rozdziały charakteryzują obszar badawczy rozprawy, cel i zakres przeprowadzonych prac oraz tezę rozprawy. Argumentacja poszczególnych elementów tezy oraz ich potwierdzenie zostały opisane w rozdziałach od czwartego do ósmego. Rozprawę zamyka rozdz. 9., w którym podsumowano wyniki przeprowadzonych prac. Na końcu rozprawy znajduje się obszerny wykaz literatury (175 pozycji) oraz krótkie streszczenie rozprawy w języku angielskim. Uważam, że podział rozprawy na rozdziały jest dostatecznie logiczny i uzasadniony. Rozprawa jest napisana pod względem merytorycznym i edycyjnym wystarczająco starannie, a doktorant posługuje się w większości tekstu poprawnym językiem technicznym.

W swojej rozprawie pan mgr inż. Nowakowski postawił tezę, że:

Opracowane struktury wybranych ultraszerokopaskowych wielowrotnikowych układów wzbudzenia promienników UWB oraz metody ich analizy, syntezy i optymalizacji, z wykorzystaniem aparatu matematycznego uwzględniającego nowe normowanie macierzy rozproszenia, pozwalają na znaczne zwiększenie efektywności transmisji informacji w systemach łączności bezprzewodowej w dziedzinie czasu i częstotliwości.

W mojej opinii teza, choć złożona, została sformułowana jasno. Zawarte w niej stwierdzenia nie są trywialne, a ich udowodnienie wymaga rzetelnych badań zarówno teoretycznych jak i eksperymentalnych, i taki właśnie charakter ma omawiana rozprawa.

W celu potwierdzenia zasadności podjętej tematyki pan Nowakowski przeprowadził obszerny przegląd literatury krajowej i zagranicznej. Analiza literatury objęła architekturę systemów UWB, własności sygnałów UWB i metod ich przetwarzania, metody analizy i syntezy wielowrotników mikrofalowych w tym ultraszerokopasmowych układów pobudzających i dopasowujących oraz ultraszerokopasmowych elementów promieniujących, stosowanych w układach antenowych. Cytowana literatura obejmuje książki, monografie, rozprawy doktorskie i artykuły opublikowane w czasopiśmie i w materiałach konferencyjnych (krajowych i zagranicznych) – łącznie 175 pozycji. Niestety doktorant pominął najnowsze wyniki badań (tj. z okresu ostatnich kilku lat) w zakresie analizy i syntezy wielowrotników, metod wyznaczania zastępczych modeli obwodowych, metod szerokopasmowego dopasowania impedancyjnego oraz metod analizy i modelowania sprzężeń wzajemnych w układach antenowych. Niemniej jednak większość wniosków sformułowanych przez doktoranta na podstawie analizy literatury (str. 9 rozprawy) jest poprawna i potwierdza zasadność podjętej tematyki. W szczególności zgadzam się ze stwierdzeniem, że w dostępnej literaturze brakuje sformułowania ogólnej metodyki projektowania i optymalizacji ultraszerokopasmowych wielowrotników i elementów promieniujących, wykorzystywanych w układach antenowych UWB. Szkoda tylko, że doktorant nie podsumował wniosków stwierdzeniem, że brak wymienionej metodyki jest jedną z przyczyn obniżenia parametrów układów nadawczo – odbiorczych w systemach UWB, co przyczynia się do spadku *efektywności transmisji informacji* za pomocą techniki UWB.

Argumentacja tezy została przeprowadzona przez doktoranta w kilku etapach. Na początek doktorant scharakteryzował trzy typowe sygnały impulsowe stosowane w technice UWB, spośród których tzw. sygnał falkowy wytypował do wykorzystania w dalszych etapach rozprawy. Badania ograniczył głównie do pasma częstotliwości UWB określonego przez ETSI (6-8,5 GHz). W kolejnym etapie przedstawił teoretyczne podstawy analizy i opracowania wielowrotników. Tę część rozprawy oparł głównie na wynikach prac swojego promotora, tj. pana prof. Czawki. W ostatnim etapie wykorzystał teorię analizy wielowrotników do charakteryzacji ultraszerokopasmowych planarnych elementów promieniujących z łalami w kształcie elipsy oraz układów antenowych, zbudowanych na bazie tych elementów i czterowrotowych komutatorów fazy. W przypadku optymalizacji parametrów pojedynczego elementu promieniującego zastosował znane metody syntezy szerokopasmowych układów dopasowujących oraz pokazał, że dzięki zastosowaniu

równoważnych modeli zastępczych impedancji wejściowej dwójnika można zwiększyć efektywność procesu projektowania i optymalizacji elementów promieniujących i układów antenowych. Z kolei charakteryzację układów antenowych UWB przedstawił na przykładzie układu złożonego z dwóch elementów promieniujących, które były pobudzane za pomocą dwukanałowych komutatorów fazy (hybryd) w postaci czterowrotników. W celu oceny wpływu parametrów elementów promieniujących na parametry emitowanych impulsów UWB doktorant wykorzystał tzw. transmitancję połowo-napięciową. Wymieniona transmitancja okazała się skutecznym narzędziem oceny jedynie w przypadku kierunków promieniowania z wyraźnie dominującą jedną składową pola elektrycznego. Niestety doktorant nie zaproponował innych kryteriów do oceny zwiększenia efektywności transmisji informacji w systemach łączności bezprzewodowej w dziedzinie czasu i częstotliwości, co uważam za jeden z głównych mankamentów argumentacji tezy.

W celu potwierdzenia tezy i użytej argumentacji pan mgr inż. Nowakowski przedstawił wyniki komputerowej syntezy, projektowania i symulacji anten UWB i układów ich wzbudzania. W celu uzyskania wyników zastosował samodzielnie opracowane narzędzia komputerowe (program o nazwie UWB-wzb), oprogramowanie komercyjne (IE3D i CST-MWS) oraz program DIASP, opracowany przez pana prof. Czawkę. W procesie analizy i projektowania formułował prawidłowe założenia. Na podstawie wyników symulacji zademonstrował, że metody analizy oparte na macierzy rozproszenia unormowanej względem sprzężonych impedancji źródeł pobudzających umożliwiają ocenę parametrów użytkowych ultraszerokopasmowych elementów promieniujących i układów antenowych z hybrydowymi układami wzbudzenia. Wyniki obliczeń potwierdził za pomocą badań eksperymentalnych. Wykazał zadowalającą zbieżność wyników obliczeń z wynikami pomiarów na podstawie elementów macierzy impedancyjnej i macierzy rozproszenia (konwencjonalnej). Pomimo użycia w weryfikacji eksperymentalnej odpowiedniej aparatury pomiarowej wyniki pomiaru są obarczone dużym błędem. Doktorant nie rozwiązał problemu ekstrakcji parametrów rozproszenia badanych elementów w zastosowanym układzie pomiarowym, co widać po znacznych oscylacjach amplitudy w zarejestrowanych wynikach pomiaru. Z tego właśnie powodu uzyskana zgodność obliczeń z eksperymentem jest zaledwie zadowalająca.

W rozprawie brakuje mi przykładów, które bardziej dobitnie potwierdziłyby, że opracowane struktury antenowe i układy hybryd oraz metody ich analizy, syntezy i optymalizacji za pomocą nowej macierzy rozproszenia, pozwalają na znaczne zwiększenie efektywności transmisji sygnałów UWB. Innymi słowy zabrakło porównania „dobrych” rozwiązań z rozwiązaniami „gorszymi”, uzyskanymi za pomocą innych metod. Brakuje mi również porównania wyników uzyskanych przez doktoranta z wynikami badań uzyskanych przez innych badaczy. Niemniej jednak uważam, że przyjęte przez doktoranta metody i narzędzia badawcze są właściwe i zgodne z obecnym nurtem badań w przedmiotowej dziedzinie, a zastosowana argumentacja dostatecznie potwierdza słuszność postawionej tezy.

Rozprawa doktorska pana mgr. inż. Nowakowskiego obejmuje bardzo szerokie spektrum zagadnień. Doktorant nie skupił się na dogłębnym rozwiązaniu pojedynczego problemu. Jego oryginalny (autorski) wkład w rozprawę polega na umiejętnym połączeniu wielu znanych metod analizy i syntezy oraz metod symulacji komputerowych w kompleksowym procesie projektowania elementów i anten UWB. Doktorant wymienia w podsumowaniu rozprawy 9 własnych osiągnięć (str. 124). Moim zdaniem do najważniejszych z nich należy zaliczyć:

- zastosowanie kompleksowego podejścia do syntezy, analizy i projektowania ultraszerokopasmowych układów wzbudzenia promienników UWB,
- opracowanie jedno i wielowrotnikowych anten UWB do pracy w zakresie częstotliwości od 6 do 8,5 GHz,
- opracowanie czterowrotnikowych układów wzbudzenia elementów promieniujących w układach antenowych,
- opracowanie własnego oprogramowania komputerowego wspomagającego projektowanie wymienionych powyżej elementów i układów.

Większość swoich osiągnięć doktorant opublikował w krajowych i międzynarodowych materiałach konferencyjnych. Pozostałą część osiągnięć opublikował w krajowych czasopiśmie specjalistycznych. Łącznie 16 prac (prace jedno i współautorskie). W mojej opinii osiągnięcia doktoranta są oryginalne głównie w skali naszego kraju. Anteny UWB i technika UWB są kojarzone z Politechniką Białostocką.

Pomimo, że zagadnienia opisane w rozprawie doktorskiej są przedstawione przekonująco, zrozumiale i w większości przypadków poprawnie, to praca nie wolna od błędów, nieścisłości i niefortunnych sformułowań. Do najważniejszych mankamentów rozprawy zaliczam:

- 1) Pominięcie w przeglądzie stanu wiedzy najnowszych wyników badań w zakresie analizy i syntezy wielowrotników, metod wyznaczania zastępczych modeli obwodowych, metod szerokopasmowego dopasowania impedancyjnego oraz metod analizy i modelowania sprzężeń wzajemnych w układach antenowych.
- 2) Brak ścisłego kryterium oceny wpływu parametrów opracowanych elementów układów i struktur oraz zastosowanych metod analizy i syntezy na zwiększenie efektywności transmisji informacji w systemach UWB.
- 3) Brak przykładów jednoznacznie demonstrujących wyższość metody analizy przy użyciu nowej macierzy rozproszenia nad metodami klasycznymi.
- 4) Stosunkowo uboga charakterystyka narzędzi CAD użytych do potwierdzenia argumentacji tezy. Doktorant nic nie pisze o metodach, które zostały zaimplementowane w oprogramowaniu IE3D, CST-MWS i DIASP. W przypadku IE3D i CST-MWS wspomina jedynie o rodzajach dyskretyzacji dziedziny obliczeniowej, zamiast o podejściu do rozwiązania zagadnienia brzegowego.
- 5) Układ rozdziałów i rozkład poruszanych w nich zagadnień, choć logiczne, to są w moim odczuciu nieco chaotyczne. Opis teorii analizy i syntezy jest rozrzucony po

kilku rozdziałach. Przeplata się w wynikami obliczeń i symulacji i w ten sposób wybija czytelnika z rytmu. Lepszy wydaje się układ o następującej kolejności: teoria, własności struktur wynikające z teorii, wyniki obliczeń demonstrujące zastosowanie teorii, wyniki obliczeń i eksperymentu na potwierdzenie własności analizowanych struktur.

- 6) W rozdz. 5 brakuje jednoznacznego stwierdzenia, że opisana tam teoria analizy wielowrotników została w całości opracowana przez promotora; czytając rozdział można mieć wrażenie, że część teorii opracował doktorant.
- 7) Nieścisłości merytoryczne i błędy edytorskie w pracy (terminologia, wzory, rysunki itp.), łącznie 24 uwagi szczegółowe:
 - a. str.34 – w rów. 5.60 nie zdefiniowano, czy wartość natężenia pola elektrycznego jest wartością szczytową czy skuteczną;
 - b. str.38 – nie zaznaczono, że rów. 5.81 jest prawdziwe tylko wtedy, gdy wielowrotnik Z_L jest odwracalny;
 - c. str.38 – w zdaniu pod rów. 5.81 pomyłono moc dysponowaną z mocą czynną;
 - d. str.38 – nie zaznaczono, że rów. 5.82 jest prawdziwe tylko wtedy, gdy część hermitowska macierzy Z_L jest równa $\text{Re}\{Z_L\}$;
 - e. indeks górny „+” przy symbolu macierzy oznacza zwykle macierz pseudoodwrotną (macierz Moore’a-Penrose’a); obecnie hermitowskie sprzężenie macierzy oznacza się częściej symbolem „H” (np. S^H);
 - f. str.39 – zwrot „*ten sam rozkład mocy*” w zdaniu pod rów. 5.95 nie jest jasny;
 - g. str.46 – w rów. 5.138 symbol V oznacza macierz a nie wektor (błąd się powtarza w dalszej części pracy);
 - h. str.52 – błąd w oznaczeniu krzywych na rys.6.2b i niepoprawna forma rów. 6.3;
 - i. str.53 – podpis pod rys. 6.3 – jednostka Ohm?
 - j. str.54 – do tab. 6.2 brakuje stosownego rysunku z oznaczeniem wymiarów;
 - k. str.56 –rys. 6.7 jest mało czytelny; na rys. pokazano rozkład gęstości prądu [A/m], a nie prąd [A];
 - l. str.64 – komentarz do rys. 6.20 – WFS <1.1? (na rysunku jest inaczej);
 - m. str.69 – u góry strony nieprawidłowe odwołanie do rów. 6.7;
 - n. str73 – ostatni akapit – nieprawidłowe użycie nazwy „*porty*” zamiast „*wrota*”;
 - o. str.79 – brak wzmianki o antenach spiralnych;
 - p. str.80 – użyto niepoprawnie „*płaszczyzna promieniowania*”;

- q. str.82 – nie jest jasne, której techniki użyto do wyznaczenia impedancji na krawędzi łaty promieniującej (jaką technikę ekstrakcji impedancji zastosowano, czy np. przesunięcie pobudzenia wzdłuż linii transmisyjnej?);
- r. str.82 – nie opisano w jako sposób optymalizowano wymiary linii transmisyjnych;
- s. str.84 – błąd na schemacie pokazanym na rys. 7.8 (rezystor R we wrotach 1?);
- t. str.90 – nieprawidłowe użycie nazwy „impedancja charakterystyczna” anteny;
- u. str.90 – dziwne oznaczenie transpozycji macierzy (bez wyjaśnienia), tj. S_t zamiast S^T ;
- v. str.90 – rów. 7.15 – nie podano warunków dla rozkładu „syngularnego” (SVD) macierzy; w języku polskim używamy nazwy „rozkład według wartości szczególnych”;
- w. str.116 – użycie zwrotu „terminali”?; powinno być „obciążień”;
- x. str.116 – złącze SMA wprowadza głównie przesunięcie fazowe i to właśnie trzeba kompensować w procesie kalibracji.

Pomimo powyższych niedociągnięć pracę oceniam dobrze. Doceniam ogrom pracy włożony przez Doktoranta w przeprowadzone badania. W mojej opinii wyniki badań uzyskane przez doktoranta mają znaczenie dla nauk technicznych. Zaproponowane kompleksowe podejście do analizy, syntezy i projektowania ultraszerokopasmowych układów wzbudzenia promienników UWB oraz samych elementów promieniujących UBW może być wykorzystywane przez projektantów torów b.w.cz./mikrofalowych, wykorzystywanych w urządzeniach nadawczo-odbiorczych systemów UWB.

Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska pt. „*Opracowanie wielowrotnikowych układów wzbudzenia promienników systemów ultraszerokopasmowych*” autorstwa pana mgr. inż. Marka Nowakowskiego **spełnia wymagania** stawiane przez obowiązujące przepisy.

