

Katedra Systemów Mikroelektronicznych

Gdańsk, 15.11.2021

dr hab. inż. Adrian Bekasiewicz, prof. PG  
Katedra Systemów Mikroelektronicznych  
Wydział Elektroniki Telekomunikacji i Informatyki  
Politechnika Gdańska  
Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk

dr hab. inż. Ryszard Sroka, prof. AGH  
Dziekan Wydziału Elektrotechniki, Automatyki  
Informatyki i Inżynierii Biomedycznej (EAIIB)  
Akademia Górniczo-Hutnicza  
Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgra inż. Roberta Smolarza pt. „Microwave directional couplers’ design with the use of planar quasi-TEM transmission line sections. Analysis, experimental investigation and applications”**

Niniejszy dokument stanowi recenzję rozprawy doktorskiej mgra inż. Roberta Smolarza (dziedzina nauk inżyniersko-technicznych, dyscyplina: automatyka, elektronika i elektrotechnika) pod tytułem „Microwave directional couplers’ design with the use of planar quasi-TEM transmission line sections. Analysis, experimental investigation and applications”. Praca została zrealizowana pod opieką prof. dr. hab. inż. Sławomira Gruszczyńskiego. Dokument został przygotowany na zlecenie Dziekana EAIIB, dr. hab. inż. Ryszarda Sroki, na podstawie umowy nr Rb-d.014-300/20 zawartej dnia 15.10.2021. Recenzję zrealizowano zgodnie z wytycznymi sformułowanymi w par. 3 niniejszej umowy. Szczegółową ocenę pracy przedstawiono w poniższych punktach.

### 1. Ocena układu rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do recenzji rozprawa została napisana w języku angielskim w formie monografii o objętości 148 stron. Praca zawiera streszczenia w języku polskim oraz angielskim, łącznie pięć rozdziałów, krótką informację na temat dokonań Autora, oraz spis bibliografii.

Pierwszy rozdział stanowi wprowadzenie do dysertacji. Dotyczy on głównie opisu teoretycznego struktur sprzęgaczy. Jego znaczną część przeznaczono na omówienie technik umożliwiających poprawienie (kompensację) strat wtrąceniowych i kierunkowości układów. Rozdział podsumowuje dyskusja celów oraz omówienie organizacji pracy. Warto zwrócić uwagę, że Doktorant przedstawił wprowadzenie w dość niekonwencjonalny sposób. Mianowicie, zrezygnował z syntetycznego opisu stanu wiedzy z literatury na rzecz analizy teorii struktur sprzęgaczy (wraz z wyprowadzeniami stosownych zależności). Rozważania teoretyczne są niejako „przeplatane” z przeglądem literatury w postaci stosunkowo krótkich (lecz trafnych) odniesień. Takie podejście wskazuje czytelnikowi, że praca ma charakter konstrukcyjno i aplikacyjny.

Kolejne dwa rozdziały odnoszą się do wybranych klas sprzęgaczy kierunkowych. W rozdziale drugim omówiono metody projektowania struktur szerokopasmowych o podwyższonej funkcjonalności. Doktorant przedstawił techniki kompensacji charakterystyk pracy z wykorzystaniem odpowiednio zdefiniowanych elementów pojemnościowych oraz poprzez implementację układów na niejednorodnych podłożach wielowarstwowych. Metody zostały zweryfikowane w wyniku realizacji projektów wybranych struktur zaimplementowanych w technologii planarnej (ang. *printed-circuit board*; PCB), oraz monolitycznej. Należy

nadmienić, że każde z omówionych studiów przypadku zawiera porównanie charakterystyk uzyskanych na drodze symulacji i pomiarów. W podsumowaniu streszczono najważniejsze z uzyskanych wyników oraz sformułowano wnioski.

Rozdział trzeci poświęcono analizie oraz projektowaniu sprzęgaczy pierścieniowych oraz gałęziowych przeznaczonych do pracy w systemach, których komponenty charakteryzują się różnymi impedancjami. Autor określił diskutowane struktury mianem sprzęgaczy kierunkowych transformujących impedancję. W rozdziale omówiono rozwiązania układowe przystosowane do impedancji wynoszących odpowiednio 50Ω oraz 10Ω, a także 25Ω i 50Ω. Podobnie jak w rozdziale drugim, Doktorant prezentuje spójne podejście do projektowania diskutowanych sprzęgaczy. Uzyskane wyniki symulacji oraz pomiarów są porównane na rysunkach oraz skomentowane. W sekcji podsumowującej krótko opisano najważniejsze wyniki oraz wnioski.

W rozdziale czwartym Doktorant przedstawia praktyczne zastosowania opracowanych struktur sprzęgaczy jako komponentów monolitycznych systemów mikrofalowych. Zaprezentowano następujące rozwiązania: sensor mikrofalowy z wbudowaną funkcją kalibracji, wzmacniacz niskoszumny, oraz interfejs radaru modulowanego częstotliwościowo. W rozdziale omówiono poszczególne elementy wspomnianych systemów. Oprócz przedstawienia stosownych analiz oraz schematów zastępczych zastosowanych struktur sprzęgaczy, Autor przedyskutował także poszczególne bloki funkcjonalne systemów. Podobnie jak w poprzednich rozdziałach, wyniki symulacji zostały zweryfikowane (częściowo) poprzez przeprowadzenie stosownych pomiarów. W podsumowaniu zawarto syntetyczny opis najważniejszych rezultatów oraz obserwacji.

Rozdział piąty stanowi podsumowanie pracy, w którym Autor omawia zrealizowane prace oraz uzyskane wyniki. Znaczna część podsumowania koncentruje się na podkreśleniu oryginalnych osiągnięć Doktoranta w ramach przedstawionej do oceny pracy oraz wskazaniu możliwych kierunków dalszych badań.

Układ pracy należy uznać za poprawny. Poszczególne sekcje oraz rozdziały są jasno wyróżnione. Rysunki, zależności, oraz tabele są ponumerowane w sposób, który umożliwia ich jednoznaczne przypisanie do poszczególnych rozdziałów. W pracy brakuje tabeli z zestawieniem skrótów i używanych oznaczeń. Ponadto, tytuł przedstawiony w stopce rozprawy jest niepełny (w stosunku do strony tytułowej). Oczywiście waga wspomnianych niedociągnięć jest nieznaczna.

## 2. Ocena zastosowanego piśmiennictwa

Rozprawę napisano w języku angielskim, co znacznie ułatwia odpowiednie stosowanie specjalistycznego słownictwa – zwłaszcza, że większość aktualnych prac z zakresu inżynierii mikrofalowej jest publikowana w tym języku. Doktorant w sposób właściwy oraz zrozumiały stosuje odpowiednie zwroty techniczne. Prezentowane analizy teoretyczne w sposób rygorystyczny podchodzą do definiowania zmiennych, czy używanych wielkości. Zastosowane oznaczenia są, w przeważającej większości, konsekwentnie stosowane w pracy.

Z punktu widzenia językowego, pracę należy uznać za poprawną. W tekście jest sporo błędów gramatycznych (np. „imbalance” – strona 53; „in to” – strona 51), interpunkcyjnych (np. „It should be noted, that” – strona 34), niepoprawnie skonstruowanych zdań (np. „It is worth to underlying (...)” – strona 64; „Monolithic applications (...) are composed” – strona 58), czy błędów formatowania (np. odstęp pomiędzy liczbą i znakiem „,0” – strony 51, 69; odstęp przed przecinkiem – strona 64). Można odnieść wrażenie, że znaczna część wspomnianych omyłek jest wynikiem braku odpowiedniego mechanizmu sprawdzania poprawności pisowni pracy. Ponadto, w wielu zdaniach brakuje odpowiednich rodzajników, bądź ich użycie jest nieodpowiednie. W pracy znaleziono kilkadziesiąt pomyłek należących do wymienionych kategorii. Niemniej, ze względu na marginalne znaczenie, zrezygnowano z ich wskazywania w niniejszej recenzji. Bez względu na wspomniane błędy, rozprawa jest napisana w sposób spójny oraz zrozumiały dla czytelnika. Angielski nie jest ojczystym językiem Doktoranta, dlatego wspomniane niedociągnięcia językowe są akceptowalne.

Oprócz kwestii językowych w pracy można doszukać się innych błędów. Przykładowo Autor nieprawidłowo zastosował wcięcia przed spójnikami rozpoczynającymi nową linię (np. „where” – bodaj najbardziej powszechne w pracy; np. strony 35-37, 39), które pojawiają w kolejnych liniach tuż po równaniach pomimo, że stanowią kontynuację zdań. Błąd ten można dostrzec we wszystkich rozdziałach. W rozprawie można też doszukać się braku konsekwencji w stosowaniu oznaczeń współczynnika przenikalności elektrycznej, który jest określany zamiennie poprzez  $\epsilon$  oraz  $\epsilon$  (strona 54). Ponadto

numeracja elementów macierzy w równaniu (1.1), nie jest zawarta w indeksie dolnym. W równaniu (1.2), tylko jeden z dwóch elementów numerujących umieszczono w indeksie dolnym. W pracy można zauważyć brak konsekwencji w stosowaniu krojów czcionki używanych operatorów matematycznych, np. w równaniach (1.17)-(1.21) „log” jest pochylony, ale „cot” w (2.1), czy „arctan” w (2.4) mają styl normalny.

Autor w sposób niekonsekwentny stosuje w tekście odniesienia do równań, czy rysunków. Przykładowo, w rozdziale pierwszym równania są cytowane w nawiasach, np. „(...) combining (1.49) and (...)” – strona 30. Z kolei, począwszy od rozdziału drugiego, nawiasy w tekście odnoszącym się do równań nie występują, np. „Cristal criterion 3.2” – strona 86. Podobnie, w sekcji 1.3.2, Doktorant odniósł się do rysunków bez użycia przedrostka „Fig.” Natomiast, w sekcji 2.3.2 brakuje odniesienia do Rys. 2.50. Należy zauważyć, że wspomniane błędy stanowią przede wszystkim problem natury „estetycznej” i nie mają wpływu na zrozumiałość przekazywanych treści.

### 3. Wskazanie oraz ocena celu pracy kandydata do stopnia doktora

Doktorant wskazał cztery główne cele pracy, których brzmienie (po przetłumaczeniu na język polski) jest następujące:

- Wyrównanie indukcyjnych i pojemnościowych współczynników sprzężenia w niesymetrycznych, planarnych, mało-stratnych sprzęgaczach kierunkowych jest możliwe i może poprawić kierunkowość;
- Wyrównanie indukcyjnych i pojemnościowych współczynników sprzężenia zwiększa kierunkowość monolitycznych sprzęgaczy kierunkowych;
- Modyfikacja klasycznych topologii sprzęgaczy kierunkowych pozwala na transformację impedancji w szerszych pasmach pracy i zwiększenie współczynnika transformacji impedancji;
- Wysokowydajne sprzęgacze kierunkowe mogą być wykorzystane jako komponenty układów pracujących w częstotliwościach radiowych zaprojektowanych w technologii monolitycznej.

Dwie początkowe tezy odnoszą się do zwiększania funkcjonalności sprzęgaczy poprzez kompensację różnic sprzężeń pojemnościowych i indukcyjnych. Charakter pierwszej jest bardziej ogólny, natomiast druga wskazuje konkretny kierunek aplikacyjny. Autor mógł zdecydować się na doprecyzowanie tez poprzez jasne wskazanie poziomu odniesienia dla poprawy kierunkowości (struktury konwencjonalne). Trzecia teza jest dość ogólna, ponieważ nie przedstawia bezpośrednio jaki charakter mają mieć modyfikacje sprzęgaczy. Charakter pierwszych trzech tez zapewnia Doktorantowi swego rodzaju „elastyczność” z punktu widzenia możliwości ich udowodnienia. Czwarta teza jest dość oczywista w kontekście tezy drugiej, niemniej stanowi dobry punkt wyjścia do zaprezentowania sprzęgaczy monolitycznych jako ważnych elementów złożonych systemów. Wspomniane tezy należy uznać za właściwe w kontekście przedstawionej do oceny rozprawy.

### 4. Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych

Autor stosuje szereg metod badawczych niezbędnych do realizacji celów pracy. Pośród nich należy wyróżnić analizy wywodzące się z teorii obwodów. Ponadto doktorant wykorzystuje symulacje elektromagnetyczne (symulator AXIEM będący częścią pakietu AWR Microwave Office), narzędzia do syntezy geometrii układów, czy ich późniejszego strojenia/korekcji. Dyskutowane w pracy rozwiązania układowe są zweryfikowane eksperymentalnie poprzez pomiary wyprodukowanych prototypów. Uzyskane charakterystyki są porównywane z wynikami symulacji elektromagnetycznych. Autor przeważnie przedstawia parametry pracy zaproponowanych struktur względem ich konwencjonalnych odpowiedników.

Pewnym niedociągnięciem procedury projektowej scharakteryzowanej powyżej są lakoniczne odniesienia Doktoranta do problemów związanych z generowaniem topologii układów na podstawie uzyskanych parametrów elektrycznych oraz ich strojenia. Zazwyczaj synteza geometrii struktur wiąże się z koniecznością przeprowadzenia optymalizacji ich modeli elektromagnetycznych przy użyciu stosownych algorytmów. Punktem początkowym dla procedury są wymiary uzyskane z zależności teoretycznych. Wspomniana procedura jest złożona i czasochłonna. Z drugiej strony, praca dotyczy przede wszystkim projektowania rozwiązań układowych na podstawie metod wywodzących się z teorii obwodów, dlatego brak dokładniejszej dyskusji technik syntezy/optymalizacji geometrii jest akceptowalny.

Należy podkreślić, że streszczona powyżej metodologia projektowa jest konsekwentnie stosowana w pracy. Tym samym, podejście do projektowania układów o podwyższonej funkcjonalności używane przez Doktoranta jest spójne, a zastosowane narzędzia odpowiednio z punktu widzenia założonych celów rozprawy.

## 5. Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań

W rozprawie, nie wyodrębniono rozdziału przeznaczanego na przedstawienie wyników badań. Zważywszy na różnice pomiędzy strukturami diskutowanymi w rozdziałach 2-4, podejście takie należy uznać za właściwe. Autor zdecydował się na omówienie rezultatów prac w sekcjach dotyczących projektowania poszczególnych struktur. Punktem wyjścia do dyskusji są charakterystyki pracy układów konwencjonalnych oraz zmodyfikowanych, a także wyniki pomiarów tych ostatnich. Większość rezultatów jest uzupełniona komentarzami odnoszącymi się do wydajności proponowanych struktur. Niemniej, Autor nie zdecydował się na syntetyczne zestawienie parametrów pracy konwencjonalnych i zmodyfikowanych sprzęgaczy w postaci tabelarycznej (np. dla wybranej częstotliwości pracy). Takie podejście ułatwiłoby ocenę funkcjonalności zaproponowanych rozwiązań względem struktur referencyjnych.

Ponadto, w pracy można znaleźć fragmenty podchodzące w sposób dość ogólny do porównania wyników. Przykładowo na stronie 67, Doktorant stwierdził krótko, że sprzęgacz typu Lange z sekcji 2.2.4 ma lepsze charakterystyki niż układ składający się z trzech linii sprzężonych. Chociaż stwierdzenie jest prawdziwe, jego uzupełnienie o konkretne wielkości liczbowe byłoby pożądane. Z drugiej strony, w rozdziale 3, Autor konsekwentnie odnosi się do współczynnika  $R$  jako miary umożliwiającej porównanie opracowanych rozwiązań układowych. Takie podejście jest bardzo użyteczne, ponieważ pozwala na łatwą i jednoznaczną ocenę wydajności rozważanych struktur.

Choć jest to komentarz małej wagi, to w pracy brakuje spójnego sposobu przedstawienia wymiarów zaprojektowanych rozwiązań układowych. Przykładowo, w sekcji 2.1 Autor przedstawia geometrie struktur z naniesionymi poszczególnymi parametrami, co ułatwia ich odtworzenie przez czytelników. Rysunków takich nie umieszczono natomiast w sekcji 2.1.2, gdzie Doktorant podaje jedynie szerokość oraz odstęp pomiędzy elementami uzupełnione o parametry poszczególnych warstw podłoża. Brak informacji o długości układu, czy wymiarach zastosowanych sekcji kompensujących utrudnia reprodukcję wyników. Podobne niedociągnięcia można też zauważyć w opisach innych struktur diskutowanych w rozprawie (np. układów zaimplementowanych na podłożach monolitycznych).

Mając na względzie powyższe można stwierdzić, że opis wyników badań zawarty w pracy jest (w dużej mierze) prawidłowy. Chociaż wspomniane niedociągnięcia, mają niekorzystny wpływ na jakość prezentowanych wyników, są one akceptowalne w kontekście tematyki przedstawionej rozprawy.

## 6. Informacje dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań

Rozdział czwarty pracy poświęcono na omówienie praktycznych zastosowań diskutowanych struktur. Autor skupił się na zastosowaniach sprzęgaczy w systemach monolitycznych takich jak sensor przeznaczony do pomiaru przenikalności elektrycznej, czy interfejs radaru modulowanego częstotliwościowo, a także układ niskoszumnego wzmacniacza. Zaprezentowane wyniki wskazują bezpośrednio na przydatność proponowanych rozwiązań w aktualnych problemach projektowych. Opracowywanie rozwiązań mikrofalowych na potrzeby systemów pracujących w zakresie fal mm jest ważną i chętnie podejmowaną w środowisku naukowym tematyką.

## 7. Informacje o ewentualnych nieprawidłowościach, które pojawiły się w ocenianej rozprawie doktorskiej

W pracy brakuje bezpośredniego odniesienia do fragmentów dwóch pierwszych tez, z których wynika, że modyfikacje sprzęgaczy pozwalają na zwiększenie kierunkowości. O ile można wyciągnąć takie wnioski na podstawie analizy charakterystyk przedstawionych w rozdziale drugim (tj. pary rysunków 2.8 i 2.11, 2.23 i 2.24, czy 2.27 i 2.28), to Autor nie wspomina wskazanej w tezach wielkości w sposób bezpośredni. Odpowiedniej informacji nie zawarto zarówno w podsumowaniu pracy, jak również w sekcji 2.4. W rozdziale piątym Doktorant ograniczył się jedynie do stwierdzenia, że zaproponowane podejście projektowe poprawia charakterystyki elektryczne układu (co wynika ze zwiększenia izolacji i strat wtrąceniowych zaprezentowanych na wspomnianych powyżej rysunkach). Brak jasnego odniesienia do części tez jest niewłaściwy. Doktorant powinien jednoznacznie stwierdzić, czy zastosowane podejścia projektowe doprowadziły do poprawy kierunkowości oraz określić w jakim zakresie uzyskane wyniki są lepsze (podobnie jak podsumowano własności sprzęgaczy z sekcji trzeciej w odniesieniu do współczynnika  $R$ ).

W przypadku mało-stratnych sprzęgaczy z sekcji 2.1.1, Autor nie przedstawił charakterystyk struktury konwencjonalnej, co utrudnia wyciągnięcie odpowiednich wniosków na temat wydajności zmodyfikowanych układów. Jednocześnie w podsumowaniu rozdziału (sekcja 2.4), Doktorant stwierdził, że zastosowanie

sęków rozwartych w strukturze sprzęgacza prowadzi do poprawy jego parametrów elektrycznych. Oczywiście weryfikacja wspomnianej „obserwacji” jest trudna bez analizy (nie zamieszczonych) charakterystyk układu odniesienia.

Warto zwrócić uwagę, że Autor stosuje w pracy pojęcie strat całkowitych wyrażonych w funkcji częstotliwości. Wspomniane straty przedstawiono na rysunkach 2.14 (zmierzone), 2.50 (obliczone), oraz 3.21 (pomierzone). Niestety, wielkość nie została zdefiniowana w rozprawie. Ponadto, niezrozumiały jest brak konsekwencji w stosowaniu współczynnika – Doktorant wykorzystał go jedynie w dyskusji wyników uzyskanych dla kilku z opracowanych układów. Motywacja dla takiego działania nie znalazła odzwierciedlenia w treści rozprawy.

Wydaje się, że pomiar charakterystyk pracy wybranych układów powinien zostać objaśniony poprzez zawarcie odpowiednich (choćby krótkich) komentarzy. Przykładowo, nie jest jasne, czy charakterystyki struktur monolitycznych przedstawione w rozdziale 2 zostały zmierzone w sposób bezpośredni, czy też wyekstrahowane z pomiarów systemu, na który składał się prototyp układu oraz fiktura pomiarowa. Podobna niepewność nasuwa się w przypadku rozważań Autora dotyczących sprzęgaczy transformujących impedancję. Prototypy wspomnianych struktur są wyposażone w złącza SMA o impedancji 50Ω podłączone do wrót o impedancji 10Ω (sekcja 3.1.1 i 3.2.2), bądź 25Ω (sekcja 3.2.2). Znaczne niedopasowanie interfejsu sprzęgacz/złącze powinno znaleźć odzwierciedlenie w pogorszeniu mierzonych charakterystyk, co stoi w sprzeczności z wynikami zaprezentowanymi na rysunkach (np. Rys. 3.12, czy Rys. 3.20). Z tego punktu widzenia, krótki komentarz odnośnie procedury pomiarowej (nawet jeśli nie odnosi się ona bezpośrednio do tej pracy) jest istotny.

## 8. Ocena czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

Autor zdefiniował łącznie cztery problemy badawcze, które zostały rozwiązane z wykorzystaniem spójnej metodologii wywodzącej się z teorii obwodów i wspomaganej symulacjami elektromagnetycznymi. Zaprezentowane podejście w sposób zrozumiały i logiczny prowadzi do uzyskania pożądanych geometrii. Niektóre z oryginalnych rozwiązań zaproponowanych przez Doktoranta dotyczą:

- Opracowania nisko-stratnych skompensowanych sprzęgaczy kierunkowych;
- Opracowania wydajnych monolitycznych sprzęgaczy kierunkowych;
- Opracowania symetrycznych i niesymetrycznych konstrukcji sprzęgaczy kierunkowych zaimplementowanych na podłożach wielowarstwowych;
- Opracowania szeroko- i wąsko-pasmowych sprzęgaczy pierścieniowych transformujących impedancję wykonanych w technologii PCB;
- Opracowania zminiaturyzowanego sprzęgacza gałęziowego w technologii monolitycznej;
- Praktycznego zastosowania sprzęgaczy jako komponentów systemów pracujących w częstotliwościach mm.

Bez wątpienia, wymienione powyżej wyniki badań Doktoranta stanowią oryginalne rozwiązanie postawionych problemów naukowych.

## 9. Ocena czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata do stopnia doktora oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

O poziomie ogólnej wiedzy teoretycznej Doktoranta świadczą przedstawione w rozprawie rozbudowane analizy teoretyczne, a także trafnie dobrana i aktualna bibliografia (67 z cytowanych prac zostało opublikowanych w ciągu ostatniej dekady), na którą składają się łącznie 162 pozycje literaturowe. Doktorant jest współautorem dwunastu spośród cytowanych prac (dziewięciu publikacji z listy A oraz trzech komunikatów na recenzowanych międzynarodowych konferencjach naukowych), co pozwoliło na upowszechnienie zaprezentowanych w rozprawie wyników w środowisku naukowym. Na uwagę zasługuje też aktywność publikacyjna w obszarach nie pokrywających się z tematyką przedłożonej do oceny rozprawy (dwa artykuły z listy A i siedem prac konferencyjnych). Jest to bardzo dobry rezultat, który świadczy o znacznym zaangażowaniu oraz odpowiednio rozbudowanym warsztacie badawczym Doktoranta.

W podsumowaniu przedłożonej do oceny rozprawy, Autor w sposób jednoznaczny przedstawił swój indywidualny wkład w opracowanie omówionych rozwiązań układowych. Co więcej, we wstępie każdego z rozdziałów znajduje się odniesienie do odpowiednich publikacji współautorstwa Doktoranta. Na szczególną uwagę zasługuje nie tylko stworzenie grupy sprzęgaczy w technologii mikropaskowej oraz monolitycznej,



ale też ich integracja w ramach wspomnianych wcześniej systemów pracujących w częstotliwościach mm. W mojej ocenie indywidualny wkład Autora w przedstawioną do oceny rozprawę jest znaczący, a uzyskane wyniki i przedstawione podejście badawcze świadczą o umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

## 10. Podsumowanie

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Roberta Smolarza pod tytułem „Microwave directional couplers' design with the use of planar quasi-TEM transmission line sections. Analysis, experimental investigation and applications” stanowi spójne rozwiązanie problemu projektowania układów sprzęgaczy o podwyższonej funkcjonalności, a także przekonującą demonstrację możliwości ich zastosowania w rzeczywistych systemach pracujących w zakresie fal mm. Zaprezentowane rezultaty oraz dobrze wyodrębniony indywidualny wkład Doktoranta w przedstawionej do oceny pracy jasno wskazują, że nie tylko doskonale rozumie on podjętą tematykę, ale też posiada wiedzę i umiejętności niezbędne do prowadzenia prac badawczych. O wysokiej jakości wyników przedstawionych w pracy świadczy także ich publikacja w artykułach z listy A oraz na międzynarodowych konferencjach. Należy zwrócić uwagę, że wymienione w punktach 4 i 5 niedociągnięcia nie mają (w mojej ocenie) istotnego znaczenia z punktu widzenia charakteru rozprawy. Niemniej, brak pełnego odniesienia się do pierwszych dwóch tez dysertacji, czy stosowanie sformułowań nie mających jednoznacznego potwierdzenia w treści pracy należy uznać za niedopatrzania, które wymagają dodatkowego komentarza.

Mając na względzie powyższe stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca spełnia wymagania określone w art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789), którego stosowanie wynika z art. 179 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. (Dz. U. z 2018 r. poz. 1669 z późn. zm.). Dlatego wnioskuję o dopuszczenie rozprawy mgr inż. Roberta Smolarza do publicznej obrony. Jednocześnie proszę Doktoranta o odniesienie się do uwag zawartych w punkcie siódmym niniejszej recenzji.

*Bekasiewicz*  
Adrian Bekasiewicz