**Niskostratne układy mikrofalowe w technice linii paskowych.**

**Analiza, projektowanie i badania eksperymentalne.**

**Autor:** mgr inż. Jakub Sorocki

**Promotor:** dr hab. inż. Krzysztof Wincza, prof. n. AGH

**Dyscyplina:** Elektronika

**Streszczenie rozprawy:**

Obecnie obserwowane rosnące zapotrzebowanie na zwiększoną przepustowość oraz zasięg systemów telekomunikacyjnych powoduje konieczność zwielokrotnienia liczby nadajników przy ograniczeniu ich wymiarów fizycznych i zachowaniu kodowej, częstotliwościowej lub przestrzennej separacji między nimi, zastosowania systemów ultra-szerokopasmowych, stosowanie de/multiplekserów do separacji pasm celem dalszego przetwarzania, zwiększenia całkowitej mocy nadawczej, itp. przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej sprawności energetycznej. Aby spełnić rosnące wymagania konieczne jest poszukiwanie nowych rozwiązań oraz technologii pozwalających na realizację lekkich i kompaktowych układów, a także systemów o wysokim stopniu integracji i zwiększonej sprawności. Jednym z kierunków rozwoju jest szersze zastosowanie techniki linii paskowych. Układy realizowane w tej technice są strukturami quasi-planarnymi, co pozwala nie tylko na relatywnie łatwe modelowanie i szybkie projektowanie, ale również na łatwą integrację układów pasywnych z aktywnymi oraz układów wysokiej częstotliwości z obwodami niskiej częstotliwości. Takie podejście znacząco upraszcza konstrukcję mechaniczną i umożliwia zmniejszenie całkowitych rozmiarów jak i kosztu realizacji systemów. Jednakże układy te charakteryzują się relatywnie dużymi stratami wtrąceniowymi w porównaniu do układów falowodowych wynikającymi m. in. z częściowej lub całkowitej propagacji fali elektromagnetycznej w wysokostratnej warstwie dielektrycznej laminatu, co znacząco ogranicza zastosowanie ich w układach dużej mocy.

Tematyka niniejszej rozprawy doktorskiej obejmuje analizę, projektowanie oraz weryfikację eksperymentalną układów mikrofalowych w technice linii paskowych. Głównym celem pracy jest zbadanie możliwości realizacji, a także opracowanie nowych metod projektowania i rozwiązań układowych wybranych obwodów mikrofalowych cechujących się niskimi całkowitymi stratami mocy oraz wysokimi parametrami elektrycznymi. Zbadane zostały m.in. filtry o stałych rozłożonych, filtry kierunkowe do zastosowań w multiplekserach częstotliwości, a także sprzęgacze kierunkowe o liniach sprzężonych do zastosowań w układach podziału/sumowania mocy. Fala propagująca w prowadnicy falowej jest tłumiona wzdłuż długości linii transmisyjnej w tempie określonym przez stałą tłumienia, zależną w głównej mierze od stratności przewodnika i dielektryka. Dlatego też, aby zminimalizować całkowite straty mocy w obwodzie konieczne jest albo skrócenie całkowitej długości linii albo minimalizacja głównych źródeł strat mocy. W pracy przedstawione zostały i rozważone rozwiązania pozwalające na realizację niskostratnych układów, takie jak:

* zastosowanie nowych i alternatywnych metod projektowania oraz topologii układów w celu poprawy parametrów elektrycznych oraz uzyskania niewielkich wymiarów fizycznych, a tym samym minimalizacji strat mocy;
* redukcja strat mocy w układach poprzez usprawnienie topologii elementów składowych w kontekście własności elektrycznych i wymiarów jak również zmianę techniki realizacji w celu uzyskania struktur o obniżonych stratach dielektrycznych;
* optymalizacja topologii układów ukierunkowana na poprawę parametrów elektrycznych jako sposób na zmniejszenie strat mocy;
* redukcja całkowitych strat mocy poprzez integrację wielu funkcjonalności w jednym układzie;
* zastosowanie nowych materiałów oraz technologii wytwarzania do realizacji niskostratnych układów w technice linii paskowych.

Autor rozprawy obszernie zbadał przedstawione powyżej aspekty, a wyniki badań zostały szczegółowo opisane we współautorskich artykułach oraz komunikatach konferencyjnych opublikowanych w prestiżowych czasopismach naukowych z dziedziny oraz wygłoszonych na konferencjach o zasięgu międzynarodowym, które zostały zawarte w niniejszej pracy. Wynikiem prac teoretycznych oraz badań eksperymentalnych jest szereg nowatorskich rozwiązań układowych oraz metodologii projektowania niskostratnych pasywnych obwodów mikrofalowych. W szczególności w niniejszej pracy:

* zaproponowana została realizacja filtrów pasmowo-przepustowych jako struktury periodycznej złożonej z krótkich elektrycznie, identycznych komórek jednostkowych a także opracowane zostały nowe topologie komórek jednostkowych, wykorzystujące sekcje sprzężonych i niesprzężonych linii transmisyjnych oraz elementy o stałych skupionych o własnościach pasmowo-przepustowych oraz pasmowo-zaporowych;
* przedstawiono realizację szerokopasmowych filtrów o strukturze periodycznej w technice podwieszanych linii paskowych z wykorzystaniem zaproponowanych komórek jednostkowych złożonych wyłącznie z sekcji sprzężonych i niesprzężonych linii transmisyjnych;
* zaproponowane zostały techniki oraz rozwiązania topologiczne układów filtrów kierunkowych o zwiększonej selektywności poprzez wprowadzenie dodatkowych zer w transmisji jak również rozwiązania topologiczne pozwalające na poszerzenie pasma izolacji;
* zaproponowano nowe rozwiązania projektowe do realizacji multiplekserów kanałów częstotliwościowych złożonych z filtrów kierunkowych, w których zwiększona selektywność kanałów uzyskana została poprzez wykorzystanie własności składowych filtrów kierunkowych oraz własności samej topologii multiplexera;
* zaproponowane zostały rozwiązania układowe sprzęgacza kierunkowego z jednoczesną transformacją impedancji jak również tandemowych sprzęgaczy kierunkowych o poszerzonym paśmie pracy uzyskanym poprzez zastosowanie odpowiednich przesuwników fazy pomiędzy sekcjami sprzężonymi;
* przeprowadzano badania nad zastosowaniem różnorodnych przewodzących i nie-przewodzących materiałów dedykowanych do zastosowania w druku 3D do realizacji niskostratnych układów mikrofalowych w technice linii paskowych;
* pokazane zostało, iż wprowadzenie trzeciego wymiaru w procesie projektowania dzięki zastosowaniu technologii druku 3D pozwala na realizacje m.in. niskostratnych sprzęgaczy kierunkowych o bardzo dobrych parametrach w technice podwieszanych linii paskowych;
* zaproponowana została topologia stroika impedancji o zwiększonym zakresie realizowanych impedancji dzięki redukcji wewnętrznych strat mocy do pomiarów metodą source-/load-pull szerokiej gamy tranzystorów RF mocy;
* przedstawiony został przykładowy front-end układu nadawczo-odbiorczego dużej mocy, w projekcie którego zastosowano opracowany stroik impedancji do określenia impedancji dopasowania tranzystora stopnia mocy zapewniających maksymalną moc wyjściową.

Opracowane i przedstawione powyżej techniki i układy zostały eksperymentalnie zweryfikowane wykazując ich zastosowanie a tym samym spełnienie założonych celów naukowych pracy. Uzyskane w ramach rozprawy doktorskiej wyniki pozwolą w przyszłości na lepszą integrację poszczególnych bloków torów nadawczych sprzętu telekomunikacyjnego dużej mocy oraz na zmniejszenie całkowitych rozmiarów systemu poprzez zastąpienie obecnie wykorzystywanych układów wykonanych w technologii falowodów jednorodnym, zintegrowanym systemem zaprojektowanym z wykorzystaniem techniki linii paskowych.