



## Realizacje praktyczne detektorów fazoczułych z pierścieniem diodowym

BRONISŁAW STEC, CZESŁAW REĆKO, WALDEMAR SUSEK

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki,  
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2

**Streszczenie.** W artykule zaprezentowano pierścieniowe detektory fazoczułe wykorzystywane do budowy mikrofalowych dyskryminatorów częstotliwości. Przedstawione zostały charakterystyki dopasowania oraz przebiegi napięć wyjściowych detektorów fazoczułych z pierścieniem diodowym. Modele detektorów zostały wykonane w Zakładzie Mikrofal.

**Słowa kluczowe:** detektor fazy, pierścieniowy detektor fazy

**Symbole UKD:** 621.396.96

### 1. Wstęp

Współczesne pole walki, w związku z dynamicznym rozwojem elektroniki, w coraz większym stopniu nasycone jest różnego rodzaju urządzeniami elektronicznymi emitującymi i odbierającymi sygnały z szerokiego zakresu częstotliwości. Sygnały te są źródłem cennych informacji, które stanowią podstawę do analizy i oceny sytuacji, wypracowania i podjęcia decyzji oraz jej realizacji. Parametrami sygnału, które zawierają ważne informacje są: częstotliwość i moc sygnału, czas trwania impulsu sondującego, częstotliwość powtarzania impulsów, rodzaj modulacji lub kodowania wewnątrz impulsu, czas i kierunek przybycia sygnału. Parametry sygnału mikrofalowego można określić, wykorzystując odbiornik NPCz. Struktura NPCz, w zależności od wymaganej dokładności, składa się zazwyczaj z jednego lub kilku detektorów częstotliwości [3, 6]. Detektor częstotliwości zbudowany jest z układu rozdziału mocy, dwóch linii transmisyjnych o różnych długościach oraz detektora fazy. Typowy detektor fazy składa się z dzielnika mocy,

trzech sprzęgaczy kwadraturowych oraz czterech detektorów. Zastosowanie pierścieniowego detektora fazoczułego pozwala na uproszczenie konstrukcji detektora [6]. W stosunku do struktury zbudowanej w oparciu o sprzęgacze kwadraturowe [4, 5], do budowy detektora fazy potrzebny jest tylko pierścień diodowy i transformator symetryzujący. Wyeliminowany zostaje sprzęgacz kwadraturowy, którego wykonanie jako układu pracującego w szerokim paśmie częstotliwości może być kłopotliwe. Operacja sumowania i odejmowania sygnałów wyjściowych, wykonywana w klasycznych rozwiązaniach przy pomocy wzmacniaczy różnicowych, odbywa się w strukturze pierścienia diodowego. Pierścieniowy detektor częstotliwości jest układem szerokopasmowym a jednocześnie łatwym do zaprojektowania i wykonania. Pewną niedogodnością jest występowanie tylko jednego sygnału na wyjściu detektora częstotliwości.

## 2. Detektory fazoczułe z pierścieniem diodowym

W dyskryminatorze wielokanałowym, zbudowanym w oparciu o pierścieniowe detektory częstotliwości, pasmo pomiarowe zostaje podzielone na podpasma. Do każdego podpasma zostaje przypisana przez układ przetwarzania kombinacja bitów pozwalająca jednoznacznie opisać podpasmo. Granice podpasm wyznaczają przejścia przez zero przebiegów napięć wyjściowych. W przypadku występowania odbić napięcia wyjściowe zostaną zniekształcone. W rezultacie wystąpią wielokrotne przejścia przez zero i pojawią się niejednoznaczności określenia częstotliwości. Stąd dla zapewnienia prawidłowej pracy detektora fazoczułego konieczna jest minimalizacja poziomu sygnałów odbitych poprzez uzyskanie odpowiedniego dopasowania w układzie detektora fazoczułego i detektora częstotliwości.

Dopasowanie detektorów fazoczułych w układzie detektora częstotliwości można uzyskać dwiema metodami [6]:

- poprzez podanie sygnału o odpowiednim poziomie mocy na wejścia detektora fazoczułego,
- poprzez zastosowanie układu dopasowującego.

Metoda pierwsza polega na podaniu na wejścia detektora fazoczułego takiego poziomu sygnału, aby impedancja diod wchodzących w skład pierścienia diodowego zmalała do wartości zapewniającej dopasowanie do pozostałej części układu detektora fazoczułego.

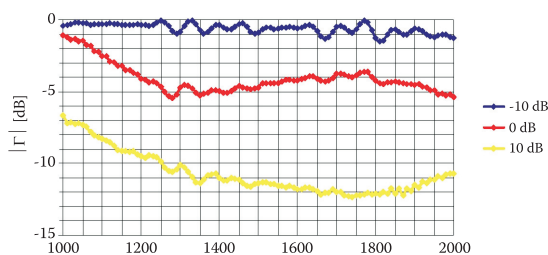
Metoda druga wykorzystuje układ dopasowujący w postaci rezystorów 50-omowych, zapewniających dopasowanie pierścienia diodowego w szerokim zakresie częstotliwości sygnału wejściowego. Dopasowanie jest w zasadzie niezależne od poziomu sygnału wejściowego.

Na potrzeby badań wykorzystany został mieszacz firmy Miteq oraz wykonane zostały dwa typy detektorów fazoczułych. Dopasowanie do pozostałej części ukła-

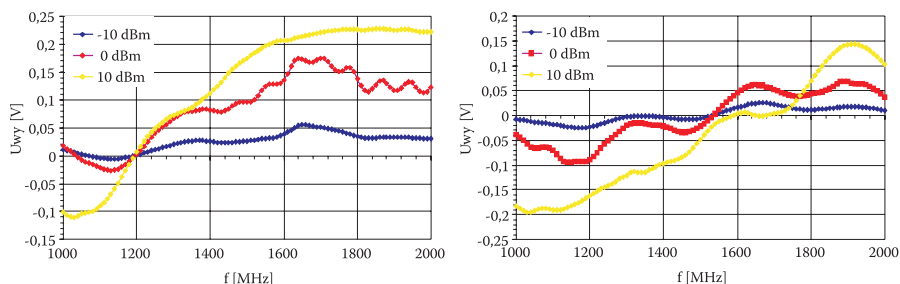
du zostało uzyskane dzięki odpowiedniej wartości mocy sygnału mikrofalowego podanego na wejścia detektora fazoczułego lub zastosowaniu układu dopasowującego. Pierwszy typ detektorów określany jest mianem detektorów fazoczułych dopasowanych mocą sygnału natomiast typ drugi określany jest mianem detektorów fazoczułych z układem dopasowującym. Jako pierwszy zostanie przedstawiony detektor fazoczuły dopasowany mocą sygnału.

## 2.1. Mikrofalowy detektor fazoczuły dopasowany mocą sygnału

Jako pierwszy został wykorzystany układ DML0052LA2. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono przebiegi dopasowania wejścia układu w funkcji poziomu mocy wejściowej oraz przebiegi napięcia wyjściowego w strukturze detektora częstotliwości.



Rys. 1. Przebieg dopasowania wejścia układu DML w funkcji poziomu mocy wejściowej

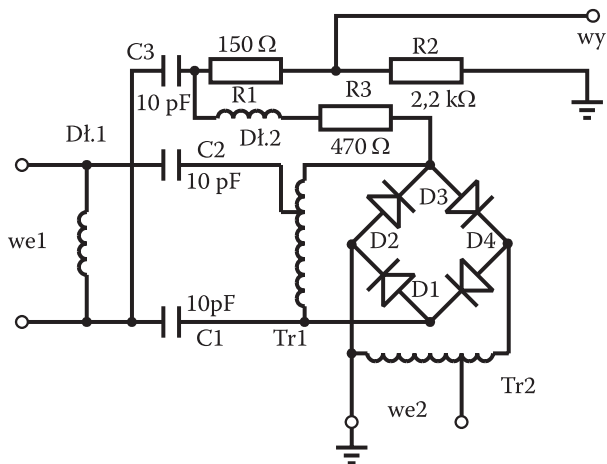


Rys. 2. Przebieg napięcia wyjściowego detektora częstotliwości z układem DML w funkcji poziomu mocy wejściowej dla różnicy długości linii transmisyjnych 21 mm i 42 mm

Jak wynika z rysunku 1, wraz ze wzrostem mocy wejściowej dopasowanie wrót wejściowych układu DML0052LA2, pełniącego rolę detektora fazoczułego, ulega poprawie, podobnie jak kształt napięć wyjściowych.

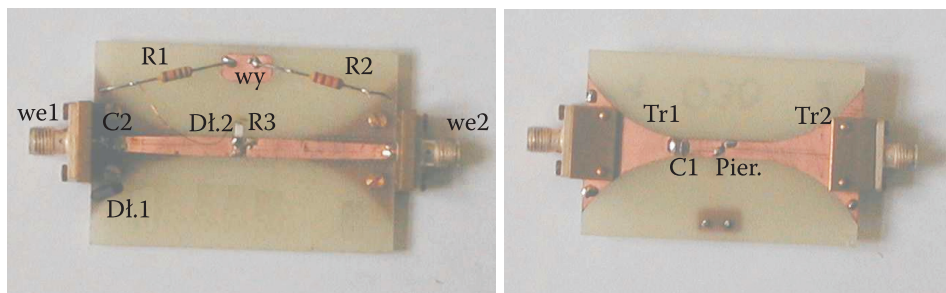
Na potrzeby badań wykonane zostały także dwie własne wersje tego typu detektora. Różnią się one pomiędzy sobą sposobem wyprowadzenia napięcia wyjściowego, natomiast pod względem funkcjonalnym są to dwie równoważne struktury.

W dalszej części pracy przedstawione zostaną pewne cechy charakterystyczne dla obu typów detektorów. W jednym z detektorów elementy składowe rozmieszczone są symetrycznie, a w drugim brak jest symetrii. Stąd określa się jeden z nich jako symetryczny, a drugi jako niesymetryczny. Schemat ideowy pierścieniowego niesymetrycznego detektora fazoczułego dopasowanego poziomem mocy przedstawiono na rysunku 3.



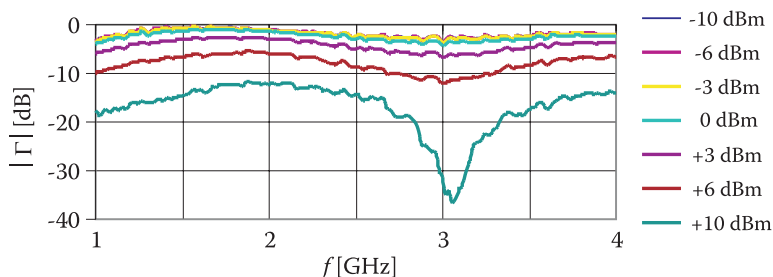
Rys. 3. Schemat ideowy niesymetrycznego detektora fazoczułego dopasowanego poziomem mocy

Pojemności C1, C2 i C3 mają za zadanie odseparowanie pierścienia diodowego od zewnętrznych napięć stałych i zmiennych. W przypadku ich braku może nastąpić zaburzenie rozptyłu prądów w pierścieniu diodowym. Może to spowodować zniekształcenie przebiegu napięcia wyjściowego lub uniemożliwić zupełnie pracę detektora fazoczułego. Widok niesymetrycznego detektora fazoczułego przedstawia rysunek 4.

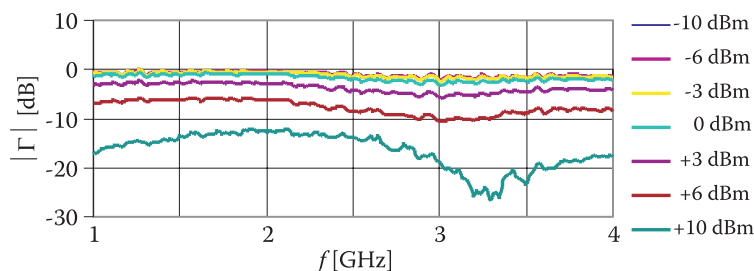


Rys. 4. Widok wykonanego niesymetrycznego detektora fazoczułego dopasowanego poziomem mocy

Przeprowadzono pomiary zależności współczynnika odbicia wejść niesymetrycznego detektora fazoczułego w funkcji częstotliwości w zależności od poziomu mocy wejściowej. Otrzymane charakterystyki są przedstawione na rysunkach 5 i 6. Pomiary przeprowadzono dla mocy z zakresu  $-10$  do  $+10$  dBm.



Rys. 5. Przebieg charakterystyki współczynnika odbicia wrót wejściowych I niesymetrycznego detektora fazoczułego dopasowanego wartością mocy w funkcji częstotliwości dla różnych poziomów mocy wejściowej



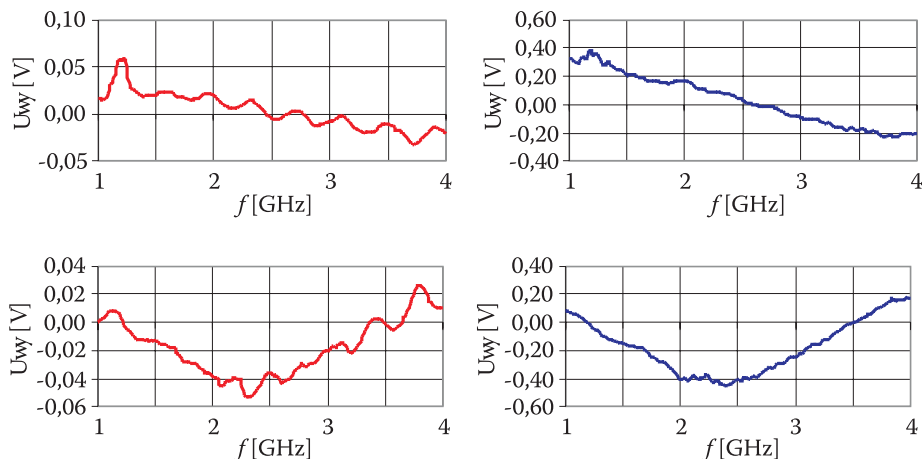
Rys. 6. Przebieg charakterystyki współczynnika odbicia wrót wejściowych II niesymetrycznego detektora fazoczułego dopasowanego wartością mocy w funkcji częstotliwości dla różnych poziomów mocy wejściowej

Podobnie jak w przypadku układu DML0052LA2, wraz ze wzrostem mocy wejściowej dopasowanie wrót wejściowych detektora fazoczułego oraz kształt napięcia wyjściowego ulegają poprawie. Przy poziomie mocy wejściowej  $+10$  dBm dopasowanie jest nie gorsze niż  $-10$  dB w całym paśmie częstotliwości.

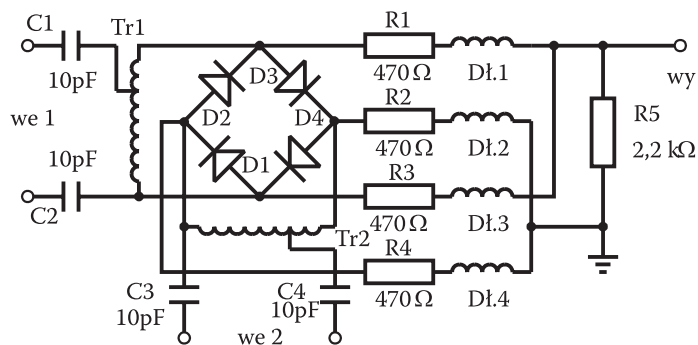
Schemat ideowy symetrycznego detektora fazoczułego dopasowanego poziomem mocy przedstawia rysunek 8.

Schemat ideowy detektora różni się sposobem wyprowadzenia składowej m.cz. Natomiast widok wykonanego praktycznie detektora przedstawia rysunek 9.

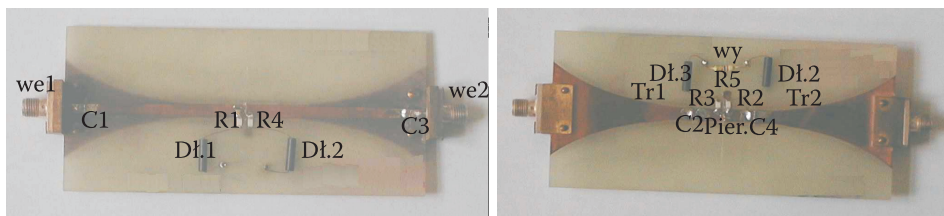
Zależność wejściowych charakterystyk współczynnika odbicia symetrycznego detektora fazoczułego, podobnie jak w przypadku niesymetrycznego detektora fazoczułego, zbadano dla poziomu mocy sygnału z zakresu  $-10$  do  $+10$  dBm. Charakterystyki odbiciowe przedstawia rysunek 10.



Rys. 7. Przebieg napięcia wyjściowego detektora częstotliwości z detektorem fazoczułym dopasowanym wartością mocy dla mocy wyjściowej 0 dBm (czerwony) i +13 dBm (niebieski) dla różnicy długości linii transmisyjnych 21 mm i 42 mm

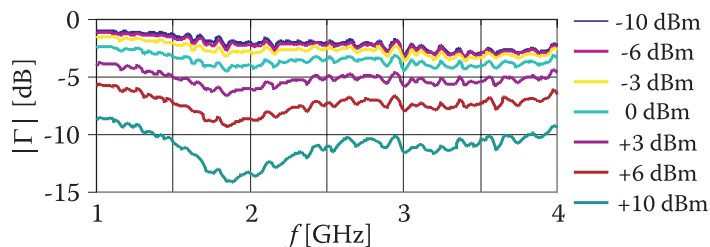


Rys. 8. Schemat ideowy symetrycznego detektora fazoczułego dopasowanego wartością mocy



Rys. 9. Widok symetrycznego detektora fazoczułego dopasowanego wartością mocy

Na rysunku 10 przedstawiony jest przebieg charakterystyki odbiciowej tylko od jednych wrót wejściowych. Ze względu na symetrię układu charakterystyki odbiciowe od wrót I i II mają prawie identyczny przebieg. Wyniki uzyskane w trak-



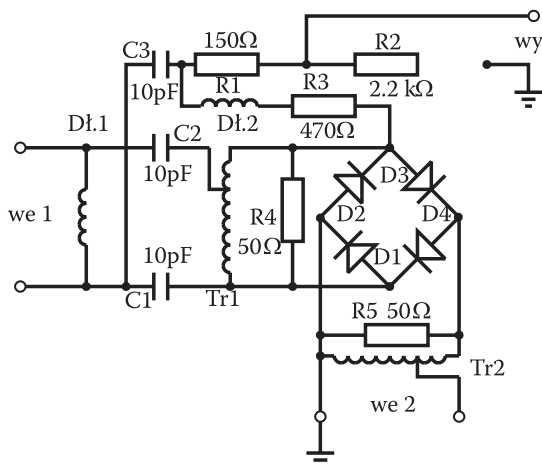
Rys. 10 Przebieg charakterystyki współczynnika odbicia wrót wejściowych I symetrycznego detektora fazoczułego dopasowanego wartością mocy w funkcji częstotliwości i mocy wejściowej

cie pomiarów są gorsze niż w przypadku detektora niesymetrycznego. Poziom dopasowania symetrycznego detektora fazoczułego w paśmie pomiarowym jest nie gorszy niż  $-8$  dB. Polepszenie dopasowania możliwe jest poprzez podniesienie poziomu mocy wejściowej.

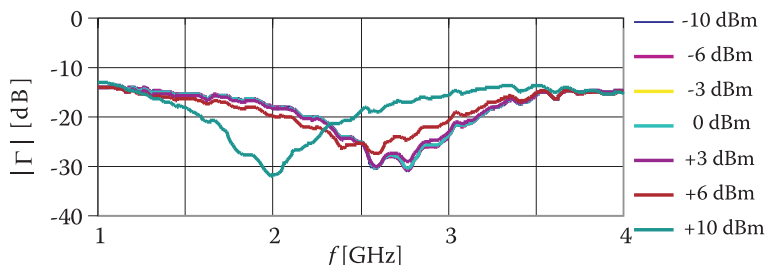
## 2.2. Mikrofalowy detektor fazoczuły z układem dopasowującym

W celu zapewnienia poprawnej pracy detektora fazoczułego przy mniejszych mocach wejściowych wykonana została konstrukcja z układem dopasowującym w postaci rezystorów 50-omowych. Wykonane zostały dwie wersje detektora fazoczułego: symetryczna i niesymetryczna. Schemat ideowy pierścieniowego niesymetrycznego detektora fazoczułego przedstawiony jest na rysunku 11.

Dla tych typów detektorów fazoczułych wykonane zostały pomiary zależności współczynnika odbicia od wrót wejściowych detektora w funkcji częstotliwości. Pomiary zostały przeprowadzone dla mocy wejściowych z zakresu  $-10 \div 10$  dBm. Przedstawione są one na wykresie 12.

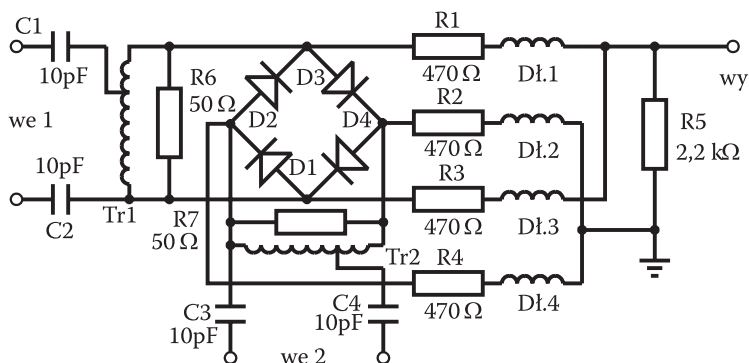


Rys. 11. Schemat ideowy niesymetrycznego detektora fazoczułego z układem dopasowującym



Rys. 12. Przebieg charakterystyki współczynnika odbicia wrót wejściowych i niesymetrycznego detektora fazoczułego z układem dopasowującym w funkcji częstotliwości i mocy wejściowej

Jak wynika z przedstawionych charakterystyk, tylko dla dużych poziomów mocy wejściowej, rzędu +10 dBm, objawia się zależność przebiegu charakterystyki odbiciowej od wrót wejściowych od poziomu mocy wejściowej, ale nie następuje znaczne jej pogorszenie i dopasowanie wrót wejściowych nawet wtedy jest nie gorsze niż -15 dB. Wykonana została także wersja symetrycznego detektora. Schemat ideowy pierścieniowego symetrycznego detektora fazoczułego z układem dopasowującym jest przedstawiony na rysunku 13.

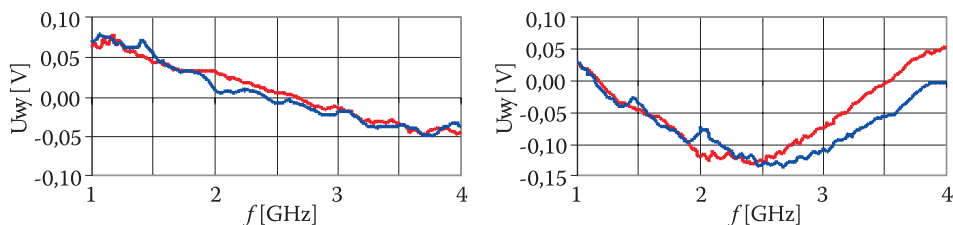


Rys. 13. Schemat ideowy symetrycznego detektora fazoczułego z układem dopasowującym

Podobnie jak w przypadku detektora fazoczułego niesymetrycznego, zależność charakterystyki dopasowania wrót wejściowych od poziomu mocy wejściowej można zaobserwować dopiero przy poziomie rzędu +10 dBm. Przebiegi napięć wyjściowych w funkcji częstotliwości dla mocy wejściowej 0 dBm przedstawiono na rysunku 14.

Detektory fazoczułe zawierające w swojej strukturze układ dopasowujący mogą dostarczyć napięcia wyjściowe o odpowiedniej jakości przy znacznie mniejszej wartości mocy wejściowej.





Rys. 14. Przebieg napięcia wyjściowego detektora częstotliwości z detektorem fazoczułym i układem dopasowującym dla różnicy długości linii transmisyjnych 21 mm i 42 mm (kolor niebieski — symulacja, kolor czerwony — przebieg rzeczywisty)

### 3. Wnioski

Zadanie mikrofalowego dyskryminatora częstotliwości polega na określeniu częstotliwości nieznanego sygnału. Pożądane jest, aby prawidłowy wynik pomiaru otrzymać przy jak najmniejszym poziomie mocy wejściowej. Prawidłowy pomiar może być dokonany w przypadku, kiedy sygnał wyjściowy nie jest zniekształcony i nie występują wielokrotne przejścia przez zero napięć wyjściowych. Ograniczenie czułości dyskryminatora częstotliwości może wynikać z konieczności wytworzenia sygnału o odpowiedniej jakości lub uzyskania odpowiedniej wartości czułości stycznej detektorów częstotliwości.

Układ przetwarzania stawia szczególne wymagania dotyczące monotoniczności przebiegu napięć wyjściowych. Zastosowanie detektorów fazoczułych dopasowanych poziomem mocy wejściowej wymaga doprowadzenia do wejścia dyskryminatora dużej, rzędu  $+10$ ÷ $+20$  dBm, mocy wejściowej. Moc ta jest znacznie większa od poziomu wynikającego z czułości stycznej. Następuje wówczas dopasowanie pierścienia diodowego do pozostałej części detektora fazy i nie występują wówczas wielokrotne przejścia przez zero. Konieczne staje się wówczas zastosowanie wzmacniacza o dużym wzmocnieniu i dużym poziomie mocy wyjściowej, co w pewnych przypadkach może być kłopotliwe.

W przypadku detektorów fazoczułych z układem dopasowującym, poprawny — ze względu na proces przetwarzania — kształt charakterystyki wyjściowej używamy przy znacznie niższym poziomie mocy sygnału wejściowego. Dotyczy to zarówno symetrycznych jak i niesymetrycznych detektorów fazoczułych. Właściwość ta jest ogromną zaletą detektorów fazoczułych z układem tłumiącym i pozwala na uzyskanie lepszej czułości dyskryminatora częstotliwości.

## LITERATURA

- [1] B. STEC, *Analiza charakterystyk fazowych i amplitudowych mikrofalowego dyskryminatora fazy z detektorami pierścieniowymi*, Biul. WAT, 11(423), Warszawa, 1987, 71-76.
- [2] B. STEC, Cz. REĆKO, *Szerokopasmowy mikrofalowy detektor fazy z pierścieniem diodowym*, Biul. WAT, 11(591), Warszawa, 2001, 61-70.
- [3] S. ŁĄCZKOWSKI, B. STEC, Cz. REĆKO, *Mikrofalowe dyskryminatory pierścieniowe*, materiały IX Konferencji Naukowej „Sterowanie i Regulacja w Radiolokacji i Obiektach Latających”, Centrum Szkolenia Radioelektronicznego, tom II, Jelenia Góra, 16-18 czerwca 1998, 183-190.
- [4] A. RUTKOWSKI, Cz. REĆKO, *Metody przetwarzania sygnałów wyjściowych kwadraturowych mikrofalowych dyskryminatorów częstotliwości*, materiały VI Konferencji Naukowej „Sterowanie i Regulacja w Radiolokacji i Obiektach Latających”, Wyższa Oficerska Szkoła Radiotechniczna, tom I, Jelenia Góra, 7-9 czerwca 1995, 99-105.
- [5] A. RUTKOWSKI, *Analiza parametrów mikrofalowych dyskryminatorów fazy i częstotliwości z analogowym i cyfrowym przetwarzaniem napięć wyjściowych*, rozprawa doktorska, WAT, Warszawa, 1990.
- [6] Cz. REĆKO, *Wielooktawowy mikrofalowy dyskryminator częstotliwości z fazoczułymi detektorami pierścieniowymi*, Warszawa, 2004.

B. STEC, Cz. REĆKO, W. SUSEK

#### Selected applications of phase detectors with a diode ring

**Abstract.** Investigation results of a model phase detector based on a diode ring are described in the paper. The two different phase detectors were investigated. In the first system, matching was obtained due to adequate power of the signal delivered into detector input. The second system was equipped with an additional attenuation circuit. Results of comparison of characteristics for both systems are shown.

**Keywords:** phase detector, phase ring detector

**Universal Decimal Classification:** 621.396.96