



Metoda pomiaru błędu detektora fazoczułego z pierścieniem diodowym

BRONISŁAW STEC, CZESŁAW REĆKO

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki, Instytut Radioelektroniki,
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2, bronislaw.stec@wat.edu.pl, czeslaw.recko@wat.edu.pl

Streszczenie. W artykule przedstawiono metodę pomiaru błędu detektora fazoczułego z pierścieniem diodowym. Detektory fazoczułe z pierścieniem diodowym wykorzystywane są do budowy mikrofalowych dyskryminatorów częstotliwości. W publikacji zaprezentowano charakterystyki błędu detektora pierścieniowego wykonanego w Zakładzie Mikrofal.

Słowa kluczowe: mikrofalowy detektor fazoczuły, detektor fazy z pierścieniem diodowym

1. Wstęp

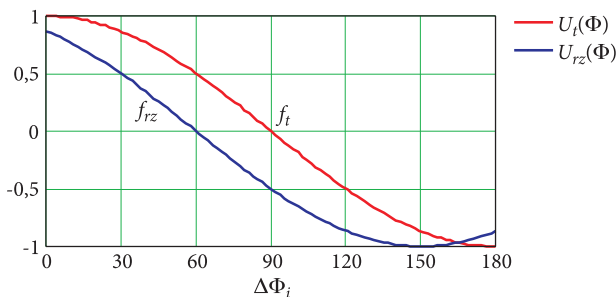
Typowy detektor fazy składa się z dzielnika mocy, trzech sprzęgaczy kwadraturowych, czterech detektorów mikrofalowych oraz wzmacniaczy różnicowych [4, 5]. Zastosowanie pierścieniowego detektora fazoczułego pozwala na uproszczenie konstrukcji detektora [6]. Do budowy detektora fazy potrzebny jest tylko pierścień diodowy i transformator symetryzujący. Wyeliminowane zostają sprzęgacze kwadraturowe, których wykonanie jako szerokopasmowych może być kłopotliwe. Operacja sumowania i odejmowania sygnałów wyjściowych odbywa się w strukturze pierścienia diodowego.

Detektor fazoczuły z pierścieniem diodowym wnosi do układu pewne własne przesunięcie fazy, ściśle związane z jego konstrukcją. Może ono być funkcją różnicy faz sygnałów wejściowych oraz częstotliwości. Zależność opisująca wartość własnego przesunięcia fazy detektora fazoczułego dla stałej wartości różnicy faz sygnałów wejściowych w funkcji częstotliwości nosi nazwę charakterystyki błędu detektora fazoczułego. W przypadku idealnego detektora fazoczułego w całym

zakresie zmian różnicy faz sygnałów wejściowych, dla dowolnego zakresu częstotliwości, ma ona wartość równą zero. Natomiast w przypadku rzeczywistego detektora fazoczułego ma ona określony przebieg, zarówno w funkcji różnicy faz sygnałów wejściowych jak i częstotliwości. Detektory fazoczułe z pierścieniem diodowym wykorzystywane są w układach natychmiastowego pomiaru częstotliwości w strukturach detektorów częstotliwości [1, 2, 3]. Błąd detektora fazoczułego wpływa na dokładność określenia częstotliwości, zarówno przy wykorzystaniu pojedynczego detektora częstotliwości jak i struktury wielokanałowej. Stąd powstała konieczność zdefiniowania błędu oraz określenia metody jego pomiaru.

2. Błąd detektora fazoczułego z pierścieniem diodowym

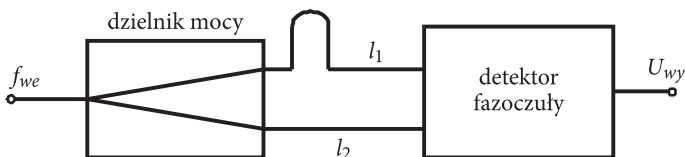
Wpływ dodatkowego przesunięcia fazy [6], wprowadzonego przez detektor fazoczuły z pierścieniem diodowym, przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Przykładowy przebieg napięcia wyjściowego teoretycznego i rzeczywistego detektora częstotliwości

Wykorzystując do budowy detektorów częstotliwości detektory fazoczułe, których charakterystyka wyjściowa opisana jest funkcją cosinus, ważne są dwie różnice faz, dla których wartość napięcia wyjściowego przyjmuje poziom zerowy, tj. 90 i 270 stopni. Wynika stąd, że najbardziej istotne, ze względu na przyjętą metodę przetwarzania, są wartości charakterystyki błędu detektora fazoczułego dla różnicy faz sygnałów wejściowych 90 i 270 stopni. One bowiem decydują o wartości dodatkowego przesunięcia przejść przez zero napięć detektora fazoczułego na osi częstotliwości. Informacje takie zawiera uproszczona charakterystyka błędu detektora fazoczułego. Pod pojęciem uproszczonej charakterystyki błędu detektora fazoczułego należy rozumieć przebieg charakterystyki błędu dla różnicy faz sygnałów wejściowych 90 i 270 stopni, oznaczonych odpowiednio symbolem φ_{D90} i φ_{D270} . Pomiaru charakterystyk można dokonać z pomocą układu przedstawionego na rysunku 2.

Dokładność określenia uproszczonej charakterystyki błędu detektora fazoczułego zależy od ilości punktów pomiarowych. Z kolei ilość punktów pomiarowych



Rys. 2. Schemat układu do badania charakterystyki błędu detektora fazoczułego

uzależniona jest od różnicy długości linii transmisyjnych w układzie pomiarowym. Poprzez zastosowanie linii transmisyjnych o odpowiednio dobranej różnicy długości możemy uzyskać przebieg charakterystyki błędu detektora fazy z wymaganą dokładnością. Zwiększenie ilości punktów pomiarowych następuje w wyniku zwiększenia różnicy długości linii transmisyjnych.

W przypadku zastosowania elementów idealnych napięcie wyjściowe detektora fazoczułego określać będzie wzór:

$$U_{wy} = k \cdot U_{m1} \cdot U_{m2} \cdot \cos(\Phi_1 - \Phi_2) = k \cdot U_{m1} \cdot U_{m2} \cdot \cos\left[\frac{2 \cdot \pi}{\lambda_f} \cdot (l_1 - l_2)\right]. \quad (1)$$

Natomiast w przypadku układu rzeczywistego, połączonego jak na rysunku 3a, możemy zapisać:

$$U_{wy1} = k \cdot U_{m1} \cdot U_{m2} \cdot \cos(\Phi_{r21}) = k \cdot U_{m1} \cdot U_{m2} \cdot \cos\left[\frac{2 \cdot \pi}{\lambda_f} \cdot (l_1 - l_2) + \varphi_D\right], \quad (2)$$

natomiast równanie to dla schematu z rysunku 3b będzie miało postać:

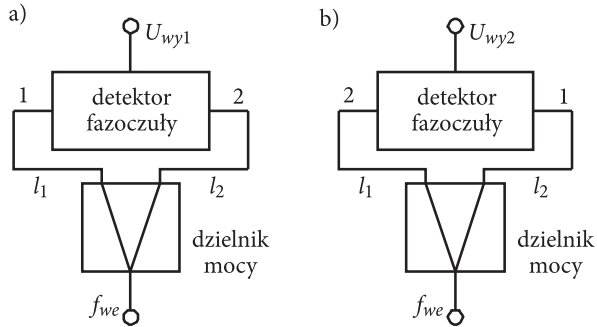
$$U_{wy2} = k \cdot U_{m1} \cdot U_{m2} \cdot \cos(\Phi_{r22}) = k \cdot U_{m1} \cdot U_{m2} \cdot \cos\left[\frac{2 \cdot \pi}{\lambda_f} \cdot (l_1 - l_2) - \varphi_D\right], \quad (3)$$

gdzie φ_D to przesunięcie fazy wnoszone przez detektor fazoczuły.

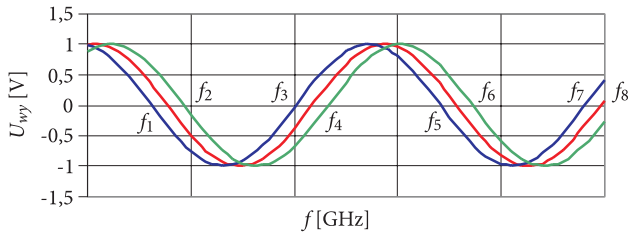
Jak wynika z równań (2) i (3), w pierwszym przypadku przesunięcie fazy wnoszone przez detektor fazoczuły dodaje się do wypadkowej różnicy fazy, a w drugim odejmuje się.

Dla stałej wartości charakterystyki błędu detektora fazoczułego w funkcji różnicy faz sygnałów wejściowych i częstotliwości przebiegi napięć wyjściowych będą miały przebieg jak na rysunku 4.

Kolorem czerwonym zaznaczono przebieg napięcia wyjściowego idealnego detektora fazoczułego, kolorem zielonym detektora rzeczywistego w układzie 3a i niebieskim w układzie 3b. Częstotliwości f_1, f_3, f_5, f_7 oznaczają moment zmiany polaryzacji przebiegu napięcia wyjściowego detektora fazy włączonego



Rys. 3. Układy pomiarowe do pomiaru charakterystyki błędu detektora fazoczułego



Rys. 4. Przykładowe przebiegi napięć wyjściowych detektora częstotliwości dla włączenia detektora fazoczułego według schematu 6a i 6b dla stałej wartości błędu detektora fazoczułego

w układzie 3a, a częstotliwości f_2, f_4, f_6, f_8 moment zmiany polaryzacji napięcia wyjściowego detektora fazoczułego włączonego wg schematu 3b. Po przyjęciu założenia o stałości przebiegu charakterystyki błędu w funkcji różnicy faz sygnałów wejściowych i częstotliwości wartości $f_3 - f_1$ i $f_4 - f_2$ są sobie równe i można wówczas zapisać, że:

$$\Phi_{rz1} - \Phi_{rz2} = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \cdot (l_1 - l_2) + \varphi_D - \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \cdot (l_1 - l_2) + \varphi_D, \quad (4)$$

a po uproszczeniu:

$$\Phi_{rz1} - \Phi_{rz2} = 2 \cdot \varphi_D. \quad (5)$$

Praktycznie, na podstawie momentów przejść przez zero napięć wyjściowych detektora fazoczułego, znajdujemy wartości f_{bl} :

$$f_{bl} = f_2 - f_1 = f_4 - f_3, \quad (6)$$

gdzie: f_1, f_2, f_3, f_4 — częstotliwości, dla których występuje przejście przez zero odpowiednio dla włączenia na rysunkach 6a i 6b;
 f_{bl} — różnica częstotliwości proporcjonalna do wartości φ_D .

Jeżeli wybierzemy punkty zmiany polaryzacji tego samego przebiegu napięcia, odpowiadające zmianie fazy o 2π , wówczas f_{bl} można przeliczyć na stopnie z zależności:

$$\varphi_D = \frac{\pi \cdot f_{bl}}{f_5 - f_1}. \quad (7)$$

Przyjęte zostało założenie, że wartości charakterystyki błędu detektora fazoczułego w wąskim zakresie zmian częstotliwości sygnału wejściowego są stałe dla różnicy faz 90 i 270 stopni, ale ich wartość może być różna. Wartości uproszczonej charakterystyki błędu detektora fazoczułego można obliczyć z zależności:

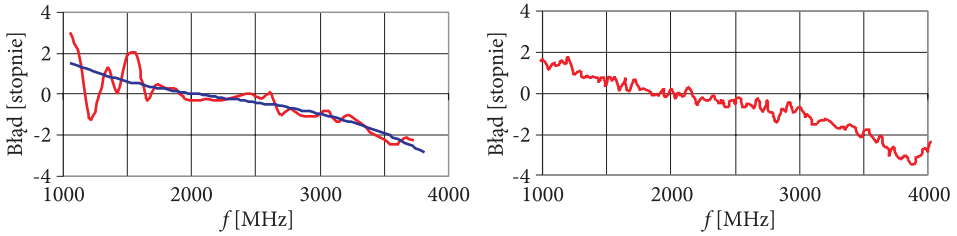
$$\varphi_{D90} = \frac{\pi \cdot (f_2 - f_1)}{f_5 - f_1}, \quad \varphi_{D270} = \frac{\pi \cdot (f_4 - f_3)}{f_7 - f_3}. \quad (8)$$

3. Pomiar charakterystyki błędu detektora fazoczułego

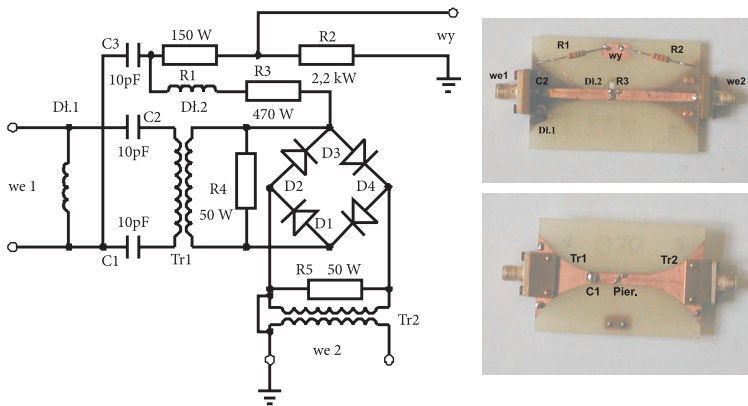
Na wstępie, w celach weryfikacji metody, wykonany został pomiar z wykorzystaniem analizatora wektorowego 8620C oraz własnego układu pomiarowego. Wykonano dwie linie transmisyjne o jednakowej długości elektrycznej. Do jednej z linii transmisyjnych włączono szeregowo pojemności, powodując zwiększenie długości elektrycznej tej linii. Linia bez wprowadzonych zmian w postaci pojemności została wykorzystana jako linia odniesienia. Pomiedzy linię transmisyjną a wejście detektora fazoczułego układu pomiarowego z rysunku 3 włączona została linia odniesienia. Dokonany został pomiar przebiegu napięcia wyjściowego w funkcji częstotliwości i określono częstotliwości przejścia przez zero. Następnie w miejsce linii odniesienia włączono linię z pojemnościami i ponownie określono nowe częstotliwości przejścia przez zero przebiegu napięcia wyjściowego. Na podstawie różnicy częstotliwości przejścia przez zero dla układu z linią odniesienia i linii z pojemnościami określono przebieg różnicowej charakterystyki fazowej. Podobny pomiar został przeprowadzony przy pomocy analizatora wektorowego. Kalibracja analizatora przy pomiarze charakterystyki fazowej została wykonana z dołączoną linią odniesienia. Następnie linia odniesienia została zastąpiona linią z pojemnościami. W efekcie uzyskano także przebieg różnicowej charakterystyki fazowej obu linii. Otrzymane charakterystyki przedstawione są na rysunku 5.

Otrzymane charakterystyki mają zbieżny kształt, a przyczyną wahań charakterystyki otrzymanej w wyniku pomiaru układem własnym są odbicia w strukturze pomiarowej.

W układzie pomiarowym z rysunku 3 zostały pomierzone charakterystyki błędu detektora fazoczułego, którego schemat ideowy i widok przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 5. Przebieg różnicowej charakterystyki fazowej dwu linii transmisyjnych otrzymanych w wyniku eksperymentu (kolorem niebieskim zaznaczono przebieg aproksymujący) i przy pomocy analizatora wektorowego

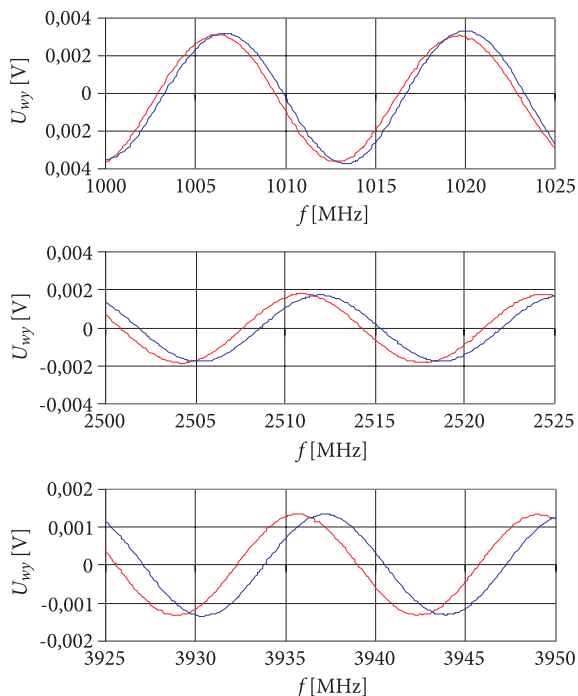


Rys. 6. Schemat ideowy i widok detektora fazoczułego z układem dopasowującym

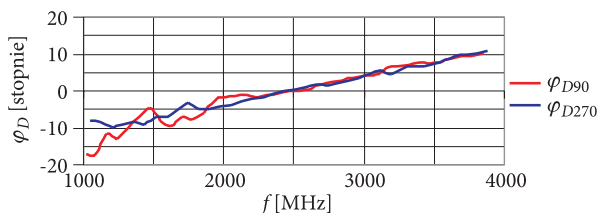
Na rysunku 7 przedstawiono przebiegi napięć wyjściowych detektora dla włączenia detektora zgodnego z rysunkiem 3a i 3b.

Natomiast obliczone charakterystyki błędu detektora fazoczułego przedstawione są na rysunku 8.

Kolorem niebieskim zaznaczono przebieg charakterystyki błędu detektora fazoczułego dla różnicy faz sygnałów wejściowych 90 stopni, a kolorem czerwonym przebieg charakterystyki błędu detektora fazoczułego dla różnicy faz sygnałów wejściowych 270 stopni.



Rys. 7. Przebieg napięć wyjściowych dla symetrycznego detektora fazoczułego z układem dopasującym dla częstotliwości z początku, środka i końca zakresu pracy dla obu kierunków włączenia detektora fazoczułego



Rys. 8. Przebieg charakterystyki błędu detektora fazoczułego

4. Wnioski

W przypadku detektora fazoczułego z układem dopasującym przebieg charakterystyki błędu w funkcji częstotliwości wynika ze sposobu i precyzji montażu elementów oraz dokładności i symetrii wykonania płytki detektora. Niedokładność wykonania obwodu powoduje wprowadzenie dodatkowego odcinka linii transmisyjnej. Umieszczenie pojemności separujących składową stałą tylko po jednej stronie układu powoduje wprowadzenie dodatkowego odcinka linii o długości l_c i przenikalności ϵ_c . Natomiast przyczyną zafalowania przebiegu charakterystyki błędu

detektora fazoczułego w funkcji częstotliwości są odbicia występujące w strukturze detektora fazoczułego.

Należy zauważyć, że w przypadku badanego detektora fazoczułego w początkowym zakresie pasma pracy charakterystyki błędu dla 90 i 270 stopni są różne. W konsekwencji przy próbie ich kompensacji za pomocą odcinka linii transmisyjnej otrzymamy dwie różne wartości odcinka kompensującego.

Artykuł wpłynął do redakcji 8.11.2011 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w marcu 2012 r.

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, t. 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, t. 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 pierścieniowym*, rozprawa doktorska, WAT, Warszawa, 2004.

B. STEC, C. REĆKO

Measurement method of a phase-sensitive ring-diode detector error

Abstract. The measurement method of the phase-sensitive ring-diode detector error has been presented in the paper. Phase-sensitive ring-diode detectors are used in microwave frequency discriminator constructions. The error characteristics of the ring-diode detector made in Microwave Division have been presented.

Keywords: microwave phase-sensitive detector, phase detector with diode ring