

doi:10.15199/48.2015.03.20

## Kwadraturowy detektor częstotliwości z pierścieniem diodowym

**Streszczenie.** W artykule przedstawiona została budowa i zasada działania kwadraturowego detektora częstotliwości. Detektor został zbudowany w oparciu o pierścienie diodowe. Detektor kwadraturowy wykorzystany jest jako element układu natychmiastowego pomiaru częstotliwości. Do określenia częstotliwości wykorzystano metodę detekcji przejść przez zero. Strukturę układu pomiaru częstotliwości tworzą trzy kanały pomiarowe. Wyniki pomiarów, w postaci charakterystyk napięcia wyjściowego w funkcji częstotliwości, zostały zaprezentowane w artykule.

**Abstract.** The construction and working principle of the quadrature frequency detector have been presented in the paper. The detector was built basing on diode ring. Quadrature detector is the part of the instantaneous frequency measurement system. The passing by zero level detection method for the frequency detection has been used in the system. The overall system consist of three measurement channels. The measurement results, as output voltage changes in function of frequency characteristics have been presented in the paper. (**Quadrature frequency detector with diode ring**).

**Słowa kluczowe:** detektor częstotliwości, pierścień diodowy, detektor pierścieniowy .

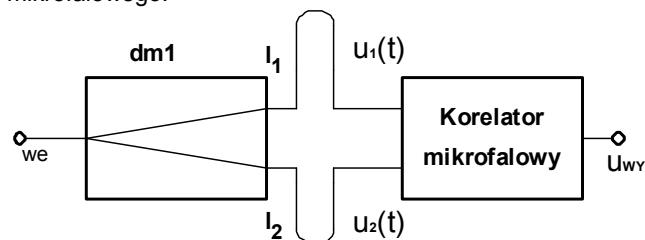
**Keywords:** frequency detector, diode ring, ring detector.

### Wstęp

Otoczająca nas przestrzeń zawiera coraz większą liczbę sygnałów mikrofalowych. Stąd istnieje konieczność, nawet w dziedzinach cywilnych, monitorowania emisji, poprzez określenie podstawowych parametrów sygnałów oraz określenie miejsca położenia emiterów. Podstawowe parametry sygnału to między innymi częstotliwość, czas trwania impulsu, częstotliwość powtarzania, rodzaj modulacji. Powoduje to wzrost zapotrzebowania na urządzenia pomiarowe do monitorowania emisji w otaczającej nas przestrzeni. Urządzenie tego typu jest zazwyczaj złożonym systemem. Rolę elementu określającego częstotliwość może pełnić mikrofalowy detektor częstotliwości MDCz. Charakteryzuje się on prostą budową i możliwością pomiaru częstotliwości nawet stosunkowo krótkich emisji, rzędu setek nanosekund.

### Mikrofalowy detektor częstotliwości

Struktura mikrofalowego detektora częstotliwości przedstawiona jest na rysunku 1 [3]. Zbudowany jest z dzielnika mocy, linii opóźniających oraz korelatora mikrofalowego.



Rys.1. Struktura mikrofalowego detektora częstotliwości

Sygnał wejściowy, przy pomocy dzielnika mocy, jest rozdzielony na dwie części. Opóźnienie  $\tau$ , wynikające z różnicy dróg  $\Delta l$ , jest określone zależnością:

$$(1) \quad \tau = \frac{\Delta l \cdot \sqrt{\epsilon_r}}{c}$$

gdzie:  $\Delta l$  – różnica długości linii transmisyjnych  $l_2$  i  $l_1$ ,  $\epsilon_r$  – przenikalność dielektryka wypełniającego linie  $l_1$  i  $l_2$ ,  $c$  – prędkość światła,  $\tau$  – opóźnienie przebiegu  $u_2$  względem  $u_1$

Zakładamy, że na wejście mikrofalowego detektora częstotliwości podany zostanie sygnał monoharmoniczny. Po uwzględnieniu struktury składającej się z dzielnika i linii opóźniającej na wejściu korelatora mikrofalowego pojawiają się dwa sygnały. Przebiegi będą miały tę samą

częstotliwość, ale pomiędzy nimi wystąpi przesunięcie czasowe o wartości  $t$ . Opisane są zależnościami:

$$(2) \quad u_1(t) = A \cdot \sin(\omega t)$$

$$(3) \quad u_2(t) = u_1(t + \tau) = A \cdot \sin[\omega(t + \tau)]$$

Korelator mikrofalowy oblicza funkcję autokorelacji  $R_{xx}(\tau)$  z zależności:

$$(4) \quad R_{xx}(\tau) = E[u_1(t) \cdot u_2(t)] = E[u_1(t) \cdot u_1(t + \tau)]$$

Dla przebiegów monoharmonicznych zależność (4) przyjmie postać:

$$(5) \quad R_{xx}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T u_1(t) \cdot u_1(t + \tau) dt$$

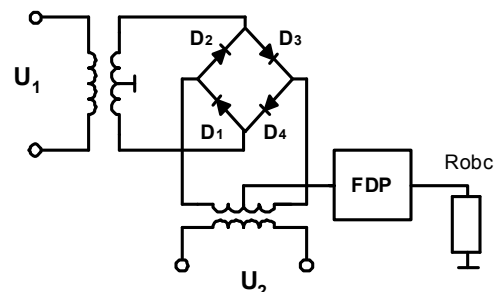
Po przeprowadzeniu operacji całkowania i uproszczeniu wartość funkcji autokorelacji ma postać:

$$(6) \quad R_{xx}(\tau) = \frac{A^2}{2} \cos(\omega\tau)$$

Dla stałej wartości opóźnienia  $\tau$  napięcie wyjściowe korelatora mikrofalowego będzie funkcją częstotliwości sygnału wejściowego:

$$(7) \quad u_{wy} = \frac{A^2}{2} \cdot \cos(kf)$$

gdzie:  $k = 2\pi\tau$

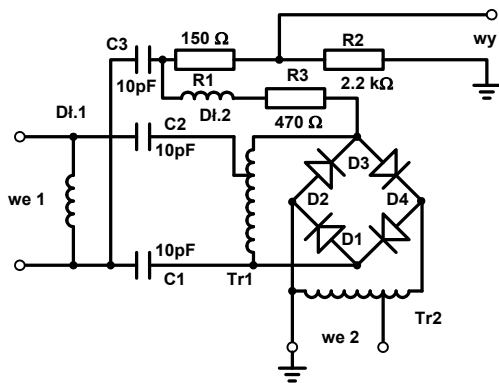


Rys.2 Struktura korelatora mikrofalowego z pierścieniem diodowym

Wartość opóźnienia  $\tau$  determinuje zakres jednoznacznego odczytu częstotliwości. Podstawowym elementem korelatora mikrofalowego jest pierścień diodowy. Jego struktura wewnętrzna przedstawiona jest na

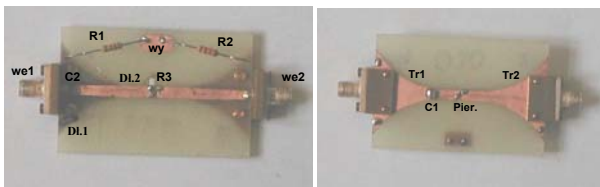
rysunku 2 [1,2]. Układ składa się z dwóch transformatorów symetryzujących oraz pierścienia diodowego.

Wartość napięcia wyjściowego opisuje zależność (6). Schemat praktycznie wykonanego korelatora mikrofalowego przedstawiony jest na rysunku 3.



Rys. 3 Schemat ideowy korelatora mikrofalowego

Natomiast widok układu korelatora mikrofalowego przedstawia rysunek 4.



Rys. 4 Widok korelatora mikrofalowego

Korelator został wykonany w technice niesymetrycznej linii paskowej.

### Kwadraturowy detektor częstotliwości z kanałami zależnymi

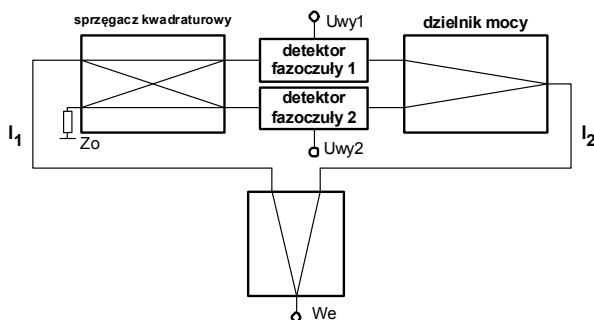
Budowa detektora częstotliwości przedstawiona jest na rysunku 5. Składa się on z dwóch dzielników, sprzęgacza kwadraturowego i dwóch korelatorów mikrofalowych.

Napięcia wyjściowe kwadraturowego detektora częstotliwości opisane są zależnościami:

$$(8) \quad U_{wy1} = \frac{A^2}{2} \cdot \cos(k_1 f)$$

$$(9) \quad U_{wy2} = \frac{A^2}{2} \cdot \cos(k_1 f - \frac{\pi}{2})$$

gdzie:  $k = 2\pi$



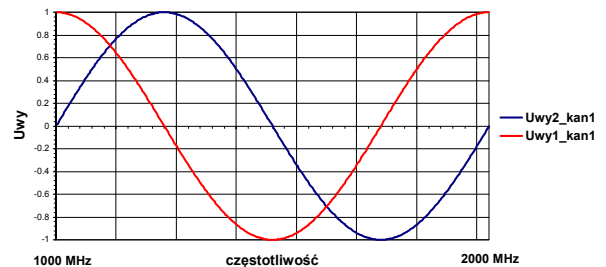
Rys.5 Struktura wewnętrzna kwadraturowego detektora częstotliwości z kanałami zależnymi

Układ został zaprojektowany do pracy w paśmie 1-2 GHz.



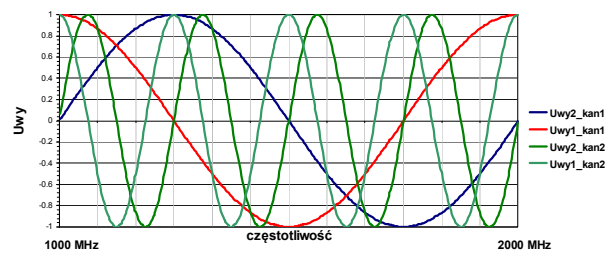
Rys.6 Budowa kwadraturowego detektora częstotliwości na pasmo 1-2 GHz

Pomiar częstotliwości dokonywany jest metodą detekcji przejść przez zero, wyjaśnioną na rysunku 7.



Rys.7 Określanie częstotliwości metodą detekcji przejść przez zero

Paśmo pomiarowe zostaje podzielone na cztery podpasma. Granice podpasm wyznaczają przejścia przez zero przebiegów sinus i cosinus a pasmo pomiarowe podzielone zostaje na cztery podpasma. Jednakże taki pomiar nie jest zbyt dokładny – pozwala nam określić częstotliwość z dokładnością do podpasma. Podniesienie dokładności określenia częstotliwości możliwe jest poprzez zastosowanie drugiego kanału, zawierającego linie transmisyjne o różnicy długości czterokrotnie większej niż kanału podstawowego (pierwszego).



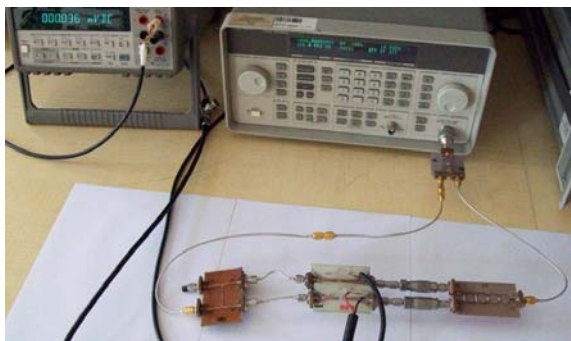
Rys.8 Podniesienie dokładności określenia częstotliwości metodą detekcji przejść przez zero poprzez zastosowanie dodatkowego kanału

Zastosowanie drugiego kanału pozwala na podzielenie każdego podpasma z kanału pierwszego na kolejne cztery podpasma. Biorąc pod uwagę napięcia wyjściowe kanału pierwszego i drugiego pasmo pomiarowe podzielone zostaje na 16 podpasm. Dalsze podniesienie dokładności możliwe jest poprzez zastosowanie następnego kanału. Jedno z ograniczeń ilości wykorzystanych kanałów wiąże się z różnicą długości linii transmisyjnych i czasem trwania impulsu pomiarowego. W przypadku zbyt dużej różnicy długości linii transmisyjnych i krótkiego czasu trwania impulsu nie wystąpi koincydencja sygnałów na wejściach korelatora.

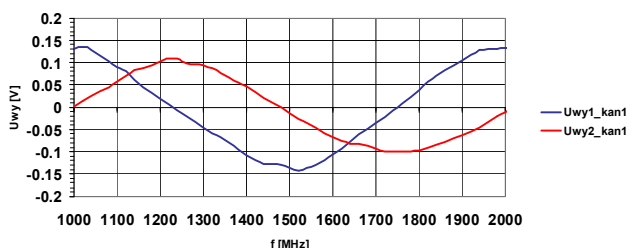
### Wyniki pomiarów i symulacji

Widok stanowiska pomiarowego przedstawiony jest na rysunku 9.

Pomiary kanału pierwszego przeprowadzono dla poziomu mocy wejściowej 10 dBm. Różnica długości linii transmisyjnych wynosiła 210 mm a przebiegi napięć wyjściowych przedstawiono na rysunku 10.

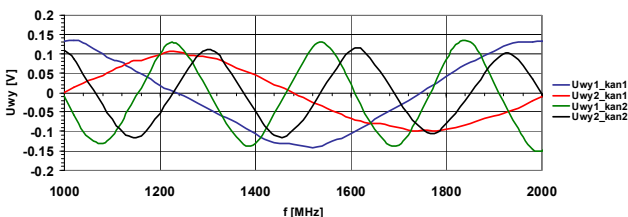


Rys.9 Stanowisko do badania detektora częstotliwości

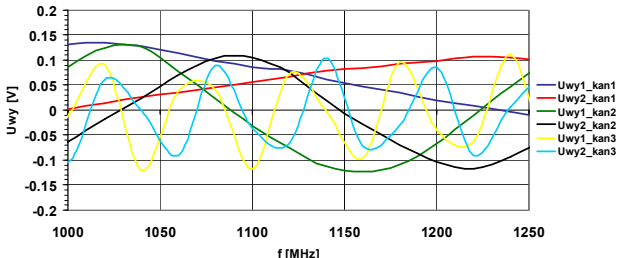


Rys.10 Przebiegi napięć wyjściowych kanału pierwszego i drugiego

Kanał drugi zawiera linie transmisyjne dające różnicę długości 960 mm. Przebiegi napięć wyjściowych przedstawia rysunek 11.



Rys.11 Przebiegi napięć wyjściowych kanału pierwszego i drugiego



Rys. 12 Przebiegi napięć wyjściowych trzech kanałów w wybranym paśmie częstotliwości

W celu podniesienia dokładności układu pomiarowego zastosowano także kanał trzeci. Linie pomiarowe są tak dobrane aby pasmo pomiarowe podzielić na 64 podpasma. Różnica długości linii transmisyjnych wynosi 4010 mm. Rysunek 12 przedstawia przebiegi napięć wyjściowych trzech kanałów w wybranym zakresie częstotliwości.

W przypadku idealnych przebiegów występują na osi częstotliwości miejsca, gdzie dwa lub więcej przebiegów powinno przecinać oś odciętych. W praktyce, ze względu właściwości układu, przecięcia osi częstotliwości przez dany przebieg mogą ulec przesunięciu, co prowadzi do powstania niejednoznaczności określenia częstotliwości.

## Wnioski

Układy pomiarowe, wykorzystujące do pomiaru częstotliwości kwadraturowe detektory częstotliwości, charakteryzują się dużą szybkością pracy. Ich zaletą jest możliwość pomiaru emisji o bardzo krótkim czasie trwania oraz niski koszt wykonania układu. Dokładność określenia częstotliwości zależy od liczby kanałów pomiarowych. Konsekwencją zwiększania liczby kanałów jest możliwość powstania niejednoznaczności określenia częstotliwości. Rozwiązaniem jest stosowanie mniejszej liczby kanałów z dodatkowym algorytmem przetwarzania lub zastosowanie algorytmów pracy, umożliwiających usunięcie niejednoznaczności przy większej liczbie kanałów.

## LITERATURA

1. Stec B. Analiza charakterystyk fazowych i amplitudowych mikrofalowego dyskryminatora fazy z detektorami pierścieniowymi, Biuletyn WAT nr 11, Warszawa, 1987,
2. Rećko C., Stec B. Broadband microwave phase detector with diode ring, XIII International Microwave Conference, Wrocław, 2000,
3. Rećko C. Wielooktawowy mikrofalowy dyskryminator częstotliwości z fazoczułymi detektorami pierścieniowymi, rozprawa doktorska, Warszawa, 2004.

**Autorzy:** prof. dr hab. inż. Bronisław Stec, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Radioelektroniki Wydziału Elektroniki, ul. gen. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: [bstec@wat.edu.pl](mailto:bstec@wat.edu.pl), dr inż. Czesław Rećko, Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Radioelektroniki Wydziału Elektroniki, ul. gen. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, E-mail: [crecko@wat.edu.pl](mailto:crecko@wat.edu.pl).