



Patent dodatkowy
do patentu _____

Zgłoszono: 15.IX.1967 (P 122 612)

Pierwszeństwo: _____

Opublikowano: 15.VII.1969

Kl. 21 a⁴, 48/62

MKP G 01 s , 9/00

UKD

Współtwórcy wynalazku: mgr inż. Jerzy Skrzela, mgr inż. Ryszard Krajewski, mgr inż. Jan Stolz

Właściciel patentu: Politechnika Gdańska (Katedra Elektrotechniki Morskiej) Gdańsk (Polska)

Sposób radioelektrycznego pomiaru odległości pomiędzy dwoma punktami przestrzeni

1

Przedmiotem wynalazku jest sposób radioelektrycznego pomiaru odległości pomiędzy dwoma punktami przestrzeni, w których znajdują się urządzenia nadawczo-odbiorcze współpracujące ze sobą, poprzez pomiar opóźnienia fazy fali elektromagnetycznej przebywającej mierzoną odległość.

Znane sposoby radioelektrycznego pomiaru odległości pomiędzy dwoma punktami przestrzeni, w których znajdują się urządzenia nadawczo-odbiorcze współpracujące ze sobą polegają na pomiarze opóźnienia fazy fal elektromagnetycznych przebywających mierzoną odległość od nadawczo-odbiorczego urządzenia odniesienia do nadawczo-odbiorczego urządzenia odzewowego i z powrotem. Nadajnik urządzenia odniesienia emituje ciągły sygnał o częstotliwości radiowej.

Sygnał ten zostaje odebrany przez urządzenie odzewowe, a częstotliwość odebrana zostaje tam powielona lub podzielona. Sygnał o częstotliwości wynikowej zwiększonej o częstotliwość akustyczną jest emitowany przez nadajnik urządzenia odzewowego. Dodana częstotliwość akustyczna zostaje przesłana do urządzenia odniesienia innym kanałem łączności. Odbiornik urządzenia odniesienia odbiera ten sygnał i zdudnia z sygnałem nadawanym przez nadajnik odniesienia powielonym lub podzielonym taką samą ilość razy jak w urządzeniu odzewowym, a sygnał zdudniony poddaje detekcji.

Różnica faz pomiędzy sygnałem będącym wynikiem detekcji, a sygnałem o częstotliwości aku-

2

stycznej przesłanym z urządzenia odzewowego jest mierzona, a wynik pomiaru fazy jest wprost proporcjonalny do odległości pomiędzy punktami przestrzeni. Krotność podziału lub powielania jest niewielka, co powoduje ograniczenie swobody wyboru pasma częstotliwości pracy. Częstotliwość pracy urządzenia odniesienia i odzewowego różnią się kilkakrotnie, a więc prędkość propagacji fal elektromagnetycznych i warunki propagacji fal pochodzących z urządzeń nadawczo-odbiorczych są różne. Podstawową jednak wadą jest trudność zbudowania urządzenia pracującego według stosowanego sposobu, gdyż wymagana jest duża stabilność przesunięcia fazy w torach nadawania i odbioru urządzeń nadawczo-odbiorczych.

Celem wynalazku jest stworzenie sposobu dokładnego pomiaru odległości pomiędzy dwoma punktami przestrzeni zwłaszcza dla potrzeb nawigacji i hydrografii.

Cel ten został osiągnięty przez jednoczesne emitowanie dwu częstotliwości w każdym z punktów między którymi jest mierzona odległość i mierzenie przesunięcia fazy fal elektromagnetycznych przebywających odległość między punktami, przy czym w każdym z urządzeń nadawczo-odbiorczych zainstalowanych w punktach między którymi mierzona jest odległość, częstotliwości nadawane z danego urządzenia są przenoszone poprzez mieszanie w tym urządzeniu w pasmo częstotliwości odbiera-

nych przez to urządzenie, a częstotliwości mieszające w obydwu urządzeniach są koherentne.

Częstotliwości odbierane wraz z częstotliwościami będącymi produktem mieszania są w każdym urządzeniu nadawczo-odbiorczym parami zdudnianie, wspólnie wzmacniane i poddawane detekcji. W jednym z urządzeń nadawczo-odbiorczych, zwanym urządzeniem odzewowym podstraja się tak częstotliwości nadawane przez to urządzenie, aby fazy sygnałów będących wynikiem zdudniania i detekcji były sobie równe. W drugim urządzeniu nadawczo-odbiorczym, zwanym urządzeniem odniesienia mierzy się różnicę faz sygnałów będących wynikiem zdudniania i detekcji.

Cel osiągnąć można także poprzez przenoszenie w każdym urządzeniu częstotliwości odbieranych w pasmo częstotliwości nadawanych przez to urządzenie i wspólne wzmacnianie w nadajniku, lub przenoszenie częstotliwości nadawanych i odbieranych w pasmo wspólne i wzmacnianie sygnałów będących produktem mieszania w odbiorniku.

Wynalazek zostanie bliżej objaśniony na przykładzie wykonania, przedstawionym na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat blokowy urządzenia odniesienia a fig. 2 schemat blokowy urządzenia odzewowego.

Generatory urządzenia odniesienia 1 i 2 sterują wzmacniacz mocy 3, który przez duplekser 4 jest połączony z anteną nadawczo-odbiorczą 5 emitującą dwa sygnały o fazach:

$$\begin{aligned}\Phi_1 &= 2\pi f_1 t + \varphi_1 \\ \Phi_2 &= 2\pi f_2 t + \varphi_2\end{aligned}\quad f_1 < f_2$$

gdzie Φ_1 jest fazą jednego sygnału, Φ_2 fazą drugiego sygnału, φ_1 , φ_2 fazami początkowymi sygnałów, t jest czasem, a f_1 i f_2 częstotliwościami sygnałów z generatorów 1 i 2.

W urządzeniu odzewowym fala elektromagnetyczna przychodząca z urządzenia odniesienia indukuje w antenie 6 sygnały, których fazy φ_3 , φ_4 są opóźnione w stosunku do faz Φ_1 , Φ_2 sygnałów nadawanych przez urządzenie odniesienia o wielkości proporcjonalne do mierzonej odległości D pomiędzy urządzeniami. Fazy Φ_3 i Φ_4 wynoszą:

$$\begin{aligned}\Phi_3 &= 2\pi f_1 t + \varphi_1 - 2\pi f_1 \frac{D}{C} \\ \Phi_4 &= 2\pi f_2 t + \varphi_2 - 2\pi f_2 \frac{D}{C}\end{aligned}$$

gdzie C jest prędkością propagacji fali elektromagnetycznej.

Wytworzony w antenie 6 sygnał poprzez duplekser 7 steruje odbiornik 8.

Generatory 9 i 10 sterujące wzmacniacz mocy 11 wytwarzają przez antenę 6 pole elektromagnetyczne o fazach:

$$\begin{aligned}\Phi_5 &= 2\pi f_3 t + \varphi_3 \\ \Phi_6 &= 2\pi f_4 t + \varphi_4\end{aligned}\quad f_1 < f_2 < f_3 < f_4$$

gdzie f_3 , f_4 są częstotliwościami sygnałów z generatorów 9 i 10, a φ_3 i φ_4 fazami początkowymi tych sygnałów.

Sygnały wytwarzające pole o fazach Φ_5 i Φ_6 lub sygnały wytwarzane przez to pole w pomocniczej antenie 19 zostają zmieszane w mieszaczu 12 z sygnałem mieszającym o fazie:

$$\Phi_7 = 2\pi f_5 t + \varphi_5$$

gdzie f_5 jest częstotliwością mieszającą spełniającą warunek:

$$f_5 = \frac{f_3 + f_4}{2} - \frac{f_1 + f_2}{2}$$

a φ_5 fazą początkową sygnału mieszającego w urządzeniu odzewowym.

Jako produkt mieszania otrzymuje się sygnały o fazach:

$$\Phi_8 = \Phi_5 - \Phi_7 = 2\pi(f_3 - f_5)t + \varphi_3 - \varphi_5$$

$$\Phi_9 = \Phi_6 - \Phi_7 = 2\pi(f_4 - f_5)t + \varphi_4 - \varphi_5$$

Sygnały będące produktem mieszania o fazach Φ_8 i Φ_9 oraz sygnały odbierane o fazach Φ_3 i Φ_4 są sumowane ze sobą bądź w antenie bądź w innym miejscu przed podaniem na odbiornik 8. W torach wzmacniania odbiornika 8 ich suma zostaje rozdzielona w ten sposób, że sygnały o dwóch niższych częstotliwościach tworzą jedną parę sygnałów a o dwóch wyższych częstotliwościach tworzą drugą parę, co można zapisać:

$$\begin{cases} \Phi_3 = 2\pi f_1 t + \varphi_1 - 2\pi f_1 \frac{D}{C} \\ \Phi_8 = 2\pi(f_3 - f_5)t + \varphi_3 - \varphi_5 \\ \Phi_9 = 2\pi(f_4 - f_5)t + \varphi_4 - \varphi_5 \\ \Phi_4 = 2\pi f_2 t + \varphi_2 - 2\pi f_2 \frac{D}{C} \end{cases}$$

Fazy sygnałów wyjściowych odbiornika 8 φ_{10} i Φ_{11} będące wynikiem zdudniania i detekcji napieć każdej z par wynoszą:

$$\begin{aligned}\Phi_{10} &= 2\pi(f_3 - f_5 - f_1)t + \varphi_3 - \varphi_5 - \varphi_1 + 2\pi f_1 \frac{D}{C} \\ \Phi_{11} &= 2\pi(f_2 - f_4 + f_5)t + \varphi_2 - \varphi_4 + \varphi_5 - 2\pi f_2 \frac{D}{C}\end{aligned}$$

Faza sygnałów generatorów 9 i 10 jest sterowana z odbiornika 8 poprzez synchronizatory fazy 13 i 14 w ten sposób, aby fazy sygnałów wyjściowych odbiornika 8 Φ_{10} , Φ_{11} były równe fazie sygnału generatora 15. A więc:

$$2\pi(f_3 - f_5 - f_1)t + \varphi_3 - \varphi_5 - \varphi_1 + 2\pi f_1 \frac{D}{C} = 2\pi f_6 t + \varphi_6$$

$$2\pi(f_2 - f_4 + f_5)t + \varphi_2 - \varphi_4 + \varphi_5 - 2\pi f_2 \frac{D}{C} = 2\pi f_6 t + \varphi_6$$

$$f_6 < \frac{t_2 - t_1}{2}$$

gdzie f_6 jest częstotliwością generatora 15, a φ_6 fazą początkową sygnału tego generatora.

Sprężenie zwrotne przez człony 9, 10, 11, 7, 8, 13 i 14 określa tym samym częstotliwość i fazę

emitowanych przez antenę 6 fal elektromagnetycznych w sposób następujący:

$$f_3 = f_1 + f_5 + f_6 \quad \varphi_3 = \varphi_6 + \varphi_5 + \varphi_1 - 2\pi f_1 \frac{D}{C}$$

$$f_4 = f_2 + f_5 - f_6 \quad \varphi_4 = \varphi_5 - \varphi_6 + \varphi_2 - 2\pi f_2 \frac{D}{C}$$

$$\Phi_5 = 2\pi(f_1 + f_5 + f_6)t + \varphi_5 + \varphi_6 + \varphi_1 - 2\pi f_1 \frac{D}{C}$$

$$\Phi_6 = 2\pi(f_2 + f_5 + f_6)t + \varphi_5 + \varphi_6 + \varphi_2 - 2\pi f_2 \frac{D}{C}$$

W urządzeniu odniesienia fala elektromagnetyczna przychodząca z urządzenia odzewowego indukuje w antenie 5 sygnały których fazy Φ_{12} i Φ_{13} są opóźnione w stosunku do fazy Φ_5 i Φ_6 sygnałów wysyłanych przez urządzenie odzewowe o wielkości proporcjonalne do mierzonej odległości D. Fazy Φ_{12} i Φ_{13} wynoszą:

$$\Phi_{12} = 2\pi(f_1 + f_5 + f_6)t + \varphi_5 + \varphi_6 + \varphi_1 - 2\pi f_1 \frac{D}{C}$$

$$- 2\pi(f_1 + f_5 + f_6) \frac{D}{C}$$

$$\Phi_{13} = 2\pi(f_2 + f_5 + f_6)t + \varphi_5 - \varphi_6 + \varphi_2 - 2\pi f_2 \frac{D}{C}$$

$$- 2\pi(f_2 + f_5 - f_6) \frac{D}{C}$$

Wytworzony w antenie 5 sygnał poprzez duplexer 4 steruje odbiornik 16.

Sygnały wytwarzające pole o fazach Φ_1 i Φ_2 lub sygnały wytwarzane przez to pole w antenie pomocniczej 20 zostają zmieszane w mieszaczu 17 z sygnałem mieszającym o fazie:

$$\Phi_{14} = 2\pi f_5 t + \varphi_7$$

gdzie φ_7 jest fazą początkową sygnału mieszającego.

Jako produkt mieszania otrzymuje się sygnały o fazach:

$$\Phi_{15} = \Phi_1 + \Phi_{14} = 2\pi(f_1 + f_5)t + \varphi_1 + \varphi_7$$

$$\Phi_{16} = \Phi_2 + \Phi_{14} = 2\pi(f_2 + f_5)t + \varphi_2 + \varphi_7$$

Sygnały będące produktem mieszania o fazach Φ_{15} i Φ_{16} oraz sygnały odbierane o fazach Φ_{12} i Φ_{13} są sumowane ze sobą bądź w antenie, bądź w innym miejscu przed podaniem na odbiornik 16, gdzie w torach wzmacniania ich suma zostaje rozdzielona w ten sposób, że sygnały o dwóch niższych częstotliwościach tworzą jedną parę sygnałów i o dwóch wyższych częstotliwościach tworzą drugą parę, co można zapisać:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi_{15} = 2\pi(f_1 + f_5)t + \varphi_1 + \varphi_7 \\ \Phi_{12} = 2\pi(f_1 + f_5 + f_6)t + \varphi_5 + \varphi_6 + \varphi_1 - 2\pi f_1 \frac{D}{C} \\ - 2\pi(f_1 + f_5 + f_6) \frac{D}{C} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi_{13} = 2\pi(f_2 + f_5 + f_6)t + \varphi_5 - \varphi_6 + \varphi_2 - 2\pi f_2 \frac{D}{C} \\ - 2\pi(f_2 + f_5 - f_6) \frac{D}{C} \\ \Phi_{16} = 2\pi(f_2 + f_5)t + \varphi_2 + \varphi_7 \end{array} \right.$$

Sygnały wyjściowe odbiornika 16 są wynikiem zdudnienia i detekcji sygnałów każdej z par i posiadają fazę:

$$\Phi_{17} = \Phi_{12} - \Phi_{15} = 2\pi f_6 t + \varphi_5 + \varphi_6 - \varphi_7 - 2\pi f_1 \frac{D}{C} - 2\pi(f_1 + f_5 + f_6) \frac{D}{C}$$

$$\Phi_{18} = \Phi_{16} - \Phi_{13} = 2\pi f_6 t + \varphi_7 - \varphi_5 + \varphi_6 + 2\pi f_2 \frac{D}{C} + 2\pi(f_2 + f_5 - f_6) \frac{D}{C}$$

Fazomierz 18 załączony na wyjście odbiornika 16 mierzy różnicę faz Φ_{19} :

$$\Phi_{19} = \Phi_{18} - \Phi_{17} = 2(\varphi_7 - \varphi_5) + 4\pi \frac{D}{C} (f_1 + f_2 + f_5)$$

Jeżeli różnica fazy ($\varphi_7 - \varphi_5$) nie będzie wartością przypadkową, lecz będzie stałą lub zależną od odległości D, to faza Φ_{19} będzie określona funkcją tej odległości. Warunek ten wymaga koherencji sygnałów mieszających w obydwu urządzeniach. Wobec tego, że generatory sygnałów mieszających znajdują się w oddalonych od siebie miejscach koherencję można uzyskać przesyłając informację o fazie jednego sygnału mieszającego do drugiego urządzenia dowolnym kanałem łączności, lub uzależnić częstotliwość i fazę sygnałów mieszających od częstotliwości f_1 , f_2 , f_3 lub f_4 sygnałów nadawanych w ten sposób, aby odtworzenie fazy sygnału mieszającego w jednym urządzeniu było możliwe na podstawie odebranego w tym urządzeniu sygnału, emitowanego przez nadajnik urządzenia drugiego.

Dla przykładu w urządzeniu odniesienia częstotliwość f_1 zostaje podzielona n razy w dzielniku częstotliwości i ta częstotliwość stanowi częstotliwość mieszającą, wynoszącą:

$$2\pi f_5 t + \varphi_7 = 2\pi \frac{f_1}{n} t + \frac{\varphi_1}{n}$$

W urządzeniu odzewowym częstotliwość mieszającą otrzymuje się przez podzielenie ($n + 1$) razy różnicy częstotliwości pochodzącej z generatorów 9 i 15, czyli:

$$2\pi f_5 t + \varphi_5 = 2\pi \frac{f_3 - f_6}{n + 1} t + \frac{\varphi_3 - \varphi_6}{n + 1}$$

$$f_3 = f_1 + f_5 + f_6 \quad \varphi_3 = \varphi_6 + \varphi_5 + \varphi_1 - 2\pi f_1 \frac{D}{C}$$

$$2\pi f_5 t + \varphi_5 = 2\pi \frac{f_1}{n} t + \frac{1}{n} \left(\varphi_1 - 2\pi f_1 \frac{D}{C} \right)$$

stąd:

$$\varphi_7 - \varphi_5 = 2\pi \frac{f_1}{n} \frac{D}{C}$$

Zależność fazy i drogi dla podanego przykładu będzie:

$$\Phi_{20} = 4\pi \frac{D}{C} \left(f_1 + f_2 + \frac{2f_1}{n} \right) = 4\pi \frac{D}{C} (f_3 + f_4)$$

Dla przykładu częstotliwości od f_1 do f_6 mogą wynosić:

$$f_1 = 1.726.000 \text{ Hz}$$

$$f_2 = 1.728.000 \text{ Hz}$$

$$f_3 = 1.918.075 \text{ Hz}$$

$$f_4 = 1.919.925 \text{ Hz}$$

$$f_5 = 192.000 \text{ Hz}$$

$$f_6 = 75 \text{ Hz}$$

$$D = 39,04 \frac{\Phi}{2\pi}, \text{ gdzie } D \text{ odległość w metrach, } \Phi$$

faza wskazana przez fazomierz w radianach. Przy takim doborze częstotliwości każdy nadajnik emituje częstotliwości odległe od siebie o około 2 kHz. W odbiornikach jako częstotliwość pośrednią stosuje się częstotliwości 49 i 51 kHz, co zapewnia oddzielenie od siebie par częstotliwości oddalonych o 2 kHz. Częstotliwości w każdej z par są oddalone o 75 Hz. Pomiar fazy dokonuje się na częstotliwości 75 Hz.

Podstawową zaletą sposobu według wynalazku jest to, że stabilność fazowa urządzeń stosowanych dla realizacji tego sposobu, a więc odbiorników i nadajników, nie musi być duża. W procesach odbierania i nadawania sygnałów następuje kompensacja wpływu czynników mogących powodować niestabilność fazową. Dzięki temu osiągnąć można dużą dokładność pomiaru. Ponadto emisja przez każde z urządzeń nadawczo-odbiorczych dwóch częstotliwości powoduje dwukrotne zwiększenie dokładności w porównaniu do sposobów dotychczas znanych, przy czym zajmowana szerokość pasma praktycznie pozostaje bez zmian. Zajmowane pasma częstotliwości mogą być oddalone o dowolną częstotliwość równą częstotliwości mieszającej. Sposób według wynalazku nadaje się w szczególności do dokładnego pomiaru odległości w hydrografii i nawigacji.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób radioelektrycznego pomiaru odległości pomiędzy dwoma punktami przestrzeni, w których znajdują się w jednym punkcie urządzenie nadawczo-odbiorcze odniesienia a w drugim punkcie urządzenie nadawczo-odbiorcze odzewowe współpracujące ze sobą **znamienny tym**, że w każdym urządzeniu nadawczo-odbiorczym emituje się jednocześnie dwie częstotliwości do współpracującego urządzenia, które następnie przenosi się w każdym urządzeniu przez mieszanie z częstotliwością mieszającą koherentną w obydwu urządzeniach w pasmo częstotliwości odbieranych ze współpracującego urządzenia, lub częstotliwości odbierane od współpracującego urządzenia przenosi się w pasmo częstotliwości nadawanych do współpracującego urządzenia lub w każdym urządzeniu częstotliwości nadawane i odbierane przenosi się przez mieszanie z częstotliwościami koherentnymi w obydwu urządzeniach we wspólne pasmo.
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w każdym urządzeniu nadawczo-odbiorczym częstotliwości odebrane i częstotliwości będące produktem mieszania sygnału nadawanego, lub częstotliwości nadawane i częstotliwości będące produktem mieszania sygnału odbieranego, lub częstotliwości będące produktami mieszania sygnałów nadawanego i odbieranego zdudnia się parami, wzmacnia i poddaje detekcji w odbiorniku (16, 8).
3. Sposób według zastrz. 1 — 2, **znamienny tym**, że w urządzeniu odzewowym sygnałami będącymi wynikiem detekcji w odbiorniku (8) steruje się częstotliwość i fazę sygnałów nadawanych przez to urządzenie tak, aby fazy sygnałów będących wynikiem detekcji były sobie równe.
4. Sposób według zastrz. 1 — 3, **znamienny tym**, że w urządzeniu odniesienia mierzy się różnicę faz sygnałów będących wynikiem detekcji.
5. Sposób według zastrz. 1 — 4, **znamienny tym**, że częstotliwości mieszające uzyskuje się przez dzielenie, mnożenie lub sumowanie częstotliwości nadawanych przez urządzenia nadawczo-odbiorcze.

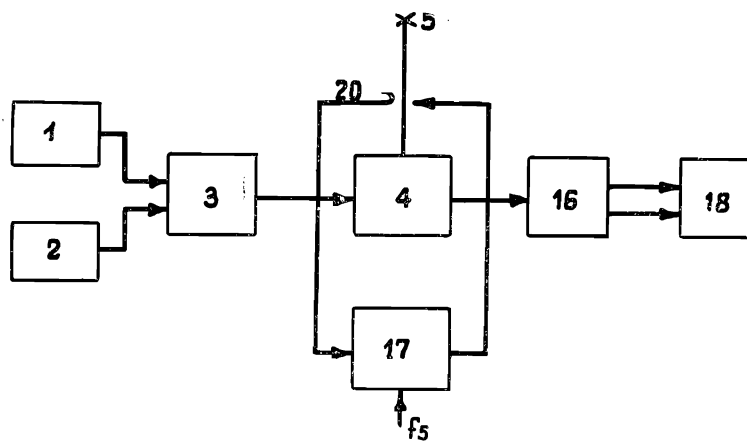


Fig. 1

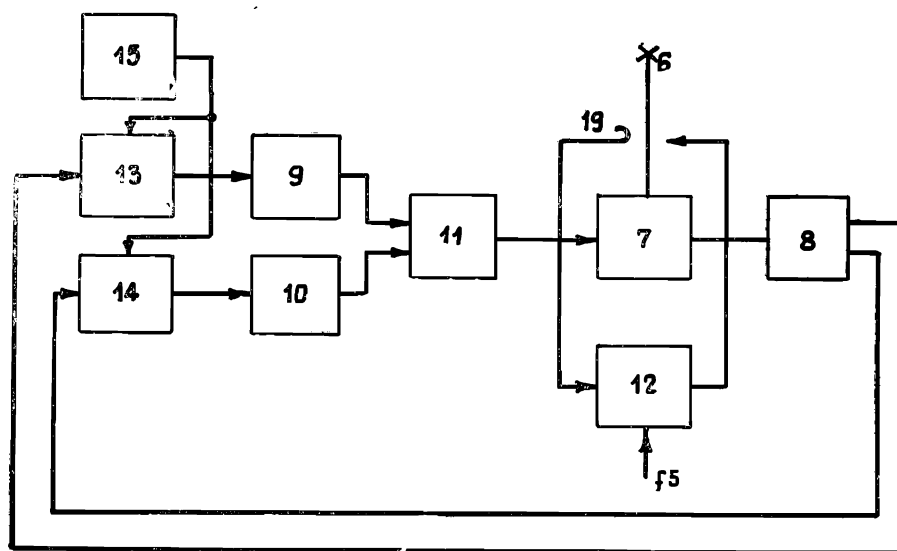


Fig. 2