

2
PRL
POLSKA
RZECZPOSPOLITA
LUDOWA



URZĄD
PATENTOWY
PRL

OPIS PATENTOWY

59144

Patent dodatkowy
do patentu _____

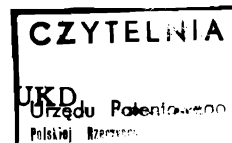
Zgłoszono: 16.IX.1967 (P 122 613)

Pierwszeństwo: _____

Opublikowano: 16.II.1970

Kl. 21 a¹, 48/63

MKP ~~H 014~~



Współtwórcy wynalazku: dr inż. Andrzej Lizoń, mgr inż. Edward Bekta

Właściciel patentu: Politechnika Warszawska (Katedra Radiolokacji),
Warszawa (Polska)

Radarowe urządzenie do pomiaru prędkości

1

Przedmiotem wynalazku jest radarowe urządzenie do pomiaru prędkości chwilowej i średniej poruszającego się obiektu, a zwłaszcza statku. Urządzenie według wynalazku składa się z nadajnika, odbiornika, częstotściomierza zliczającego, rejestratora prędkości chwilowej, licznika impulsów oraz rejestratora przebytej przez obiekt drogi. Do pomiaru prędkości wykorzystuje się zjawisko Dopplera. Prędkość chwilowa proporcjonalna jest do częstotliwości doplerowskiej odbieranego sygnału. Prędkość średnią oblicza się dzieląc przebytą przez obiekt drogę przez czas zmierzony. Drogę przebytą przez obiekt wyznacza się całkując częstotliwość doplerowską.

Znane są różne urządzenia radarowe przeznaczone do pomiaru prędkości. Najprostsze z nich posiadają nadajnik wytwarzający sygnał niemodulowany, natomiast sygnał o częstotliwości doplerowskiej wydzielany w nich jest na wyjściu mieszacza mikrofalowego. Mają one bardzo mały zasięg głównie ze względu na duży poziom szumów mieszacza mikrofalowego w zakresie częstotliwości doplerowskich oraz ze względu na duży poziom zakłóceń powstających w mieszaczu przy demodulacji sygnału nadajnika zmodulowanego amplitudowo tętnieniami napięć zasilania i wibracjami mechanicznymi nadajnika.

Większy zasięg można uzyskać stosując urządzenia, w których sygnał odbierany przekształcony jest w sygnał o dużej częstotliwości pośredniej, na

2

której szumy mieszacza mikrofalowego oraz zakłócenia pochodzące z demodulacji sygnału nadajnika są nieznaczne. Wymaga to jednak dostarczenia do mieszacza mikrofalowego sygnału „heterodyny” uzyskiwanego z sygnału nadajnika w wyniku modulacji jednowstęgowej. Modulacja taka jest dość trudna w paśmie mikrofalowym. Powoduje to znaczną rozbudowę urządzenia.

Urządzenie według wynalazku ma na celu usunięcie tych wad. Zastosowana sinusoidalna modulacja częstotliwości sygnału nadajnika oraz wzmacnianie sygnału odbieranego na częstotliwości równej harmonicznej częstotliwości modulacji umożliwia stłumienie szumów mieszaczy, oraz zakłóceń pochodzących z demodulacji amplitudowej sygnału nadajnika bez konieczności stosowania modulacji jednowstęgowej. Upraszcza to znacznie budowę urządzenia.

Schemat blokowy urządzenia według wynalazku pokazany jest na fig. 1. Składa się ono z nadajnika 11 modulowanego sinusoidalnie z generatora 12, trójramiennego cyrkulatora ferrytowego 9 łączącego nadajnik 11 z anteną 8 oraz antenę 8 z mieszaczem mikrofalowym 1 połączonym z nadajnikiem 11, wzmacniacza rezonansowego 2 dołączonego do wyjścia mieszacza 1, mieszacza małej częstotliwości 3 połączonego ze wzmacniaczem rezonansowym 2 oraz za pośrednictwem powielacza częstotliwości 13 i przesuwnika fazy 10 z generatorem 12, z wzmacniacza małej częstotliwości 4 oraz z wąsko-

wstęgowego filtru śledzącego 5 dołączonych kaskadowo do wyjścia mieszacza 3, z częstotściomierza zliczającego 6 oraz licznika 14 dołączonych do wyjścia filtru 5 i z rejestratora prędkości 7 oraz rejestratora drogi 15 dołączonych odpowiednio do wyjścia częstotściomierza 6 i licznika 14.

Nadajnik 11 wytwarza sygnał o fali ciągłej zmodulowany w częstotliwości przebiegiem

$$u_m = U_m \sin \omega t$$

otrzymywanym z generatora 12. Sygnał ten poprzez cyrkulator ferrytowy 9 przesyłany jest do anteny 8. Sygnał odbity od poruszającego się obiektu odbierany jest przez antenę 8 i przesyłany jest poprzez cyrkulator 9 do mieszacza mikrofalowego 1. Do mieszacza tego doprowadzona jest także część sygnału nadajnika. W wyniku zmieszania obu tych sygnałów na wyjściu mieszacza 1 otrzymuje się sygnał, którego widmo zawiera częstotliwość doplerowską oraz częstotliwości odległe od harmonicznych częstotliwości modulującej nadajnik o częstotliwość doplerowską. Z sygnału tego we wzmacniaczu rezonansowym 2 wyodrębniane są i wzmacniane dwie składowe wokół piątej harmonicznej. Po zmieszaniu ich w mieszaczu małej częstotliwości 3 z sygnałem odniesienia

$$u_0 = U_0 \cos 5\omega t$$

uzyskuje się sygnał o częstotliwości doplerowskiej. Sygnał odniesienia otrzymuje się w wyniku pięciokrotnego powielenia w powielaczu 13 sygnału generatora 12 oraz przesunięcia w fazie w przesuwniku fazy 10. Sygnał o częstotliwości doplerowskiej wzmacniany jest we wzmacniaczu 4 małej częstotliwości. W celu poprawienia czułości odbioru sygnał o częstotliwości doplerowskiej wydzielany jest z szumów na wyjściu wzmacniacza 4 za pomocą wąskopasmowego filtru 5 śledzącego za częstotliwością doplerowską. Na wyjściu tego filtru uzyskuje się ciąg impulsów o częstotliwości powtarzania równej częstotliwości doplerowskiej. Ciąg tych impulsów podaje się na wejście częstotściomierza zliczającego 6, który zlicza ilość okresów sygnału doplerowskiego w znanym czasie.

Czas zliczania częstotściomierza został tak dobrany, że wskazanie jego w postaci cyfrowej równe jest bezpośrednio prędkości chwilowej wyrażonej w wybranych jednostkach prędkości na przykład w węzłach. Stan licznika częstotściomierza po zakończeniu pomiaru częstotliwości rejestrowany jest automatycznie za pomocą rejestratora 7 dziurkującego taśmę papierową. Zapis ten zrealizowany jest w kodzie dziesiętno-dwójkowym. Ciąg impulsów z wyjścia filtru śledzącego 5 podawany jest także do licznika impulsów 14 zliczającego ilość okresów sygnału doplerowskiego. Stan licznika rejestrowany jest w rejestratorze 15 przebytej drogi. W celu ułatwienia odczytu drogi częstotliwość nadajnika oraz obniżenie częstotliwości doplerowskiej wybrano tak, by wskazanie rejestratora 15 było bezpośrednio w wybranych jednostkach drogi na przykład w milach morskich.

Wprowadzenie modulacji częstotliwości sygnału nadajnika oraz wydzielanie na wyjściu mieszacza mikrofalowego składowych o częstotliwościach bli-

skich harmonicznych częstotliwości modulującej umożliwia stłumienie zakłóceń pochodzących z demodulacji amplitudowej sygnału nadajnika oraz zmniejszenie wpływu szumów mieszacza. Tłumienie to jest tym większe im wyższa jest wykorzystywana harmoniczna częstotliwości modulującej. Jednocześnie towarzyszą temu zaniki sygnału o częstotliwości doplerowskiej przy pewnych odległościach do obiektu odbijającego. Najkorzystniejsze warunki pracy urządzenia uzyskano przy wykorzystaniu piątej harmonicznej częstotliwości modulującej oraz przy wprowadzeniu dla sygnału odniesienia takiego przesunięcia fazy, by posiadał on postać $\cos 5\omega t$, gdy sygnał modulujący nadajnik ma postać $\sin \omega t$.

W celu zwiększenia zasięgu urządzenia zastosowano filtr śledzący za częstotliwością doplerowską. Filtr ten wydziela sygnał o częstotliwości doplerowskiej z szumów, co umożliwia uzyskanie dużej dokładności pomiaru częstotliwości doplerowskiej przy słabym sygnale odbieranym.

Uproszczony schemat blokowy filtru śledzącego F w urządzeniu według wynalazku pokazany jest na fig. 2. Filtr ten składa się z pierwszego detektora fazy 17, filtru dolnoprzepustowego 18, generatora samodławnego 19 przestrajanego napięciem wyjściowym z filtru 18, oraz z dwóch przerzutników 21 i 25, obniżających czterokrotnie częstotliwość generatora 19. W detektorze fazowym 17 porównuje się fazy sygnału wejściowego oraz pierwszego sygnału prostokątnego 22, otrzymywanego z przesuwnika 25. Wyjściowe napięcie detektora zwane napięciem błędu proporcjonalne jest do cosinusa różnicy faz obu sygnałów. Przestraja ono generator samodławny 19 tak, aby różnicę faz obu sygnałów podawanych na detektor sprowadzić do 90° . Napięcie błędu kontrolowane jest za pomocą wskaźnika 16 napięcia błędu.

Zerowe napięcie błędu nie jest jednak wystarczającym stwierdzeniem dostrojenia filtru. Może ono bowiem wystąpić przy jednakowych częstotliwościach sygnału wejściowego i sygnału 22 przy różnicy ich faz równej 90° oraz przy znacznie różniących się częstotliwościach obu tych sygnałów. Aby uniknąć błędnej oceny pracy filtru śledzącego, posiada on dodatkowo drugi detektor fazy 28, przerzutnik 26 oraz wskaźnik dostrojenia 29. W detektorze 28 porównuje się fazy sygnału wejściowego oraz drugiego sygnału prostokątnego 27 otrzymywanego z przerzutnika 26. Sygnał 27 jest względem sygnału 22 przesunięty w fazie o 90° . W wyniku tego przy poprawnym zestrojeniu filtru śledzącego na wyjściu detektora fazy 28 uzyskuje się maksymalne napięcie wskazywane na wskaźniku dostrojenia 29. Zerowe wskazanie wskaźnika 16 napięcia błędu oraz maksymalne wskazanie wskaźnika dostrojenia 29 może wystąpić tylko przy poprawnym dostrojeniu filtru do częstotliwości sygnału wejściowego, to znaczy wówczas, gdy częstotliwość sygnału wejściowego równa jest częstotliwości sygnału wyjściowego 22 przy jednoczesnym zachowaniu najlepszych warunków synchronizacji generatora samodławnego. Wówczas filtr śledzący spełnia jednocześnie funkcję układu pamiętającego. Częstotliwość sygnału wyjściowego nie ulega bowiem zmianie przy zanikach sygnału od-

bieranego. Aby uzyskać najlepsze warunki synchronizacji w filtrze śledzącym przy zmianach częstotliwości doplerowskiej, wprowadzono ręczne podstrajanie generatora samodławnego na podstawie obserwacji wskazań wskaźnika napięcia błędu.

Dla wyjaśnienia sposobu wytwarzania sygnałów odniesienia, na fig. 3 przedstawiono wzajemne czasowe zależności pomiędzy sygnałem wyjściowym 20 z generatora samodławnego, dwoma sygnałami wyjściowymi 23 i 24 z przerzutnika 21 oraz sygnałami odniesienia 22 i 27 podawanymi do detektorów fazy 17 i 28.

Licznik częstościomierza zlicza częstotliwość doplerowską w układzie dziesiętno-dwójkowym. Zawiera on cztery dekady, a każda z nich cztery przerzutniki. Sprzężenia zwrotne między przerzutnikami w każdej dekadzie wykonano w ten sposób, że przerzucenie kolejnych przerzutników ze stanu zerowego odpowiada kolejno policzonym ilościom impulsów 1, 2, 2, 4. Zerowy stan przerzutników odpowiada zeru.

Rejestracja stanu licznika odbywa się na taśmie papierowej za pomocą pięciostemplowej dziurkarki. Cztery stemple wybijają w taśmie dziurki określające stany poszczególnych czterech przerzutników kolejno w każdej dekadzie. W ten sposób zapis zawiera cztery wiersze po jednym dla każdej dekady. Pierwsza kolumna dziurek oznacza „1”, druga — „2”, trzecia — „2”, czwarta — „4”. Brak dziurki w dowolnej kolumnie oznacza zero. Zsumowanie liczb przyporządkowanych wybitym dziurkom w każdym wierszu określa stan dekady licznika w układzie dziesiętnym. Wszystkie wiersze odczytane w ustalonej kolejności określają stan licznika. W celu znalezienia na taśmie początku zapisu oprócz czterech kolumn dziurek wybijana jest dodatkowo dziurka w kolumnie piątej (pierwszej z lewej) w wierszu odpowiadającym pierwszej dekadzie. Przykład zapisu liczby 1907 pokazany jest na fig. 4. Kolumna mniejszych dziurek wykorzystywana jest tylko do przesuwania taśmy.

Omówiony wyżej sposób budowy częstościomierza zliczającego oraz sposób zapisu jego stanu umożliwiły eliminację sumatora obliczającego stany poszczególnych dekad licznika częstościomierza oraz proste wykorzystanie typowej dziurkarki do rejestracji mierzonej częstotliwości doplerowskiej.

Zastrzeżenia patentowe

1. Radarowe urządzenie do pomiaru prędkości poruszających się obiektów, a zwłaszcza statków zaopatrzone w nadajnik wytwarzający sygnał o fali ciągłej, modulowany w częstotliwości przebiegiem $\sin \omega t$, cyrkulator ferrytowy łączący nadajnik z anteną i antenę z mieszaczem mikrofalowym, do którego podawany jest sygnał odbierany i sygnał nadajnika, **znamienny tym**, że zawiera wzmacniacz rezonansowy (2) podłączony do wyjścia mieszacza mikrofalowego (1) wydzielający z otrzymywanego sygnału dwie składowe różniące się o częstotliwość doplerowską od piątej harmonicznej częstotliwości modulującej, mieszacz małej częstotliwości (3) dołączony do wyjścia wzmacniacza rezonansowego oraz za pośrednictwem przesuwnika fazy (10) i powiela-

cza (13) częstotliwości do generatora modulacyjnego (12) modulującego nadajnik (11), wydzielający sygnał o częstotliwości doplerowskiej w wyniku zmieszania składowych wzmoconych z sygnałem odniesienia $\cos 5\omega t$, wzmacniacz małej częstotliwości (4) podłączony do mieszacza (3) małej częstotliwości, wzmacniający sygnał o częstotliwości doplerowskiej i dostarczający go do filtru śledzącego (5) wyodrębniającego sygnał o częstotliwości doplerowskiej z szumów, częstościomierz zliczający (6) oraz licznik (14) impulsów podłączone do wyjścia filtru (5) śledzącego mierzące odpowiednio częstotliwość doplerowską jako miarę prędkości chwilowej i ilość okresów doplerowskich jako miarę przebytej drogi oraz rejestrator prędkości (7) i rejestrator drogi (15) podłączone odpowiednio do częstościomierza (6) i licznika (14), zapisujące ich wskazania.

2. Urządzenie według zastrz. 1 **znamiennie tym**, że częstotliwość nadajnika oraz stopień obniżenia częstotliwości doplerowskiej są takie, że wskazanie licznika impulsów odpowiada bezpośrednio przebytej drodze w wybranych jednostkach drogi.

3. Urządzenie według zastrz. 1—2 **znamiennie tym**, że czas zliczania częstotliwości doplerowskiej w częstościomierzu zliczającym jest taki, że wskazanie częstościomierza odpowiada bezpośrednio prędkości wyrażonej w wybranych jednostkach prędkości.

4. Urządzenie według zastrz. 1—3 **znamiennie tym**, że filtr śledzący (F) za częstotliwością doplerowską zawiera pierwszy detektor fazy (17), na wejścia którego podawany jest przebieg wejściowy o częstotliwości doplerowskiej wraz z szumem z wyjścia odbiornika oraz pierwszy sygnał odniesienia b (22) w postaci fali prostokątnej o tej samej częstotliwości otrzymywany w wyniku czterokrotnego obniżenia częstotliwości za pomocą dwóch przerzutników sygnału generatora samodławnego przestrajanego napięciem błędu uzyskiwanym z wyjścia pierwszego detektora fazy (17) oraz drugi detektor fazy (28), na wejścia którego podawany jest sygnał z wyjścia odbiornika oraz drugi sygnał odniesienia (27), przesunięty w fazie względem pierwszego sygnału odniesienia (22) o 90° , przy czym zestrojenie filtru w wyniku dodatkowego podstrojenia generatora samodławnego uzyskiwane jest przy zerowym wskazaniu wskaźnika napięcia błędu podłączonego do wyjścia pierwszego detektora (17) oraz przy maksymalnym wskazaniu wskaźnika dostrojenia podłączonego do wyjścia drugiego detektora (28).

5. Urządzenie według zastrz. 1—4 **znamiennie tym**, że częstotliwość doplerowska zliczana jest w częstościomierzu zliczającym w układzie dziesiętno-dwójkowym w dekadach zawierających po cztery przerzutniki, których stany po przerzuceniu z zerowego oznaczają kolejno 1, 2, 2, 4 oraz, że stan licznika częstościomierza rejestrowany jest w układzie dziesiętno-dwójkowym za pomocą dziurkarki na taśmie papierowej w wierszach odpowiadających kolejnym dekadom przy czym stan każdej dekady w układzie dziesiętnym oblicza się w wyniku zsumowania liczb przyporządkowanych wybitym dziurkom odpowiadającym stanom poszczególnych przerzutników w dekadach.

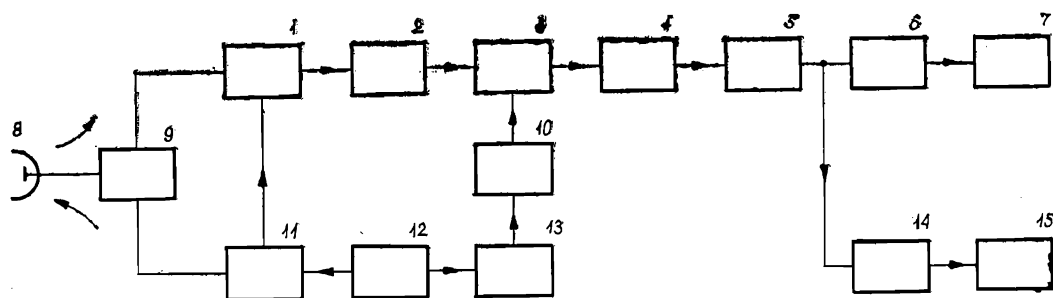


Fig. 1

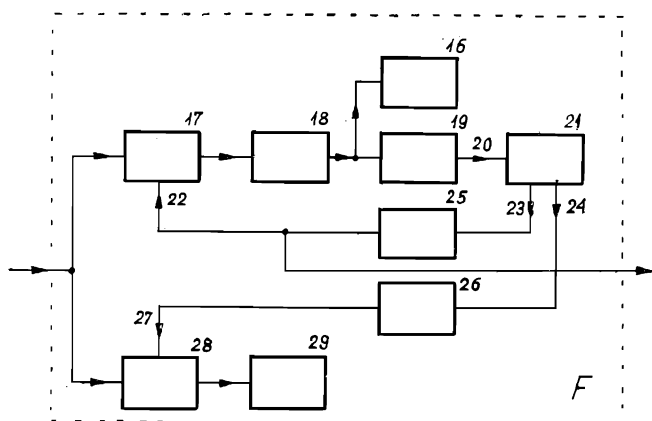


Fig. 2

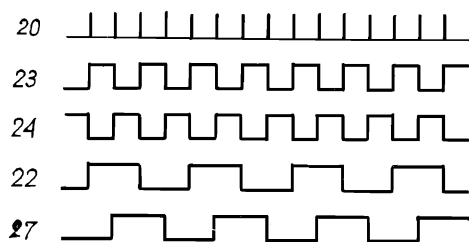


Fig. 3

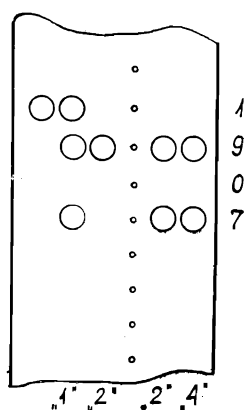


Fig. 4