

ANDRZEJ OTYS

528.516/517.089.6

## Niektóre metody kontroli częstotliwości wzorcowych dalmierzy elektromagnetycznych

### Wstęp

Pomiar odległości za pomocą dalmierzy elektromagnetycznych polega, jak wiadomo, na porównaniu długości mierzonego odcinka z długością fali elektromagnetycznej o określonej częstotliwości. Dla pewnych typów dalmierzy (np. dalmierze świetlne produkcji radzieckiej SWW-1, Kristal i EOD-1) częstotliwość ta zmieniana jest w sposób płynny tak, aby każdorazowo połowa odpowiadającej jej długości fali mieściła się całkowitą ilość razy w mierzonym odcinku. Przesunięcie fazy, jakiego doznaje wtedy sygnał o tej częstotliwości, przy dwukrotnym przejściu odcinka pomiarowego, jest całkowitą wielokrotnością  $2\pi$ .

Większość jednak używanych w Polsce dalmierzy posiada ustalone częstotliwości pomiarowe nazywane zwykle częstotliwościami wzorcowymi.

Do grupy tej należą dalmierze świetlne Geodimetr NASM-4, Geodimetr NASM-6 i EOS oraz dalmierze mikrofalowe Tellurometr MRA-1, Telemetr OG-1 i Telemetr RG-10. Pomiar odległości za pomocą tych instrumentów realizowany jest przez określenie przesunięcia fazy fali o wzorcowej częstotliwości. Przesunięcie to składa się z całkowitej wielokrotności  $2\pi$  oraz pewnej końcówki  $\varphi$  zawartej w przedziale  $0 \div 2\pi$  i mierzonej przez fazomierz instrumentu. Tzw. błąd standartowy  $m_s$ , charakteryzujący dokładność pomiaru odległości za pomocą danego dalmierza, podawany jest zwykle w postaci

$$m_s = C_1 + C_2 D, \quad (1)$$

gdzie:

$C_1$  i  $C_2$  są stałymi, które wyznacza się metodami geodezyjnymi, a  $D$  — długością mierzonego odcinka.

Patrząc jednak na zależność (1) od strony zjawisk fizycznych zachodzących w czasie pomiaru w samym instrumencie oraz na trasie pomiarowej, można stwierdzić, że na wartość stałej  $C_2$  składa się głównie średni błąd określenia długości fali pomiarowej  $\frac{\Delta\lambda_p}{\lambda_p}$ .

Długość fali pomiarowej związana jest z częstotliwością  $f_p$  oraz prędkością rozchodzenia się fali nośnej  $v$  poprzez prostą zależność

$$\lambda_p = \frac{v}{f_p}. \quad (2)$$

Traktując błędy, popełniane przy wyznaczaniu prędkości  $v$  oraz częstotliwości  $f_p$  jako przypadkowe i opisywane funkcją rozkładu Gaussa, można napisać że

$$\frac{\Delta\lambda_p}{\lambda_p} = \sqrt{\left(\frac{\Delta v}{v}\right)^2 + \left(\frac{\Delta f_p}{f_p}\right)^2}. \quad (3)$$

Zależność powyższa pozwala oszacować dopuszczalne, średnie odchylenie częstotliwości w czasie wykonywania pomiarów od jej wartości przyjętej do obliczeń.

Wiadomo, że średni błąd wyznaczania prędkości rozchodzenia się fali nośnej  $\frac{\Delta v}{v}$  uzależniony jest od dokładności używanych instrumentów meteorologicznych oraz warunków istniejących na trasie pomiarowej.

Jeśli wykluczy się wyjątkowo niekorzystne rozkłady współczynnika refrakcji, to błąd ten jest zwykle rzędu  $(1 \div 2) \cdot 10^{-6}$ . Aby więc stała  $C_2$  we wzorze (1) mogła być mniejsza np. od  $3 \cdot 10^{-6}$ , średni błąd określenia częstotliwości pomiarowej musi też być co najwyżej rzędu  $2 \cdot 10^{-6}$ .

Źródła powstawania błędu określenia częstotliwości pomiarowej są nieco odmienne dla wspomnianych wyżej dwóch grup dalmierzy. Mianowicie, w przypadku dalmierzy, przy pomiarze którymi płynnie zmienia się częstotliwość pomiarowa dobierana jest do aktualnie mierzonej odległości, błąd określenia częstotliwości powstaje zarówno przy jej porównywaniu z częstotliwością odpowiedniej harmonicznego generatora kwarcowego, jak i na skutek niestabilności tego generatora. Ponieważ jednak długoterminowa stabilność tych generatorów, wytwarzających niewielkie częstotliwości rzędu kilkuset kHz, może bez trudu być utrzymana na poziomie  $10^{-6}$  (co dla jej kolejnej harmonicznego mającej np. częstotliwość  $f = 30$  MHz daje maksymalny błąd bezwzględny  $\Delta f = 30$  Hz), a przy heterodynowej metodzie porównywania częstotliwości pomiarowej z ich harmonicznymi popełnia się błąd rzędu co najmniej  $\pm 100$  Hz, więc wpływ niestabilności generatora kwarcowego na błąd określenia  $f_p$  jest tu niewielki.

Wobec tego mniej istotna jest również sprawa kontroli częstotliwości tych generatorów. Aczkolwiek, okresowe jej przeprowadzanie jest oczywiście pożądane.

W przypadku dalmierzy mających kilka ustalonych częstotliwości wzorcowych sytuacja jest inna.

Jako częstotliwość pomiarową należy tu traktować wartość nominalną tej częstotliwości wzorcowej, za pomocą której określana jest końcówka mierzonej odległości. Tylko stabilność tej częstotliwości wpływa na średni błąd określenia długości fali pomiarowej  $\frac{\Delta\lambda_p}{\lambda_p}$ . Pozostałe częstotliwości wzorcowe służą do wyznaczania dalszych cyfr mierzonej odległości, więc ich stabilność może być niższa, jak to wykazane zostało w pracy [2]. W praktycznych jednak rozwiązaniach konstrukcyjnych wszystkie częstotliwości wzorcowe dalmierza wytwarzane są przez ten sam generator i posiadają niemal identyczną stabilność. Fakt ten daje pewien zapas stabilności pomocniczych częstotliwości wzorcowych i pozwala kontrolować je kilkakrotnie rzadziej od częstotliwości wzorcowej, pełniącej rolę częstotliwości pomiarowej.

Na zakończenie części wstępnej warto zauważyć, że odchylenia częstotliwości wzorcowej od jej wartości ustawionej przez wytwórcę lub przez użytkownika w czasie kontroli laboratoryjnej, jakie mogą występować podczas eksploatacji dalmierza, podzielić można na 3 zasadnicze grupy:

1. Zmiany częstotliwości spowodowane starzeniem się rezonatorów kwarcowych i elementów generatora. Zmiany te mają zasadniczo charakter jednokierunkowy. Wartość odchylenia częstotliwości wzorcowej jaka nastąpi po upływie określonego czasu, jest tu w znacznym stopniu możliwa do przewidzenia, szczególnie jeśli instrument był już poprzednio kontrolowany przez pewien okres. Przy obecnym poziomie konstrukcji generatorów kwarcowych stosowanych w dalmierzach, kontrole zmian częstotliwości wzorcowych spowodowanych procesem starzenia, można ograniczyć do sprawdzenia ich wartości przy okazji innych napraw lub przeglądów instrumentu.

2. Zmiany częstotliwości o niewielkiej amplitudzie odchylenia od wartości średniej i o charakterze fluktuacyjnym, związane z chwilowymi zmianami napięć zasilających oraz okresowymi zmianami temperatury wewnątrz termostatu.

Zmiany te mają pomijalnie mały wpływ na błąd pomiaru odległości, ponieważ średnie odchylenie częstotliwości wzorcowej od wartości nominalnej w czasie wykonywania serii pomiarowej jest bliskie zera.

3. Następujące skokiem i trwale utrzymujące się zmiany częstotliwości, spowodowane przypadkowymi zmianami położenia elementów re-

gulacyjnych generatora (trymery, potencjometry, cewki strojone) przy zbyt silnych wstrząsach mechanicznych instrumentu, lub uszkodzeniem któregoś z elementów generatora.

Należy stwierdzić, że np. w dalmierzach mikrofalowych duże (rzędu kilka razy  $10^{-5}$ ) zmiany częstotliwości wzorcowej są łatwe do wykrycia przez operatora w czasie pomiaru.

Natomiast ze względu na możliwość występowania mniejszych, ale przekraczających wartość dopuszczalną dla danego typu dalmierza, odchyień częstotliwości wzorcowych od wartości nominalnej, konieczna jest okresowa ich kontrola. Szczególnie przy tym pożądaną jest możliwość wykonywania takiej kontroli bezpośrednio w terenie, w którym przeprowadzane są pomiary.

Ten sposób kontroli pozwala uniknąć przerw w pomiarach (przynajmniej w przypadku pozytywnego wyniku kontroli), oraz eliminuje niepotrzebny transport dalmierza do laboratorium.

W dalszej części artykułu omówione zostaną stosowane w Zakładzie Pomiarów Podstawowych IGiK laboratoryjne metody pomiarów częstotliwości wzorcowych oraz próby konstrukcji układu do kontroli częstotliwości w terenie w oparciu o wzorce radiowe.

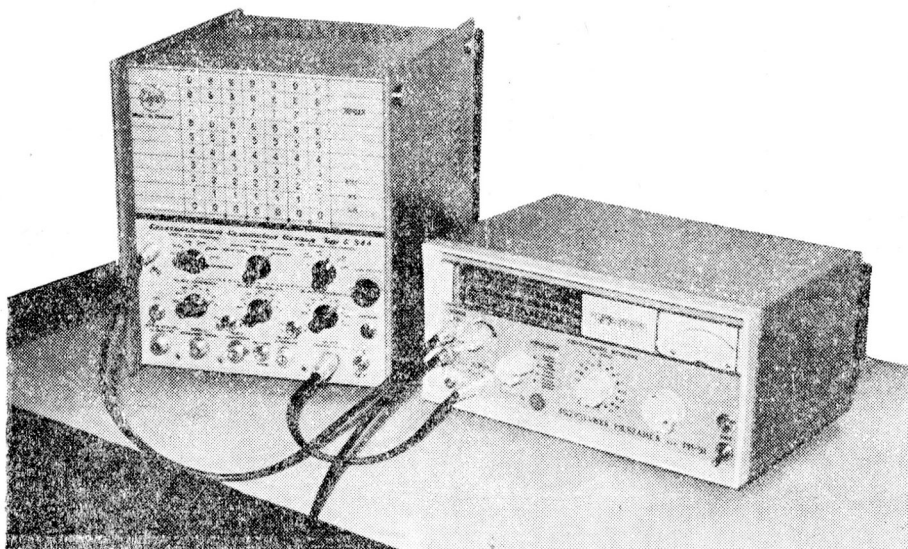
## POMIARY LABORATORYJNE

Obecnie wszystkie laboratoryjne pomiary częstotliwości wzorcowych dalmierzy przeprowadzane w Zakładzie Pomiarów Podstawowych IGiK wykonuje się za pomocą zestawu przedstawionego na rysunku 1.

W jego skład wchodzi: tranzystorowy falomierz liczący C-544 produkcji „Elpo” Warszawa (we własnym zakresie przystosowany do współpracy z przystawką mieszającą) oraz tranzystorowa przystawka mieszająca PM-51, wykonana w Katedrze Urządzeń Radiotechnicznych i Telewizyjnych Politechniki Warszawskiej. Zestaw ten umożliwia pomiar częstotliwości sygnałów o amplitudzie nie mniejszej od 10 mV w zakresie od 200 Hz do 32 MHz.

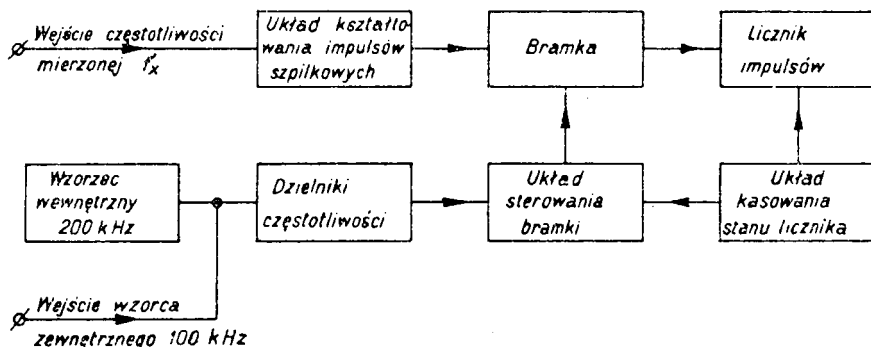
Rysunek 2 zawiera uproszczony schemat blokowy falomierza liczącego, ilustrujący zasadę pomiaru częstotliwości za pomocą tego przyrządu. Do wejścia falomierza doprowadza się sygnał o mierzonej częstotliwości (oznaczonej na schemacie przez  $f_x$ ). Sygnał ten zamieniany jest w falomierzu na ciąg wąskich impulsów (tzw. impulsów szpilkowych) o częstotliwości identycznej z częstotliwością mierzoną. Impulsy te poprzez tzw. bramkę wprowadza się do licznika, który rejestruje ich łączną ilość. Czas otwarcia bramki, tzn. czas w którym odbywa się zliczanie impulsów, w omawianym falomierzu może wynosić 0,01 0,1 1, 10 lub

100 sekund. Są to wzorcowe odstepy czasu. Odpowiadają one okresom częstotliwości, powstałym przez odpowiedni podział częstotliwości wzor-



Rys. 1. Zestaw złożony z falomierza liczącego C-544 i przystawki mieszającej PM-51

cowej falomierza  $f_w = 200$  kHz, lub częstotliwości wzorca zewnętrznego 100 kHz. (Załączenie do falomierza kabla doprowadzającego napięcie 100 kHz z zewnętrznego wzorca, automatycznie wyłącza wzorzec we-



Rys. 2. Uproszczony schemat blokowy falomierza liczącego

wewnętrzny). Pokazany na schemacie blok układu kasowania, wytwarza impulsy likwidujące po pewnym (możliwym do regulowania) czasie odczyt z neonowych wskaźników na płycie czołowej i jednocześnie daje impuls do układu sterowania bramką, powodujący kolejne jej otwarcie. Jeśli

stabilność częstotliwości wzorca falomierza wynosi  $\frac{\Delta f_w}{f_w}$  a czas pomiaru częstotliwości  $T_p$ , to mierząc częstotliwość  $f_x$  popełniamy błąd

$$\frac{\Delta f'_x}{f'_x} = \frac{1}{f'_x T_p} + \frac{\Delta f_w}{f_w}. \quad (4)$$

Z powyższej zależności widać, że pierwszy składnik tego błędu maleje ze wzrostem mierzonej częstotliwości  $f_x$  i czasu pomiaru  $T_p$ .

Składnik drugi jest określony wyłącznie przez stabilność wzorca falomierza. Wpływ obu tych składników na błąd całkowity nie jest oczywiście jednakowy. Jeśli np. częstotliwość mierzona  $f'_x = 1$  MHz a czas pomiaru  $T_p = 10$  sek, oraz stabilność wzorca

$\frac{\Delta f_w}{f_w} = 10^{-7}$ , to:

$$\frac{\Delta f'_x}{f'_x} = 10^{-7} + 10^{-7} = 2 \cdot 10^{-7}. \quad (5)$$

Obie więc składowe błędy: wynikająca ze stabilności wzorca oraz powstająca w procesie porównania częstotliwości mierzonej z wzorcową są tu identyczne.

Przyjmując jednak czas pomiaru  $T_p = 1$  sek otrzymamy:

$$\frac{1}{f'_x T_p} = 10^{-6}. \quad (6)$$

W tym przypadku błąd powodowany niestabilnością wzorca jest do pominięcia przy błędzie porównania obu częstotliwości.

Powiedziano już wyżej, że wzrost czasu pomiaru zwiększa jego ogólną dokładność. W związku z tym zauważyć jednak trzeba, że zwiększanie tego czasu celowe jest wtedy, jeśli zmiany częstotliwości  $f'_x$  w czasie  $T_p$  są pomijalnie małe.

Przytoczone przykłady liczbowe pokazują też, że jeżeli pomiar pewnej częstotliwości, za pomocą falomierza liczącego przy użyciu jego wzorca wewnętrznego o stabilności np.  $10^{-7}$ , wykonywany jest z błędem wynikającym z samego porównania częstotliwości rzędu  $10^{-6}$ , to użycie wzorca zewnętrznego o stabilności np.  $10^{-9}$  nie wpłynie w sposób istotny na zmniejszenie błędu pomiaru.

Mimo to laboratoryjne pomiary częstotliwości wzorcowych dalmierzy przeprowadzane były niejednokrotnie przy wykorzystaniu jako zewnętrznego wzorca, sygnału z zegara kwarcowego Obserwatorium Astronomicznego w Borowej Górze. Stabilność jego częstotliwości jest właśnie rzędu kilka razy  $10^{-9}$ . Postępowano tak głównie z braku pewności, że wzorzec

wewnętrzny falomierza istotnie posiada gwarantowaną przez wytwórcę stabilność rzędu kilka razy  $10^{-7}$ .

Z zależności (4) wynika, że błąd pomiaru częstotliwości za pomocą falomierza rośnie przy zmniejszaniu się tej częstotliwości.

Mierząc nim najniższą możliwą do pomiaru częstotliwość 200 Hz w czasie  $T_p = 10$  sek, popełniamy błąd wynikający z samego porównania  $\frac{1}{f'_x T_p} = 5 \cdot 10^{-4}$ . Dla maksymalnej, możliwej do zmierzenia częstotliwości 2,5 MHz błąd ten wyniesie  $\frac{1}{f'_x T_p} = 4 \cdot 10^{-8}$ .

Omawiany falomierz pozwala jednak mierzyć zarówno duże, jak i małe częstotliwości z błędem tego samego rzędu. W przypadku mianowicie niewielkich częstotliwości, korzystniejszy okazuje się zamiast pomiaru częstotliwości  $f_x$ , pomiar ich okresu  $T_x' = \frac{1}{f'_x}$ .

Przy tego rodzaju pomiarze bramka wytwarzana jest przez częstotliwość mierzoną a zlicza się impulsy o wzorcowej częstotliwości powtarzania  $f_w$ .

Jak już wspomniano, omawianym falomierzem można mierzyć częstotliwości w zakresie 200 Hz ÷ 2,5 MHz. Częstotliwości wzorcowe dalmierzy mają jednak wartości znacznie większe. Np. dla Telemetru OG-1, częstotliwość  $F = 15$  MHz a dla Geodimetru NASM-4,  $F_1 = 29,97$  MHz.

Przyrządem rozszerzającym zakres pomiarowy falomierza do 32 MHz oraz zwiększającym jego czułość, jest przystawka mieszająca PM-51. Użycie przystawki, jak to będzie pokazane dalej, nie zwiększa błędu pomiaru częstotliwości  $\frac{\Delta f_x}{f_x}$ .

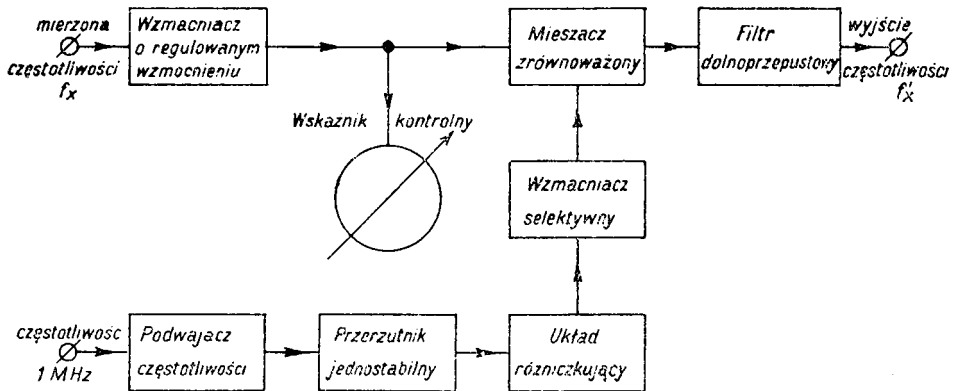
Na rysunku 3 znajduje się uproszczony schemat blokowy tej przystawki. Sygnał, którego częstotliwość  $f_x$  mierzymy, wchodzi na wejście wzmacniacza rezonansowego o regulowanym wzmocnieniu. Wskaźnik kontrolny umieszczony na wyjściu wzmacniacza, umożliwia jego dostrojenie do mierzonej częstotliwości.

Do drugiego wejścia przystawki doprowadzany jest sygnał o częstotliwości 1 MHz. Sygnał ten pochodzi z falomierza liczącego.

Częstotliwość 1 MHz powstaje w falomierzu przez powielenie częstotliwości jego wzorca wewnętrznego lub zewnętrznego. Jej stabilność jest więc identyczna ze stabilnością wzorca. Częstotliwość 1 MHz jest w przystawce podwajana i następnie zamieniana w falę prostokątną za pomocą przerzutnika jednostabilnego. Przebieg ten podlega następnie różniczkowaniu, dając w efekcie ciąg impulsów szpilkowych o częstotliwości powtarzania 2 MHz. Widmo takiego przebiegu jest, jak wiadomo, bogate w harmoniczne. Następujący dalej wzmacniacz rezonansowy wybiera

z tego widma odpowiednią parzystą harmoniczną częstotliwości 1 MHz. Rząd wybieranej (za pomocą przełącznika) harmonicznej zależy od wartości częstotliwości mierzonej  $f_x$ . Dla prawidłowego przeprowadzenia pomiaru należy wybrać taki rząd harmonicznej  $N$ , aby  $|f_x - 2N \cdot 1 \text{ MHz}| < 2,05 \text{ MHz}$ .

Wybrana harmoniczna o częstotliwości  $2N \cdot 1 \text{ MHz}$  oraz wzmacniony sygnał o częstotliwości  $f_x$ , podawane są na wejście mieszacza zrównoważonego. Mieszacz ten w porównaniu z konwencjonalnymi układami mie-



Rys. 3. Uproszczony schemat blokowy przystawki mieszającej

szaczy ma tę zaletę, że eliminuje z widma sygnału wyjściowego prążek o częstotliwości 2 MHz. Natomiast znajdujący się po mieszaczu filtr dolnoprzepustowy o częstotliwości granicznej 2,05 MHz, wybiera z tego widma prążek  $f'_x = |f_x - 2N \text{ MHz}|$ .

Częstotliwość  $f'_x$  doprowadzana jest następnie do wejścia falomierza liczącego. Jest ona, jak już wspomniano, niższa od częstotliwości 2,05 MHz, może zatem być zmierzona przez falomierz. Przez regulację wzmacnienia wzmacniacza rezonansowego na wejściu przystawki, dobiera się odpowiednią dla falomierza amplitudę sygnału o częstotliwości  $f'_x$ .

Dodać tu należy, że wysoka czułość przystawki mieszającej pozwala wykonywać pomiary częstotliwości wzorcowych dalmierzy, przy bardzo słabym sprzężeniu z ich generatorem. Przy takim sprzężeniu praktycznie nie następuje przestrajanie generatora dalmierza.

Omawiana metoda pomiaru częstotliwości z użyciem przystawki mieszającej stwarza możliwość sprawdzenia prawidłowości otrzymanego wyniku. Mianowicie dla każdej częstotliwości mierzonej  $f_x$  zawartej w zakresie pomiarowym urządzenia (z wyjątkiem częstotliwości mniejszych od 2 MHz oraz większych od 30 MHz), można wybrać takie dwie pa-



rzyste harmoniczne częstotliwości 1 MHz : 2N MHz i 2(N + 1) MHz, żeby zachodziły nierówności:

$$f'_{x_1} = f_x - 2N \text{ MHz} < 2,05 \text{ MHz} \text{ oraz } f'_{x_2} = 2(N + 1) \text{ MHz} - f_x < 2,05 \text{ MHz}.$$

Następnie należy wykonać odczyty  $f_{x_1}$  i  $f_{x_2}$  odpowiadające zdudnieniom częstotliwości  $f_x$  z tymi harmonicznymi. Otrzymanie odczytów, których suma  $f'_{x_1} + f'_{x_2} = 2 \text{ MHz}$  jest gwarancją prawidłowości pracy całego urządzenia.

W celu wyznaczenia błędu pomiaru częstotliwości  $f_x$  przyjmijmy, że zdudniona jest ona z taką harmoniczną, że  $2N \text{ MHz} < f_x$ .

Ostateczny wynik pomiaru jest wtedy równy sumie odczytu z falomierza  $f'_x$  i wybranej harmonicznej 2N MHz

$$f_x = f'_x + 2N \text{ MHz}. \quad (7)$$

Wynik ten obarczony jest błędem:

$$\frac{\Delta f_x}{f_x} = \frac{\Delta f'_x}{f_x} + \frac{\Delta(2N \text{ MHz})}{f_x}. \quad (8)$$

Ponieważ stabilność częstotliwości 2N MHz jest równa stabilności wzorca, zachodzi zależność

$$\Delta(2N \text{ MHz}) = 2N \text{ MHz} \cdot \frac{\Delta f_w}{f_w}. \quad (9)$$

Natomiast z wzoru (4) wynika wprost, że

$$\Delta f'_x = \frac{1}{T_p} + \frac{\Delta f_w}{f_w} f'_x. \quad (10)$$

Po podstawieniu zależności (9) i (10) do wzoru (8) otrzymamy ostatecznie

$$\frac{\Delta f_x}{f_x} = \frac{1}{f_x T_p} + \frac{\Delta f_w}{f_w}. \quad (11)$$

Zależność (11) jest identyczna z zależnością (4). Wynik ten jest zgodny z przewidywaniem. Przystawka mieszająca nie zwiększa błędu pomiaru częstotliwości dawanego przez sam falomierz.

Na zakończenie omawiania zasady pracy zestawu składającego się z falomierza liczącego i przystawki mieszającej należy podkreślić, że urządzenie to pozwala mierzyć częstotliwości wzorcowe wszystkich używanych w Polsce dalmierzy z dokładnością przynajmniej kilkakrotnie lepszą od wymaganej stabilności tych częstotliwości.

Za jego pomocą możliwe jest też korygowanie częstotliwości wzorcowych, oraz przeprowadzanie wszelkiego rodzaju badań stabilności generatorów dalmierzy.

Za pomocą tego zestawu (lub podobnego typu urządzenia lampowego), kontrolowane były w Zakładzie Pomiarów Podstawowych na przestrzeni kilku lat, częstotliwości wzorcowe Tellurometru MRA-1, Geodimetru NASM-4B i kilku egzemplarzy dalmierza konstrukcji Katedry Radiolokacji Politechniki Warszawskiej Telemetr OG-1. Jak wynika z kart kontroli częstotliwości tych instrumentów, dopuszczalne odchylenie częstotliwości wzorcowej od wartości nominalnej, wynoszące dla nich średnio od  $2 \cdot 10^{-6}$  do  $5 \cdot 10^{-6}$ , przekroczone zostało zaledwie kilkakrotnie. Na ogół, nawet przy kontroli po długotrwałych pomiarach, stwierdzono odchylenia w granicach od  $5 \cdot 10^{-7}$  do  $2 \cdot 10^{-6}$ . Przy bezwzględnych odchyleniach od wartości nominalnej mniejszych niż 10 Hz, korekcji częstotliwości nie przeprowadzono. Dla poszczególnych egzemplarzy dalmierzy określana była również amplituda wahań częstotliwości w okresie od włączenia do wyłączenia się grzejnika termostatu. Wykonywane były również pomiary mające na celu określenie czasu ustalenia się częstotliwości wzorcowej (od momentu włączenia dalmierza) i przebiegu zmian częstotliwości podczas dogrzewania się termostatu. Są to istotne z punktu widzenia użytkownika dalmierzy, parametry eksploatacyjne.

## **URZĄDZENIE PRZEZNACZONE DO KONTROLI CZĘSTOTLIWOŚCI WZORCOWYCH DALMIERZY W TERENIE**

Istnieje szereg możliwości układowego rozwiązania kontroli częstotliwości wzorcowych dalmierzy, bezpośrednio w terenie. Wszystkie one dają się jednak sprowadzić do dwóch zasadniczych metod:

1. Porównywania częstotliwości wzorcowych dalmierzy z częstotliwością wysokostabilnego wzorca przenośnego dostarczanego na miejsce pomiarów.
2. Porównywania częstotliwości dalmierzy z częstotliwością nadajnika radiowego emitującego sygnały wzorcowe.

Obie te metody mają pewne zalety i wady. Przy stosowaniu metody pierwszej pomiar może być przeprowadzany zawsze, bez ograniczeń jakie w metodzie drugiej stwarza istnienie określonych godzin nadawania sygnałów wzorcowych i ewentualna niemożność uzyskania w niektórych porach dnia zadowalającego odbioru. Natomiast wadą tej metody jest istniejące prawdopodobieństwo zmian częstotliwości wzorca przenośnego, w czasie transportu.

Wada ta nie dotyczy oczywiście metody drugiej. Według zaleceń X Zgromadzenia Ogólnego CCIR (Genewa 1963) dokładność nadawanych częstotliwości wzorcowych wynosi  $\pm 5 \cdot 10^{-10}$ . Biorąc więc nawet pod uwagę błędy częstotliwości związane z propagacją, dokładność ta jest

o kilka rzędów wielkości lepsza od potrzebnej do kontroli częstotliwości wzorcowych dalmierzy.

Przy obu metodach trudność stanowi realizowanie za pomocą możliwie prostego układu, porównywania z wystarczająco dużą dokładnością częstotliwości mierzonej z wzorcową. Od układu takiego wymaga się ponadto małego ciężaru i poboru prądu oraz dużej niezawodności i odporności na wstrząsy i niekorzystne warunki klimatyczne.

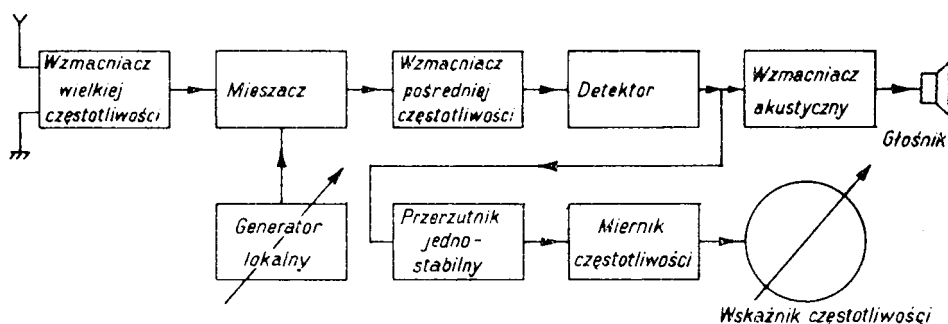


Rys. 4. Tranzystorowe urządzenie do polowej kontroli częstotliwości wzorcowych

Urządzenie prototypowe do polowej kontroli częstotliwości wzorcowych skonstruowane przez zespół pracowników Zakładu Pomiarów Podstawowych działa w oparciu o metodę drugą. Zewnętrzny wygląd tego przyrządu przedstawiony jest na rysunku 4. Urządzenie przeznaczone jest do kontroli podstawowych częstotliwości wzorcowych dalmierzy mikrofalowych Telemetr OG-1 i Telemetr RG-10 oraz Tellurometr MRA-1 w oparciu o sygnały wzorcowe 15 MHz i 10 MHz emitowane przez odpowiednie nadajniki częstotliwości wzorcowych. Radiostacje nadające sygnały o wzorcowej częstotliwości, wchodzące w skład „Międzynarodowej służby czasu”, pracują zarówno w zakresie fal długich, jak i krótkich. Sygnały emitowane w zakresie długofalowym przychodzą do odbiorcy w postaci fali przyziemnej. Ulegają one w związku z tym tylko niewiel-

kim zniekształceniom, a możliwość ich odbioru praktycznie nie zależy od zaburzeń w jonosferze i od pory dnia.

Natomiast sygnały w zakresie krótkofalowym przychodzą w postaci fali odbitej od jonosfery. Możliwość ich odbioru silnie zależy od stanu jonosfery na trasie propagacji. Sygnały te mogą być odbierane tylko w pewnych porach dnia. Ponadto ulegają one częstym zanikom, a ich częstotliwość na skutek zmian warstw odbijających w jonosferze podlega pewnym fluktuacjom. Ten ostatni zresztą efekt, jak wspomniano wyżej, nie posiada w omawianych pomiarach żadnego znaczenia.



Rys. 5. Schemat blokowy urządzenia do polowej kontroli częstotliwości wzorcowych

Wykorzystywanie sygnałów krótkofalowych do kontroli częstotliwości wzorcowych dalmierzy ma jednak zaletę, którą jest możliwość zastosowania w stosunkowo prostym układzie elektrycznym, heterodynowej metody porównania tych częstotliwości z wzorcem radiowym. Z tego też względu przy konstrukcji omawianego przyrządu, zdecydowano się korzystać z emisji w zakresie krótkofalowym. Schemat blokowy przyrządu przedstawiony jest na rysunku 5.

Część uwidocznionych na schemacie podzespołów, a mianowicie: antena, wzmacniacz wielkiej częstotliwości, mieszacz z generatorem lokalnym, wzmacniacz pośredniej częstotliwości oraz detektor, składa się na wysokiej czułości odbiornik superheterodynowy. Natomiast przerzutnik jednostabilny oraz miernik i wychyłowy wskaźnik częstotliwości, służą do pomiaru różnicy częstotliwości wzorca i kontrolowanej częstotliwości dalmierza.

Jeżeli do anteny odbiornika dostrojonego do częstotliwości dalmierza i wzorca radiowego docierają oba te sygnały, to na wejściu wzmacniacza wielkiej częstotliwości powstają napięcia o postaci:

$$u_w = U_w \sin(2\pi f_w t + \varphi_1), \quad (12)$$

$$u_p = U_p \sin(2\pi f_p t + \varphi_2),$$

gdzie:

$f_w$  jest częstotliwością wzorca radiowego,

$f_p$  jest częstotliwością (pomiarową) dalmierza,

a  $\varphi_1$  i  $\varphi_2$  są pewnymi (nieistotnymi tu) przesunięciami fazy. Po wzmocnieniu przez wzmacniacz wielkiej częstotliwości, oba te napięcia dochodzą do mieszacza. Na mieszacz podawane jest również napięcie z generatora lokalnego o częstotliwości  $f_h$  dobranej tak, aby

$$f_h - f_w \approx f_{\text{pośr}} \quad \text{oraz} \quad f_h - f_p \approx f_{\text{pośr}}; \quad (13)$$

gdzie

$f_{\text{pośr}}$  jest częstotliwością pośrednią odbiornika.

Wzmacniacz pośredniej częstotliwości wybiera z widma powstającego po mieszaczu prążki  $f_h - f_w$  i  $f_h - f_p$ .

Na nieliniowej charakterystyce detektora wytwarzana jest między innymi składowa o postaci

$$F = |(f_h - f_w) - (f_h - f_p)| = |f_w - f_p|. \quad (14)$$

Po odfiltrowaniu sinusoidalny sygnał o częstotliwości  $F$ , będącej wartością bezwzględną różnicy częstotliwości wzorca radiowego i częstotliwości pomiarowej dalmierza, przekształcany jest za pomocą przerzutnika jednostabilnego w falę prostokątną.

Amplituda tej fali, nie zależy w pewnym zakresie od wielkości sygnałów o częstotliwościach  $f_w$  i  $f_p$ , dochodzących do anteny odbiornika. Ma to istotne znaczenie dla poprawnej pracy znajdującego się po przerzutniku miernika częstotliwości. Miernik ten działa na zasadzie pomiaru średniej wartości prądu płynącego przez kondensator o różnych stałych czasu ładowania i rozładowania. Ta średnia wartość prądu jest przy odpowiednim doborze elementów układu proporcjonalna do częstotliwości fali prostokątnej. Ostatecznie więc, wskaźnik na wyjściu miernika pokazuje wartość częstotliwości  $F$ .

Ponieważ niestabilność wzorca radiowego jest tu całkowicie do pominięcia, na podstawie przeprowadzonego omawianym urządzeniem pomiaru możemy stwierdzić, że aktualne odchylenie częstotliwości wzorcowej dalmierza od jej wartości nominalnej wynosi:

$$\frac{\Delta f_p}{f_p} = \frac{F}{f_p} + \frac{\Delta F_{\text{max}}}{f_p}; \quad (15)$$

gdzie:

$\Delta F_{\text{max}}$  jest maksymalnym błędem popełnianym przy pomiarze częstotliwości  $F$ .

Zastosowany układ miernika częstotliwości  $F$  zapewnia dokładność pomiaru lepszą od 10%. Ponieważ pełne wychylenie wskazówki odpowiadającej częstotliwości 100 Hz więc  $\Delta F_{\text{max}} \varphi = 10$  Hz.

Dla częstotliwości  $f_p = 10$  MHz, porównanie z wzorcem radiowym realizowane jest zatem z dokładnością nie gorszą niż  $10^{-6}$ .

Sygnal z detektora odbiornika podaje się również na wzmacniacz akustyczny zakończony głośnikiem.

Ten fragment układu, służy do identyfikacji nadajnika wzorcowej częstotliwości, na podstawie odpowiednich sygnałów wywoławczych. Za jego pomocą można również stwierdzić czy częstotliwość  $F$ , nie przekracza zakresu pomiarowego miernika, tzn. czy odchylenie częstotliwości kontrolowanej od jej wartości nominalnej nie jest większe od 100 Hz.

Jak wspomniano na wstępie, skonstruowane urządzenie ma charakter prototypowy. Przeprowadzone w okolicach Warszawy próby jego działania wypadły pomyślnie. Obecnie badane są również możliwości konstrukcji podobnego przyrządu, opartego na odbiorze sygnałów wzorcowych w zakresie długofalowym. Układ taki byłby nieco bardziej skomplikowany, ale dawałby możliwość (w wypadku korzystania z wzorca pracującego przez całą dobę) przeprowadzania kontroli w dowolnym czasie, bez omówionych wyżej ograniczeń związanych z odbiorem na falach krótkich.

#### L I T E R A T U R A

- [1] Elektroniczne mierniki zliczające. Praca zbiorowa. Warszawa 1965.
- [2] *Genike A. A.*: „Geodeziczeskije fazowyje radiodalnomyery”. Trudy CNIIGAiK. Wyd. 164, Moskwa 1963.
- [3] *Holejko K., Demczuk M.*: „Dalmierz mikrofalowy Telemetr OG-1. Zasada działania”. Przegląd Geodezyjny nr nr 4, 5/1965.
- [4] *Holejko K., Demczuk M.*: „Telemetr RG 10 — nowy dalmierz mikrofalowy w wersji tranzystorowej”. Przegląd Geodezyjny nr 2/1968.
- [5] *Otyś A.*: „Kontrola częstotliwości wzorcowych dalmierzy elektromagnetycznych”. Referat przedstawiony na Sympozjum Służb geodezyjnych poświęconym elektronicznym pomiarom odległości. Warszawa 1967.
- [6] *Terman F. E., Pettit J. M.*: „Elektronie measurements”, New York 1952.
- [7] „Współczesna służba czasu i częstotliwości wzorcowych”. Praca zbiorowa. Warszawa 1962.
- [8] *Zajdler L.*: „VII Komisja Studiów CCIR — Sygnały czasu i częstotliwości wzorcowe”. Przegląd Telekomunikacyjny nr 11/1964.

Recenzował: *Sam. Prac. Nauk.-Bad. Wojciech Krzemiński*

Rękopis złożono w Redakcji w styczniu 1968 r.

АНДЖЕЙ ОТЫСЬ

## НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЭТАЛОННЫХ ЧАСТОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ

### Резюме

Во вступительной части работы рассмотрено влияние ошибки определения измерительной частоты дальномера на величину пропорционального к длине измеряемого расстояния члена, т.н. стандартной ошибки инструмента. Ошибку эту выражает формула (1). Указанное влияние рассматривается отдельно в отношении дальномеров, которые характеризуются плавно изменяемой измерительной частотой, подбираемой каждый раз к актуально измеряемому расстоянию, а также в отношении дальномеров имеющих несколько установленных определенных измерительных частот, называемых тогда эталонными частотами. В заключении этой части производится классификацию отклонений эталонных частот дальномеров от номинальных значений с точки зрения причин вызывающих возникновение этих отклонений.

В части посвященной лабораторным измерениям эталонных частот описано устройство состоящее из транзисторного считающего волномера С-544 вместе со смесительной приставкой РМ-51. Это устройство показано на рисунке 1, а в описании дано его основные параметры. На основании блок-схемы волномера и смесительной приставки показанных на рисунках 2 и 3 уясняется принцип работы устройства. Одновременно проведено анализ влияния стабильности образца  $\frac{\Delta f_w}{f_w}$ , времени измерения  $T_p$  и значения измеряемой частоты  $f_x$

на ошибку ее измерения. Описано также виды проверок и измерений эталонных частот Теллуromетра МРА-1, Геодиметра NASM-4В и Телеметра ОG-1 какие в течение нескольких лет проводились в Отделении основных измерений Института геодезии и картографии (ИГиК) в Варшаве. Эти исследования выполнено с помощью описанного здесь устройства.

Последняя часть работы посвящена рассмотрению практических возможностей реализации измерений эталонных частот дальномеров непосредственно в поле. Здесь содержится описание сконструированного в ИГиК прототипного устройства, предназначенного для полевых проверок основных эталонных частот микрорадио-волновых дальномеров: Теллуromетр МРА-1, Телеметр ОG-1 и Телеметр RG-10. Внешний вид этого устройства дан на рисунке 4, а его блок-схема на рисунке 5. Устройство состоит из обладающего высокой чувствительностью супергетеродинного коротковолнового приемника и аналогового частотомера.

Работа устройства сводится к сравнению проверяемой эталонной частоты дальномером с частотой соответствующего радиового эталона. Разность частот обоих сигналов принимаемых приемником измеряется с помощью аналогового частомера снабженного отклоняемым приспособлением. В работе объясняется способ возникновения этой частоты в устройстве. Дается также оценку точности контроля эталонных частот, какая может быть получена при измерениях с помощью этого устройства.



ANDRZEJ OTYS

## CERTAIN METHODS OF CONTROLLING STANDARD FREQUENCIES OF ELECTROMAGNETIC DISTANCE METERS

### Summary

In his introduction the author discusses the effect of an error made in determining the standard frequency of a distance meter, upon the value of the term which is proportional to the length of the measured section, i.e. the effect of what is called the standard error of an instrument. Equation (1) gives the definition of this error. The author deliberates upon this effect, separately for distance meters in which the fluently changed modulation frequency is adjusted to the actually measured distance, and for distance meters possessing several definite modulation frequencies which then are called standard frequencies. Terminating his introduction he classifies the deviations of the standard frequency of distance meters from their nominal values, arranging these deviations by causes which may have produced them.

In the part of his paper dedicated to laboratory measurements of standard frequencies the author describes an equipment consisting of a transistor frequency counter C-544 and a harmonic mixer PM-51. Of this equipment, shown in Fig. 1, the author reports its basic parameters. By means of block diagrams for this frequency counter and the harmonic mixer shown in Fig. 2 and 3 the author explains how this equipment works. He analyzes the effect of the stability of standard  $\frac{\Delta f_w}{f_w}$  of the time of measuring  $T_p$  and of the value of the measured frequency  $f_x$  upon the error in measurement  $\frac{\Delta f_x}{f_x}$ . He points out that the error is not increased by the use of the harmonic mixer which widens the range of the measured frequency. The author also describes the kinds of controls and measurements of standard frequencies performed with Tellurometer MRA-1, Geodimeter NASM-4B and Telemeter OG-1 which during the few recent years were made at the Department of Geodetic Survey of the Institute of Geodesy and Cartography in Warsaw. For all these experiments the equipment described above was used.

The final part of the paper discusses the practical possibilities how measurements of standard frequencies of distance meters can be made directly in the field. Here the author brings the description of the prototype of an equipment prepared by

the Institute of Geodesy and Cartography for the use in field control of the basic standard frequencies of the following microwave distance meters: Tellurometer MRA-1, Telemeter OG-1 and Telemeter RG-10. The outer appearance of this equipment is shown in Fig. 4, its block diagram in Fig. 5. This equipment consists of a highly sensitive superheterodyne receiver and an analogous frequency meter.

Its operation involves the comparison of the distance meter's controlled standard frequency with the frequency of a corresponding radio standard. The differences in frequency of both of the signals reaching the receiver of the equipment are measured by means of an analogy frequency meter comprising an oscillating pointer. The author explains how the frequency is produced in this equipment; he also shows how to evaluate the accuracy of the control of the standard frequencies which can be obtained by measurements for which this equipment is used.

## SPIS TREŚCI

JERZY BOKUN, DANUTA CHOWAŃSKA-OTYŚ,  
MARIA JĘDRZEJEWSKA, MARIA MAJEWSKA

Zagadnienie rozkładu względnych odchyleń pionu w Polsce . . . . . 3

JERZY GAŻDZICKI

Algorytm aproksymacyjnego kreślenia linii prostych koordynatografem  
automatycznym . . . . . 23

STANISŁAW DMOCHOWSKI

Jednoczesne opracowywanie, na autografach posiadających osobne ko-  
ordynatografy, 2-ch lub 4-ch arkuszy map będących w zasięgu jedne-  
go stereogramu . . . . . 31

WOJCIECH JANUSZ

Określenie podstawowych zależności między tolerancjami w budownict-  
wie a dokładnościami prac geodezyjnych . . . . . 43

WOJCIECH JANUSZ

Wstęp do generalizacji wyników pomiarów odchylek projektowych i od-  
kształceń urządzeń technicznych . . . . . 83

ANDRZEJ OTYŚ

Niektóre metody kontroli częstotliwości wzorcowych dalmierzy elek-  
tromagnetycznych . . . . . 115

## СОДЕРЖАНИЕ

**ЕЖИ БОКУН, ДАНУТА ХОВАНЬСКА-ОТЫСЬ,  
МАРИЯ ЕНДЖЕЕВСКА, МАРИЯ МАЕВСКА**

Проблема распределения относительных уклонов отвеса на территории Польши . . . . . **3**

**ЕЖИ ГАЗДЗИЦКИ**

Алгоритм черчения аппроксимирующей прямой линии с помощью автоматического координатографа . . . . . **23**

**СТАНИСЛАВ ДМОХОВСКИ**

Одновременное составление с помощью автографов имеющих отдельные координатографы 2 или даже 4 листов карты которых рамки пересекаются на одной стереопаре . . . . . **31**

**ВОИЦЕХ ЯНУШ**

Определение основных зависимостей между допусками в строительстве и точностью геодезических работ . . . . . **43**

**ВОИЦЕХ ЯНУШ**

Вступление к обобщению измерений проектных отклонений и деформаций технических устройств . . . . . **83**

**АНДЖЕЙ ОТЫСЬ**

Некоторые методы контроля эталонных частот электромагнитных дальномеров . . . . . **115**

## CONTENTS

JERZY BOKUN, DANUTA CHOWAŃSKA-OTYŚ,  
MARIA JĘDRZEJEWSKA, MARIA MAJEWSKA

The problem of the distribution of relative deflections of the plumb  
line in Poland . . . . . 3

JERZY GAŹDZICKI

The algorism of approximate tracing of straight lines by the use of  
the automatic coordinatograph . . . . . 23

STANISŁAW DMOCHOWSKI

Simultaneous plotting of two or four map sheets being represented  
on one stereogram, by the aid of plotters equiped with separate  
coordinatographs . . . . . 31

WOJCIECH JANUSZ

Determination of basic interrelations between tolerances admissible  
in construction work and accuracies demanded of surveying in this  
type of work . . . . . 43

WOJCIECH JANUSZ

Introduction to generalization of results of surveys of deviations from  
plans and of deformations of technical equipment . . . . . 83

ANDRZEJ OTYŚ

Certain methods of controlling standard frequencies of electromagnetic  
distance meters . . . . . 115

