

JAN WIKTOR WASILEWSKI

**METODA I URZĄDZENIE DO BEZINWAZYJNEJ KONTROLI
METROLOGICZNEJ DALMIERZY ELEKTROOPTYCZNYCH**

ZARYS TREŚCI. Jednym z głównych czynników decydujących o dokładności mierzonej odległości jest wartość rzeczywistej częstotliwości dalmierza. Przedstawiono tu urządzenie i metodę do wyznaczania w terenie rzeczywistej częstotliwości podczas pomiaru. Umożliwia to wprowadzenie do pomierzonej długości poprawki wynikłej z różnicy między częstotliwością rzeczywistą a nominalną, nadaną przez producenta.

1. Wstęp

Zasada pomiaru odległości dalmierzem elektromagnetycznym wiąże się ściśle z pomiarem takich wielkości fizycznych, jak: częstotliwość i długość fali. Częstotliwość pomiarowa jest emitowana z dalmierza w formie fali tworzącej tzw. przymiar elektroniczny lub elektroniczny wzorzec długości [3], [4], [8] (dotyczy to dalmierzy opartych na zasadzie pomiaru przesunięcia fazy).

Odległość ustaloną na podstawie pomiaru przesunięcia fazy można wyznaczyć z wzoru:

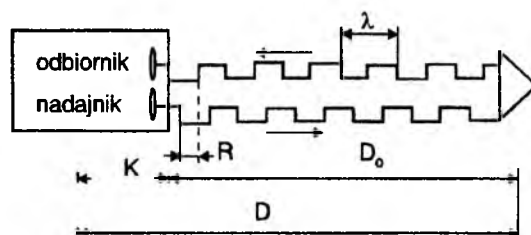
$$D_o = \frac{V}{2\omega} (2\pi N + \varphi) = \frac{V}{2f_s} \left(N + \frac{\varphi}{2\pi}\right) = \frac{\lambda}{2} \left(N + \frac{\varphi}{2\pi}\right) = \frac{C}{2nf_s} \left(N + \frac{\varphi}{2\pi}\right) \quad (1)$$

gdzie: λ - długość fali pomiarowej;
 f_s - częstotliwość pomiarowa;
 C - prędkość światła w próżni $C = 299\,792\,458$ m/sek;
 V - prędkość grupowa, z jaką rozprzestrzenia się fala pomiarowa w danym ośrodku;
 n - wskaźnik refrakcji grupowy;
 N - wielokrotność pełnej liczby połówek fal mieszczących się w mierzonym odcinku.

Mierzona odległość można również zapisać następująco:

$$D_o = N \frac{\lambda}{2} + R \frac{\lambda}{2} = \frac{C}{2fn} (N+R) \quad (2)$$

W mierzonym odcinku mieści się N odcinków o długości $\frac{\lambda}{2}$ i pewna reszta R tej długości $\frac{\lambda}{2}$, mierzona przez fazomierz dalmierza.



Rys.1. Dalmierz oparty na zasadzie pomiaru przesunięcia fazy, D_o - odległość zmierzona dalmierzem, k - stała dodawania dalmierza, D - odległość pomiędzy punktami geodezyjnymi

Jak widać, częstotliwość wzorcowa jest podstawowym parametrem dalmierza elektromagnetycznego. W każdym instrumencie jest ona wytwarzana przez wysokostabilne generatory sygnałów wzorcowych. Dokładność pracy tych generatorów decyduje w znacznym stopniu o dokładności pomiaru odległości i o klasie instrumentu.

Długość fali związana jest z częstotliwością; wyznacza ją ogólnie znana zależność:

$$\lambda = \frac{V}{f_s} = \frac{C}{nf_s}$$

Odchylenie częstotliwości wzorcowych dalmierza od ich wartości nominalnych powoduje powstawanie błędów pomiaru wprost proporcjonalnych do mierzonej odległości. Współczynnik zmiany skali spowodowanej zmianą częstotliwości określa zależność:

$$k_f = \frac{\Delta f}{f_n} 10^6 \text{ mm / km} \quad (3)$$

gdzie: f_n - częstotliwość nominalna;

f_s - częstotliwość z pomiaru sondą;

$$\Delta f = f_n - f_s .$$

W celu uniknięcia błędów spowodowanych odchyleniami częstotliwości, każdy dalmierz przed oddaniem go do pracy w terenie powinien być poddawany badaniom weryfikacyjnym. W trakcie takich badań powinny być określane jego rzeczywiste parametry, a więc dokładność i zasięg, a przede wszystkim jego częstotliwości wzorcowe. Użytkownik dalmierza bowiem, nie dysponując sprzętem elektronicznym do sprawdzania częstotliwości, z konieczności wyznacza wartość współczynnika skali na podstawie pomiaru badanym dalmierzem kilku wzorcowych odcinków o znanych długościach.

Do tego celu został zbudowany w latach 1968-1969 terenowy wzorzec długości w Skrzyszewie, zastąpiony w roku 1987 Krajową Bazą Długościową (KBD) w Warszawie.

KBD została zbudowana w formie podwójnego szeregu słupów żelbetowych z urządzeniami do mechanicznego centrowania [1][13]. Jeden szereg przeznaczono do precyzyjnego pomiaru odległości interferencyjną metodą i aparaturą Väisälä, drugi zaś, na który przenosi się odległości wzorcowe metodą trygonometryczną, stanowi bazę użytkową, służącą do atestacji dalmierzy, przy następujących długościach wzorcowych: 72 m, 168 m, 360 m, 744 m. W latach 1987-93 w bazie KBD wykonano ponad sześćset atestacji dalmierzy dostarczanych do kontroli z przedsiębiorstw geodezyjnych.

Liczne stwierdzane odchylenia parametrów kontrolowanych dalmierzy od ich wartości nominalnych potwierdziły potrzebę tej kontroli. Jednocześnie prace atestacyjne wykazały, że kontrola częstotliwości za pośrednictwem pomiaru długości odcinków wzorcowych może być obciążona błędem określenia współczynnika refrakcji, jak również błędem długości wzorcowych. Wprawdzie pomiar metodą Väisälä jest wykonywany z dokładnością wyższą od dokładności kontrolowanych dalmierzy najwyższej klasy co najmniej o 1 rząd, jednak, wraz z upływem czasu od momentu wykonania pomiaru metodą Väisälä, długości wzorcowe zmieniają się pod wpływem drobnych mikroruchów słupów. Z tego powodu okresowo trzeba powtarzać precyzyjne wyznaczanie odcinków wzorcowych. Ze względu na dużą pracochłonność pomiaru metodą Väisälä i znaczne jego koszty, KBD została dotychczas pomierzona tylko na początku, tj. w roku 1988, natomiast projektowane powtórzenie tego pomiaru już nie nastąpiło.

Niezależnie od KBD, zostały w Polsce założone regionalne bazy wzorcowe w Łodzi, Krakowie, Katowicach, Lublinie, Opolu i w Rzeszowie, pomierzone drutami inwarowymi Jaderina, bądź sprawdzonym na KBD precyzyjnym dalmierzem DI2000 WILD. Bazy te są przeznaczone do atestacji dalmierzy niższych klas. Również te bazy powinny podlegać okresowym kontrolom ze względu na możliwe zmiany długości wzorcowych, spowodowane mikroruchami słupów. Dotychczasowe kontrole je udowodniły.

O wiele łatwiej i dokładniej można sprawdzić dalmierz, mierząc bezpośrednio jego częstotliwości wzorcowe.

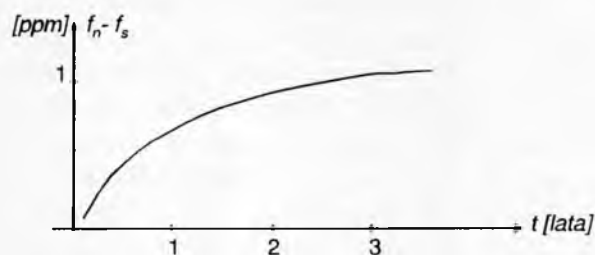
W praktyce częstotliwości wzorcowe dalmierzy były mierzone i poprawiane jedynie w specjalistycznych zakładach serwisowych upoważnionych do przeprowadzania napraw. Dotychczas bowiem kontrola częstotliwości zawsze wiązała się z koniecznością otwarcia obudowy instrumentu, a więc jego rozhermetyzowaniem. Do wykonywania takich czynności są upoważnieni jedynie fachowcy, którzy przeszli specjalne przeszkolenie w zakresie wykonywania napraw serwisowych danego instrumentu. Wiąże się to z dużą odpowiedzialnością ze względu na z reguły wysoką wartość instrumentu i możliwość uszkodzenia go przy demontażu.

Producenci przeważnie montują w układzie generatora sygnałów wzorcowych specjalne punkty testowe lub wskazują w instrukcji serwisowej, na którym elemencie należy tę częstotliwość mierzyć. Po otwarciu instrumentu należy znaleźć te punkty i jest to bardzo istotny moment przy wykonywaniu pomiaru częstotliwości.

Ogranicza to do minimum możliwość błędu w pomiarze częstotliwości, spowodowanego wpływem pojemności kabla transmitującego sygnał mierzony z dalmierza do licznika częstotliwości. Dołączając kabel licznika do innego punktu generatora wzorcowego niż wskazuje producent, można spowodować znaczne odstrojenie generatora i duży błąd pomiaru. Pewne odchylenia częstotliwości mogą być wynikiem niewłaściwego połączenia z licznikiem bądź są spowodowane długim okresem eksploatacji instrumentu lub też defektem w układzie generatora wzorcowego. Po sprawdzeniu należy obudowę instrumentu złożyć starannie, starając się doprowadzić ponownie do hermetycznego zamknięcia, co jest dosyć trudne i nie zawsze w pełni osiągalne. Kłopotliwość tego systemu kontroli częstotliwości stała się jedną z przyczyn powstania niniejszej pracy. Każdy generator zmienia w miarę upływu czasu swoją częstotliwość w mniejszym lub większym stopniu. Również w dalmierzach pracujących w terenie następują odchylenia od częstotliwości wzorcowej ustalonej przez wytwórcę lub podczas kontroli laboratoryjnej w serwisie. Laboratoryjne kontrole serwisowe nie dają pełnej informacji o stanie dalmierza w czasie pomiarów terenowych. Zmiany częstotliwości mają różny charakter, zależny od przyczyn, które je wywołują.

1. Zmiany częstotliwości o charakterze jednokierunkowym spowodowane zmianami strukturalnymi elementów generatora, tzw. efekt starzenia się układu generatora wzorcowego. W początkowej fazie eksploatacji obserwuje się gwałtowną zmianę częstotliwości; w miarę upływu czasu eksploatacji dalmierza zmiany te maleją. Zjawisko to ilustruje rys. 2, na którym przedstawiono charakterystykę starzenia się generatora wzorcowego dalmierza DI2000 WILD.

W pierwszym roku zmiana ta może osiągnąć nawet wartość ± 15 Hz, czyli 1 ppm (przy 15 MHz częstotliwości nominalnej). Następnie częstotliwość zmienia się już znacznie wolniej i w wystarczonym generatorze jest ona już bardziej stabilna.



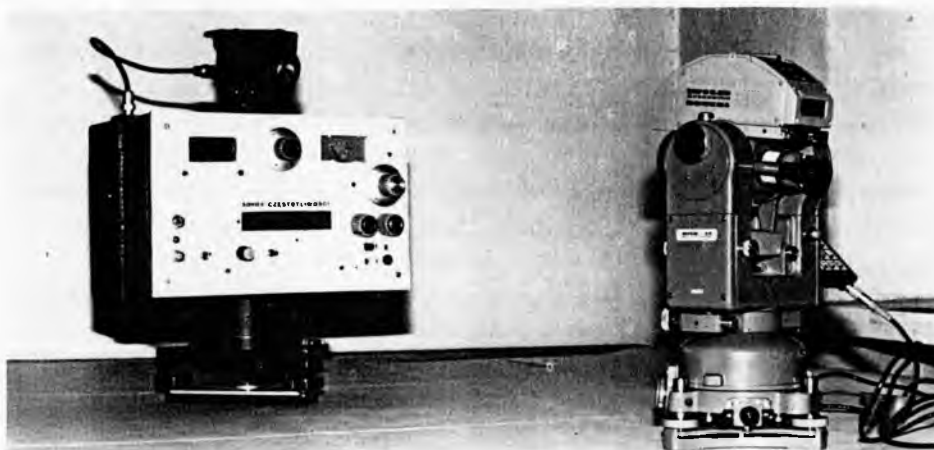
Rys.2. Charakterystyka starzenia się generatora DI2000

2. Zmiany skokowe częstotliwości wzorcowej są najczęściej spowodowane silnym wstrząsem lub uderzeniem dalmierza. Są one całkowicie przypadkowe i różne co do wielkości i kierunku. Konstruktorzy dalmierzy zabezpieczają się przed nimi przez coraz to większą integrację podzespołów i zmiany w konstrukcji mechanicznej dalmierza.

3. Zmiany częstotliwości o charakterze fluktuacyjnym są wynikiem nałożenia się zmian przypadkowych na zmiany regularne. Występują przeważnie w dalmierzach starszych konstrukcji. Zmiany przypadkowe są powodowane najczęściej chwilowymi zmianami napięć lub temperatury wewnątrz instrumentu.

2. Sonda częstotliwości

W celu ułatwienia kontroli częstotliwości wzorcowej dalmierza i aktualnej mocy emitowanej przez diodę nadawczą, decydującej o zasięgu pomiaru dalmierza, postanowiłem zbudować urządzenie ustalające te parametry



Rys.3. Sonda częstotliwości

zdalnie, bez otwierania jego obudowy. Urządzenie takie (rys.3), które nazwałem sondą częstotliwości, zbudowałem w roku 1991 i od tego czasu wykonałem przy jego zastosowaniu serię pomiarów wskazujących, że częstotliwości rzeczywiste wielu dalmierzy różnią się w istotny sposób od częstotliwości nominalnych przyjętych przez producentów. Zastosowanie praktyczne tego urządzenia umożliwia badania dalmierzy podczas pracy w terenie bez konieczności ich demontażu. Dzięki możliwości wychwycenia podczas pomiaru długookresowych i szybkozmiennych fluktuacji kontrolowanych parametrów można zwiększyć dokładność pomiaru odległości.

Dla ilustracji tej tezy przeanalizujemy zależności fazowe, jakim podlega obwódka modulacji w trakcie transmisji fali pomiarowej wzdłuż mierzonego odcinka. Fala pomiarowa doznaje przy tym przesunięcia fazy [3]:

$$\phi = 2\omega\tau \quad (4)$$

gdzie: $\tau = \frac{D}{V}$ - czas przejścia fali pomiarowej wzdłuż $2D$;

$V = \frac{C}{n}$ - prędkość grupowa fali pomiarowej w danym ośrodku;

$\omega = 2\pi f$ - pulsacja częstotliwości pomiarowej f ;

f - częstotliwość pomiarowa.

Przy odchyleniach wartości częstotliwości pomiarowej od jej wartości nominalnej dalmierz, emitując falę o innej długości, zarejestruje błędną wartość przesunięcia fazy ϕ'

$$\phi' = 2\omega'\tau = 4\pi f'\tau$$

dając w efekcie błędną wartość zmierzonej odległości. Błędy te zazwyczaj mieszczą się w granicach dokładności danego instrumentu, gwarantowanej przez wytwórcę. Jednak chcąc zwiększyć tę dokładność lub chcąc sprawdzić, czy zmiana częstotliwości nie przekroczyła granic dokładności gwarantowanych przez producenta, trzeba wykonywać równocześnie z pomiarem odległości pomiar częstotliwości wzorcowej dalmierza. Dałoby to nie spotykaną dotychczas możliwość uchwycenia aktualnych odchyłek częstotliwości i uwzględnienia ich w obliczeniu poprawnej odległości.

Odległość poprawiona z uwzględnieniem wpływu zmiany częstotliwości wyniesie:

$$D_{zf} = D_{pom} \cdot \frac{f_n}{f_s} = D_{pom} \frac{f_n + \Delta f}{f_n} = D_{pom} \left(1 + \frac{\Delta f}{f_n}\right) \quad (5)$$

Poniżej przedstawiono opis najważniejszych podzespołów sondy.

2.1 Kamera odbiorcza

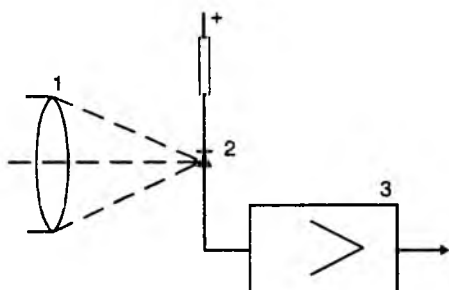
Pod względem budowy elektronicznej jest to typowy odbiornik podczerwieni ze wzmacniaczem wstępnym szerokopasmowym o zakresie częstotliwości od 4÷50 MHz. Tak szeroki zakres umożliwia użycie sondy do kontroli częstotliwości współczesnych dalmierzy mających częstotliwości pomiarowe w granicach od:

4 MHz w dalmierzu typu DI 4 Wild

7.5 MHz w dalmierzu typu DI3 Wild, DI1000 Wild, DM500 Kern

15 MHz w dalmierzu typu DI2000 Wild

aż do częstotliwości 50 MHz, występujących w dalmierzach najnowszych generacji, np. DI1001 lub DI2002 Leica.



Rys.5. Schemat kamery odbiorczej, 1. obiektyw kamery, 2. dioda odbiorcza, 3. wzmacniacz

Obiektyw odbiorczy kamery skieruje wiązkę odebranego światła w zakresie bliskiej podczerwieni na diodę odbiorczą, umieszczoną w ognisku układu optycznego, która dokonuje detekcji sygnału pomiarowego z wiązki światła. Następnie odebrany sygnał jest wzmocniony i przekazany kablem do następnego podzespołu sondy, tj. do przedwzmacniacza. Ze względu na wymagany szeroki zakres odbieranych częstotliwości wzmocnienie układu odbiorczego kamery jest ok. 10 dB.

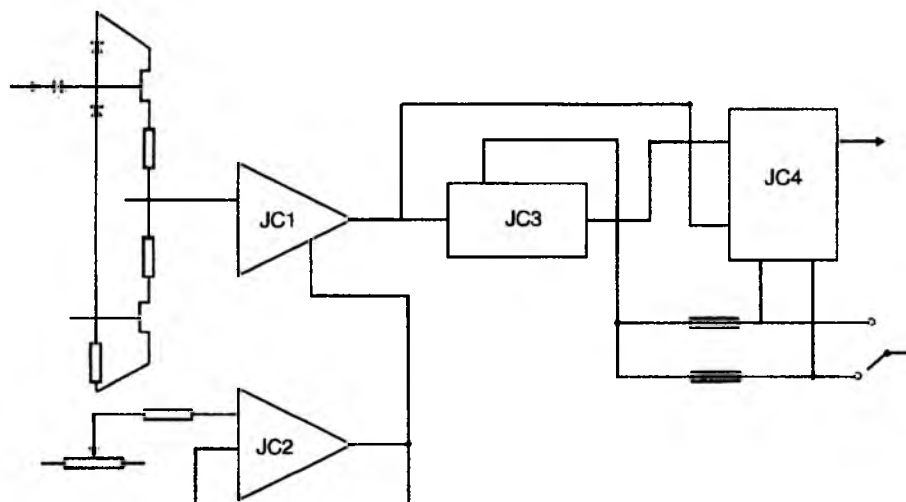
2.2 Częstościomierz liczący z przedwzmacniaczem i dzielnikiem

Przedwzmacniacz jest podzespołem uzupełniającym licznik częstotliwości. Spełnia on tu podwójną rolę. Po pierwsze, wzmacnia sygnał odebrany z odbiornika-kamery i formuje go w sygnały o przebiegu prostokątnym o poziomie TTL dla dobregoysterowania częstościomierza. Po drugie, ten

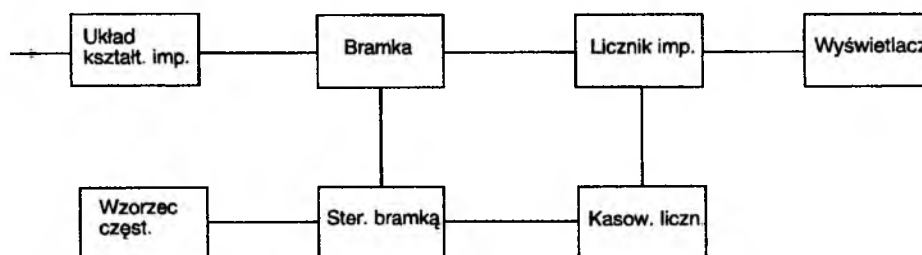
układ funkcjonuje również jako dzielnik częstotliwości. Dokonuje podziału częstotliwości w stosunku 10 : 1, co daje znaczne rozszerzenie zakresu pomiaru częstotliwościomierza do 100 MHz.

Istotnym elementem przedwzmacniacza jest układ IC1 LT 1016, który jest specjalnym wzmacniaczem operacyjnym. Dzięki dużej czułości można wyzwalać układ już sygnałem kilku mV. Na wyjściu uzyskuje się sygnały o przebiegu prostokątnym o amplitudzie 3V i o czasie narastania ok.5ns.

Punkt pracy układu IC1 można ustalić precyzyjnie za pomocą układu pomocniczego IC2, będącego również wzmacniaczem operacyjnym. Właściwy poziom napięcia sygnalizuje błyskająca dioda. Wtedy sygnał wychodzący z dzielnika ma najlepszy kształt prostokątny.

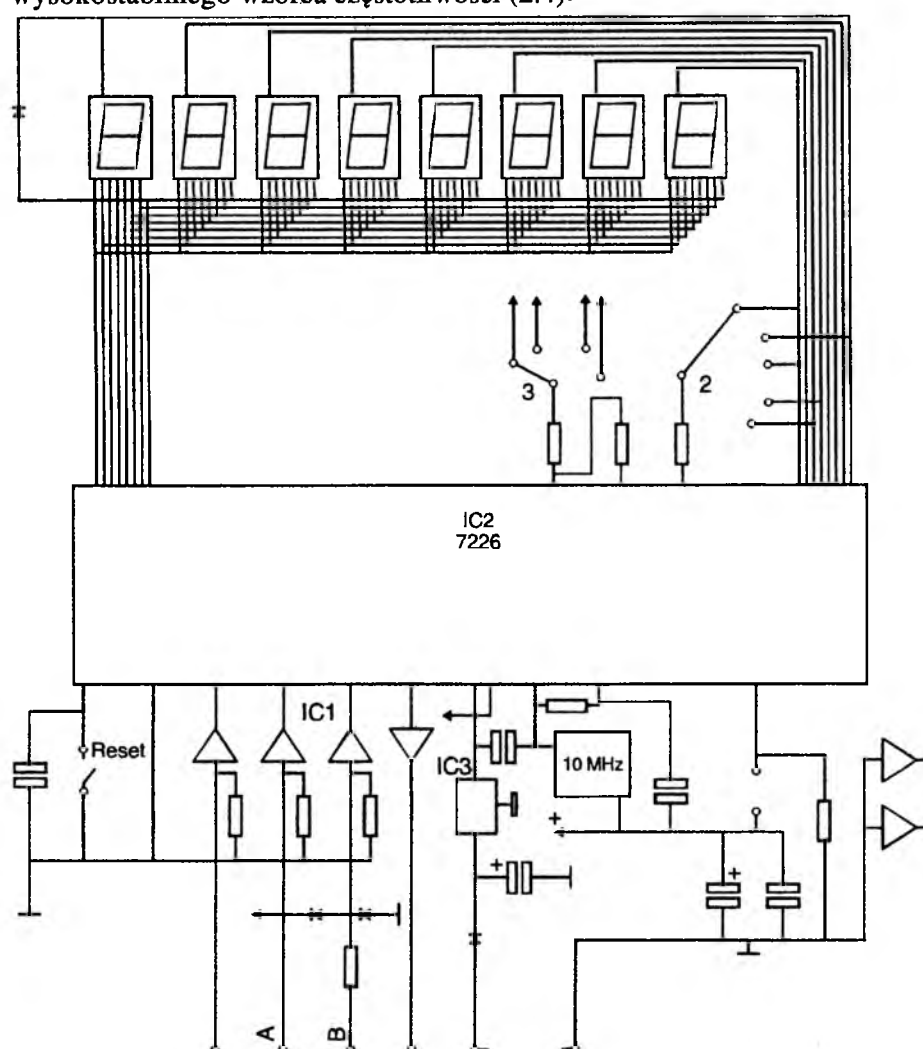


Rys.6. Schemat przedwzmacniacza



Rys.7. Schemat blokowy częstotliwościomierza

Do wejścia licznika doprowadza się sygnał o częstotliwości mierzonej f_x . Sygnał ten jest przekształcany w ciąg impulsów szpilkowych o częstotliwości powtarzania identycznej z częstotliwością mierzona f_x . Impulsy te, poprzez otwartą bramkę dochodzą do licznika, gdzie są zliczane. Czas otwarcia bramki lub, inaczej, czas zliczania impulsów, wybiera się przełącznikiem 3, uzyskując stosownie do potrzeb: 0,01 sek, 0,1 sek, 1 sek lub 10 sek. Są to wzorcowe odstępy czasu, które są tworzone w układzie elektronicznym licznika z częstotliwości wzorcowej, pochodzącej z wysokostabilnego wzorca częstotliwości (2.4).



Rys.8. Schemat licznika częstotliwości

2.3 Odbiornik sygnałów wzorcowych

Czwartym podzespołem opisywanego urządzenia jest odbiornik sygnałów Krajowego Wzorca Częstotliwości do kontroli wzorcowej częstotliwości licznika. Emisja sygnałów krajowego wzorca częstotliwości jest oparta na wykorzystaniu pracującej obecnie stacji radiofonicznej WARSZAWA 1. Stacja ta o mocy doprowadzonej do anteny rzędu 500 KW była dobrze słyszalna w całym kraju. Jednak po upadku masztu anteny nadawczej w Gąbinie sytuacja się pogorszyła. Obecnie wykorzystywany maszt anteny w Raszynie, znacznie niższy i o gorszych parametrach, nie zapewnia już dobrego odbioru na terenie całego kraju. W związku z tym, do chwili odbudowy masztu w Gąbinie słyszalność tej stacji w wielu miejscach na terenie kraju będzie wątpliwa. Uruchomienie nowego nadajnika może przyczynić się do poprawy warunków odbioru.

Częstotliwość nośna WARSZAWY 1 wynosi 225 KHz i pochodzi z wysokostabilnego molekularnego wzorca częstotliwości. Dokładność częstotliwości wzorca krajowego jest wyznaczana i podawana codziennie w specjalnym komunikacie Polskiego Komitetu Normalizacji Miar i Jakości w Warszawie nadawanym o godz. 12 przez radiostację WARSZAWA 1 i w specjalnym biuletynie Instytutu Łączności. Wyznaczone poprawki są przeważnie rzędu $\pm 5 \cdot 10^{-9}$ Hz.

Wykorzystanie Krajowego Wzorca Częstotliwości do kontroli wzorca wtórnego umieszczonego w sondzie zwiększa pewność i dokładność wyników pomiaru częstotliwości dalmierza, dzięki możliwości natychmiastowego odniesienia wyników kontroli dalmierza do Krajowego Wzorca Częstotliwości.

Po odbudowie masztu antenowego w Gąbinie warunki odbioru poprawią się na terenie całego kraju. Poprawi się też jakość odbieranych sygnałów wzorcowych. Pomimo zmian warunków propagacji na trasie od nadajnika do odbiornika sondy, na odległość do ok. 500 km i w zakresie fal długich, nie występuje niebezpieczeństwo pogorszenia dokładności częstotliwości wzorca [9].

W tym systemie emisji istnieje możliwość wzajemnego porównania sygnałów krajowego wzorca częstotliwości z wzorcami krajów sąsiednich, np. Niemiec, Czech, Słowacji, Szwecji itp. Sygnał warszawskiej stacji nie jest zakłócany przez sąsiednie stacje: Oslo 218KHz, St.Petersburg 236 KHz, Luksemburg 233KHz ze względu na wystarczający odstęp tych częstotliwości. Niewielką wadą tego systemu jest to, że fala emitowana przez radiostację centralną jest modulowana amplitudowo, praktycznie biorąc przez cały okres nadawania audycji. Zmusiło mnie to do rozbudowy odbiornika o dodatkowe układy likwidujące modulację amplitudy w sygnale wyjściowym.

Odebrany sygnał wzorcowej częstotliwości krajowej po oczyszczeniu go z sygnału modulacji został jeszcze pięciokrotnie pomnożony, dając częstotliwość porównania 1125 KHz.

Kontrolę wzorca sondy przeprowadzam metodą porównania z wzorcem 1125 KHz. W tym celu do wejścia częstotliwościomierza wprowadza się odebrany sygnał wzorcowy. Sygnał ten po przekształceniu w ciąg impulsów szpilkowych jest dalej doprowadzany poprzez układy tzw. bramki do układów liczących. Okres, w którym trwa zliczanie impulsów zależy od długości czasu otwarcia bramki. Przebieg bramkujący, jak było opisane w punkcie 2.2, jest wytwarzany przez obniżenie częstotliwości wzorcowej generatora wewnętrznego licznika. Jeżeli czas otwarcia bramki jest dokładnie taki, jak wynika z pozycji przełącznika 3 częstotliwościomierza, np. 0,1sek, to licznik wykaże liczbę impulsów dokładnie taką, jaka jest częstotliwość wzorcowa doprowadzona do wejścia. Jeżeli czas otwarcia bramki różni się od wartości nominalnej to licznik wykaże, oczywiście inną wartość. Porównując tę wartość z nominalną częstotliwością wzorca można obliczyć rzeczywisty czas otwarcia bramki, a następnie rzeczywistą wartość częstotliwości wzorca wewnętrznego częstotliwościomierza [11].

$$\frac{F_n}{F_r} = \frac{T_{rp}}{T_{np}} = \frac{F_{nw}}{F_{rw}}; \text{ a stąd } F_{rw} = \frac{F_n}{F_r} \cdot F_{nw} \quad (6)$$

gdzie: F_r - Wartość wskazania Krajowego Wzorca Częstotliwości odczyt z licznika sondy;

F_n - wartość nominalna wskazania Krajowego Wzorca Częstotliwości;

T_{rp} - czas rzeczywisty otwarcia bramki;

T_{np} - czas nominalny otwarcia bramki;

F_{nw} - wartość nominalna wskazania częstotliwości wzorca wewnętrznego licznika częstotliwości sondy;

F_{rw} - wartość rzeczywista częstotliwości wzorca wewnętrznego licznika częstotliwości sondy.

Błąd bezwzględny częstotliwości wzorca wewnętrznego częstotliwościomierza $\Delta F = F_{nw} - F_{rw}$ można wyrazić wzorem:

$$\Delta F = \left(\frac{F_n}{F_r} - 1 \right) F_{nw} \quad (7)$$

Błąd względny wyniesie:

$$\frac{\Delta F}{F_{nw}} = \left(\frac{F_n}{F_r} - 1 \right)$$

Z powyższej zależności wynika, że błąd określenia częstotliwości F_{rw} zależy od dokładności pomiaru F_r .

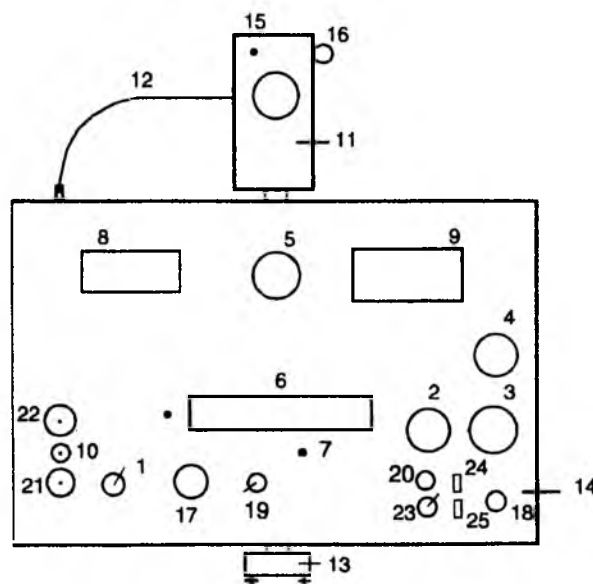
Dokładność porównania częstotliwości powyższą metodą zależy, jak wiadomo, od bezwzględnej wielkości częstotliwości wzorca zewnętrznego i wzrasta wraz z jej wzrostem. Stąd wniosek, że częstotliwość ta powinna być możliwie duża i mniejsza od granicznej częstotliwości licznika.

Odbiornik sygnałów wzorcowych złożony jest z układu antenowego, wzmacniacza tranzystorowego i układu powielającego pięciokrotnie odbierany sygnał. Dla osiągnięcia dokładności porównania rzędu 10^{-8} , przy czasie $T_p = 10$ sek, należało wytworzyć częstotliwość porównania zbliżoną do 1 MHz. Dlatego też konieczne było zbudowanie jeszcze dodatkowego układu powielającego pięciokrotnie sygnał wzorcowy do 1125 KHz. Wzmacniacz sygnałów wzorcowych zbudowałem jako układ wzmacniający i eliminujący sygnał modulacji. Odbiornik jest zasilany napięciem stałym 8 V uzyskanym z ogólnego układu zasilania sondy.

Jeżeli doprowadzi się do wejścia licznika częstotliwość wzorca radiowego 1125 KHz, to odchyłkę częstotliwości wzorca wewnętrznego o częstotliwości 10 MHz określa się:

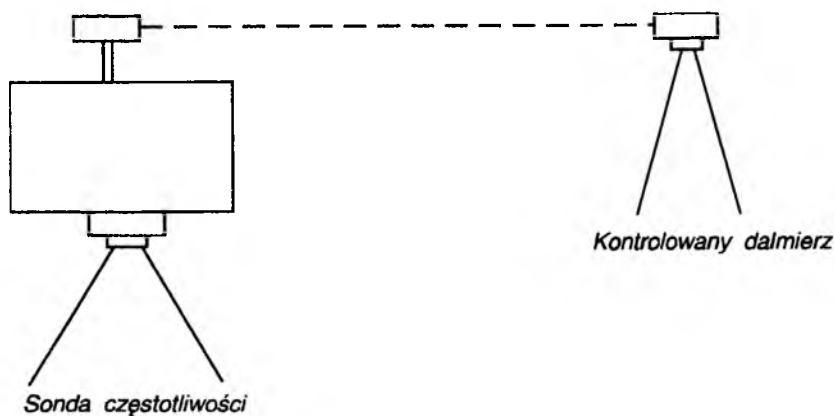
$$\Delta F = \left(\frac{F_n}{F_r} - 1 \right) F_{nw} = 10 \left(\frac{F_n}{F_r} - 1 \right) \quad (8)$$

3. Opis funkcji regulatorów umieszczonych na płycie czołowej i zasada obsługi sondy



Rys.9. Płyta czołowa sondy

- 1 - Główny wyłącznik zasilania
- 2 - Przełącznik funkcji licznika częstotliwości
- 3 - Przełącznik wyboru długości bramki
- 4 - Pokrętko dostrojenia odbiornika sygnałów wzorcowych
- 5 - Przełącznik rodzaju pracy
- 6 - Wyświetlacz częstościomierza
- 7 - Dioda sygnalizacyjna przedwzmacniacza
- 8 - Wskaźnik cyfrowy
- 9 - Wskaźnik analogowy
- 10 - Gniazdo ładowania baterii
- 11 - Kamera odbiorcza
- 12 - Kabel
- 13 - Spodarka
- 14 - Obudowa przyrządu
- 15 - Dioda sygnalizująca pracę kamery odbiorczej
- 16 - Lunetka kolimacyjna
- 17 - Pokrętko regulacji punktu pracy przedwzmacniacza
- 18 - Przycisk Reset
- 19 - Przełącznik dzielnika częstotliwości
- 20 - Przycisk DH
- 21 - Wyjście 10 MHz
- 22 - Wyjście częstotliwości mierzonych
- 23 - Wyłącznik wzorca 5 MHz
- 24 - Dioda sygnalizacyjna DH
- 25 - Dioda sygnalizacyjna wzorca 5 MHz



Rys.10. Szkic stanowiska pomiarowego

Sondę częstotliwości ustawia się na statywie geodezyjnym (rys.10) w odległości ok.1-2 m od badanego dalmierza. Zasilanie instrumentu należy włączyć przełącznikiem 1. Badany dalmierz kierujemy na obiektyw kamery odbiorczej i wzajemnie kamerę za pomocą lunetki kolimacyjnej 16 na obiektyw nadawczy dalmierza. Przełącznik 5 ustawia się w pozycji "POM" częstotliwości. W momencie uchwycenia światła z dalmierza, wskaźnik cyfrowy 8 zaczyna wskazywać jakiś poziom sygnału. Za pomocą śrub leniwych w dalmierzu i w spodarce 13 instrumentu należy znaleźć maksimum sygnału. Zielona dioda 7 zaczyna migotać. Dioda 15, po przełączeniu przełącznika 5 na pomiar, sygnalizuje uruchomienie głowicy odbiorczej. Przełącznik 2 ustawia się w pozycji "POM". Przełącznik 3 ustawia się w pozycji 10 sek. Teraz pokrętle 17 ustawia się optymalny punkt pracy przedwzmacniacza. Sygnalizuje to migotaniem dioda 7. Po dziesięciu sekundach wyświetlacz częstościomierza wyświetla pierwszy wynik pomiaru częstotliwości. Jeżeli badany dalmierz pracuje na częstotliwościach wyższych od 10 MHz, należy przełącznikiem 19 włączyć dzielnik częstotliwości. Przesuwa się wtedy automatycznie punkt dziesiątny o jedno miejsce w prawo na wyświetlaczu. Sprawdzenie wzorca wewnętrznego licznika dokonuje się przed i po odczytaniu częstotliwości pomiarowych. W tym celu przełącznik 5 ustawia się w pozycji "Kontr. Rad.", a pokrętko 4 ustawia się tak, aby galwanometr 9 wskazywał maksimum wychylenia. Jeżeli sygnał jest słaby, należy po zwolnieniu śruby zaciskowej w spodarce 13 wykonać jeszcze obrót całym instrumentem dla znalezienia lepszego kierunku odbioru przez wewnętrzną antenę. Przy dobrze zestrojonym wzorcu wewnętrznym licznik powinien wskazać wartość 1 1250 000. Wszelkie odchyłki notuje się i poprawia wyniki pomiarów częstotliwości pomiarowej według wzoru:

$$f_s = f_n + \left(\frac{\Delta F}{F_{nw}} \cdot f_n \right) \quad (9)$$

Badanie zmian poziomu mocy światła w podczerwieni emitowanego przez dalmierz ma zastosowanie głównie przy pomiarach porównawczych, tzn. że jeżeli np. dalmierz wraca po roku pracy do serwisu do kontroli, można łatwo określić jego zdolności zasięgowe, porównując z poprzednimi badaniami. W tym celu, tak jak poprzednio przy pomiarze częstotliwości, ustawia się badany dalmierz w odległości ok.1m od kamery pomiarowej i wycelowuje wzajemnie tak, aby uzyskać maksimum wskazania na wskaźniku cyfrowym. Wartość tego wskazania należy odczytać dla porównania z przyszłym pomiarem. Można też w ten sposób porównywać, jakie wskazanie daje dioda nadawcza w dalmierzu używanym i w fabrycznie nowym. Dla wyjaśnienia dodam, że na zasięg dalmierza ma wpływ oprócz mocy diody nadawczej jeszcze wiele innych czynników, takich jak: czułość

układów odbiorczych, jakość układu optycznego i stan warunków zewnętrznych. W dotychczasowych badaniach zasięgu, ze względu na brak możliwości wykonania pomiaru natężenia światła emitowanego przez diodę nadawczą, opierano się głównie na badaniach terenowych.

4. Ocena dokładności pomiaru częstotliwości sondą i jej praktycznej przydatności

Głównym założeniem przy projektowaniu sondy było zbudowanie takiego instrumentu, który mógłby mierzyć częstotliwości dalmierza z dokładnością co najmniej o jeden rząd wyższą od ustalonej normami fabrycznymi dopuszczalnej odchyłki częstotliwości generatora dalmierza. I tak np. w dalmierzu, w którym założona przez konstruktora i producenta dopuszczalna odchyłka częstotliwości jest $1 \cdot 10^{-6}$, powinno się mierzyć jego częstotliwość z błędem względnym nie przekraczającym $1 \cdot 10^{-7}$.

Z jaką dokładnością można zmierzyć częstotliwość? Zgodnie z zasadą pomiaru częstotliwości metodą cyfrową, przedstawioną w opisie zasady pracy licznika częstotliwości (2.2), sygnał wychodzący z dalmierza przebywa tylko bardzo krótką drogę rzędu $1 \div 2$ m do kamery odbiorczej, gdzie jest odbierany i przekazywany dalej do układów licznika częstotliwości. Tu przekształcany jest w ciąg impulsów szpilkowych i dalej przez otwartą bramkę dochodzi do licznika rejestrującego liczbę impulsów. Czas otwarcia i zamknięcia bramki jest ściśle określony, ponieważ jest on tworzony z częstotliwości 10 MHz generatora odniesienia licznika sondy.

Wartość mierzonej częstotliwości wyznacza się ze wzoru:

$$f_x = \frac{a}{T_p} \quad (10)$$

gdzie: a - liczba impulsów zliczona przez licznik w czasie T_p
 T_p - czas otwarcia bramki

Przyjmując $T_p = 1$ sek wskazania licznika będą odpowiadały liczbowo wartości mierzonej częstotliwości f_x . Przy $T_p = 10$ sek do pomiaru częstotliwości wzięta jest dziesięciokrotnie większa ilość impulsów.

Błąd pomiaru można wyrazić wzorem:

$$\delta_f = \delta_p + \delta_b + \frac{1}{a} \quad (11)$$

gdzie: δ_p - błąd wzorca czasu
 δ_b - błąd bramkowania
 $\frac{1}{a}$ - błąd dyskretyzacji lub inaczej błąd odczytu wskazań licznika związany z niemożliwością interpolacji.

Błąd wzorca czasu wiąże się ze stabilnością wzorca częstotliwości. Błąd bramkowania jest wywołany dwoma czynnikami: brakiem synchronizacji między impulsami bramkującymi i bramkowanymi oraz skończonym czasem otwarcia i zamknięcia bramki. Oba te składniki zazwyczaj mieszczą się w granicach błędu dyskretyzacji, stąd wzór (11) można zapisać w formie uproszczonej:

$$\delta_f = \delta_p + \frac{1}{a}$$

Ostatecznie można napisać [7], że przy pomiarze częstotliwości f_x popełniamy błąd względny:

$$\frac{\Delta f_x}{f_x} = \frac{\Delta F}{F_{nw}} + \frac{1}{f_x T_p} \quad (12)$$

Jak widać z powyższej zależności, pierwszy składnik tego błędu jest określony wyłącznie przez stabilność wzorca wewnętrznego częstościomierza. Drugi składnik maleje ze wzrostem mierzonej częstotliwości oraz z wydłużeniem czasu pomiaru T_p .

W proponowanej przeze mnie metodzie pomiaru częstotliwość wzorca wewnętrznego licznika sondy F_{nw} jest stale kontrolowana przez porównanie z Krajowym Wzorcem Częstotliwości. Duża stabilność tej częstotliwości (10^{-10}) sprawia, że na błąd pomiaru sondą pozostaje praktycznie tylko wpływ drugiego składnika błędu (12).

Dla przykładu przy pomiarze częstotliwości rzędu 15 MHz i przy $T_p = 10$ sek błąd względny pomiaru jest rzędu $2 \cdot 10^{-8}$.

Posługując się sondą przebadano wiele różnych dalmierzy, stwierdzając odchyłki częstotliwości, które często przekraczały dopuszczalne tolerancje fabryczne. Wykonano również wiele pomiarów odległości z równoczesnym pomiarem częstotliwości wzorcowej. Stwierdzono, że jest to droga do podniesienia dokładności pomiaru odległości.

LITERATURA

- [1] Cisak J., Dobrzycka M.: *Krajowa Baza Długościowa w Warszawie Bemowie*. Prace IGiK 1988 nr 2(81)
- [2] Hausbrandt St.: *Rachunek wyrównawczy i obliczenia geodezyjne*. Warszawa: PPWK 1970
- [3] Holejko K.: *Fizyczne podstawy pomiarów krótkich odległości geodezyjnych za pomocą przyrządów elektronicznych*. Arch. Elektr. 1960 T.10 nr 3
- [4] Holejko K.: *Precyzyjne elektroniczne pomiary odległości i kątów*. Warszawa: WNT 1981
- [5] Kaliński A.: *Pomiar różnic wysokości precyzyjnym dalmierzem elektrooptycznym*. Prz. Geod. 1992 nr 5

- [6] Nadachowski M., Kulka Z.: *Analogowe układy scalone*. Warszawa: KIK 1983
- [7] Otyś A.: *Niektóre metody kontroli częstotliwości wzorcowych dalmierzy elektromagnetycznych*. Prace IGiK 1968 T. 15 nr 2(35)
- [8] Płatek A.: *Geodezyjne dalmierze elektromagnetyczne i tachymetry elektroniczne*. Wrocław: PPWK 1991 T. 1, 1992 T. 2
- [9] Staniewski M.: *Kontrola radiowa częstotliwości zegara kwarcowego oraz projekt odbiornika tranzystorowego do porównania wzorca lokalnego z emisją wzorcową*. Prace IGiK 1964 T. 11 nr 2(24)
- [10] Stencki T.: *Badania laboratoryjne dalmierzy elektromagnetycznych*. Prace IGiK 1968 T. 15 nr 3(36)
- [11] Stencki T.: *Urządzenie odbiorcze wykorzystujące sygnały Krajowego Wzorca Częstotliwości do kontroli generatorów kwarcowych dalmierzy elektromagnetycznych*. Warszawa: IGiK 1969 (nie publikowane)
- [12] *Sygnały czasu i częstotliwości wzorcowe*. Przegląd Telekomunikacyjny 1964 nr 11
- [13] Toruński A.: *Krajowa baza długościowa w Warszawie*. Przegląd Geodezyjny 1988 nr 1
- [14] Toruński A.: *Możliwości podniesienia dokładności pomiaru dalmierzami elektrooptycznymi średniej klasy*. Biul.Inform. IGiK 1991 rok.
- [15] Wasilewski J.: *Urządzenie do bezinwazyjnej kontroli częstotliwości wzorcowych dalmierzy elektromagnetycznych*. Warszawa: IGiK 1990 (nie publikowane)
- [16] Wasilewski J.: *Urządzenie do badań zmian emisji diody nadawczej dalmierza*. Warszawa: IGiK 1990 (nie publikowane)
- [17] Wirsum S.: *Nowe i najnowsze układy elektroniczne*. Warszawa: WKŁ 1986
- [18] Praca zbiorowa: *Geodezja*. Wrocław: PPWK 1990
- [19] Wasilewski J.: *Metoda i urządzenie do bezinwazyjnej kontroli metrologicznej dalmierzy elektrooptycznych*. Praca doktorska. Warszawa: IGIK 1993

Recenzował: prof.dr hab.inż. Jerzy Tatarczyk
Przyjęto do opublikowania w listopadzie 1993 r.

Jan Wiktor Wasilewski

METHOD AND DEVICE FOR REMOTE METROLOGICAL CONTROL OF
ELECTROOPTICAL RANGEFINDERS

S u m m a r y

The author presented in his work so-called frequency sounder and discussed the method of field determination of real measuring frequency of rangefinder. Measuring frequency is emitted from the rangefinder as a wave, forming so-called electronic distance meter or electronic standard of length (rangefinders measuring phase shift). It is generated in each instrument by very stable generators of standard signals. Precision of work of these generators is crucial for accuracy of measurement and for quality of instrument. Frequency sounder ensures easy and simple way of field checking frequency of rangefinder without necessity of unmounting its housing. Up-to-now the rangefinders were verified from this point of view solely in service laboratories. Owing to opportunity of determining momentary changes of measuring frequency during measurement it is possible to increase significantly accuracy of distance measurements.

Translation: Zbigniew Bochenek

Ян Виктор Василевски

МЕТОД И УСТРОЙСТВО ДЛЯ БЕЗИНВАЗИЙНОГО
МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИХ ДАЛЬНОМЕРОВ

Резюме

В работе представлено устройство, называемое зондом частоты, и рассмотрен метод определения в полевых условиях действительной измерительной частоты дальномера. Измерительная частота эмиттируется дальномером в форме волны, создающей, так называемую, электронную меру или электронный эталон длины (дальномеры, измеряющие перемещение фазы). В каждом инструменте создается она высокостабильными генераторами эталонных сигналов. Точность работы этих генераторов решает в значительной степени о точности измерения и о классе инструмента. Зонд частоты обеспечивает легкий и простой способ контроля частоты дальномера в полевых условиях без необходимости демонтажа его корпуса. До сих пор дальномеры контролировались с этой точки зрения только в лабораториях - сервисах. Благодаря тому, что во время измерения имеется возможность уловить кратковременные изменения измерительной частоты дальномера, можно существенным образом повысить точность измерения расстояния.

Перевод: Róża Tołstikowa

